

(19)



Europäisches
Patentamt
European
Patent Office
Office européen
des brevets



(11)

EP 2 835 506 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
11.02.2015 Patentblatt 2015/07

(51) Int Cl.:
F01K 3/00 (2006.01) **F01K 13/02 (2006.01)**
F02C 6/16 (2006.01) **F25J 1/00 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: 13003985.2

(22) Anmeldetag: 09.08.2013

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(71) Anmelder: **Linde Aktiengesellschaft
80331 München (DE)**

(72) Erfinder: **Alekseev, Alexander Dr.
82515 Wolfratshausen (DE)**

(74) Vertreter: **Imhof, Dietmar
Linde AG
Legal Services Intellectual Property
Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14
82049 Pullach (DE)**

(54) **Verfahren zur Erzeugung von elektrischer Energie und Energieerzeugungsanlage**

(57) Es wird ein Verfahren zur Erzeugung von elektrischer Energie in einer kombinierten Energieerzeugungsanlage (100, 200), die eine Luftbehandlungseinheit (10) und eine Kraftwerkseinheit (20) umfasst, vorgeschlagen. In einem ersten Betriebsmodus (Verflüssigungsbetrieb) wird ein erster warmer Druckluftstrom (f) in einem Wärmetauschersystem (15) der Luftbehandlungseinheit (10) zu einem ersten kalten Druckluftstrom (h) abgekühlt, wobei aus dem ersten kalten Druckluftstrom (h) ein erster tiefkalter flüssiger Strom (i) hergestellt und in einen Flüssigspeicher (17) der Luftbehandlungseinheit (10) überführt wird. In einem zweiten Betriebsmodus (Entnahmebetrieb) wird ein zweiter warmer Druckluftstrom (b) in dem Wärmetauschersystem (15) zu einem zweiten kalten Druckluftstrom (m) abgekühlt, wobei der zweite kalte Druckluftstrom (m) in einem Kaltverdichtersystem (16) der Luftbehandlungseinheit (10) zu einem ersten Hochdruckstrom (n) verdichtet wird. In dem zweiten Betriebsmodus wird ferner ein zweiter tiefkalter flüs-

siger Strom (p) aus dem Speichertank (17) entnommen und in dem Wärmetauschersystem (15) zu einem zweiten Hochdruckstrom (s) verdampft oder pseudoverdampft, wobei der erste (n) und der zweite Hochdruckstrom (s) zu einem Sammelstrom (t) vereinigt werden. In dem zweiten Betriebsmodus wird schließlich der Sammelstrom (t) oder ein hieron abgeleiteter Strom (u) in wenigstens einer mit einem Generator (G) gekoppelten Turbine (23) der Kraftwerkseinheit (20) entspannt. Es ist vorgesehen, dass der erste warme Druckluftstrom (f) in dem ersten Betriebsmodus in dem Wärmetauschersystem (15) zumindest zum Teil gegen einen Strom (k) eines flüssigen Kältemittels abgekühlt wird. Ferner ist vorgesehen, dass der zweite tiefkalte flüssige Strom (p) in dem zweiten Betriebsmodus in dem Wärmetauschersystem (15) zumindest zum Teil gegen einen Strom (k) des flüssigen Kältemittels erwärmt wird. Eine Energieerzeugungsanlage (100, 200) ist ebenfalls Gegenstand der Erfindung.

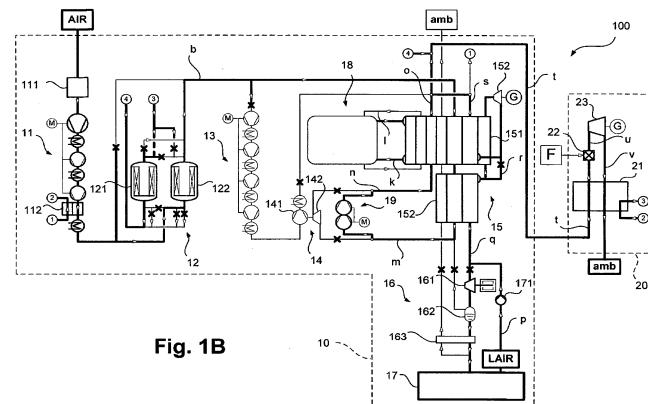


Fig. 1B

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von elektrischer Energie in einer kombinierten Energieerzeugungsanlage, die eine Luftbehandlungseinheit und eine Kraftwerkseinheit umfasst, und eine entsprechende Energieerzeugungsanlage gemäß den Oberbegriffen der unabhängigen Patentansprüche.

Stand der Technik

[0002] Beispielsweise aus DE 31 39 567 A1 und WO 2007/096656 A1 ist bekannt, Flüssigluft oder Flüssigstickstoff, also tiefkalte Luftverflüssigungsprodukte, zur Netzregelung und zur Bereitstellung von Regelleistung in Stromnetzen zu verwenden.

[0003] Zu Billigstromzeiten oder Stromüberschusszeiten wird dabei Luft in einer Luftzerlegungsanlage mit einem integrierten Verflüssiger oder in einer dezidierten Verflüssigungsanlage, hier allgemein als Luftbehandlungseinheit bezeichnet, insgesamt oder teilweise zu einem derartigen Luftverflüssigungsprodukt verflüssigt. Das Luftverflüssigungsprodukt wird in einem Tanksystem mit Tieftemperaturtanks gespeichert. Dieser Betriebsmodus wird hier als "Verflüssigungsbetrieb" bezeichnet.

[0004] Zu Spitzenlastzeiten wird das Luftverflüssigungsprodukt aus dem Tanksystem entnommen, mittels einer Pumpe druckerhöht und bis auf etwa Umgebungstemperatur oder höher angewärmt und damit in einen gasförmigen oder überkritischen Zustand überführt. Ein hierdurch erhaltener Hochdruckstrom wird in einer Kraftwerkseinheit in einer Entspannungsturbine oder mehreren Entspannungsturbinen mit Zwischenerwärmung bis auf Umgebungsdruck entspannt. Die dabei freiwerdende mechanische Leistung wird in einem oder mehreren Generatoren der Kraftwerkseinheit in elektrische Energie umgewandelt und in ein elektrisches Netz eingespeist. Dieser Betriebsmodus wird hier als "Entnahmebetrieb" bezeichnet.

[0005] Entsprechende Verfahren und Vorrichtungen können, wie auch das Verfahren und die Vorrichtung der Erfindung, grundsätzlich auch mit einem Luftverflüssigungsprodukt arbeiten, welches mehr als 40 Molprozent Sauerstoff enthält. Dies wurde hier jedoch ausgenommen, um eine Verwechslung mit Verfahren und Vorrichtungen zu vermeiden, bei denen ein besonders sauerstoffreiches Fluid zur Unterstützung von Oxidationsreaktionen in einer Gasturbine eingeleitet wird.

[0006] Die beim Überführen des Luftverflüssigungsprodukts in den gasförmigen oder überkritischen Zustand freiwerdende Kälte kann während des Entnahmebetriebs auch gespeichert und während des Verflüssigungsbetriebs zur Bereitstellung von Kälte zur Gewinnung des Luftverflüssigungsprodukts eingesetzt werden.

[0007] Es sind schließlich auch Druckluftspeicherkraftwerke bekannt, in denen die Einsatzluft jedoch nicht verflüssigt, sondern in einem Verdichter verdichtet und in einer unterirdischen Kaverne gespeichert wird. In Zeiten hoher Stromnachfrage wird die Druckluft aus der Kaverne in die Brennkammer einer Gasturbine geleitet. Gleichzeitig wird der Gasturbine über eine Gasleitung Brennstoff, beispielsweise Erdgas, zugeführt und in der durch die Druckluft gebildeten Atmosphäre verbrannt. Das gebildete Abgas wird in der Gasturbine entspannt, wodurch Energie erzeugt wird.

[0008] Die Wirtschaftlichkeit entsprechender Verfahren und Vorrichtungen wird stark vom Gesamtwirkungsgrad beeinflusst. Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, entsprechende Verfahren und Vorrichtungen in ihrer Wirtschaftlichkeit zu verbessern.

Offenbarung der Erfindung

[0009] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Erzeugung von elektrischer Energie in einer kombinierten Energieerzeugungsanlage, die eine Luftbehandlungseinheit und eine Kraftwerkseinheit umfasst, und eine entsprechende Energieerzeugungsanlage mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind jeweils Gegenstand der abhängigen Patentansprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

[0010] Vor der Erläuterung der Merkmale und Vorteile der erfindungsgemäß vorgeschlagenen Maßnahmen werden einige nachfolgend verwendete Begriffe erläutert.

[0011] Unter einer "Kraftwerkseinheit" wird hier eine Anlage oder ein Anlagenteil verstanden, die bzw. der zur Erzeugung von elektrischer Energie eingerichtet ist. Eine Kraftwerkseinheit umfasst dabei zumindest eine Entspannungsturbine, die mit zumindest einem Generator gekoppelt ist. Die bei der Entspannung eines Fluids in der zumindest einen Entspannungsturbine frei werdende mechanische Leistung kann daher in elektrische Energie umgesetzt werden.

[0012] Unter einer "Luftbehandlungseinheit" wird hier eine Anlage verstanden, die zur Gewinnung wenigstens eines "Luftverflüssigungsprodukts" aus Luft eingerichtet ist. Es kann sich hierbei, wie eingangs erläutert, um eine Luftzerlegungsanlage handeln, die zur Gewinnung entsprechender Luftfraktionen eingerichtet sein kann oder auch nur um eine Verflüssigungseinheit einer derartigen Anlage oder eine dezidierte Verflüssigungseinheit. Ausreichend für eine Luftbehandlungseinheit zum Einsatz in der vorliegenden Erfindung ist es, dass durch diese ein entsprechendes tiefkaltes Luftverflüssigungsprodukt erhalten werden kann, das als Speicherflüssigkeit verwendbar und in ein Tanksystem über-

führbar ist. Eine "Luftzerlegungsanlage" wird mit atmosphärischer Luft beschickt und weist ein Destillationssäulensystem zur Zerlegung der atmosphärischen Luft in ihre physikalischen Komponenten auf, insbesondere in Stickstoff und Sauerstoff. Hierzu wird die Luft zunächst in die Nähe ihres Taupunkts abgekühlt und dann in das Destillationssäulensystem eingeleitet. Verfahren und Vorrichtungen zur Tieftemperaturzerlegung von Luft sind z.B. aus Hausen/Linde, Tieftemperaturtechnik, 2. Auflage 1985, Kapitel 4 (Seiten 281 bis 337) bekannt. Im Gegensatz hierzu umfasst eine "Luftverflüssigungsanlage" kein Destillationssäulensystem. Im Übrigen entspricht ihr Aufbau dem einer Luftzerlegungsanlage mit der Abgabe eines Luftverflüssigungsprodukts. Selbstverständlich kann auch in einer Luftzerlegungsanlage Flüssigluft als Nebenprodukt erzeugt werden.

[0013] Ein "Luftverflüssigungsprodukt" ist jedes Produkt, das zumindest durch Verdichten, Abkühlen und anschließendes Entspannen von Luft in Form einer tiefkalten Flüssigkeit hergestellt werden kann. Insbesondere kann es sich bei einem Luftverflüssigungsprodukt um Flüssigluft, flüssigen Sauerstoff, flüssigen Stickstoff und/oder ein flüssiges Edelgas wie flüssiges Argon handeln. Die Begriffe "flüssiger Sauerstoff" bzw. "flüssiger Stickstoff" bezeichnen dabei jeweils auch eine tiefkalte Flüssigkeit, die Sauerstoff bzw. Stickstoff in einer Menge aufweist, die oberhalb der atmosphärischer Luft liegt. Es muss sich dabei also nicht notwendigerweise um reine Flüssigkeiten mit hohen Gehalten von Sauerstoff bzw. Stickstoff handeln. Unter flüssigem Stickstoff wird also sowohl reiner oder im Wesentlichen reiner Stickstoff verstanden, als auch ein Gemisch aus verflüssigten Luftgasen, dessen Stickstoffgehalt höher als derjenige der atmosphärischen Luft ist. Beispielsweise weist dieses einen Stickstoffgehalt von mindestens 90, vorzugsweise mindestens 99 Molprozent auf.

[0014] Unter einer "tiefkalten" Flüssigkeit, bzw. einem entsprechenden Fluid, Luftverflüssigungsprodukt, Strom usw. wird ein flüssiges Medium verstanden, dessen Siedepunkt deutlich unterhalb der jeweiligen Umgebungstemperatur liegt und beispielsweise 200 K oder weniger, insbesondere 220 K oder weniger, beträgt. Beispiele für derartige tiefkalte Medien sind flüssige Luft, flüssiger Sauerstoff und flüssiger Stickstoff.

