

(19)



(11)

EP 4 160 109 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
05.04.2023 Patentblatt 2023/14

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F25B 1/10 (2006.01) F25B 9/00 (2006.01)
F25B 40/02 (2006.01) B04B 15/02 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **22196688.0**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F25B 1/10; F25B 9/008; F25B 40/02; B04B 15/02;
F25B 2400/13; F25B 2600/2509; F25B 2700/195;
F25B 2700/197; F25B 2700/21163;
F25B 2700/21174; F25B 2700/21175

(22) Anmeldetag: **20.09.2022**

(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
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Thermo Electron LED GmbH**
63505 Langenselbold (DE)

(72) Erfinder:
• **Peitzberg, Kai**
63505 Langenselbold (DE)
• **Langer, Daniel**
63505 Langenselbold (DE)

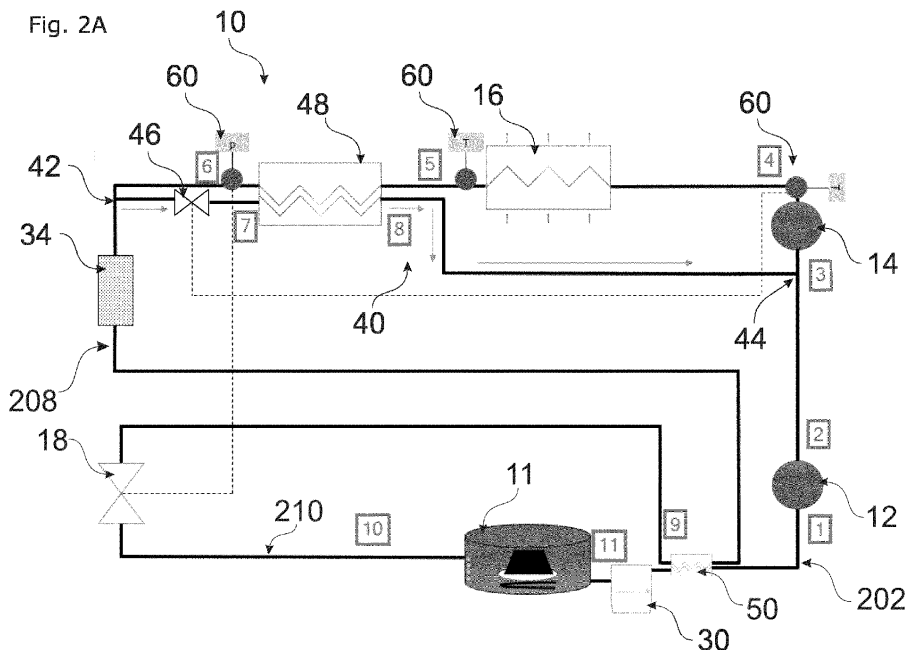
(30) Priorität: **30.09.2021 DE 102021125446**

(74) Vertreter: **Stellbrink & Partner Patentanwälte mbB**
Widenmayerstrasse 10
80538 München (DE)

(54) **KÜHLSYSTEM UND LABORGERÄT MIT KÜHLSYSTEM**

(57) Die Anmeldung betrifft ein Kühlsystem (10), wobei das Kühlsystem (10) aufweist: einen Verdampfer (11), einen ersten Kompressor (12), einen zweiten Kompressor (14), eine Kühlkomponente (16), eine Expansionseinrichtung (18) und ein Leitungssystem (20', 21'), das den Verdampfer (11), den ersten Kompressor (12), den zweiten Kompressor (14), die Kühlkomponente (14)

und die Expansionseinrichtung (18) miteinander verbindet. Das Kühlsystem (10) ein Kältemittel beinhaltet, wobei das Kältemittel Kohlendioxid ist. Der erste Kompressor (12) und der zweite Kompressor (14) sind in Reihe zueinander angeordnet. Die Anmeldung betrifft auch ein entsprechendes Laborgerät (300).



EP 4 160 109 A1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Kühlsystem, das zur Kühlung bzw. Temperaturregulierung einer Vorrichtung verwendet werden kann. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung ein Kühlsystem zum Einsatz in Laborgeräten. Ferner betrifft die vorliegende Erfindung Laborgeräte, welche unter anderem Zentrifugen, Inkubatoren und biologische Sicherheitsschränke umfassen.

[0002] Es ist bekannt Laborgeräte, beispielsweise Zentrifugen mittels eines Kühlsystems zu kühlen bzw. die Temperatur des Laborgerätes (beispielsweise der Zentrifuge) zu regulieren. Entsprechende Kühlsysteme weisen üblicherweise einen Verdampfer, einen Kompressor, eine Kühlkomponente und eine Expansionseinrichtung auf, die über ein Leitungssystem in einem Kreislauf miteinander verbunden sind. Ein derartiges Kühlsystem wird mit einem Kältemittel betrieben, das in dem Kreislaufsystem Zustandsänderungen erfährt und daher an einem Prozesspunkt (typischerweise am Verdampfer) Wärme aus der Umgebung abzieht und an einem anderen Prozesspunkt (typischerweise an der Kühlkomponente) Wärme an die Umgebung abgibt. An der Kühlkomponente wird dem im System befindlichen Kältemittel also Wärme entzogen, d.h., das Kältemittel wird gekühlt (beispielsweise über einen Ventilator).

[0003] Während sich die Kühlsysteme, insbesondere für Laborgeräte, im Stand der Technik in vielerlei Hinsicht bewährt haben, haben sie einige Unzulänglichkeiten bzw. Nachteile. Diese beziehen sich zum Beispiel auf die Sicherheit, die Umweltverträglichkeit, die Nutzerfreundlichkeit und den Anwendungsbereich des Kühlsystems.

[0004] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Unzulänglichkeiten bzw. Nachteile aus dem Stand der Technik zu überwinden oder zumindest abzuschwächen. Insbesondere ist es daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Kühlsystem, beispielsweise für ein Laborgerät, bereitzustellen, das zumindest hinsichtlich einem der Aspekte Sicherheit, Umweltverträglichkeit, Nutzerfreundlichkeit und Breite des Anwendungsbereichs verbessert ist. Vorzugsweise ist das Kühlsystem bezüglich mehrerer dieser Aspekte verbessert.

[0005] Diese Aufgaben werden durch das Kühlsystem der vorliegenden Erfindung gelöst.

[0006] Gemäß einem ersten Aspekt betrifft die Erfindung ein Kühlsystem, wobei das Kühlsystem einen Verdampfer, einen ersten Kompressor, einen zweiten Kompressor, eine Kühlkomponente, eine Expansionseinrichtung und ein Leitungssystem umfasst. Das Leitungssystem verbindet den Verdampfer, den ersten Kompressor, den zweiten Kompressor, die Kühlkomponente und die Expansionseinrichtung miteinander. Das Kühlsystem beinhaltet ein Kältemittel, wobei das Kältemittel Kohlenstoffdioxid ist. Der erste Kompressor und der zweite Kompressor sind in Reihe zueinander angeordnet.

[0007] Das Kühlsystem kann an dem Verdampfer Wärme aufnehmen und an der Kühlkomponente Wärme abgeben. Das Kühlsystem kann insbesondere einen geschlossenen Kältemittelkreislauf umfassen, sodass das Kältemittel ohne stoffgebundenen Austausch mit der Umgebungsatmosphäre und/oder einem sekundären Kältemittelkreislauf in dem Kühlsystem zirkuliert. Die Kühlkomponente kann ein Wärmetauscher sein, welcher ausgebildet ist, das Kältemittel thermisch an die Umgebungsatmosphäre zu koppeln, um eine effiziente Abkühlung des Kältemittels zu realisieren. Das Kältemittel kann in der Kühlkomponente gasförmig sein. Ferner kann die Kühlkomponente ein Verflüssiger sein, welcher ausgebildet ist, das Kältemittel in einen flüssigen Zustand zu überführen.

[0008] Mit der Verwendung von zwei Kompressoren ist das Kühlsystem mehrstufig ausgebildet. Dadurch kann der Vorteil erreicht werden, dass besonders hohe Drücke erreicht werden können, respektive ein hoher Druck möglichst energieeffizient erreicht werden kann. Das Kältemittel kann sequenziell von einem ersten Druck über zumindest einen Zwischendruck zu einem Enddruck verdichtet werden. Je Zwischenverdichtung kann ein weiterer Kompressor vorgesehen sein. Dadurch kann der Kompressionsvorgang auf mehrere Kompressoren verteilt werden.

[0009] Die Expansionseinrichtung kann insbesondere als ein Expansionsventil ausgebildet sein. Das Expansionsventil kann steuerbar ausgebildet sein, um eine steuerbare Druckregulierung, insbesondere eine Druckabsenkung zu realisieren. Durch das Expansionsventil kann das Kältemittel expandieren.

[0010] Die Kühlkomponente kann dem Kompressor und/oder dem weiteren Kompressor in Flussrichtung des Kältemittels nachgeschaltet angeordnet sein.

[0011] Das Kältemittel ist Kohlenstoffdioxid (im Weiteren auch als CO₂ oder R744 abgekürzt). R744 kann eine geringe Toxizität aufweisen. Daher ist CO₂ insbesondere eine Alternative zu Ammoniak. Bei Verwendung von R744 kann das Kühlsystem einen transkritischen Zyklus durchlaufen: Der kritische Punkt kann überschritten werden. Dadurch kann ein Druck und/oder eine Temperatur an dem Kompressor erhöht sein.

[0012] Mit CO₂ als Kältemittel kann gegenüber konventionellen Kältemittel ein Global Warming Potential (GWP) reduziert sein. Mit einer Beschränkung auf ein GWP unter 150 können mögliche Kältemittel brennbar sein (beispielsweise Kältemittel der Klassen A3 und A2L) oder CO₂, welches nicht brennbar ist, kann verwendet werden. Die Durch die Verwendung von CO₂ kann ein Betriebsdruck von bis zu 140 bar auftreten. Insbesondere können im Vergleich zur Verwendung von brennbaren Kältemitteln und/oder fluorierter und/oder halogenierter Fluorkohlenwasserstoffe ein erhöhter Betriebsdruck, beispielsweise Drücke größer als 60 bar auftreten.

[0013] Die Verwendung von CO₂ als Kältemittel stellt einen Unterschied zu verschiedenen Kühlsystemen aus dem Stand der Technik dar, bei denen als Kältemittel für derartige brennbare Kältemittel oder Kohlenwasserstoffe, bei denen mindestens ein Wasserstoff durch ein Halogen ersetzt wurde (beispielsweise so genannte fluorierete und halogenierte

Fluorkohlenwasserstoffe oder F-Gase), angewendet. Verglichen mit brennbaren Kältemitteln hat CO₂ den Vorteil einer erhöhten Betriebssicherheit und bezüglich der anderen Kältemittel hat CO₂ den Vorteil einer höheren Umweltverträglichkeit.

5 **[0014]** Bei der Verwendung von CO₂ als Kältemittel kann ein maximal erreichbarer Hochdruck einer einstufigen Verdichtung mittels eines einzelnen Kompressors begrenzt sein. Dieser Nachteil wird überwunden, indem die Erfindung eine zweistufige Kompression anwendet. Andererseits erlaubt die zweistufige Kompression auch die Verwendung von relativ einfach ausgebildeten Kompressoren.

10 **[0015]** In Bezug auf die Verwendung des Kühlsystems in Laborgeräten, insbesondere in Zentrifugen, kann eine zulässige Umgebungstemperatur für den Betrieb des Laborgeräts bis zu 40°C betragen. Bei dieser Temperatur kann CO₂ als Kältemedium in dem Kühlsystem bereits gasförmig sein. CO₂ kann mittels eines Wärmeaustauschs mit der Umgebungsluft abgekühlt werden. Hierbei kann das CO₂ gasförmig bleiben. Daher kann in dem Kühlsystem ein Hochdruck von zumindest 60 bar, bevorzugt von zumindest 70 bar, erreicht werden. Eine entsprechende Verdichtung kann mittels einer zweistufigen Verdichtung erreicht werden.

15 **[0016]** Insgesamt stellen Ausführungsformen der Erfindung also ein neues Kühlsystem für den effizienten Einsatz von CO₂ als Kältemittel bereit.

20 **[0017]** Das Kühlsystem kann ausgebildet sein, einen transkritischen Dampfkompansionszyklus auszuführen. In einem transkritischen Zyklus kann das Kältemittel zumindest zeitweise, respektive in Teilen des Zyklus oberhalb eines kritischen Punktes des primären Kältemittels sein. Insbesondere kann ein Teil des Zyklus bei Drücken über dem kritischen Punkt und ein anderer Teil des Zyklus unter dem kritischen Punkt ablaufen. Der kritische Punkt kann die Obergrenze für Wärmeübertragungsprozesse auf der Basis von Verdampfung oder Kondensation markieren. Bei Temperaturen und Drücken über diesem kritischen Punkt kann nicht mehr klar zwischen Flüssigkeit und Dampf unterschieden werden. Alle Kältemittel haben einen kritischen Punkt, für herkömmliche Kältemittel kann dieser Punkt in einem typischen Kältekreislauf jedoch stets unterschritten sein.

