



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 125 006.6**  
 (22) Anmeldetag: **20.12.2016**  
 (43) Offenlegungstag: **21.06.2018**

(51) Int Cl.: **F25B 30/02 (2006.01)**  
**F25B 30/06 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**Mitsubishi Hitachi Power Systems Europe GmbH,**  
**47059 Duisburg, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2013 019 756	B4
US	6 644 062	B1
US	2014 / 0 013 786	A1
JP	2012- 42 205	A
JP	2012- 17 978	A

(74) Vertreter:  
**Viering, Jentschura & Partner mbB Patent- und**  
**Rechtsanwälte, 40476 Düsseldorf, DE**

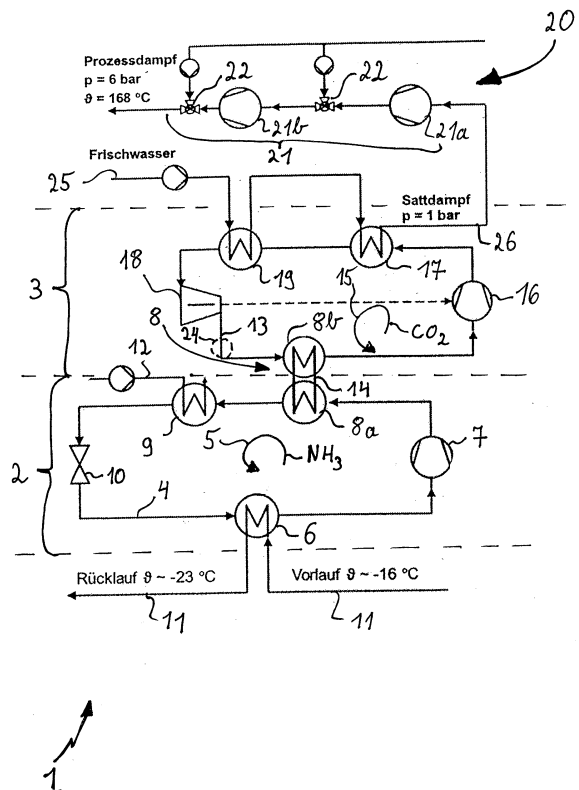
(72) Erfinder:  
**Bergins, Christian, Dr., 45711 Datteln, DE;**  
**Buddenberg, Torsten, 47447 Moers, DE; Gerstner-**  
**Riewer, Bastian, 40239 Düsseldorf, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Erzeugung von Prozesskälte und Prozessdampf**

(57) Zusammenfassung: Bei einem Verfahren zur Erzeugung von Dampf und Kälte unter Zufuhr elektrischer Energie an eine Kompressionskältemaschine (2) und eine Hochtemperaturwärmepumpe (3) soll eine Lösung geschaffen werden, die es ermöglicht, gleichzeitig Wasserdampf und Kälte für die Anwendung in industriellen Prozessen bereitzustellen. Dies wird dadurch erreicht, dass in der Kompressionskältemaschine (2) in mindestens einem im Kältemittelkreislauf (4) angeordneten Wärmeübertrager (6) aus einem, vorzugsweise mit einer Temperatur von  $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , zuströmenden Kältefluid (11) Wärmeenergie, insbesondere Kälte, ausgekoppelt und in das im Kältemittelkreislauf (4) zirkulierende und dem mindestens einen Wärmeübertrager (6) zufließende Kältemittel eingekoppelt wird, das Kältemittel in dem Kältemittelkreislauf (4) anschließend komprimiert und dadurch erwärmt wird sowie derart erwärmt in dem Kältemittelkreislauf (4) der Wärmeübertragervorrichtung (8) zugeführt wird, wo aus dem zufließenden Kältemittel Wärmeenergie ausgekoppelt und das Wärmeträgerfluid erwärmend in das in dem Wärmeträgerfluidkreislauf (13) der Hochtemperaturwärmepumpe (3) zirkulierende Wärmeträgerfluid eingekoppelt wird, wobei dieses erwärmte Wärmeträgerfluid anschließend in dem Wärmeträgerfluidkreislauf (13) durch Komprimierung derart erwärmt wird, dass der Wärmeenergieinhalt des komprimierten Wärmeträgerfluids ausreicht, um anschließend in mindestens einem weiteren, in dem Wärmeträgerfluidkreislauf ...



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung richtet sich auf ein Verfahren zur Erzeugung von Dampf und Kälte unter Zufuhr elektrischer Energie an eine Kompressionskältemaschine und eine Hochtemperaturwärmepumpe, wobei ein im Kältemittelkreislauf der Kompressionskältemaschine zirkulierendes Kältemittel und ein im Wärmeträgerfluidkreislauf der Hochtemperaturwärmepumpe zirkulierendes Wärmeträgerfluid über eine in den Kühlmittelkreislauf und den Wärmeträgerfluidkreislauf eingebundene Wärmeübertragervorrichtung in einer Wärmeenergie aus dem Kältemittelkreislauf auskoppelnden und in den Wärmeträgerfluidkreislauf einkoppelnden Wirkverbindung miteinander stehen.

**[0002]** Weiterhin richtet sich die Erfindung auf ein Dampf- und Kälteerzeugungssystem, umfassend eine Kompressionskältemaschine und eine Hochtemperaturwärmepumpe, die über eine in den Kältemittelkreislauf der Kompressionskältemaschine und den Wärmeträgerfluidkreislauf der Hochtemperaturwärmepumpe eingebundene Wärmeübertragervorrichtung in einer Wärmeenergie aus einem im Kältemittelkreislauf der Kompressionskältemaschine zirkulierenden Kältemittel auskoppelnden und in ein im Wärmeträgerfluidkreislauf der Hochtemperaturwärmepumpe zirkulierendes Wärmeträgerfluid einkoppelnden Wirkverbindung miteinander stehen.

**[0003]** Insbesondere in Gewerbe- und Industrieparks, die in der Regel einen branchenübergreifenden Mix an Betrieben vereinigen, besteht das Bedürfnis, viele Energieversorgungssysteme und Verbraucher der eng benachbarten Firmen zu vernetzen und Prozesse zu koppeln. Durch Ausgleichs- und Synergieeffekte zwischen den verschiedenen Unternehmen lassen sich höhere Effizienzgewinne erreichen als durch eine separate Optimierung der einzelnen Anlagen. Daher werden Industrieparks häufig von einem zentralen Standortbetreiber mit Energie versorgt. Abhängig von ihrer jeweiligen Produktion unterscheiden sich bei den verschiedenen Gewerbe- und Industrieparks deren Ansprüche an die Energieversorgung. Während beispielsweise in der metallverarbeitenden Industrie Wärme im Bereich von vielen 100 °C benötigt wird, liegt das Temperaturniveau des Wärmebedarfs in der Ernährungsindustrie häufig unterhalb von 100 °C. Ebenso sind Industrieprozesse bekannt, bei welchen Kälte oder Prozesskälte benutzt wird. So wird bei der Ammoniak-kondensation im Zusammenhang mit der Ammoniakherstellung nach dem Haber-Bosch-Verfahren Prozesskälte zur Ammoniak-kondensation benötigt. Kälte wird beispielsweise auch bei dem Betrieb einer Molkerei mit angeschlossenen Kühlhaus benötigt, wobei in dem Kühlhaus eine Kühlleistung und in der Molkerei eine Wärmeleistung in Form von Wasserdampf benötigt wird. Es besteht daher in derartigen

Gewerbe- und Industrieparks, aber auch generell in unterschiedlichen Betrieben verschiedenster Industriezweige, beispielsweise im Bereich der Chemieindustrie und der Lebensmittelindustrie, das Bedürfnis und die Notwendigkeit einerseits Prozesskälte zu erzeugen und bereitzustellen und andererseits Prozessdampf zu erzeugen und bereitzustellen.

**[0004]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Lösung zu schaffen, die es ermöglicht, gleichzeitig Wasserdampf und Kälte für die Anwendung in industriellen Prozessen bereitzustellen.

**[0005]** Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 und ein Dampf- und Kälteerzeugungssystem nach Anspruch 11 gelöst.

**[0006]** Zweckmäßige Ausgestaltungen und vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der jeweiligen Unteransprüche.

**[0007]** Bei einem Verfahren der eingangs näher bezeichneten Art wird die vorstehende Aufgabe dadurch gelöst, dass in der Kompressionskältemaschine in mindestens einem im Kältemittelkreislauf angeordneten Wärmeübertrager aus einem, vorzugsweise mit einer Temperatur von  $< 0$  °C, zuströmenden Kältefluid Wärmeenergie, insbesondere Kälte, ausgekoppelt und in das im Kältemittelkreislauf zirkulierende und dem mindestens einen Wärmeübertrager zufließende Kältemittel eingekoppelt wird, das Kältemittel in dem Kältemittelkreislauf anschließend komprimiert und dadurch erwärmt wird sowie derart erwärmt in dem Kältemittelkreislauf der Wärmeübertragervorrichtung zugeführt wird, wo aus dem zufließenden Kältemittel Wärmeenergie ausgekoppelt und das Wärmeträgerfluid erwärmend in das in dem Wärmeträgerfluidkreislauf der Hochtemperaturwärmepumpe zirkulierende Wärmeträgerfluid eingekoppelt wird, wobei dieses erwärmte Wärmeträgerfluid anschließend in dem Wärmeträgerfluidkreislauf durch Komprimierung derart erwärmt wird, dass der Wärmeenergieinhalt des komprimierten Wärmeträgerfluids ausreicht, um anschließend in mindestens einem weiteren, in dem Wärmeträgerfluidkreislauf angeordneten Wärmeübertrager mit aus diesem weiteren Wärmeübertrager zugeführtem Wärmeträgerfluid ausgekoppelter und an diesen mindestens einen weiteren Wärmeübertrager durchströmendes Wasser, insbesondere Speisewasser, eingekoppelter Wärmeenergie das Wasser, insbesondere Speisewasser, zu verdampfen.

