

(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
09. Januar 2020 (09.01.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/007620 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F02C 7/08 (2006.01) F02C 7/143 (2006.01)
F02C 6/04 (2006.01) F02C 7/16 (2006.01)
F02C 6/18 (2006.01)

(71) Anmelder: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
[DE/DE]; Werner-von-Siemens-Straße 1, 80333 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/066460

(22) Internationales Anmeldedatum:
21. Juni 2019 (21.06.2019)

(72) Erfinder: GRAEBER, Carsten; Eifelweg 7, 91056 Erlangen (DE). JURETZEK, Uwe; Wenzelstraße 43, 91058 Erlangen (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

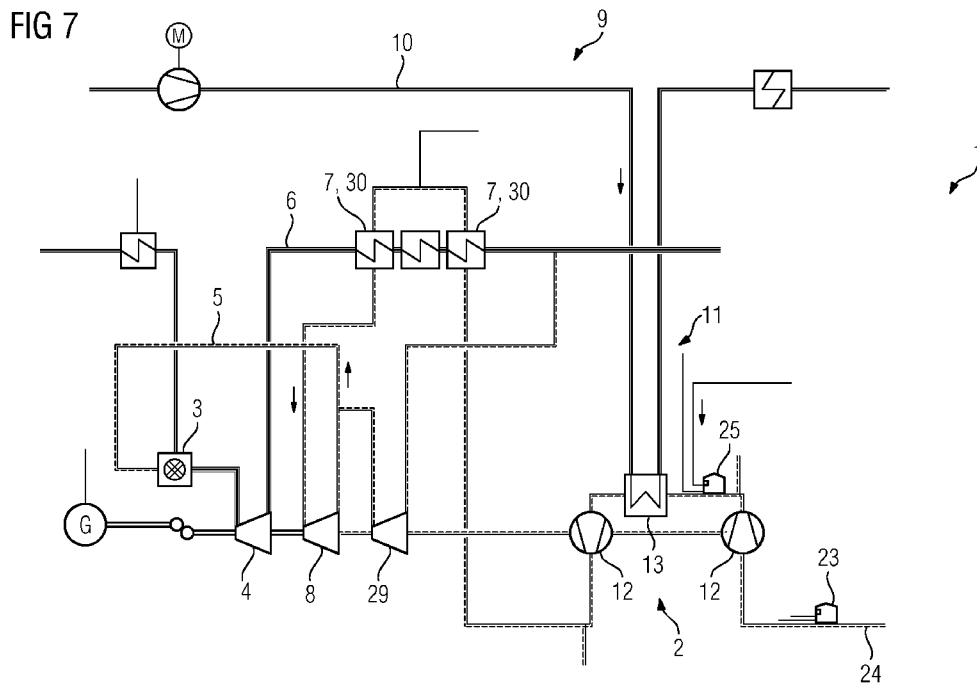
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
18181921.0 05. Juli 2018 (05.07.2018) EP

(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, 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,

(54) Title: EXPANDED GAS TURBINE PROCESS WITH NATURAL GAS REGASIFICATION

(54) Bezeichnung: ERWEITERTER GASTURBINENPROZESS MIT ERDGASREGASIFIZIERUNG



(57) Abstract: The invention relates to a power plant (1) with a multi-stage intercooled compressor (2), a combustion chamber (3), a turbine (4) which is arranged downstream of the combustion chamber (3), a compressor air line (5) which connects the compressor (2) to the combustion chamber (3), and a first heat exchanger (7) which is connected into the compressor air line (5) and into an exhaust gas line (6) branching off from the turbine (4). A first compressor air expander (8) is arranged in the compressor air line (5) between the first heat exchanger (7) and the combustion chamber (3), and the power plant (1) comprises a device (9) for regasifying liquid natural gas, comprising a natural gas line (10), wherein a heat exchanger device (11) is connected into the natural gas line (10) between two compressor stages (12) of the compressor (2). The invention additionally relates to a method for operating such a power plant (1).



WO 2020/007620 A1

SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, 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)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Kraftwerksanlage (1) mit mehrstufigem, zwischengekühltem Verdichter (2), einer Brennkammer (3), einer der Brennkammer (3) nachgeschalteten Turbine (4), einer Verdichterluftleitung (5), die den Verdichter (2) mit der Brennkammer (3) verbindet und einen in die Verdichterluftleitung (5) und in eine von der Turbine (4) abzweigende Abgasleitung (6) geschalteten ersten Wärmeübertrager (7), wobei ein erster Verdichterluftexpander (8) zwischen erstem Wärmeübertrager (7) und Brennkammer (3) in der Verdichterluftleitung (5) angeordnet ist, wobei die Kraftwerksanlage (1) eine Einrichtung (9) zur Regasifizierung flüssigen Erdgases mit einer Erdgasleitung (10) umfasst, wobei eine Wärmeübertragungseinrichtung (11) zwischen zwei Verdichterstufen (12) des Verdichters (2) und in die Erdgasleitung (10) geschaltet ist. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Betreiben einer solchen Kraftwerksanlage (1).

Beschreibung

Erweiterter Gasturbinenprozess mit Erdgasregasifizierung

5 Die Erfindung betrifft eine Kraftwerksanlage sowie ein Verfahren zu deren Betrieb.

10 Üblicherweise wird flüssiges Erdgas (LNG [= liquid natural gas], -162°C) mit Umgebungswärme (beispielsweise Luft oder Meerwasser) oder chemischer Wärme verdampft. Alternativ wurden Konzepte entwickelt, die über kaskadierende ORC-Kreisläufe eine energetische Nutzung der Tieftemperaturkälte zum Ziel hatten.

15 Aufgabe der Erfindung ist es, eine Kraftwerksanlage bereitzustellen, die eine energetisch und wirtschaftlich verbesserte Verdampfung, insbesondere an den großen LNG-Terminals, ermöglicht und die zugleich möglichst einfach im Aufbau und kostengünstig ist. Eine weitere Aufgabe der
20 Erfindung ist es, ein entsprechendes Verfahren zum Betrieb einer solchen Kraftwerksanlage anzugeben.

Die Erfindung löst die auf eine Kraftwerksanlage gerichtete Aufgabe, indem sie vorsieht, dass eine derartige
25 Kraftwerksanlage mit mehrstufigem, zwischengekühltem Verdichter, einer Brennkammer, einer der Brennkammer nachgeschalteten Turbine, einer Verdichterluftleitung, die den Verdichter mit der Brennkammer verbindet, und einen in die Verdichterluftleitung und in eine von der Turbine
30 abzweigende Abgasleitung geschalteten ersten Wärmeübertrager, wobei ein erster Verdichterluftexpander zwischen erstem Wärmeübertrager und Brennkammer in der Verdichterluftleitung angeordnet ist, eine Einrichtung zur Regasifizierung flüssigen Erdgases mit einer Erdgasleitung umfasst, wobei
35 eine Wärmeübertragungseinrichtung zwischen zwei Verdichterstufen des Verdichters und in die Erdgasleitung geschaltet ist.