25 **[0018]** Der Kältekreislauf kann eine spezifische Zyklusleistungscharakteristik aufweisen, die einem bevorzugten Betriebszustandspunkt entspricht, an dem das Kühlsystem mit einem optimalen Zykluswirkungsgrad arbeitet. Das vorliegende Kühlsystem kann den Vorteil erreichen, dass bei einer Abweichung von diesem Betriebszustandspunkt entsprechend nachgeregelt werden kann, um einen optimalen Systemwirkungsgrad zu erreichen. Die Regelung umfasst hier insbesondere die Anpassung der lokalen Kältemitteltemperatur durch interne Wärmetransfers bzw. nebengeordnete Kältemittelflüsse. Ein interner Wärmetransfer kann definiert werden als eine Wärmeleitung von einem ersten Kühlsystemabschnitt zu einem zweiten Kühlsystemabschnitt mittels thermischer Kopplung dieser Kühlsystemabschnitte. Nebengeordnete Kältemittelflüsse können durch zusätzliche Leitungsabschnitte realisiert sein, welche Kältemittel von einem Hauptkreislauf abzweigen und dem Hauptkreislauf an anderer Stelle wieder zuführen. Dies kann einen stoffgebundenen Wärmetransfer realisieren.

30 **[0019]** Durch die Anordnung des ersten und des zweiten Kompressors in Reihe zueinander kann das auf einen Mitteldruck komprimierte Kältemittel dem zweiten Kompressor zugeleitet werden, welcher das Kältemittel von dem Mitteldruck auf den Hochdruck komprimiert. Entsprechend kann der erste Kompressor für eine erste Verdichtung von einem Niederdruck auf den Mitteldruck und der zweite Kompressor für eine Verdichtung von dem Mitteldruck auf den Hochdruck optimiert sein. Entsprechend kann jede Verdichtungsstufe mit erhöhter Effizienz realisiert sein. Vorteilhafterweise können der erste Kompressor und/oder der zweite Kompressor als vollhermetische Verdichter ausgebildet sein, welche einen Fluss des Kältemittels in die Umgebungsluft unterbinden.

35 **[0020]** Ausführungsformen der Erfindung können durch selektiven Wärmetransfer innerhalb des Kühlsystems eine Temperatur des Kältemediums in den verschiedenen Kühlsystembereichen auf einen jeweiligen optimalen Wert regeln. Ferner kann ein Druckhub durch eine zweistufige Verdichtung sowohl prozess- als auch kosteneffizient erreicht werden. Beispielsweise kann eine Heißgasendtemperatur reduziert werden. Ferner kann eine Regulierung der Kältemitteltemperatur ohne Verwendung eines fluidisch getrennten sekundären Kältemittelkreises erreicht werden. Hierzu kann beispielsweise ein Mischung von Kältemittel aus unterschiedlichen Prozesspunkten des Kältemittelkreises genutzt werden. Vorteilhafterweise kann so auf eine Temperaturregulierung des Kältemittels mittels externer Vorrichtungen verzichtet werden.

40 **[0021]** Die vorliegende Erfindung kann eine verbesserte Systemsicherheit erreichen, da eine Crashesicherheit des Laborgeräts erhöht werden kann. Insbesondere kann durch Reduzierung auf ein Einkreisystem, d.h. nur ein kältemittelführender Kältekreis ist vorgesehen, der Einsatz weiterer Kältemittel, insbesondere brennbarer oder giftiger Kältemittel (Propan - R290, Ammoniak - R717) vermieden werden. Ein nichtbrennbares Kältemittel kann eine Gerätesicherheit erhöhen: Der Rotor einer Zentrifuge kann eine Kesselwand und damit kältemittelführende Verdampferrohre durchschlagen. Im Vergleich zu brennbaren oder giftigen Kältemitteln, kann austretendes CO₂ hierbei als ein geringes Sicherheitsrisiko eingestuft werden.

45 **[0022]** CO₂ kann aufgrund von hohen Betriebsdrücken sowohl eine hohe Dichte bei der Verdampfung und als auch bei der Wärmeabfuhr eine hohe volumetrische Kälteleistung aufweisen. Dadurch kann insbesondere bei einer Integration des Kühlsystems in eine Zentrifuge der Vorteil eines verringerten Bauraums realisiert werden. Beispielsweise kann ein

Bauraumvolumen einer Kühlkomponente, respektive eines Verflüssigers, und/oder eines Verdampfers reduziert sein.

[0023] Vorteilhafterweise kann der Wirkungsgrad des Kühlsystems erhöht sein: Das Druckverhältnis von Niederdruck zu Hochdruck des Kältemittels kann beschränkt sein. Ferner kann mit der zweistufigen Verdichtung das Druckverhältnis vergrößert sein und so der mögliche Betriebsbereich insbesondere ohne externe Abfuhr von Wärme auf Basis eines Sekundärkreises erweitert werden. Der Betriebsbereich kann in Bezug auf einen spezifische Umgebungstemperaturbereich für den Betrieb des Laborgeräts bestimmt sein. Zudem kann das Kühlsystem in Bezug auf Kühlsysteme mit Sekundärkreisen (Verwendung von Kaskadenprozessen und/oder Wärmepumpen) eine reduzierte Gerätekomplexität und damit eine geringere Fehleranfälligkeit und/oder einen reduzierten Wartungsaufwand aufweisen.

[0024] Die Kühlkomponente kann einen Gaskühler und/oder einen Verflüssiger umfassen. Der Gaskühler kann das Kältemittel an einem Ausgang der Kühlkomponente gasförmig und mit verringerter Temperatur bereitstellen. Der Verflüssiger kann das Kältemittel an dem Ausgang der Kühlkomponente in einem flüssigen Zustand und mit verringerter Temperatur bereitstellen.

[0025] Das Kühlsystem kann ausgebildet sein, einen transkritischen Dampfkompessionszyklus auszuführen. Entsprechend kann beispielsweise in der zweiten Verdichtungsstufe mittels des zweiten Kompressors ein Druck und eine Temperatur erreicht werden, welche einen jeweiligen kritischen Wert überschreiten.

[0026] Die Kühlkomponente kann darüber hinaus auch ausgebildet sein, das Kältemittel von einer gasförmigen Phase in eine flüssige Phase zu überführen. Vorteilhafterweise ist die Kühlkomponente auch ausgebildet, Drücken und Temperaturen oberhalb des kritischen Punkts standzuhalten.

[0027] Das Kühlsystem kann ausgebildet sein, einen subkritischen Dampfkompessionszyklus auszuführen. Entsprechend kann ein Druck und eine Temperatur, insbesondere an dem zweiten Kompressor auch in einigen Betriebszuständen derart reguliert werden, dass der kritische Punkt von CO₂ nicht erreicht oder überschritten wird. Mit einer Auslegung für einen subkritischen Bereich können reduzierte Anforderungen in Bezug auf zulässige Drücke und/oder Temperaturen genutzt werden, um entsprechend Komponenten zu verwenden, welche den reduzierten Anforderungen genügen aber beispielsweise für einen transkritischen Betrieb ungeeignet wären. Hierdurch kann eine Kostenreduzierung erreicht werden.

[0028] Das Kühlsystem kann eine Kälteleistung von 10 W bis 100 kW, vorzugsweise von 500 W bis 10 kW aufweisen. Entsprechend kann der Kältekreislauf in einem Bereich von kleinen Mobilgeräten und Labortischgeräten bis hin zu industriellen Großanlagen skaliert werden.

[0029] Das Kühlsystem kann einen Hauptkreislauf aufweisen, welcher den Verdampfer, den ersten Kompressor, den zweiten Kompressor, die Kühlkomponente, die Expansionseinrichtung und zumindest einen Teil des Leitungssystems aufweist. Ferner kann das Kältemittel in dem Hauptkreislauf vorhanden sein. Das Kältemittel fließt mehrheitlich durch den Hauptkreislauf. Dies kann definiert werden als ein Fluss des Kältemittels, welcher mehr als 50 %Gew (Gewichtsprozent) des insgesamt in dem Kühlsystem vorhandenen Kältemittels umfasst. Es können nebengeordnete Leitungsabschnitte vorgesehen sein, welche einen entsprechend kleineren Teil des Kältemittels umfassen. Insbesondere kann das Kältemittel zur internen Temperaturregulierung über nebengeordnete Leitungsabschnitte geleitet werden.

[0030] Die Kühlkomponente kann prozessabwärts des zweiten Kompressors und prozessaufwärts der Expansionseinrichtung angeordnet sein. Entsprechend kann die Kühlkomponente eine Temperatur des Kältemittels reduzieren bevor das Kältemittel der Expansionseinrichtung zugeführt wird. Die Kühlkomponente kann als Wärmesenke ausgebildet sein und dem Kältemittel Wärme entziehen, welche an die Umgebungsatmosphäre oder ein externes Kühlsystem abgegeben werden kann.

[0031] Die Kühlkomponente kann dazu eingerichtet sein, das Kältemittel prozessabwärts des zweiten Kompressors zu kühlen. Damit kann das Kältemittel an einem Zykluspunkt mit maximaler Kältemitteltemperatur in die Kühlkomponente fließen. Die Kühlkomponente kann die Enthalpie durch Senken der Kältemitteltemperatur senken. Dieser Prozess kann isobar ablaufen. Vorteilhafterweise kann eine Abkühlung auf eine Temperatur unterhalb von 30°C, bevorzugterweise unter 31°C erreicht werden.

[0032] Das Kühlsystem kann derart eingerichtet sein, dass wenn das Kältemittel den ersten Kompressor mit einer Ausgangstemperatur verlässt, das Kältemittel dem zweiten Kompressor mit einer Eingangstemperatur zugeleitet wird, die geringer ist als die Ausgangstemperatur. Dadurch kann eine Maximaltemperatur des Kältemittels in dem zweiten Kompressor, respektive an dem Ausgang des zweiten Kompressors reduziert sein, sodass die thermische Belastung des zweiten Kompressors reduziert sein kann. Mit einer Temperaturreduzierung zwischen den Kompressoren kann hier auch isobar die Enthalpie gesenkt werden.

[0033] Die Eingangstemperatur und die Ausgangstemperatur können sich um eine Temperaturdifferenz unterscheiden, die größer ist als 1 K, vorzugsweise größer als 2 K, weiter vorzugsweise größer als 3 K. Beispielsweise kann die Temperaturdifferenz im Bereich von 3 K bis 8 K liegen. Zwischen den Kompressoren kann eine Wärmesenke vorgesehen sein, welche dem Kältemittel Wärme entzieht und von dem Kühlsystem abtransportiert. Hier kann beispielsweise ein Wärmetransfer an eine zentrale Kühlanlage und/oder ein Wärmetransfer an die Umgebungsatmosphäre realisiert sein.

[0034] Der erste Kompressor und/oder der zweite Kompressor können als Scroll-Verdichter, Hubverdichter, Schraubenverdichter, Rotationskolbenverdichter oder eine Kombination der Vorstehenden ausgebildet sein. Dadurch kann ein

für den jeweiligen Druckbereich optimierter Kompressortyp eingesetzt werden. Insbesondere kann als erste Kompressor ein Kompressortyp eingesetzt werden, welcher sich von dem zweiten Kompressor unterscheidet.

[0035] Das Kühlsystem kann einen Rückführabschnitt aufweisen, der an einer ersten Verbindungsstelle und an einer zweiten Verbindungsstelle fluidisch mit dem Hauptkreislauf verbunden ist. Die zweite Verbindungsstelle kann sich im Hauptkreislauf prozessabwärts des ersten Kompressors und prozessaufwärts des zweiten Kompressors befinden. Über den Rückführabschnitt kann insbesondere eine Effizienz des Kühlsystems erhöht werden. Ein Liefergrad des Kühlsystems kann erhöht werden, sodass eine Heißgastemperatur an dem Ausgang des zweiten Kompressors reduziert ist. Die Kälteleistung kann mit dem Liefergrad des Kühlsystems skalieren. Der Liefergrad kann ein volumetrischer Wirkungsgrad des Hubraums der Kompressoren, bzw. der tatsächlichen Fördermenge der Kompressoren sein. Hohe Heißgastemperaturen können die Haltbarkeit eines Maschinenöls zur Schmierung der Komponenten beeinflussen, insbesondere herabsetzen. Daher kann mit einer Temperaturreduzierung die Haltbarkeit der Komponenten verlängert werden.

[0036] Über den Rückführabschnitt kann Kältemittel vor einem Eingang des zweiten Kompressors in den Kältemittelstrom in dem Hauptkreislauf eingespritzt werden. Das eingespritzte Kältemittel kann eine verringerte Temperatur aufweisen, insbesondere eine niedrigere Temperatur als das Kältemittel des Hauptkreislaufs an der Einspritzstelle, hier insbesondere an der zweiten Verbindungsstelle. Damit kann durch Mischen des Kältemittels an der Einspritzstelle an dem zweiten Kompressor ein Mischstrom mit reduzierter Temperatur bereitgestellt sein.

[0037] Eine Wärmelast in einer Zentrifuge kann dynamisch sein, d.h. eine Verdampfungstemperatur kann während des Betriebs variieren. Hierbei können in Abhängigkeit von einem jeweiligen Betriebsmodus der Zentrifuge variierende Wärmelasten auftreten. Beispielsweise können unterschiedliche Rotoren verwendet werden, verschiedene Soll Drehzahlen und/oder Solltemperaturen eingestellt werden. Mit einer variablen Nacheinspritzung kann die Heißgastemperatur am Kompressorausgang, respektive am Ausgang des zweiten Kompressors reguliert werden, um den variablen Lasten am Verdampfer Rechnung zu tragen.