**[0008]** Ebenso wird die vorstehende Aufgabe bei einem Dampf- und Kälteerzeugungssystem der eingangs näher bezeichneten Art dadurch gelöst, dass in der Kompressionskältemaschine in den Kältemittelkreislauf mindestens ein Wärmeübertrager eingebunden ist, mittels welchem aus einem, vorzugsweise mit einer Temperatur von  $< 0$  °C, dem Wärme-

übertrager zuströmenden Kältefluid Wärmeenergie, insbesondere Kälte, auskoppelbar und in das im Kältemittelkreislauf zirkulierende und dem mindestens einen Wärmeübertrager zufließende Kältemittel ein-koppelbar ist, und ein erster Verdichter oder erster Kompressor in den Kältemittelkreislauf der Kompressionskältemaschine eingebunden ist, mittels welchem das im Kältemittelkreislauf zirkulierende Kältemittel komprimierbar und dadurch erwärmbar sowie derart erwärmt der Wärmeübertragervorrichtung zu-führbar ist, und wobei im Wärmeträgerfluidkreislauf der Hochtemperaturwärmepumpe ein zweiter Kompressor oder zweiter Verdichter angeordnet ist, mittels welchem das im Wärmeträgerfluidkreislauf zirku-lierende und in der Wärmeübertragervorrichtung mit-tels aus dem Kältemittel übertragener Wärmeenergie erhitzte Wärmeträgerfluid auf einen solchen Druck verdichtbar und dadurch erwärmbar sowie derart er-wärmt einem in den Wärmeträgerfluidkreislauf ein-gebundenen, weiteren Wärmeübertrager zuführbar ist, dass mittels der in dem weiteren Wärmeübertra-ger aus dem Wärmeträgerfluid auskoppelbaren und an den weiteren Wärmeübertrager durchströmendes Wasser, insbesondere Speisewasser, übertragbaren Wärmeenergie das Wasser, insbesondere Speise-wasser, verdampfbar ist.

**[0009]** Durch die Erfindung wird durch Kombination einer Kompressionskältemaschine mit einer Hochtemperaturwärmepumpe die Möglichkeit geschaffen, in dem erfindungsgemäßen Verfahren und mit dem erfindungsgemäßen Dampf- und Kälteerzeugungssystem gleichzeitig einerseits Kälte und andererseits (Wasser)Dampf aus einem zugeführten (kalten) Fluid, im Weiteren und im Zusammenhang mit der Erfindung als Kältefluid bezeichnet, für eine weitere Nutzung in angeschlossenen Prozessen zur erzeugen und zur Verfügung zu stellen. Dies geschieht zudem dadurch, dass der Kompressionskältemaschine und der Hochtemperaturwärmepumpe außer dem zuströmenden Kältefluid, aus welchem, insbesondere kalte, Wärmeenergie auskoppelbar ist, ausschließlich elektrische Energie, d.h. elektrischer Strom, als externe Energie von außen zugeführt wird.

**[0010]** Der Begriff „Kälte“ oder „kalte Wärmeenergie“ wird hier und im Weiteren in der in der Kühl- und Kältetechnik üblichen Art und Weise benutzt, wo-nach Kälte einen Zustand mit einer Temperatur unterhalb der Umgebungstemperatur bezeichnet. In diesem wissenschaftlich nicht ganz exakten Sinne wird „Kälte“ also als das Gegenteil oder die Abwesenheit von Wärme verstanden, wie dies Eingang in die technische Fachsprache gefunden hat. Erfindungsgemäß ist demnach vorgesehen, aus einem zugeführten Kältefluid „kalte“ Wärmeenergie oder „Kälte“ in ein in einem Kältemittelkreislauf einer Kompressionskältemaschine zirkulierendes Kältemittel auszu-koppeln, dieses Kältemittel in dem Kältemittelkreislauf der Kompressionskältemaschine auf einen höhe-

ren Druck und eine höhere Temperatur zu verdichten, und dann in einer im Kältemittelkreislauf angeordneten Wärmeübertragervorrichtung oder Wärmeübertragereinrichtung Wärmeenergie aus dem Kältemittel auszukoppeln. Diese ausgekoppelte Wärmeenergie wird dann mittels eines anderen Teils der Wärmeübertragervorrichtung oder Wärmeübertragereinrichtung, der in den Wärmeträgerfluidkreislauf der Hochtemperaturwärmepumpe eingebunden ist, in das in diesem Wärmeträgerfluidkreislauf zirkulierende Wärmeträgerfluid eingekoppelt. Das Wärmeträgerfluid wird dann im Wärmeträgerfluidkreislauf verdichtet und auf eine höhere Temperatur erhitzt, bevor dann mittels eines weiteren Wärmeübertragers aus dem Wärmeträgerfluid Wärmeenergie derart ausgekoppelt und in diesem weiteren Wärmeübertrager zufließendes Wasser eingekoppelt wird, dass das Wasser verdampft. Auf diese Weise lässt sich durch diese Kombination einer Kompressionskältemaschine mit einer Hochtemperaturwärmepumpe einerseits Dampf erzeugen. Andererseits wird aber auch Kälte erzeugt, indem dem der Kompressionskältemaschine zufließenden Kältefluid in dem mindestens einen im Kältemittelkreislauf angeordneten Wärmeübertrager so viel (kalte) Wärmeenergie entzogen, d.h. aus diesem ausgekoppelt, wird, dass das Kältefluid nach Durchströmen dieses Wärmeübertragers auf dessen Rücklaufseite eine niedrigere Temperatur als vorher auf der einlaufseitigen Vorlaufseite aufweist, das Kältefluid also kälter ist. In diesem Sinne wird hier gleichzeitig mit dem Dampf auch „Kälte“ erzeugt. Bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens und beim Betrieb des erfindungsgemäßen Dampf- und Kälteerzeugungssystems ist die Zufuhr von Brennstoff nicht notwendig, um den Prozessdampf zu erzeugen, so dass lediglich Strom für den Antrieb, insbesondere der Verdichter der Hochtemperaturwärmepumpe und der Kompressionskältemaschine, sowie das für die Erzeugung der Kälte genutzte Kältefluid zugeführt werden müssen. Dies ermöglicht es, eine gesamte Leistungsziffer  $< 2$  zu erreichen, was bedeutet, dass für jede eingesetzte Kilowattstunde Strom mehr als zwei Kilowattstunden Wärme oder Kälte erzeugt werden. Dabei teilt sich die Wärmeleistung in ca.  $2/3$  „Kälte“ und  $1/3$  „Dampf“ oder „Prozessdampf“ auf. Dabei ist es natürlich auch möglich, in den Wärmeträgerfluidkreislauf der Hochtemperaturwärmepumpe weitere Wärmequellen wie Wärme aus einem Fernwärmenetz oder Abwärme von industriellen Prozessen durch Einkopplung daraus gewonnener Energie in das Wärmeträgerfluid des Wärmeträgerfluidkreislaufs zu nutzen. Hierzu wird aus einem zuströmenden, temperierten Fluidstrom in einer im Wärmeträgerfluidkreislauf der Hochtemperaturpumpe eingebundenen Wärmeenergieein-speisevorrichtung oder einem zusätzlichen Wärmeübertrager oder Wärmetauscher Wärmeenergie ausgekoppelt und an das im Wärmeträgerfluidkreislauf zirkulierende Wärmeträgerfluid übertragen und ausgekop-

pelt. Diese hier nicht näher erläuterte und in den Ausführungsbeispielen auch nicht näher dargestellte Möglichkeit sieht für diese Maßnahme die Anordnung und Einbindung einer solchen Wärmeenergieein-speisevorrichtung in den Wärmeträgerfluidkreislauf der Hochtemperaturwärmepumpe in einem Bereich stromabwärts eines/des in dem Wärmeträgerfluidkreislauf angeordneten Expanders oder einer Entspannungsturbine oder einer/der Drossel und stromaufwärts eines/des in dem Wärmeträgerfluidkreislauf angeordneten (zweiten) Verdichters oder Kompressors vor, wobei sich die Bezeichnungen „stromaufwärts“ und „stromabwärts“ auf die Strömungsrichtung des in dem Wärmeträgerkreislauf zirkulierenden Wärmeträgerfluids bezieht. Einsatzgebiete für das erfindungsgemäße Verfahren und das erfindungsgemäße Dampf- und Kälteerzeugungssystem sind beispielsweise Chemieanlagen, z.B. in Haber-Bosch-Anlagen zur Ammoniakherstellung, wo Prozesskälte zur Ammoniakkondensation benötigt wird. An derartigen Standorten wird meist auch Prozessdampf für andere Prozesse benötigt, so dass hier Strom optimal als Energiequelle genutzt werden kann. Weiterhin kann die erfindungsgemäße Technik auch in der Lebensmittelindustrie genutzt werden. Als Beispiel sei hier eine Molkerei mit angeschlossenem Kühlhaus genannt. Der Kälteteil bedient dann das Kühlhaus und der Wärmeteil (Dampf) die Molkerei selber. Ebenso kann die erfindungsgemäße Technik zur Wetterkühlung von Bergwerken eingesetzt werden, so dass sich als Anwendungsspektrum beispielsweise die Anwendung in Chemieparcs mit Kälteerzeugung, in der Lebensmittelindustrie mit Kühlhäusern und in Bergwerken zur Wetterkühlung ergibt.