Durch Kopplung der LNG-Verdampfung an einen optimierten, rekuperierten Gasturbinen-Prozess wird es möglich, eine maximale Nutzung der Tieftemperaturkälte zur Stromerzeugung mit höchsten Wirkungsgraden und minimalen Kosten zu erreichen.

Ausschlaggebend ist hierbei eine optimale Prozessverschaltung mit reduzierter Anlagenkomplexität und einer minimalen Anzahl rotierender Komponenten.

10 In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung umfasst die Wärmeübertragungseinrichtung einen zweiten Wärmeübertrager, der zwischen zwei Verdichterstufen und in die Erdgasleitung geschaltet ist. Um die Kälte aus der LNG-Verdampfung in den eigentlichen Gasturbinen-Arbeitsprozess zu übertragen, wird der LNG-Strom direkt zur Zwischenkühlung der Luftverdichtung im rekuperierten Gasturbinen-Prozess genutzt. 15 Eine maximale Kühlung in der Luftverdichtung resultiert in einer minimalen Leistungsanforderung des Verdichters d.h. einer signifikanten Erhöhung des Prozesswirkungsgrades. Dies ist umso wichtiger, da die Luftverdichtung bis auf einen deutlich höheren Druck erfolgt, als für den reinen Gasturbinen-Betrieb notwendig wäre, da ein zusätzliches Gefälle für den Heißluftexpander erzeugt werden muss. Mit dem Einsatz des zweiten Wärmeübertragers, der für eine 25 Wärmeübertragung von verdichteter Luft auf das zu regasifizierende Erdgas sorgt - derartige Wärmeübertrager werden auch als Rekuperatoren bezeichnet -, ergeben sich aufgrund der geringen Aufwendungen auf der Materialseite Kosten- und Performancevorteile. Bei dieser Ausführungsform ist die LNG-Seite aber an den Arbeitskreislauf gekoppelt, was 30 sicherheitstechnisch berücksichtigt werden muss.

Um diesen Nachteil von vornweg auszuschließen, sieht eine alternative vorteilhafte Ausführungsform vor, dass die 35 Wärmeübertragungseinrichtung einen Stickstoffkreislauf mit einer Stickstoffleitung umfasst, in die ein dritter und ein vierter Wärmeübertrager geschaltet sind, wobei der dritte Wärmeübertrager zwischen zwei Verdichterstufen und der vierte

Wärmeübertrager in die Erdgasleitung geschaltet ist. Bei dieser Ausführungsform wird der Stickstoff maximal gekühlt ($< -120^{\circ}\text{C}$), um ihn dann als Kühlmedium für die Luftverdichtung des rekuperierten Gasturbinen-Prozesses zu nutzen. Der vorgeschlagene Stickstoffkreislauf als reiner Zwischenkreislauf ohne Arbeitsverrichtung (nur ein Umlaufgebläse) kann vorteilhaft so ausgelegt werden, dass der Stickstoffsystemdruck über dem LNG-Druck liegt, so dass bei möglichen Leckagen im LNG-Verdampfer sicherheitsunkritisch inerter Stickstoff auf die LNG-Seite übertritt.

Vorteilhafter Weise umfasst der Stickstoffkreislauf einen fünften Wärmeübertrager, der einerseits in Strömungsrichtung des Stickstoffs nach dem dritten und vor dem vierten Wärmeübertrager in die Stickstoffleitung und andererseits in die Abgasleitung geschaltet ist. Damit kann der bereits von der Verdichterluft erwärmte Stickstoff weiter erwärmt werden.

Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn in die Erdgasleitung in Strömungsrichtung des Erdgases nach der Wärmeübertragungseinrichtung ein Erdgasexpander geschaltet ist, um einen maximalen Wirkungsgrad zu erreichen.

Dabei ist es zweckmäßig, wenn in die Erdgasleitung ein sechster Wärmeübertrager vor und ein siebter Wärmeübertrager nach dem Erdgasexpander angeordnet sind, um Erdgas vor und nach der Expansion aufzuwärmen. Die Wärme, die in den sechsten und siebten Wärmeübertragern auf das Erdgas übertragen wird, kann dabei als Niedertemperaturwärme aus der Kraftwerksanlage stammen, beispielsweise aus einem Schmierölkreislauf. Generell bieten sich alle Prozesswärmen bis ca. 150°C an, so dass dieses Konzept sein maximales Potenzial entfalten kann.

Es ist weiter zweckmäßig, wenn in die Erdgasleitung ein zwölfter Wärmeübertrager zwischen Wärmeübertragungseinrichtung und Erdgasexpander und in die Abgasleitung geschaltet ist. Mit diesem zwölften

Wärmeübertrager kann weitere Wärme aus dem Abgas mit dem Erdgasexpander genutzt werden.

5 Es ist vorteilhaft, wenn die Kraftwerksanlage einen Wasser-Glykol-Kreislauf umfasst, mit einem achten Wärmeübertrager in einer Verdichteransaugluftleitung für die Kühlung und Trocknung der Verdichteransaugluft oder einem neunten Wärmeübertrager zwischen zwei Verdichterstufen zur Kühlung
10 und Trocknung der Verdichterluft, mit einem zehnten Wärmeübertrager, der in die Verdichterluftleitung nach dem Verdichter zur Erwärmung der Verdichterluft geschaltet ist, einen elften Wärmeübertrager zur weiteren Erwärmung des regasifizierten Erdgases, und einen zwölften Wärmeübertrager
15 zur Erwärmung eines Wasser-Glykol-Gemischs im Wasser-Glykol-Kreislauf.

Mit einem zusätzlichen Wasser-Glykol-Kreislauf kann eine optimale Wärmeverteilung im Prozess erreicht werden. Über
20 diesen Kreislauf wird Wärme aus der Luftkühlung zu der noch relativ kalten Seite nach der Luftverdichtung bzw. auf den Stickstoffkreislauf vor Eintritt in den Abgaswärmeübertrager bzw. auf das kalte Erdgas übertragen. Zusätzlich kann der Wasser-Glykol-Kreislauf (der mit Temperaturen $< 0^{\circ}\text{C}$ betrieben
25 wird) genutzt werden, um weitere Abwärmen z.B. aus dem Generatorkühler oder auch der Ansaugluftkühlung aufzunehmen und einer energetischen Verwendung im Gesamtprozess zuzuführen. Da die Luftkühlung je nach Anwendung bei Temperaturen $< -100^{\circ}\text{C}$ bzw. bis $< -150^{\circ}\text{C}$ erfolgen soll, ist es
30 zwingend erforderlich, das in der Luft enthaltene Wasser vor der eigentlichen Tieftemperaturkühlung abzutrennen. Bevorzugt wird dabei nach einer ersten Verdichtung mit Hilfe des Wasser-Glykol-Kreislaufes der Wasseranteil auskondensiert. Alternative Verfahren der Wasser- / (CO_2) -Abtrennung sind
35 ebenfalls möglich. Der elfte Wärmeübertrager zur weiteren Erwärmung des regasifizierten Erdgases kann entweder direkt in die Erdgasleitung, oder bei Vorhandensein eines

Stickstoffkreislaufes auch in diesen geschaltet sein und das Erdgas indirekt über den Stickstoffkreislauf weiter erwärmen.