[0015] Ein "Wärmetauschersystem" dient zur indirekten Übertragung von Wärme zwischen zumindest zwei im Gegenstrom zueinander geführten Strömen, beispielsweise einem warmen Druckluftstrom und einem oder mehreren kalten Strömen oder einem tiefkalten Luftverflüssigungsprodukt und einem oder mehreren warmen Strömen. Ein Wärmetauschersystem kann aus einem einzelnen oder mehreren parallel und/oder seriell verbundenen Wärmetauscherabschnitten gebildet sein, z.B. aus einem oder mehreren Plattenwärmetauscherblöcken.

[0016] Ein "Verdichtersystem" ist eine Vorrichtung, die zum Verdichten wenigstens eines gasförmigen Stroms von wenigstens einem Eingangsdruck, bei dem dieser dem Verdichtersystem zugeführt wird, auf wenigstens einen Enddruck, bei dem dieser dem Verdichtersystem entnommen wird, eingerichtet ist. Das Verdichtersystem bildet dabei eine bauliche Einheit, die jedoch mehrere "Verdichterstufen" in Form bekannter Kolben-, Schrauben- und/oder Schaufelrad- bzw. Turbinenanordnungen (also Radial- oder Axialverdichterstufen) aufweisen kann. Insbesondere werden diese Verdichterstufen mittels eines gemeinsamen Antriebs, beispielsweise über eine gemeinsame Welle und/oder einen gemeinsamen Elektromotor, angetrieben. Mehrere Verdichtersysteme, z.B. ein Haupt- und ein Nachverdichter einer Luftbehandlungseinheit, können eine "Verdichteranordnung" bilden.

[0017] Ein "Kaltverdichtersystem", das wie die soeben erläuterten Verdichtersysteme eine oder mehrere Verdichterstufen aufweisen kann, die über eine gemeinsame Welle angetrieben werden, ist ein Verdichtersystem, das Gasströme in tiefkaltem Zustand verdichtet. Kaltverdichter zeichnen sich insbesondere durch wenigstens eine Radialverdichterstufe, ein Tieftemperaturgehäuse und/oder eine elektrische Antriebseinheit mit integrierter Lagerung aus.

[0018] Ein "einziges Kaltverdichtersystem" bzw. ein "einziges Verdichtersystem" ist dabei als bauliche Einheit ausgebildet, die nur einmal in einer entsprechenden Anlage vorhanden ist, jedoch eine oder mehrere Verdichterstufen umfassen kann. Sind mehrere Verdichterstufen vorgesehen, sind diese über eine gemeinsame Welle mit einem gemeinsamen Verdichterantrieb gekoppelt. Dem einzigen Kaltverdichtersystem bzw. dem einzigen Verdichtersystem wird Fluid insbesondere in Form nur eines Fluidstroms zugeführt, der mit der einen Verdichterstufe in einem Schritt oder mit mehreren Verdichterstufen sukzessive in mehreren Schritten verdichtet wird.

[0019] Eine "Entspannungsturbine", die über eine gemeinsame Welle mit weiteren Entspannungsturbinen oder Energiewandlern wie Ölbremsen, Generatoren oder Verdichterstufen gekoppelt sein kann, ist zur Entspannung eines gasförmigen oder zumindest teilweise flüssigen Stroms eingerichtet. Teilweise können Entspannungsturbinen zum Einsatz in der vorliegenden Erfindung als Turboexpander ausgebildet sein. Sind eine oder mehrere als Turboexpander ausgebildete Entspannungsturbinen nur mit einer oder mehreren Verdichterstufen, beispielsweise in Form von Radialverdichterstufen, gekoppelt und ggf. mechanisch gebremst, werden diese jedoch ohne extern, beispielsweise mittels eines Elektromotors, zugeführte Energie betrieben, wird hierfür der Begriff "Boosterturbine" verwendet. Eine derartige Boosterturbine verdichtet dabei zumindest einen Strom durch die Entspannung zumindest eines anderen Stroms, jedoch ohne extern, beispielsweise mittels eines Elektromotors, zugeführte Energie.

[0020] Unter einer "Gasturbine" wird im Rahmen der vorliegenden Anmeldung eine Anordnung aus wenigstens einer Brennkammer und wenigstens einer dieser nachgeschalteten Entspannungsturbine (der Gasturbine im engeren Sinn) verstanden. In letzterer werden heiße Gase aus der Brennkammer arbeitsleistend entspannt. Eine Gasturbine kann ferner wenigstens eine von der Entspannungsturbine über eine gemeinsame Welle angetriebene Verdichterstufe, typi-

scherweise mit wenigstens einer Radialverdichterstufe, aufweisen. Ein Teil der in der Entspannungsturbine erzeugten mechanischen Energie wird üblicherweise zum Antrieb der wenigstens einen Verdichterstufe eingesetzt. Ein weiterer Teil wird regelmäßig zur Erzeugung elektrischer Energie in einem Generator umgesetzt.

[0021] Als Abwandlung einer Gasturbine weist eine "Verbrennungsturbine" lediglich die erwähnte Brennkammer und eine dieser nachgeschaltete Entspannungsmaschine auf. Ein Verdichter ist üblicherweise nicht vorgesehen.

[0022] Eine "Heißgasturbine" weist hingegen im Gegensatz zu einer Gasturbine statt einer Brennkammer einen Erhitzer auf. Eine Heißgasturbine kann einstufig mit einem Erhitzer und einer Entspannungsturbine ausgebildet sein. Alternativ können jedoch mehrere Entspannungsturbinen, vorzugsweise mit Zwischenerhitzung, vorgesehen sein. In jedem Fall kann insbesondere stromab der letzten Entspannungsturbine ein weiterer Erhitzer vorgesehen sein. Auch die Heißgasturbine ist vorzugsweise mit einem oder mehreren Generatoren zur Erzeugung von elektrischer Energie gekoppelt.

[0023] Unter einem "Erhitzer" wird im Rahmen dieser Anmeldung ein System zum indirekten Wärmetausch zwischen einem Heizfluid und einem zu erhitzenden gasförmigen Fluid verstanden. Mittels eines derartigen Erhitzers kann Restwärme, Abwärme, Prozesswärme, Solarwärme etc. auf das zu erhitzende gasförmige Fluid übertragen und zur Energieerzeugung in einer Heißgasturbine genutzt werden.

[0024] Ein "Abwärmedampferzeuger", auch als Abhitzekessel (engl. Heat Recovery Steam Generator, HRSG) bezeichnet, ist zur Erzeugung von Dampf durch Erhitzen von Wasser oder zum weiteren Erhitzen, z.B. von Kaltdampf zu Heißdampf, mittels eines Abwärmestroms, beispielsweise eines aus einem noch heißen oder nacherhitzten Gasstrom stromab einer Gasturbine oder Heißgasturbine eingerichtet.

[0025] Unter einem "Tanksystem" wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung eine Anordnung mit wenigstens einem zur Speicherung eines tiefkalten Luftverflüssigungsprodukts eingerichteten Tieftemperaturspeichertank verstanden. Ein entsprechendes Tanksystem weist Isolationsmittel auf und ist beispielsweise gemeinsam mit einer Luftbehandlungseinheit in einer Coldbox angebracht.

[0026] Die vorliegende Anmeldung verwendet zur Charakterisierung von Drücken und Temperaturen die Begriffe "Druckniveau" und "Temperaturniveau", wodurch zum Ausdruck gebracht werden soll, dass entsprechende Drücken und Temperaturen in einer entsprechenden Anlage nicht in Form exakter Druck- bzw. Temperaturwerte verwendet werden müssen, um das erforderliche Konzept zu verwirklichen. Jedoch bewegen sich derartige Drücke und Temperaturen typischerweise in bestimmten Bereichen, die beispielsweise $\pm 1\%$, 5% , 10% , 20% oder sogar 50% um einen Mittelwert liegen. Entsprechende Druckniveaus und Temperaturniveaus können dabei in disjunkten Bereichen liegen oder in Bereichen, die einander überlappen. Insbesondere schließen beispielsweise Druckniveaus unvermeidliche Druckverluste oder zu erwartende Druckverluste, beispielsweise aufgrund von Abkühlungseffekten, ein. Entsprechendes gilt für Temperaturniveaus. Bei den hier in bar angegebenen Druckniveaus handelt es sich um Absolutdrücke.

[0027] Werden tiefkalte Luftverflüssigungsprodukte bzw. entsprechende flüssige Ströme im Rahmen der vorliegenden Anmeldung durch Erwärmen "in einen gasförmigen oder überkritischen Zustand überführt", schließt dies einerseits einen regulären Phasenübergang durch Verdampfen ein, wenn dies bei unterkritischem Druck erfolgt. Falls solche tiefkalte Luftverflüssigungsprodukte bzw. entsprechende flüssige Ströme jedoch bei einem Druck erwärmt werden, der oberhalb des kritischen Drucks liegt, erfolgt beim Erwärmen über die kritische Temperatur hinaus kein Phasenübergang im eigentlichen Sinn, sondern ein Übergang vom flüssigen in den überkritischen Zustand, wofür hier der Begriff "Pseudoverdampfen" verwendet wird.

[0028] Unter einem "Sammelstrom" wird im Rahmen dieser Anmeldung eine Gesamtmenge zweier oder mehrerer Ströme, beispielsweise zweier oder mehrerer Druckluftströme bei gleichem oder unterschiedlichem Druck, verstanden, die von einer ersten funktionellen oder baulichen Einheit einer Anlage in eine zweite funktionelle oder bauliche Einheit überführt wird. Im Rahmen dieser Anmeldung wird beispielsweise ein solcher Sammelstrom von einer Luftbehandlungseinheit in eine Kraftwerkseinheit überführt. Ein Sammelstrom kann in einer oder in mehreren Leitungen geführt werden. Bei einer "Bildung" eines entsprechenden Sammelstroms handelt es sich daher um dessen Bereitstellung durch die erste funktionelle oder bauliche Einheit an die zweite funktionelle oder bauliche Einheit. Die zwei oder mehr Ströme werden dabei insbesondere in einer gemeinsamen Leitung zusammengefasst. Dies muss jedoch nicht notwendigerweise erfolgen, ein Sammelstrom kann, wie erwähnt, auch in zwei oder mehr Leitungen geführt werden.

Vorteile der Erfindung

[0029] Die vorliegende Erfindung geht von einem zuvor erläuterten Verfahren zur Erzeugung von elektrischer Energie in einer kombinierten Energieerzeugungsanlage aus, die eine Luftbehandlungseinheit und eine Kraftwerkseinheit umfasst.

[0030] In dem Verfahren wird in einem ersten Betriebsmodus, dem bereits erwähnten Verflüssigungsbetrieb, ein erster warmer Druckluftstrom in einem Wärmetauschersystem zu einem ersten kalten Druckluftstrom abgekühlt. Aus dem ersten kalten Druckluftstrom wird ein erster tiefkalter flüssiger Strom eines Luftverflüssigungsprodukts hergestellt, das in einem Tanksystem gespeichert wird. Wie erwähnt, handelt es sich bei dem ersten tiefkalten flüssigen Strom um verflüssigte Luft oder um eine andere Luftfraktion, beispielsweise Flüssigstickstoff oder um eine stickstoffangereicherte

Fraktion. Vorzugsweise enthält der tiefkalte flüssige Strom jedoch deutlich weniger als 40 Molprozent Sauerstoff. Ein entsprechend gespeichertes tiefkaltes Luftverflüssigungsprodukt bildet damit ein Speichermedium, das in Billigstromzeiten oder Stromüberschusszeiten hergestellt wird und für Hochstrompreiszeiten vorgehalten werden kann.

[0031] In einem zweiten Betriebsmodus, dem zuvor erwähnten Entnahmeflug, der typischerweise während der Hochstrompreiszeiten durchgeführt wird, wird hingegen ein zweiter warmer Druckluftstrom in dem Wärmetauschersystem zu einem zweiten kalten Druckluftstrom abgekühlt, wobei der zweite kalte Druckluftstrom in einem Kaltverdichtersystem zu einem ersten Hochdruckstrom verdichtet wird. Vorzugsweise wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung nur genau ein Kaltverdichtersystem verwendet. Weiter vorzugsweise wird der zweite kalte Druckluftstrom dem Kaltverdichtersystem auf dem tiefsten durch das Wärmetauschersystem bereitstellbaren Temperaturniveau, insbesondere mit -140 bis -180 °C, beispielsweise mit -150 bis -170 °C, zugeführt.