[0038] Das Kühlsystem kann derart eingerichtet sein, dass das Kältemittel im Rückführabschnitt an der zweiten Verbindungsstelle eine geringere spezifische Enthalpie hat als das Kältemittel im Hauptkreislauf unmittelbar prozessaufwärts der zweiten Verbindungsstelle. Insbesondere kann die Enthalpie in dem Rückführabschnitt im Wesentlichen isobar und/oder im Wesentlichen isotherm erhöht werden. Durch die Änderungen der Enthalpie kann der Dampfgehalt verändert werden. Hierbei kann der Dampfgehalt derart gewählt werden, dass die Bildung von Tröpfchen unterbunden ist, um den Kompressor zu schützen. Beispielsweise kann Dampf mit einem geringen Flüssigkeitsanteil eingeleitet werden. In anderen Worten kann die Einspritzmenge derart gewählt werden, dass der Enthalpiezufluss es ermöglicht, einen erhöhten Dampfgehalt zu erreichen.

[0039] Das Kühlsystem kann einen Wärmetauscher umfassen, der eine Primärseite aufweist, welche in dem Hauptkreislauf prozessabwärts der Kühlkomponente angeordnet ist. Der der Wärmetauscher kann ausgebildet sein, das Kältemittel im Hauptkreislauf zu kühlen.

[0040] Zur Verbesserung der Kühlleistung bei der Verwendung von CO₂ als Kältemittel kann eine zusätzliche Kühlung des Kältemittels realisiert sein. Vorteilhafterweise ist der Wärmetauscher ausgebildet dem Kältemittel prozessabwärts der Kühlkomponente, weiter bevorzugt an einem Ausgang der Kühlkomponente Wärme zu entziehen.

[0041] Der Wärmetauscher kann zur energetischen Optimierung des Kühlsystems genutzt werden. Das Kühlsystem kann in Geräten zur Analyse medizinischer Proben, insbesondere in Zentrifugen eingesetzt werden, welche bis zu einer Umgebungstemperatur von 40°C betrieben werden können. In Abhängigkeit von der Temperatur kann auch der optimale Hochdruck steigen. Der optimale Hochdruck kann von der Leistungszahl abhängig sein. Übersteigen die Temperatur- und Druckwerte einen kritischen Punkt des Kältemittels, kann der Prozess zur Wärmeabfuhr als Gaskühlung transkritisch ablaufen. Eine transkritische Gaskühlung kann isobar ablaufen. Eine Verflüssigung hingegen kann isobar und zu großen Teilen isotherm ablaufen. Aufgrund des erhöhten Drucks einer transkritischen Gaskühlung kann eine Antriebsleistung der Kompressoren erhöht sein.

[0042] Der Wärmetauscher kann ausgebildet sein, das Kältemittel auf eine vorbestimmte Temperatur unterhalb einer Ausgangstemperatur der Kühlkomponente an der ersten Verbindungsstelle und/oder in dem Leitungsabschnitt bereitzustellen. Der Leitungsabschnitt kann durch die erste Verbindungsstelle und einen Eingang der Expansionseinrichtung begrenzt sein. Der Wärmetauscher kann dem Kältemittel in dem Hauptkreislauf isobar Wärme entziehen. Das Kältemittel kann den Wärmetauscher in einem transkritischen, gasförmigen oder flüssigen Zustand durchlaufen.

[0043] Der Wärmetauscher kann prozessaufwärts der Expansionseinrichtung in dem Hauptkreislauf angeordnet sein. Dadurch kann der Wärmetauscher zur Abkühlung des Kältemittels vor dem Eintritt in die Expansionseinrichtung beitragen.

[0044] Der Wärmetauscher kann eine Sekundärseite umfassen, welche in dem Rückführabschnitt angeordnet ist. Ferner kann der Wärmetauscher ausgebildet sein, mittels der Primärseite Wärme von dem Kältemittel aufzunehmen und die aufgenommene Wärme mittels der Sekundärseite an das Kältemittel abzugeben, um das Kältemittel in dem Rückführabschnitt zu erwärmen. Mit der Erwärmung des Kältemittels in dem Rückführabschnitt kann ein Kältemittelstrom in Richtung der zweiten Verbindungsstelle dennoch eine geringere Temperatur aufweisen als ein Kältemittelstrom des Hauptkreislaufes, insbesondere als ein Kältemittelstrom von dem ersten Kompressor zu dem zweiten Kompressor in

dem Hauptkreislauf. Auch mit einem zwischen den Kompressoren und vor der zweiten Verbindungsstelle angeordneten weiteren Wärmetauscher kann die Temperatur in dem Hauptkreislauf an der zweiten Verbindungsstelle stets höher sein als die Temperatur eines Kältemittelflusses von dem Rückführabschnitt an die zweite Verbindungsstelle.

[0045] Eine Kältemitteltemperatur zwischen Ausgang der Primärseite des Wärmetauschers und Eingang der Sekundärseite des Wärmetauschers kann im Wesentlichen identisch sein. Hier können Wärmeverluste durch die Leitung und/oder weitere Komponenten auftreten, welche eine geringe Temperaturdifferenz erzeugen können. Die Sekundärseite kann die Enthalpie in dem Rückführabschnitt isobar und/oder isotherm erhöhen. Hierbei kann das Kältemittel in einer Nassdampfphase vorliegen. In dem Rückführabschnitt kann das Kältemittel an der zweiten Verbindungsstelle von der Nassdampfphase in eine gasförmige Phase überführt werden. Dies kann insbesondere durch Mischen an der Verbindungsstelle realisiert sein.

[0046] Die Sekundärseite kann im Rückführabschnitt prozessaufwärts der zweiten Verbindungsstelle angeordnet sein. Entsprechend kann ein partieller Kältemittelfluss von der ersten Verbindungsstelle durch die Sekundärseite zu der zweiten Verbindungsstelle fließen. Der Wärmetransfer des Wärmetauschers kann im Wesentlichen intern ablaufen, d.h. hier kann Wärme von einem Fluss in dem Hauptkreislauf in einen Fluss in dem Rückführabschnitt geleitet werden. Wärmefluss und Stofffluss können getrennt voneinander reguliert sein.

[0047] Der erste Kompressor kann ausgebildet sein, das Kältemittel von einem primären Druckbereich in einen sekundären Druckbereich zu verdichten, wobei der sekundäre Druckbereich in Bezug auf den primären Druckbereich höhere Drücke aufweist. Hierbei kann in 3 Druckstufen unterschieden werden: ein Niederdruck, welcher insbesondere prozessaufwärts des ersten Kompressors vorliegt, ein Mitteldruck, welcher insbesondere prozessabwärts des ersten Kompressors und prozessaufwärts des zweiten Kompressors vorliegt und ein Hochdruck, welcher insbesondere prozessabwärts des zweiten Kompressors vorliegt. Zwischen den Verdichtungsstufen kann sich die Temperatur des Kältemittels und insbesondere auch die Enthalpie ändern. Insbesondere kann mit dem ersten Kompressor ein Mitteldruck zur weiteren Verdichtung durch den zweiten Kompressor eingestellt werden. Zudem kann zwischen dem ersten Kompressor und dem zweiten Kompressor eine für den zweiten Kompressor optimale oder zumindest eine hinreichend niedrige Kältemitteltemperatur eingestellt werden. Die Kältemitteltemperatur zwischen den Kompressoren kann mittels Mischung von Kältemittel über den Rückführabschnitt und/oder durch aktive Abkühlung mittels einer Wärmesenke realisiert sein.

[0048] Der zweite Kompressor kann ausgebildet sein, das Kältemittel von dem sekundären Druckbereich auf einen tertiären Druckbereich zu verdichten, wobei der tertiäre Druckbereich in Bezug auf den sekundären Druckbereich höhere Drücke aufweist. Hierbei kann eine Druckdifferenz, die der erste Kompressor erreicht, kleiner sein als eine Druckdifferenz, die der zweite Kompressor erreicht. Insbesondere kann der zweite Kompressor für einen höheren Eingangsdruck ausgelegt sein als der erste Kompressor. Entsprechend können für die vorgesehenen Druckbereiche passende Kompressorleistungen, respektive passende Kompressortypen vorgesehen sein.

[0049] Das Kühlsystem kann eine weitere Expansionseinrichtung umfassen, welche in dem Rückführabschnitt angeordnet und ausgebildet ist, das Kältemittel von dem tertiären Druckbereich in den sekundären Druckbereich abzusenken. Die Druckabsenkung kann isenthalpisch realisiert sein, sodass sowohl ein Druck als auch eine Temperatur des Kältemittels in dem Rückführabschnitt abgesenkt werden können. Mit der Temperaturabsenkung kann das Kältemittel von einer gasförmigen und/oder transkritischen Phase in eine Nassdampfphase überführt werden.

[0050] Die weitere Expansionseinrichtung kann prozessaufwärts der Sekundärseite des Wärmetauschers und/oder prozessabwärts der ersten Verbindungsstelle angeordnet sein. Die Sekundärseite kann mit der Primärseite wärmeleitend gekoppelt sein. Die weitere Expansionseinrichtung kann ausgebildet sein, einen Kältemittelfluss in den Rückführabschnitt zu steuern. Insbesondere kann die weitere Expansionseinrichtung als ein Ventil ausgebildet sein, wobei ein Volumenfluss durch die Expansionseinrichtung mit einem Öffnungsgrad der Expansionseinrichtung skaliert. Ein Öffnungsgrad der Expansionseinrichtung kann vorteilhafterweise druck- und/oder temperaturabhängig gesteuert werden. Insbesondere kann mittels der Expansionseinrichtung ein Kältemittelfluss durch den Rückführabschnitt in Abhängigkeit von einer Temperatur an dem Ausgang des zweiten Kompressors, respektive einer Heißgastemperatur, gesteuert werden. Eine Eingangstemperatur an dem Eingang des zweiten Kompressors kann mit dem Kältemittelfluss durch den Rückführabschnitt skalieren. Das Kältemittel in dem Rückführabschnitt kann eine geringere Temperatur als das Kältemittel zwischen den Kompressoren im Hauptkreislauf aufweisen. Demnach kann eine Temperatur an dem Eingang des zweiten Kompressors und damit auch indirekt die Temperatur am Ausgang des zweiten Kompressors über den Kältemittelstrom durch den Rückführabschnitt reguliert werden.

[0051] Das Kühlsystem kann einen weiteren Wärmetauscher umfassen, der eine Primärseite aufweist, welche in dem Hauptkreislauf prozessaufwärts der Expansionseinrichtung und/oder prozessabwärts der Kühlkomponente angeordnet ist. Dadurch kann der Vorteil erreicht werden, dass dem Kältemittel vor der Expansionseinrichtung, aber insbesondere auch vor dem Verdampfer weitere Wärme entzogen werden kann, sodass eine Kühlleistung an dem Verdampfer erhöht sein kann. Primärseitig kann die Abkühlung isobar erfolgen, sodass die Enthalpie gesenkt werden kann. Sekundärseitig kann die Erwärmung ebenso isobar erfolgen, sodass die Enthalpie erhöht werden kann. Der weitere Wärmetauscher kann von dem Kältemittel in einer Flüssigphase durchströmt werden.

[0052] Durch den Einsatz der Nacheinspritzung und des Wärmetauschers kann eine Leistungszahl erhöht sein. Weiter kann durch den weiteren Wärmetauscher das Kältemittel prozessaufwärts der Expansionseinrichtung weiter unterkühlt werden. Dadurch kann eine größere spezifische Verdampfungsleistung erreicht werden, sodass ein Massenstrom des Kältemittels und daraus resultierend Kompressordrehzahlen des ersten Kompressors und/oder des zweiten Kompressors reduziert sein können. Mit einer Nacheinspritzung über den Rückführabschnitt kann eine Verdampfungsleistung angepasst, insbesondere erhöht werden.

[0053] Der weitere Wärmetauscher kann prozessabwärts der Primärseite des Wärmetauschers in dem Hauptkreislauf angeordnet sein. Entsprechend kann das Kältemittel in dem Hauptkreislauf durch den Wärmetauscher und den weiteren Wärmetauscher abgekühlt werden.

[0054] Der weitere Wärmetauscher kann eine Sekundärseite umfassen, welche prozessabwärts des Verdampfers und/oder prozessaufwärts des ersten Kompressors in dem Hauptkreislauf angeordnet ist. Ferner kann der weitere Wärmetauscher ausgebildet sein, mittels der Primärseite Wärme von dem Kältemittel aufzunehmen und die aufgenommene Wärme mittels der Sekundärseite an das Kältemittel abzugeben, um das Kältemittel prozessaufwärts des ersten Kompressors zu erwärmen. Entsprechend kann der weitere Wärmetauscher einen stofflich entkoppelten, internen Wärmetransfer zwischen unterschiedlichen Abschnitten des Hauptkreislaufs realisieren. Das Erwärmen des Kältemittels vor dem Eingang des ersten Kompressors kann die Temperatur des Kältemittels erhöhen, wodurch insbesondere eine Nassdampf-Phase des Kältemittels überwunden werden kann und das Kältemittel in der gasförmigen Phase an dem Eingang des ersten Kompressors vorliegt. Das Kältemittel kann prozessabwärts des Verdampfers zumindest teilweise bereits in der gasförmigen Phase vorliegen. Allerdings kann zumindest ein Teil des Kältemittels noch in der flüssigen Phase vorliegen. Beispielsweise können Tröpfchen des Kältemittels in einem gasförmigen Fluss des Kältemittels suspendiert sein. Diese Kältemitteltröpfchen können den Kompressor schädigen. Mit einer zusätzlichen Erwärmung durch den weiteren Wärmetauscher können die Volumina der Kältemitteltröpfchen reduziert werden, oder die Tröpfchen zumindest teilweise in dem Kältemittelfluss verdampft werden. Vorteilhafterweise kann damit der erste Kompressor vor Flüssigkeitsschlägen geschützt werden und/oder die Abnutzung durch eine reduzierte Anzahl und/oder eine reduzierte Größe der Kältemitteltröpfchen verringert werden.