**[0011]** Ein besonders geeignetes Kältemittel ist Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) und ein besonders geeignetes Wärmeträgerfluid ist Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), so dass die Erfindung in Ausgestaltung des Verfahrens vorsieht, dass in dem Kältemittelkreislauf der Kompressionskältemaschine Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) als Kältemittel und in dem Wärmeträgerfluidkreislauf der Hochtemperaturwärmepumpe Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) als Wärmeträgerfluid zirkuliert. Ebenso zeichnet sich die Erfindung in Ausgestaltung des Dampf- und Kälteerzeugungssystem dadurch aus, dass das Wärmeträgerfluid des Wärmeträgerfluidkreislaufs der Hochtemperaturwärmepumpe Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) und das Kältemittel des Kältemittelkreislaufs der Kompressionskältemaschine Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) ist. Hierbei ist es aber auch möglich, dass als Wärmeträgerfluid ebenfalls Ammoniak Verwendung findet.

**[0012]** Um sowohl die Kompressionskältemaschine als auch die Hochtemperaturwärmepumpe mit Strom als von außen zugeführter elektrischer Energie betreiben zu können, ist es weiterhin von Vorteil, wenn das Kältemittel in dem Kältemittelkreislauf der Kompressionskältemaschine und das Wärmeträgerfluid in dem Wärmeträgerfluidkreislauf der Hochtemperatur-

wärmepumpe jeweils mittels eines mit elektrischer Energie angetriebenen Verdichters oder Kompressors komprimiert werden, was die Erfindung weiterhin vorsieht.

**[0013]** Eine zweckmäßig Ausgestaltung des in der Kompressionskältemaschine durchgeführten Verfahrens sieht weiterhin vor, dass das komprimierte, insbesondere flüssige, Kältemittel im Kältemittelkreislauf der Kompressionskältemaschine nach Durchströmen der Wärmeübertragervorrichtung oder Wärmeübertragereinrichtung bei Durchströmen einer im Kältemittelkreislauf der Kompressionskältemaschine angeordneten Drossel oder eines Expansionsventils entspannt und vorzugsweise verdampft wird.

**[0014]** In analoger Weise sieht die Erfindung in Ausgestaltung des in der Hochtemperaturwärmepumpe durchgeführten Verfahrens vor, dass das komprimierte, insbesondere gasförmige, Wärmeträgerfluid im Wärmeträgerfluidkreislauf der Hochtemperaturwärmepumpe nach Durchströmen des mindestens einen weiteren Wärmeübertragers bei Durchströmen eines im Wärmeträgerfluidkreislauf angeordneten Expanders oder Schraubenexpanders oder einer Entspannungsturbine oder einer Drossel oder eines Expansionsventils entspannt wird.

**[0015]** Da mittels der Hochtemperaturwärmepumpe Dampf erzeugt werden soll, zeichnet sich die Erfindung in weiterer Ausgestaltung dadurch aus, dass das Wärmeträgerfluid, insbesondere Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), vor seinem Eintritt in den mindestens einen weiteren Wärmeübertrager auf einen Druck von  $\geq 190$  bar und eine Temperatur von  $\geq 190$  °C verdichtet wird.

**[0016]** Da sich mit der Hochtemperaturwärmepumpe insbesondere ein Sattdampf mit einem Druck von 1 bar vorteilhaft erzeugen lässt, kann es wünschenswert sein, für die Erzeugung von Prozessdampf höheren Druckes und höherer Temperatur weitere Maßnahmen vorzusehen. In Weiterbildung sieht die Erfindung daher auch vor, dass der mittels des mindestens einen weiteren Wärmeübertragers erzeugte Dampf mindestens einem den Dampfdruck erhöhenden Dampfkompresseur und/oder einem, insbesondere elektrisch betriebenen, Überhitzer zugeführt wird, der/die dem mindestens einen weiteren Wärmeübertrager in Dampfströmungsrichtung nachgeschaltet ist/sind.

**[0017]** Hierbei ist es dann zweckmäßig, wenn der in dem mindestens einen weiteren Wärmeübertrager erzeugte Dampf in dem Überhitzer auf einen Druck zwischen 1 und 5 bar gebracht wird und/oder dass der in dem mindestens einen weiteren Wärmeübertrager erzeugte Dampf in dem oder den den Dampfdruck erhöhenden Dampfkompresseur(en) auf einen

Druck zwischen 2 und 20 bar gebracht wird, wodurch sich die Erfindung weiterhin auszeichnet.

**[0018]** Eine konstruktiv besonders günstige und vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens hinsichtlich des mechanischen Antriebes von für die Durchführung des Verfahrens benötigten rotierenden oder rotierende Elemente umfassenden Vorrichtungen, Einrichtungen, Bauteilen oder Elementen besteht darin, dass die im Wärmeträgerfluidkreislauf und im Kältemittelkreislauf angeordneten Verdichter, Kompressoren und Expander oder Entspannungsturbinen und/oder mindestens ein Teil der den Dampfdruck des erzeugten Dampfes erhöhenden Kompressoren zumindest zum Teil in mechanischer Wirkverbindung mit einem Getriebe stehen und alle von diesem einen Getriebe angetrieben werden, was die Erfindung weiterhin vorsieht.

**[0019]** Hierbei ist es dann besonders zweckmäßig, ein sogenanntes Bull-Gear-Getriebe oder Großradgetriebe vorzusehen, welches dann von einem einzigen Motor antreibbar ist, und wobei alle weiteren anzutreibenden Vorrichtungen, Einrichtungen, Bauteile oder Elemente, wie eben Verdichter, Kompressoren, Expander oder Entspannungsturbinen, mittels an dem einen Großrad angreifender Ritzel angetrieben werden. Die Erfindung sieht daher auch vor, dass das Getriebe als Bull-Gear-Getriebe oder Großradgetriebe ausgebildet ist und vorzugsweise von einem einzigen Motor angetrieben wird.

**[0020]** In Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Dampf- und Kälteerzeugungssystem ist es weiterhin vorteilhaft, wenn der in den Kältemittelkreislauf der Kompressionskältemaschine eingebundene Teil der Wärmeübertragervorrichtung einen Kondensator für das zirkulierende Kältemittel ausbildet und der in den Wärmeträgerfluidkreislauf der Hochtemperaturwärmepumpe eingebundene Teil der Wärmeübertragervorrichtung einen Erhitzer für das zirkulierende Wärmeträgerfluid ausbildet, wodurch sich die Erfindung weiterhin auszeichnet. Hierdurch ist es möglich, einen zweckmäßigen Kältemittelkreislauf und einen zweckmäßigen Wärmeträgerfluidkreislauf auszubilden und diese vorteilhaft miteinander in einer Wärmeenergie übertragenden Wirkverbindung zu verknüpfen.

**[0021]** In gleichermaßen vorteilhafter Weise trägt dazu gemäß Ausgestaltung der Erfindung bei, dass der mindestens eine in den Kältemittelkreislauf der Kompressionskältemaschine eingebundene Wärmeübertrager einen Verdampfer für das zirkulierende Kältemittel ausbildet und der mindestens eine weitere, in den Wärmeträgerfluidkreislauf der Hochtemperaturwärmepumpe eingebundene Wärmeübertrager einen Gaskühler für das zirkulierende Wärmeträgerfluid ausbildet.

**[0022]** Die für die notwendigen Wärmeeinkopplungen und Wärmeauskopplungen notwendigen Wärmeübertrager lassen sich in vorteilhafter Weise günstig als Wärmetauscher realisieren und ausbilden. Die Erfindung sieht daher weiterhin vor, dass der in den Wärmeträgerfluidkreislauf der Hochtemperaturwärmepumpe eingebundene, als Erhitzer ausgebildete Teil der Wärmeübertragervorrichtung als Wärmetauscher, insbesondere als flüssig/Gas - Wärmetauscher, und/oder der mindestens eine weitere, in den Wärmeträgerfluidkreislauf der Hochtemperaturwärmepumpe eingebundene Wärmeübertrager als Wärmetauscher, insbesondere als Verdampfer/Gaskühler, ausgebildet ist.

