

Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Verflüssigen eines Gases, insbesondere von Erdgas, und eine entsprechende Anlage gemäß den jeweiligen Oberbegriffen der unabhängigen Patentansprüche.

Stand der Technik

[0002] Verfahren und Anlagen zur Verflüssigung von Erdgas sind bekannt und beispielsweise im Artikel "Natural Gas" in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Onlinepublikation 15. Juli 2006, DOI: 10.1002/14356007.a17_073.pub2, insbesondere Abschnitt 3, "Liquefaction", oder bei Wang und Economides, "Advanced Natural Gas Engineering", Gulf Publishing 2010, DOI: 10.1016/C2013-0-15532-8, insbesondere Kapitel 6, "Liquefied Natural Gas (LNG)", beschrieben.

[0003] Insbesondere können bei der Erdgasverflüssigung Gemischkältemittel aus unterschiedlichen Kohlenwasserstoffbestandteilen und Stickstoff zum Einsatz kommen. Beispielsweise können dabei ein, zwei oder sogar drei Gemischkältemittelkreisläufe eingesetzt werden (engl. Single Mixed Refrigerant, SMR; Dual Mixed Refrigerant, DMR; Mixed Fluid Cascade, MFC). Auch Gemischkältemittelkreisläufe mit Propanvorkühlung (C3MR) oder allgemeiner unter Verwendung eines Rein- stoffkältemittels (siehe unten) sind bekannt.

[0004] Wenngleich die vorliegende Erfindung nachfolgend überwiegend unter Bezugnahme auf die Verflüssigung von Erdgas beschrieben wird, eignen sich die vorgeschlagenen Maßnahmen grundsätzlich auch zur Verflüssigung anderer Gasgemische. Erdgas und entsprechende andere Gasgemische können insbesondere mehr als 70, vorzugsweise mehr als 90 Molprozent Methan und im verbleibenden Rest (unter anderem) Nichtkohlenwasserstoffgase wie Stickstoff und Sauer- gas aufweisen. Auch höhere Kohlenwasserstoffe, insbesondere Ethan, können enthalten sein. Höhere Kohlenwasserstoffe wie Ethan, Propan, Butan usw. sind vorzugsweise zu weniger als 10 Molprozent enthalten. Beispielsweise können derartige höhere Kohlenwasserstoffe stromauf der eigentlichen Verflüssigung entfernt werden. Ein zur Verflüssigung eingesetztes Erdgas oder ein anderes Gasgemisch ist vorzugsweise im Wesentlichen frei von Wasser und/oder Kohlendioxid.

[0005] Verfahren zur Verflüssigung von Erdgas sind energieintensiv. Je nach gewählter Technologie werden zwischen 5 und 15% der im Speisegas enthaltenen Energie intern verbraucht, um die erforderliche Kälte zu erzeugen. Eine erhöhte Prozesseffizienz führt häufig zu zusätzlichen Investitionen, da technisch anspruchsvollere Systeme eingesetzt werden müssen.

[0006] Große Kältekreislaufverdichter werden meist von Gasturbinen angetrieben, die nur 30 bis 45% der Energie des Brenngases, d.h. seines Heizwerts, in mechanische Wellenleistung umsetzen. Der Rest, d.h.

bis 70% der Energie, geht verloren, wenn die Abwärme des Turbinenabgases nicht genutzt wird.

[0007] Für die Nutzung der Abwärme von Turbinenabgasen existieren unterschiedliche Konzepte. Einfache Systeme umfassen die Rückgewinnung der Abwärme in Form von Prozesswärme, z.B. in einem Heißölsystem, das die Wärme aus dem Turbinenabgas beispielsweise auf Reboiler von Regenerationskolonnen in Aminwäschen, Regeneriergasheizungen für Trockner oder beliebige andere Wärmenutzer auf entsprechendem Temperaturniveau überträgt.

[0008] Komplexere Abwärmenutzungssysteme umfassen einen geschlossenen Dampfkreislauf. Der durch die Abwärme erzeugte Dampf kann in einer Dampfturbine arbeitsleistend entspannt werden. Mit einer entsprechenden Dampfturbine können beliebige Kältekreislaufverdichter angetrieben werden, darunter beispielsweise solche von Vorkühlkreisläufen mit z.B. Propan, Kohlendioxid oder Ammoniak als Kältemittel. Auch eine Unterstützung einer Gasturbine für den Hauptverdichter ist möglich.

[0009] Es besteht insgesamt der Wunsch nach der Erhöhung des Wirkungsgrads in der Erdgasverflüssigung und anderen Gasverflüssigungsverfahren ohne die aufwendige Installation eines Kreislaufs auf Basis eines zusätzlichen Arbeitsfluids wie Dampf.

Offenbarung der Erfindung

[0010] Vor diesem Hintergrund schlägt die vorliegende Erfindung ein Verfahren und eine Anlage mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vor. Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung sind jeweils Gegenstand der abhängigen Patentansprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

[0011] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum Verflüssigen eines Gases vorgeschlagen, wobei das Gas einem Wärmetausch mit einem Kältemittel unterworfen wird und zumindest ein Teil des Kältemittels nach dem Wärmetausch mit dem Gas, bei dem das Kältemittel insbesondere zumindest teilweise verdampft werden kann, einer Verdichtung unter Verwendung eines Abwärme erzeugenden Antriebs sowie einer teilweisen oder vollständigen Verflüssigung unterworfen wird. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird also ein Kältemittelkreislauf eingesetzt, der die an sich bekannten Schritte Erwärmung und Verdampfung (gegen das abzukühlende Fluid, hier das zu verflüssigende Gas), Rückverdichtung (unter Verwendung des Abwärme erzeugenden Antriebs) und (Teil-) Kondensation im Kreislauf umfasst.

[0012] Generell sei nachfolgend immer dann, wenn von einer "Verdampfung" die Rede ist, eine teilweise oder vollständige Verdampfung gemeint. Entsprechend soll auch unter einer "Kondensation" eine teilweise oder vollständige Kondensation verstanden werden, auch wenn dies jeweils nicht explizit angegeben ist. Der Wärmetausch des Kältemittels "mit dem Gas" kann dabei in

Form eines indirekten Wärmetauschs zwischen dem Gas und dem Kältemittel ohne ein zwischengeschaltetes weiteres Kältemittel, d.h. über eine gemeinsame Wärmeaustauschfläche eines Wärmetauschers, aber auch über ein zusätzliches Kältemittel erfolgen. Ein Wärmetausch "mit dem Gas" findet also auch statt, wenn dem Gas über ein weiteres Kältemittel Wärme entzogen wird und das weitere Kältemittel mit dem hier betrachteten Kältemittel vorgekühlt wird. Der Begriff des "Wärmetauschs" wird hier stets synonym mit dem wissenschaftlich korrekteren Begriff "Wärmeübertragung" und der Begriff "Wärmetauscher" wird synonym mit dem Begriff "Wärmeübertrager" verwendet.

[0013] Wie insoweit ebenfalls bekannt, kann die Erwärmung und Verdampfung, die Rückverdichtung und die (Teil-) Verflüssigung in Form beliebiger (Druck- oder Temperatur-) Stufen oder in Form mehrerer Teilströme parallel zueinander erfolgen, wobei entsprechende Teilströme an beliebigen Stellen miteinander vereinigt oder aus einem Ausgangsstrom gebildet werden können. Die vorliegende Erfindung betrifft dabei insbesondere geschlossene Kältemittelkreisläufe, wie sie zur Verflüssigung von Erdgas aus dem eingangs erwähnten Stand der Technik bekannt sind.

[0014] Erfindungsgemäß wird nach der teilweisen oder vollständigen Verflüssigung des Kältemittels ein erster Anteil des Kältemittels dem Wärmetausch mit dem Gas im soeben erläuterten Sinn unterworfen, wohingegen ein zweiter Anteil des Kältemittels nacheinander einer Druckbeaufschlagung (in flüssigem Zustand), einer Erwärmung (insbesondere Überhitzung) unter Verwendung der Abwärme des Antriebs, und einer arbeitsleistenden Entspannung unterworfen und der teilweisen oder vollständigen Verflüssigung wieder zugeführt wird. Mit anderen Worten wird der zweite Anteil des Kältemittels nach seiner arbeitsleistenden Entspannung, bei der insbesondere eine Verdampfung erfolgt, also in den Kältemittelkreislauf zurückgeführt und dabei insbesondere mit dem ersten Anteil des Kältemittels vereinigt, das zuvor dem Wärmetausch mit dem Gas unterworfen wurde und dabei ebenfalls verdampft wurde. Es wird also ein Teilkreislauf geschaffen. Grundsätzlich kann der zweite Anteil dabei an beliebiger Stelle wieder in den Kältemittelkreislauf zurückgeführt und mit dem ersten Anteil vereinigt werden; spezifische Positionen sind weiter unten erläutert.

[0015] Die vorliegende Erfindung betrifft also, mit anderen Worten, ein Gasverflüssigungsverfahren, bei dem mindestens ein Verdichter in einem zur Bereitstellung von Kälte verwendeten Kältemittelkreislauf eingesetzt wird. Ein Antrieb des Verdichters erzeugt Abwärme. Als Antrieb wird insbesondere eine Gasturbine eingesetzt, so dass die Abwärme insbesondere mit dem Turbinenabgas, das einer Expansionsstufe der Gasturbine entnommen wird, bereitgestellt wird. In der vorliegenden Erfindung wird eine arbeitsleistende Entspannung eines Teilstroms des Kältemittels, des erwähnten "zweiten Anteils" vorgenommen. Dieses wird vor der arbeitsleis-

den Entspannung sowohl weiter druckbeaufschlagt als auch erwärmt, damit das Kältemittel zur Aufnahme der im Turbinenabgas der Gasturbine oder einem anderen Abwärmeträger enthaltenen Abwärme befähigt ist. Das erwärmte, insbesondere überhitzte, Kältemittel, das durch Nutzung der Abwärme erhalten wird, wird durch die arbeitsleistende Entspannung als Energiequelle verwendet, so dass auf diese Weise die Abwärme in eine andere Energieform überführt werden kann. Die bei der arbeitsleistenden Entspannung geleistete Arbeit kann wie nachfolgend erläutert genutzt werden. Die arbeitsleistende Entspannung kann auch zwei- oder mehrstufig mit oder ohne Zwischenüberhitzung unter Verwendung der Abwärme erfolgen.

[0016] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist, wie nachfolgend in Ausgestaltungen erläutert, insbesondere vorgesehen, dass die bei der arbeitsleistenden Entspannung geleistete Arbeit zur Verdichtung desselben oder eines anderen Kältemittels verwendet wird. Wenngleich in den nachfolgenden Ausgestaltungen bestimmte Verdichter mittels der bei der arbeitsleistenden Entspannung geleisteten Arbeit angetrieben werden, ist nicht ausgeschlossen, dass auch andere Verdichter auf diese Weise angetrieben werden können. In den konkreten Ausgestaltungen der Erfindung sind in einigen Fällen beispielsweise die jeweils auf den höchsten Druck verdichtenden Verdichter im Kältemittelkreislauf (in den Figuren mit C2 bezeichnet) mit entsprechenden Entspannungsmaschinen gekoppelt. Alternativ kann aber auch ein Antrieb beliebiger anderer Verdichter oder Verdichterstufen, die zur Verdichtung auf einen niedrigeren Druck eingerichtet sind (in den Figuren mit C1, C1A oder C1B bezeichnet), über die arbeitsleistende Entspannung erfolgen. Gleichwohl ist ein Betrieb parallel geschalteter Verdichter möglich, von denen einer mittels der bei der arbeitsleistenden Entspannung geleisteten Arbeit und ein weiterer auf andere Weise angetrieben wird, und die parallelen Teilströme des Kältemittels verdichten.

[0017] Die bei der Entspannung geleistete Arbeit kann in unterschiedlichen Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung auch zumindest teilweise zum Antrieb eines elektrischen Generators genutzt werden.

[0018] In mittelgroßen Anlagen zur Erdgasverflüssigung mit einer Kapazität von beispielsweise ca. 0,3 bis 2 Megatonnen pro Jahr werden häufig die erwähnten SMR-Kreisläufe eingesetzt, da in diesen eine begrenzte Anzahl von Komponenten erforderlich ist und ein angemessener thermodynamischer Wirkungsgrad vorliegt. Die Investitionskosten für eine Dampfanlage zur Nutzung der Turbinenabwärme sind für eine derartige Anlagengröße jedoch nicht notwendigerweise wirtschaftlich, wenn die möglichen Energieeinsparungen die zusätzlichen Kosten nicht kompensieren. Die vorliegende Erfindung ist besonders in derartigen Fällen einsetzbar und schafft hier eine alternative und vorteilhafte Möglichkeit der Abwärmenutzung. Durch den Einsatz der vorliegenden Erfindung kann der Wirkungsgrad eines SMR-Prozesses um mindestens 10 bis 15 Prozentpunkte verbes-

sert werden, indem die zum Antreiben des Kältemittelverdichters verwendete Gasturbine entsprechend entlastet wird.

[0019] Andererseits kann die vorliegende Erfindung auch zur Erdgasverflüssigung im größeren Maßstab, beispielsweise in Anlagen mit einer Kapazität von ca. 2 bis 10 Megatonnen pro Jahr, vorteilhaft genutzt werden. In derartigen Anlagen ist typischerweise mehr als ein Kältemittelverdichter erforderlich, um die genannte Kapazität zu erreichen. Die optimale Drehzahl der verschiedenen Kältemittelverdichter ist dabei nicht notwendigerweise ähnlich oder identisch, so dass ggf. Getriebe zwischen den einzelnen Verdichtern eingesetzt werden müssen, falls diese mittels einer gemeinsamen Gasturbine angetrieben werden sollen. Auch bei Verwendung von mehreren unabhängigen Gasturbinen kann es jedoch zu einem Ungleichgewicht der erforderlichen Wellenleistung für jeden Verdichter kommen. In bestimmten Situationen kann die vorliegende Erfindung dabei vorteilhaft genutzt werden, indem die bei der arbeitsleistenden Entspannung geleistete Arbeit unterstützend zum Antrieb eingesetzt und damit Ungleichgewichte in Drehzahl oder Leistung ausgeglichen werden.

[0020] In dem erfindungsgemäßen Verfahren kann insbesondere ein Gemischkältemittel in einem oder mehreren Gemischkältemittelkreisläufen als das Kältemittel verwendet werden. Das Kältemittelgemisch besteht typischerweise aus leichten Kohlenwasserstoffen mit einem bis fünf Kohlenstoffatomen sowie höchstens 20 Molprozent Stickstoff. Die Erfindung kann bei den erwähnten SMR-, aber auch bei DMR, MFC- oder C3MR-Kältekreisläufen sowie anderen Kältekreisläufen, in denen zusätzlich zu einem Gemischkältemittel ein Reinstoffkältemittel verwendet wird, eingesetzt werden, wie sie grundsätzlich aus dem eingangs zitierten Stand der Technik bekannt sind. Unter einem "Reinstoffkältemittel" wird hier ein Kältemittel verstanden, das zumindest 95 Molprozent, insbesondere zumindest 99 Molprozent eines einzigen Kohlenwasserstoffs, insbesondere Ethan, Ethylen, Propan oder Propylen, oder einer anderen Verbindung mit einer geeigneten Dampfdruckkurve wie Ammoniak oder Kohlendioxid aufweist, oder im Wesentlichen aus diesem besteht. Ist nachfolgend beispielsweise von "Propan" oder auch von einem "Propankältekreislauf" die Rede, seien die diesbezüglichen Erläuterungen stets so zu verstehen, dass sie auch allgemeiner ein Reinstoffkältemittel betreffen. Die Bezugnahme auf einen bestimmten Reinstoff dient lediglich zur Veranschaulichung. Ein entsprechendes Reinstoffkältemittel kann dabei insbesondere jenes sein, das in der erläuterten Weise behandelt wird, d.h. aus dem der erste und zweite Anteil in Form von entsprechenden Teilströmen gebildet werden.