[0055] Für den Wärmetransfer zwischen der Primärseite und der Sekundärseite des weiteren Wärmetauschers kann vorteilhafterweise keine zusätzliche Energie notwendig sein. Entsprechend kann durch diesen Wärmetransfer eine Effizienz und/oder eine Haltbarkeit des Kühlsystems erhöht sein. Der weitere Wärmetauscher kann einen Druckverlust bewirken, welcher von dem Kompressor überwunden, bzw. ausgeglichen werden kann.

[0056] Der weitere Wärmetauscher kann ein Leitung-zu-Leitung Wärmetauscher sein. Vorteilhafterweise ist dadurch die Primärseite wärmeleitend aber nicht stoffübertragend mit der Sekundärseite gekoppelt. Beispielsweise kann die Primärseite über ein wärmeleitendes Material mit der Sekundärseite gekoppelt sein. Insbesondere kann hier eine stoffschlüssige Metallverbindung realisiert sein.

[0057] Das Kühlsystem kann einen Flüssigkeitsabscheider umfassen, welcher ausgebildet ist, das Kältemittel in einem flüssigen Zustand abzuscheiden. Ferner kann der Flüssigkeitsabscheider in dem Hauptkreislauf prozessabwärts des Verdampfers und/oder prozessaufwärts des ersten Kompressors angeordnet sein. In dem Verdampfer kann das Kältemittel in einer Nass-Dampfphase vorliegen, sodass Wärme isobar und isotherm von dem Kältemittel aufgenommen werden kann und eine Enthalpiezunahme realisiert ist. Diese Wärmeaufnahme kann genutzt werden, um ein Laborgerät, im speziellen eine Rotorkammer einer Zentrifuge, zu kühlen. Am Ausgang des Verdampfers kann das Kältemittel an einem Phasenübergang zwischen Nassdampfphase und Flüssigphase vorliegen. Hierbei kann der Flüssigkeitssammler die noch flüssigen Teile des Kältemittels sammeln, um dem ersten Kompressor einen rein gasförmigen Kältemittelfluss bereitzustellen.

[0058] Der Flüssigkeitsabscheider kann prozessaufwärts der Sekundärseite des weiteren Wärmetauschers angeordnet sein. Dadurch kann die Sekundärseite des weiteren Wärmetauschers eine Art Kältemitteltröpfchenfilter bilden, der Kältemitteltröpfchen entfernt, welche den Flüssigkeitsabscheider passieren. Mit dem Flüssigkeitsabscheider kann eine Heizleistung des weiteren Wärmetauschers genutzt werden, um eine reine Gasphase des Kältemittels bereitzustellen. Insbesondere kann der weitere Wärmetauscher derart ausgelegt sein, dass eine Heizleistung ausreichend ist, um Kältemitteltröpfchen zu entfernen. Jedoch kann die Heizleistung kleiner sein, als eine Leistung, die den gesamten Kältemittelfluss ohne Flüssigkeitsabscheider in die Gasphase überführen kann. Entsprechend kann durch die Kombination von Flüssigkeitsabscheider und weiterem Wärmetauscher das Kältemittel effizient gasförmig an dem ersten Kompressor bereitgestellt sein. Ferner kann über die Sekundärseite des weiteren Wärmetauschers die Enthalpie isobar erhöht werden, sodass sich das Kältemittel von dem Phasenübergang zwischen Nassdampfphase und Gasphase entfernt.

[0059] Das Kühlsystem kann einen Filtertrockner umfassen, welcher ausgebildet sein kann, Wasseranteile aus dem Kältemittel zu entfernen. Vorteilhafterweise können die Wasseranteile abgeschieden und/oder gefiltert werden. Der Filtertrockner kann prozessabwärts der Kühlkomponente und/oder prozessaufwärts der Expansionseinrichtung in dem Hauptkreislauf angeordnet sein. Vorteilhafterweise kann der Filtertrockner ausgebildet sein, im Kältemittel vorhandene Feuchtigkeit und/oder Säure zu binden. Vorteilhafterweise kann der Filtertrockner in dem Kältemittel vorhandenen Schmutz und/oder andere Fremdkörper filtern. Es kann der Vorteil erreicht werden, dass eine Versauerung eines Kom-

ponentenöls unterbunden werden und dadurch die Kompressoren geschützt werden kann.

[0060] Der Filtertrockner kann zwischen der Primärseite des Wärmetauschers und der Primärseite des weiteren Wärmetauschers in dem Hauptkreislauf angeordnet sein. Vorteilhafterweise kann das Kältemittel den Filtertrockner in einer Flüssigphase durchlaufen. Mit einer Filterung, insbesondere vor der Expansionseinrichtung, kann die Bildung von gefrorenem Wasser in dem Leitungssystem vermieden werden, sodass ein Durchfluss des Kältemittels nicht behindert wird. Ferner kann auch der erste Kompressor vor Schäden durch Eispartikel geschützt werden.

[0061] Der Filtertrockner kann prozessabwärts oder aufwärts der ersten Verbindungsstelle angeordnet sein. Damit vor einer Filterung ein Teilfluss des Kältemittels in den Rückführabschnitt eingespeist werden.

[0062] Das Kühlsystem kann einen Mitteldruckbehälter umfassen, welcher ausgebildet sein kann, das Kältemittel in eine Flüssigphase und eine Gasphase zu teilen, wobei der Mitteldruckbehälter prozessabwärts der Kühlkomponente und/oder prozessaufwärts der Expansionseinrichtung in dem Hauptkreislauf angeordnet sein kann. Der Mitteldruckbehälter kann ein Flüssigkeitsabscheider sein, in dem ein Druck innerhalb des sekundären Druckbereichs, respektive ein Mitteldruck, herrscht. Der Flüssigkeitsabscheider scheidet im Mitteldruck die Flüssigphase und die Gasphase des Kältemittels ab. Die Flüssigkeit kann als Vorlage für die Expansionseinrichtung genutzt werden, sodass ein Kältemittelfluss von dem Flüssigkeitsabscheider zu der Expansionseinrichtung in der Flüssigphase fließt. Die Gasphase des Kältemittels kann über den Rückführabschnitt dem zweiten Kompressor zugeführt werden. Vorteilhafterweise kann der zweite Kompressor ausgebildet sein, das Kältemittel in der Gasphase von dem Mitteldruckbehälter abzusaugen. Dieses rückgeführte Kältemittelgas kann mit Kältemittelgas aus dem ersten Kompressor vermischt werden. In einer Ausführungsform kann das rückgeführte Kältemittelgas in dem primären Druckbereich mit dem Kältemittel in dem Hauptkreislauf vermischt werden. Ob das Kältemittel in dem sekundären Druckbereich oder in dem primären Druckbereich gemischt wird, kann durch eine Bauart des ersten Kompressors bestimmt sein.

[0063] Der Mitteldruckbehälter kann als ein Drei-Wege-Sammler ausgebildet sein und folgende Komponenten umfassen:

- einen Behältereingang, welcher ausgebildet ist Kältemittel in den Mitteldruckbehälter zu leiten und prozessabwärts der Kühlkomponente angeordnet ist;
- einen ersten Behälteraussgang, welcher ausgebildet ist, flüssiges Kältemittel aus dem Mitteldruckbehälter in den Leitungsabschnitt 208 zu leiten und prozessaufwärts des Verdampfers und/oder prozessaufwärts der Expansionseinrichtung angeordnet ist; und
- einen zweiten Behälteraussgang, welcher den Mitteldruckbehälter an den Rückführabschnitt koppelt und ausgebildet ist, gasförmiges Kältemittel in den Rückführabschnitt zu leiten.

[0064] Der Behältereingang kann im Hauptkreislauf prozessabwärts des Wärmetauschers und/oder prozessabwärts des Filtertrockners angeordnet sein. Entsprechend kann dem Mitteldruckbehälter bereits gefiltertes und/oder abgekühltes Kältemittel bereitgestellt sein.

[0065] Die erste Verbindungsstelle kann durch den Mitteldruckbehälter gebildet sein. Über den zweiten Behälteraussgang kann Kältemittel in der Gasphase in den Rückführabschnitt eingekoppelt werden. Mit der Phasentrennung kann in den Rückführabschnitt das Kältemittel in der Gasphase eingeleitet werden und dem Expansionsventil kann entsprechend Kältemittel in der Flüssigphase zugeleitet werden. Das Kältemittel in der Gasphase kann gegenüber dem Kältemittel in der Flüssigphase eine erhöhte Enthalpie aufweisen. Der erste Wärmetauscher kann einen zusätzlichen Wärmeeintrag in das Kältemittel bewirken, um das Kältemittel von einem Phasenübergang von Nassdampf zu gasförmig zu einer höheren Temperatur weiter in die Gasphase zu bringen. Dadurch kann insbesondere der Flüssiganteil des Kältemittels vor dem Einspritzen in den Hauptkreislauf prozessaufwärts des zweiten Kompressors reduziert sein.

[0066] Der Mitteldruckbehälter kann ausgebildet sein, das Kältemittel an dem ersten Behälteraussgang vorteilhafterweise in der Flüssigphase, zumindest an einem Phasenübergang der Flüssigphase zu der Nassdampfphase bereitzustellen. Über den Mitteldruckbehälter kann die Enthalpie soweit reduziert sein, dass das Kältemittel von der Nassdampfphase in die Flüssigphase übergeht. Diese Enthalpiederuzierung kann isotherm realisiert sein.

[0067] Das Kühlsystem kann eine Hochdruckregelungsvorrichtung umfassen, welche ausgebildet sein kann, den Druck des Kältemittels zu reduzieren, insbesondere den Druck von dem tertiären Druckbereich in den sekundären Druckbereich zu reduzieren oder den Druck innerhalb des tertiären Druckbereichs zu reduzieren. Bei einem Fluss durch die Hochdruckregelungsvorrichtung kann sich insbesondere die Temperatur des Kältemittels ändern. Die Druckregelung kann isenthalpisch bewirkt werden. Hierbei kann das Kältemittel von der Flüssigphase in die Nassdampfphase überführt werden. Prozessabwärts der Hochdruckregelungsvorrichtung kann das Kühlsystem ein Enthalpie-, Druck- und/oder Temperaturminimum aufweisen. Entsprechend kann eine Wärmefreisetzung an dem Verdampfer maximiert sein.

[0068] Die Hochdruckregelungsvorrichtung kann prozessaufwärts des Mitteldruckbehälters, und/oder prozessabwärts der Kühlkomponente, prozessabwärts des ersten Wärmetauschers und/oder prozessabwärts des Filtertrockners in dem Hauptkreislauf angeordnet sein. Insbesondere kann die Hochdruckregelungsvorrichtung dem Behältereingang des Mitteldruckbehälters angeordnet sein, um einen Eingangsdruck des Mitteldruckbehälters zu reduzieren. Vorteilhafterweise

ist die Hochdruckregelungsvorrichtung ausgebildet, einen Phasenübergang des Kältemittels von der Flüssigphase oder einer Transkritischen Phase in die Nassdampfphase zu bewirken. Die Druckänderung kann isenthalpisch realisiert sein.

[0069] Die Hochdruckregelungsvorrichtung kann auf Basis eines Drucks regelbar sein, insbesondere auf Basis eines Drucks des Kältemittels prozessabwärts der Kühlkomponente. Alternativ kann die Druckreduzierung mittels der Hochdruckregelungsvorrichtung auch auf Basis einer Temperatur, insbesondere einer Temperatur an einem Ausgang des ersten Wärmetauschers geregelt werden. Vorteilhafterweise kann ein Druck an dem Ausgang des ersten Wärmetauschers zur Regelung der Hochdruckregelungsvorrichtung genutzt werden.

[0070] Die Hochdruckregelungsvorrichtung kann auf Basis eines Drucks prozessabwärts des ersten Wärmetauschers, auf Basis eines Drucks prozessaufwärts der Hochdruckregelungsvorrichtung und/oder auf Basis eines Drucks prozessaufwärts des Filtertrockners regelbar sein. Vorteilhafterweise kann die Hochdruckregelungsvorrichtung auf Basis eines Maximaldrucks des Kältemittels geregelt werden.