Durch den Einsatz des Verdichterluftexpanders kann die
5 Abgaswärme maximal genutzt werden, da in diesem Fall für die
Wärmeübertragung nur das Temperaturlimit des Expanders
beachtet werden muss, welches signifikant über dem
Temperaturlimit des nachfolgenden Gasturbinen-Bereichs
(Brennkammer + Kühlluftsystem) liegt. Es ist daher
10 vorteilhaft, wenn ein zweiter Verdichterluftexpander stromab
des ersten Verdichterluftexpanders angeordnet ist und
eingangsseitig mit der Verdichterluftleitung an einer
Position hinter dem ersten Verdichterluftexpander verbunden
ist und ausgangsseitig in die Abgasleitung mündet.

15 Die auf ein Verfahren gerichtete Aufgabe wird gelöst durch
ein Verfahren zum Betreiben einer Kraftwerksanlage mit einem
mehrstufigen, zwischengekühlten Verdichter, einer Brennkammer
und einer Turbine, bei dem ein Austrittsdruck des Verdichters
20 höher gewählt wird, als ein erforderlicher
Turbineneintrittsdruck und bei dem die Verdichterluft vor der
Verbrennung expandiert wird, bei dem flüssiges Erdgas mit bei
der Verdichtung von Luft entstehender Wärme regasifiziert
wird.

25 Aus Sicherheitsgründen kann es sinnvoll sein, wenn Wärme über
einen zwischengeschalteten Stickstoffkreislauf von der
Verdichterluft auf das Erdgas übertragen wird.

30 Zur weiteren Verbesserung des Prozesses ist es zweckmäßig,
wenn flüssiges Erdgas auf Druck gebracht, regasifiziert und
anschließend zur Energiegewinnung entspannt wird.

Dabei ist es vorteilhaft, wenn regasifiziertes Erdgas vor und
35 nach der Entspannung durch eine weitere Wärmequelle erwärmt
wird.

Schließlich ist es vorteilhaft, wenn mit Hilfe eines Wasser-Glykol-Kreislaufs Verdichteransaugluft gekühlt und getrocknet wird.

5 Die Erfindung weist mehrere Vorteile auf. Zum einen benötigt die Kraftwerksanlage nach der Erfindung für ihren Betrieb kein Zusatzwasser. Die Prozessstruktur ist vergleichsweise einfach und ermöglicht somit auch eine vergleichsweise einfache Regelung. Die erfinderische Kraftwerksanlage ist
10 extrem kostengünstig, da nur eine minimale Anzahl von rotierenden Komponenten benötigt wird und sie bietet sicherheitstechnische Vorteile für die Einbindung in das LNG-System (wenige Schnittstellen, unproblematisches Leckagenhandling). Dabei ist die Konzeptperformance
15 unabhängig vom LNG-Systemdruck. Je nach Ausführungsform lassen sich maximale Anlagenwirkungsgrade von bis zu 73% erreichen.

Die Erfindung wird beispielhaft anhand der Zeichnungen näher
20 erläutert. Es zeigen schematisch und nicht maßstäblich:

Figur 1 eine Kraftwerksanlage mit Stickstoffkreislauf,
Figur 2 eine Kraftwerksanlage mit Erdgasexpander,
Figur 3 eine Kraftwerksanlage ohne Stickstoffkreislauf und
25 ohne Erdgasexpander,
Figur 4 eine Kraftwerksanlage ohne Stickstoffkreislauf und mit Erdgasexpander,
Figur 5 eine Kraftwerksanlage ohne Stickstoffkreislauf und ohne Wasser-Glykol-Kreislauf aber mit
30 Erdgasexpander,
Figur 6 eine Kraftwerksanlage mit zwei Luftexpandern und einem Erdgasexpander und
Figur 7 eine Kraftwerksanlage mit zwei Luftexpandern aber ohne Erdgasexpander.

35

Die Figur 1 zeigt schematisch und beispielhaft eine Kraftwerksanlage 1 mit mehrstufigem, zwischengekühltem Verdichter 2, einer Brennkammer 3 und einer der Brennkammer 3

nachgeschalteten Turbine 4. Eine Verdichterluftleitung 5 verbindet den Verdichter 2 mit der Brennkammer 3 und eine Abgasleitung 6 zweigt von der Turbine 4 ab. Ein erster Wärmeübertrager 7 ist in die Verdichterluftleitung 5 und in die Abgasleitung 6 geschaltet. Er kann, wie in Figur 1 gezeigt, auch aus Wärmeübertragermodulen 30 aufgebaut sein. Dies ist dann sinnvoll, wenn, wie in Figur 1 angedeutet aber nicht näher bezeichnet, beispielsweise ein weiterer Wärmeübertrager oder eine andere Vorrichtung an dieser Stelle des Abgaspfades angeordnet werden soll. Ferner ist ein erster Verdichterluftexpander 8 zwischen erstem Wärmeübertrager 7 und Brennkammer 3 in der Verdichterluftleitung 5 angeordnet. Die Figur 1 zeigt ferner das erfindungsgemäße Merkmal, wonach die Kraftwerksanlage 1 eine Einrichtung 9 zur Regasifizierung flüssigen Erdgases mit einer Erdgasleitung 10 umfasst, wobei eine Wärmeübertragungseinrichtung 11 zwischen zwei Verdichterstufen 12 des Verdichters 2 und in die Erdgasleitung 10 geschaltet ist.

Dabei umfasst in der Ausführungsform der Figur 1 die Wärmeübertragungseinrichtung 11 einen Stickstoffkreislauf 14 mit einer Stickstoffleitung 15. In die Stickstoffleitung 15 sind ein dritter 16 und ein vierter Wärmeübertrager 17 geschaltet, wobei der dritte Wärmeübertrager 16 zwischen zwei Verdichterstufen 12 und der vierte Wärmeübertrager 17 in die Erdgasleitung 10 geschaltet ist. Mit diesen beiden Wärmeübertragern 16 und 17 kann der Stickstoffkreislauf 14 seine Funktion, die verdichtete Luft zu kühlen bzw. das flüssige Erdgas zu regasifizieren bereits erfüllen. Der Gesamtwirkungsgrad der Kraftwerksanlage 1 kann aber verbessert werden, wenn der Stickstoffkreislauf 14 ferner einen fünften Wärmeübertrager 18 umfasst, der einerseits in Strömungsrichtung des Stickstoffs nach dem dritten 16 und vor dem vierten Wärmeübertrager 17 in die Stickstoffleitung 15 und andererseits in die Abgasleitung 6 geschaltet ist, wo Abwärme aus dem Gasturbinenprozess für eine weitere Erwärmung des Stickstoffs genutzt werden kann.