[0021] Wie mehrfach erwähnt, kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung insbesondere Erdgas oder ein unter Verwendung von Erdgas gebildetes Gasgemisch (beispielsweise entsäuertes, getrocknetes und/oder von schwer siedenden Kohlenwasserstoffen, insbesondere solchen mit drei und mehr Kohlenstoffatomen, befreites

Erdgas) als das zu verflüssigende Gas verwendet werden und/oder es kann eine Gasturbine als der Abwärme erzeugende Antrieb verwendet werden.

[0022] Besondere Vorteile ergeben sich in Ausgestaltungen der Erfindung, wenn bei der arbeitsleistenden Entspannung geleistete Arbeit zusätzlich zu dem Antrieb bei der Verdichtung desselben Kältemittels verwendet wird, das auch arbeitsleistend entspannt wird, und unter Verwendung dessen der erste und zweite Anteil gebildet werden. Auf diese Weise kann ein zur Verdichtung ansonsten verwendeter Antrieb um die bei der arbeitsleistenden Entspannung geleistete Arbeit entlastet werden und es ergeben sich entsprechende Energieeinsparungen, die direkt auf die Nutzung der Abwärme zurückzuführen sind. Die flüssige Druckbeaufschlagung des später entsprechend arbeitsleistend entspannten zweiten Anteils des Kältemittels erfordert dadurch vergleichsweise deutlich weniger Energie. Derartige Ausgestaltungen werden nachfolgend zunächst erläutert.

[0023] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung, d.h. in einer ersten Gruppe von Ausgestaltungen, werden ausschließlich Gemischkältemittel, aber keine Reinstoffkältemittel im oben genannten Sinn eingesetzt. Hierbei kann es sich aber durchaus auch um solche Ausgestaltungen handeln, bei denen eine Vorkühlung unter Verwendung eines Gemischkältemittels erfolgt. In dieser ersten Gruppe von Ausgestaltungen umfasst die Verdichtung des Kältemittels insbesondere einen ersten Verdichtungsschritt auf ein erstes Druckniveau und einen zweiten Verdichtungsschritt auf ein zweites Druckniveau, das insbesondere oberhalb des ersten Druckniveaus liegt, wobei der Antrieb in dem ersten Verdichtungsschritt und die bei der arbeitsleistenden Entspannung geleistete Arbeit in dem zweiten Verdichtungsschritt verwendet wird. So kann insbesondere der erste Verdichtungsschritt unter Verwendung eines oder mehrerer erster Verdichter oder einer oder mehrerer erster Verdichterstufen, der oder die zumindest teilweise unter Verwendung des Antriebs angetrieben wird oder werden, durchgeführt werden, und der zweite Verdichtungsschritt kann insbesondere unter Verwendung eines oder mehrerer zweiter Verdichter oder Verdichterstufen, der oder die zumindest teilweise unter Verwendung der bei der arbeitsleistenden Entspannung geleisteten Arbeit angetrieben wird oder werden, durchgeführt werden. Der zweite Verdichtungsschritt wird dabei insbesondere ohne Verwendung des Abwärme produzierenden Antriebs angetrieben, sondern vorteilhafterweise nur unter Verwendung der bei der arbeitsleistenden Entspannung geleisteten Arbeit. Auf diese Weise können beide Verdichtungsschritte durch unabhängig voneinander betreibbare Maschinen realisiert werden und es sind keine mechanischen Kopplungen erforderlich. Wie auch nachfolgend noch erläutert, kann die bei der arbeitsleistenden Entspannung geleistete Arbeit aber auch an beliebigen anderen Stellen entsprechend genutzt werden.

[0024] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann in einer bevorzugten Ausgestaltung, die nachfolgend auch

als "erste Ausgestaltung" bezeichnet wird, das Kältemittel zumindest teilweise dem ersten Verdichtungsschritt und anschließend unter Erhalt einer ersten Flüssigfraktion und einer ersten Gasfraktion zumindest teilweise einer ersten Teilverflüssigung unterworfen werden, wobei die erste Gasfraktion in dieser ersten Ausgestaltung zumindest teilweise dem zweiten Verdichtungsschritt und anschließend unter Erhalt einer zweiten Flüssigfraktion und einer zweiten Gasfraktion zumindest teilweise einer zweiten Teilverflüssigung unterworfen wird. Dem ersten Verdichtungsschritt kann in dieser ersten Ausgestaltung insbesondere das gesamte Kältemittel unterworfen werden, nachdem dieses im Wärmetausch mit dem zu verflüssigenden Gas verdampft wurde. Das Verfahren kann somit einfach und ohne großen Zusatzaufwand im Zusammenhang mit bekannten Verfahren zur Gasverflüssigung eingesetzt werden, in denen entsprechende Schritte vorgesehen sind. Auf den zitierten Stand der Technik wird verwiesen.

[0025] Der erste Verdichtungsschritt wird in der ersten Ausgestaltung insbesondere unter Verwendung eines einzigen, zwar ggf. mehrstufigen, jedoch das Kältemittel nicht auf unterschiedliche Drücke verdichtenden Verdichters durchgeführt, der in den betreffenden Figuren durchgängig mit dem Bezugszeichen C1 versehen ist. Der zweite Verdichtungsschritt wird in dieser und den nachfolgenden Ausgestaltungen insbesondere unter Verwendung eines unabhängig von dem ersten Verdichtungsschritt betriebenen Verdichters durchgeführt, der in den Figuren durchgängig mit dem Bezugszeichen C2 versehen ist.

[0026] Der zweite Anteil des Kältemittels kann nach dessen arbeitsleistender Entspannung in der ersten Ausgestaltung zumindest teilweise mit dem in dem ersten Verdichtungsschritt verdichteten Kältemittel vereinigt werden, bevor dieses für die erste Teilverflüssigung abgekühlt wird. Auf diese Weise kann der zweite Anteil des Kältemittels in den Kältemittelkreislauf zurückgeführt und dort wieder den erforderlichen Verdichtungs- und Kondensationsschritten unterworfen werden.

[0027] Insbesondere kann der erfindungsgemäß verwendete zweite Anteil des Kältemittels in der ersten Ausgestaltung in flüssigem Zustand für die anschließende Entspannung von einem Druckniveau von 10 bis 40 bar auf ein Druckniveau von 60 bis 120 bar gebracht werden. Durch die Erwärmung mittels der Abwärme wird insbesondere eine Erwärmung von einem Temperaturniveau von 10 bis 50 °C auf ein Temperaturniveau von 200 bis 400 °C vorgenommen. Beispielsweise kann ein Turbinenabgas einer als Antrieb verwendeten Gasturbine oder ein anderer Stoffstrom bei 400 bis 600 °C vorliegen. Die arbeitsleistende Entspannung erfolgt in der ersten Ausgestaltung insbesondere ausgehend von dem erwähnten Druckniveau oder einem höheren Druckniveau auf ein Druckniveau von 10 bis 40 bar, wodurch sich die Temperatur insbesondere um etwa 30 bis 100 °C verringert. In der ersten Ausgestaltung kann der erste Verdichtungsschritt insbesondere auf ein Druckniveau von 10

bis 40 bar und der zweite Verdichtungsschritt auf ein Druckniveau von 30 bis 70 bar erfolgen. Die sich jeweils anschließenden Teilkondensationsschritte erfolgen dabei insbesondere jeweils auf ein Temperaturniveau von 10 bis 50 °C. Der zweite Anteil des Kältemittels, der letztlich der arbeitsleistenden Entspannung zugeführt wird, umfasst insbesondere 40 bis 80% der ersten Flüssigfraktion.

[0028] In der ersten Ausgestaltung kann der zweite Anteil des Kältemittels vor dessen arbeitsleistender Entspannung teilweise oder vollständig einem indirekten Wärmetausch mit dem zweiten Anteil des Kältemittels oder einem Teil hiervon (d.h. zumindest teilweise "mit sich selbst") unterworfen werden, der bereits der arbeitsleistenden Entspannung unterworfen worden ist, bevor letzterer mit der ersten Gasfraktion vereinigt wird.

[0029] Wird der zweite Anteil des Kältemittels nur teilweise dem erwähnten Wärmetausch mit sich selbst unterworfen, erfolgt dies in Form eines ersten Teilstroms des zweiten Anteils, wohingegen ein zweiter Teilstrom des zweiten Anteils nicht diesem Wärmetausch mit sich selbst unterworfen wird. Der erste und der zweite Teilstrom können getrennt voneinander, und insbesondere auf unterschiedlichen Temperaturniveaus, der Erwärmung unter Verwendung der Abwärme unterworfen und danach, sowie vor der arbeitsleistenden Entspannung, wieder miteinander vereinigt werden. So kann beispielsweise der erste Teilstrom des zweiten Anteils auf einem höheren Temperaturniveau in einem ersten Abwärmetauscher mit einem Turbinenabgas erwärmt werden, wobei das bereits teilweise abgekühlte Abgas der Gasturbine einem zweiten Abwärmetauscher zugeführt wird, in dem der zweite Teilstrom auf einem geringeren Temperaturniveau angewärmt werden kann. Auf diese Weise kann eine vorteilhafte Vorerwärmung für die nachfolgende weitere Erwärmung bzw. eine Abkühlung für die nachfolgende Zusp eisung zu der ersten Gasfraktion nach deren Verdichtung erfolgen.

[0030] In dem erfindungsgemäßen Verfahren kann in der ersten Ausgestaltung die zweite Flüssigfraktion zumindest teilweise entspannt und stromab des ersten Verdichtungsschritts mit dem Kältemittel oder einem Teil hiervon nach einer entsprechenden Abkühlung vereinigt werden, bevor dieses phasengetreunt wird.

[0031] Für die Abkühlung des Gases im indirekten Wärmetausch mit dem Kältemittel kann in der ersten Ausgestaltung ein Wärmetauscher mit mehreren Abschnitten oder können mehrere Wärmetauscher verwendet werden, worin der erste Anteil des Kältemittels und die zweite Gasfraktion oder Teile hiervon auf unterschiedliche Temperaturniveaus weiter abgekühlt und nach einer Entspannung wieder erwärmt werden können. Der Wärmetauscher oder die mehreren Wärmetauscher können insbesondere als gewickelte Rohrbündel-Wärmetauscher oder als gelötete Platten-Wärmetauscher ausgebildet sein oder mehrere solche Wärmetauscher, auch Wärmetauscher unterschiedlicher Art, umfassen.

[0032] Beispielsweise können in der ersten Ausgestaltung der erste Anteil des Kältemittels und die zweite Gasfraktion oder jeweils Teile hiervon (entsprechendes gilt auch, ohne explizite Erwähnung, für die anderen nachfolgend genannten Fluide) auf einem Eintrittstemperaturniveau von beispielsweise 10 bis 50 °C dem als gewickelten Wärmetauscher ausgebildeten Wärmetauscher zugeführt und durch separate Wärmetauscherrohre abgekühlt werden. Der erste Anteil des Kältemittels kann dem Wärmetauscher auf einem ersten Zwischentemperaturniveau unterhalb des Eintrittstemperaturniveaus von beispielsweise -20 bis -60 °C entnommen, entspannt und mantelseitig wieder dem Wärmetauscher zugeführt werden. Die zweite Gasfraktion kann in diesem Fall dem Wärmetauscher ebenfalls auf dem ersten Zwischentemperaturniveau entnommen werden, bei dem es in teilkondensierter Form vorliegt. Nach einer Phasentrennung außerhalb des Wärmetauschers werden die Flüssigphase und die Gasphase getrennt voneinander auf dem ersten Zwischentemperaturniveau dem Wärmetauscher wieder zugeführt und durch separate Wärmetauscherrohre weiter abgekühlt. Die Flüssigphase wird auf einem zweiten Zwischentemperaturniveau unterhalb des ersten Zwischentemperaturniveaus von beispielsweise -70 bis -100 °C entnommen, entspannt und mantelseitig wieder dem Wärmetauscher zugeführt. Die Gasphase wird auf einem dritten Zwischentemperaturniveau unterhalb des zweiten Zwischentemperaturniveaus von beispielsweise -120 bis -160 °C entnommen, entspannt und ebenfalls mantelseitig wieder dem Wärmetauscher zugeführt. Die auf diese Weise mantelseitig vereinigten Fluide werden wieder der Verdichtung zugeführt.

[0033] Wird ein gelöteter Platten-Wärmetauscher verwendet, können der erste Anteil des Kältemittels und die zweite Gasfraktion oder jeweils Teile hiervon auch gemeinsam auf einem Eintrittstemperaturniveau im oben genannten Bereich dem Wärmetauscher zugeführt und in gemeinsamen Passagen abgekühlt werden. Nach einer Entnahme am kalten Ende des Wärmetauschers auf einem Entnahmetemperaturniveau von beispielsweise -120 bis -160 °C kann eine Entspannung vorgenommen werden und das auf diese Weise weiter auf ein Temperaturniveau von beispielsweise -130 bis -170 °C abgekühlte Kältemittel wird durch separate Passagen zurückgeführt und nach Erwärmung auf ein Temperaturniveau im Bereich des Eintrittstemperaturniveaus wieder der Verdichtung zugeführt.

[0034] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung, nachfolgend auch als "zweite Ausgestaltung" bezeichnet, kann insbesondere der erste Verdichtungsschritt abweichend ausgestaltet werden und unter Verwendung von zwei Verdichterstufen, nämlich einer ersten Verdichterstufe und einer zweiten Verdichterstufe, durchgeführt werden, die jedoch vorteilhafterweise gemeinsam von dem Abwärme liefernden Antrieb angetrieben werden. Die erste Verdichterstufe, die baulich auch in Form mehrerer Verdichterstufen eines Verdichters ausgebildet sein können, wird in den Fi-

guren durchgängig mit dem Bezugszeichen C1A bezeichnet, die entsprechend ausgebildete zweite Verdichterstufe mit dem Bezugszeichen C1B. Die zweite Ausgestaltung betrifft insbesondere einen DMR-Prozess. In diesem werden vorteilhafterweise zwei oder drei Wärmetauscher oder Wärmetauscherabschnitte verwendet, die jeweils als gewickelte Wärmetauscher oder entsprechende Abschnitte eines gewickelten Wärmetauschers ausgebildet sein können. Nachfolgend wird lediglich der Einfachheit halber von zwei oder drei "Wärmetauschern" gesprochen, worunter aber auch entsprechende Abschnitte eines gemeinsamen Wärmetauschers fallen sollen. Es handelt sich hierbei in Richtung einer absteigenden Temperatur des zu verflüssigenden Gases im hier verwendeten Sprachgebrauch um einen ersten, einen zweiten und einen dritten Wärmetauscher. Der erste und der zweite Wärmetauscher verwenden in den Ausgestaltungen mit drei Wärmetauschern das gleiche Kältemittel bei unterschiedlichen Verdampfungsdrücken und können daher, insbesondere bei kostengünstigen Anlagen, auch zusammengefasst werden bzw. kann in solchen Anlagen auf den ersten Wärmetauscher verzichtet werden. Die Erfindung betrifft auch derartige Verfahren und Anlagen, auch wenn nachfolgend nicht gesondert hierauf Bezug genommen wird und die Erfindung anhand von Verfahren und Anlagen mit drei Wärmetauschern beschrieben wird.

