

(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
26. Dezember 2024 (26.12.2024)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2024/260652 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
F02C 6/16 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2024/063682

(22) Internationales Anmeldedatum:
17. Mai 2024 (17.05.2024)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2023 205 851.0
22. Juni 2023 (22.06.2023) DE

(71) Anmelder: **SIEMENS ENERGY GLOBAL GMBH & CO. KG** [DE/DE]; Otto-Hahn-Ring 6, 81739 München (DE).

(72) Erfinder: **BURGARD, Tobias Florian**; Kunnerwitzer Straße 4, 02826 Görlitz (DE). **STROBELT, Frank**; Kaulbachstraße 22, 90408 Nürnberg (DE).

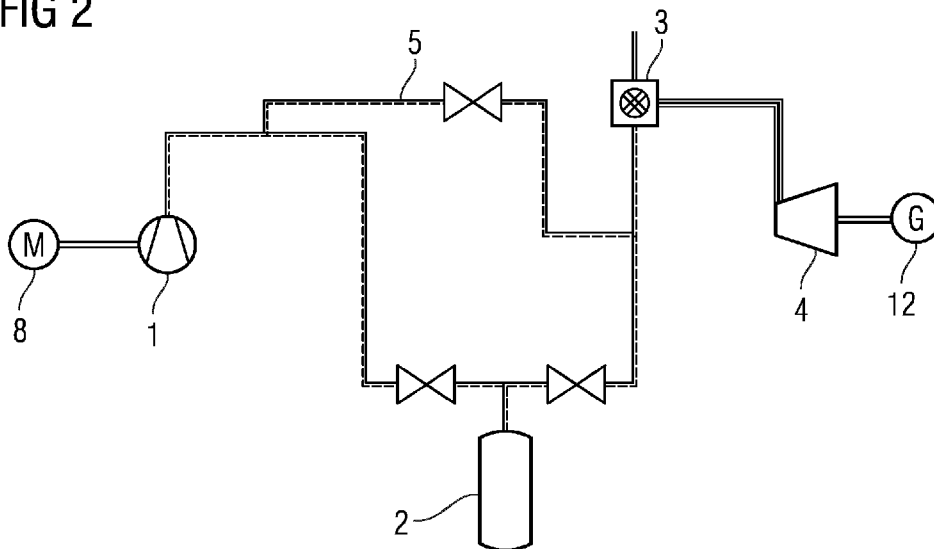
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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: COMPRESSED AIR STORAGE POWER PLANT AND METHOD FOR OPERATING A COMPRESSED AIR STORAGE POWER PLANT OF THIS TYPE

(54) Bezeichnung: DRUCKLUFTSPEICHERKRAFTWERK UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES SOLCHEN DRUCKLUFTSPEICHERKRAFTWERKS

FIG 2



(57) Abstract: The invention relates to a compressed air storage power plant, comprising at least one first compressor (1), at least one compressed air store (2), at least one combustion chamber (3), and at least one first expander (4), which are connected in flow terms in series, wherein a bypass line (5) is provided which bypasses at least the compressed air store (2). The invention further relates to a method for operating such a compressed air storage power plant.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Druckluftspeicherkraftwerk, umfassend wenigstens einen ersten Kompressor (1), wenigstens einen Druckluftspeicher (2), wenigstens eine Brennkammer (3), sowie wenigstens einen ersten Expander (4) welche strömungstechnisch in Reihe geschaltet sind, wobei eine Bypassleitung (5) vorgesehen ist, die zumindest den Druckluftspeicher (2) bypass.



WO 2024/260652 A1

CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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)

Des Weiteren betrifft die Erfindung Verfahren zum Betreiben eines solchen Druckluftspeicherkraftwerks.

Beschreibung

Druckluftspeicherkraftwerk und Verfahren zum Betreiben eines solchen Druckluftspeicherkraftwerks

5

Die Erfindung betrifft ein Druckluftspeicherkraftwerk nach dem Oberbegriff des unabhängigen Patentanspruchs 1 sowie Verfahren zum Betreiben eines solchen Druckluftspeicherkraftwerk
10 nach den Oberbegriffen der unabhängigen Ansprüche 5 und 8.

Ein Druckluftspeicherkraftwerk ist ein Energiespeichersystem, das auf der Komprimierung von Luft basiert. Nach der englischen Bezeichnung Compressed Air Energy Storage werden diese Kraftwerke auch abgekürzt CAES-Kraftwerke genannt. Ein Druck-
15 luftspeicherkraftwerk funktioniert, indem es elektrische Energie einspeichert, beispielsweise nicht benötigte elektrische Energie aus erneuerbaren Energiequellen wie Windkraft oder Solarenergie, indem Luft komprimiert und in Druckluftspeichern, z.B. unterirdischen Kavernen gespeichert wird.

20

Beim Ausspeichern, z.B. in Zeiten höheren Energiebedarfs, wird die komprimierte Luft wieder freigesetzt und treibt dabei einen Expander (Turbine) an, um Strom zu erzeugen. Dieser Strom kann dann ins Stromnetz eingespeist werden, um die
25 Nachfrage zu decken.

Das System ist besonders im Zusammenhang mit erneuerbaren Energiequellen interessant und stellt eine umweltfreundliche Alternative zu herkömmlichen Energiespeichern darstellt. Außerdem kann es flexibel eingesetzt werden und ist nicht auf
30 eine bestimmte Geografie beschränkt. Druckluftspeicherkraftwerke werden daher als eine vielversprechende Technologie angesehen, um den Anteil erneuerbarer Energien am Strommix weiter zu erhöhen und die Energieversorgung in Zukunft
35 nachhaltiger und flexibler zu gestalten.

Allerdings hat das System auch einige Herausforderungen, so ist die Betriebsdauer begrenzt, unter anderem da der Druckluftspeicher begrenzt ist. Ein Betrieb des Druckluftspeicher-

kraftwerks als Single-Cycle-Gasturbine-Kraftwerk, kann aufgrund eines leeren Druckluftspeichers, sinnvoll sein, um z.B. die Betriebsflexibilität zu erhöhen sowie das Kraftwerk zu befähigen, mehrere Tage lang Strom zu produzieren, was z.B. im Fall einer Dunkelflaute oder bei längerfristigen Versorgungsengpässen durch Ausfall relevanter Kraftwerke, sinnvoll sein kann. Der notwendige Brennstoff (z.B. Erdgas, Biogas, Erdöl, Wasserstoff) kann lange Zeit zur Verfügung gestellt werden (Speisung aus Versorgungsnetz oder Vor-Ort Bevorratung). Dieser Single-Cycle-Betrieb hat zwar einen geringeren Wirkungsgrad als eine Standard-Gasturbine, aber der wirtschaftliche Ertrag könnte immer noch groß sein, da im Falle einer "Dunkelflaute" die gesamte installierte Leistung zur Unterstützung des Netzes benötigt wird (hoher Strompreis).