Die Ausführungsform der Figur 1 umfasst ferner einen Wasser-Glykol-Kreislauf 22 mit einem achten Wärmeübertrager 23 in einer Verdichteransaugluftleitung 24 für die Kühlung und Trocknung der Verdichteransaugluft und einem neunten
5 Wärmeübertrager 25 zwischen zwei Verdichterstufen 12 zur Kühlung und Trocknung der Verdichterluft, mit einem zehnten Wärmeübertrager 26, der in die Verdichterluftleitung 5 nach dem Verdichter 2 zur Erwärmung der Verdichterluft geschaltet ist, einen elften Wärmeübertrager 27, der zur indirekten
10 Erwärmung des regasifizierten Erdgases in die Stickstoffleitung 15 des Stickstoff-Kreislaufs 14 geschaltet ist, und einen zwölften Wärmeübertrager 28 zur Erwärmung eines Wasser-Glykol-Gemischs im Wasser-Glykol-Kreislauf 22, bevor dieses Wärme an das Erdgas abgibt.

15 Figur 2 zeigt eine Ausführungsform, die zusätzlich zur Ausführungsform der Figur 1 einen in die Erdgasleitung 10 geschalteten Erdgasexpander 19 umfasst, der in Strömungsrichtung des Erdgases nach der Wärmeübertragungseinrichtung
20 11 in die Erdgasleitung 10 geschaltet ist. Durch diese Maßnahme wird zwar der Investitionsaufwand größer, aber auch der Wirkungsgrad der Gesamtanlage verbessert sich signifikant.

25 Figur 3 zeigt eine Ausführungsform der Kraftwerksanlage 1, die sich von der in der Figur 1 gezeigten dadurch unterscheidet, dass der Stickstoffkreislauf 14 entfällt und somit die Kraftwerksanlage 1 viel kompakter ausfällt und ihre Effizienz zunimmt, da keine Verluste über den Stickstoff-
30 kreislauf 14 anfallen. Figur 3 zeigt daher einen zweiten Wärmeübertrager 13, der zwischen zwei Verdichterstufen 12 und in die Erdgasleitung 10 geschaltet ist. Ferner unterscheidet sich die Ausführungsform der Figur 3 von den zuvor gezeigten dadurch, dass der elfte Wärmeübertrager 27 nun direkt in die
35 Erdgasleitung 10 geschaltet ist und nicht mehr, wie in den vorhergehenden Ausführungsbeispielen, in die Stickstoffleitung 15.

Entsprechend zeigt die Figur 4 eine Ausführungsform, die sich von der in der Figur 2 gezeigten im Wesentlichen durch den Wegfall des Stickstoffkreislaufs 14 unterscheidet. Wie die Figur 2 weist sie einen Erdgasexpander 19 auf. Ferner sind in
5 der Figur 4 in der Erdgasleitung 10 ein sechster Wärmeübertrager 20 vor und ein siebter Wärmeübertrager 21 nach dem Erdgasexpander 19 angeordnet, um Erdgas vor und nach der Expansion zusätzlich aufzuwärmen. Der sechste Wärmeübertrager 20 sorgt für eine weitere Erwärmung des
10 Erdgases vor der Entspannung, so dass der Nutzen der Entspannung gesteigert wird. Der siebte Wärmeübertrager 21 erwärmt das bei der Entspannung abgekühlte Erdgas und bringt es auf eine netztaugliche Temperatur.

15 Figur 5 zeigt eine Kraftwerksanlage 1 ohne Stickstoffkreislauf 14 und ohne Wasser-Glykol-Kreislauf 22 aber mit Erdgasexpander 19. Die Investitionskosten sind vergleichsweise gering. Es treten keine Wirkungsgradverluste über einen Stickstoffkreislauf 14 auf. Die Anlageneffizienz
20 ist hoch, u.a. wegen des Erdgasexpanders 19. Ein zwölfter Wärmeübertrager 31, der sowohl in die Erdgasleitung 10 als auch in die Abgasleitung 6 geschaltet ist, ermöglicht es, noch verfügbare Abgaswärme über den Erdgasexpander 19 nutzbringend einzusetzen.

25 Eine weitere Steigerung der Nutzung verfügbarer Wärme zeigen die Figuren 6 und 7. Die beiden Ausführungsformen umfassen zusätzlich zu dem bisher gezeigten einen zweiten Verdichterluftexpander 29, der den Teil der Luft, die nicht
30 der Verbrennung zugeführt wird, weiter zur Gewinnung elektrischer Energie entspannt, wobei die entspannte Luft in die Abgasleitung 6 abgegeben wird. Die Ausführungsformen der Figuren 6 und 7 unterscheiden sich lediglich darin, dass in der Figur 6 noch der Erdgasexpander 19 in der Erdgasleitung
35 10 vorgesehen ist und in der Figur 7 auf ihn verzichtet wird, so dass die Ausführungsform der Figur 7 als im Hinblick auf reduzierte Anlagenkomplexität optimierte Variante der Erfindung gesehen werden kann, ohne Zwischenkreisläufe und

ohne zusätzliche rotierende Komponenten in brenngasführenden Leitungen.

Patentansprüche

1. Kraftwerksanlage (1) mit mehrstufigem, zwischengekühltem Verdichter (2), einer Brennkammer (3), einer der
5 Brennkammer (3) nachgeschalteten Turbine (4), einer Verdichterluftleitung (5), die den Verdichter (2) mit der Brennkammer (3) verbindet und einen in die Verdichterluftleitung (5) und in eine von der Turbine (4) abzweigende Abgasleitung (6) geschalteten ersten
10 Wärmeübertrager (7), wobei ein erster Verdichterluftexpander (8) zwischen erstem Wärmeübertrager (7) und Brennkammer (3) in der Verdichterluftleitung (5) angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Kraftwerksanlage (1) eine Einrichtung (9) zur Regasifizierung
15 flüssigen Erdgases mit einer Erdgasleitung (10) umfasst, wobei eine Wärmeübertragungseinrichtung (11) zwischen zwei Verdichterstufen (12) des Verdichters (2) und in die Erdgasleitung (10) geschaltet ist.
- 20 2. Kraftwerksanlage (1) nach Anspruch 1, wobei die Wärmeübertragungseinrichtung (11) einen zweiten Wärmeübertrager (13) umfasst, der zwischen zwei Verdichterstufen (12) und in die Erdgasleitung (10) geschaltet ist.
- 25 3. Kraftwerksanlage (1) nach Anspruch 1, wobei die Wärmeübertragungseinrichtung (11) einen Stickstoffkreislauf (14) mit einer Stickstoffleitung (15) umfasst, in die ein dritter (16) und ein vierter
30 Wärmeübertrager (17) geschaltet sind, wobei der dritte Wärmeübertrager (16) zwischen zwei Verdichterstufen (12) und der vierte Wärmeübertrager (17) in die Erdgasleitung (10) geschaltet ist.
- 35 4. Kraftwerksanlage (1) nach Anspruch 3, wobei der Stickstoffkreislauf (14) einen fünften Wärmeübertrager (18) umfasst, der einerseits in Strömungsrichtung des Stickstoffs nach dem dritten (16) und vor dem vierten