[0035] In der zweiten Ausgestaltung werden der ersten Verdichterstufe des ersten Verdichtungsschritts entsprechend verdampfte Kältemittelströme aus dem ersten und dem zweiten Wärmetauscher auf Druckniveaus von beispielsweise 5 bis 20 bar bzw. 2 bis 10 bar zugeführt. In der ersten Verdichterstufe des ersten Verdichtungsschritts erfolgt eine Verdichtung auf beispielsweise 15 bis 50 bar, in der zweiten Verdichterstufe des ersten Verdichtungsschritts erfolgt eine Verdichtung auf beispielsweise 40 bis 80 bar. Stromab der Verdichtungsstufen erfolgt jeweils eine Nachkühlung. Der zuvor mehrfach angesprochene erste bzw. zweite Anteil des Kältemittels wird aus dem in der ersten Verdichterstufe verdichteten Fluid, das zusätzlich zu dem genannten auch weiteres Kältemittel umfassen kann, gebildet. Auch hiervon umfasst der zweite Anteil insbesondere 40 bis 80%.

[0036] Der erste Anteil wird zunächst rohrseitig durch den ersten Wärmetauscher geführt und dort auf ein Temperaturniveau von beispielsweise 0 bis -20 °C abgekühlt. Ein Teilstrom kann stromab des ersten Wärmetauschers entspannt und mantelseitig in den ersten Wärmetauscher eingespeist werden. Dieser Teilstrom stellt insbesondere das gesamte in dem ersten Wärmetauscher verdampfte Kältemittel dar. In den erwähnten Ausgestaltungen mit nur zwei Wärmetauschern entfallen die für den ersten Wärmetauscher beschriebenen Maßnahmen. Der nicht entspannte Rest des ersten Anteils des Kältemittels kann zur Bildung eines weiteren Teilstroms verwendet werden, der in einem separaten weiteren Wärmetauscher zur Kühlung des in der zweiten Verdichterstufe des ersten Verdichtungsschritts verdichteten Fluids

verwendet und danach der ersten Verdichterstufe des ersten Verdichtungsschritts zugespeist werden kann. Ein von dem ersten Anteil auch hiernach verbleibender Rest wird zunächst rohrrseitig durch den zweiten Wärmetauscher geführt und in diesem auf ein Temperaturniveau von beispielsweise -30 bis -70 °C abgekühlt. Dieser Rest kann nun stromab des zweiten Wärmetauschers entspannt und mantelseitig in den zweiten Wärmetauscher eingespeist werden. Dieser Rest stellt insbesondere das gesamte in dem zweiten Wärmetauscher verdampfte Kältemittel dar.

[0037] Der zweite Anteil des Kältemittels kann in der zweiten Ausgestaltung im Wesentlichen in der zur ersten Ausgestaltung erläuterten Weise behandelt und insbesondere dem in der ersten Verdichterstufe des ersten Verdichtungsschritts verdichteten Kältemittel zugespeist werden, bevor dieses abgekühlt und kondensiert wird. Er wird auf diese Weise im Kreis geführt. Das in der zweiten Verdichterstufe des ersten Verdichtungsschritts verdichtete Kältemittel kann insbesondere dem zweiten Verdichtungsschritt zugeführt und dort grundsätzlich wie zu der ersten Ausgestaltung erläutert verdichtet werden. Insbesondere erfolgt eine Verdichtung auf ein Druckniveau von 70 bis 110 bar. Das entsprechend verdichtete Kältemittel wird abgekühlt und zunächst zur weiteren Abkühlung rohrrseitig durch den ersten bis dritten Wärmetauscher geführt. Stromab dessen wird dieser Kältemittelanteil entspannt und mantelseitig in den dritten Wärmetauscher eingespeist. Dieser Kältemittelanteil stellt insbesondere das gesamte in dem dritten Wärmetauscher verdampfte Kältemittel dar.

[0038] Eine nochmals weitere bevorzugte Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung, nachfolgend auch als "dritte Ausgestaltung" bezeichnet, umfasst, dass der erste Verdichtungsschritt unter Verwendung von zwei Verdichtern durchgeführt wird, die nun vorteilhafterweise von zwei getrennten, Abwärme liefernden Antrieben angetrieben werden. Diese werden weitgehend vergleichbar wie die entsprechenden Verdichterstufen in der zweiten Ausgestaltung betrieben und tragen daher die entsprechenden Bezeichnungen. Die dritte Ausgestaltung betrifft ebenfalls einen DMR-Prozess. Es werden, wie in der zweiten Ausgestaltung, vorteilhafterweise zwei oder drei Wärmetauscher oder Wärmetauscherabschnitte verwendet, so dass die obigen Erläuterungen weiter gelten. Die obigen Merkmale und Erläuterungen bezüglich der zweiten Ausgestaltung betreffen auch die dritte Ausgestaltung, wobei jedoch der stromab des ersten Wärmetauschers nicht entspannte Rest des ersten Anteils des Kältemittels wahlweise nicht zur Bildung eines weiteren Teilstroms verwendet wird, welcher zur Kühlung des im zweiten Verdichter des ersten Verdichtungsschritts verdichteten Fluids dient. Der zweite Anteil des Kältemittels, der letztlich arbeitsleistend entspannt wird, wird mit der Abwärme beider Antriebe erwärmt.

[0039] Wie erwähnt, wird in den soeben erläuterten Ausgestaltungen bei der arbeitsleistenden Entspannung geleistete Arbeit zusätzlich zu dem Antrieb bei der Ver-

dichtung des desselben Kältemittels verwendet, das auch arbeitsleistend entspannt wird, und unter Verwendung dessen der erste und zweite Anteil gebildet werden, wenngleich dieses in den DMR-Kreisläufen in unterschiedlichen Kreisläufen eingesetzt wird. In anderen Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich im Gegensatz dazu Vorteile, wenn bei der arbeitsleistenden Entspannung geleistete Arbeit bei der Verdichtung eines weiteren Kältemittels verwendet wird, also nicht desselben Kältemittels, das arbeitsleistend entspannt und unter Verwendung dessen der erste und zweite Anteil gebildet werden. Zur besseren Unterscheidung wird das arbeitsleistend entspannte Kältemittel und zur Bildung des ersten und zweiten Anteils verwendete Kältemittel als "erstes" Kältemittel und das weitere Kältemittel als "zweites" Kältemittel bezeichnet.

[0040] Die erste bis dritte Ausgestaltung sind Teil der zuvor angesprochenen ersten Gruppe von Ausgestaltungen, in denen ausschließlich Gemischkältemittel eingesetzt werden. Es handelt sich dabei um SMR- und DMR-Kreisläufe, also auch solche, bei denen zur Vorkühlung ein Gemischkältemittel eingesetzt wird. Eine zweite Gruppe von Ausgestaltungen, die nun erläutert wird, umfasst Ausgestaltungen, in denen zusätzlich ein Reinstoffkältemittel in einem Vorkühlkreislauf eingesetzt wird. Es handelt sich also unter anderem um C3MR-Kreisläufe.

[0041] In der zweiten Gruppe von Ausgestaltungen wird die Verdichtung des Reinstoffkältemittels, das hier ein "erstes" Kältemittel im soeben erläuterten Sinn darstellt, in dem Vorkühlkreislauf in einem ersten Verdichter oder einer ersten Verdichterstufe vorgenommen und die Verdichtung des Gemischkältemittels in dem Gemischkältemittelkreislauf, das in diesem Sinn das "zweite" Kältemittel darstellt, erfolgt unter Verwendung eines zweiten Verdichters oder einer zweiten Verdichterstufe und eines dritten Verdichters oder einer dritten Verdichterstufe in der nachfolgend erläuterten Art. Die bei der arbeitsleistenden Entspannung geleistete Arbeit wird zum Antrieb des dritten Verdichters oder der dritten Verdichterstufe genutzt. Lediglich der Übersichtlichkeit halber wird nachfolgend von Verdichtern gesprochen, worunter auch Verdichterstufen verstanden werden sollen.

[0042] In einer entsprechenden Ausgestaltung der Erfindung, nachfolgend auch als "vierte Ausgestaltung" bezeichnet, werden der erste und der zweite Verdichter (C1A und C1B in den Figuren) von zwei getrennten Antrieben angetrieben, wobei es sich nur bei dem Antrieb des zweiten Verdichters um einen Abwärme (zumindest in nennenswertem und nutzbarem Umfang) liefernden Antrieb wie eine Gasturbine handelt. Der Antrieb des ersten Verdichters kann beispielsweise unter Erzeugung deutlich geringerer (und nicht nutzbarer) Abwärmemengen elektrisch erfolgen.

[0043] Abweichend zur zweiten und dritten Ausgestaltung werden in der vierten Ausgestaltung zur Abkühlung des zu verflüssigenden Gases ein gelöteter Platten-Wärmetauscher und ein gewickelter Rohrbündel-Wärmetauscher eingesetzt. Es sind, wie erwähnt, zwei getrennte

Kältemittelkreisläufe realisiert, nämlich ein Reinstoffkreislauf mit Reinstoffkältemittel zur Vorkühlung und ein Kältemittelkreislauf mit Gemischkältemittel. Der Reinstoffkreislauf umfasst, wie bereits angesprochen, den ersten Verdichter, der Gemischkältemittelkreislauf dagegen den zweiten und den dritten Verdichter.

[0044] Das Reinstoffkältemittel des Reinstoffkreislaufs wird in mehreren Teilströmen, die insbesondere gegen das Gemischkältemittel aus dem zweiten Verdichtungsschritt erwärmt werden und damit das Gemischkältemittel vorkühlen, dem ersten Verdichter zugeführt und dort verdichtet. Nach einer anschließenden Abkühlung und Verflüssigung werden auch hier der erste und der zweite Anteil des Kältemittels gebildet. Im Unterschied zu den zuvor erläuterten Ausgestaltungen werden der erste und der zweite Anteil damit also aus dem Reinstoffkältemittel, dem "ersten" Kältemittel, und nicht dem Gemischkältemittel, dem "zweiten" Kältemittel, gebildet. Der erste Anteil wird zunächst abgekühlt, anschließend entspannt, gegen das Gemischkältemittel erwärmt, und wieder dem ersten Verdichter zugeführt. Der zweite Anteil wird wie bereits zuvor erwähnt behandelt und dabei mit der Abwärme des Antriebs des zweiten Verdichters erwärmt.

[0045] Das Gemischkältemittel wird nach seiner Vorkühlung mit dem Reinstoffkältemittel des Reinstoffkreislaufs, insbesondere auf ein Temperaturniveau von -20 bis -40 °C, in dem gewickelten Wärmetauscher rohseitig weiter abgekühlt, insbesondere auf ein Temperaturniveau von -120 bis -160 °C. Stromab hiervon wird es entspannt und mantelseitig dem gewickelten Wärmetauscher zugeführt. Nach einer Entnahme aus dem gewickelten Wärmetauscher und entsprechender Erwärmung wird eine weitere Erwärmung in dem gelöteten Platten-Wärmetauscher durchgeführt und es erfolgt anschließend eine Verdichtung in dem zweiten und dritten Verdichter.

[0046] Eine Variante der soeben erläuterten vierten Ausgestaltung, die als "fünfte Ausgestaltung" bezeichnet wird, umfasst, dass der erste und der zweite Verdichter über einen gemeinsamen, Abwärme produzierenden Antrieb angetrieben werden.

[0047] In allen Fällen kann bei der arbeitsleistenden Entspannung geleistete Arbeit bei der Verdichtung eines weiteren Kältemittels verwendet werden, mit dem das Gas der Abkühlung im indirekten Wärmetausch unterworfen wird. Dies kann beispielsweise bei der Verwendung eines Reinstoff- bzw. C3MR-Kältemittelkreislaufs der Fall sein, oder in Varianten der ersten Gruppe von Ausgestaltungen.

[0048] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung, die hier als "sechste Ausgestaltung" bezeichnet wird, wird als das erste Kältemittel ein Gemischkältemittel und als das zweite Kältemittel Stickstoff verwendet. Auch in dieser Ausgestaltung sind der erste und zweite Anteil Anteile eines ersten Kältemittels, nämlich des Gemischkältemittels, und bei der arbeitsleistenden Entspannung geleistete Arbeit wird bei der Verdichtung eines zweiten Kältemittels, nämlich des Stickstoffs, verwendet.

[0049] Grundsätzlich kann in der sechsten Ausgestaltung, wie zuvor beispielsweise zur ersten Ausgestaltung erläutert, das Gemischkältemittel zumindest teilweise einem ersten Verdichtungsschritt und anschließend unter Erhalt einer ersten Flüssigfraktion und einer ersten Gasfraktion zumindest teilweise einer ersten Teilverflüssigung unterworfen werden. Die erste Gasfraktion kann zumindest teilweise dem zweiten Verdichtungsschritt und anschließend unter Erhalt einer zweiten Flüssigfraktion und einer zweiten Gasfraktion zumindest teilweise einer zweiten Teilverflüssigung unterworfen wird. Auch die weitere Behandlung kann identisch sein.

[0050] Der Stickstoff wird in der fünften Ausgestaltung allgemein gesprochen einer Entspannung und einer Verdichtung unterworfen, wobei die Verdichtung des Stickstoffs unter Verwendung der bei der arbeitsleistenden Entspannung des zweiten Anteils des Gemischkältemittels geleisteten Arbeit erfolgt. Die Entspannung des Stickstoffs kann in der fünften Ausgestaltung arbeitsleistend erfolgen, wobei bei der arbeitsleistenden Entspannung des Stickstoffs geleistete Arbeit ebenfalls bei der Verdichtung des Stickstoffs verwendet werden kann.

[0051] Der verdichtete Stickstoff wird nacheinander abgekühlt, einem ersten indirekten Wärmetausch unterworfen und dabei abgekühlt, der Entspannung unterworfen, einem zweiten indirekten Wärmetausch unterworfen und dabei erwärmt, danach dem ersten indirekten Wärmetausch unterworfen und dabei erwärmt, und wieder der Verdichtung zugeführt. In dem zweiten indirekten Wärmetausch wird dabei das der teilweisen oder vollständigen Verflüssigung unterworfenen Gas unterkühlt.

[0052] Eine weitere Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung, hier als "siebte Ausgestaltung" bezeichnet, unterscheidet sich von der sechsten Ausgestaltung dadurch, dass die Verdichtung des Stickstoffs zweistufig in einem ersten und danach einem zweiten Verdichtungsschritt durchgeführt wird, wobei der erste Verdichtungsschritt unter Verwendung der bei der arbeitsleistenden Entspannung des Stickstoffs geleisteten Arbeit und der zweite Verdichtungsschritt unter Verwendung der bei der arbeitsleistenden Entspannung des zweiten Anteils des Gemischkältemittels geleisteten Arbeit erfolgt.

[0053] Die Erfindung erstreckt sich auch auf eine Anlage zum Verflüssigen eines Gases, wobei die Anlage Mittel aufweist, die dafür eingerichtet sind, das Gas im indirekten Wärmetausch mit einem Kältemittel einer Abkühlung zu unterwerfen und zumindest einen Teil des Kältemittels nach dem Wärmetausch mit dem Gas einer Verdichtung unter Verwendung einer Abwärme erzeugenden Antriebs und anschließend einer teilweisen oder vollständigen Verflüssigung zu unterwerfen. Die Anlage weist erfindungsgemäß Mittel auf, die dafür eingerichtet sind, nach der teilweisen oder vollständigen Verflüssigung einen ersten Anteil des Kältemittels dem Wärmetausch mit dem Gas zu unterwerfen und einen zweiten Anteil des Kältemittels nacheinander einer Druckbeaufschlagung, einer Erwärmung unter Verwendung der Abwärme des Antriebs und einer arbeitsleistenden Ent-

spannung zu unterwerfen und danach der teilweisen oder vollständigen Verflüssigung wieder zuzuführen.

[0054] Zu Merkmalen und Vorteilen einer entsprechenden Anlage, die vorteilhafterweise zur Durchführung eines Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung und beliebiger zuvor erläuterter Ausgestaltungen eingerichtet ist, sei auf die obigen Erläuterungen ausdrücklich verwiesen.