Ausgehend vom Stand der Technik ist es daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Druckluftspeicherkraftwerk bereit zu stellen, welches einen Single-Cycle-Betrieb des Kraftwerks als Gasturbinenkraftwerk ermöglicht. Des Weiteren ist es Aufgabe der Erfindung Verfahren zum Betreiben eines solchen Druckluftspeicherkraftwerks bereitzustellen.

Die Aufgabe wird hinsichtlich des Druckluftspeicherkraftwerks durch die Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs 1 sowie hinsichtlich des Verfahrens zum Betreiben eines solchen Druckluftspeicherkraftwerk durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche 5 und 8 gelöst.

Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung, die einzeln oder in Kombination miteinander einsetzbar sind, sind Gegenstand der Unteransprüche.

Das erfindungsgemäße Druckluftspeicherkraftwerk, umfassend wenigstens einen ersten Kompressor, wenigstens einen Druckluftspeicher, wenigstens eine Brennkammer, sowie wenigstens einen ersten Expander, welche strömungstechnisch in Reihe geschaltet sind und zeichnet sich dadurch aus, dass wenigstens eine Bypassleitung vorgesehen ist, die zumindest den Druckluftspeicher umgeht.

Durch die Bypassleitung ist ein Parallelbetrieb von Verdichter (Kompressor) und Expander möglich. Hierdurch ist ein Kraftwerksbetrieb als Single-Cycle-Gasturbinenkraftwerk möglich, so dass ein Kraftwerksbetrieb auch bei langer Dunkelflaute und leerem Druckluftspeicher realisiert werden kann. Der Investitionsaufwand für die Aufrüstung eines Druckluftspeicherkraftwerks für einen solchen Betrieb ist gering; es sind lediglich eine Bypassleitung sowie ggf. einige Ventile, ein Regelsystem und eine entsprechende Leistungselektronik erforderlich.

Eine Ausgestaltung des Druckluftspeicherkraftwerk, bei dem zwischen dem Druckluftspeicher und der Brennkammer wenigstens ein zweiter Expander angeordnet ist, zeichnet sich dadurch aus, dass wenigstens eine Bypassleitung vorgesehen ist, die zumindest den Druckluftspeicher bypasst. Der zweite Expander kann als Druckluftexpander ausgebildet sein. Der Einsatz eines zweiten Expanders kann beispielsweise auf Grund eines hohen abzubauenen Druckgefälles oder auf Grund einer flexibleren Fahrweise sinnvoll sein. Der Einsatz des zweiten Expanders kann sowohl beim Ausleiten der Luft aus dem Druckluftspeicher als auch im Single-Cycle-Betrieb möglich sein.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass wenigstens eine Bypassleitung vorgesehen ist, die zumindest den Druckluftspeicher und den zweiten Expander bypasst. Hierdurch kann im Single-Cycle-Betrieb der Verdichter mit einer geringeren Leistung betrieben werden, so dass er die Luft nur auf den für die Brennkammer erforderlichen Druck verdichtet.

Eine weitere Ausgestaltung des Druckluftspeicherkraftwerks, bei dem wenigsten ein erster Wärmeübertrager vorgesehen ist, welcher fluidtechnisch dergestalt gekoppelt ist, sieht vor, dass die Abluft des ersten Expanders, oder wenigsten ein Teil der Wärme von der ersten Brennkammer oder einer weiteren Brennkammer die Zuluft zum zweiten Expander erwärmen kann. Insbesondere beim Ausleiten der komprimierten Luft aus dem Druckluftspeicher kommt es bei der Expansion zu einer starken

Abkühlung der Luft. Die Luft sollte daher vorteilhafterweise vor dem Einleiten in den zweiten Expander erwärmt werden. Über den Wärmeübertrager kann eine Wärmerückgewinnung der Abluft des ersten Expanders oder der Wärme der ersten Brennkammer erfolgen. Denkbar wäre auch ein Einsatz einer zweiten Brennkammer. Sollten dem ersten Expander weitere Expander nachgeschaltet sein, kann auch die Abwärme eines dieser Expander zur Wärmerückgewinnung über den Wärmeübertrager genutzt werden. Auch die Verwendung mehrerer Wärmeübertrager ist denkbar.

Soll lediglich der Druckluftspeicher gebypassst werden und ist dieser beispielsweise als Drucklufttank oder Kaverne ausgebildet, kann anstelle einer Bypassleitung auch mindestens eine erste und eine zweiten Öffnung im Druckluftspeicher vorgesehen werden, wobei die erste Öffnung als Eintrittsöffnung und die zweite Öffnung als Austrittsöffnung ausgebildet ist und die Eintrittsöffnung und die Austrittsöffnung gleichzeitig geöffnet werden können, um so, eine Druckluftspeicherung im Drucklufttank zu umgehen. Der Druckluftspeicher wird dabei „kurzgeschaltet“ und lediglich ohne nennenswerte Luftspeicherung durchströmt. Ein solches Durchströmen wird im Rahmen dieser Patentanmeldung als äquivalent zu einer Bypassleitung angesehen und ist damit vom Schutzzumfang der Ansprüche umfasst.

Ein erstes erfindungsgemäßes Verfahren zum Betreiben eines nach Anspruch 1 beschriebenen Druckluftspeicherkraftwerk sieht vor, dass wenigstens der erste Kompressor, die Brennkammer und der erste Expander, unter Umgehung einer Druckluftspeicherung im Druckluftspeicher, gleichzeitig betrieben werden. Das Druckluftspeicherkraftwerk wird dabei im Single-Cycle-Betrieb als Gasturbinenkraftwerk betrieben und ist damit in der Lage auch bei vollständig entleertem Druckluftspeicher elektrische Energie bereitzustellen. Dieser Single-Cycle-Betrieb hat zwar einen geringeren Wirkungsgrad als eine aktuelle Standard-Gasturbine, aber der wirtschaftliche Ertrag kann immer noch groß sein, da z.B. im Falle von "Dunkelflau-

ten" entsprechend hohe Strompreise vergütet werden. Der Brennstoff zum Betreiben des Kraftwerks kann dabei lokal gespeichert werden oder einem Versorgungsnetz (z.B. Gasnetz) entnommen werden. Die elektrische Leistung, die über einen an
5 den ersten Expander angeschlossenen Generator erzeugbar ist, ist dabei deutlich größer als die für den ersten Verdichter benötigte Antriebsleistung, so dass die Generatorleistung, nach Anfahren des Kraftwerks, den Verdichter mit der notwendigen elektrischen Leistung versorgen kann. Verdichter und
10 Expander können alternativ auch über einen gemeinsamen Antriebsstrang mechanisch, über eine Hydraulik oder durch andere Methoden wirkschlüssig gekoppelt werden. Über entsprechende Kupplungen bzw. Komponenten können dann die verschiedenen Aggregate je nach Betriebsweise (Speicherung, Entladung, Single-Cycle-Betrieb) gekoppelt oder entkoppelt werden.
15

Ein weiteres Verfahren zum Betreiben eines Druckluftspeicherkraftwerk nach Anspruch 2, wobei zwischen dem Druckluftspeicher und der Brennkammer wenigstens ein zweiter Expander angeordnet ist, zeichnet sich dadurch aus, dass wenigstens der
20 erste Kompressor, der zweite Expander, wenigstens die Brennkammer und der erste Expander, unter Umgehung einer Druckluftspeicherung im Druckluftspeicher, gleichzeitig betrieben werden. Auch bei diesem Verfahren wird der Druckluftspeicherkraftwerk im Single-Cycle-Betrieb als Gasturbinenkraftwerk
25 betrieben und ist damit wiederum in der Lage auch bei entleertem Druckluftspeicher elektrische Energie bereitzustellen. Das Verfahren unterscheidet sich dabei grundsätzlich nicht vom zuvor beschriebenen Verfahren, das Verfahren wird
30 lediglich bei einem Druckluftspeicherkraftwerk angewendet, welches zusätzlich wenigsten einen zweiten Expander aufweist.