Wärmeübertrager (17) in die Stickstoffleitung (15) und andererseits in die Abgasleitung (6) geschaltet ist.

5. Kraftwerksanlage (1) nach einem der vorhergehenden
5 Ansprüche, wobei in die Erdgasleitung (10) in Strömungsrichtung des Erdgases nach der Wärmeübertragungseinrichtung (11) ein Erdgasexpander (19) geschaltet ist.
- 10 6. Kraftwerksanlage (1) nach Anspruch 5, wobei in die Erdgasleitung (10) ein sechster Wärmeübertrager (20) vor und ein siebter Wärmeübertrager (21) nach dem Erdgasexpander (19) angeordnet sind, um Erdgas vor und nach der Expansion aufzuwärmen.
- 15 7. Kraftwerksanlage (1) nach Anspruch 5, wobei in die Erdgasleitung (10) ein zwölfter Wärmeübertrager (31) zwischen Wärmeübertragungseinrichtung (11) und Erdgasexpander (19) und in die Abgasleitung (6)
20 geschaltet ist.
8. Kraftwerksanlage (19) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner umfassend einen Wasser-Glykol-Kreislauf (22) mit einem achten Wärmeübertrager (23) in einer
25 Verdichteransaugluftleitung (24) für die Kühlung und Trocknung der Verdichteransaugluft oder einem neunten Wärmeübertrager (25) zwischen zwei Verdichterstufen (12) zur Kühlung und Trocknung der Verdichterluft, mit einem zehnten Wärmeübertrager (26), der in die Verdichter-
30 luftleitung (5) nach dem Verdichter (2) zur Erwärmung der Verdichterluft geschaltet ist, einen elften Wärmeübertrager (27) zur weiteren Erwärmung des regasifizierten Erdgases, und einen zwölften Wärmeübertrager (28) zur Erwärmung eines Wasser-Glykol-Gemischs im Wasser-Glykol-
35 Kreislauf (22).
9. Kraftwerksanlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein zweiter Verdichterluftexpander (29)

stromab des ersten Verdichterluftexpanders (8) angeordnet ist und eingangsseitig mit der Verdichterluftleitung (5) an einer Position hinter dem ersten Verdichterluftexpander (8) verbunden ist und ausgangsseitig in die Abgasleitung (6) mündet.

5
10
15
10. Verfahren zum Betreiben einer Kraftwerksanlage (1) mit einem mehrstufigen, zwischengekühlten Verdichter (2), einer Brennkammer (3) und einer Turbine (4), bei dem ein Austrittsdruck des Verdichters (2) höher gewählt wird, als ein erforderlicher Turbineneintrittsdruck und bei dem die Verdichterluft vor der Verbrennung expandiert wird, dadurch gekennzeichnet, dass flüssiges Erdgas mit bei der Verdichtung von Luft entstehender Wärme regasifiziert wird.

20
11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die Wärme über einen zwischengeschalteten Stickstoffkreislauf (14) von der Verdichterluft auf das Erdgas übertragen wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 oder 11, wobei flüssiges Erdgas auf Druck gebracht, regasifiziert und anschließend zur Energiegewinnung entspannt wird.

25
13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei regasifiziertes Erdgas vor und nach der Entspannung durch eine weitere Wärmequelle erwärmt wird.

30
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, wobei mit Hilfe eines Wasser-Glykol-Kreislaufs (22) Verdichteransaugluft gekühlt und getrocknet wird.