[0055] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen erläutert, welche Anordnungen gemäß Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung veranschaulichen.

[0056] Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Figur 1 veranschaulicht ein Verfahren gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung.

Figur 2 veranschaulicht ein Verfahren gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung.

Figur 3 veranschaulicht ein Verfahren gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung.

Figur 4 veranschaulicht ein Verfahren gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung.

Figur 5 veranschaulicht ein Verfahren gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung.

Figur 6 veranschaulicht ein Verfahren gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung.

Figur 7 veranschaulicht ein Verfahren gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung.

Figur 7A veranschaulicht eine Variante des Verfahrens gemäß Figur 7.

Figur 8 veranschaulicht ein Verfahren gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung.

Figur 9 veranschaulicht ein Verfahren gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung.

[0057] In den Figuren sind einander entsprechende Elemente mit identischen Bezugszeichen angegeben und werden der Übersichtlichkeit halber nicht wiederholt erläutert. Identische Elemente sind nicht in allen Figuren gesondert bezeichnet.

Ausführliche Beschreibung der Zeichnungen

[0058] In Figur 1 ist ein Verfahren gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung anhand eines schematischen Prozessflussdiagramms veranschaulicht.

[0059] Das Verfahren dient zur Verflüssigung eines Gases, das dem Verfahren in gasförmigem Zustand als Stoffstrom 1 zugeführt und in verflüssigter Form als

Stoffstrom 2 bereitgestellt wird. Zur Verflüssigung dient hier ein insgesamt stark vereinfachter Wärmetauscher- bzw. Tieftemperaturteil 10. Zur Veranschaulichung der allgemeinen Anwendbarkeit ist der Wärmetauscherteil 10 stark vereinfacht dargestellt.

[0060] Kältemittel wird in Form eines erwärmten ("warmen") Kältemittelstroms W aus dem Wärmetauscherteil 10 ausgeführt. In einem Abscheider D1 wird verbliebenes Kondensat abgetrennt. Es folgt eine Verdichtung des Kältemittels des Stoffstroms W in einem ersten Verdichtungsschritt unter Verwendung eines Verdichters C1, der durch eine Gasturbine GT1 angetrieben wird. In der Gasturbine GT1 wird Luft eines Luftstroms A in einer nicht gesondert bezeichneten Verdichterstufe verdichtet und mit Brennstoff F in einer (nicht gezeigten) Brennkammer verbrannt. Heißgas wird in einer ebenfalls nicht gesondert bezeichneten Expansionsstufe entspannt und über einen Wärmetauscher E4 zur Wärmerückgewinnung ausgeführt. Es kann auch eine Hilfsfeuerung unter Verwendung weiteren Brennstoffs AF erfolgen.

[0061] Das im Verdichter C1 verdichtete Kältemittel wird in einem Wärmetauscher E1 abgekühlt, dabei teilkondensiert, und in einem Abscheider D2 einer Phasentrennung unterworfen. Die Gas- und die Flüssigphase werden in Form getrennter Stoffströme dem Wärmetauscherteil 10 zugeführt, wobei ein Teil der Flüssigphase als zuvor mehrfach entsprechend bezeichneter "erster Anteil" des Kältemittels dem Wärmetauscherteil 10 zugeführt wird und ein weiterer Teil entsprechend als "zweiter Anteil" in Form eines Stoffstroms R mittels einer Pumpe P1 druckerhöht, in einem Wärmetauscher E3 und danach in dem Wärmetauscher E4 erwärmt, sodann in einer Entspannungsmaschine X1 arbeitsleistend entspannt, durch den Wärmetauscher E3 geführt, und anschließend mit dem im Verdichter C1 verdichteten Kältemittel vor dessen Abkühlung vereinigt.

[0062] Mit der Entspannungsmaschine X1 ist ein Verdichter C2 über ein Getriebe G gekoppelt. Dem Verdichter C2 kann ein Gemischkältemittel in Form eines erwärmten Kältemittelstroms W1 aus dem Wärmetauscherteil 10 zugeführt werden, so dass auf diese Weise eine Nutzung der Abwärme der Gasturbine GT1 möglich ist. Die Figur 1 verwendet mit dem Kältemittelstrom W1 zusätzlich zu dem Kältemittel des Kältemittelstroms W ein weiteres Gemischkältemittel und betrifft damit einen DMR-Kreislauf. Die Verwendung eines derartigen weiteren Gemischkältemittels ist in allen nachfolgend erläuterten Ausgestaltungen der Erfindung ebenfalls möglich, auch wenn dort jeweils nur ein Gemischkältemittelkreislauf, ggf. mit Teilkreisläufen, veranschaulicht sein sollte.

[0063] In Figur 2 ist ein Verfahren gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung anhand eines schematischen Prozessflussdiagramms veranschaulicht. In Figur 2 ist dabei insbesondere der Wärmetauscherteil 10 näher veranschaulicht. Dieser umfasst insbesondere einen gewickelten Wärmetauscher 11 und einen Abscheider 12, deren Funktion weiter unten erläutert wird.

[0064] Der Kältemittelstrom W1 gemäß Figur 1 oder

ein vergleichbarer Stoffstrom wird hier nicht bereitgestellt, so dass es sich in der konkreten Ausgestaltung um einen SMR-Kreislauf handelt. Der Kältemittelstrom W wird hier in einem ersten Verdichtungsschritt unter Verwendung eines Verdichters C1 und in einem zweiten Verdichtungsschritt unter Verwendung eines Verdichters C2 verdichtet, wobei der Antrieb des ersten Verdichters C1 mittels der Gasturbine GT1 und der Antrieb des zweiten Verdichters C2 mittels der bei der arbeitsleistenden Entspannung in der Entspannungsmaschine X1 geleisteten Arbeit erfolgt.

[0065] Der Stoffstrom W wird stromab des Abscheiders D1 in dem Verdichter C1 verdichtet und anschließend nach Abkühlung in einem Wärmetauscher E1 unter Erhalt einer ersten Flüssigfraktion und einer ersten Gasfraktion in einem Abscheider D2 einer Teilverflüssigung unterworfen. Die nicht gesondert bezeichnete erste Gasfraktion aus dem Abscheider D2 wird in dem zweiten Verdichter C2 verdichtet und anschließend nach Abkühlung in einem Wärmetauscher E2 unter Erhalt einer zweiten Flüssigfraktion und einer zweiten Gasfraktion in einem Abscheider D3 einer Teilverflüssigung unterworfen.

[0066] Die erste Flüssigfraktion aus dem Abscheider D2 wird teilweise in Form des Stoffstroms R behandelt wie bereits zuvor erläutert. Der Rest wird in Form eines nicht gesondert bezeichneten Stoffstroms, wie auch die zweite Gasfraktion aus dem Abscheider D2, dem gewickelten Wärmetauscher 11 zugeführt. Die genannten Kältemittelströme werden durch separate Wärmetauscherrohre geführt und abgekühlt.

[0067] Die nicht in Form des Stoffstroms R verwendete erste Flüssigfraktion aus dem Abscheider D2 wird dem Wärmetauscher 11 auf einem ersten Zwischentemperaturniveau unterhalb des entsprechenden Eintrittstemperaturniveaus entnommen, entspannt und mantelseitig wieder dem Wärmetauscher 11 zugeführt werden. Die zweite Gasfraktion kann dem Wärmetauscher ebenfalls auf dem ersten Zwischentemperaturniveau entnommen, entspannt und dabei teilverflüssigt werden, wobei aber eine Phasentrennung außerhalb des Wärmetauschers 11 in eine Flüssigphase und eine Gasphase in dem Abscheider 12 vorgenommen wird.

[0068] Die in dem Abscheider 12 gebildete Flüssigphase und die Gasphase werden getrennt voneinander auf dem ersten Zwischentemperaturniveau dem Wärmetauscher 11 wieder zugeführt und durch separate Wärmetauscherrohre weiter abgekühlt. Die Flüssigphase wird auf einem zweiten Zwischentemperaturniveau unterhalb des ersten Zwischentemperaturniveaus entnommen, entspannt und mantelseitig wieder dem Wärmetauscher 11 zugeführt. Die Gasphase wird auf einem dritten Zwischentemperaturniveau unterhalb des zweiten Zwischentemperaturniveaus entnommen, entspannt und ebenfalls mantelseitig wieder dem Wärmetauscher 11 zugeführt. Die auf diese Weise mantelseitig vereinigten Fluide werden in Form des Stoffstroms W wieder der Verdichtung zugeführt.

[0069] Der Stoffstrom R wird nach dessen arbeitsleis-

tender Entspannung mit dem Kältemittel vereinigt, das in dem Verdichter C1 verdichtet wurde, bevor dieses für die erste Teilkondensation abgekühlt wird. Die zweite Flüssigfraktion aus dem Abscheider D3 wird über ein Ventil V1 entspannt und in den Abscheider D2 zurückgeführt.

[0070] In Figur 3 ist eine weitere Ausgestaltung der Erfindung veranschaulicht, die sich von der Ausgestaltung gemäß Figur 2 insbesondere dadurch unterscheidet, dass anstelle des gewickelten Rohrbündel-Wärmetauschers 11 ein gelöteter Platten-Wärmetauscher 13 vorgesehen ist.

[0071] Wie hier veranschaulicht, können der nicht in Form des Stoffstroms R verwendete Anteil der ersten Flüssigfraktion aus dem Abscheider D2 und die zweite Gasfraktion aus dem Abscheider D3 gemeinsam dem Wärmetauscher 13 zugeführt und in gemeinsamen Passagen abgekühlt werden. Eine Pumpe 14 fördert dabei den so verwendeten Anteil der ersten Flüssigfraktion auf den Druck der zweiten Gasfraktion, damit beide Fraktionen gemeinsam dem Wärmetauscher 13 zugeführt werden können. Nach einer Entnahme am kalten Ende kann eine Entspannung über ein Ventil 15 vorgenommen und das auf diese Weise weiter abgekühlte Kältemittel durch separate Passagen zurückgeführt und nach einer entsprechenden Erwärmung wieder in den Abscheider D1 eingespeist werden.

[0072] In Figur 4 ist eine weitere Ausgestaltung der Erfindung veranschaulicht, in der insbesondere der zuvor in dem Verdichter C1 durchgeführte erste Verdichtungsschritt abweichend ausgestaltet ist und unter Verwendung von zwei Verdichterstufen (einer ersten Verdichterstufe C1A und einer zweiten Verdichterstufe C1B) durchgeführt wird. Diese werden hier gemeinsam von der Gasturbine GT1 angetrieben.

[0073] Es werden ferner drei Wärmetauscher 16, 17, 18 verwendet, die jeweils als gewickelte Wärmetauscher ausgebildet sind. Es handelt sich hierbei in Richtung einer absteigenden Temperatur des zu verflüssigenden Gases 1 im hier verwendeten Sprachgebrauch um einen ersten Wärmetauscher 16, einen zweiten Wärmetauscher 17 und einen dritten Wärmetauscher 18. Der erste Wärmetauscher 16 kann ggf. entfallen, wie oben ausführlich erläutert.

[0074] Der ersten Verdichterstufe C1A werden entsprechend verdampfte Kältemittelströme aus dem ersten und dem zweiten Wärmetauscher 16, 17 zugeführt und dort verdichtet. Der zweiten Verdichterstufe C1B wird ein verdampfter Kältemittelstrom aus dem dritten Wärmetauscher 18 zugeführt und dort verdichtet. Stromab der Verdichterstufen erfolgt jeweils eine Nachkühlung. Der zuvor mehrfach angesprochene erste und zweite Anteil des Kältemittels werden aus dem in der ersten Verdichterstufe C1A verdichteten Fluid, das zusätzlich zu dem genannten auch weiteres Kältemittel umfassen kann, gebildet, welches dem auch hier mit D2 bezeichneten Abscheider entnommen wird.

[0075] Der erste Anteil wird zunächst rohrrseitig durch

den ersten Wärmetauscher 16 geführt und dort abgekühlt. Ein Teilstrom kann stromab des ersten Wärmetauschers 16 entspannt und mantelseitig in den ersten Wärmetauscher 16 eingespeist werden. Der nicht entspannte Rest des ersten Anteils des Kältemittels kann zur Bildung eines weiteren Teilstroms verwendet werden, der in einem separaten Wärmetauscher E5 zur Kühlung des in der zweiten Verdichterstufe C1B des ersten Verdichtungsschritts verdichteten Fluids verwendet und danach der ersten Verdichterstufe C1A des ersten Verdichtungsschritts zugespeist werden kann. Ein von dem ersten Anteil auch hiernach verbleibender Rest wird zunächst rohrrseitig durch den zweiten Wärmetauscher 17 geführt und in diesem abgekühlt. Dieser Rest kann nun stromab des zweiten Wärmetauschers 17 entspannt und mantelseitig in den zweiten Wärmetauscher 17 eingespeist werden.

[0076] Der zweite Anteil des Kältemittels kann im Wesentlichen wie zuvor erläutert in Form des Stoffstroms R behandelt und insbesondere dem in der ersten Verdichterstufe C1A des ersten Verdichtungsschritts verdichteten Kältemittel zugespeist werden, bevor dieses weiter abgekühlt und kondensiert wird. Er wird auf dieser Weise im Kreis geführt.

[0077] Das in der zweiten Verdichterstufe C1B des ersten Verdichtungsschritts verdichtete Kältemittel kann insbesondere dem zweiten Verdichtungsschritt mit dem Verdichter C2 zugeführt und dort grundsätzlich wie zu der ersten Ausgestaltung erläutert verdichtet werden. Das entsprechend verdichtete Kältemittel wird in einem weiteren Wärmetauscher E6 abgekühlt und zunächst zur weiteren Abkühlung rohrrseitig durch den ersten bis dritten Wärmetauscher 16, 17, 18 geführt. Stromab des letzteren wird dieser Kältemittelanteil entspannt und mantelseitig in den dritten Wärmetauscher 18 eingespeist.

[0078] Eine nochmals weitere bevorzugte Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung ist in Figur 5 veranschaulicht. Diese umfasst, dass der erste Verdichtungsschritt unter Verwendung von zwei Verdichtern durchgeführt wird, die hier der besseren Vergleichbarkeit halber wie zuvor mit C1A und C1B bezeichnet sind, aber nun von zwei getrennten, Abwärme liefernden Antrieben (Gasturbinen) GT1A und GT1B angetrieben werden. Entsprechend sind die zuvor einfach vorhandenen Wärmetauscher E3 und E4 nun in Form der Wärmetauscher E3A, E3B und E4A, E4B doppelt vorhanden. Der zweite Anteil des Kältemittels, der letztlich in Form des Stoffstroms R arbeitsleistend entspannt wird, wird in dieser Ausgestaltung zuvor mit der Abwärme beider Antriebe GT1A und GT1B erwärmt.

[0079] Eine weitere Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung, ist in Figur 6 veranschaulicht und ist in Form eines mit einem Reinstoffkältemittel vorgekühlten Gemischkreislauf-(z.B. C3MR-) Prozesses ausgeführt.

[0080] Die Verdichtung eines Reinstoffkältemittels (hier beispielhaft als Propan C3H8 veranschaulicht) in einem Vorkühlkreislauf wird hier in einem ersten Verdichter C1A vorgenommen und die Verdichtung eines Gemischkältemittels in einem Gemischkältemittelkreislauf

erfolgt unter Verwendung eines zweiten Verdichters C1B und eines dritten Verdichters C2. Die bei der arbeitsleistenden Entspannung geleistete Arbeit wird zum Antrieb des dritten Verdichters C2 genutzt. Der erste und der zweite Verdichter C1A, C1B werden von zwei getrennten Antrieben angetrieben, wobei es sich nur bei dem Antrieb des zweiten Verdichters C1B um einen Abwärme (zumindest in nennenswertem und nutzbarem Umfang) liefernden Antrieb wie eine Gasturbine GT1 handelt. Der Antrieb des ersten Verdichters C1A kann beispielsweise unter Erzeugung deutlich geringerer (und nicht nutzbarer) Abwärmemengen mittels eines Motors M erfolgen.