**[0023]** Das erfindungsgemäße Dampf- und Kälteerzeugungssystem umfasst mit der Hochtemperaturwärmepumpe ein Dampferzeugungssystem, mit welchem sich Prozessdampf und/oder Heizdampf, insbesondere zur Nutzung bei industriellen Prozessen, erzeugen lässt, wobei mindestens ein in den Wärmeträgerfluidkreislauf der Hochtemperaturwärmepumpe eingebundener und insbesondere in Form eines Verdampfers/Gaskühlers ausgebildeter weiterer Wärmeübertrager den Dampf erzeugt. Diesem weiteren Wärmeübertrager sind in Strömungsrichtung des erzeugten Dampfes vorzugsweise ein insbesondere elektrisch betriebener Überhitzer und/oder mindestens ein Dampfkompresseur nachgeschaltet. Die Erfindung zeichnet sich daher in weiterer Ausgestaltung dadurch aus, dass dem mindestens einen weiteren, in den Wärmeträgerfluidkreislauf der Hochtemperaturwärmepumpe eingebundenen Wärmeübertrager in Strömungsrichtung des erzeugten Dampfes mindestens ein den Dampfdruck erhöhender Dampfkompresseur und/oder ein, insbesondere elektrisch betriebener, Überhitzer nachgeschaltet ist/sind. Im Unterschied zu konventionellen Dampferzeugungssystemen, die fossilen Brennstoff oder elektrischen Strom nutzen, können das erfindungsgemäße Verfahren und das erfindungsgemäße Dampf- und Kälteerzeugungssystem verschiedene Energiequellen, wie elektrischen Strom, örtlich vorhandene Kälte oder Wärme, Wärme aus einem Fernwärmenetz oder Abwärme, beispielsweise von einem industriellen Prozess, nutzen. Die verwendete Hochtemperaturwärmepumpe hebt die eingangsseitig über die Wärmeenergie in den Wärmeträgerfluidkreislauf einkoppelnde Wärmeübertragervorrichtung oder Wärmeübertragereinrichtung oder ergänzende zusätzliche Wärmeübertrager oder Wärmetauscher oder Wärmeenergieeinspeisevorrichtungen bereitgestellte Wärmeenergie oder Wärmequellentemperatur auf eine für eine Niederdruckdampfproduktion in einem Verdampfer, insbesondere dem als CO<sub>2</sub>-Gaskühler/Verdampfer ausgebildeten weiteren Wärmeübertrager, geeignete Temperatur. Das Arbeitsmedium oder Wärmeträgerfluid des Wärmeträgerfluidkreislaufs der Hochtemperaturwärmepumpe wird vorzugsweise von CO<sub>2</sub> gebildet, kann aber auch Ammoniak sein. Nach Bil-

dung des Niederdruckdampfes in dem Verdampfer aus zufließendem Wasser wird dieser Wasserdampf mittels der vorgesehenen elektrischen Überhitzung, insbesondere aber mittels des mindestens einen vorgesehenen Dampfkompessors auf den gewünschten Dampfdruck komprimiert. Dies erfolgt vorzugsweise im Rahmen einer mehrstufigen Kompression des Dampfes mit Zwischenkühlung, vorzugsweise Einspritzkühlung, so dass sichergestellt ist, dass der erhaltene komprimierte Dampf die gewünschte Temperatur aufweist. Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn der Dampf als Prozessdampf anschließend in einem industriellen Prozess Verwendung finden soll. Das erfindungsgemäße Dampf- und Kälteerzeugungssystem zeichnet sich in weiterer Ausgestaltung daher auch dadurch aus, dass der mindestens eine Dampfkompessor eine mehrstufige Kompression des Dampfes, insbesondere mit Zwischenkühlung, vorzugsweise mit Einspritzkühlung, aufweist. Eine besonders günstige und vorteilhaft Weiterentwicklung der Erfindung besteht zudem darin, dass der Verdichter oder Kompressor des Kältemittelkreislaufs, der Verdichter oder Kompressor des Wärmeträgerfluidkreislaufs und weitere rotierende Komponenten umfassende Vorrichtungen, Einrichtungen, Bauteile oder Elemente, die in den Kältemittelkreislauf der Kompressionskältemaschine und den Wärmeträgerfluidkreislauf der Hochtemperaturwärmepumpe eingebunden sind, sowie zumindest ein Teil der den Dampfdruck des erzeugten Wasserdampfes erhöhenden Kompressoren auf einem Getriebe angeordnet sind, wobei es vorteilhaft ist, dieses Getriebe als Bull-Gear-Getriebe oder Großradgetriebe auszubilden. Die Erfindung zeichnet sich daher weiterhin dadurch aus, dass der erste Verdichter oder erste Kompressor des Kältemittelkreislaufs der Kompressionskältemaschine, der zweite Verdichter oder zweite Kompressor des Wärmeträgerfluidkreislaufs der Hochtemperaturwärmepumpe, ein Expander oder Schraubenexpander oder eine Entspannungsturbine des Wärmeträgerfluidkreislaufs der Hochtemperaturwärmepumpe und/oder der oder die oder mindestens ein Teil der den Dampfdruck des erzeugten Dampfes erhöhende(n) Kompressor(en) und auf einem Getriebe angeordnet sind, wobei es dann schließlich zudem vorteilhaft ist, dass das Getriebe als Bull-Gear-Getriebe oder Großradgetriebe ausgebildet ist und vorzugsweise von einem einzigen Motor angetrieben wird. Durch die Ausbildung der verschiedenen Kompressoren, Verdichter, Expander, Entspannungsturbinen oder ähnlichen Elementen auf einem Getriebe ist es möglich, eine klein bauende Einheit für den Antrieb dieser Elemente vorzusehen. Diese Einheit kann dann zudem von lediglich einem Motor angetrieben sein. Wenn alle Antriebsräder, die jeweils einen Kompressor antreiben oder von einem oder dem Expander angetrieben werden, um ein Sonnenrad - etwa analog zu einem Planetengetriebe - angeordnet sind, wie dies bei einem Bull-Gear-Getriebe oder Großradgetriebe der

Fall ist, können damit die unterschiedlichen, jeweils an einem Antriebsrad oder Antriebsritzel angeordneten oder einem Antriebsrad oder Antriebsritzel zugeordneten Elemente oder Komponenten (Verdichter oder Kompressoren des Wärmeträgerfluidkreislaufs, Verdichter oder Kompressoren des Kältemittelkreislaufs, der Expander oder die Entspannungsturbine des Wärmeträgerfluidkreislaufs, der oder die den Dampfdruck des erzeugten Dampfes erhöhende (n) Kompressor(en)) mit unterschiedlichen Drehzahlen angetrieben oder betrieben werden, obgleich sie dann gegebenenfalls dennoch lediglich an einen Motor gekoppelt sind oder sein können.

**[0024]** Die Erfindung ist nachstehend anhand einer Zeichnung beispielhaft näher erläutert. Diese zeigt in

**Fig. 1** in schematischer Verfahrensdarstellung ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Dampf- und Kälteerzeugungssystems und in

**Fig. 2** das Dampf- und Kälteerzeugungssystem nach **Fig. 1** mit nachgeschalteter dreistufiger Dampfkompensation und Zuordnung detaillierter Zahlenwerte einer V (Volumen) T (Temperatur) -Berechnung.

**[0025]** Die **Fig. 1** zeigt ein insgesamt mit 1 bezeichnetes Dampf- und Kälteerzeugungssystem, das eine Kompressionskältemaschine 2 und eine Hochtemperaturwärmepumpe 3 umfasst. Die Kompressionskältemaschine 2 umfasst einen Kältemittelkreislauf 4, in welchem Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) als Kältemittel in Pfeilrichtung 5 zirkuliert. In dem Kältemittelkreislauf 4 sind ein Wärmeübertrager 6, der als Wärmetauscher und Verdampfer ausgebildet ist, ein erster Kompressor oder erster Verdichter 7, ein als Kondensator für das im Kältemittelkreislauf 4 zirkulierende Kältemittel Ammoniak ausgebildeter Teil 8a einer Wärmeübertragervorrichtung 8 oder Wärmeübertragereinrichtung, ein als Kühler für das zirkulierende Kältemittel wirkender Wärmetauscher 9 und eine Drossel 10 oder ein Expansionsventil angeordnet und eingebunden. In dem Kältemittelkreislauf 4 wird das Kältemittel Ammoniak in dem Wärmeübertrager/Verdampfer 6 verdampft, in dem ersten Verdichter 7 komprimiert und dadurch auf eine höhere Temperatur gebracht. In dem als Kondensator ausgebildeten Teil 8a der Wärmeübertragervorrichtung 8 wird aus dem Kältemittel Wärmeenergie ausgekoppelt. In Strömungsrichtung wird das danach kältere, zirkulierende Kältemittel in dem Wärmetauscher/Kühler 9 weiter gekühlt und in der Drossel/dem Expansionsventil 10 auf den Druck entspannt und die Temperatur gekühlt, mit welcher das Kältemittel Ammoniak dann dem Wärmeübertrager/Verdampfer 6 zugeleitet wird. In dem Verdampfer 6 wird in das Kältemittel Wärmeenergie, im Ausführungsbeispiel Kälte, eingekoppelt, die aus einem dem Wärmeübertrager/Verdampfer 6 zuströmenden Kältefluid 11 ausgekoppelt wird. Das Kältefluid fließt vor-