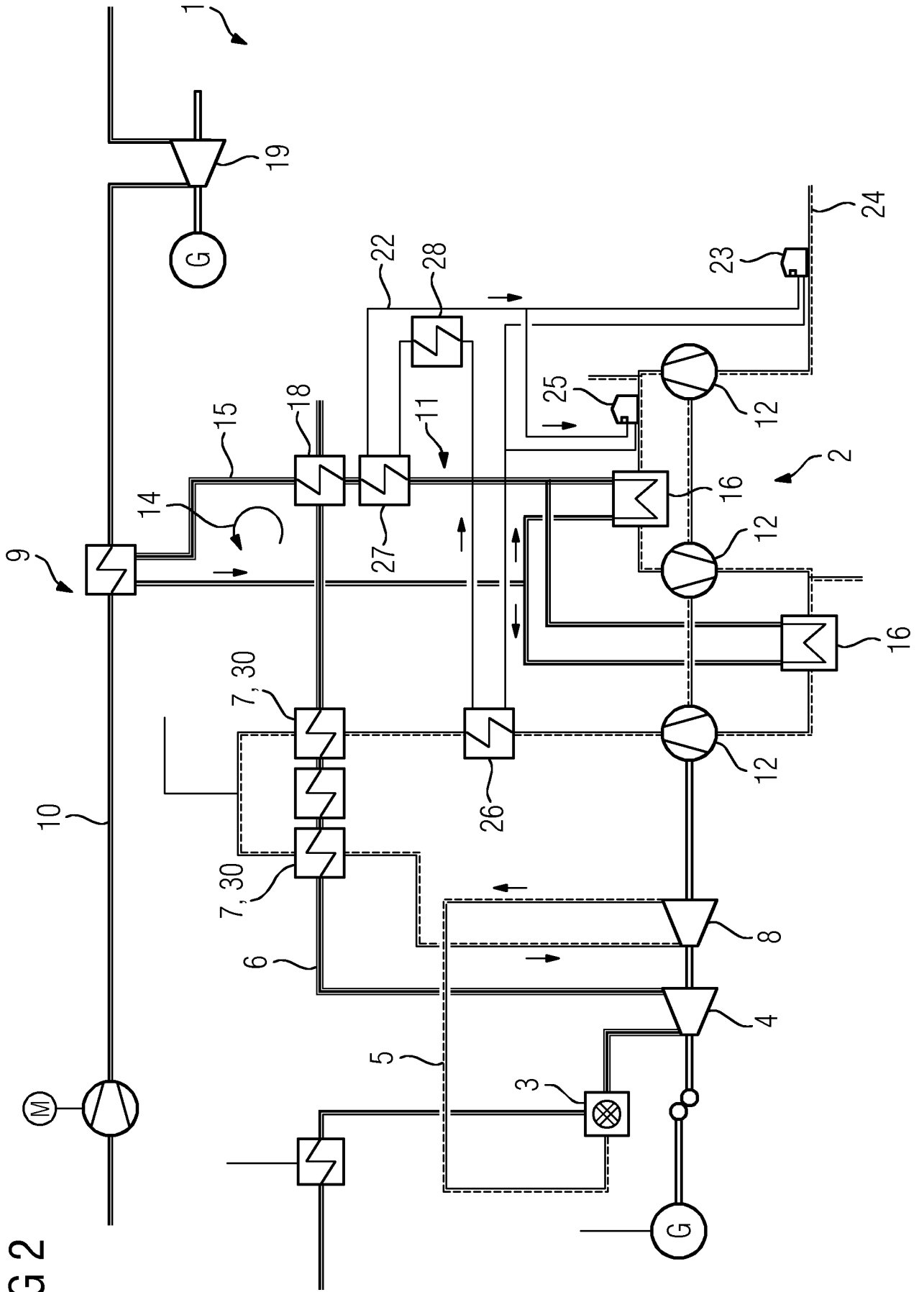


FIG 2

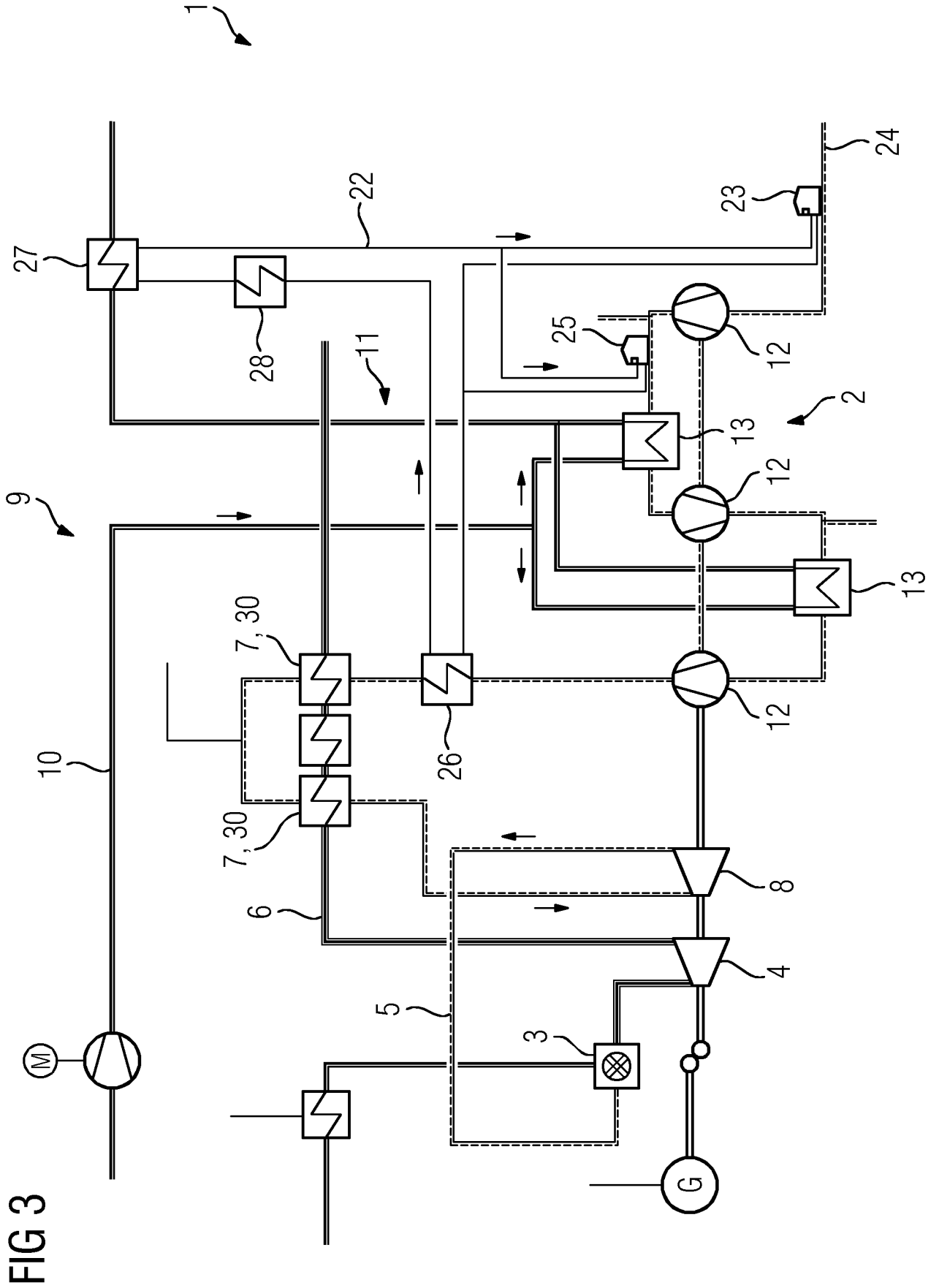