[0081] Abweichend zu den zuvor erläuterten Ausgestaltungen werden zur Abkühlung des zu verflüssigenden Gases 1 ein gelöteter Platten-Wärmetauscher 19 zusätzlich zu einem gewickelten Wärmetauscher 11 eingesetzt. Das Kältemittel des Reinstoffkreislaufs wird in mehreren Teilströmen, die insbesondere gegen das Gemischkältemittel aus dem zweiten Verdichtungsschritt, erwärmt und verdampft werden und damit das Gemischkältemittel vorkühlen, dem ersten Verdichter C1A zugeführt und dort verdichtet. Nach einer anschließenden Abkühlung und Verflüssigung werden auch hier der erste und der zweite Anteil des Kältemittels gebildet. Der erste Anteil wird zunächst unterkühlt, anschließend gegen das Gemischkältemittel aus dem zweiten Verdichter erwärmt und verdampft, und wieder dem ersten Verdichter C1A zugeführt. Der zweite Anteil R wird wie bereits zuvor erwähnt behandelt und dabei mit der Abwärme des Antriebs des zweiten Verdichters erwärmt.

[0082] Das Gemischkältemittel wird nach seiner Vorkühlung mit dem Kältemittel des Reinstoffkältemittelkreislaufs in dem gewickelten Wärmetauscher 11 rohrrseitig weiter abgekühlt. Stromab hiervon wird es entspannt und mantelseitig dem gewickelten Wärmetauscher 11 zugeführt. Nach einer Entnahme aus dem gewickelten Wärmetauscher 11 und entsprechender Erwärmung wird eine weitere Erwärmung in dem gelöteten Platten-Wärmetauscher 19 durchgeführt und es erfolgt anschließend eine Verdichtung in dem zweiten und dritten Verdichter C1B und C2.

[0083] Eine Variante der soeben erläuterten Ausgestaltung ist in Figur 7 veranschaulicht, Diese umfasst, dass der erste und der zweite Verdichter C1A, C1B über einen gemeinsamen, Abwärme produzierenden Antrieb GT1 angetrieben werden.

[0084] Wiederum eine Variante der in Figur 7 veranschaulichten Ausgestaltung, die aber ohne weiteres auch als eine Variante beispielsweise der in Figur 6 dargestellten Ausgestaltung oder einer anderen Ausführungsform der Erfindung realisiert sein kann, ist in Figur 7A dargestellt. Hier wird ein Teilstrom R' des Kältemittelstroms R nicht durch den Wärmetauscher E3 geführt, sondern durch einen Wärmetauscher E4', der stromab des Wärmetauschers E4 im Turbinenabgasstrom der Gasturbine GT1 angeordnet ist. Wie in Form gestrichelter, aber nicht gesondert bezeichneter Stoffströme und Wärmetauscher dargestellt, kann die Vorkühlung des

Kältemittels auch abweichend ausgestaltet sein und insbesondere weniger Wärmetauscherstufen umfassen als zuvor dargestellt.

[0085] In allen Fällen kann bei der arbeitsleistenden Entspannung geleistete Arbeit bei der Verdichtung eines weiteren Kältemittels verwendet werden, mit dem das Gas der Abkühlung im indirekten Wärmetausch unterworfen wird. Dies kann beispielsweise bei der Verwendung eines mit einem Reinstoffkältemittel vorgekühlten Gemischkältemittelkreislaufs der Fall sein, oder in weiteren Varianten der Erfindung, die in den Figuren 8 und 9 veranschaulicht sind. In diesen werden weitere gelötete Platten-Wärmetauscher 19A und 19B verwendet, die unter Verwendung eines Stickstoffkreislaufs betrieben werden.

[0086] Die Behandlung des Gemischkältemittels ergibt sich direkt aus den Figuren 8 und 9 und den vorstehenden Erläuterungen und erfolgt im Wesentlichen analog wie beispielsweise in Figur 3, wobei aber hier die Verdichter C1 und C2 unter Verwendung der Gasturbine GT1 betrieben werden.

[0087] Der Stickstoff des Stickstoffkreislaufs wird in der Ausgestaltung gemäß Figur 8 in einer Entspannungsmaschine X2 und einer Verdichtung in einem Verdichter C3 unterworfen, wobei die Verdichtung des Stickstoffs unter Verwendung der bei der arbeitsleistenden Entspannung des zweiten Anteils des Gemischkältemittels geleisteten Arbeit in der Entspannungsmaschine X1 erfolgt. Die Entspannung des Stickstoffs erfolgt arbeitsleistend in einer Entspannungsmaschine X2, wobei bei der arbeitsleistenden Entspannung des Stickstoffs geleistete Arbeit ebenfalls bei der Verdichtung des Stickstoffs verwendet wird. Die Entspannungsmaschinen X1 und X2 sowie der Verdichter C3 sind hier mechanisch gekoppelt.

[0088] Der verdichtete Stickstoff wird nacheinander abgekühlt, einem ersten indirekten Wärmetausch in dem Wärmetauscher 19B unterworfen und dabei abgekühlt, der Entspannung unterworfen, einem zweiten indirekten Wärmetausch in dem Wärmetauscher 19A unterworfen und dabei erwärmt, danach wieder dem ersten indirekten Wärmetausch in dem Wärmetauscher 19B unterworfen und dabei erwärmt, und wieder der Verdichtung zugeführt. In dem zweiten indirekten Wärmetausch in dem Wärmetauscher 19A wird dabei das zuvor der teilweisen oder vollständigen Verflüssigung unterworfenen Gas unterkühlt. Zur Nachkühlung des Stickstoffs in dem Stickstoffkreislauf stromab des Verdichters C3 ist ein Wärmetauscher E7 vorgesehen.

[0089] In der Ausgestaltung gemäß Figur 9, die ansonsten im Wesentlichen der Ausgestaltung der Figur 8 entspricht, erfolgt die Verdichtung des Stickstoffs zweistufig in einem ersten und danach einem zweiten Verdichtungsschritt in Verdichtern C3 und C4, wobei der erste Verdichtungsschritt unter Verwendung der bei der arbeitsleistenden Entspannung des Stickstoffs in einer Entspannungsmaschine X1 geleisteten Arbeit und der zweite Verdichtungsschritt unter Verwendung der bei der arbeitsleistenden Entspannung des zweiten Anteils des

Gemischkältemittels in einer Entspannungsmaschine X2 geleisteten Arbeit erfolgt. In dieser Ausgestaltung sind die Entspannungsmaschine X1 und der Verdichter C4 einerseits und die Entspannungsmaschine X2 und der Verdichter C3 andererseits gekoppelt.

[0090] Die vorstehend beschriebene Erfindung und ihre erläuterten und insbesondere in den Figuren dargestellten Ausgestaltungen werden nachfolgend nochmals mit anderen Worten beschrieben. Die nachfolgend verwendeten Begriffe können synonym mit den vorstehend verwendeten Begriffen für die jeweils damit bezeichneten Verfahrensschritte, Einrichtungen und Medien stehen. Die nachfolgenden Erläuterungen beschreiben denselben Erfindungsgedanken mit entsprechenden vorteilhaften Weiterbildungen wie die obigen Erläuterungen in zumindest teilweise abweichender Formulierung.

[0091] Die vorliegende Erfindung stellt ein Verfahren zum Erfassen bzw. Rückgewinnen von Abwärme dar, die in einem Gasverflüssigungsprozess erzeugt wird, umfassend das Verflüssigen eines Gases durch einen Wärmeaustauschprozess unter Verwendung eines Kältemittelfluids, das Verdichten des verbrauchten Kältemittelfluids aus dem Verflüssigungsprozess durch ein Verfahren, das überschüssige Wärme erzeugt, das Verflüssigen zumindest eines Teils des verdichteten Kältemittelfluids, das Pumpen eines Teils des verflüssigten verdichteten Kältemittelfluids auf einen höheren Druck, das Erwärmen des Teils des verflüssigten verdichteten Kältemittelfluids mit höherem Druck durch Aufnahme der überschüssigen Wärme, die durch die Verdichtung des verbrauchten Kältemittelfluids erzeugt wird, wodurch der Teil des verdichteten Kältemittelfluids mit höherem Druck überhitzt wird, und das Verwenden des überhitzten verdichteten Kältemittelfluids zur Versorgung eines mechanischen Prozesses.

[0092] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gilt für ein Erdgasverflüssigungsverfahren mit mindestens einem Verdichter, der im Kältemittelkreislauf für den kryogenen Prozess der Erdgasverflüssigung eingesetzt wird. Die vorliegende Erfindung verwendet einen Verdichter im Kältemittelkreislauf, wobei der Verdichter von einer Gasturbine oder einer ähnlichen Energiequelle angetrieben wird, die bei der Erzeugung von Leistung zum Betrieb des Verdichters Abwärme erzeugt. Die vorliegende Erfindung verwendet einen Arbeitsexpander, wobei der Fluidkreislauf für den Arbeitsexpander verwendet wird, um die Abwärme der Gasturbine oder einer ähnlichen Leistungsquelle aufzunehmen, die den Verdichter im Kältemittelkreislauf antreibt. In einer Ausführungsform der Erfindung wird der Fluidkreislauf für den Arbeitsexpander sowohl unter Druck gesetzt als auch erwärmt, damit der Fluidkreislauf die im Abgasstrom der Gasturbine vorhandene Abwärme oder andere Abwärme der Leistungsquelle, die den Verdichter im Kältekreislauf antreibt, aufnehmen kann. Das dabei entstehende überhitzte Fluid, das aus dem Rückgewinnungsprozess für die Abwärmeenergie entsteht, wird dann als Energiequelle für den Antrieb des Arbeitsexpanders verwendet.

[0093] In einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird das im Fluidkreislauf für den Arbeitsexpander verwendete Fluid auch für den Kältemittelkreislauf verwendet. In dieser Ausführungsform der Erfindung wird zusätzlich ein zweiter Verdichter im Kältemittelkreislauf eingesetzt, wobei der zweite Verdichter durch den Arbeitsexpander angetrieben wird. Dementsprechend wird in dieser Ausführungsform der Erfindung das Kältemittelfluid, das im kryogenen Prozess zur Verflüssigung für Erdgas verwendet wird, auch zum Aufnehmen von Abwärme verwendet, die zum Antreiben des ersten Verdichters erzeugt wird, um Leistung zum Antreiben des Arbeitsexpanders bereitzustellen, der wiederum den zweiten Verdichter antreibt, um das Kältemittelfluid weiter zu verdichten. Dementsprechend bietet diese Ausführungsform der vorliegenden Erfindung Vorteile gegenüber anderen Systemen zur Erfassung von Abwärmeenergie. So erfordert diese Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weder die Einführung zusätzlicher Arbeitsflüssigkeiten, wie z.B. Wasser, noch die Zugabe anderer Flüssigkeiten (z.B. Dampf, Ammoniak, Propan, etc.) in geschlossenen Kreisläufen.

[0094] In einem nicht veranschaulichten Erdgasverflüssigungsprozess gemäß dem Stand der Technik, bei dem ein einzelnes Gemischkältemittel (SMR) mit einem zweistufigen SMR-Verdichtungsprozess verwendet wird, kann vorgesehen sein, dass zwei Verdichter C1 und C2 von einer einzigen Gasturbine GT1 angetrieben werden. Dabei führt ein kryogener Teil des Prozesses die Verflüssigung des Erdgases durch einen Wärmeaustauschprozess mit einem gemischten Kältemittel durch. Im Erdgasverflüssigungsprozess wird das gemischte Kältemittel verdichtet, gekühlt und teilweise verflüssigt, bevor es im kryogenen Prozess recycelt wird. In einem Behälter D1 kann gemischtes Kältemittel, das durch den kryogenen Teil abgegeben wird, gesammelt werden, welches dann in den ersten Verdichter C1 und den Wärmetauscher E1 geleitet wird. In einem entsprechenden zweistufigen Verdichtungsprozess wird der flüssige Anteil des ersten Verdichters C1 und eines Wärmetauschers E1 in einem Speicher Behälter D2 gesammelt, wobei der Dampfanteil des ersten Verdichters C1 über den zweiten Verdichter C2 und einen Wärmetauscher E2 in die zweite Stufe des Prozesses eingespeist wird. Der resultierende Anteil wird aus dem zweiten Verdichter C2 und dem Wärmetauscher E2 vereinigt und in einem Behälter D3 gesammelt. Die beiden in den Behältern D2 und D3 gesammelten Fraktionen können in den kryogenen Teil eingespeist werden, um den Verflüssigungsprozess von Erdgas durch einen Wärmeaustauschprozess durchzuführen.

[0095] Abbildung 2 stellt eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung in einem Erdgasverflüssigungsprozess dar, in der ein einzelnes gemischtes Kältemittel (SMR) mit einem zweistufigen SMR-Verdichtungsprozess verwendet wird. In Figur 2 wird der zweite Verdichter C2 von einem Arbeitsexpander X1 anstelle einer Gasturbine angetrieben. Der Arbeitsexpander X1 wird von

überhitztem Fluid angetrieben, das von einem Wärmetauscher E4 zugeführt wird. Die vom Arbeitsexpander X1 abgegebene Flüssigkeit wird durch einen Economizer bzw. Abwärmetauscher E3 gekühlt und dann mit dem vom ersten Verdichter C1 erzeugten Kältemittel vereinigt. Die vereinigten Flüssigkeiten werden dann durch einen Wärmetauscher E1 oder dergleichen weiter gekühlt und in einem Behälter D2 gesammelt. Ein Teil der im Behälter D2 gesammelten kombinierten Flüssigkeiten wird dann von der Pumpe P1 zum Wärmetauscher E3 gefördert. Das in den Abwärmetauscher E3 gepumpte gekühlte Fluid wird erwärmt und anschließend in den Wärmetauscher E4 geleitet. Der Wärmetauscher E4 ist in Fluidverbindung mit dem warmen Abgas der Gasturbine GT1, die den ersten Verdichter C1 antreibt. Dabei nutzt der Wärmetauscher E4 die Wärme aus dem Abgas der Gasturbine GT1, um die dem Wärmetauscher E4 zugeführte erwärmte Flüssigkeit aus dem Abwärmetauscher E3 zu überhitzen. Das überhitzte Fluid aus dem Wärmetauscher E4 wird dann in den Arbeitsexpander X1 geleitet, um den zweiten Verdichter C2 anzutreiben.

[0096] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann der kryogene Teil mit Wickelwärmetauschern (CWHEs), gelöteten Platten-Wärmetauschern (PFHEs) oder einer Kombination davon ausgelegt werden. Abbildung 3 ist beispielsweise eine Veranschaulichung einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Verwendung einer Einzel-Gemischkältemittel-(SMR-)Konfiguration unter Verwendung von gelöteten Platten-Wärmetauschern (PFHEs) im kryogenen Teil.