[0071] Die Expansionseinrichtung kann eine Überhitzungsregelungsvorrichtung sein und ausgebildet sein, eine Überhitzung des Kältemittels an dem Verdampfer zu regeln. Dies kann den Vorteil erreichen, dass ein Niederdruckflüssigkeitsabscheider entfallen kann. Es kann also auf einen Flüssigkeitsabscheider in dem primären Druckbereich verzichtet werden. Zudem kann auch eine Erwärmung des Kältemittels prozessaufwärts des ersten Kompressors entfallen. Demnach kann mit einer Hochdruckregelungsvorrichtung und einem Mitteldruckbehälter der zweite Wärmetauscher entfallen. Vorteilhafterweise kann die Überhitzungsregelungsvorrichtung ausgebildet sein, eine Einspritztemperatur am Verdampfer derart zu regeln, dass diese der Sättigungstemperatur entspricht.

[0072] Die Expansionseinrichtung kann ausgebildet sein, einen Druck des Kältemittels zu regeln, insbesondere einen Druck des Kältemittels von dem sekundären Druckbereich in den primären Druckbereich zu senken oder von dem tertiären Druckbereich in den primären Druckbereich zu senken. Mit einer Absenkung von dem sekundären Druckbereich in den primären Druckbereich kann prozessaufwärts eine Druckabsenkung von dem tertiären Druckbereich in den sekundären Druckbereich mittels der Hochdruckregelungsvorrichtung realisiert sein. Dies kann eine einstufige Expansion sein, wobei mittels des ersten Kompressors und des zweiten Kompressors eine zweistufige Verdichtung realisiert ist.

[0073] Die Expansionseinrichtung kann auf Basis eines Drucks regelbar sein, insbesondere auf Basis eines Drucks des Kältemittels prozessabwärts des Verdampfers und/oder prozessaufwärts des ersten Kompressors. An einem Ausgang des Verdampfers kann das Kühlsystem eine maximale Enthalpie und das Kältemittel einen minimalen Druck aufweisen. Entsprechend kann die Expansionseinrichtung in Abhängigkeit von einem zu erreichenden Druck und/oder einer zu erreichenden Temperatur an dem Ausgang des Verdampfers gesteuert werden. Entsprechend kann darüber die Wärmeaufnahme an dem Verdampfer erhöht werden. Vorteilhafterweise kann ein Eingangsdruck und eine Eingangstemperatur mit der Expansionseinrichtung derart eingestellt werden, dass das Kältemittel mit einem Durchfließen des Verdampfers eine möglichst große Wärmemenge aufnehmen kann, respektive kann eine möglichst große Enthalpiezunahme realisiert sein, sodass eine Kühlleistung an dem Verdampfer möglichst groß ist. Der Verdampfer kann das Kältemittel bis zu dem Phasenübergang von Nassdampfphase zur Gasphase oder über den Phasenübergang hinaus erwärmen.

[0074] Die Expansionseinrichtung kann auf Basis eines Drucks prozessaufwärts des weiteren Wärmetauschers regelbar sein. Beispielsweise kann ein Druck zwischen dem Verdampfer bzw. dem Expansionsorgan und dem ersten Kompressor erfasst werden, um eine Öffnung der Expansionseinrichtung zu regeln. Damit kann eine Regelung der Expansionseinrichtung unabhängig von einem Wärmeeintrag prozessaufwärts des ersten Kompressors, insbesondere unabhängig von einem Wärmeeintrag der Sekundärseite des weiteren Wärmetauschers, realisiert sein.

[0075] Die Expansionseinrichtung kann auf Basis eines Parameterwertes des Mitteldruckbehälters regelbar sein, um einen Fluss des Kältemittels von dem Leitungsabschnitt in den Leitungsabschnitt zu regeln. Der Mitteldruckbehälter kann ein passives Element sein, wobei ein Kältemittelfluss durch die jeweiligen Behälterausgänge durch eine Druckdifferenz prozessabwärts in Richtung der Expansionseinrichtung und/oder eine weitere Druckdifferenz in dem Rückführungsabschnitt gesteuert werden können.

[0076] Der Parameter kann ein Füllstand, ein Druck, eine Temperatur und/oder ein Aggregatzustand des Kältemittels in dem Mitteldruckbehälter sein. Der Füllstand kann einem Volumen des Kältemittels in der Flüssigphase in dem Mitteldruckbehälter entsprechen. Ferner kann ein Verhältnis von Flüssigphase und Gasphase in dem Mitteldruckbehälter durch einen Abfluss von Kältemittel in den Rückführabschnitt und einen Abfluss prozessabwärts zur Expansionseinrichtung geregelt werden. Vorteilhafterweise kann ein Verhältnis von Flüssigphase und Gasphase des Kältemittels in dem Mitteldruckbehälter im Wesentlichen konstant gehalten werden.

[0077] Die Expansionseinrichtung kann ausgebildet sein, den Parameterwert an dem Mitteldruckbehälter zu erfassen. Damit kann die Expansionseinrichtung eine Überhitzung des Kältemittels an dem Ausgang des Verdampfers einstellen. Beispielsweise kann die Überhitzung im Bereich von 3 K bis 10 K liegen. Bevorzugt kann ein Druck und/oder eine Temperatur an dem Mitteldruckbehälter, in dem Mitteldruckbehälter oder in dem Leitungssystem in unmittelbarer Nähe zu dem Mitteldruckbehälter erfasst werden. Die Kombination von Druck und Temperatur kann den Anteil von gasförmigem Kältemittel indizieren, bevorzugt kann erfasst werden, wenn ausschließlich gasförmiges Kältemittel vorliegt. Hierbei kann der Druck, insbesondere der Druck in dem Mitteldruckbehälter, geregelt werden, um in dem Mitteldruckbehälter

zumindest einen Teil des Kältemittels in flüssiger Form zu erhalten. Der Druck kann beispielsweise mit einem nachgeschalteten Ventil, insbesondere mittels der Expansionseinrichtung geregelt werden. Ein flüssiger Anteil des Kältemittels in dem Mitteldruckbehälter kann durch Absenken des Drucks erreicht werden (aus dem transkritischen Bereich). Liegt das Kältemittel also in einem transkritischen Zustand vor, kann das Kältemittel durch Verringerung des Drucks in einen flüssigen Zustand bzw. in die Nassdampfphase überführt werden. Indiziert die Kombination aus Druck und Temperatur ausschließlich transkritisches Kältemittel im Behälter, kann der Druck abgesenkt werden (Öffnung des nachgelagerten Ventils, Schließen des vorgelagerten Ventils), um wieder Flüssigkeit bzw. Nassdampf im Behälter zu erreichen, was der Leistung am Verdampfer zuträglich ist. Ist der Zustand des Gases im Behälter subkritisch, so ist eine Druckerhöhung in der Lage den Flüssigkeitsgehalt im Behälter zu erhöhen. Durch eine entsprechende Regelung kann eine Kühlleistung an dem Verdampfer erhöht werden. Die Regelung kann durch einen Abgleich der Ausgangstemperatur des Verdampfers, dem gemessenen Druck und der sich daraus ergebenden Sättigungstemperatur mit der Druckdifferenz zwischen der Expansionseinrichtung und dem Kompressor Eingang des ersten Kompressors realisiert sein. Hierbei kann ein Flüssigkeitsabscheider zwischen Verdampfer und Kompressor entfallen.

[0078] Das Kühlsystem kann eine zweite Kühlkomponente umfassen, welche ausgebildet ist, das Kältemittel zu kühlen und prozessabwärts des ersten Kompressors und/oder prozessaufwärts des zweiten Kompressors angeordnet ist. Die zweite Kühlkomponente kann einen Zwischenkühler bilden. Dem Kältemittel kann mit der zweiten Kühlkomponente isobar Enthalpie entzogen werden. An einem Ausgang des ersten Kompressors kann das Kühlsystem eine maximale Enthalpie aufweisen. Durch den Zwischenkühler und/oder die Einspritzung von gekühltem Kältemittel aus dem Rückführungsabschnitt kann die Enthalpie reduziert sein. Vorteilhafterweise kann die Enthalpie an dem Eingang des zweiten Kompressors auf einem lokalen Minimum in der Gasphase sein. Entsprechend kann eine Enthalpie an einem Eingang des ersten Kompressors höher sein als die Enthalpie an dem Eingang des zweiten Kompressors. Auch nach dem Verdichten durch den zweiten Kompressor kann zwar sowohl der Druck, als auch die Temperatur des Kältemittels höher sein als nach dem Verdichten durch den ersten Kompressor. Die Enthalpie nach dem zweiten Verdichten kann jedoch geringer sein als nach dem ersten Verdichten.

[0079] Die zweite Kühlkomponente kann ausgebildet sein, dem Kältemittel Wärme zu entziehen und an ein zentrales Kühlsystem und/oder die Umgebungsluft abzugeben. Alternativ kann die Wärme mittels eines sekundären Kühlkreislauf abgeführt werden.

[0080] Eine Verdichtung des zweiten Kompressors kann von einer Eingangstemperatur des Kältemittels an dem Eingang des zweiten Kompressors abhängig sein. Vorteilhafterweise kann durch Abkühlen des Kältemittels ein optimaler Hochdruck des Kältemittels, respektive ein von dem zweiten Kompressor erzeugter Hochdruck herabgesetzt sein. Mit dem Abkühlen des Kältemittels kann ein Überschreiten einer kritischen Betriebstemperatur des zweiten Kompressors unterbunden sein.

[0081] Die zweite Kühlkomponente kann prozessaufwärts der Verbindungsstelle angeordnet sein. Dadurch kann zunächst das Kältemittel durch die zweite Kühlkomponente gekühlt werden, und anschließend eine weitere Abkühlung durch Mischen mit dem Kältemittelfluss aus dem Rückführabschnitt realisiert sein. Dies realisiert eine zweistufige Temperaturreduzierung zwischen dem ersten Kompressor und dem zweiten Kompressor.

[0082] Die zweite Kühlkomponente kann ausgebildet sein, das Kältemittel zu kühlen, wenn das Kältemittel eine Umgebungstemperatur überschreitet, um das Kältemittel an einem Ausgang der zweiten Kühlkomponente gasförmig, innerhalb des sekundären Druckbereichs und mit einer reduzierten Temperatur bereitzustellen. Insbesondere kann eine Temperaturreduzierung mittels der zweiten Kühlkomponente derart gesteuert werden, dass ein Übergang in die Nassdampfphase unterbunden ist. Insbesondere erfolgt die Steuerung auch derart, dass die Kombinationskühlung auf Basis der zweiten Kühlkomponente und der Kältemittelzufuhr über den Rückführungsabschnitt eine Temperatur des Kältemittels an dem Eingang des zweiten Kompressors oberhalb des Nassdampfphasenübergangs realisiert.

[0083] Die zweite Kühlkomponente kann ausgebildet sein, das Kältemittel auf eine vorbestimmte Temperatur zu kühlen, sodass das Kältemittel prozessabwärts des zweiten Kompressors eine Temperatur unterhalb einer Grenztemperatur aufweist. Hier kann unter Berücksichtigung einer Erwärmung des Kältemittels durch den zweiten Kompressor ein Grenzwert für eine Eingangstemperatur des Kältemittels an dem zweiten Kompressor definiert sein, sodass mit der zweiten Verdichtung eine Maximaltemperatur des Kältemittels unterschritten ist. Die Grenztemperatur kann derart bestimmt sein, dass das Kältemittel eine unterkritische Temperatur aufweist. Die unterkritische Temperatur kann an dem Eingang oder an dem Ausgang des zweiten Kompressors eingestellt sein.

[0084] Die zweite Kühlkomponente kann einen Ventilator umfassen, welcher ausgebildet ist, einen Luftstrom an der zweiten Kühlkomponente zu erzeugen, um dem Kältemittel Wärme zu entziehen. Dadurch kann Wärme an die Umgebungsluft abgegeben werden.

[0085] Der zweite Behälterausgang kann über einen Leitungsabschnitt mit der zweiten Kühlkomponente verbunden sein. Hierbei kann an der Leitungsverbindung eine Abzweigung zu dem zweiten Kompressor vorgesehen sein, sodass gemischtes Kältemittel von der zweiten Kühlkomponente und von dem Mitteldruckbehälter zu dem zweiten Kompressor fließt. Hier kann zusätzlich ein Kältemittelfluss von dem Rückführungsabschnitt hinzugefügt sein.

[0086] Ein erster Kältemittelfluss kann von der zweiten Kühlkomponente zu einer weiteren Verbindungsstelle fließen

und ein zweiter Kältemittelfluss kann von dem zweiten Behälterausgang zu der weiteren Verbindungsstelle fließen. Ferner kann der erste Kältemittelfluss und der zweite Kältemittelfluss zu einem kombinierten Kältemittelfluss an der weiteren Verbindungsstelle vermischt werden und der vermischte Kältemittelfluss kann über den Leitungsabschnitt zu der zweiten Verbindungsstelle und/oder zu dem zweiten Kompressor fließen. Dies kann eine dreistufige Temperaturregulierung des Kältemittels zwischen dem ersten Kompressor und dem zweiten Kompressor realisieren. Eine erste Abkühlung kann mittels der zweiten Kühlkomponente erreicht werden, eine zweite Abkühlung kann mittels eines Zuflusses von Kältemittel aus dem Mitteldruckbehälter erreicht werden und eine dritte Abkühlung kann mittels eines Zuflusses von Kältemittel über den Rückführabschnitt realisiert sein. Dies kann eine Maximalkonfiguration einer internen Kühlung sein, wobei die Kühlstufen redundant ausgebildet sein können.