Ein weiteres Verfahren zum Betreiben eines Druckluftspeicherkraftwerk nach Anspruch 3 zeichnet sich dadurch aus, dass wenigstens der erste Kompressor, wenigstens die Brennkammer und
35 der erste Expander, unter Umgehung einer Druckluftspeicherung im Druckluftspeicher, und Umgehung des zweiten Expanders, gleichzeitig betrieben werden. Im Gegensatz zum zuvor be-

schriebenen Verfahren wird dabei nicht nur der Druckluftspeicher, sondern gleichzeitig auch der zweite Expander gebypassst, und die Luft vom ersten Kompressor, direkt in die Brennkammer geführt. Hierdurch kann der erste Kompressor mit
5 geringer Leistung betrieben werden, da er lediglich den für die Brennkammer erforderlichen Luftdruck bereitstellen muss. Ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Betreiben eines Druckluftspeicherkraftwerk, welches wenigstens einen ersten Kompressor, wenigstens einen Druckluftspeicher, wenigstens eine
10 Brennkammer, sowie wenigstens einen ersten Expander umfasst, welche strömungstechnisch in Reihe geschaltet sind, zeichnet sich dadurch aus, dass wenigstens der erste Kompressor, die Brennkammer und der erste Expander, unter Umgehung einer Druckluftspeicherung im Druckluftspeicher, gleichzeitig be-
15 trieben werden. Das Druckluftspeicherkraftwerk kommt dabei ohne Bypassleitung aus, der Druckluftspeicher wird bei dem Verfahren ohne Speicherung von Luft durchströmt. Ein geringfügiger Massenstromunterschied zwischen ein- und ausströmender Luft wird dabei nicht als Druckluftspeicherung aufge-
20 fasst.

Ein weiteres Verfahren zum Betreiben eines Druckluftspeicherkraftwerks, welches wenigstens einen ersten Kompressor, wenigstens einen Druckluftspeicher, wenigstens einen zweiten
25 Expander, wenigstens eine Brennkammer, sowie wenigstens einen ersten Expander umfasst, welche strömungstechnisch in Reihe geschaltet sind, zeichnet sich dadurch aus, dass wenigstens der erste Kompressor, zweite Expander, wenigstens die erste Brennkammer und der erste Expander, unter Umgehung einer
30 Druckluftspeicherung im Druckluftspeicher, gleichzeitig betrieben werden.

Das Verfahren unterscheidet sich dabei grundsätzlich nicht vom zuletzt beschriebenen Verfahren, sondern wird lediglich auf
35 ein, um einen zweiten Expander aufweisendes Druckluftspeicherkraftwerk angewendet. Auch in diesem Fall kommt das Druckluftspeicherkraftwerk ohne Bypassleitung aus, der Druck-

luftspeicher wird wiederum ohne Speicherung von Luft durchströmt.

Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung werden
5 nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen erläutert. Es zeigt:

Fig. 1: Ein erstes, Druckluftspeicherkraftwerk zur Erläute-
10 rung eines ersten erfindungsgemäßen Verfahrens zum Be-
treiben eines solchen Kraftwerks.

Fig. 2: Ein erstes, erfindungsgemäßes, Druckluftspeicher-
15 kraftwerk mit einer Brennkammer, einem ersten Expander
und einer Bypassleitung zum bypassen des Druckluftspei-
chers.

Fig. 3: Ein zweites, erfindungsgemäßes, Druckluftspeicher-
kraftwerk mit einer Brennstoffkammer, einem ersten Ex-
20 pander und zusätzlich einem zweiten Expander, welcher
zwischen dem Druckluftspeicher und Brennkammer angeord-
net ist, sowie einer Bypassleitung zum bypassen des
Druckluftspeichers.

Fig. 4: Ein drittes, erfindungsgemäßes, Druckluftspeicher-
25 kraftwerk mit einer Brennstoffkammer, einem ersten Ex-
pander, einem zweiten Expander welcher zwischen dem
Druckluftspeicher und Brennkammer angeordnet ist und
einer Bypassleitung zum bypassen des Druckluftspeichers
sowie des zweiten Expanders.

Fig. 5: Ein viertes, erfindungsgemäßes, Druckluftspeicher-
30 kraftwerk welches zusätzlich zum Ausführungsbeispiel
nach Fig. 4 eine Wärmerückgewinnung mittels Wärmeüber-
trager aufweist.

35 Die Figuren zeigen lediglich schematische und nicht zwangs-
läufig maßstabsgerechte Darstellungen der Erfindung. Es wer-
den im Wesentlichen nur die für die Erfindung notwendigen

Bauteile dargestellt. Hilfssysteme wie Kühler oder Heizer, sowie Drosseln im Bypass-System, können erforderlich sein, um die erforderlichen Luftparameter für den/die Kompressor(en) sowie die Eintrittsparameter für den/die Expander bzw.

5 den/die Wärmeübertrager bzw. die Brennkammer(n) zu erreichen. Gleiche bzw. funktionsgleiche Bauteile sind figurübergreifend mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

Fig. 1 zeigt ein erstes, aus dem Stand der Technik bekanntes, 10 Druckluftspeicherkraftwerk anhand dessen, nachfolgend ein erstes erfindungsgemäßes Verfahren zum Betreiben eines solchen Kraftwerks erläutert werden soll.

Das Druckluftspeicherkraftwerk weist einen Motor 8 auf, welcher über eine Antriebswelle einen ersten Kompressor 1 und 15 einen zweiten Kompressor 9 antreiben kann. Der ersten Kompressor 1 und der zweiten Kompressor 9 sind mittels einer ersten Kupplung 10 verbindbar. Bei einem Überangebot regenerativer elektrischer Energie, beispielsweise aus Sonne oder 20 Wind, wird diese oder ein Teil dieser elektrischen Energie zum Antreiben des Motors 8 genutzt, welcher dann die Kompressoren 1, 9 antreibt, welche Luft komprimieren. Die komprimierte Luft wird im Druckluftspeicher 2 gespeichert. Als Druckluftspeicher eignet sich z.B. eine unterirdische Kaverne. 25 ne.