FIG 3

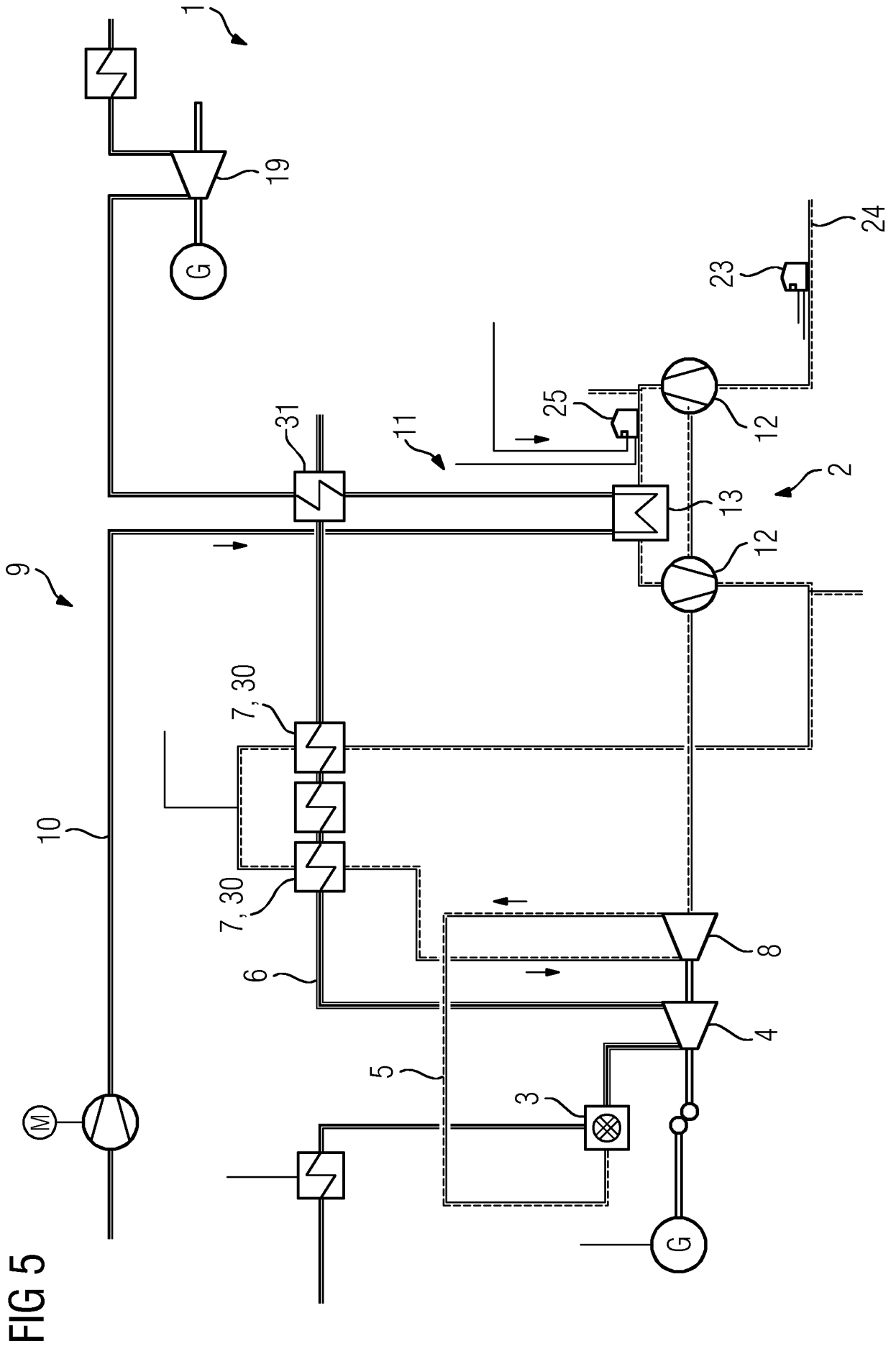
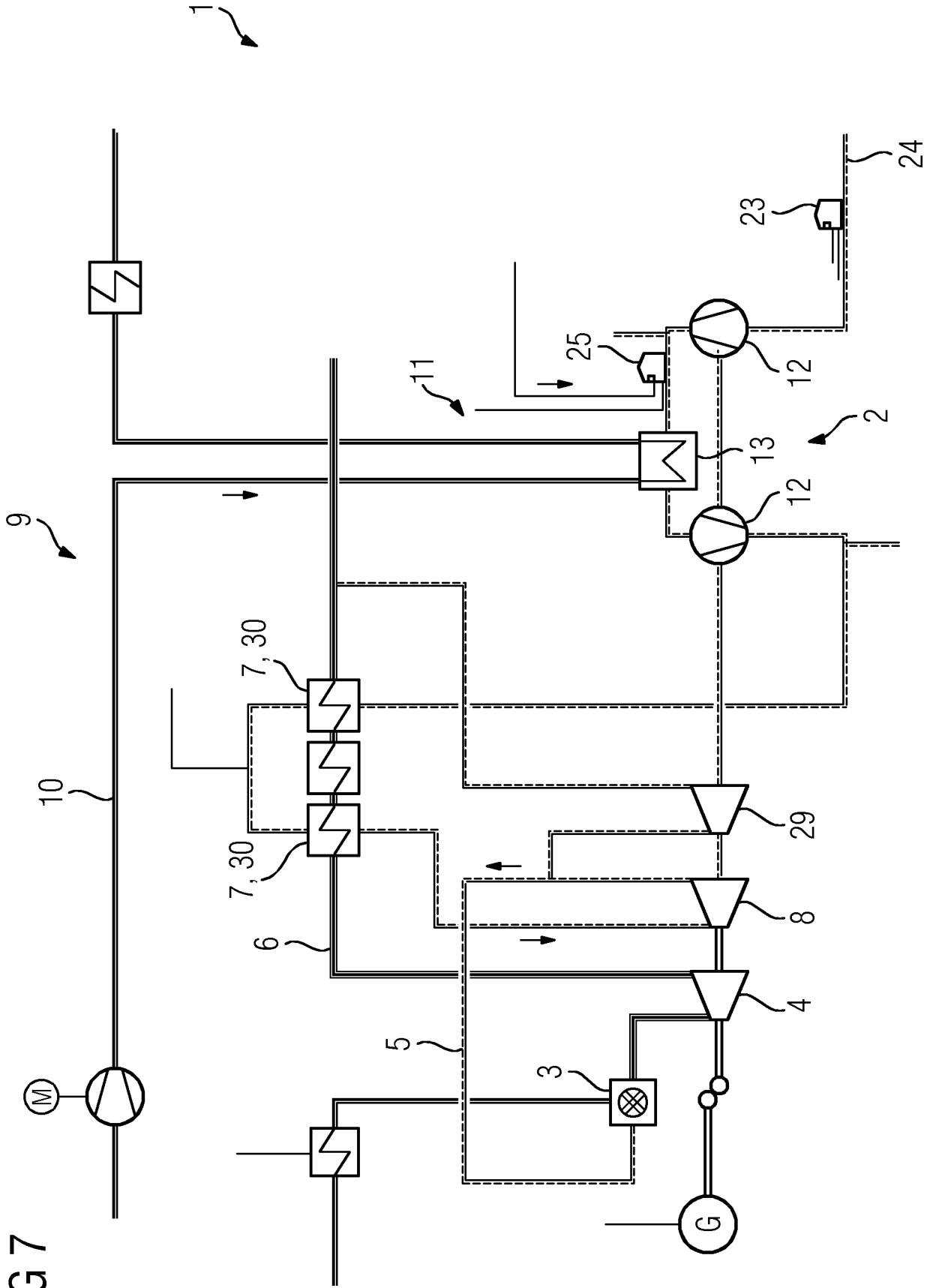