[0087] Insbesondere kann sowohl vor als auch nach dem Mitteldruckbehälter jeweils ein Ventil zur Druckregulierung vorgesehen sein. Entsprechend kann mit den Ventilen und dem Mitteldruckbehälter eine redundante Entspannung von dem tertiären Druckbereich über den sekundären Druckbereich zu dem primären Druckbereich realisiert sein. Sowohl die Expansionsvorrichtung als auch die Hochdruckregelungsvorrichtung können eine Überhitzungsregelung erreichen. Hier kann eine redundante Hochdruckregelung zur Verhinderung von Flüssigkeitsschlägen durch den Mitteldruckbehälter und die Hochdruckregelungsvorrichtung bereitgestellt sein.

[0088] Über die zweite Verbindungsstelle kann in dem sekundären Druckbereich Kältemittel aus dem Rückführabschnitt in die Leitung 204 einspritzbar sein. Ein Kältemittelfluss durch den Rückführabschnitt kann mittels des Mitteldruckbehälters oder der weiteren Expansionseinrichtung geregelt werden.

[0089] Der Wärmetauscher kann ausgebildet sein, das Kältemittel an der zweiten Verbindungsstelle mit einer ersten spezifischen Enthalpie bereitzustellen, und die zweite Kühlkomponente kann ausgebildet sein, das Kältemittel an der zweiten Verbindungsstelle mit einer zweiten spezifischen Enthalpie bereitzustellen, wobei die erste spezifische Enthalpie kleiner ist, als die zweite spezifische Enthalpie. Dadurch kann sichergestellt sein, dass mit der Einspritzung über den Rückführabschnitt eine weitere Abkühlung und keine Erwärmung des Kältemittels prozessaufwärts des zweiten Kompressors erfolgen kann.

[0090] Ein Kältemittelfluss in dem Rückführabschnitt und ein weiterer Kältemittelfluss in der Leitung können an der zweiten Verbindungsstelle zu einem kombinierten Kältemittelfluss vermischt sein. Der vermischte Kältemittelfluss kann an dem zweiten Kompressor bereitgestellt sein. An der zweiten Verbindungsstelle kann durch Mischen der Kältemittelflüsse je nach Volumenanteilen der Kältemittelflüsse eine Temperatur zwischen der Temperatur des Kältemittels in dem Rückführabschnitt und der Temperatur des Kältemittels prozessaufwärts der zweiten Verbindungsstelle in dem Hauptkreislauf eingestellt werden. Vorteilhafterweise kann eine zumindest zweistufige Temperatursenkung erreicht werden.

[0091] Die zweite Kühlkomponente kann ausgebildet sein, auf Basis einer Umgebungstemperatur und/oder auf Basis einer Grenztemperatur des Verdampfers das Kältemittel zu kühlen. Vorteilhafterweise ist eine Umgebungstemperatur kleiner als die Temperatur des Kältemittels in der zweiten Kühlkomponente, um eine Wärmeaufnahme aus der Umgebungsatmosphäre an der zweiten Kühlkomponente zu unterbinden. Je höher eine Ausgangstemperatur des Verdampfers, desto höher kann eine Umgebungstemperatur sein, bei welcher an der zweiten Kühlkomponente Wärme an die Umgebungsatmosphäre abgegeben werden kann. Eine Kühlung, respektive Enthalpieabfuhr, mittels der zweiten Kühlkomponente kann derart gesteuert werden, dass die Bildung einer Flüssigphase in dem Kältemittelfluss zu dem zweiten Kompressor unterbunden ist.

[0092] Hierbei kann eine Heißgastemperatur, beispielsweise eine Temperatur des Kältemittels prozessabwärts des ersten Kompressors mit einer Verdampfungseingangstemperatur skalieren. Da die Enthalpieaufnahme in dem Verdampfer isotherm ablaufen kann, kann die Verdampferausgangstemperatur der Verdampfereingangstemperatur entsprechen. Mit einer Verdampfungstemperatur von -20°C und höher kann vorteilhafterweise die weitere Kühlkomponente zwischen den Kompressoren dem Kältemittel Wärme entziehen. In einem Bereich von -40°C bis -20°C kann eine Temperatur an dem Ausgang des ersten Kompressors der Umgebungstemperatur entsprechen oder niedriger als die Umgebungstemperatur sein. Beispielsweise kann die Temperatur an dem Ausgang des ersten Kompressors unterhalb von 30°C liegen. Ein Hubvolumen des ersten Kompressors und ein Druck in dem primären Druckbereich kann derart gewählt sein, dass die Temperatur an dem Ausgang des ersten Kompressors stets oberhalb der Umgebungstemperatur ist. Hierbei kann eine zulässige maximale Umgebungstemperatur definiert sein: Beispielsweise kann ein zulässiger Betrieb des Kühlsystems bei einer Umgebungstemperatur von bis zu 30°C , von bis zu 35°C oder von bis zu 40°C definiert sein.

[0093] Das Kühlsystem kann eine Kreislaufregelung umfassen, welche ausgebildet ist, einen Fluss des Kältemittels zu regeln. Hierbei können insbesondere eine Wärmeaufnahme in dem Verdampfer, eine Wärmeabgabe an der Kühlkomponente und/oder einer Umgebungstemperatur einen Gleichgewichtszustand des Kühlsystems ändern, sodass die Kreislaufregelung den Kältemittelfluss entsprechend regulieren kann, um optimale Temperatur- und Druckwerte einzustellen.

[0094] Die Kreislaufregelung kann ausgebildet sein, ein Öffnen der Expansionseinrichtung auf Basis von einem Druck des Kältemittels, insbesondere eines Hochdrucks prozessabwärts der Kühlkomponente und/oder prozessabwärts des zweiten Kompressors zu regeln. In Abhängigkeit von einem Öffnungsgrad der Expansionseinrichtung kann eine Entspannung des Kältemittels prozessabwärts der Expansionseinrichtung steuerbar sein. Hierzu kann ein Druck- und/oder

Temperatursensor an einem Ausgang der Kühlkomponente und/oder ein Druck- und/oder Temperatursensor am Ausgang des zweiten Kompressors vorgesehen sein.

[0095] Die Kreislaufregelung kann ausgebildet sein, ein Öffnen der Expansionseinrichtung auf Basis von einem Druck des Kältemittels prozessabwärts des Wärmetauschers zu regeln. Hierzu kann ein Druck- und/oder Temperatursensor an einem Ausgang des Wärmetauschers angeordnet sein. Vorteilhafterweise kann die Temperatur prozessaufwärts des Filtertrockners erfasst werden. Eine Regelgröße kann hier entsprechend ein Druck im tertiären Druckbereich des Kühlsystems sein. Die Regelstrecke kann das Leitungssystem und die Komponenten des Kühlsystems prozessabwärts des ersten Kompressors und/oder des zweiten Kompressors und prozessaufwärts der Expansionseinrichtung umfassen.

[0096] Die Expansionseinrichtung kann ein Ventil aufweisen und ausgebildet sein, auf Basis einer Regelungsansteuerung durch die Kreislaufregelung eine Öffnung des Ventils in einem Bereich von vollständig geschlossen bis vollständig geöffnet schrittweise oder kontinuierlich anzupassen. Mit der Öffnung der Expansionseinrichtung kann ein Volumenfluss des Kältemittels durch die Expansionseinrichtung zu dem Verdampfer reguliert werden.

[0097] Die Kreislaufregelung kann ausgebildet sein, ein Öffnen der Expansionseinrichtung auf Basis von einer Temperatur des Kältemittels prozessaufwärts des ersten Kompressors und/oder prozessabwärts des Verdampfers, insbesondere einer Temperatur an einem Verdampferausgang, zu regeln.

[0098] In Abhängigkeit von einem Öffnungsgrad der Expansionseinrichtung kann eine Entspannung des Kältemittels prozessabwärts der Expansionseinrichtung steuerbar sein. Hierbei kann insbesondere eine Druckreduzierung gesteuert sein, welche isenthalpisch auch eine Temperaturänderung bewirken kann.

[0099] Die Kreislaufsteuerung kann ausgebildet sein, einen vorbestimmten Temperaturwert, zu bestimmen und ein Öffnen der Expansionseinrichtung bei einem Überschreiten des vorbestimmten Temperaturwerts durch eine erfasste Temperatur, insbesondere eine Verdampferausgangstemperatur, zu regeln. Der vorbestimmte Temperaturwert kann eine empirische und/oder errechnete Medientemperatur sein.

[0100] Die Kreislaufregelung kann ausgebildet sein, ein Öffnen der weiteren Expansionseinrichtung in Abhängigkeit von einer Temperatur des Kältemittels prozessabwärts des ersten Kompressors und/oder prozessabwärts des zweiten Kompressors, insbesondere einer Kompressorausgangstemperatur, respektive Heißgastemperatur, zu regeln, wobei in Abhängigkeit von einem Öffnungsgrad der weiteren Expansionseinrichtung eine Entspannung des Kältemittels prozessabwärts der weiteren Expansionseinrichtung steuerbar ist. Hierbei kann als Regelgröße die Kompressorausgangstemperatur, respektive die Heißgastemperatur, definiert sein und als Regelstrecke kann der erste Kompressor und/oder der zweite Kompressor definiert sein. Hierbei kann ein Druck und/oder eine Temperatur des Kältemittels an dem Ausgang des zweiten Kompressors erfasst werden. Damit kann ein Kältemittelfluss durch den Rückführabschnitt angepasst werden, um eine optimale Heißgastemperatur einzustellen. In Abhängigkeit von einem Öffnungsgrad der weiteren Expansionseinrichtung kann ein Wärmeübertrag des Wärmetauschers von dem Hauptkreislauf in den Rückführabschnitt gesteuert werden. Die weitere Expansionseinrichtung kann vorteilhafterweise in der Rückführeinrichtung einen Druck in dem sekundären Druckbereich einstellen. Je nach Öffnungsgrad der weiteren Expansionseinrichtung kann ein vorbestimmter Druckwert eingestellt werden.

[0101] Die Kreislaufregelung kann ausgebildet sein, ein Öffnen der Hochdruckregelungsvorrichtung in Abhängigkeit von einem Druck des Kältemittels prozessabwärts des zweiten Kompressors und/oder prozessaufwärts der Hochdruckregelungsvorrichtung zu regeln. Es kann ein Drucksensor an einem Ausgang des Wärmetauschers, an einem Ausgang der Kühlkomponente und/oder an einem Ausgang des zweiten Kompressors vorgesehen sein.

[0102] Die Kreislaufregelung kann ausgebildet sein, die Hochdruckregelungsvorrichtung in Abhängigkeit von einem Druck prozessabwärts des Wärmetauschers und/oder prozessaufwärts des Filtertrockners zu regeln. Hierbei kann ein erfasster Druck in dem tertiären Druckbereich als Regelgröße definiert sein und als Regelstrecke kann ein Abschnitt des Kühlsystems in dem tertiären Druckbereich definiert sein. Beispielsweise ist dies eine Kältemittelstrecke von dem Ausgang des zweiten Kompressors bis zu dem Eingang der Hochdruckregelvorrichtung oder bis zu dem Mitteldruckgefäß, oder bis zu der Expansionseinrichtung.

[0103] Das Kühlsystem kann eine Kompressorantriebsvorrichtung aufweisen, welche ausgebildet ist, den ersten Kompressor und/oder den zweiten Kompressor anzutreiben. Dadurch kann der Vorteil erreicht werden, dass sowohl der erste Kompressor als auch der zweite Kompressor über eine gemeinsame Antriebsvorrichtung angetrieben und gesteuert werden können. Hierbei kann jeder der Kompressoren separat angetrieben werden, das heißt mit zueinander unterschiedlichen Antriebsleistungen versorgt werden. Der erste Kompressor und der zweite Kompressor können in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet sein. Ferner kann die Kompressorantriebsvorrichtung ein Motor sein, welcher ausgebildet sein kann, den ersten Kompressor anzutreiben und den zweiten Kompressor anzutreiben.

[0104] Die Kompressorantriebsvorrichtung kann ausgebildet sein, eine jeweilige Kompressordrehzahl des ersten Kompressors und/oder des zweiten Kompressors in Abhängigkeit von einem Druck des Kältemittels, insbesondere eines Verdampfungsdrucks, und/oder einer Temperatur des Kältemittels, insbesondere einer Verdampfungstemperatur, prozessabwärts der Expansionseinrichtung zu regeln, wobei in Abhängigkeit von einer Kompressordrehzahl eine Verdichtungsleistung des ersten Kompressors und/oder des zweiten Kompressors steuerbar ist. Dadurch kann der Vorteil realisiert werden, dass eine vorbestimmte Verdampfungstemperatur, also eine Temperatur während der isothermen

Enthalpieaufnahme in dem Verdampfer, über die Kompressordrehzahl eingestellt werden kann. Hierbei kann der Verdampfungsdruck, respektive die Verdampfungstemperatur als Regelgröße definiert sein und die Kompressorleistung, respektive Drehzahl kann als Regelstrecke definiert sein.

[0105] Der erste Kompressor, der zweite Kompressor und/oder die Kompressorantriebsvorrichtung können jeweils einen Antrieb aufweisen und ausgebildet sein, eine Drehzahl des jeweiligen Antriebs auf Basis einer Regelungsansteuerung durch die Kreislaufregelung in einem vorbestimmten Bereich von einer Minimaldrehzahl bis zu einer Maximaldrehzahl schrittweise oder kontinuierlich anzupassen. Dadurch kann eine besonders effiziente Ansteuerung der Kompressoren realisiert werden.