Wird in Zeiten, in denen kein oder nur wenig regenerative Energie zur Verfügung steht, elektrische Energie benötigt, kann mittels des Druckluftspeichers 2 eine Rückverstromung 30 erfolgen. Hierzu werden zunächst, für den Fall, dass das Kraftwerk noch im Einspeicherbetrieb gefahren wird, die Kompressoren 1, 9 angehalten. Anschließend wird der Druckluftspeicher 2 entladen und die unter Druck gespeicherte Luft dem zweiten Expander 6, zugeführt. Die Luft wird im zweiten Ex- 35 pander 6 teilentspannt und treibt dabei den zweiten Expander 6 an. Die teilentspannte Luft wird anschließend einer Brennkammer 3 zugeführt und dort gemeinsam, mit einem ebenfalls der Brennkammer 3 zugeführten Brennstoff, verbrannt. Als

Brennstoff kommt dabei beispielsweise Erdgas zum Einsatz, welches einem externen Speicher oder dem Gasnetz entnommen werden kann. Das heiße Verbrennungsgas wird anschließend dem ersten Expander 4, welcher als modifizierter Gasturbinenexpander ausgebildet ist, zugeführt und dort erneut entspannt. Der erste und der zweite Expander 4, 6 sind über eine gemeinsame Antriebswelle mit einem Generator 12 verbunden und treiben diesen an, wodurch elektrischer Strom erzeugt wird.

Da die Luft, die dem Druckluftspeicher 2 entnommen wird bei der Expansion stark abkühlt, muss sie vor dem Eintritt in den zweiten Expander 6 vorgewärmt werden. Hierzu ist ein Wärmeübertrager 7 vorgesehen, welcher die Abwärme vom ersten Expander 4 nutzt um die Luft entsprechend vorzuwärmen.

Das beschriebene Druckluftspeicherkraftwerk arbeitet entweder im Speicherbetrieb, in dem die Kompressoren 1, 9 im Betrieb sind und die Expander 4, 6 stillstehen, oder im Entladebetrieb in dem die Kompressoren 1, 9 stillstehen und sich die Expander 4, 6 im Betrieb befinden. Ein Stillstand des Kraftwerks im ge-, entladenen oder teilgeladenen Zustand ist möglich. Ein Parallelbetrieb von Kompressoren 1, 9 und Expander 4, 6 ist nicht vorgesehen.

Bei einem ersten erfindungsgemäßen Verfahren ist ein solcher Parallelbetrieb von Kompressoren 1, 9 und Expander 4, 6 vorgesehen. Ermöglicht wird dies, indem das Druckluftspeicherkraftwerk, unter Umgehung einer Druckluftspeicherung im Druckluftspeicher 2, betrieben wird. Der Druckluftspeicher 2 wird dabei, ohne (bzw. ohne nennenswerte) Druckluftspeicherung durchströmt. Dies kann auf einfache Weise dadurch realisiert werden, dass sowohl die Einstrmstrmffnung 13 als auch die Ausströmöffnung 14 geöffnet sind und der Druckluftspeicher 2 somit nur durchströmt wird. Durch das erfindungsgemäße Verfahren kann das Druckluftspeicherkraftwerk erstmals als Single-Cycle-Kraftwerk (Gasturbinenkraftwerk) betrieben werden. Ein solcher Single-Cycle-Betrieb hat zwar einen geringeren Wirkungsgrad als eine Standard-Gasturbine, aber der

wirtschaftliche Ertrag kann immer noch groß sein, da z.B. im Falle einer längeren „Dunkelflaute“ die gesamte im Stromnetz verfügbare Leistung zur Unterstützung des Stromnetzes notwendig sein kann und dadurch ein hoher Strompreis erzielbar ist.

5 Der Investitionsaufwand ist bei diesem Verfahren besonders gering, da lediglich eine Schaltung/Regelung vorgesehen sein muss, die das gleichzeitige Öffnen von Zu- und Ablauf zum/vom Druckluftspeicher 2 und den gleichzeitigen Betrieb der Kompressoren 1, 9 und der Expander 4, 6 ermöglicht. Anlagenseitig sind keine größeren Maßnahmen notwendig, insbesondere
10 kann auf eine Bypassleitung zum Bypassen des Druckluftspeichers 2 verzichtet werden.

Der für den Betrieb des Motors 8 erforderliche Strom wird vom
15 Generator 12 erzeugt, da der Generator 12 mehr Strom erzeugt als der Motor benötigt. Im Gegensatz zu einer konventionellen Gasturbine wird der Kompressor und der Expander (beispielsweise Gasturbinenexpansionsteil) nicht mechanisch (Welle), sondern elektrisch gekoppelt. Voraussetzung ist, dass der/die
20 Kompressoren die erforderlichen Expandereintrittsparameter liefern.

Fig. 2 zeigt ein erstes, erfindungsgemäßes, Druckluftspeicherkraftwerk. Das Druckluftspeicherkraftwerk weist einen
25 Motor 8 auf, welcher über eine Antriebswelle einen ersten Kompressor 1 antreibt. Bei einem Überangebot regenerativer elektrischer Energie, beispielsweise aus Sonne oder Wind, wird die elektrische Energie zum Antreiben des Motors 8 genutzt, dieser treibt dann den Kompressor 1 an, welche Luft
30 komprimieren. Die komprimierte Luft wird im Druckluftspeicher 2 gespeichert.

Die Rückverstromung erfolgt, bei dem in Fig. 2 gezeigtem Druckluftspeicherkraftwerk, indem der Druckluftspeicher 2
35 entleert, die komprimierte Luft der Brennstoffkammer 3 zugeführt und dort zusammen mit dem ebenfalls der Brennkammer 3 zugeführtem Brennstoff verbrannt und die heißen Verbrennungsgase nachfolgend im ersten Expander entspannt werden. Der

erste Expander ist als Gasturbinenexpansionsteil ausgebildet und mit dem Generator 12 gekoppelt.

Bei wirtschaftlicher oder netztechnischer Anforderungen

5 und/oder vollständig entleertem Druckluftspeicher 2 kann das Druckluftspeicherkraftwerk als Single-Cycle-Kraftwerk (Gasturbinenkraftwerk) betrieben werden. Hierzu wird die vom ersten Kompressor 1 komprimierte Luft, unter Umgehung des Druckluftspeichers 2, direkt der ersten Brennkammer 3 zugeführt.
10 Hierzu wird der Druckluftspeicher 2, mittels der Bypassleitung 5, gebypassed. Der vom Generator 12 erzeugte Strom versorgt den Motor 8, welcher den ersten Kompressor 1 antreibt. Die erzeugte elektrische Leistung des Generators 12 ist deutlich höher als die benötigte Antriebsleistung des Motors 8.
15 Der anlagentechnische Aufwand ist gering, da lediglich die Bypassleitung, Ventile und eine entsprechende Steuerung erforderlich sind.