[0032] Der erste Druckluftstrom des ersten Betriebsmodus wird durch Verdichten in einem Hauptverdichtersystem und Nachverdichten in einem Nachverdichtersystem bereitgestellt. Sowohl das Haupt- als auch das Nachverdichtersystem können dabei mehrere Verdichterstufen umfassen, die, wie bereits zuvor erläutert, mit einem gemeinsamen Verdichterantrieb über eine gemeinsame Welle angetrieben werden. Das Hauptverdichtersystem und das Nachverdichtersystem können dabei auch über Mittel zur Zwischen- und Nachkühlung verfügen. In dem ersten Betriebsmodus kann ferner ein Druckluftstrom stromab des Nachverdichtersystems durch eine Boosterturbine nochmals druckerhöht werden. Der entsprechend verdichtete erste Druckluftstrom kann auch zumindest teilweise in einer in dem Wärmetauschersystem integrierten Entspannungsturbine, die beispielsweise mit einem Generator gekoppelt sein kann, entspannt werden, wodurch Kälte zum Betrieb des Wärmetauschersystems generiert werden kann.

[0033] Der zweite warme Druckluftstrom des zweiten Betriebsmodus wird hingegen vorzugsweise ausschließlich durch Verdichten in dem Hauptverdichtersystem verdichtet. Er wird damit vorzugsweise auf einem geringeren Druckniveau als der erste Druckluftstrom bereitgestellt und in das Wärmetauschersystem eingespeist.

[0034] Die stromauf und stromab des Hauptverdichtersystems, des Nachverdichtersystems, der Boosterturbine, einer Entspannungsturbine in einem unten erläuterten Verflüssigungssystem und des Kaltverdichtersystems typischerweise vorliegenden Druckniveaus werden unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren näher erläutert.

[0035] Der erste und der zweite warme Druckluftstrom werden jeweils zu dem ersten und zu dem zweiten kalten Druckluftstrom abgekühlt, wobei gleiche oder unterschiedliche Temperaturniveaus erzeugt werden können, indem der erste und der zweite kalte Druckluftstrom dem Wärmetauschersystem an unterschiedlichen Stellen entnommen werden. Vorzugsweise werden der erste und der zweite warme Druckluftstrom in dem Wärmetauschersystem, das insbesondere zwei Wärmetauscherblöcke umfassen kann, durch unterschiedliche Passagen geführt. Der erste und der zweite warme Druckluftstrom können dabei jeweils auch in unterschiedlichen Volumenströmen bereitgestellt werden.

[0036] Der erste warme Druckluftstrom des ersten Betriebsmodus wird von einem Hauptstrom, der in dem Haupt- und in dem Nachverdichtersystem verdichtet wurde, abgezweigt. Ein verbleibender Reststrom wird ebenfalls in dem Wärmetauschersystem oder in einem Teil dieses Wärmetauschersystems, beispielsweise einem ersten Wärmetauscherblock, abgekühlt. Der entsprechend abgekühlte Reststrom wird anschließend in einer Entspannungsturbine entspannt, die Teil der zuvor erläuterten Boosterturbine ist, mittels derer der erste warme Druckluftstrom bereitgestellt wird. Hierdurch wird die zur Luftverflüssigung erforderliche Kälte erzeugt und die dabei frei werdende mechanische Leistung genutzt. Der in der Boosterturbine entspannte Reststrom kann anschließend vorzugsweise in dem Wärmetauschersystem angewärmt und beispielsweise dem Nachverdichtersystem erneut zugeführt werden. Details hierzu sind in den beigefügten Figuren dargestellt und werden unter Bezugnahme auf diese näher erläutert.

[0037] In dem zweiten Betriebsmodus wird ferner ein zweiter tiefkalter flüssiger Strom aus dem Tanksystem entnommen, mittels einer Pumpe druckerhöht und in dem Wärmetauschersystem erwärmt und damit in einen gasförmigen oder überkritischen Zustand überführt, also zu einem zweiten Hochdruckstrom verdampft oder pseudoverdampft. Der zweite Hochdruckstrom wird mit dem ersten Hochdruckstrom, der wie oben erläutert mittels des Kaltverdichtersystems aus dem zweiten kalten Druckluftstrom erhalten wird, zu einem Sammelstrom vereinigt. Der Sammelstrom, der auf einem Druckniveau von insbesondere 12 bar oder mehr vorliegt, oder ein von dem Sammelstrom abgeleiteter Strom, wird in wenigstens einer mit einem Generator gekoppelten Entspannungsturbine der erläuterten Kraftwerkseinheit entspannt. Wie erläutert, kann ein "Sammelstrom" auch auf mehreren Druckniveaus in unterschiedlichen Leitungen geführt werden.

[0038] In dem erfindungsgemäßen Verfahren umfasst der Volumenstrom des Sammelstroms vorteilhafterweise höchstens 110% der vereinigten Volumenströme des ersten und des zweiten Hochdruckstroms. Insbesondere wird der Sammelstrom ausschließlich aus dem ersten und den zweiten Hochdruckstrom gebildet, was jedoch nicht ausschließt, dass von dem ersten und/oder dem zweiten Hochdruckstrom vor der Vereinigung derselben zu dem Sammelstrom Teilströme abgezweigt und den jeweiligen Strömen erneut zugeführt werden können. Diese können beispielsweise zur Regeneration eines Reinigungssystems bzw. hierin verwandelter Adsorberbehälter verwendet werden. Hieraus ergibt sich, dass keine weiteren Ströme zur Bildung des Sammelstroms vereinigt werden. Dies bedeutet, dass vorteilhafterweise nur ein einziger mit einem Kaltverdichtersystem erzeugter zweiter Druckluftstrom eingesetzt bzw. nur ein einziges Kaltverdichtersystem in der erfindungsgemäßen Anlage verwendet wird. Mit anderen Worten ist das zum Verdichten des zweiten kalten Druckluftstroms verwendete Kaltverdichtersystem vorteilhafterweise das einzige in der Energieerzeugungsanlage ver-

wendete Kaltverdichtersystem. Es sei darauf hingewiesen, dass ein Kaltverdichtersystem mittels eines durch externe Energie gespeisten Antriebs, beispielsweise eines Elektromotors, angetrieben wird und sich hierdurch von einer Boosterturbine unterscheidet.

[0039] Da der erste und der zweite tiefkalte flüssige Strom in dem gleichen Tanksystem gespeichert bzw. diesem entnommen werden, weisen der erste und der zweite tiefkalte flüssige Strom i.d.R. eine identische Zusammensetzung auf, bestehen also aus demselben Luftverflüssigungsprodukt. In diesem Zusammenhang sei betont, dass in dem ersten Betriebsmodus vorzugsweise ausschließlich der erste warme und der erste kalte Druckluftstrom bereitgestellt werden und dass in dem zweiten Betriebsmodus vorzugsweise ausschließlich der zweite warme und der zweite kalte Druckluftstrom bereitgestellt werden. Entsprechende Ströme können, falls nicht abweichend angegeben, jeweils eine identische Zusammensetzung und/oder identische Temperaturniveaus aufweisen und/oder in denselben Leitungen geführt werden. Eine Unterscheidung zwischen "ersten" und "zweiten" warmen bzw. kalten Druckluftströmen wird daher teilweise deshalb getroffen, um Unterschiede zwischen dem ersten und dem zweiten Betriebsmodus kenntlich zu machen.

[0040] In dem erfindungsgemäßen Verfahren wird also in dem zweiten Betriebsmodus die Verdampfung bzw. Pseudoverdampfung des zweiten tiefkalten flüssigen Stroms in dem Wärmetauschersystem der Luftbehandlungseinheit durchgeführt. Dies bedeutet, dass während des zweiten Betriebsmodus der tiefkalte flüssige Strom nicht in einen separaten Wärmetauscher eingeleitet und beispielsweise gegen atmosphärische Luft oder heißen (Wasser-)Dampf verdampft bzw. pseudoverdampft wird, sondern dieser Schritt in dem Wärmetauschersystem der Luftbehandlungseinheit durchgeführt wird, das ohnehin für die Abkühlung des ersten warmen Druckluftstroms im ersten Betriebsmodus vorhanden ist. Dies erscheint auf den ersten Blick ungünstig, weil dadurch nicht mehr kostengünstige Heizmedien wie die Atmosphäre oder Dampf genutzt werden können, sondern ein mit der Luftbehandlungseinheit kompatibles Heizmedium erzeugt und in das Wärmetauschersystem eingespeist werden muss, um die für die Verdampfung bzw. Pseudoverdampfung benötigte Wärme zu liefern. Es hat sich jedoch herausgestellt, dass sich hierdurch insgesamt ein wirtschaftlich besonders günstiges System ergibt.

[0041] Es ist günstig, wenn auch in dem zweiten Betriebsmodus Einsatzluft in Form des zweiten warmen Druckluftstroms in dem Wärmetauschersystem abgekühlt wird. Damit wird ein für die Verdampfung des zweiten tiefkalten flüssigen Stroms benötigtes Heizmedium mit Hilfe der vorhandenen Luftbehandlungseinheit erzeugt und diese muss nicht abgeschaltet werden.

[0042] Es erscheint auch zunächst ungünstig, im zweiten Betriebsmodus, in dem der Energiepreis hoch ist, die Luftbehandlungseinheit und insbesondere ein entsprechendes Hauptverdichtersystem weiter zu betreiben. Es hat sich jedoch auch hier herausgestellt, dass damit hohe betriebstechnische Vorteile verbunden sind, weil das Hauptverdichtersystem beim Umschalten zwischen den Betriebsmodi nicht aus- und eingeschaltet werden muss, sondern kontinuierlich weiterlaufen kann. Außerdem kann aus dem hier gewonnenen zweiten warmen Druckluftstrom, wie erläutert, der erste Hochdruckstrom energetisch besonders günstig gewonnen werden, da die Verdichtung bei tiefen Temperaturen grundsätzlich weniger Energie braucht. Daher kann auf diese Weise aus dem ersten Hochdruckstrom zusätzliche elektrische Energie energetisch sehr günstig erhalten werden.

[0043] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass der mehrfach erwähnte erste warme Druckluftstrom in dem ersten Betriebsmodus in dem Wärmetauschersystem zumindest zum Teil gegen einen Strom eines flüssigen Kältemittels abgekühlt wird, und der zweite tiefkalte flüssige Strom in dem zweiten Betriebsmodus in dem Wärmetauschersystem zum Teil gegen einen Strom des flüssigen Kältemittels erwärmt wird.

[0044] Zu einem weiteren Teil wird der erste warme Druckluftstrom in dem ersten Betriebsmodus in dem Wärmetauschersystem gegen einen entspannten und abgekühlten Druckluftstrom, nämlich den oben erwähnten Reststrom, abgekühlt. Der zweite tiefkalte flüssige Strom wird hingegen in dem zweiten Betriebsmodus in dem Wärmetauschersystem zu einem weiteren Teil gegen den zweiten warmen Druckluftstrom erwärmt.

[0045] Mit entsprechenden Kältemitteln kann das Wärmeaustauschdiagramm eines verwendeten Wärmetauscher-systems besonders günstig gestaltet werden. Als flüssiges Kältemittel kommt dabei insbesondere Methanol (Einsatzbereich bis -95 °C) zum Einsatz. Ein flüssiges Kältemittel zur Verwendung in der Erfindung wird insbesondere auf Grundlage seines Siedepunkts ausgewählt. Dieser muss so gewählt werden, dass das flüssige Kältemittel im jeweiligen gesamten Arbeitsbereich flüssig ist. Hierfür geeignet sind, wie erwähnt, insbesondere Methanol, aber auch Ethanol. Neben Methanol und Ethanol können außerdem die in der folgenden Tabelle aufgeführten niedrigerwertigen Alkohole als Kältemittel im Rahmen der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden.

Name	Schmelzpunkt in °C	Siedetemperatur in °C
Methanol	-97,8	64,7
Ethanol	-114,1	78,3
Propan-1-ol	-126,2	97,2

(fortgesetzt)

	Name	Schmelzpunkt in °C	Siedetemperatur in °C
5	Butan-1-ol	-89,3	117,3
10	Pentan-1-ol	-78,2	138
15	Hexan-1-ol	-48,6	157,5
20	Propan-2-ol	-88,5	82,3
25	Butan-2-ol	-114,7	99,5
30	2-Methylpropan-1-ol	-108	108
35	Pentan-2-ol	-50	118,9
40	2-Methylbutan-1-ol	-70	129
45	3-Methylbuten-1-ol	-117	130,8
50	1,2-Propandiol	-68	188
55	Butan-1,2-diol	-114	192
60	Butan-1,3-diol	unter -50	207,5
65	Prop-2-en-1-ol	-129	97
70	Pentan-1-ol	-78,2	128,0

[0046] Selbstverständlich können in der Erfindung auch ein oder mehrere weitere flüssige, ggf. organische, Kältemittel eingesetzt werden. Dadurch kann der Wärmeaustausch weiter optimiert werden; allerdings wird auch der apparative und Regelungstechnische Aufwand höher. Das oder die flüssigen Kältemittel werden in entsprechenden Wärmetauscherabschnitten bzw. Wärmetauscherblöcken des Wärmetauschersystems geführt und in geeigneten kälteisolierten Kältemitteltanks zwischengespeichert.