[0097] In einer Ausführungsform der Erfindung, die in Figur 1 dargestellt ist, wird ein Teilstrom von 30 bis 90 Vol.-% des austretenden Flüssigkeitsbehälters D2 mittels der Pumpe P1 auf das mindestens Dreifache des Drucks im Speicher D2 gepumpt. Der Hochdruckstrom der Pumpe P1 wird dann von einem Abwärmetauscher E3 erwärmt und dem Überhitzer E4 zugeführt. Der Überhitzer E4 gewinnt die Abwärme aus dem Abgasstrom der Gasturbine GT1 und erwärmt den Hochdruckstrom aus dem Abwärmetauscher E3 auf mindestens 180 °C, vorzugsweise mindestens 200 °C. Das heiße Gas aus dem Überhitzer E4 wird dann in den Arbeitsexpander X1 eingespeist und auf einen Druck reduziert, der leicht über dem Betriebsdruck des Speichers D2 liegt. In einer Ausführungsform der Erfindung ist der Druck des den Arbeitsexpander X1 verlassenden Stroms hoch genug, um den Druckabfall in den Wärmetauschern E3 und E1 zu überwinden, die noch auf den Druck in D2 treffen. Der aus dem Arbeitsexpander X1 austretende Strom wird dann gekühlt und zumindest teilweise durch den Economizer E3 und den Wärmetauscher E1 kondensiert und anschließend in den Speicher D2 zurückgeführt. Die vom Arbeitsexpander X1 erzeugte Wellenleistung wird verwendet, um den Verdichter C2 anzutreiben, um das Kältemittel zu verdichten, das dann im Speicher D3 gespeichert und dann in den kryogenen Teil des Prozesses eingespeist wird.

[0098] Wie zu der in Figur 1 dargestellten Ausführungsform der Erfindung erläutert, führt das Druckverhältnis von mindestens dem Dreifachen des Saugdrucks im Behälter D2, das durch die Pumpe P1 erzeugt wird, zu einem ähnlichen, nur geringfügig niedrigeren Druckverhältnis im Arbeitsleistenden X1, das ein bevorzugter Arbeitsbereich für einen arbeitsleistenden Expander ist. Darüber hinaus kann der Eingangsdruck des Arbeitsexpanders X1 unter einem Druck von 100 bar gehalten werden, was eine kostengünstige mechanische Konstruktion ermöglicht. Darüber hinaus sorgt der von der Pumpe P1 erzeugte erhöhte Druck dafür, dass der Arbeitsexpander X1 einen Eingangsdruck erhält, der deutlich über dem kritischen Druck des Fluids liegt, und vermeidet so Zweiphaseneffekte innerhalb des Fluids. In Ausführungsformen der in den Abbildungen 1 bis 9 dargestellten Erfindung wird das Kältemittel im Prozess für zwei Prozesse verwendet, den Erdgasverflüssigungsprozess im kryogenen Bereich und den Prozess der Rückgewinnung der von der Gasturbine erzeugten Abwärme zum Antreiben des Kältemittelverdichtungsprozesses. Weitere Verbesserungen können an der vorliegenden Erfindung vorgenommen werden, um die Leistung der vorliegenden Erfindung zu verbessern. So könnte beispielsweise die Leistung des Arbeitsexpanders X1 durch Zusatzfeuerung einer zusätzlichen Wärmequelle in die Rauchgaskanäle der Gasturbine GT1 erhöht werden. Die vom arbeitsleistenden Expander X1 durchgeführte arbeitsleistende Entspannung kann in aufeinanderfolgende Schritte aufgeteilt werden, mit oder ohne die Notwendigkeit, das Arbeitsfluid nach Belieben erneut zu erwärmen.

[0099] In anderen Ausführungsformen der Erfindung könnte die vom Arbeitsexpander X1 erzeugte Wellenleistung zum Antreiben anderer Prozesse verwendet werden, wie beispielsweise eines Stromerzeugers, einer Speisegasverdichtung, einer endständigen Flashgasverdichtung, einer beliebigen Art von Kältemittelverdichtung oder einer anderen Dienstleistung, die Strom benötigt.

[0100] Das gesamte Kühlsystem wird mindestens ein Kältemittel aufweisen, das entweder aus einer reinen Komponente oder einem Gemisch von Komponenten besteht, wobei das Kältemittel in einer Ausführungsform der Erfindung bei Umgebungstemperatur zumindest teilweise kondensiert werden kann. In einer Ausführungsform der Erfindung könnten die zulässigen Kältemittelkomponenten Stickstoff und leichte paraffinische oder olefinische Kohlenwasserstoffe von C1 bis C5 (wie CH₄, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₆, C₃H₈, iC₄H₁₀, nC₄H₁₀, nC₄H₁₀, iC₅H₁₂, nC₅H₁₂, nC₅H₁₂, etc.) beinhalten. Das Kühlsystem kann auch mehr als einen Kreislauf beinhalten, wobei die zusätzlichen Kreisläufe reine Kältemittelkreisläufe und/oder gemischte Kältemittelkreisläufe und/oder Gasexpansionskreisläufe sind.

[0101] Abbildung 4 ist eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Verwendung einer dualen gemischten Kältemittelkonfiguration (DMR) mit drei Wickelwärmetauschern (CWHEs) im kryogenen Bereich und

einer einzelnen Gasturbine GT1, die für beide Gemischkältemittelkreisläufe verwendet wird. Wie in Figur 6 dargestellt, entkoppelt die Konfiguration einen Hochdruckverdichter C2 von den Niederdruckverdichtern C1A, C1B, die von einer gemeinsamen Welle angetrieben werden, welcher von der Gasturbine GT1 angetrieben wird. Diese Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erübrigt auch die Notwendigkeit eines Getriebes, das erforderlich wäre, um den Verdichter C2 mit einem höheren Druck und einer höheren Betriebsdrehzahl zu betreiben, wenn der Verdichter C2 eine ähnliche Kapazität wie der Verdichter C1A oder C1B aufweist.

[0102] Abbildung 5 ist eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Verwendung einer dualen Gemischkältemittelkonfiguration (DMR) mit drei Wickelwärmetauschern (CWHEs) im kryogenen Teil, wobei die Verdichter C1A und C1B von unabhängigen Gasturbinen GT1A und GT1B angetrieben werden, wobei die Abwärme der beiden Gasturbinen GT1A und GT1B in den Wärmetauschern E4A und E4B verwendet wird, um die in den Arbeitsmaschinen X1 eingespeiste Flüssigkeit zu überhitzen. Ein Vorteil der Ausführungsform der in Figur 5 dargestellten Erfindung ist die Fähigkeit, eine höhere Leistung des Arbeitsexpanders X1 zum Antreiben des Verdichters C2 zu erreichen.

[0103] Abbildung 6 ist eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Verwendung einer C3MR-Konfiguration (propanvorgekühltes gemischtes Kältemittel) mit einem einzelnen Wickelwärmetauscher (CWHEs) im kryogenen Teil. In Abbildung 8 werden die Kompressoren C1A und C1B durch unabhängige Leistungsmechanismen angetrieben, wobei die Abwärme der Gasturbine GT1, die den Kompressor C1B antreibt, zur Überhitzung des dem Arbeitsexpander X1 zugeführten Fluids verwendet wird. Die in Figur 8 dargestellte Ausführungsform würde ein geeignetes Fluid, wie Propan, Propylen oder andere Kohlenwasserstoffe, für den Vorkühlprozess verwenden. Alternativ, wie in Abbildung 7 dargestellt, können die Verdichter C1A und C1B von einer gemeinsamen Gasturbine GT1 angetrieben werden.

[0104] In anderen Ausführungsformen der Erfindung, in denen das Kühlsystem mehr als einen Kreislauf beinhaltet, können die zusätzlichen Kreisläufe reine Kältemittelkreisläufe, gemischte Kältemittelkreisläufe und/oder Gasexpansionskreisläufe sein. Darüber hinaus können in anderen Konfigurationen eine oder mehrere Gasturbinen parallel oder in Serie betrieben werden. Die Abbildungen 8 und 9 veranschaulichen beispielsweise eine alternative Anwendung der vorliegenden Erfindung für einen Gasverflüssigungsprozess mit einem zweistufigen kryogenen Verfahren. In den in den Figuren 8 und 9 dargestellten Ausführungsformen wird ein Gemischkältemittelkreislauf zur Vorkühlung und Verflüssigung und ein Gasexpansionsprozess zur Unterkühlung des Erdgases in separaten Stufen des kryogenen Prozesses verwendet.

Gemäß einem 1. Aspekt umfasst die Erfindung ein

Verfahren zum Abscheiden von Abwärme, die in einem Gasverflüssigungsprozess erzeugt wird, umfassend das Verflüssigen eines Gases durch einen Wärmeaustauschprozess unter Verwendung eines Kältemittelfluids, das Verdichten des verbrauchten Kältemittelfluids aus dem Verflüssigungsprozess durch ein Verfahren, das überschüssige Wärme erzeugt, das Verflüssigen mindestens eines Teils des verdichteten Kältemittelfluids, das Pumpen eines Teils des verflüssigten verdichteten Kältemittelfluids zu einem höheren Druck, das Erwärmen des Teils des verflüssigten verdichteten Kältemittelfluids mit höherem Druck durch Auffangen der überschüssigen Wärme, die durch die Verdichtung des verbrauchten Kältemittelfluids erzeugt wird, wodurch der Teil des verdichteten Kältemittelfluids mit höherem Druck überhitzt wird, und das Verwenden des überhitzten verdichteten Kältemittelfluids zur Durchführung eines mechanischen Prozesses.

Gemäß einem 2. Aspekt ist ein Verfahren zum Rückgewinnen von Abwärme, die in einem Gasverflüssigungsverfahren erzeugt wird, nach dem 1. Aspekt vorgesehen, ferner umfassend, dass der mechanische Prozess eine weitere Verdichtung des verdichteten Kältemittelfluids darstellt.

Gemäß einem 3. Aspekt ist ein Verfahren zum Rückgewinnen von Abwärme, die in einem Gasverflüssigungsverfahren erzeugt wird, nach dem 1. Aspekt vorgesehen, wobei der mechanische Prozess ferner der Betrieb eines Arbeitsexpanders ist.

Gemäß einem 4. Aspekt ist ein Verfahren zum Rückgewinnen von Abwärme, die in einem Gasverflüssigungsverfahren erzeugt wird, nach dem 3. Aspekt vorgesehen, ferner umfassend das Erwärmen des Teils des verflüssigten verdichteten Kältemittelfluids mit höherem Druck durch Wärmeaustausch mit dem durch den Arbeitsexpander abgegebenen Fluid.

Gemäß einem 5. Aspekt ist ein Verfahren zum Rückgewinnen von Abwärme, die in einem Gasverflüssigungsverfahren erzeugt wird, nach dem 4. Aspekt vorgesehen, wobei ferner das Fluid aus dem im Wärmetausch verwendeten Arbeitsexpander mit dem verflüssigten komprimierten Kältemittelfluid kombiniert wird.

Gemäß einem 6. Aspekt ist ein Verfahren zum Rückgewinnen von Abwärme, die in einem Gasverflüssigungsverfahren erzeugt wird, nach dem 3. Aspekt vorgesehen, ferner umfassend, dass der mechanische Prozess eine weitere Verdichtung des verdichteten Kältemittelfluids darstellt.

Gemäß einem 7. Aspekt ist ein Verfahren zum Rückgewinnen von Abwärme, die in einem Gasverflüssi-

gungsverfahren erzeugt wird, nach dem 6. Aspekt vorgesehen, ferner umfassend, dass das weitere Kompressionskältemittelfluid das Kältemittelfluid in dem Verflüssigungsschritt ist.

Gemäß einem 8. Aspekt ist ein Verfahren zum Rückgewinnen von Abwärme, die in einem Gasverflüssigungsverfahren erzeugt wird, nach dem 1. Aspekt vorgesehen, ferner umfassend, dass das mechanische Verfahren elektrische Energie erzeugt.

Gemäß einem 9. Aspekt ist ein Verfahren zum Rückgewinnen von Abwärme, die in einem Gasverflüssigungsverfahren erzeugt wird, nach dem 1. Aspekt vorgesehen, ferner umfassend, dass das Erwärmen des Teils des verflüssigten verdichteten Kältemittelfluids mit höherem Druck, die Hilfsfeuerung einer zusätzlichen Wärmequelle in die abgefangene überschüssige Wärme handelt, die durch die Verdichtung des verbrauchten Kältemittelfluids erzeugt wird.

Patentansprüche

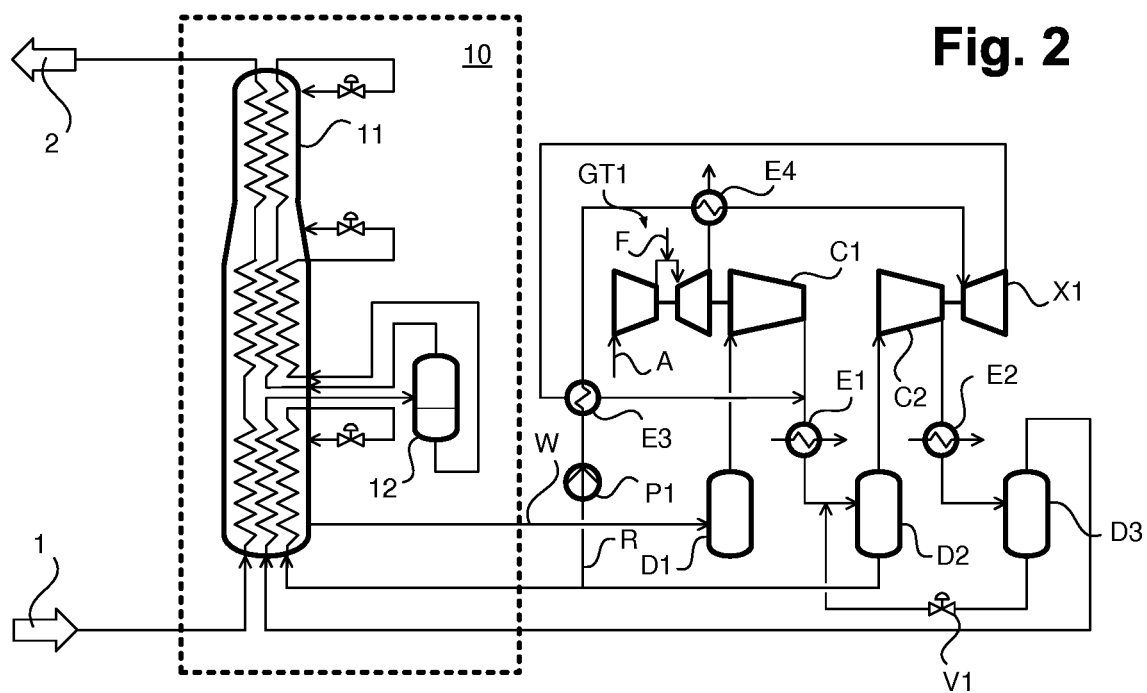
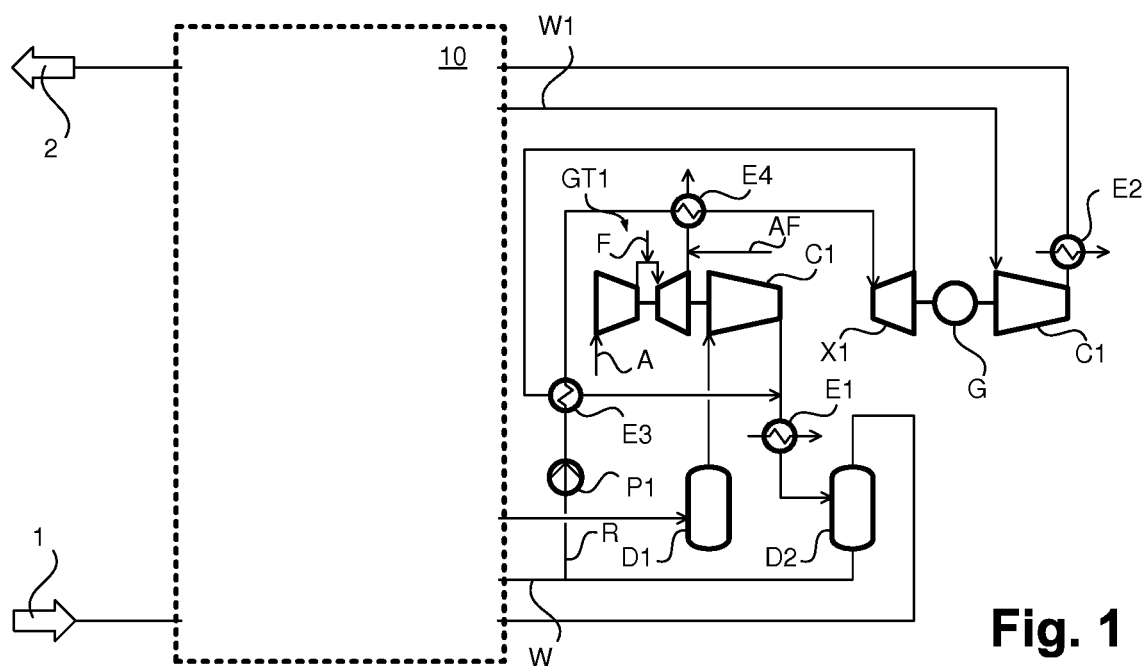
1. Verfahren zum Verflüssigen eines Gases, wobei das Gas im indirekten Wärmetausch mit einem Kältemittel einer Abkühlung unterworfen wird und zumindest ein Teil des Kältemittels nach dem Wärmetausch mit dem Gas einer Verdichtung unter Verwendung eines Abwärme erzeugenden Antriebs (GT1) sowie einer teilweisen oder vollständigen Verflüssigung unterworfen wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach der teilweisen oder vollständigen Verflüssigung ein erster Anteil des Kältemittels dem Wärmetausch mit dem Gas unterworfen wird und dass ein zweiter Anteil des Kältemittels nacheinander einer Druckbeaufschlagung, einer Erwärmung unter Verwendung der Abwärme des Antriebs (GT1) und einer arbeitsleistenden Entspannung unterworfen und danach der teilweisen oder vollständigen Verflüssigung wieder zugeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem ein Gemischkältemittel in einem oder mehreren Gemischkältemittelkreisläufen als das Kältemittel verwendet wird und/oder bei dem Erdgas oder ein unter Verwendung von Erdgas gebildetes Gasgemisch als das Gas verwendet wird und/oder bei dem eine Gasturbine als der Abwärme erzeugende Antrieb (GT1) verwendet wird.
3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem bei der arbeitsleistenden Entspannung geleistete Arbeit zusätzlich zu dem Antrieb (GT1) bei der Verdichtung desselben Kältemittels verwendet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem die Verdichtung