Fig. 3 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel eines, erfindungsgemäßen, Druckluftspeicherkraftwerks, welches sich von dem in Fig. 2 beschriebenen Beispiel dadurch unterscheidet, dass zusätzlich ein zweiten Expander 6 vorgesehen ist, welcher zwischen dem Druckluftspeicher 2 und der Brennkammer 3 angeordnet ist. Der zweite Expander 6 ist als Druckluftexpander ausgebildet. Mit Hilfe des zweiten Expanders 6 wird die
25 Luft, im Wesentlichen, auf den für die Brennkammer 3 erforderlichen Luftdruck entspannt. Der zweite Expander 6 und der erste Expander 4 sind über eine gemeinsame Welle mit dem Generator 12 verbunden.

30

Wie bereits beim Druckluftspeicherkraftwerk nach Fig. 2 ist wiederum eine Bypassleitung 5 vorgesehen, um den Druckluftspeicher 2 im Single-Cycle-Betrieb bypassen zu können. Der Single-Cycle-Betrieb erfolgt dabei im Wesentlichen identisch
35 zu dem bereits in Fig. 2 näher beschriebenen Ausführungsbeispiel. Die vom ersten Kompressor 1 komprimierte Luft wird unter Umgehung des Druckluftspeichers 2 zunächst im zweiten Expander 6 teilentspannt und anschließend der ersten Brennkam-

mer 3 zugeführt. Anschließend wird das Verbrennungsgas aus der Brennkammer im ersten Expander 4 weiter entspannt. Der vom Generator 12 erzeugte Strom versorgt den zum Antreiben des ersten Kompressors 1 verwendeten Motors 8 mit Strom, wobei die erzeugte elektrische Leistung des Generators 12 deutlich höher ist als die Stromaufnahme des Motors 8.

Der anlagentechnische Aufwand ist wiederum gering, da lediglich die Bypassleitung, Ventile und eine entsprechende Steuerung erforderlich sind.

Fig. 4 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel eines, erfindungsgemäßen, Druckluftspeicherkraftwerks, dessen Aufbau im Wesentlichen, dem in Fig. 3 beschriebenen Druckluftspeicherkraftwerk entspricht und auf dessen Beschreibung zu Aufbau und Funktion verwiesen wird. Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Druckluftspeicherkraftwerken besteht in der Bypassleitung 5, welche im Ausführungsbeispiel nach Fig. 4, nicht nur den Druckluftspeicher 2 sondern auch den zweiten Expander 6 bypassst. Im Single-Cycle-Betrieb wird die Luft vom ersten Kompressor 1 direkt in die Brennkammer 3 geführt. Um im Single-Cycle-Betrieb den ersten Expander 4 mechanisch vom zweiten Expander 6 zu entkoppeln ist eine schaltbare Kupplung 11 vorgesehen.

Auch bei diesem Ausführungsbeispiel ist der anlagentechnische Aufwand gering. Gegenüber dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 wird lediglich die schaltbare Kupplung 11, benötigt.

Fig. 5 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Druckluftspeicherkraftwerks, welches gegenüber dem in Fig. 4 beschriebenen Ausführungsbeispiel um einen Wärmeübertrager 7 erweitert ist. Der Wärmeübertrager 7 dient dazu, im Entladebetrieb, die aus dem Druckluftspeicher 2 strömende Luft vor dem Eintritt in den zweiten Expander 6 vorzuwärmen. Dabei kann der Wärmeübertrager 7 beispielsweise im Gegenstrom mit dem heißen Abgasstrom vom ersten Expander 4 durchströmt werden, zusätzlich oder alternativ können Hilfsbrenner bzw. eine zweite Brennkammer eingesetzt werden. Zusätzlich zum Ausführungsbeispiel nach Fig. 4 weist das Druck-

luftspeicherkraftwerk einen zweiten Kompressor 9 auf, welcher über eine schaltbare Kupplung 10 mit dem ersten Kompressor 1 verbindbar ist. Der zweite Kompressor 9 ist dabei in Strömungsrichtung hinter dem Bypass 5 in der Zuleitung zum Druckluftspeicher 2 angeordnet und wird nur im Speicherbetrieb betrieben. Während des Single-Cycle-Betriebs befindet sich die Kupplung 10 nicht im Eingriff und es wird ausschließlich der erste Kompressor 1 betrieben, welcher die Brennstoffkammer 3, über die Bypassleitung 5, mit Luft versorgt.

10

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die erfindungsgemäßen Druckluftspeicherkraftwerke sowie die dazugehörigen Verfahren zum Betreiben der Druckluftspeicherkraftwerke, erstmals den gleichzeitigen Betrieb von Kompressor und Expander ermöglichen. Hierdurch ist ein Single-Cycle-Betrieb der Druckluftspeicherkraftwerke möglich, d.h. die Kraftwerke können u.a. auch bei entleertem Druckluftspeicher betrieben werden und somit insbesondere in längeren Dunkelflauten zur Deckung des erforderlichen Strombedarfs und/oder zur Erhöhung der Betriebsflexibilität beitragen.

20

Patentansprüche

1. Druckluftspeicherkraftwerk, umfassend wenigstens einen ersten Kompressor (1), wenigstens einen Druckluftspeicher
5 (2), wenigstens eine Brennkammer (3), sowie wenigstens einen ersten Expander (4) welche strömungstechnisch in Reihe geschaltet sind,
dadurch gekennzeichnet, dass
wenigstens eine Bypassleitung (5) vorgesehen ist, die zumin-
10 dest den Druckluftspeicher (2) bypasst.

2. Druckluftspeicherkraftwerk, nach Anspruch 1, wobei zwischen dem Druckluftspeicher (2) und der Brennkammer (3) wenigstens ein zweiter Expander (6) angeordnet ist,
15 dadurch gekennzeichnet, dass
wenigstens eine Bypassleitung (5) vorgesehen ist, die zumindest den Druckluftspeicher (2) bypasst.

3. Druckluftspeicherkraftwerk, nach Anspruch 3,
20 dadurch gekennzeichnet, dass
wenigstens eine Bypassleitung (5) vorgesehen ist, die zumindest den Druckluftspeicher (2) und den zweiten Expander (6) bypasst.

25 4. Druckluftspeicherkraftwerk, nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei wenigsten ein erster Wärmeübertrager (7) vorgesehen ist, welcher fluidtechnisch dergestalt gekoppelt ist, dass die Abluft des ersten Expanders (4), oder wenigsten ein Teil der Wärme von der ersten Brennkammer (3) oder einer
30 weiteren Brennkammer, wenigstens einen Teil der Zuluft zum zweiten Expander (4) erwärmt.

5. Verfahren zum Betreiben eines Druckluftspeicherkraftwerk nach Anspruch 1,
35 dadurch gekennzeichnet, dass
wenigstens der erste Kompressor (1), die Brennkammer (3) und der erste Expander (4) unter Umgehung einer Druckluftspeicherung im Druckluftspeicher (2) gleichzeitig betrieben werden.

6. Verfahren zum Betreiben eines Druckluftspeicherkraftwerks nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass

5 wenigstens der erste Kompressor (1), der zweite Expander (6), wenigstens die Brennkammer (3) und der erste Expander (4) unter Umgehung einer Druckluftspeicherung im Druckluftspeicher (2), gleichzeitig betrieben werden.