[0047] In dem erfindungsgemäß Verfahren wird vorteilhafterweise der jeweilige Strom des flüssigen Kältemittels in dem ersten Betriebsmodus einem ersten Kältemitteltank entnommen, in dem Wärmetauschersystem erwärmt und in einen zweiten Kältemitteltank überführt. In dem zweiten Betriebsmodus wird der Strom des flüssigen Kältemittels dem zweiten Kältemitteltank entnommen, in dem Wärmetauschersystem abgekühlt und in den ersten Kältemitteltank überführt.

[0048] Ferner wird hierbei vorteilhafterweise ein das flüssige Kältemittel in dem ersten und dem zweiten Kältemitteltank überlagerndes, nicht kondensierendes Gas, beispielsweise Stickstoff, verwendet. Dieses wird in dem ersten Betriebsmodus dem ersten Kältemitteltank entnommen, in dem Wärmetauschersystem abgekühlt und in den zweiten Kältemitteltank überführt. In dem zweiten Betriebsmodus wird der erläuterte Strom des nichtkondensierenden Gases dem zweiten Kältemitteltank entnommen, in dem Wärmetauschersystem erwärmt und in den ersten Kältemitteltank überführt. Hierdurch wird insgesamt eine vollständig autarke, reversible Kühlmöglichkeit für die zuvor erläuterten Ströme geschaffen, die nicht auf die Zufuhr externer Kältemittel angewiesen und dazu in der Lage ist, die jeweils zugeführte bzw. abgeführte Kälte reversibel zu speichern.

[0049] Alternativ zu der erfindungsgemäß vorgeschlagenen Verwendung des flüssigen Kältemittels könnte weitere Kälte zur Abkühlung des ersten warmen Druckluftstroms zu dem ersten kalten Druckluftstrom in dem ersten Betriebsmodus auch durch Entspannung von weiterer Druckluft bereitgestellt werden. Diese müsste jedoch in einer größeren Menge bereitgestellt werden, was zusätzliche Energie erfordert. Gleichzeitig kann die bei der Entspannung solcher zusätzlicher Druckluft freiwerdende mechanische Leistung nur unzureichend zurückgewonnen werden. Ein entsprechender Prozess ist damit stark irreversibel.

[0050] In entsprechender Weise könnte auch die bei der Verdampfung oder Pseudoverdampfung des zweiten tiefkalten flüssigen Stroms in dem zweiten Betriebsmodus anfallende Kälte (thermische Energie) mittels eines zusätzlichen Kaltverdichtersystems in mechanische Energie (Energie der verdichteten Luft) umgewandelt werden. Auch dieser Prozess ist jedoch stark irreversibel, verursacht thermodynamische Verluste und wirkt sich negativ auf den Wirkungsgrad einer entsprechenden Anlage aus.

[0051] Es ist daher wünschenswert, derartige stark irreversible Prozesse zu begrenzen und durch weniger irreversible Prozesse zu ersetzen. Dies wird durch die Verwendung des flüssigen Kältemittels ermöglicht.

[0052] Das erfindungsgemäß Verfahren erweist sich insbesondere als vorteilhaft gegenüber ebenfalls grundsätzlich möglichen Verfahren, bei denen die Bereitstellung der in der Kraftwerkseinheit entspannten Ströme mittest mindestens

zwei parallel geschalteter Kaltverdichtersysteme erfolgt. Die mindestens zwei Kaltverdichtersysteme können dabei eine gleiche oder unterschiedliche Eintrittstemperatur aufweisen. Zwar können solche Verfahren auf relativ effiziente Weise durchgeführt werden und die Menge der Zusatzluft kann flexibel an den aktuellen Bedarf angepasst werden. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die Verwendung nur eines einzigen Kaltverdichtersystems zusammen mit der Verwendung des flüssigen Kältemittels betriebliche Vorteile, insbesondere einen um 3 bis 5% erhöhten Wirkungsgrad, ergibt.

[0053] In einer ersten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird in dem zweiten Betriebsmodus mindestens ein Teil der Erzeugung elektrischer Energie aus dem Sammelstrom in einer Entspannungsturbine einer Gasturbine der Kraftwerkseinheit durchgeführt. Der Entspannungsturbine der Gasturbine wird dabei ein von dem Sammelstrom abgeleiteter Strom zugeführt. Der Sammelstrom wird hierzu in eine Brennkammer der Gasturbine eingeleitet, in die gleichzeitig ein Brennstoff, beispielsweise Erdgas, Biogas oder dergleichen, eingeleitet wird. Der Brennstoff wird in der Brennkammer in einer zumindest zum Teil durch den Sammelstrom geschaffenen Atmosphäre verbrannt. Selbstverständlich können der Brennkammer jedoch auch weitere Ströme, beispielsweise ein sauerstoffreicher Strom, zugeführt werden.

[0054] Der Entspannungsturbine der Gasturbine wird also ein von dem Sammelstrom (durch die Beaufschlagung mit dem Abgas der Verbrennung in der Brennkammer und die teilweise Umsetzung des ggf. in dem Sammelstrom enthaltenen Sauerstoffs) abgeleitetes Fluid zugeführt. Durch das Abgas der Verbrennung in der Brennkammer wird das Volumen dabei weiter erhöht. Typischerweise wird nur ein Teil des Sammelstroms, beispielsweise 4 bis 5%, in der Brennkammer mit dem Brennstoff durch die Verbrennung chemisch umgesetzt, d.h. der Brennstoff wird in der Brennkammer mit einer deutlich überstöchiometrischen Menge des Sammelstroms bzw. des darin enthaltenen Sauerstoffs umgesetzt.

[0055] Mindestens ein Teil der Erzeugung mechanischer Energie aus dem Sammelstrom oder einem hiervon abgeleiteten Strom wird bei dieser Variante in der Gasturbine der Kraftwerkseinheit vorgenommen, also in einem in der Kraftwerkseinheit ohnehin vorhandenen Apparat zur Umsetzung von Druckenergie in mechanische Antriebsenergie. Ein zusätzliches separates System zur arbeitsleistenden Entspannung des Sammelstroms oder eines hiervon abgeleiteten Stroms kann im Rahmen der Erfindung weniger aufwändig ausgebildet sein oder ganz entfallen. Im einfachsten Fall kann bei der Erfindung die gesamte Erzeugung von mechanischer bzw. elektrischer Energie aus dem Sammelstrom oder einem hiervon abgeleiteten Strom in der Gasturbine vorgenommen werden.

[0056] In einer zweiten Variante ist die Entspannungsturbine, in der das Sammelfluid oder das hiervon abgeleitete Fluid entspannt wird, Teil einer Heißgasturbine, das neben der Entspannungsturbine mindestens einen Erhitzer umfasst. Der Erhitzer wird insbesondere mittels Solarwärme und/oder mittels Abwärme aus weiteren Prozessen betrieben, so dass das Verfahren besonders wirtschaftlich wird.

[0057] Die beiden genannten Varianten können auch kombiniert werden, indem eine Kraftwerkseinheit mit sowohl einer oder mehreren Heißgasturbinen als auch mit einer oder mehreren Gasturbinen eingesetzt wird. Dabei wird der Sammelstrom oder ein hiervon abgeleiteter Strom beispielsweise in zwei Schritten entspannt, wobei der erste Schritt als arbeitsleistende Entspannung in der Heißgasturbine (nach voriger Erhitzung in einem Erhitzer) und der zweite Schritt als arbeitsleistende Entspannung in der Gasturbine (nach Durchlaufen der Brennkammer) durchgeführt werden. Der Sammelstrom wird dabei insbesondere in der Heißgasturbine von einem Heißgasturbineneintrittsdruck auf einen Heißgasturbinenaustrittsdruck entspannt. Der Heißgasturbinenaustrittsdruck erhöht sich in der nachgeschalteten Brennkammer der Gasturbine wieder, so dass ein entsprechender Strom wieder druckerhöht der Entspannungsturbine der Gasturbine zugeführt wird.

[0058] Zur Verringerung bzw. Symmetrisierung einer Achslast eines im Rahmen der Erfindung verwendeten Generators kann dieser auch mit einer Achse bzw. Welle ausgebildet sein, die mit beidseitig des Generators angeordneten Entspannungsturbinen ausgestattet ist. Durch eine derartige symmetrische Anordnung wird eine einseitige Beanspruchung eines Generators verringert. Besonders vorteilhaft ist es dabei, den Sammelstrom oder den hiervon abgeleiteten Strom, beispielsweise stromauf oder stromab eines Erhitzers und/oder einer Brennkammer, in zwei oder mehr Teilströme aufzuteilen, von denen jeder in einer mit einem gemeinsamen Generator gekoppelten Entspannungsmaschine entspannt wird.

[0059] Einer entsprechenden Entspannungsturbine können auch weitere Anlagen bzw. Einrichtungen zur Rückgewinnung von Energie nachgeschaltet sein. Beispielsweise kann zumindest ein Abwärmemedampferzeuger vorgesehen sein. Mittels des Abwärmemedampferzeugers, der beispielsweise einer Gasturbine oder Heißgasturbine nachgeschaltet sein kann, kann Restwärme aus einem dort erhaltenen Abgasstrom zur Erzeugung von Dampf genutzt werden. Der Dampf kann seinerseits zum Betreiben eines Generators verwendet werden.

[0060] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann schließlich vorgesehen sein, den tiefkalten, verflüssigten Strom in das Tanksystem unter überatmosphärischem Druck, beispielsweise auf einem Druckniveau von 8 bis 12 bar oder bei Atmosphärendruck einzuspeichern bzw. einzuspeisen. Eine Speicherung bei überatmosphärischem Druck ermöglicht einen Verzicht auf eine Unterkühlung eines entsprechenden Stroms, was den Kältebedarf und damit die in der Anlage erforderliche Luftmenge verringert.

[0061] Die erfindungsgemäß ebenfalls vorgesehene Energieerzeugungsanlage profitiert von den zuvor erläuterten Vorteilen, auf die daher ausdrücklich verwiesen wird. Diese verfügt insbesondere über eine Regeleinrichtung, welche zumindest die automatische Regelung der Energieerzeugungsanlage während des ersten Betriebsmodus und während

des zweiten Betriebsmodus bewerkstelligt.

[0062] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert, welche unter Anderem bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung in unterschiedlichen Betriebsmodi zeigen.

[0063] Kurze Beschreibung der Zeichnungen

- 5 Figur 1A zeigt eine Energieerzeugungsanlage gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in einem ersten Betriebsmodus.
- 10 Figur 1 B zeigt die Energieerzeugungsanlage der Figur 1A in einem zweiten Betriebsmodus.
- 15 Figur 2A zeigt eine Energieerzeugungsanlage gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in dem ersten Betriebsmodus.
- 20 Figur 2B zeigt die Energieerzeugungsanlage der Figur 2A in dem zweiten Betriebsmodus.
- 25 Figur 3A zeigt ein Speichersystem gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in dem ersten Betriebsmodus.
- 30 Figur 3B zeigt das Speichersystem der Figur 3A in dem zweiten Betriebsmodus.
- 35 Figur 4 zeigt eine Kraftwerkseinheit gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.
- 40 Figur 5 zeigt eine Kraftwerkseinheit gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.
- 45 Figur 6 zeigt eine Kraftwerkseinheit gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.
- 50 Figur 7 zeigt eine Kraftwerkseinheit gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.
- 55 Figur 8 zeigt eine Kraftwerkseinheit gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

[0064] Ausführliche Beschreibung der Zeichnungen

[0065] In den Figuren tragen einander entsprechende Elemente identische Bezugszeichen. Auf eine wiederholte Erläuterung wird der Übersichtlichkeit halber verzichtet. Sämtliche Figuren zeigen Anlagendiagramme von Energieerzeugungsanlagen bzw. deren Teilen in stark vereinfachter, schematischer Darstellung. Hierbei sind teilweise unterschiedliche Betriebsmodi (vgl. Figur 1A, 2A und 3A gegenüber Figur 1 B, 2B und 3B) im Vergleich zueinander dargestellt.

35 Diese Betriebsmodi unterscheiden sich unter anderem in der Schaltung einer Vielzahl von in einer entsprechenden Anlage vorgesehenen Ventilen. Die Ventile sind nicht im Einzelnen dargestellt. Dies betrifft insbesondere leitend (durchlässig) geschaltete Ventile. Durch entsprechende Ventile versperrte Leitungen bzw. inaktive Ströme sind jedoch durchkreuzt (-x-) dargestellt.

[0066] Figur 1A zeigt eine Energieerzeugungsanlage gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in einem ersten Betriebsmodus. Die Energieerzeugungsanlage ist insgesamt mit 100 bezeichnet. Sie verfügt über Komponenten einer Luftbehandlungseinheit, die gestrichelt umfasst und insgesamt mit 10 angegeben sind, sowie über Komponenten einer Kraftwerkseinheit, die gestrichelt umfasst und insgesamt mit 20 angegeben sind. Der in der Figur 1A dargestellte erste Betriebsmodus der Energieerzeugungsanlage 100 entspricht dem zuvor mehrfach erläuterten Verflüssigungsbetrieb.