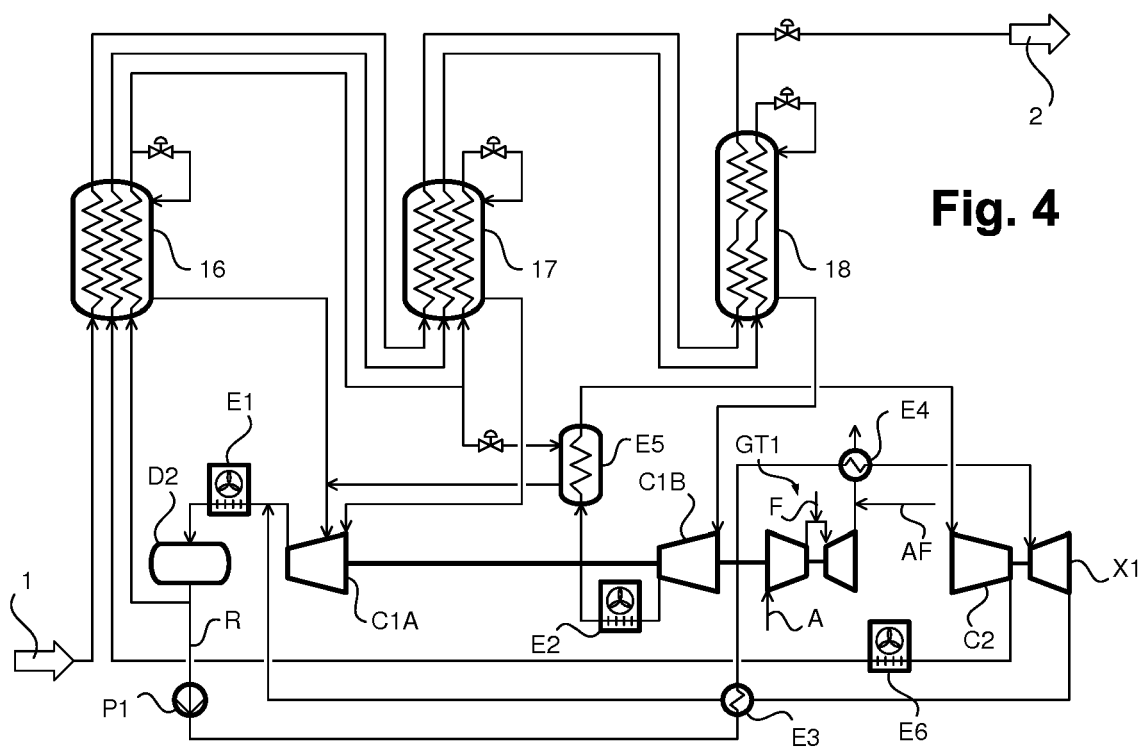
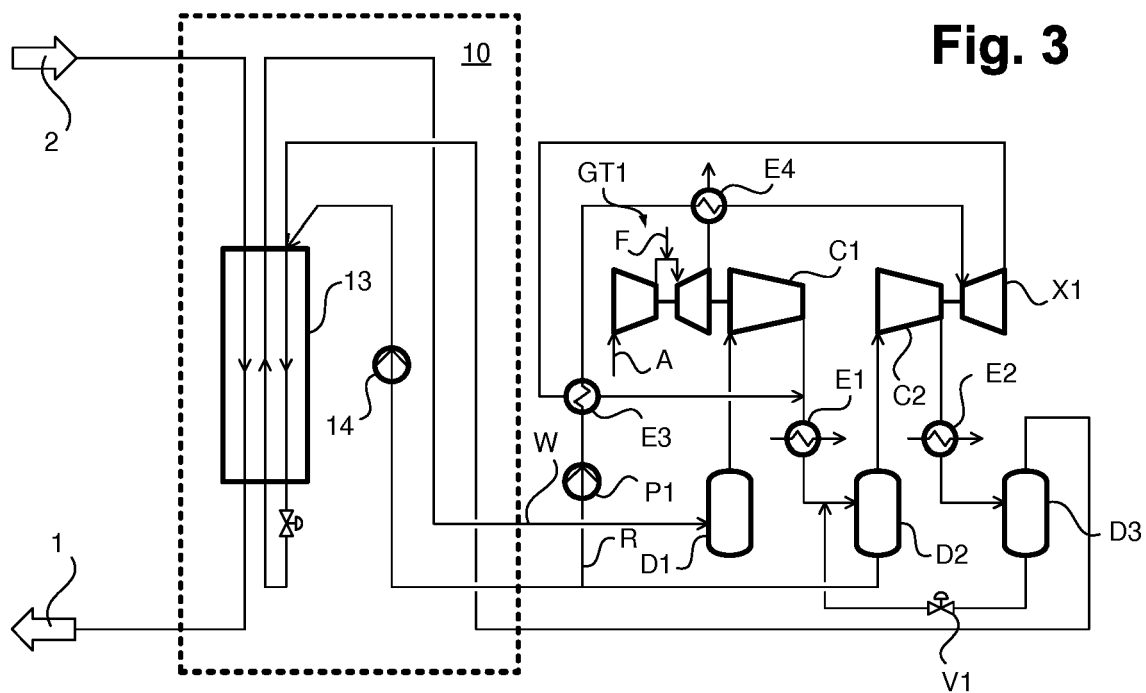
des Kältemittels einen ersten Verdichtungsschritt auf ein erstes Druckniveau und einen zweiten Verdichtungsschritt auf ein zweites Druckniveau oberhalb des ersten Druckniveaus umfasst, wobei der Antrieb (GT1) in dem ersten Verdichtungsschritt und die bei der arbeitsleistenden Entspannung geleistete Arbeit in dem zweiten Verdichtungsschritt verwendet wird.

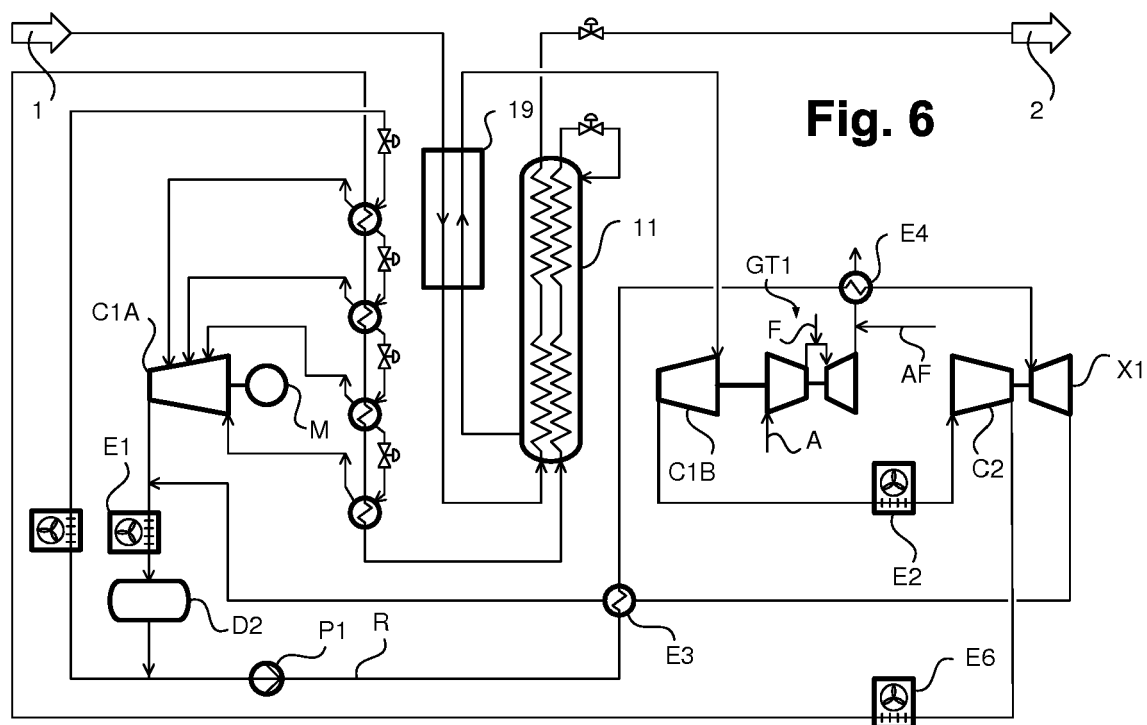
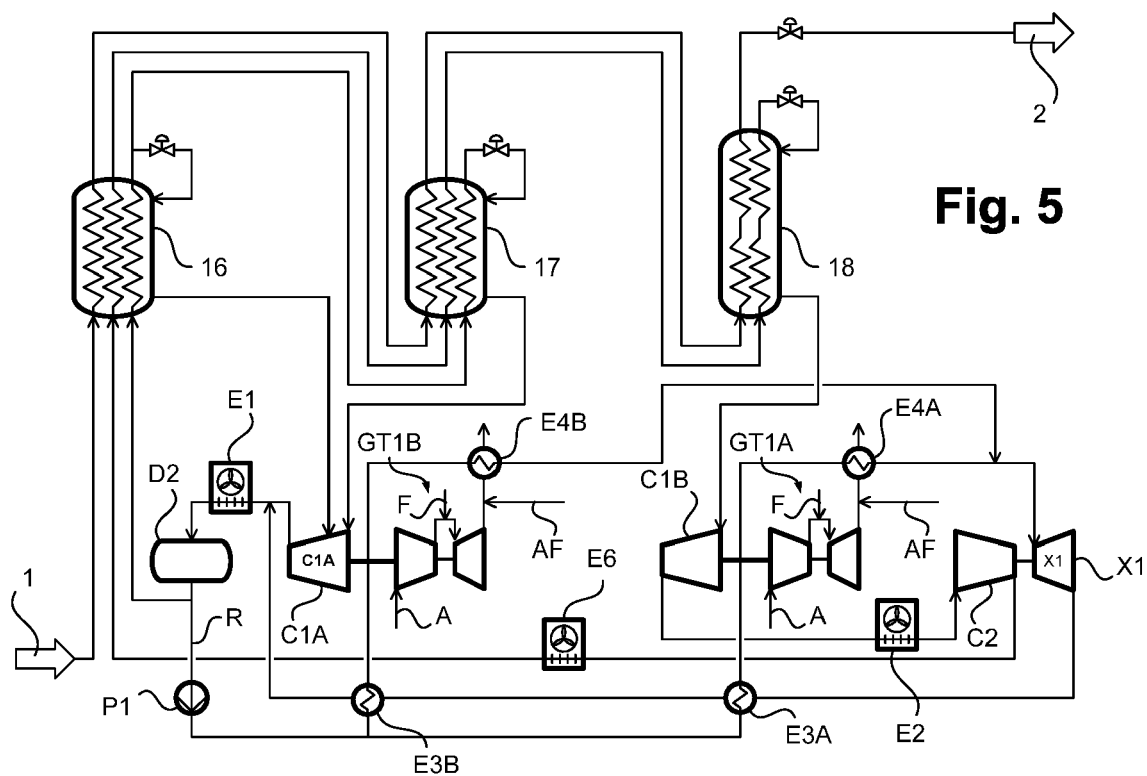
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, bei dem der erste und zweite Anteil jeweils Anteile eines ersten Kältemittels sind und bei dem bei der arbeitsleistenden Entspannung geleistete Arbeit bei der Verdichtung eines zweiten Kältemittels verwendet wird, wobei das erste Kältemittel ein Reinstoffkältemittel und das zweite Kältemittel ein Gemischkältemittel ist, oder wobei das erste Kältemittel ein Gemischkältemittel und das zweite Kältemittel Stickstoff ist. 10
6. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem das Kältemittel zumindest teilweise dem ersten Verdichtungsschritt und anschließend unter Erhalt einer ersten Flüssigfraktion und einer ersten Gasfraktion zumindest teilweise einer ersten Teilverflüssigung unterworfen wird, wobei die erste Gasfraktion zumindest teilweise dem zweiten Verdichtungsschritt und anschließend unter Erhalt einer zweiten Flüssigfraktion und einer zweiten Gasfraktion zumindest teilweise einer zweiten Teilverflüssigung unterworfen wird. 20
7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem der zweite Anteil des Kältemittels nach dessen arbeitsleistender Entspannung zumindest teilweise mit dem Kältemittel oder einem Teil hiervon vereinigt wird, bevor dieses oder dieser einer Abkühlung für die erste Teilverflüssigung unterworfen wird. 25
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, bei dem der zweite Anteil des Kältemittels vor dessen arbeitsleistender Entspannung zumindest teilweise einem indirekten Wärmetausch mit dem zweiten Anteil des Kältemittels oder einem Teil hiervon unterworfen wird, nachdem dieser der arbeitsleistenden Entspannung unterworfen wurde und bevor dieser mit der ersten Gasfraktion vereinigt wird. 30
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, bei dem die zweite Flüssigfraktion zumindest teilweise entspannt und mit dem in dem ersten Verdichtungsschritt verdichteten Kältemittel vereinigt wird. 35
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9, bei dem für die Abkühlung des Gases im indirekten Wärmetausch mit dem Kältemittel ein Wärmetauscher mit mehreren Abschnitten oder mehrere Wärmetauscher verwendet werden, worin der erste Anteil des Kältemittels und die zweite Gasfraktion oder Teile 40

hiervon auf unterschiedliche Temperaturniveaus weiter abgekühlt und nach einer Entspannung wieder erwärmt werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem bei der arbeitsleistenden Entspannung geleistete Arbeit zusätzlich zu dem Antrieb (GT1) bei der Verdichtung eines weiteren Kältemittels verwendet wird, mit dem das Gas der Abkühlung im indirekten Wärmetausch unterworfen wird. 45
12. Anlage zum Verflüssigen eines Gases, wobei die Anlage Mittel aufweist, die dafür eingerichtet sind, das Gas im indirekten Wärmetausch mit einem Kältemittel einer Abkühlung zu unterwerfen und zumindest einen Teil des Kältemittels nach dem Wärmetausch mit dem Gas einer Verdichtung unter Verwendung eines Abwärme erzeugenden Antriebs (GT1) sowie einer teilweisen oder vollständigen Verflüssigung zu unterwerfen, **gekennzeichnet durch** Mittel, die dafür eingerichtet sind, nach der teilweisen oder vollständigen Verflüssigung einen ersten Anteil des Kältemittels dem Wärmetausch mit dem Gas zu unterwerfen und einen zweiten Anteil des Kältemittels nacheinander einer Druckbeaufschlagung, einer Erwärmung unter Verwendung der Abwärme des Antriebs (GT1) und einer arbeitsleistenden Entspannung zu unterwerfen und danach der teilweisen oder vollständigen Verflüssigung wieder zuzuführen. 50
13. Anlage nach Anspruch 12, die zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11 eingerichtet ist. 55