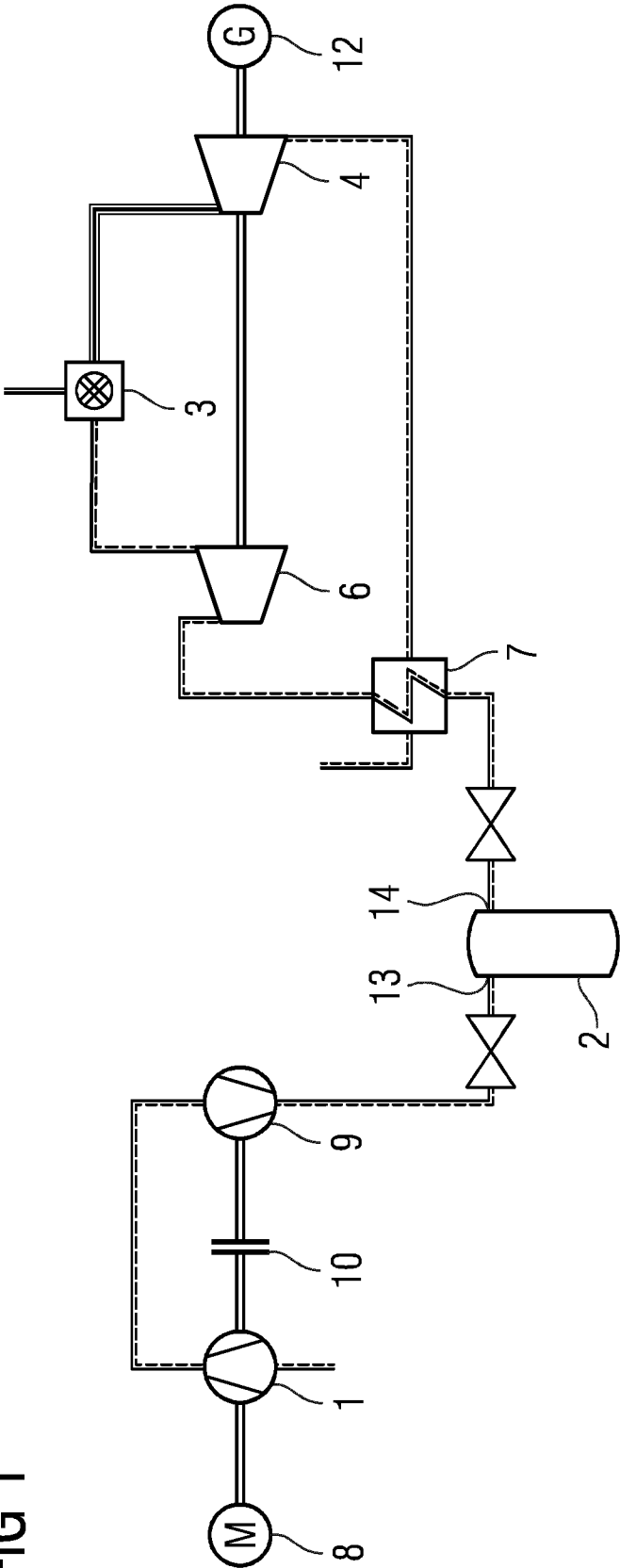
10 7. Verfahren zum Betreiben eines Druckluftspeicherkraftwerks nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens der erste Kompressor (1), wenigstens die Brennkammer (3) und der erste Expander (4) unter Umgehung einer
15 Druckluftspeicherung im Druckluftspeicher (2) und Umgehung des zweiten Expanders (6), gleichzeitig betrieben werden.

8. Verfahren zum Betreiben eines Druckluftspeicherkraftwerks, umfassend wenigstens einen ersten Kompressor (1), wenigstens einen Druckluftspeicher (2), wenigstens eine Brennkammer (3), sowie wenigstens einen ersten Expander (4), welche strömungstechnisch in Reihe geschaltet sind,
20 dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens der erste Kompressor (1), die Brennkammer (3) und
25 der erste Expander (4) unter Umgehung einer Druckluftspeicherung im Druckluftspeicher (2), gleichzeitig betrieben werden.

9. Verfahren zum Betreiben eines Druckluftspeicherkraftwerks, umfassend wenigstens einen ersten Kompressor (1), wenigstens einen Druckluftspeicher (2), wenigstens einen zweiten Expander (6), wenigstens eine Brennkammer (3), sowie wenigstens einen ersten Expander (4), welche strömungstechnisch in Reihe geschaltet sind,
30 dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens der erste Kompressor (1), der zweite Expander (6),
35 die erste Brennkammer (3) und der erste Expander (4) unter Umgehung einer Druckluftspeicherung im Druckluftspeicher (2), gleichzeitig betrieben werden.

10. Verfahren zum Betreiben eines Druckluftspeicherkraftwerks, umfassend wenigstens einen ersten Kompressor (1), wenigstens einen Druckluftspeicher (2), wenigstens einen zweiten Expander (6), wenigstens eine Brennkammer (3), sowie wenigstens einen ersten Expander (4), welche strömungstechnisch in Reihe geschaltet sind, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens der erste Kompressor (1), die Brennkammer (3) und der erste Expander (4) unter Umgehung einer Druckluftspeicherung im Druckluftspeicher (2) und Umgehung des zweiten Expanders (6), gleichzeitig betrieben werden.