[0067] Mittels eines Hauptverdichtersystems 11 der Luftbehandlungseinheit 10, dem ein Luftfilter 111 vorgeschaltet sein kann, wird Umgebungsluft AIR angesaugt und verdichtet. Das Hauptverdichtersystem 11 kann mehrere Verdichterstufen (hier ohne separate Bezeichnung) sowie Mittel zur Zwischen- und Nachkühlung umfassen. Die Verdichterstufen des Hauptverdichtersystems 11 können mit einem gemeinsamen Verdichterantrieb M angetrieben werden. Zur Nachkühlung kann beispielsweise auch ein Wärmetauscher 112 vorgesehen sein, der mit einem stromab in der Luftbehandlungseinheit 10 entnommenen Strom (vgl. Verknüpfungen 1 und 2) betrieben werden kann.

[0068] Ein mittels des Hauptverdichtersystems 11 bereitgestellter Strom a kann einem Reinigungssystem 12 zugeführt werden, das über geeignete Mittel zur Aufreinigung des Stroms a, beispielsweise ein Paar von Adsorberbehältern 121 und 122, die beispielsweise mit Molekularsieb gefüllt sind, verfügt. Letztere können im Wechselbetrieb für die Aufreinigung verwendet und regeneriert werden, wozu geeignete Schaltmittel (nicht im Detail veranschaulicht) vorgesehen sind. Zur Regeneration der Adsorberbehälter 121 und 122 können Ströme verwendet werden, die stromab in der Luftbehandlungseinheit 10 entnommen werden (vgl. Verknüpfungen 3 und 4). Ein entsprechend aufgereinigter Strom b kann anschließend einem Nachverdichtersystem 13 der Luftbehandlungseinheit 10 zugeführt werden. Das Nachverdichtersystem 13 kann, wie das Hauptverdichtersystem 11, über mehrere, nicht näher bezeichnete Verdichterstufen mit Mitteln zur Zwischen- und Nachkühlung verfügen und mittels eines gemeinsamen Verdichterantriebs M angetrieben werden.

Ein hierdurch erhaltener Strom c kann in einer Verdichterstufe 141 einer Boosterturbine 14 weiter druckerhöht werden. Die Verdichterstufe 141 der Boosterturbine 14 ist mit einer Entspannungsturbine 142 mechanisch gekoppelt, die mittels eines expandierenden, stromab von dem Strom d (siehe unten) abgezweigten Stroms angetrieben werden kann.

[0069] Ein in der Boosterturbine 14 weiter druckerhöhter Strom d kann in ein Wärmetauschersystem 15 der Luftbehandlungseinheit eingespeist werden. Das Wärmetauschersystem 15 der Luftbehandlungseinheit 10 verfügt im dargestellten Beispiel über einen ersten Wärmetauscherblock 151 und einen zweiten Wärmetauscherblock 152. Vor dem Einspeisen in das Wärmetauschersystem 15 wird der Strom d in einen ersten Teilstrom e und einen zweiten Teilstrom f aufgeteilt. Beide Teilströme werden dem ersten Wärmetauscherblock 151 des Wärmetauschersystems 15 an dessen warmem Ende zugeführt.

[0070] Der erste Teilstrom e durchläuft den ersten Wärmetauscherblock 151 des Wärmetauschersystems 15 bis zu dessen kaltem Ende. Er wird anschließend in der Entspannungsturbine 142 der bereits erläuterten Boosterturbine 14 entspannt. Nach der Entspannung wird dieser Strom dem kalten Ende des zweiten Wärmetauscherblocks 152 des Wärmetauschersystems 15 zugeführt und dort erwärmt. Nach einer weiteren Erwärmung in dem ersten Wärmetauscherblock 151 des Wärmetauschersystems 15 wird der entsprechend erhaltene warme Strom erneut dem Nachverdichter- system 13 zugeführt.

[0071] Der zweite Teilstrom f (der zuvor mehrfach erwähnte "erste warme Druckluftstrom") durchläuft den ersten Wärmetauscherblock 151 des Wärmetauschersystems 15 nahezu bis zu dessen kaltem Ende und wird dort als Strom g entnommen. Nach einer weiteren Abkühlung in dem zweiten Wärmetauscherblock 152 des Wärmetauschersystems 15 liegt dieser als Strom h (der "erste kalte Druckluftstrom") vor. Der Strom h wird anschließend in einem Verflüssigungssystem 16, das eine gebremste Turbine 161, einen Abscheider 162 und einen Unterkühler 163 umfasst, verflüssigt und unterkühlt. Der Unterkühler 163 kann auch mit einem Teilstrom j eines durch die Verflüssigung erhaltenen tiefkalten flüssigen Stroms i betrieben werden. Der Strom j wird in dem Wärmetauschersystem 15 angewärmt und an die Umgebung amb abgegeben. Der aus dem Sumpf des Abscheiders 162 abgezogene tiefkalte flüssige Strom i wird als tiefkaltes Luftverflüssigungsprodukt in ein Tanksystem 17 eingespeist. Das tiefkalte Luftverflüssigungsprodukt wird auch mit LAIR bezeichnet und stellt im dargestellten Beispiel verflüssigte Luft dar. Wie mehrfach erläutert, können als Luftverflüssigungsprodukte auch beispielsweise flüssiger Stickstoff, Unreinstickstoff und dergleichen verwendet werden.

[0072] Die Abkühlung der entsprechenden Ströme in dem ersten Wärmetauscherblock des Wärmetauschersystems 17 erfolgt zumindest zu einem Teil mittels Entspannungskälte, die durch die Entspannungsturbine 142 erzeugt wird. Weitere Kälte wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung mittels eines Kältemittelsystems 18 bereitgestellt. Das Kältemittelsystem 18, das in den Figuren 3A und 3B im Detail veranschaulicht ist, verfügt über zumindest zwei Kältemitteltanks und ist dazu eingerichtet, in dem in der Figur 1A dargestellten ersten Betriebsmodus ein abgekühltes flüssiges Kältemittel als Strom k vom kalten Ende zum warmen Ende durch den Wärmetauscherblock 151 des Wärmetauschersystems 15 zu führen. Das abgekühlte flüssige Kältemittel wird damit gegen einen abzukühlenden Strom e bzw. f in dem ersten Wärmetauscherblock 151 des Wärmetauschersystems 15 erwärmt. Im Gegensatz zur theoretisch ebenfalls möglichen Verwendung einer weiteren Entspannungsturbine zur Erzeugung von Kälte ermöglicht die Verwendung des Kältemittelsystems 18 die reversible Zufuhr von Kälte zu den Strömen, die den ersten Wärmetauscherblock 151 des Wärmetauschersystems 15 durchlaufen.

[0073] Die Kraftwerkseinheit 20 ist in dem in Figur 1A dargestellten ersten Betriebsmodus nicht in Betrieb bzw. wird ausschließlich mittels eines Brennstoffs F gespeist. Die Kraftwerkseinheit 20 wird daher unter Bezugnahme auf die nachfolgende Figur 1 B näher erläutert.

[0074] Die Figur 1B zeigt die Energieerzeugungsanlage 100, die auch in Figur 1A dargestellt ist, in dem mehrfach erläuterten zweiten Betriebsmodus, dem Entnahmebetrieb.

[0075] Der in dem Entnahmebetrieb ebenfalls bereitgestellte Strom b wird in dem zweiten Betriebsmodus nicht in dem Nachverdichtersystem 13 nachverdichtet. Im dargestellten Beispiel wird dieser Strom b (der "zweite warme Druckluftstrom") vollständig in dem ersten Wärmetauscherblock 151 und dem zweiten Wärmetauscherblock 152 des Wärmetauschersystems 15 abgekühlt. Ein hierdurch erhaltener kalter Druckluftstrom m (der "zweite kalte Druckluftstrom") wird anschließend in einem mehrstufigen Kaltverdichter 19, dessen Verdichterstufen wiederum mittels eines gemeinsamen Verdichterantriebs M angetrieben werden können, verdichtet. Ein durch die Verdichtungswärme und die Verdichterleistung des Kaltverdichters 19 erhaltener teilerwärmter und verdichteter Strom n wird in dem ersten Wärmetauscherblock 151 des Wärmetauschersystems 15 weiter erwärmt und verlässt diesen als warmer Hochdruckstrom o ("erster Hochdruckstrom").

[0076] In dem zweiten Betriebsmodus wird ferner aus dem Tanksystem 17 das in dem ersten Betriebsmodus in diesen eingespeiste tiefkalte Luftverflüssigungsprodukt LAIR als Strom p (der "tiefkalte flüssige Strom") entnommen, mittels einer Pumpe 171 flüssig druckerhöht, und als Strom q bei überatmosphärischem Druck in dem Wärmetauschersystem 15 in einen gasförmigen oder überkritischen Zustand überführt. Hierzu wird der Strom q zunächst dem zweiten Wärmetauscherblock 152 des Wärmetauschersystems 15 zugeführt und nahezu an dessen warmem Ende entnommen. Der entnommene Strom wird anschließend durch den ersten Wärmetauscherblock 151 des Wärmetauschersystems 15 geführt und in einer Entspannungsturbine 152, die mit einem Generator G gekoppelt sein kann, entspannt. Hierdurch

kann zusätzliche Energie und Kälte gewonnen werden. Der entsprechend entspannte Strom, der durch die Entspannung eine erneute Abkühlung erfahren hat, wird erneut nahe dessen kaltem Ende dem ersten Wärmetauscherblock 151 des Wärmetauschersystems 15 zugeführt. Er verlässt den ersten Wärmetauscherblock 151 des Wärmetauschersystems 15 als warmer Hochdruckstrom s ("zweiter Hochdruckstrom"). Der erste Hochdruckstrom o und der zweite Hochdruckstrom s werden zu einem Sammelstrom t vereinigt und aus der Luftbehandlungseinheit 10 ausgeleitet. Der Sammelstrom t wird in die Kraftwerkseinheit 20 eingeleitet.

[0077] In der Kraftwerkseinheit 20 durchläuft der Sammelstrom t zunächst einen Wärmetauscher 21. Anschließend wird der Sammelstrom t durch eine Brennkammer 22 geführt, in der ein geeigneter Brennstoff F, beispielsweise Erdgas, verbrannt wird. Durch das gebildete Abgas vergrößert sich das Volumen des Sammelstroms t, und es wird ein aus dem Sammelstrom abgeleiteter Strom u erhalten. Dieser wird einer Entspannungsturbine 23 zugeführt, die beispielsweise als Teil einer Gasturbine ausgebildet sein kann und mit einem Generator G gekoppelt ist. Die durch die Entspannung des von dem Sammelstrom t abgeleiteten Stroms u frei werdende mechanische Leistung kann damit in elektrische Energie umgesetzt werden. Der Wärmetauscher 21, der zum weiteren Erwärmen des Sammelstroms t genutzt wird, kann mittels eines Abgases v aus der Entspannungsturbine 23 betrieben werden. Mittels des Wärmetauschers 21 kann auch Regeneriergas zur Regeneration in der Reinigungseinheit 12 erwärmt werden (vgl. Verknüpfung 1 zu Strom s, Verknüpfungen 1 und 2 in dem Wärmetauscher 112, Verknüpfungen 2 und 3 in dem Wärmetauscher 21, Verknüpfungen 3 und 4 in dem Reinigungssystem 12, Verknüpfung 4 zu Strom t).

[0078] Die Energieerzeugungsanlage 100 der Figuren 1A und 1 B bzw. deren Luftbehandlungseinheit 10 und damit das Tanksystem 17 sind für eine Speicherung des tiefkalten Luftverflüssigungsprodukts LAIR bei atmosphärischem Druck eingerichtet. Die Figuren 2A und 2B zeigen hingegen eine Energieerzeugungsanlage 200 gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung, bei der die Luftbehandlungseinheit 10 bzw. das Tanksystem 17 für eine Druckspeicherung des tiefkalten Luftverflüssigungsprodukts LAIR eingerichtet sind. In den Figuren 2A und 2B ist eine entsprechende Energieerzeugungsanlage 200 erneut in den bereits erläuterten Betriebsmodi (Verflüssigungsbetrieb und Entnahmebetrieb) dargestellt. Der Betrieb der Anlage ist nicht wiederholt erläutert.