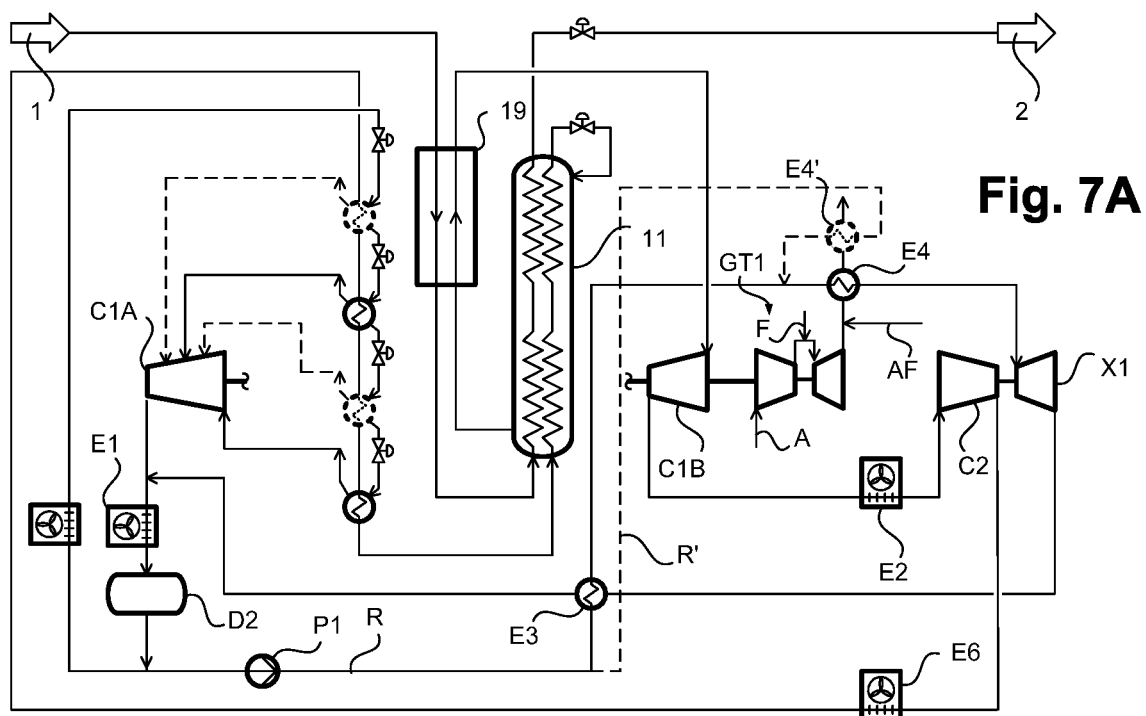
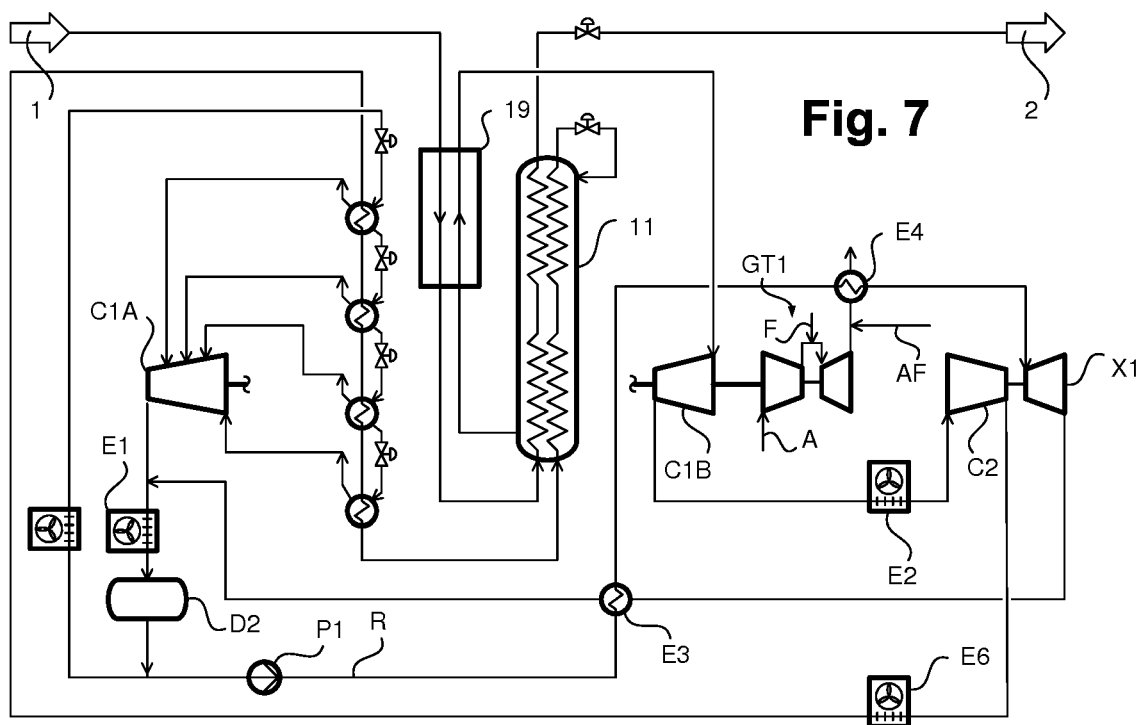
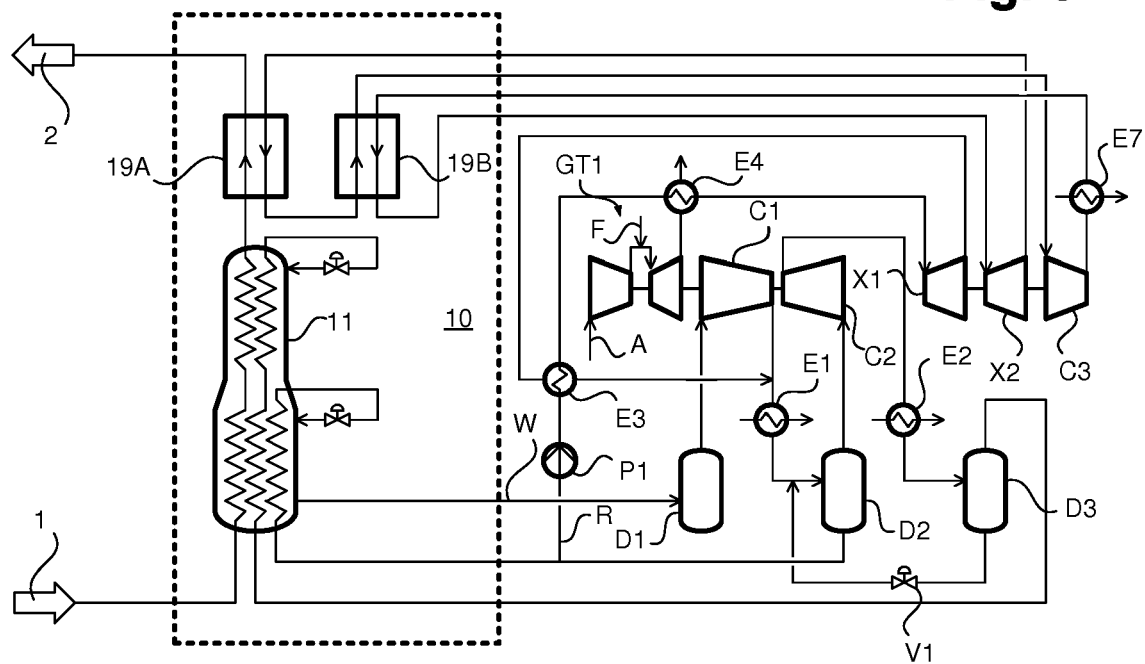
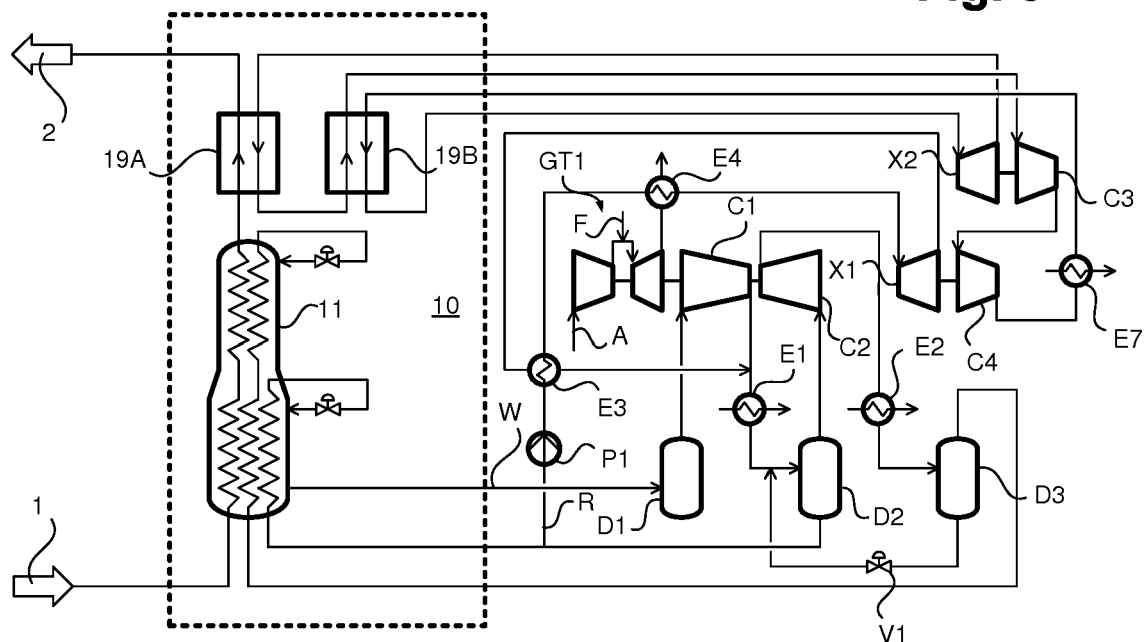


Fig. 8**Fig. 9**



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 19 02 0458

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	US 2017/131027 A1 (MAK JOHN [US] ET AL) 11. Mai 2017 (2017-05-11) * Abbildungen 1, 3, 4, 6 * * Absatz [0015] - Absatz [0027] * -----	1-13	INV. F25J1/00 F25J1/02
A	US 2007/101732 A1 (MAK JOHN [US]) 10. Mai 2007 (2007-05-10) * Abbildung 3 * * Absatz [0007] - Absatz [0009] * * Absatz [0033] - Absatz [0036] * -----	1-13	
A	WO 2017/054929 A1 (LINDE AG [DE]) 6. April 2017 (2017-04-06) * Abbildungen 1-3 * * Seite 1, Zeile 3 - Zeile 13 * * Seite 5, Zeile 1 - Seite 6, Zeile 25 * -----	1-13	
A	US 2010/147024 A1 (ROBERTS MARK JULIAN [US] ET AL) 17. Juni 2010 (2010-06-17) * Absatz [0001]; Abbildungen 1-3 * * Absatz [0022] - Absatz [0041] * -----	1-13	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
A	WO 2010/121752 A2 (LINDE AG [DE]; BAUER HEINZ [DE]; FRANKE HUBERT [DE]) 28. Oktober 2010 (2010-10-28) * Abbildung 1 * * Seite 2, Zeile 5 - Zeile 25 * -----	1-13	F25J
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 20. März 2020	Prüfer Karspeck, Sabine
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 19 02 0458

5

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

20-03-2020

10

15

20

25

30

35

40

45

50

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2017131027 A1	11-05-2017	CA 3003614 A1	11-05-2017
		US 2017131027 A1	11-05-2017
		US 2019204006 A1	04-07-2019
		WO 2017079711 A1	11-05-2017
US 2007101732 A1	10-05-2007	AT 535752 T	15-12-2011
		AT 542086 T	15-02-2012
		AU 2003258212 A1	04-01-2005
		AU 2003265770 A1	04-01-2005
		CA 2525428 A1	16-12-2004
		CA 2528129 A1	16-12-2004
		CN 1820163 A	16-08-2006
		EA 200501876 A1	28-04-2006
		EA 200501899 A1	28-04-2006
		EP 1634015 A1	15-03-2006
		EP 1634023 A1	15-03-2006
		ES 2376429 T3	13-03-2012
		ES 2385090 T3	18-07-2012
		JP 4317187 B2	19-08-2009
		JP 4494338 B2	30-06-2010
		JP 2006526723 A	24-11-2006
		JP 2006526724 A	24-11-2006
		MX PA05012948 A	13-02-2006
		PT 1634015 E	24-04-2012
		PT 1634023 E	06-02-2012
		US 2007101732 A1	10-05-2007
		WO 2004109180 A1	16-12-2004
		WO 2004109206 A1	16-12-2004
WO 2017054929 A1	06-04-2017	DE 102016000393 A1	06-04-2017
		WO 2017054929 A1	06-04-2017
US 2010147024 A1	17-06-2010	AU 2009245831 A1	01-07-2010
		BR PI0904895 A2	15-03-2011
		CA 2687673 A1	12-06-2010
		CN 101845340 A	29-09-2010
		EP 2199716 A2	23-06-2010
		JP 2010189622 A	02-09-2010
		KR 20100068194 A	22-06-2010
		PE 20100569 A1	20-08-2010
		RU 2009146074 A	20-06-2011
		TW 201027018 A	16-07-2010
		US 2010147024 A1	17-06-2010
WO 2010121752 A2	28-10-2010	AR 075917 A1	04-05-2011
		AU 2010238844 A1	15-09-2011

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

55

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 19 02 0458

5

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patendokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

20-03-2020

10

Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
		BR PI1013712 A2	05-04-2016
		CL 2011002392 A1	10-02-2012
		CN 102575897 A	11-07-2012
		DE 102009018248 A1	28-10-2010
		PE 20121108 A1	03-08-2012
		RU 2011147065 A	27-05-2013
		WO 2010121752 A2	28-10-2010

15

20

25

30

35

40

45

50

EPO FORM P0461

55

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Natural Gas. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 15. Juli 2006 [0002]
- Wang und Economides. Advanced Natural Gas Engineering. Gulf Publishing, 2010 [0002]
- Liquefied Natural Gas (LNG) [0002]