zugsweise mit einer Temperatur unterhalb der Umgebungstemperatur, insbesondere einer Temperatur  $< 0^\circ$ , im Ausführungsbeispiel mit einer Temperatur von  $-16^\circ\text{C}$ , dem Wärmeübertrager/Verdampfer **6** zu. In dem Wärmeübertrager/Verdampfer **6** wird aus dem Kältefluid **6** Wärmeenergie ausgekoppelt und in das im Kältemittelkreislauf **4** zirkulierende Kältemittel eingekoppelt. Dadurch wird dem zufließenden Kältefluid **11** Wärme entzogen und es entsteht nutzbare Kälteleistung in der Form, dass das Kältefluid **11** nach Durchströmen des Wärmeübertragers/Verdampfers **6** dann eine niedrigere Temperatur, im Ausführungsbeispiel eine Temperatur von  $-23^\circ\text{C}$  aufweist. Insgesamt weist die Kompressionskältemaschine **2** damit einen Kältemittelkreislauf **4** auf, in welchem in üblicher Weise in Abhängigkeit vom Druck bei verschiedenen Temperaturen das Kältemittel verdampft und wieder verflüssigt wird. Um flüssiges Kältemittel zu verdampfen erfolgt in der Drossel/dem Expansionsventil **10** eine Absenkung des Drucks und wird im Wärmeübertrager/Verdampfer **6** dem Kältemittel Wärme zugeführt. In dem geschlossenen Kältemittelkreislauf **4** wird das nach dem Wärmeübertrager/Verdampfer **6** dampfförmige Kältemittel mit dem ersten Verdichter **7** auf einen hohen Druck verdichtet, bevor das dampfförmige Kältemittel (Ammoniak) danach auf dem hohen Druckniveau in dem als Kondensator im Kältemittelkreislauf **4** angeordneten Teil der Wärmeübertragervorrichtung **8** oder Wärmeübertragungseinrichtung verflüssigt. Bei dieser Verflüssigung wird wiederum Wärme abgegeben und ausgekoppelt. Zudem ist im Kältemittelkreislauf **4** noch der als Kühler ausgebildete Wärmetauscher **9** vorgesehen, dem Kühlwasser **12** zugeführt wird, in das in dem Wärmetauscher/Kühler **9** aus dem Kältemittel ausgekoppelte Wärme in das zufließende Kühlwasser eingekoppelt wird, so dass das Kühlwasser den Wärmetauscher/Kühler **9** mit einer höheren Temperatur als auf der Zulaufseite wieder verlässt.

**[0026]** Über die Wärmeübertragervorrichtung **8** stehen der Kältemittelkreislauf **4** der Kompressionskältemaschine **2** und der Wärmeträgerfluidkreislauf **13** der Hochtemperaturwärmepumpe **3** in einer Wärmeenergie aus dem im Kältemittelkreislauf **4** der Kompressionskältemaschine **2** zirkulierenden Kältemittel auskoppelnden und in ein im Wärmeträgerfluidkreislauf **13** der Hochtemperaturwärmepumpe **3** zirkulierendes Wärmeträgerfluid einkoppelnden Wirkverbindung miteinander. Hierzu weist die Wärmeübertragervorrichtung **8** einen Teil **8b** auf, der im Wärmeträgerfluidkreislauf **13** angeordnet ist und mit welchem die Wärmeübertragervorrichtung **8** in den Wärmeträgerfluidkreislauf **13** wärmetechnisch und Wärmeenergie übertragend eingebunden ist. Die Wirkverbindung besteht darin, dass die in dem Teil **8a** im Kältemittelkreislauf **4** aus dem Kältemittel ausgekoppelte Wärmeenergie mittels eines zwischen den Teilen **8a**, **8b** zirkulierenden weiteren Fluids **14**, im Ausführungsbeispiel Wasser, an den in den Wärmeträger-

fluidkreislauf **13** eingebundenen Teil **8b** übertragen und dort in das im Wärmeträgerfluidkreislauf **13** zirkulierende Wärmeträgerfluid ausgekoppelt wird. In dem Wärmeträgerfluidkreislauf **13** zirkuliert in Pfeilrichtung **15** Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) als Wärmeträgerfluid. Dieses wird in dem Teil **8b** mittels der hier zugeführten und in das Wärmeträgerfluid ausgekoppelten Wärmeenergie erhitzt, so dass der Teil **8b** der Wärmeübertragervorrichtung **8** als Erhitzer für das Wärmeträgerfluid Kohlendioxid ausgebildet ist. In dem Wärmeträgerfluidkreislauf **13** der Hochtemperaturwärmepumpe **3** sind weiterhin ein zweiter Verdichter **16**, ein weiterer Wärmeübertrager **17** und ein Expander **18** angeordnet und eingebunden, wobei zwischen dem weiteren Wärmeübertrager **17** und dem Expander **18** ein weiterer Wärmetauscher **19** als Vorwärmer für die Vorwärmung von dem weiteren Wärmeübertrager **17** zugeführtem Wasser, Frischwasser oder Speisewasser angeordnet ist. Dieses zuströmende Wasser/Frischwasser/Speisewasser wird nach Durchströmen des weiteren Wärmetauschers **19** dem weiteren Wärmeübertrager **17** zugeführt und dort durch aus dem weiteren Wärmeübertrager **17** zufließendem Wärmeträgerfluid **13** ausgekoppelter Wärmeenergie zu einem Sattdampf mit einem Druck von 1 bar verdampft. Hierzu wird das Wärmeträgerfluid durch Einkoppeln von aus dem Kältemittel des Kältemittelkreislaufs **4** stammender Wärmeenergie in das Wärmeträgerfluid im Teil **8b** der Wärmeübertragervorrichtung **8** erhitzt, in dem zweiten Verdichter **16** auf einen höheren Druck komprimiert und damit einhergehend auf eine höhere Temperatur erwärmt, so dass in dem weiteren Wärmeübertrager **17** aus dem Wärmeträgerfluid Kohlendioxid ausreichend Wärme auskoppelbar und in das zufließende Wasser/Frischwasser/Speisewasser einkoppelbar ist, so dass dieses beim Durchströmen des weiteren Wärmeübertragers **17** verdampft. Hierbei wird das Wärmeträgerfluid gekühlt, durchfließt dann unter weiterer Kühlung den weiteren Wärmetauscher/Vorwärmer **19** und wird dann in dem Expander **18** auf einen niedrigeren Druck entspannt, wobei gleichzeitig die Temperatur des Wärmeträgerfluids abgesenkt wird. Insofern handelt es sich um einen üblichen Kreislauf einer Hochtemperaturwärmepumpe mit Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) als Wärmeträgerfluid. In analoger Weise ist aber natürlich auch eine Wärmehochtemperaturwärmepumpe mit einer Kompressionskältemaschine **2** über eine Wärmeübertragervorrichtung **8** oder Wärmeübertragungseinrichtung wärmetechnisch und Wärmeenergie übertragend koppelbar, in der Ammoniak als Wärmeträgerfluid zirkuliert. Der beim Durchströmen des weiteren Wärmeübertragers **17** gebildete Sattdampf mit einem Druck von 1 bar wird in einer in Strömungsrichtung des Dampfes nachgeschalteten Dampfkompressionsanlage **20** auf den zur Verwendung als Prozessdampf gewünschten Druck komprimiert. Im Ausführungsbeispiel nach der **Fig. 1** umfasst die Dampfkompressionsanlage **20** einen Dampfkompressor **21** mit einer zweistufigen

Kompression **21a**, **21b**. Zwischen den beiden Stufen **21a**, **21b** der zweistufigen Kompression sowie in Dampfströmungsrichtung nach der zweiten Kompression **21b** sind jeweils Einspritzkühler **22** angeordnet, mit welchen jeweils Kühlwasser dem Dampf zuführbar ist. Mittels der zweistufigen Dampfkomppressionsanlage **20** mit Zwischenkühlung **22** wird der zunächst erzeugte Sattdampf von 1 bar im Ausführungsbeispiel auf einen Prozessdampfdruck von 6 bar und eine Temperatur von 168° C verdichtet.

**[0027]** In nicht dargestellter Weise können der erste Verdichter **7**, der zweite Verdichter **16**, der Expander **18** und/oder die Kompressionsstufen **21a**, **21b**, **21c** auf einem Getriebe, insbesondere einem Bull-Gear-Getriebe oder Großradgetriebe angeordnet sein, wobei das Getriebe von einem einzigen Motor, insbesondere Elektromotor, angetrieben wird. Dadurch ist es möglich, das Dampf- und Kälteerzeugungssystem **1** durch Zufuhr ausschließlich von elektrischer Energie in Form von Strom, d. h. ohne Brennstoff, zur Erzeugung von Dampf und Kälte zu betreiben. Als weitere Energiequellen werden lediglich Fluidströme zugeführt, aus welchen Wärmeenergie auskoppelbar ist. Auch wenn der erste Verdichter **7** und der zweite Verdichter **16** sowie die Kompressionsstufen **21a-21c** nicht auf einem Getriebe angeordnet sind, sondern ihnen jeweils ein eigener Motor zugeordnet ist, können alle diese Komponenten mittels eines jeweils zugeordneten Elektromotors angetrieben werden. Hierbei ist es dann auch möglich, den Expander **18** oder eine an dessen Stelle ausgebildete Expansionsturbine für die (Rück)Gewinnung von Energie durch Antrieb eines Generators zu nutzen. Bei der Ausführungsform nach der **Fig. 2**, die sich von der nach der **Fig. 1** lediglich darin unterscheidet, dass der Dampfkompessor **21** dreistufig ausgebildet ist und die weitere Kompressionsstufe **21c** umfasst, sind die elektrischen Leitungen **23** eingezeichnet, welche entsprechenden Elektromotoren Strom zuführen.