[0079] Die Energieerzeugungsanlage 200 bzw. deren Luftbehandlungseinheit 10 unterscheidet sich von der Energieerzeugungsanlage 100 bzw. deren Luftbehandlungseinheit 10 insbesondere durch das Fehlen des Wärmetauschers bzw. Unterkühlers 163, der mit dem Strom j betrieben wird. Aufgrund der Druckspeicherung des tiefkalten Luftverflüssigungsprodukts LAIR in dem Tanksystem 17 kann eine entsprechende Anlage daher effizienter betrieben werden, weil kein Anteil des tiefkalten Luftverflüssigungsprodukts LAIR (vgl. Strom j in Figur 1A) für die Unterkühlung in dem Wärmetauscher 163 verwendet werden muss.

[0080] Die in den Figuren 1A bis 2B dargestellten Ströme können insbesondere auf folgenden Druckniveaus vorliegen:

Strom a, b	3 bis 8 bar, insbesondere 4 bis 6 bar
Strom c	30 bis 100 bar, insbesondere 30 bis 50 bar
Strom d, e, f	45 bis 100 bar, insbesondere 50 bis 70 bar
Strom i	1 bis 8 bar, insbesondere 1 bis 6 bar
Strom n, o, s, t, u	10 bis 40 bar, insbesondere 12 bis 20 bar
Strom q	30 bis 100 bar, insbesondere 40 bis 80 bar
Strom v	Atmosphärendruck oder 1 bis 1,2 bar

[0081] Die Figuren 3A und 3B zeigen ein Kältemittelsystem 18, das in seiner grundlegenden Funktion bereits zuvor erläutert wurde, in den zuvor erläuterten Betriebsmodi (erster Betriebsmodus bzw. Verflüssigungsbetrieb in Figur 3A, zweiter Betriebsmodus bzw. Entnahmebetrieb, in Figur 3B). Die bereits teilweise erläuterten Ströme l und k sind in den Figuren 3A und 3B erneut dargestellt. Ferner zeigen die Figuren 3A und 3B den ersten Wärmetauscherblock 151 des Wärmetauschersystems 15, der bereits zuvor in seiner Einbindung in entsprechende Energieerzeugungsanlagen 100 bzw. 200 bzw. deren Luftbehandlungseinheiten 10 erläutert wurde.

[0082] In der hier stark vereinfachten Darstellung wird der erste Wärmetauscherblock 151 des Wärmetauschersystems 15 hier nur von einem Strom e bzw. f (Verflüssigungsbetrieb) und o bzw. s (Entnahmebetrieb) durchströmt. In dem ersten Betriebsmodus (Figur 3A, Verflüssigungsbetrieb) wird dabei Kälte aus einem flüssigen Kältemittel auf die Ströme e bzw. f übertragen, in dem zweiten Betriebsmodus wird Kälte aus den kalten Strömen o bzw. s auf das flüssige Kältemittel übertragen. Auch die Bezeichnung der Ströme k und l entspricht dabei jener aus den Figuren 1A bis 2B.

[0083] Das Kältemittelsystem 18 umfasst einen ersten Kältemitteltank 181 und einen zweiten Kältemitteltank 182, in welchen jeweils das flüssige Kältemittel von einem gasförmigen, nicht kondensierenden Medium, beispielsweise gasförmigem Stickstoff, überlagert ist. Der gasförmige Stickstoff bildet den Strom l, das flüssige Kältemittel den Strom k. In

dem ersten Betriebsmodus (Figur 3A) wird das flüssige Kältemittel aus dem zweiten Kältemitteltank 182 mittels einer Pumpe 183 vom kalten Ende zum warmen Ende durch den ersten Wärmetauscherblock 151 des Wärmetauschersystems 15 als Strom k geführt. Der Strom k kann sich hierdurch erwärmen. Er wird anschließend in den ersten Kältemitteltank 181 überführt und verdrängt dort das gasförmige Medium, das als Strom l entgegen dem Strom k durch den ersten Wärmetauscherblock 151 des Wärmetauschersystems 15 geführt wird. Der Betrieb in dem zweiten Betriebsmodus (Entnahmefeldbetrieb, Figur 3B) erfolgt in umgekehrter Weise und ergibt sich unmittelbar aus der Figur 3B.

[0084] In den Figuren 4 bis 8 sind unterschiedliche Ausführungsformen der Kraftwerkseinheit 20 dargestellt, die alternativ oder gegebenenfalls in Kombination im Rahmen der vorliegenden Erfindung zum Einsatz kommen können. Bereits erläuterte Elemente sind der Übersichtlichkeit halber nicht erneut besprochen.

[0085] In der in Figur 4 dargestellten Ausführungsform der Kraftwerkseinheit 20, das in sämtlichen Figuren 4 bis 8 als sogenannte "Power Island" realisiert sein kann, ist, wie bereits zuvor erläutert, eine Brennkammer 22 vorhanden. Ein Wärmetauscher 21 ist im dargestellten Beispiel nicht dargestellt, kann jedoch auch hier realisiert sein. Zur Nutzung der Restwärme aus der Entspannungsturbine 23 ist hier zusätzlich ein Abwärmedampferzeuger 24 vorgesehen. Auf diese Weise kann mittels des Generators G, der mit der Entspannungsturbine 23 gekoppelt ist, ein erster Leistungsanteil P1, und über den Abwärmedampferzeuger 24 ein zweiter Leistungsanteil P2 erhalten werden. Der Abwärmedampferzeuger 24 ist beispielsweise zur Erzeugung von Hochdruckdampf eingerichtet, der in einer nachgeschalteten Turbine und/oder in weiteren Anlagenkomponenten genutzt werden kann.

[0086] Die in Figur 5 dargestellte Ausführungsform der Kraftwerkseinheit 20 unterscheidet sich von der in den Figuren 1A bis 2B gezeigten Ausführungsformen dadurch, dass anstelle der Brennkammer 22 ein mit extern zugeführter Wärme Q1 gespeister Erhitzer 25 vorgesehen ist. Diese kann beispielsweise Abwärme eines weiteren Prozesses, Wärme aus einem Wärmespeichersystem und/oder Wärme aus einer Solaranlage darstellen. Durch die Bereitstellung des Erhitzers 25 anstelle der Brennkammer 22 kann ein besonders ressourcenschonender Betrieb einer entsprechenden Anlage realisiert werden.

[0087] In den Figuren 6 bis 8 sind Kraftwerkseinheiten 20 dargestellt, die eine Verringerung einer Achslast auf einen Generator G ermöglichen. Die hierbei verwendeten Elemente wurden überwiegend bereits erläutert. Die Verringerung der Achslast auf den Generator G ergibt sich dabei im Wesentlichen durch die Bereitstellung paarweise vorhandener Komponenten. Beispielsweise ist in der in Figur 6 dargestellten Ausführungsform die Brennkammer 22 einfach vorhanden. Ein Strom aus der Brennkammer 22 wird jedoch stromab der Brennkammer 22 in zwei Teilströme (ohne Bezeichnung) aufgeteilt, die separat voneinander in jeweils eine Entspannungsturbine 23a bzw. 23b eingespeist und in dieser entspannt werden. Über den Generator G kann damit die gemeinsame mechanische Leistung der Entspannungsturbinen 23a und 23b in elektrische Leistung P ungesetzt werden.

[0088] Auch in den in Figuren 7 und 8 dargestellten Ausführungsformen sind jeweils zwei Entspannungsturbinen 23a und 23b vorgesehen. In Figur 7 sind zudem zwei getrennte Brennkammern 22a und 22b vorhanden, die in Figur 8 gezeigte Ausführungsform umfasst ferner zwei getrennte Wärmetauscherblöcke 21 a und 21 b. Durch die symmetrische Anordnung der Entspannungsturbinen 23a und 23b in den zuvor erläuterten Figuren 6 bis 8 wird die Achslast symmetrisch auf den Generator G übertragen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von elektrischer Energie in einer kombinierten Energieerzeugungsanlage (100, 200), die eine Luftbehandlungseinheit (10) und eine Kraftwerkseinheit (20) umfasst,

• wobei in einem ersten Betriebsmodus (Verflüssigungsbetrieb):

- ein erster warmer Druckluftstrom (f) in einem Wärmetauscher (15) der Luftbehandlungseinheit (10) zu einem ersten kalten Druckluftstrom (h) abgekühlt wird, wobei aus dem ersten kalten Druckluftstrom (h) ein erster tiefkalter flüssiger Strom (i) hergestellt und in ein Tanksystem (17) der Luftbehandlungseinheit (10) überführt wird,

• und wobei in einem zweiten Betriebsmodus (Entnahmefeldbetrieb):

- ein zweiter warmer Druckluftstrom (b) in dem Wärmetauscher (15) zu einem zweiten kalten Druckluftstrom (m) abgekühlt wird, wobei der zweite kalte Druckluftstrom (m) in einem Kaltverdichtersystem (16) der Luftbehandlungseinheit (10) zu einem ersten Hochdruckstrom (n) verdichtet wird,
- ein zweiter tiefkalter flüssiger Strom (p) aus dem Tanksystem (17) entnommen und in dem Wärmetauscher (15) zu einem zweiten Hochdruckstrom (s) verdampft oder pseudoverdampft wird, wobei aus dem ersten (n) und dem zweiten Hochdruckstrom (s) ein Sammelstrom (t) gebildet wird, und

- der Sammelstrom (t) oder ein hiervon abgeleiteter Strom (u) in wenigstens einer mit einem Generator (G) gekoppelten Entspannungsturbine (23) der Kraftwerkseinheit (20) entspannt wird,
dadurch gekennzeichnet,

- 5 • **dass** der erste warme Druckluftstrom (f) in dem ersten Betriebsmodus in dem Wärmetauschersystem (15) zumindest zum Teil gegen einen Strom (k) eines flüssigen Kältemittels abgekühlt wird, und
- 10 • **dass** der zweite tiefkalte flüssige Strom (p) in dem zweiten Betriebsmodus in dem Wärmetauschersystem (15) zumindest zum Teil gegen einen Strom (k) des flüssigen Kältemittels erwärmt wird.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das flüssige Kältemittel wenigstens einen niederwertigen Alkohol und/oder ein verflüssigtes Alkan umfasst.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der Strom (k) des flüssigen Kältemittels
- 25 • in dem ersten Betriebsmodus aus einem ersten Kältemitteltank (181) entnommen, in dem Wärmetauscher- system (15) erwärmt und in einen zweiten Kältemitteltank (181) überführt wird, und
- 30 • in dem zweiten Betriebsmodus aus dem zweiten Kältemitteltank (182) entnommen, in dem Wärmetauscher- system (15) abgekühlt und in den ersten Kältemitteltank (181) überführt wird.
- 35 4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem ein Strom (l) eines das flüssige Kältemittel in dem ersten (181) und zweiten Kältemitteltank (182) überlagernden, nichtkondensierenden Gases
- 40 • in dem ersten Betriebsmodus aus dem ersten Kältemitteltank (181) entnommen, in dem Wärmetauschersystem (15) abgekühlt und in den zweiten Kältemitteltank (181) überführt wird, und
- 45 • in dem zweiten Betriebsmodus aus dem zweiten Kältemitteltank (182) entnommen, in dem Wärmetauscher- system (15) erwärmt und in den ersten Kältemitteltank (181) überführt wird.
- 50 5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Massenstrom des Sammelstroms (t) höchstens 110 Prozent der vereinigten Massenströme des ersten (n) und des zweiten Hochdruckstroms (s) entspricht.
- 55 6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das zum Verdichten des zweiten kalten Druckluftstroms (m) verwendete Kaltverdichtersystem (16) das einzige in der Energieerzeugungsanlage (100, 200) verwendete Kaltverdichtersystem ist.
- 60 7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem ein von dem Sammelstrom (t) abgeleiteter Strom (u) in der wenigstens einen mit dem Generator (G) gekoppelten Entspannungsturbine (23) der Kraftwerkseinheit (20) entspannt wird, wobei der von dem Sammelstrom (t) abgeleitete Strom (u) durch Verbrennen eines Brennstoffs (F) in einer zumindest durch den Sammelstrom (t) gebildeten Gasatmosphäre gebildet wird.
- 65 8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Sammelstrom (t) oder ein hiervon abgeleiteter Strom (u) vor seiner Entspannung in der wenigstens einen mit dem Generator (G) gekoppelten Entspannungsturbine (23) der Kraftwerkseinheit (20) erhitzt wird.
- 70 9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem Abwärme des Sammelstroms (t) oder des hiervon abgeleiteten Stroms (u) nach seiner Entspannung in der wenigstens einen mit dem Generator (G) gekoppelten Entspannungsturbine (23) zur Dampferzeugung verwendet wird.
- 75 10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Sammelstrom (t) oder der hiervon abgeleitete Strom (u) in zwei Teilströme aufgeteilt wird, von denen jeder in einer mit einem gemeinsamen Generator (G) gekoppelten Entspannungsturbine (23a, 23b) entspannt wird.
- 80 11. Energieerzeugungsanlage (100, 200) zur Erzeugung von elektrischer Energie, die eine mit einer Kraftwerkseinheit (20) kombinierte Luftbehandlungseinheit (10) umfasst, und die dazu eingerichtet ist,
- 85 • in einem ersten Betriebsmodus (Verflüssigungsbetrieb):
- 90 - einen ersten warmen Druckluftstrom (f) mittels eines Wärmetauschersystems (15) der Luftbehandlungs- einheit (10) zu einem ersten kalten Druckluftstrom (h) abzukühlen, aus diesem mittels eines Verflüssigungs-

systems (16) der Luftbehandlungseinheit (10) einen ersten tiefkalten flüssiger Strom (i) herzustellen, und den ersten tiefkalten flüssigen Strom (i) in ein Tanksystem (17) der Luftbehandlungseinheit (10) zu überführen,