FIG 5

FIG 7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/066460

| A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER | | |
|--|---|--|
| <i>F02C 7/08</i> (2006.01)i; <i>F02C 6/04</i> (2006.01)i; <i>F02C 6/18</i> (2006.01)i; <i>F02C 7/143</i> (2006.01)i; <i>F02C 7/16</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) F02C; F02K | | |
| 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. |
| Y | JP S55153808 A (YAMAMOTO SETSUO) 01 December 1980 (1980-12-01) the whole document | 1,2,4-14 |
| Y | JP S55148907 A (YAMAMOTO SETSUO) 19 November 1980 (1980-11-19) the whole document | 1,3-14 |
| Y | DE 102006008600 A1 (NOPPER HELMUT [DE]) 16 August 2007 (2007-08-16) paragraph [0005] - paragraph [0011]; claim 1; figures 1,2 abstract | 1-14 |
| A | US 5295350 A (CHILD EDWARD T [US] ET AL) 22 March 1994 (1994-03-22) column 2, line 21 - column 14, line 54; claims; figure abstract | 1-14 |
| A | DE 2833599 A1 (ACEC) 15 February 1979 (1979-02-15) page 5, line 8 - page 9, paragraph 1; claims 1-5; figures 1,2 | 1-14 |
| A | DE 102006046246 A1 (GRIEPENTROG HARTMUT [DE]) 14 February 2008 (2008-02-14) paragraph [0022] - paragraph [0081]; claims; figures abstract | 1-14 |
| <input checked="" 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 17 October 2019 | | Date of mailing of the international search report 29 October 2019 |
| 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 Zerf, Georges Telephone No. |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/066460

| C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
|---|---|-----------------------|
| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| A | EP 0496283 A2 (LINDE AG [DE]) 29 July 1992 (1992-07-29) column 3, line 24 - column 4, line 16; claims 1-4; figures 1,2 abstract | 1-14 |
| | | |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/066460

| Patent document cited in search report | | | Publication date (day/month/year) | Patent family member(s) | Publication date (day/month/year) |
|--|--------------|----|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| JP | S55153808 | A | 01 December 1980 | NONE | |
| JP | S55148907 | A | 19 November 1980 | NONE | |
| DE | 102006008600 | A1 | 16 August 2007 | NONE | |
| US | 5295350 | A | 22 March 1994 | EP 0580910 A1 | 02 February 1994 |
| | | | | JP H0610697 A | 18 January 1994 |
| | | | | KR 940006305 A | 23 March 1994 |
| | | | | TW 221309 B | 21 February 1994 |
| | | | | US 5295350 A | 22 March 1994 |
| | | | | US 5394686 A | 07 March 1995 |
| DE | 2833599 | A1 | 15 February 1979 | BE 857421 A | 03 February 1978 |
| | | | | DE 2833599 A1 | 15 February 1979 |
| | | | | FR 2399542 A1 | 02 March 1979 |
| | | | | GB 2002057 A | 14 February 1979 |
| | | | | NL 7808126 A | 06 February 1979 |
| DE | 102006046246 | A1 | 14 February 2008 | DE 102006046246 A1 | 14 February 2008 |
| | | | | WO 2008017470 A1 | 14 February 2008 |
| EP | 0496283 | A2 | 29 July 1992 | DE 4102204 A1 | 30 July 1992 |
| | | | | EP 0496283 A2 | 29 July 1992 |
| | | | | JP H0670233 B2 | 07 September 1994 |
| | | | | JP H05179265 A | 20 July 1993 |
| | | | | KR 920015070 A | 26 August 1992 |
| | | | | TW 197466 B | 01 January 1993 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2019/066460

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. F02C7/08 F02C6/04 F02C6/18 F02C7/143 F02C7/16
 ADD.
 Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTER GEBIETE
 Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 F02C F02K

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. |
|------------|--|--------------------|
| Y | JP S55 153808 A (YAMAMOTO SETSUO) 1. Dezember 1980 (1980-12-01) das ganze Dokument ----- | 1,2,4-14 |
| Y | JP S55 148907 A (YAMAMOTO SETSUO) 19. November 1980 (1980-11-19) das ganze Dokument ----- | 1,3-14 |
| Y | DE 10 2006 008600 A1 (NOPPER HELMUT [DE]) 16. August 2007 (2007-08-16) Absatz [0005] - Absatz [0011]; Anspruch 1; Abbildungen 1,2 Zusammenfassung ----- -/-- | 1-14 |

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 | Absendedatum des internationalen Recherchenberichts |
| 17. Oktober 2019 | 29/10/2019 |

| | |
|--|--|
| 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 Zerf, Georges |
|--|--|

| C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN | | |
|---|---|--------------------|
| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
| A | US 5 295 350 A (CHILD EDWARD T [US] ET AL) 22. März 1994 (1994-03-22) Spalte 2, Zeile 21 - Spalte 14, Zeile 54; Ansprüche; Abbildung Zusammenfassung ----- | 1-14 |
| A | DE 28 33 599 A1 (ACEC) 15. Februar 1979 (1979-02-15) Seite 5, Zeile 8 - Seite 9, Absatz 1; Ansprüche 1-5; Abbildungen 1,2 ----- | 1-14 |
| A | DE 10 2006 046246 A1 (GRIEPENTROG HARTMUT [DE]) 14. Februar 2008 (2008-02-14) Absatz [0022] - Absatz [0081]; Ansprüche; Abbildungen Zusammenfassung ----- | 1-14 |
| A | EP 0 496 283 A2 (LINDE AG [DE]) 29. Juli 1992 (1992-07-29) Spalte 3, Zeile 24 - Spalte 4, Zeile 16; Ansprüche 1-4; Abbildungen 1,2 Zusammenfassung ----- | 1-14 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/066460

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|--|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| JP S55153808 A | 01-12-1980 | KEINE | |
| JP S55148907 A | 19-11-1980 | KEINE | |
| DE 102006008600 A1 | 16-08-2007 | KEINE | |
| US 5295350 A | 22-03-1994 | EP 0580910 A1 | 02-02-1994 |
| | | JP H0610697 A | 18-01-1994 |
| | | KR 940006305 A | 23-03-1994 |
| | | TW 221309 B | 21-02-1994 |
| | | US 5295350 A | 22-03-1994 |
| | | US 5394686 A | 07-03-1995 |
| DE 2833599 A1 | 15-02-1979 | BE 857421 A | 03-02-1978 |
| | | DE 2833599 A1 | 15-02-1979 |
| | | FR 2399542 A1 | 02-03-1979 |
| | | GB 2002057 A | 14-02-1979 |
| | | NL 7808126 A | 06-02-1979 |
| DE 102006046246 A1 | 14-02-2008 | DE 102006046246 A1 | 14-02-2008 |
| | | WO 2008017470 A1 | 14-02-2008 |
| EP 0496283 A2 | 29-07-1992 | DE 4102204 A1 | 30-07-1992 |
| | | EP 0496283 A2 | 29-07-1992 |
| | | JP H0670233 B2 | 07-09-1994 |
| | | JP H05179265 A | 20-07-1993 |
| | | KR 920015070 A | 26-08-1992 |
| | | TW 197466 B | 01-01-1993 |