[0106] Die Kreislaufregelung kann ausgebildet sein, die Kompressordrehzahl auf Basis einer vorbestimmten Verdampfungstemperatur zu regeln. Beispielsweise um die Verdampfungstemperatur zu senken, kann die Kompressordrehzahl des ersten Kompressors und/oder des zweiten Kompressors erhöht sein. Um die Verdampfungstemperatur zu erhöhen, kann die Kompressordrehzahl des ersten Kompressors und/oder des zweiten Kompressors reduziert sein. Die Kreislaufregelung kann ausgebildet sein, die Kompressordrehzahl zu erhöhen und/oder zu senken

[0107] Die Kühlkomponente kann einen Ventilator umfassen, welcher ausgebildet ist, zur Kühlung einen Luftstrom durch die Kühlkomponente zu leiten. Dadurch kann die Kühlkomponente thermisch an die Umgebungsatmosphäre gekoppelt werden.

[0108] Die Kühlkomponente kann einen Kältemittel-Sole-Wärmetauscher umfassen, welcher ausgebildet ist, Wärme von dem Kältemittel zu einer Sole zu übertragen.

[0109] Die Kreislaufregelung kann ausgebildet sein, eine Ventilator Drehzahl des Ventilators in Abhängigkeit von einer Temperatur des Kältemittels prozessabwärts der Kühlkomponente, insbesondere einer Kühlkomponentenaustrittstemperatur, zu regeln, wobei in Abhängigkeit von einer Lüfterdrehzahl eine Kühlleistung der Kühlkomponente steuerbar ist. Ein Luftstrom an die Kühlkomponente kann mit der Ventilator Drehzahl skalieren. Vorteilhafterweise kann auch eine Kühlleistung der Kühlkomponente zumindest teilweise mit der Ventilator Drehzahl skalieren.

[0110] Der Ventilator kann ausgebildet sein, die Ventilator Drehzahl auf Basis einer Regelungsansteuerung durch die Kreislaufregelung in einem vorbestimmten Bereich von einer Minimaldrehzahl bis zu einer Maximaldrehzahl schrittweise oder kontinuierlich anzupassen.

[0111] Die Kreislaufregelung kann ausgebildet sein, den Ventilator in Abhängigkeit von einer Wärmelast in einer Mehrzahl von Stufen zu regeln, wobei in einer ersten Regelstufe die Ventilator Drehzahl null ist, in einer zweiten Regelstufe der Ventilator mit einer ersten Drehzahl größer null rotiert und/oder in einer dritten Regelstufe mit einer zweiten Drehzahl rotiert, wobei die zweite Drehzahl größer ist als die erste Drehzahl.

[0112] Die Kreislaufregelung kann ausgebildet sein, den Druck in dem tertiären Druckbereich derart zu regeln, dass eine Kühlleistung maximiert ist. Insbesondere kann ein optimaler Hochdruck eingestellt sein. Der optimale Hochdruck kann von der Umgebungstemperatur und entsprechend einer Kühlleistung der Kühlkomponente abhängig sein. Der optimale Hochdruck kann je nach subkritischem oder transkritischem Betrieb variieren. Beispielsweise kann der optimale Hochdruck bei etwa 100 bar für einen transkritischen Zyklus und bei etwa 50 bis 60 bar für einen subkritischen Zyklus liegen.

[0113] Die Kreislaufregelung kann ausgebildet sein, eine Überhitzung an dem Verdampfer mittels der Expansionseinrichtung derart zu regeln, dass die Überhitzung minimal ist, wobei die Überhitzung vorzugsweise zumindest 3 K an einem Kompressoreingang des ersten Kompressors beträgt. Dadurch kann der Vorteil erreicht werden, dass der erste Kompressor vor Flüssigkeitsschlägen durch Kältemittel in der Flüssigphase geschützt werden kann. Am Verdampfer kann der Prozess bis zum konstruktiven Ende eines Verdampferrohres des Verdampfers im Wesentlichen isotherm und isobar ablaufen. Eine Überhitzung des Kältemittels kann an dem konstruktiven Ende des Verdampfers realisiert sein. Mit einer minimierten Überhitzung am Ausgang des Verdampfers, kann eine Kühlleistung maximiert werden, wobei die Temperatur am Eingang des Verdampfers vorteilhafterweise gleich der Sättigungstemperatur ist.

[0114] Die Kreislaufregelung kann ausgebildet sein, eine jeweilige Kompressorausgangstemperatur an dem ersten Kompressor und/oder an dem zweiten Kompressor mittels der weiteren Expansionseinrichtung derart zu regeln, dass eine vorbestimmte Grenztemperatur an dem Kompressorausgang unterschritten ist.

[0115] An der zweiten Verbindungsstelle kann abgekühltes Kältemittel aus dem Rückführungsabschnitt eingespritzt werden, um eine Kompressorausgangstemperatur zu senken.

[0116] Die Kreislaufregelung kann ausgebildet sein, eine erste Kompressordrehzahl des ersten Kompressors und eine zweite Kompressordrehzahl des zweiten Kompressors jeweils stufenlos zu regeln. Ferner kann die Kreislaufregelung ausgebildet sein, die erste Kompressordrehzahl und die zweite Kompressordrehzahl jeweils unabhängig voneinander zu regeln. Dadurch kann durch den jeweiligen Kompressor eine optimale Verdichtung des Kältemittels erreicht werden und insbesondere ein optimaler Hochdruck eingestellt werden. Durch die voneinander unabhängige, stufenlose Regelung der Kompressoren können Vibrationen reduziert sein. Vorteilhafterweise kann bei einer Verwendung des Kühlsystems in einer Zentrifuge ein Übertragen von Vibrationen auf Proben reduziert sein, sodass die Zentrifugationsqualität erhöht sein kann. Ferner kann eine verbesserte Anwenderwahrnehmung durch eine reduzierte Schallemission oder Vibration der Zentrifuge erreicht werden. Mit der Drehzahlregelung kann ein Softanlauf realisiert werden, d.h. der erste Kompressor

und/oder der zweite Kompressor können für einen vorbestimmten Zeitbereich, beispielsweise 60 s bis 120 s nach einem Startvorgang mit einer reduzierten Beschleunigung angetrieben werden. Damit kann eine verbesserte Zentrifugationsqualität, ein verbessertes Zentrifugat und eine verbesserte Anwenderwahrnehmung erreicht werden. Vorteilhafterweise können der erste Kompressor und der zweite Kompressor durch zwei Kompressionskammern in einem Verdichtermodule gebildet sein. Der erste Kompressor und/oder der zweite Kompressor können jeweils eine vorbestimmte Startdrehzahl aufweisen, sodass die Kompressoren erst starten, wenn eine vorbestimmte Frequenz- und/oder Spannungsschwelle überschritten ist. D.h. der Kompressor läuft mit einer niedrigen Schwellen- bzw. Erregungsdrehzahl an.

[0117] Die Kreislaufregelung kann ausgebildet sein, den ersten Kompressor und/oder den zweiten Kompressor in einer Startphase mit einem jeweiligen vorbestimmten Beschleunigungswert auf eine jeweilige vorbestimmte Solldrehzahl zu beschleunigen. Vorzugsweise kann eine Beschleunigung kleiner als oder gleich 8 Umdrehungen/s² sein. Hierbei kann die vorbestimmte Solldrehzahl einen Grenzwert zur Unterscheidung zwischen einer reduzierten Beschleunigung und einer erhöhten Beschleunigung bilden. Mit einer reduzierten Beschleunigung kann vorteilhafterweise eine Reduzierung von Erschütterungen in dem Laborgerät erreicht werden. Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform kann die Kreislaufregelung ausgebildet sein, nach einer ersten Beschleunigungsphase mit einer reduzierten Beschleunigung, insbesondere mit einer Beschleunigung kleiner als oder gleich 8 Umdrehungen/s², in einer zweiten Beschleunigungsphase den ersten Kompressor und/oder den zweiten Kompressor mit einer Beschleunigung größer als 8 Umdrehungen/s² zu beschleunigen. Dadurch kann der Vorteil erreicht werden, dass auch ein Ölfluss, insbesondere ein Ölfluss des Kompressoröls, beschleunigt werden kann.

[0118] In Ausführungsformen der Erfindung kann auch vorgesehen sein, dass das Kühlsystem dazu ausgelegt ist, den ersten Kompressor und/oder den zweiten Kompressor mit einer ersten Drehgeschwindigkeit zu betreiben und mit einer zweiten Drehgeschwindigkeit zu betreiben, die größer ist als die erste Drehgeschwindigkeit, das Kühlsystem aber ferner dazu ausgelegt ist, dass Drehgeschwindigkeiten zwischen der ersten und der zweiten Drehgeschwindigkeit nicht (d.h. lediglich instantan während einer Geschwindigkeitsänderung) eingenommen werden. In anderen Worten können Betriebsgeschwindigkeiten gemieden werden. Hierdurch können insbesondere Resonanzanregungen bei derartigen Geschwindigkeiten vermieden werden.

[0119] Die Kreislaufregelung kann ausgebildet sein, eine Drehzahl des Ventilators in Abhängigkeit von einer Beschleunigung des ersten Kompressors und/oder einer Beschleunigung des zweiten Kompressors zu regeln, insbesondere stufenlos zu regeln. Abhängig von der Kompressor-Beschleunigungsrate kann die Ventilator-drehzahl derart geregelt werden, dass mit steigender Drehzahl des ersten Kompressors und/oder des zweiten Kompressors die Ventilator-drehzahl steigen kann. Eine thermische Last an der Kühlkomponente kann direkt proportional zu der Kompressor-drehzahl des ersten Kompressors und/oder des zweiten Kompressors sein.

[0120] Eine Steuerungskennlinie des Ventilators kann einer Steuerungskennlinie des ersten Kompressors und/oder des zweiten Kompressors vorauslaufen. Der Ventilator kann mit einer sanft ansteigenden Kennlinie angefahren werden. Auch der erste Kompressor und/oder der zweite Kompressor können mit einer vergleichbaren sanft ansteigenden Kennlinie angefahren werden. Die Kennlinie des Ventilators kann der Kennlinie der Kompressoren vorauslaufen, um eine Leistungsreserve zu erzeugen, d.h. bevor die Kompressoren beschleunigt werden, kann erst der Ventilator beschleunigt werden und anschließend können die Kompressoren nachziehen. Dadurch kann der Vorteil erreicht werden, dass eine lastangepasste Regelung des Ventilators eine aufzuwendende Primärenergie reduziert. Ferner können auch die Geräuschemissionen des Kühlsystems, respektive des Laborgeräts reduziert sein.

[0121] Die Kreislaufregelung kann ausgebildet sein, eine Ventilator-drehzahl des Ventilators in Abhängigkeit einer Umgebungstemperatur, insbesondere proportional zu der Umgebungstemperatur, zu regeln, wobei die Umgebungstemperatur am Laborgerät, vorzugsweise an einem Luftaustritt der Kühlkomponente erfassbar ist. Mit einer reduzierten Umgebungstemperatur, beispielsweise unter 22°C, kann der Ventilator an der Kühlkomponente mit reduzierter Ventilator-drehzahl laufen. Wenn die Umgebungstemperatur erhöht ist, beispielsweise über 24°C, kann die Ventilator-drehzahl im Vergleich zu einem Betrieb bei einer Normtemperatur, beispielsweise 23°C, erhöht sein. Es kann ein Temperaturfenster um die ideale Umgebungstemperatur definiert werden. Bei einer vorbestimmten Umgebungstemperatur, beispielsweise 23°C, kann das Temperaturfenster beispielsweise 2 K betragen: jeweils 1 K nach oben und 1 K nach unten. Innerhalb des Temperaturfensters kann der Ventilator mit einer vorteilhaften Optimaldrehzahl laufen. Von dieser Optimaldrehzahl kann mittels der Kreislaufregelung je nach Schwankung der Umgebungstemperatur stufenlos nach oben bzw. nach unten geregelt werden. So kann eine Leistung der Kühlkomponente erhöht werden, um eine erhöhte Umgebungstemperatur zu berücksichtigen. Die erhöhte Umgebungstemperatur kann zu einer geringeren Temperaturdifferenz zwischen Kühlmedium, beispielsweise ein Umgebungsluftstrom, und Kältemittel und somit zu geringerer Leistung führen. Mit einer Erhöhung der Ventilator-drehzahl kann dieser Leistungsverlust kompensiert werden.

[0122] Die Kreislaufregelung kann ausgebildet sein, in Abhängigkeit von einer Auslasstemperatur der Kühlkomponente und/oder einer Umgebungstemperatur die Expansionseinrichtung zu regeln, um einen Druck in dem tertiären Druckbereich, insbesondere einen optimalen Hochdruck, einzustellen. Mit einer an die Umgebungstemperatur angepassten Hochdruckregelung kann eine Kühlleistung gerätespezifisch, insbesondere zentrifugenspezifisch, für spezielle Umgebungs- aber auch Anwendungsbedingungen erhöht sein.