FIG 1



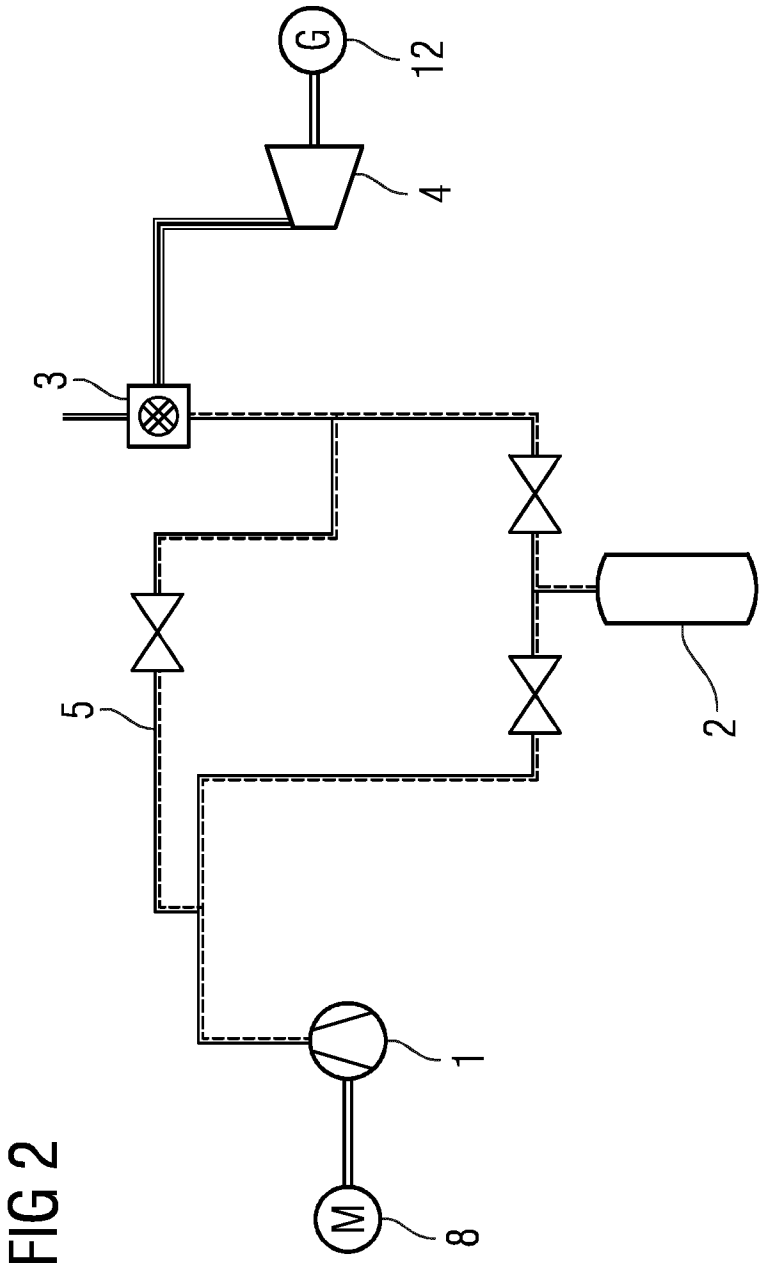


FIG 3

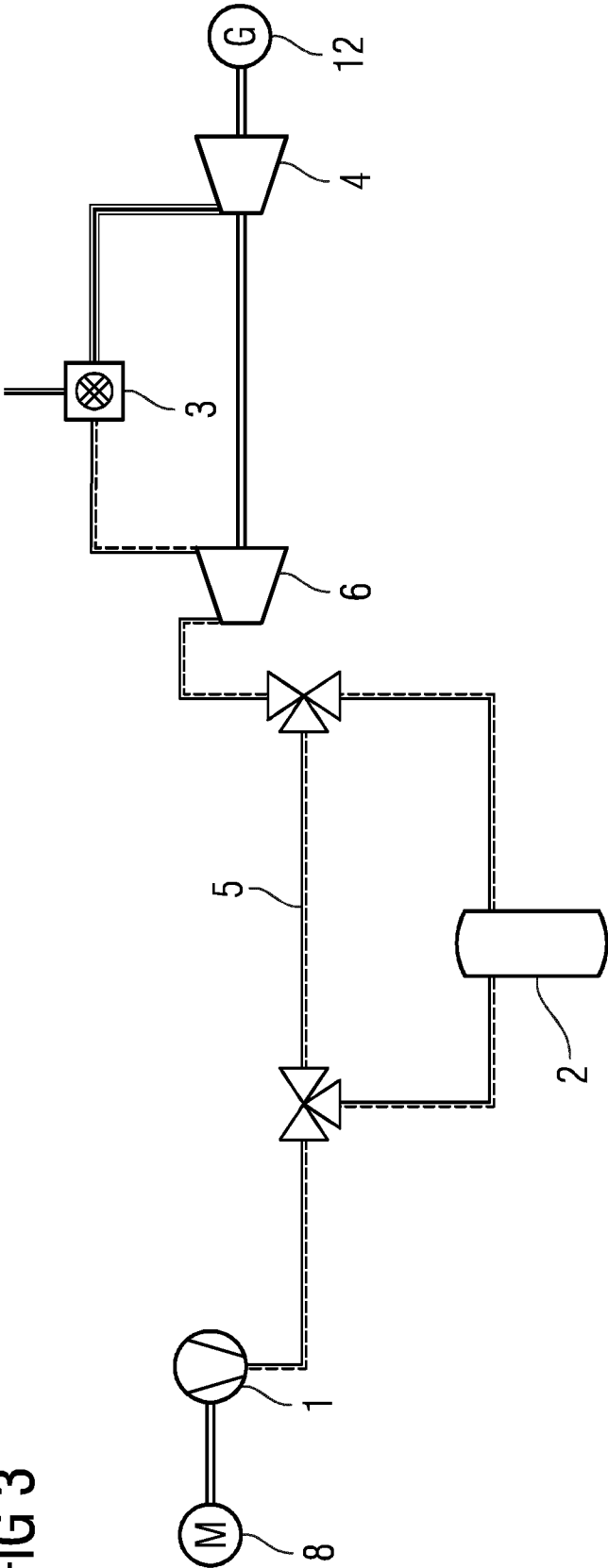


FIG 4

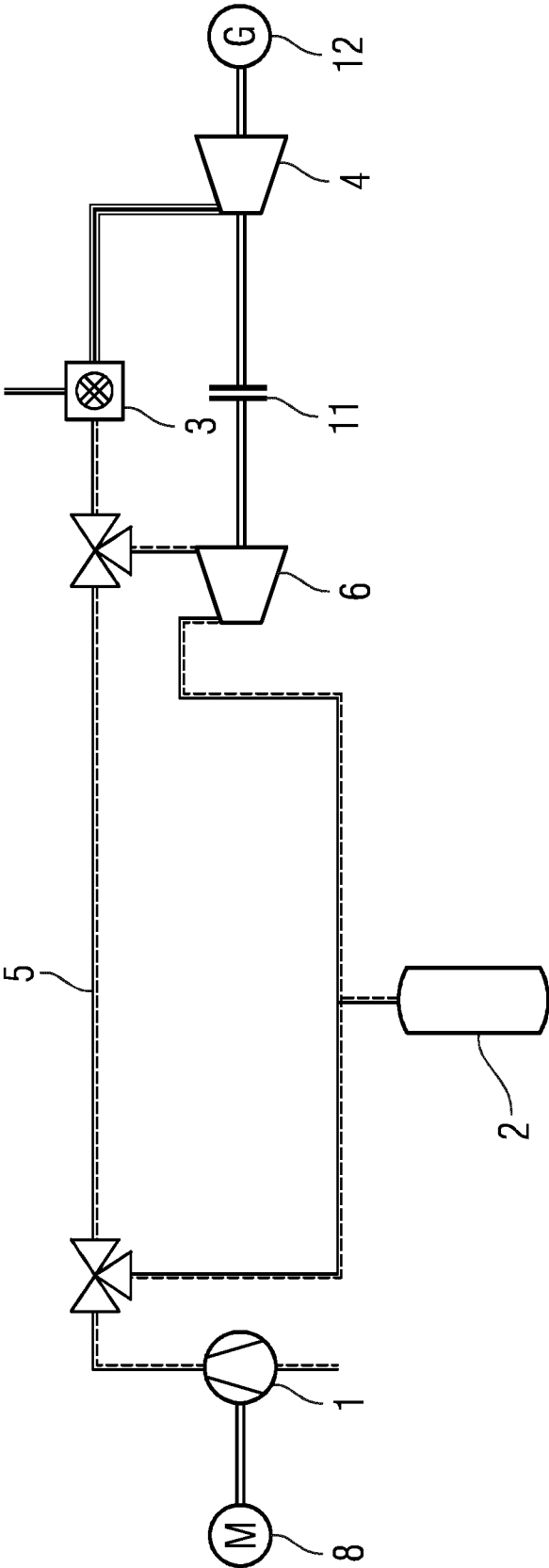
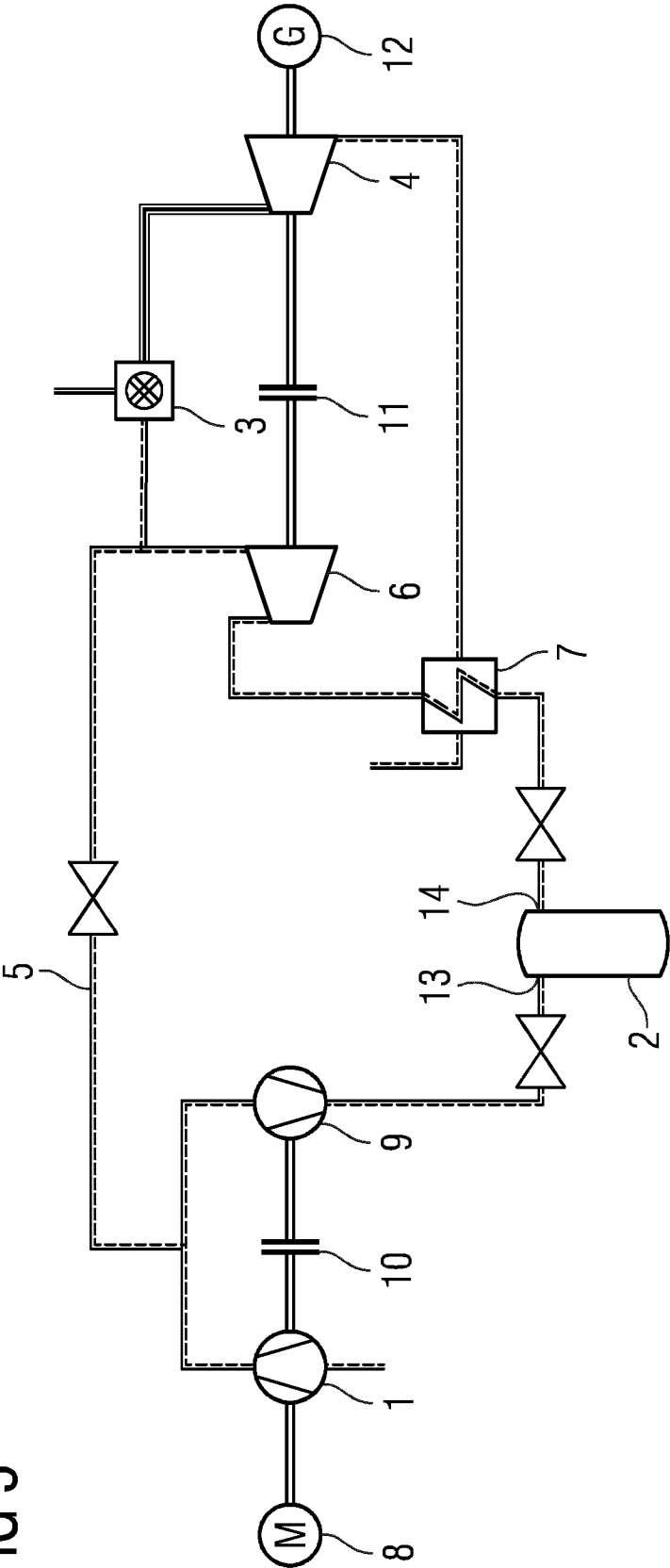


FIG 5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/063682

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**F02C 6/16**(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)

F02C

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP H0245622 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 15 February 1990 (1990-02-15) figures 1-4 pages 127-129	1-10
X	US 2001000091 A1 (NAKHAMKIN MICHAEL [US] ET AL) 05 April 2001 (2001-04-05) figures 1a-9 paragraphs [0001] - [0009], [0023] - [0062]	1, 5
X	US 5845479 A (NAKHAMKIN MICHAEL [US] ET AL) 08 December 1998 (1998-12-08) figures 1-6 column 1, line 4 - column 4, line 42 column 5, line 7 - column 10, line 23	1,5

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ 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

18 July 2024

Date of mailing of the international search report

25 September 2024

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands (Kingdom of the)

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Rakotonanahary, S

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2024/063682

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
JP	H0245622	A	15 February 1990	NONE			
US			2001000091	A1			05 April 2001
				AU	4082099	A	24 January 2000
				CA	2335558	A1	13 January 2000
				CN	1308708	A	15 August 2001
				DE	69936303	T2	14 February 2008
				EP	1095212	A1	02 May 2001
				ES	2286884	T3	01 December 2007
				HK	1038390	A1	15 March 2002
				JP	3530136	B2	24 May 2004
				JP	2002519580	A	02 July 2002
				US	6038849	A	21 March 2000