- 5 • und in einem zweiten Betriebsmodus (Entnahmebetrieb):

- einen zweiten warmen Druckluftstrom (b) mittels des Wärmetauschersystems (15) zu einem zweiten kalten Druckluftstrom (m) abzukühlen und diesen mittels eines Kaltverdichtersystems (16) der Luftbehandlungseinheit (10) zu einem ersten Hochdruckstrom (n) zu verdichten,
10 - einen zweiten tiefkalten flüssigen Strom (p) aus dem Tanksystem (17) zu entnehmen und diesen mittels des Wärmetauschersystems (15) zu einem zweiten Hochdruckstrom (s) zu verdampfen oder pseudoverdampfen sowie aus dem ersten und dem zweiten Hochdruckstrom (s) einen Sammelstrom (t) zu bilden, und
15 - den Sammelstrom (t) oder einen hiervon abgeleiteten Strom (u) in wenigstens einer mit einem Generator (G) gekoppelten Entspannungsturbine (23) der Kraftwerkseinheit (20) zu entspannen, **dadurch gekennzeichnet,**
dass ein Kältemittelsystem (18) vorgesehen ist, das dafür eingerichtet ist,

- 20 • den ersten warmen Druckluftstrom (f) in dem ersten Betriebsmodus in dem Wärmetauschersystem (15) zu mindest zum Teil gegen einen Strom (k) eines flüssigen Kältemittels abzukühlen, und
• den tiefkalten flüssigen Strom (p) in dem zweiten Betriebsmodus in dem Wärmetauschersystem (15) zu mindest zum Teil gegen einen Strom (k) des flüssigen Kältemittels zu erwärmen.

25 **12.** Energieerzeugungsanlage (100, 200) nach Anspruch 11, die ein Regelsystem aufweist, das dafür eingerichtet ist, in Abhängigkeit von einem Füllstand des Flüssigspeichers (17), einer Tageszeit und/oder einer externen Anforderung von dem ersten in den zweiten Betriebsmodus umzuschalten.

30 **13.** Energieerzeugungsanlage (100, 200) nach Anspruch 11 oder 12, die ein Kältemittelsystem (18) aufweist, das einen ersten (181) und einen zweiten Kältemittelspeicher (182) aufweist und dazu eingerichtet ist, den Strom (k) des flüssigen Kältemittels

- 35 • in dem ersten Betriebsmodus dem ersten Kältemittelspeicher (181) zu entnehmen, in dem Wärmetauscher- system (15) zu erwärmen und in den zweiten Kältemittelspeicher (181) zu überführen, und
• in dem zweiten Betriebsmodus dem zweiten Kältemittelspeicher (182) zu entnehmen, in dem Wärmetauscher- system (15) abzukühlen und in den ersten Kältemittelspeicher (181) zu überführen.

40 **14.** Energieerzeugungsanlage (100, 200) nach einem der Ansprüche 11 bis 13, die genau ein Kaltverdichtersystem (16) umfasst.