**[0028]** Im Übrigen sind der **Fig. 2** die jeweiligen Fluidmengen oder Fluidmassenströme und Temperaturen bei Auslegung des Dampf- und Kälteerzeugungssystems **1** als 10 MW, - 20° C Kältekompressionsmaschine **2** mit verbundener 4,4 MW, 6 bar Dampf erzeugender Hochtemperaturwärmepumpe **2** mit nachgeschalteter Dampfkomppressionsanlage **20** dargestellt. Dem Dampf- und Kälteerzeugungssystem **1** fließt das Kältefluid **11** in einer Menge von ca. 2400 t/h mit einer Temperatur von -16° C zu. Dieses gibt in dem Wärmeübertrager/Verdampfer **6** Wärmeenergie an das im Kältemittelkreislauf **4** zirkulierende Kältemittel Ammoniak ab und verlässt den Wärmeübertrager/Verdampfer **6** mit einer Temperatur von -23° C. Das im Kältemittelkreislauf **4** zirkulierende Kältemittel weist nach Durchströmen des Wärmeübertragers/Verdampfers **6** eine Temperatur von ca. -26,5° C bei einem Druck von 1,35 bar auf und strömt mit einem Massenstrom von ca. 9,4 kg/s und

einem Volumen von 8,1 m<sup>3</sup>/s. Nach Durchströmen des ersten Verdichters **7** ist der Druck des Kältefluids auf 13,5 bar und eine Temperatur von ca. 198° C angestiegen. Der konstante Massenstrom beträgt weiterhin 9,4 kg/s, das Volumen ist hingegen auf ca. 1,6 m<sup>3</sup>/s abgesunken. Im weiteren Verlauf des Kältemittelkreislaufes **4** durchströmt das Kältemittel dann den Teil **8a** der Wärmeübertragervorrichtung **8** sowie den Wärmetauscher/Kühler **9** und ist dann auf eine Temperatur von ca. 34° C bei einem Druck von 13,5 bar und einem Volumenstrom von 0,02 m<sup>3</sup>/s abgesunken. Nach Durchströmen der Drossel/des Expansionsventils **10** sinkt die Temperatur des Kältefluids dann auf ca. -27° C bei einem Druck des Kältefluids von 1,4 bar ab. Der Volumenstrom beträgt dann ca. 1,6 m<sup>3</sup>/s, mit welchen Werten das Kältefluid dem Wärmeübertrager/Verdampfer **6** zugeführt wird. In dem Teil **8a** der Wärmeübertragervorrichtung **8** wird aus dem Kältefluid ausgekoppelte Wärmeenergie in einen mit einer Temperatur von 20° C und einem Massenstrom von 28,6 t/h als weiteres Fluid **14** zuströmenden Wasserstrom eingekoppelt. Als weiteres Fluid **14** führt dieser Wasserstrom die eingekoppelte Wärmeenergie dem Teil **8b** der Wärmeübertragervorrichtung **8** zu.

**[0029]** In dem Wärmetauscher/Kühler **9** wird mit einem Massenstrom von ca. 3037 t/h und mit einer Temperatur von 20° C zufließendes Kühlwasser **12** durch Einkoppeln von aus dem Kältefluid ausgekoppelter Wärmeenergie auf 23° C erwärmt.

**[0030]** In dem Teil **8b** der Wärmeübertragervorrichtung **8** gibt das zufließende weitere Fluid **14** Wärmeenergie an das im Wärmeträgerfluidkreislauf **13** der Hochtemperaturwärmepumpe **3** zirkulierende Wärmeträgerfluid ab und verlässt den Teil **8b** mit einer Temperatur von ca. 60° C.

**[0031]** In dem Wärmeträgerfluidkreislauf **13** zirkuliert das Wärmeträgerfluid Kohlendioxid mit einem Massenstrom von ca. 17,7 kg/s. Es verlässt den Teil **8b** der Wärmeübertragervorrichtung **8** mit einer Temperatur von 130° C bei einem Druck von ca. 84,8 bar mit einem Volumenstrom von ca. 0,14 m<sup>3</sup>/s und 0,008 m<sup>3</sup>/kg. Das Wärmeträgerfluid wird dann in dem zweiten Verdichter **16** auf einen Druck von ca. 200 bar verdichtet und dadurch auf eine Temperatur von ca. 230° C bei einem Volumenstrom von ca. 0,08 m<sup>3</sup>/s und 0,004 m<sup>3</sup>/kg verdichtet. Nach Durchströmen des weiteren Wärmeübertragers **17** und des weiteren Wärmetauschers/Vorwärmers **19** beträgt die Temperatur des Wärmeträgerfluids dann ca. 102° C bei einem Druck von ca. 199,8 bar und einem Volumenstrom von 0,036 m<sup>3</sup>/s und 0,002 m<sup>3</sup>/kg. Dieser Wärmeträgerfluidstrom wird dann in dem Expander **18** auf einen Druck von 85 bar und eine Temperatur von ca. 44° C bei einem Volumenstrom von 0,061 m<sup>3</sup>/s und 0,003 m<sup>3</sup>/kg entspannt. Dem weiteren Wärmetauscher/Vorwärmer **19** und dem weiteren Wärmeübertrager **17** strömt Wasser/Frischwasser/Spisewasser mit ei-



ner Temperatur von 20° C und einem Massenstrom von ca. 1,4 kg/s zu, welches Wasser dann in dem weiteren Wärmeübertrager **17** verdampft und nach Durchlaufen der Dampfkomppressionsanlage **20** zu Prozessdampf mit einem Druck von 6 bar und einer Temperatur von 168° C bei einem Massenstrom von ca. 5,9 t/h verarbeitet wird. Insgesamt lässt sich bei diesem Ausführungsbeispiel des Dampf- und Kälteerzeugungssystems **1** ein COP-Wert (Coefficient of Performance) oder eine Leistungszahl von 2,18 erzielen, wobei der COP-Wert oder die Leistungszahl der Kompressionskältemaschine **2** 2,16 und der COP-Wert oder die Leistungszahl der Hochtemperaturwärmepumpe **3** 2,51 beträgt.

**[0032]** In nicht näher dargestellter Art und Weise lässt sich in den Wärmeträgerfluidkreislauf **13** in Strömungsrichtung des Wärmeträgerfluids stromaufwärts des Teils **8b** der Wärmeübertragervorrichtung **8** ein zusätzlicher Wärmeübertrager oder Wärmetauscher **24** oder eine zusätzliche Wärmeenergieeinspeisevorrichtung anordnen und einbinden, mit welcher/welchem ein weiterer temperierter Fluidstrom zugeführt wird oder zuführbar ist, aus dem in das Wärmeträgerfluid des Wärmeträgerfluidkreislaufs **13** einzukoppelnde Wärmeenergie ausgekoppelt werden kann. Hierdurch ist die Hochtemperaturwärmepumpe auch noch an andere Wärmeenergie liefernde und als Wärmequelle nutzbare Fluidströme anschließbar, deren in der Regel Restenergie genutzt werden kann. Beispielsweise kann es sich hierbei um einen Anschluss an ein Fernwärmefluid, aber auch ein Fluid aus einem Industrieprozess oder einem Kraftwerksprozess handeln.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von Dampf und Kälte unter Zufuhr elektrischer Energie an eine Kompressionskältemaschine (2) und eine Hochtemperaturwärmepumpe (3), wobei ein im Kältemittelkreislauf (4) der Kompressionskältemaschine (2) zirkulierendes Kältemittel und ein im Wärmeträgerfluidkreislauf (13) der Hochtemperaturwärmepumpe (3) zirkulierendes Wärmeträgerfluid über eine in den Kältemittelkreislauf (4) und den Wärmeträgerfluidkreislauf (13) eingebundene Wärmeübertragervorrichtung (8) in einer Wärmeenergie aus dem Kältemittelkreislauf (4) auskoppelnden und in den Wärmeträgerfluidkreislauf (13) einkoppelnden Wirkverbindung miteinander stehen, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Kompressionskältemaschine (2) in mindestens einem im Kältemittelkreislauf (4) angeordneten Wärmeübertrager (6) aus einem, vorzugsweise mit einer Temperatur von < 0 °C, zuströmenden Kältefluid (11) Wärmeenergie, insbesondere Kälte, ausgekoppelt und in das im Kältemittelkreislauf (4) zirkulierende und dem mindestens einen Wärmeübertrager (6) zufließende Kältemittel eingekoppelt wird, das Kältemittel in dem Kältemittelkreislauf (4) anschließend komprimiert