				US	6134873	A	24 October 2000
				US	6305158	B1	23 October 2001
				US	2001000091	A1	05 April 2001
				WO	0001934	A1	13 January 2000
US			5845479	A			08 December 1998
				NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. F02C6/16 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) F02C		
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		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	JP H02 45622 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 15. Februar 1990 (1990-02-15) Abbildungen 1-4 Seiten 127-129 -----	1 - 10
X	US 2001/000091 A1 (NAKHAMKIN MICHAEL [US] ET AL) 5. April 2001 (2001-04-05) Abbildungen 1a-9 Absätze [0001] - [0009], [0023] - [0062] -----	1,5
X	US 5 845 479 A (NAKHAMKIN MICHAEL [US] ET AL) 8. Dezember 1998 (1998-12-08) Abbildungen 1-6 Spalte 1, Zeile 4 - Spalte 4, Zeile 42 Spalte 5, Zeile 7 - Spalte 10, Zeile 23 -----	1,5
☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ 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 18. Juli 2024		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 25/09/2024
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 Rakotonanahary, S

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2024/063682

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP H0245622	A	15-02-1990	KEINE

US 2001000091	A1	05-04-2001	AU 4082099 A 24-01-2000
			CA 2335558 A1 13-01-2000
			CN 1308708 A 15-08-2001
			DE 69936303 T2 14-02-2008
			EP 1095212 A1 02-05-2001
			ES 2286884 T3 01-12-2007
			HK 1038390 A1 15-03-2002
			JP 3530136 B2 24-05-2004
			JP 2002519580 A 02-07-2002
			US 6038849 A 21-03-2000
			US 6134873 A 24-10-2000
			US 6305158 B1 23-10-2001
			US 2001000091 A1 05-04-2001
			WO 0001934 A1 13-01-2000

US 5845479	A	08-12-1998	KEINE