45

50

55

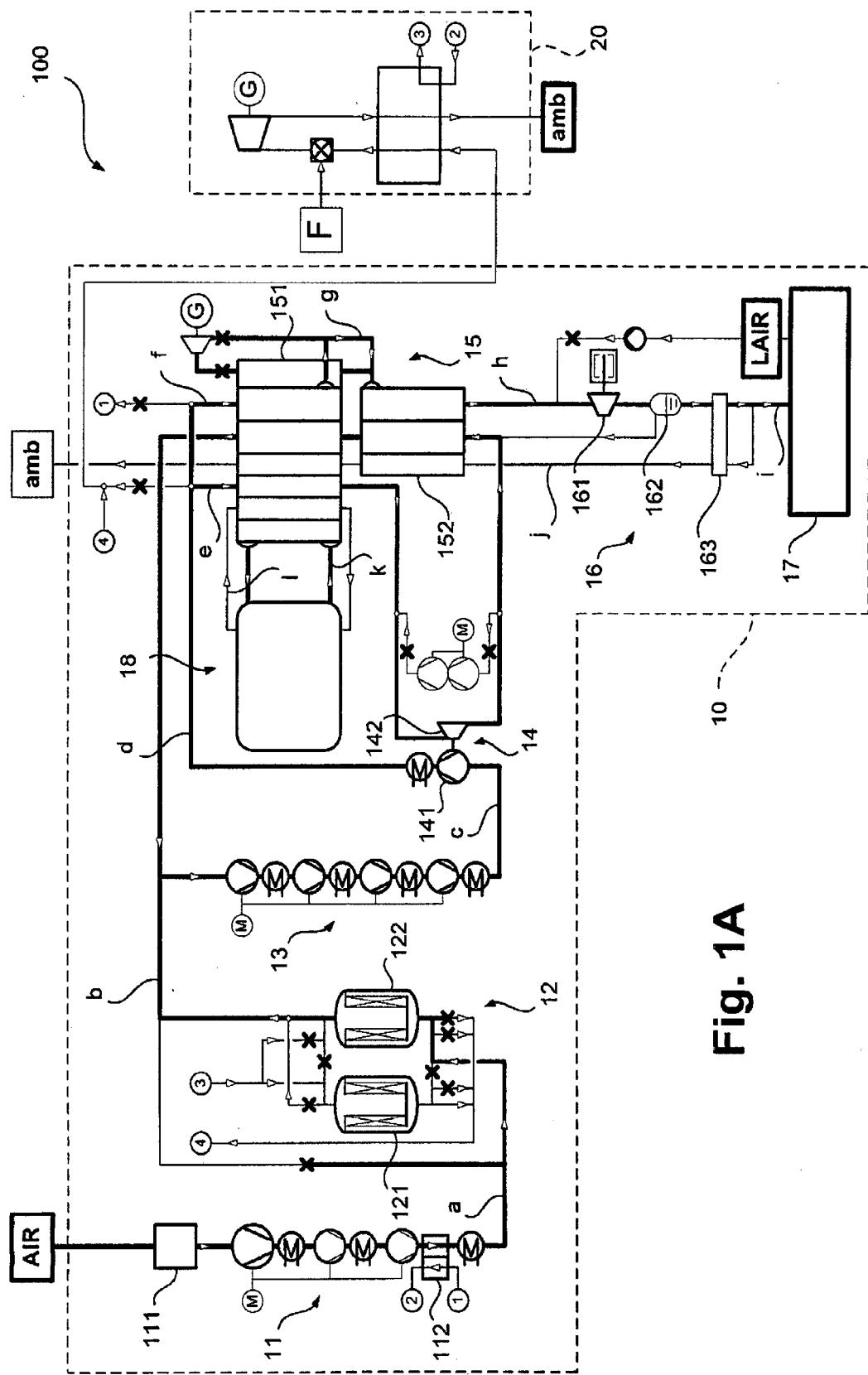


Fig. 1A

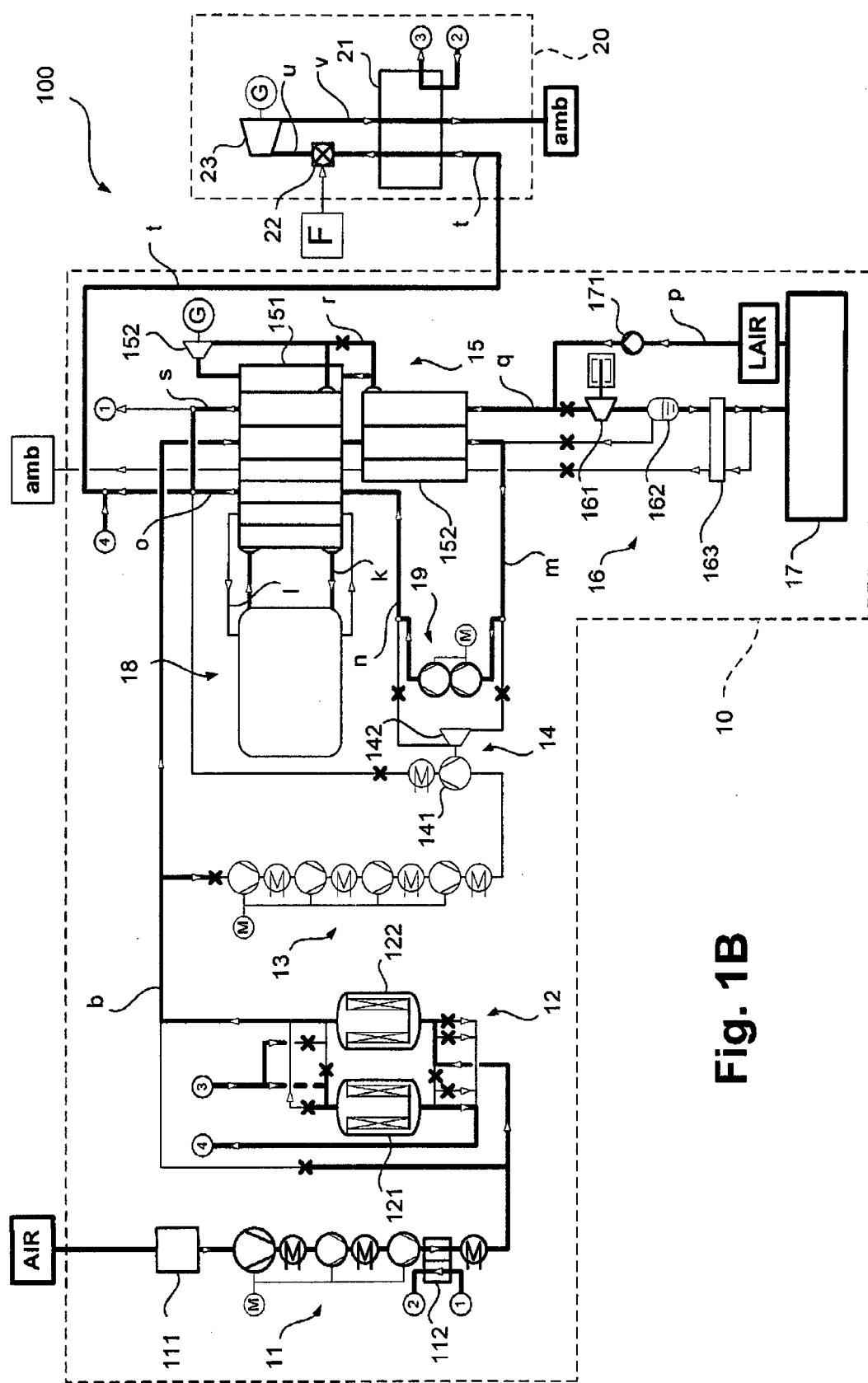


Fig. 1B

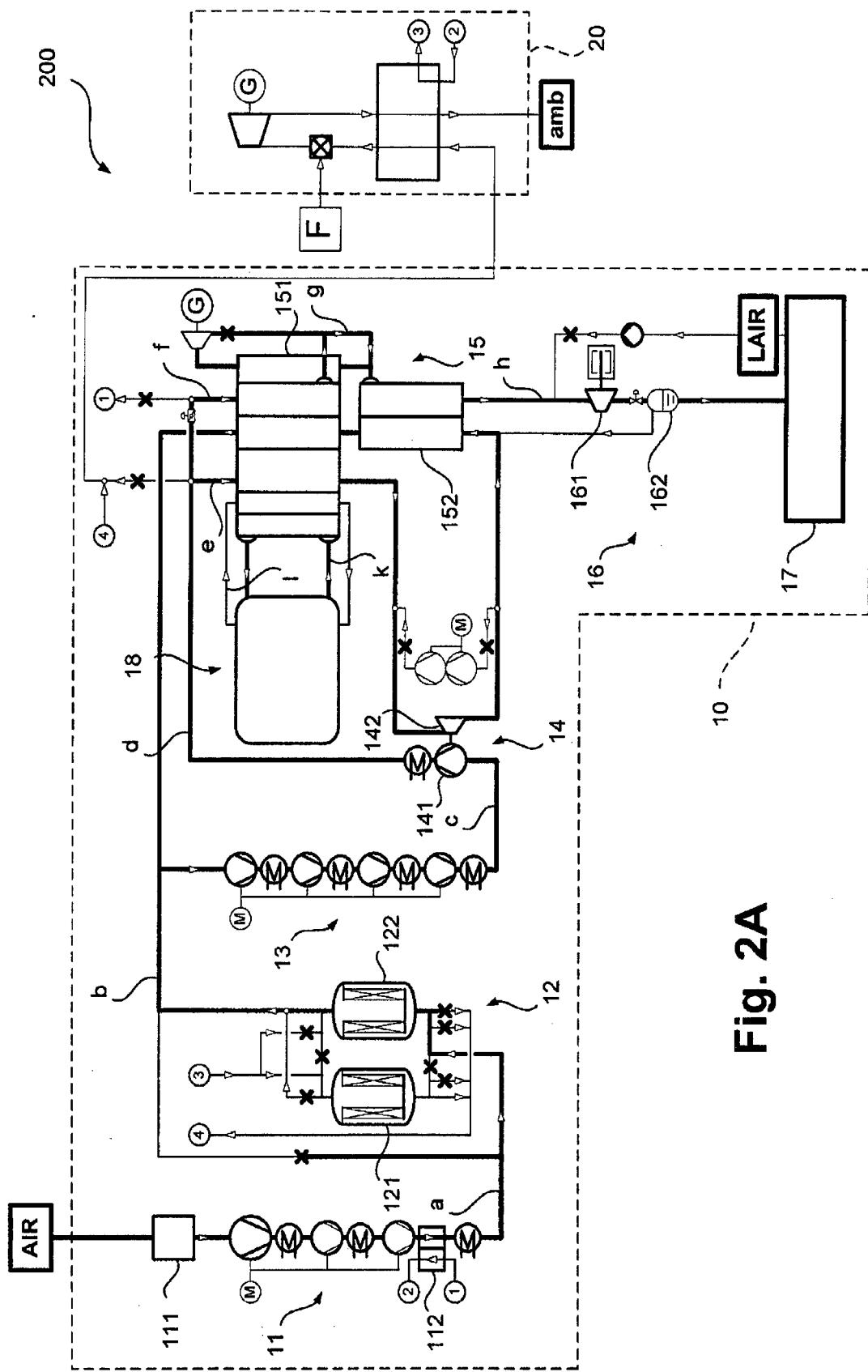


Fig. 2A

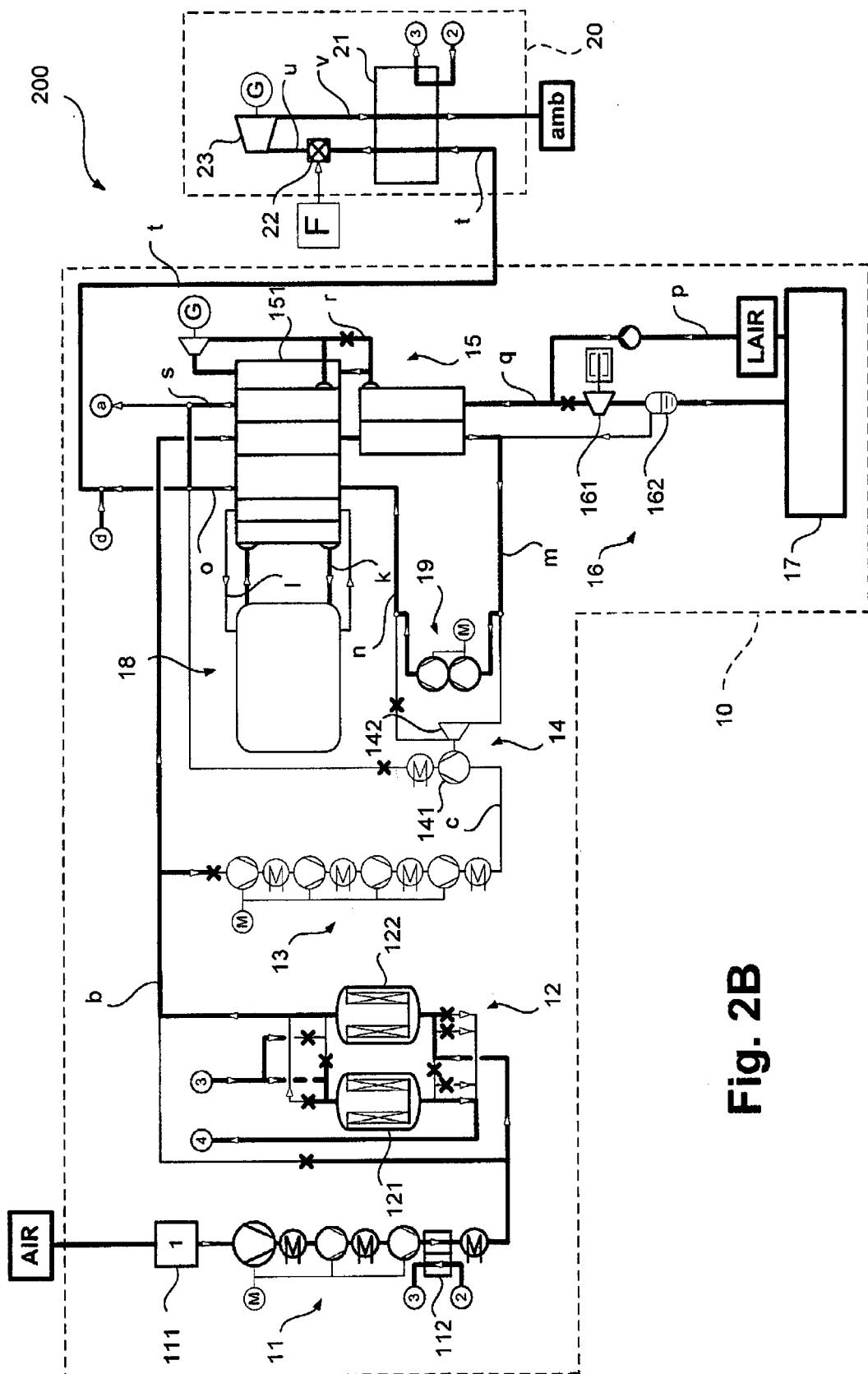
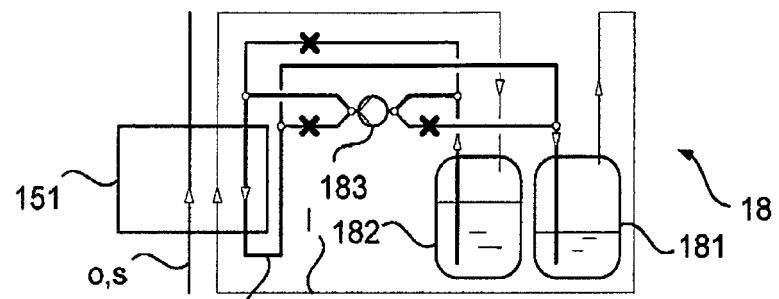


Fig. 2B



k Fig. 3B

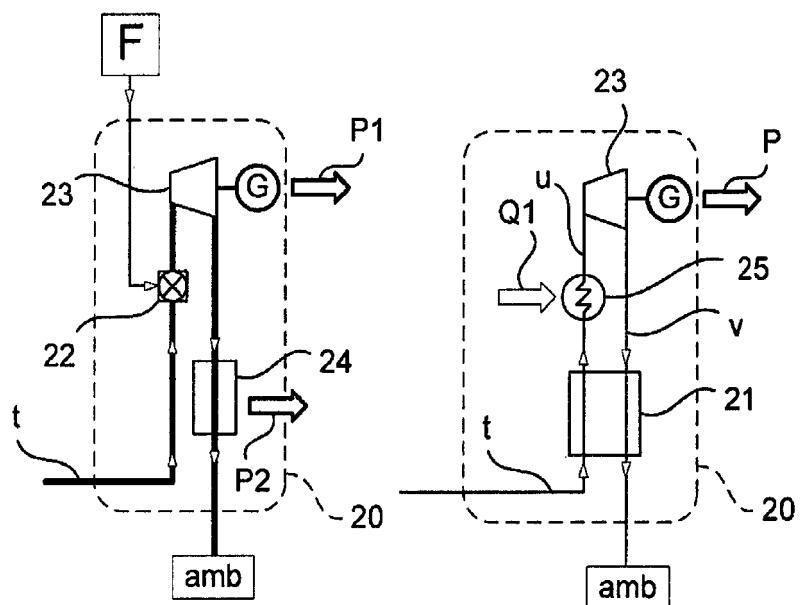


Fig. 4

Fig. 5

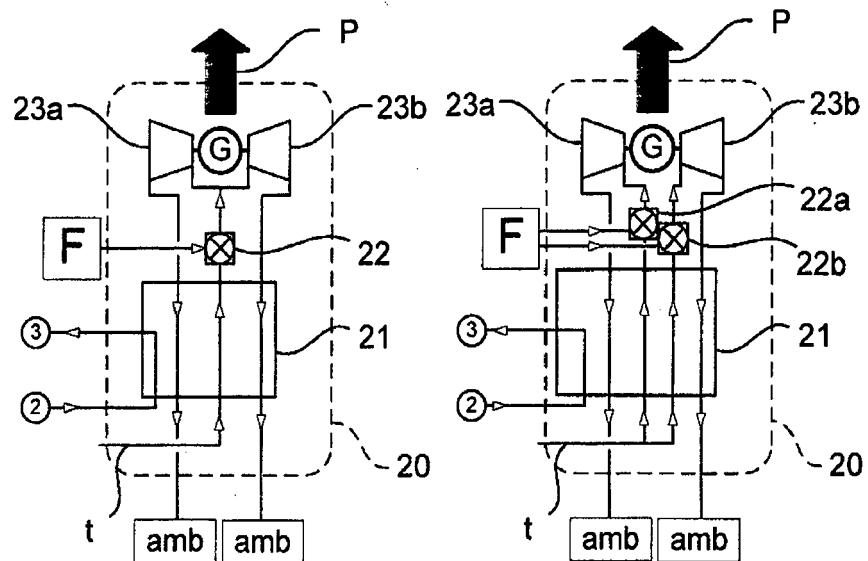


Fig. 6

Fig. 7

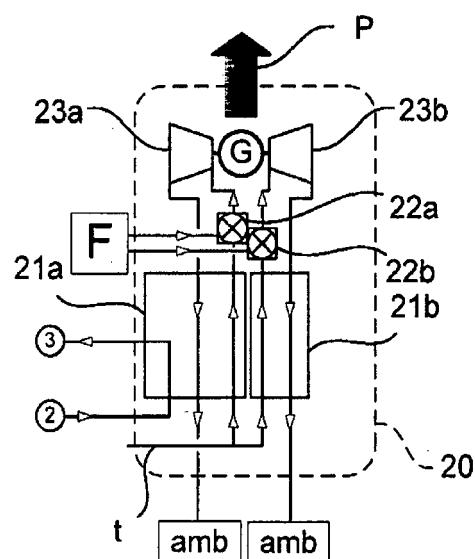


Fig. 8



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE					
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betreff Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)		
X	JP H04 132837 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 7. Mai 1992 (1992-05-07) * The embodiment of figure 7.; Abbildung 7 * -----	1,3,5-9, 11-14	INV. F01K3/00 F01K13/02 F02C6/16 F25J1/00		
A	EP 2 604 824 A1 (LINDE AG [DE]) 19. Juni 2013 (2013-06-19) * das ganze Dokument * -----	1-11			
A	GB 2 494 400 A (HIGHVIEW ENTPR LTD [GB]) 13. März 2013 (2013-03-13) * das ganze Dokument * -----	1-11			
A	US 2003/101728 A1 (WAKANA HARUMI [JP] ET AL) 5. Juni 2003 (2003-06-05) * das ganze Dokument * -----	1-11			
			RECHERCHIERTE SACHGEBiete (IPC)		
			F01K F02C F25J		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt					
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer			
München	24. März 2014	Röberg, Andreas			
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE					
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet	T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze				
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie	E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist				
A : technologischer Hintergrund	D : in der Anmeldung angeführtes Dokument				
O : nichtschriftliche Offenbarung	L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument				
P : Zwischenliteratur	& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument				

5
**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 13 00 3985

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.

10
 24-03-2014

15	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
20	JP H04132837 A	07-05-1992	JP 3040442 B2 JP H04132837 A	15-05-2000 07-05-1992
25	EP 2604824 A1	19-06-2013	DE 102011121011 A1 EP 2604824 A1	13-06-2013 19-06-2013
30	GB 2494400 A	13-03-2013	GB 2494400 A WO 2013034908 A2	13-03-2013 14-03-2013
35	US 2003101728 A1	05-06-2003	KEINE	
40				
45				
50				
55	EPO FORM P0461			

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 Patentdokumente

- DE 3139567 A1 [0002]
- WO 2007096656 A1 [0002]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- HAUSEN/LINDE. Tieftemperaturtechnik. 1985, 281-337 [0012]