und dadurch erwärmt wird sowie derart erwärmt in dem Kältemittelkreislauf (4) der Wärmeübertragervorrichtung (8) zugeführt wird, wo aus dem zufließenden Kältemittel Wärmeenergie ausgekoppelt und das Wärmeträgerfluid erwärmend in das in dem Wärmeträgerfluidkreislauf (13) der Hochtemperaturwärmepumpe (3) zirkulierende Wärmeträgerfluid eingekoppelt wird, wobei dieses erwärmte Wärmeträgerfluid anschließend in dem Wärmeträgerfluidkreislauf (13) durch Komprimierung derart erwärmt wird, dass der Wärmeenergieinhalt des komprimierten Wärmeträgerfluids ausreicht, um anschließend in mindestens einem weiteren, in dem Wärmeträgerfluidkreislauf (13) angeordneten Wärmeübertrager (17) mit aus diesem weiteren Wärmeübertrager (17) zugeführtem Wärmeträgerfluid ausgekoppelt und an diesen mindestens einen weiteren Wärmeübertrager (17) durchströmendes Wasser (25), insbesondere Speisewasser, eingekoppelt Wärmeenergie das Wasser (25), insbesondere Speisewasser, zu verdampfen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem Kältemittelkreislauf (4) der Kompressionskältemaschine (2) Ammoniak (NH<sub>3</sub>) als Kältemittel und in dem Wärmeträgerfluidkreislauf (13) der Hochtemperaturwärmepumpe (3) Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) als Wärmeträgerfluid () zirkulieren.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kältemittel in dem Kältemittelkreislauf (4) der Kompressionskältemaschine (2) und das Wärmeträgerfluid in dem Wärmeträgerfluidkreislauf (13) der Hochtemperaturwärmepumpe (3) jeweils mittels eines mit elektrischer Energie angetriebenen Verdichters (7, 16) oder Kompressors komprimiert werden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das komprimierte, insbesondere flüssige, Kältemittel im Kältemittelkreislauf (4) der Kompressionskältemaschine (2) nach Durchströmen der Wärmeübertragervorrichtung (8) bei Durchströmen einer im Kältemittelkreislauf (4) der Kompressionskältemaschine (2) angeordneten Drossel (10) oder eines Expansionsventils entspannt und vorzugsweise verdampft wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das komprimierte, insbesondere gasförmige, Wärmeträgerfluid im Wärmeträgerfluidkreislauf (13) der Hochtemperaturwärmepumpe (3) nach Durchströmen des mindestens einen weiteren Wärmeübertragers (17) bei Durchströmen eines im Wärmeträgerfluidkreislauf (13) angeordneten Expanders (18) oder Schraubenexpanders oder einer Entspannungsturbine oder einer Drossel oder eines Expansionsventils entspannt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Wärmeträgerfluid, insbesondere Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), vor seinem Eintritt in den mindestens einen weiteren Wärmeübertrager (17) auf einen Druck von  $\geq 190$  bar und eine Temperatur von  $\geq 190$  °C verdichtet wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mittels des mindestens einen weiteren Wärmeübertragers (17) erzeugte Dampf (26) mindestens einem den Dampfdruck erhöhenden Dampfkompessor (21) und/oder einem, insbesondere elektrisch betriebenen, Überhitzer zugeführt wird, der/die dem mindestens einen weiteren Wärmeübertrager (17) in Dampfströmungsrichtung nachgeschaltet ist/sind.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der in dem mindestens einen weiteren Wärmeübertrager (17) erzeugte Dampf (26) in dem Überhitzer auf einen Druck zwischen 1 und 5 bar gebracht wird und/oder dass der in dem mindestens einen weiteren Wärmeübertrager (17) erzeugte Dampf (26) in dem oder den den Dampfdruck erhöhenden Dampfkompessor(en) (21) auf einen Druck zwischen 2 und 20 bar gebracht wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die im Wärmeträgerfluidkreislauf (13) und im Kältemittelkreislauf (4) angeordneten Verdichter (7, 16), Kompressoren und Expander (18) oder Entspannungsturbinen und/oder mindestens ein Teil der den Dampfdruck des erzeugten Dampfes (26) erhöhenden Kompressoren (21; 21a - 21c) zumindest zum Teil in mechanischer Wirkverbindung mit einem Getriebe stehen und alle von diesem einen Getriebe angetrieben werden.

10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Getriebe als Bull-Gear-Getriebe oder Großradgetriebe ausgebildet ist und vorzugsweise von einem einzigen Motor angetrieben wird.

11. Dampf- und Kälteerzeugungssystem (1), insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1-10, umfassend eine Kompressionskältemaschine (2) und eine Hochtemperaturwärmepumpe (3), die über eine in den Kältemittelkreislauf (4) der Kompressionskältemaschine (2) und den Wärmeträgerfluidkreislauf (13) der Hochtemperaturwärmepumpe (3) eingebundene Wärmeübertragervorrichtung (8) in einer Wärmeenergie aus einem im Kältemittelkreislauf (4) der Kompressionskältemaschine (2) zirkulierenden Kältemittel auskoppelnden und in ein im Wärmeträgerfluidkreislauf (13) der Hochtemperaturwärmepumpe (3) zirkulierendes Wärmeträgerfluid einkoppelnden Wirkverbindung miteinander stehen, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Kompressionskältemaschine (2) in den

Kältemittelkreislauf (4) mindestens ein Wärmeübertrager (6) eingebunden ist, mittels welchem aus einem, vorzugsweise mit einer Temperatur von  $< 0$  °C, dem Wärmeübertrager (6) zuströmenden Kältefluid (11) Wärmeenergie, insbesondere Kälte, auskoppelbar und in das im Kältemittelkreislauf (4) zirkulierende und dem mindestens einen Wärmeübertrager (6) zufließende Kältemittel einkoppelbar ist, und ein erster Verdichter (7) oder erster Kompressor in den Kältemittelkreislauf (4) der Kompressionskältemaschine (2) eingebunden ist, mittels welchem das im Kältemittelkreislauf (4) zirkulierende Kältemittel komprimierbar und dadurch erwärmbar sowie derart erwärmt der Wärmeübertragervorrichtung (8) zuführbar ist, und wobei im Wärmeträgerfluidkreislauf (13) der Hochtemperaturwärmepumpe (3) ein zweiter Kompressor oder zweiter Verdichter (16) angeordnet ist, mittels welchem das im Wärmeträgerfluidkreislauf (13) zirkulierende und in der Wärmeübertragervorrichtung (8) mittels aus dem Kältemittel übertragener Wärmeenergie erhitze Wärmeträgerfluid auf einen solchen Druck verdichtbar und dadurch erwärmbar sowie derart erwärmt einem in den Wärmeträgerfluidkreislauf (13) eingebundenen, weiteren Wärmeübertrager (17) zuführbar ist, dass mittels der in dem weiteren Wärmeübertrager (17) aus dem Wärmeträgerfluid auskoppelbaren und an den weiteren Wärmeübertrager (17) durchströmendes Wasser (25), insbesondere Speisewasser, übertragbaren Wärmeenergie das Wasser (25), insbesondere Speisewasser, verdampfbar ist.

12. Dampf- und Kälteerzeugungssystem (1) nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Wärmeträgerfluid des Wärmeträgerfluidkreislaufs (13) der Hochtemperaturwärmepumpe (3) Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und das Kältemittel des Kältemittelkreislaufs (4) der Kompressionskältemaschine (2) Ammoniak (NH<sub>3</sub>) ist.

13. Dampf- und Kälteerzeugungssystem (1) nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass der in den Kältemittelkreislauf (4) der Kompressionskältemaschine (2) eingebundene Teil (8a) der Wärmeübertragervorrichtung (8) einen Kondensator für das zirkulierende Kältemittel ausbildet und der in den Wärmeträgerfluidkreislauf (13) der Hochtemperaturwärmepumpe (3) eingebundene Teil (8b) der Wärmeübertragervorrichtung (8) einen Erhitzer für das zirkulierende Wärmeträgerfluid ausbildet.

14. Dampf- und Kälteerzeugungssystem (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens eine in den Kältemittelkreislauf (4) der Kompressionskältemaschine (2) eingebundene Wärmeübertrager (6) einen Verdampfer für das zirkulierende Kältemittel ausbildet und der mindestens eine weitere, in den Wärmeträgerfluidkreislauf (13) der Hochtemperaturwärmepumpe (3)

eingebundene Wärmeübertrager (17) einen Gaskühler für das zirkulierende Wärmeträgerfluid ausbildet.

15. Dampf- und Kälteerzeugungssystem (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass der in den Wärmeträgerfluidkreislauf (13) der Hochtemperaturwärmepumpe (3) eingebundene, als Erhitzer ausgebildete Teil (8b) der Wärmeübertragervorrichtung (8) als Wärmetauscher, insbesondere als flüssig/Gas - Wärmetauscher, und/oder der mindestens eine weitere, in den Wärmeträgerfluidkreislauf (13) der Hochtemperaturwärmepumpe (3) eingebundene Wärmeübertrager (17) als Wärmetauscher, insbesondere als Verdampfer/Gaskühler, ausgebildet ist.

16. Dampf- und Kälteerzeugungssystem (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem mindestens einen weiteren, in den Wärmeträgerfluidkreislauf (13) der Hochtemperaturwärmepumpe (3) eingebundenen Wärmeübertrager (17) in Strömungsrichtung des erzeugten Dampfes (26) mindestens ein den Dampfdruck erhöhender Dampfkompressor (21) und/oder ein, insbesondere elektrisch betriebener, Überhitzer nachgeschaltet ist/sind.

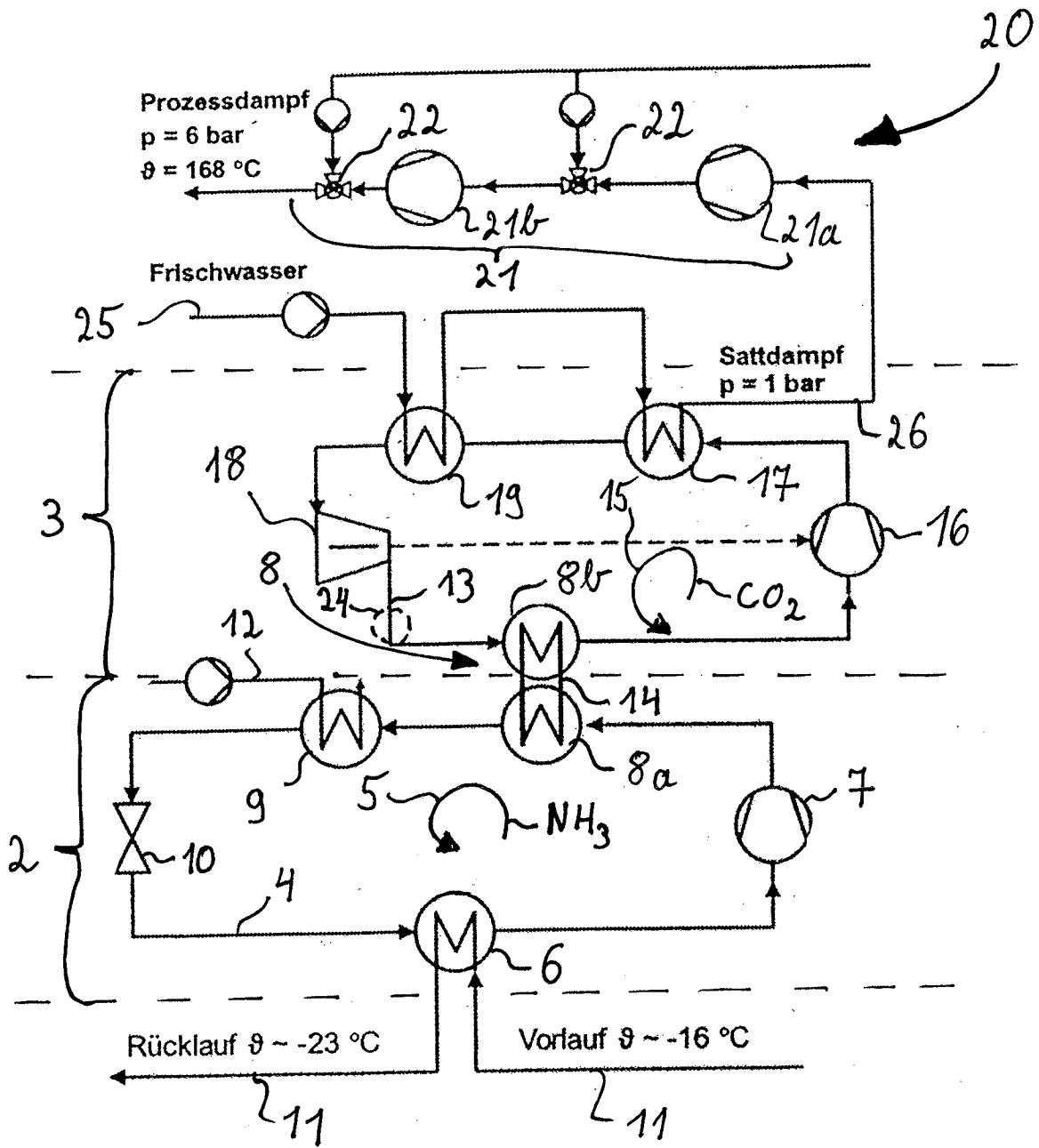
17. Dampf- und Kälteerzeugungssystem (1) nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens eine Dampfkompressor (21) eine mehrstufige Kompression (21a, 21b, 21c) des Dampfes (26), insbesondere mit Zwischenkühlung (22), vorzugsweise mit Einspritzkühlung, aufweist.

18. Dampf- und Kälteerzeugungssystem (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Verdichter (7) oder erste Kompressor des Kältemittelkreislaufs (4) der Kompressionskältemaschine (2), der zweite Verdichter (16) oder zweite Kompressor des Wärmeträgerfluidkreislaufs (13) der Hochtemperaturwärmepumpe (3), ein Expander (18) oder Schraubenexpander oder eine Entspannungsturbine des Wärmeträgerfluidkreislaufs (13) der Hochtemperaturwärmepumpe (3) und/oder der oder die oder mindestens ein Teil der den Dampfdruck des erzeugten Dampfes (26) erhöhende (n) Kompressor(en) (21; 21a, 21b, 21c) und auf einem Getriebe angeordnet sind.

19. Dampf- und Kälteerzeugungssystem (1) nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Getriebe als Bull-Gear-Getriebe oder Großradgetriebe ausgebildet ist und vorzugsweise von einem einzigen Motor angetrieben wird.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



1 ↗

Fig. 1

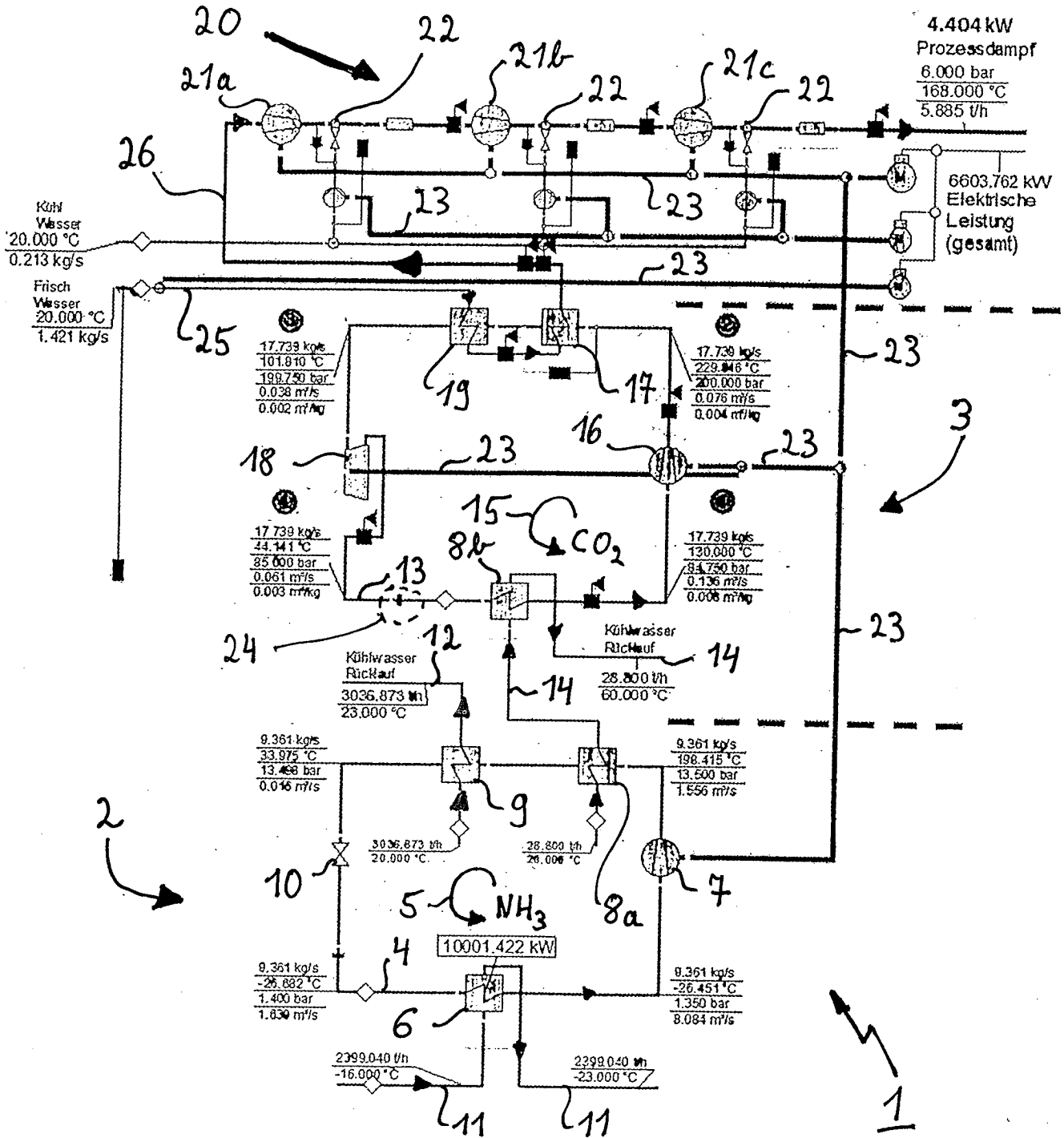


Fig. 2