[0123] Die Expansionseinrichtung kann ein thermostatisches Ventil oder ein elektronisches Expansionsventil umfassen. Ein elektronisches Expansionsventil kann von der Kreislaufregelung angesteuert werden. Ein thermostatisches Ventil kann autark in Abhängigkeit von einem Temperaturwert betrieben werden.

[0124] Die Kreislaufregelung kann ausgebildet sein, eine Änderung der Umgebungstemperatur zu erfassen und die Expansionseinrichtung, die Kompressordrehzahlen und/oder eine Ventilatorzahl auf Basis der Umgebungstemperaturänderung zu regeln. Durch die Regelung des Ventilators und die Verknüpfung mit den Kompressoren kann auf Änderungen in der Umgebungstemperatur reagiert werden. Einer erhöhten Umgebungstemperatur, und damit einem höheren optimalen Hochdruck, kann begegnet werden, indem die Expansionseinrichtung geschlossen, die Drehzahl der Kompressoren erhöht, bzw. die Drehzahl des Ventilators reduziert wird. Durch diese Maßnahmen kann der Hochdruck, bzw. der Druck an dem Ausgang des zweiten Kompressors, erhöht und somit die optimale Leistung erreicht werden.

[0125] Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung ein Laborgerät mit einem Kühlsystem. Zum Beispiel kann das Kühlsystem wie beschrieben ausgestaltet sein. Insbesondere kann das Laborgerät eine Zentrifuge, ein Inkubator, ein und/oder ein biologischer Sicherheitsschrank sein. Vorteilhafterweise kann das Kühlsystem ein Bauteil des Laborgeräts, beispielsweise eine Kühlkammer, eine Probenkammer und/oder einen Zentrifugenrotor kühlen. Hierbei kann auch eine Temperierung realisiert sein, sodass das Bauteil auf eine vorbestimmte Temperatur geregelt werden kann.

[0126] Das Laborgerät kann ferner ein Mischtank, ein Rührbehälter, ein Reaktor und/oder allgemeine temperierte Laboreinrichtung, wie beispielsweise ein Kühlschrankschrank oder Gefrierschrank, insbesondere für biologische oder chemische Proben, sein. Hierzu kann das Kühlsystem in das jeweilige Laborgerät integriert sein oder über ein Leitungssystem zum Wärmeaustausch mit dem Kühlsystem verbunden sein.

[0127] Das Laborgerät kann ein Tischgerät oder ein Standgerät ist. Vorteilhafterweise kann das Kühlsystem in ein Gehäuse des Laborgeräts integriert sein. Insbesondere kann das Kühlsystem ausgebildet sein, unabhängig von externen Kühlkreisläufen in dem Laborgerät eine Kühlleistung bereitzustellen.

[0128] Das Laborgerät kann einen Rotorkessel umfassen an dem der Verdampfer angeordnet ist. Der Verdampfer kann mit dem Rotorkessel thermisch gekoppelt sein, um dem Rotorkessel Wärme zu entziehen. Damit kann eine Kühlung des Rotorkessels und insbesondere von in dem Rotorkessel angeordneten biologischen Proben realisiert werden.

[0129] Der Verdampfer kann eine Verdampferwicklung umfassen, welche an einer Außenseite des Rotorkessels angeordnet ist, wobei die Verdampferwicklung durch eine umlaufende Leitung gebildet ist. Die Verdampferwicklung kann in einer Spirale um den Rotorkessellaufen. Insbesondere kann eine Anlagefläche der Verdampferwicklung an dem Rotorkessel maximiert sein, um eine thermische Kopplung zwischen Verdampferwicklung und Rotorkessel zu erreichen.

[0130] Die Verdampferwicklung kann eine zumindest einseitig abgeflachte Form, insbesondere eine D-Form aufweisen, um eine Flachseite zu bilden, wobei die Flachseite an der Außenfläche des Rotorkessels anliegt, um einen Flächenkontakt zu bilden. Dadurch kann ein Wärmefluss von dem Rotorkessel zu der Verdampferwicklung vorteilhaft erhöht sein.

[0131] Die Verdampferwicklung kann einen Außenrohrdurchmesser in einem Bereich von 5 mm bis 20 mm, vorzugsweise 10 mm oder 16 mm aufweisen. Ferner kann die Verdampferwicklung eine Wandstärke von 0,5 mm bis 5 mm, vorzugsweise eine Wandstärke von 1 mm, aufweisen. Durch eine Reduzierung eines Außenrohrdurchmessers kann ein Flächenkontakt der Verdampferwicklung zu dem Rotorkessel vorteilhaft erhöht sein. Bei der Verwendung von sinkendem Außenrohrdurchmesser kann eine Anzahl von Windungen der Verdampferwicklung an der Außenfläche des Rotorkessels erhöht sein. Dadurch kann bei gleichbleibender Rotorkesselfläche eine höhere Abdeckung der Rotorkesselfläche durch die Verdampferwicklung erreicht werden. Zwischenräume zwischen den Windungen der Verdampferwicklung können verkleinert sein. Vorteilhafterweise kann dadurch eine kleinere Temperaturdifferenz zwischen Proben in dem Rotorkessel und einer Verdampfungstemperatur erreicht werden. Die Möglichkeit kleinere Außenrohrdurchmesser zu verwenden, insbesondere 10mm oder 12 mm-Rohre an Stelle von 16mm-Rohren zu verwenden kann an die Verwendung von CO₂ als Kältemittel gekoppelt sein. Mit der Verringerung des Rohrquerschnitts kann eine Druckverminderung an dem Verdampfer erhöht sein. Vorteilhafterweise kann die Wärmeübertragungsfläche maximiert und die Druckverminderung minimiert sein.

[0132] Eine Erhöhung der Kontaktfläche zwischen Verdampferwicklung und Rotorkessel kann eine Veränderung der Temperaturdifferenz zwischen Rohrinne- und Kesselinne- seite zur Folge haben. Eine Temperatur einer Kesselinne- seite kann sich durch die Flächenvergrößerung der Verdampfungstemperatur annähern. Dadurch kann eine tiefere Regeltemperatur, insbesondere eine tiefere Kesseltemperatur, und damit eine bessere Probenkühlung erreicht werden. Die Verringerung des Rohrdurchmessers kann ferner einen Kostenvorteil realisieren.

[0133] Der Rotorkessel kann eine Seitenmantelfläche, eine Bodenmantelfläche und eine Bodenfläche aufweisen, wobei die Seitenmantelfläche zylindrisch ausgebildet ist, und wobei die Bodenmantelfläche ein gekrümmtes Profil aufweist und ausgebildet ist, die Seitenmantelfläche mit der Bodenfläche zu verbinden. Vorteilhafterweise ist die Leitung der Verdampferwicklung an der Seitenmantelfläche in eine D-Form gepresst.

[0134] Die Verdampferwicklung kann an der Seitenmantelfläche, der Bodenmantelfläche und/oder der Bodenfläche angeordnet sein. Dadurch kann vorteilhafterweise die Kontaktfläche zwischen Verdampferwicklung und Rotorkessel

erhöht sein, um einen Wärmetransfer von dem Rotorkessel zu dem Verdampfer zu maximieren.

[0135] Die Verdampferwicklung kann an der Seitenmantelfläche einen Flächenkontakt bilden. Der Flächenkontakt kann eine kontinuierliche Fläche sein, wobei jeweilige Kontaktflächen der einzelnen Wicklungen der Verdampferwicklung derart nebeneinander angeordnet sind, dass die Wicklungen formschlüssig aneinander anliegen und kein Freiraum gebildet ist. Der Freiraum kann eine im Wesentlichen dreieckige Form aufweisen. Ein Flächeninhalt des Freiraums kann mit dem Außenrohrdurchmesser der Verdampferwicklung skalieren und entsprechend mit verringertem Außenrohrdurchmesser proportional kleiner sein.

[0136] Das Laborgerät kann eine Benutzerschnittstelle umfassen, welche ausgebildet ist auf Basis einer Nutzereingabe eine Solltemperatur und/oder eine Rotordrehzahl eines in dem Rotorkessel angeordneten Rotors an die Kreislaufregelung zu übermitteln. Die Solltemperatur kann hier ein Vorgabewert für eine Regeltemperatur, insbesondere eine Kesseltemperatur sein. Die Regeltemperatur kann entsprechend der Konstruktion des Laborgeräts gewählt werden.

[0137] Auf Basis der Rotordrehzahl, einer Rotordrehzahländerung, der Solltemperatur, einer Differenz einer gegenwärtigen Regeltemperatur zur Solltemperatur und/oder der Umgebungstemperatur kann die Kreislaufregelung die jeweilige Kompressordrehzahl des ersten Kompressors und/oder des zweiten Kompressors, die Ventilator-drehzahl des Ventilators an der Kühlkomponente und/oder einen Öffnungsgrad der Expansionseinrichtung regeln.

[0138] Die Kreislaufregelung kann ausgebildet sein, eine Solltemperatureingabe mit einer erfassten Temperatur des Rotorkessels zu vergleichen und eine Temperaturdifferenz zu bestimmen. Ferner kann die Kreislaufregelung ausgebildet sein, bei Überschreiten eines Differenzschwellwerts durch die Temperaturdifferenz die Kompressordrehzahl anzupassen, die Ventilator-drehzahl anzupassen und/oder den Öffnungsgrad der Expansionseinrichtung anzupassen. Der Differenzschwellwert kann in dem Bereich von 1 K bis 10 K liegen, vorzugsweise beträgt der Differenzschwellwert 5 K. Vorzugsweise kann die Kompressordrehzahl, die Ventilator-drehzahl und/oder der Öffnungsgrad der Expansionseinrichtung jeweils um 20 % reduziert respektive erhöht werden. Die prozentuale Änderung kann sich auf einen jeweiligen Maximalwert, d.h. eine Kompressorenddrehzahl, eine Ventilatorenddrehzahl und einen maximalen Öffnungswinkel beziehen.

[0139] Die Kreislaufregelung kann ferner ausgebildet sein, zu erfassen, ob eine über die Solltemperatureingabe ausgelöste Ansteuerung, insbesondere eine entsprechende Öffnung, der Expansionseinrichtung eine Überhitzung vor dem ersten Kompressor reduziert bzw. aufhebt, kann die Ansteuerung auf Basis der Solltemperatureingabe unterbunden sein. Entsprechend kann die Kreislaufregelung ausgebildet sein, eine Überhitzung zu erfassen und mit einer Überhitzung kleiner als 1 K die Ansteuerung abzubrechen. Alternativ kann die Kreislaufregelung ausgebildet sein, die Expansionseinrichtung, bzw. das entsprechende Ventil, derart anzusteuern, dass das entsprechende Ventil vollständig schließt. Dadurch kann vorteilhafterweise der optimale Hochdruck eingestellt werden.

[0140] Die Kreislaufregelung kann insbesondere ausgebildet sein, die Öffnungsgradveränderung der Expansionseinrichtung mit einer zeitlichen Verzögerung, vorteilhafterweise mit einem Offset von 30 s zur Veränderung der Kompressordrehzahl, durchführen.

[0141] Die Kreislaufregelung kann ferner ausgebildet sein, eine Temperaturdifferenz einer Kühlkomponentenausgangstemperatur an einem Ausgang der Kühlkomponente und der Umgebungstemperatur zu erfassen und bei Erreichen einer Temperaturdifferenz von +3 K eine Anpassung der Ventilator-drehzahl, welche auf einer geänderten Solltemperatureingabe basiert, zu unterbinden. Vorteilhafterweise ist die Kreislaufregelung ausgebildet, eine Änderung der Ventilator-drehzahl ab einer Temperaturdifferenz von +5 K durchzuführen. Wird durch die 20% Änderung der Ventilator-drehzahl keine Verbesserung in einen Temperaturdifferenzbereich von < 5 K erreicht, kann die Anpassung der Ventilator-drehzahl erneut durchgeführt werden. Erst dann erfolgt die Änderung auf der nächsten Regelstufe. Hierbei kann die Kreislaufregelung ausgebildet sein, eine Anpassung der Kompressordrehzahl als eine erste Regelstufe durchzuführen, eine Anpassung der Ventilator-drehzahl als eine zweite Regelstufe durchzuführen und eine Anpassung des Öffnungsgrads der Expansionseinrichtung als eine dritte Regelstufe durchzuführen. Hierbei kann die Kreislaufregelung ausgebildet sein, die Regelstufen in der Reihenfolge erste Regelstufe, zweite Regelstufe und dritte Regelstufe auszuführen.

[0142] Mit einer Abweichung der Regeltemperatur > 3 K kann mit Ablauf des Regelzyklus mit einer jeweiligen 20%-Stufe ein weiterer Regelzyklus mit einer jeweiligen 10%-Stufe mittels der Kreislaufregelung durchgeführt werden. Auch die 10%-Stufe kann sich auf einen jeweiligen Maximalwert, d.h. eine Kompressorenddrehzahl, eine Ventilatorenddrehzahl und einen maximalen Öffnungswinkel beziehen. Dadurch kann der Vorteil erreicht werden, dass die Regeltemperatur schrittweise der Solltemperatur angenähert werden kann. Ein abschließender Regelzyklus kann mit einer Regelstufe in dem Bereich von 1% bis 5%, vorzugsweise mit 2%, durchgeführt werden.

[0143] Mittels den beschriebenen Ausführungsformen lassen sich verschiedene Vorteile erzielen.

[0144] So kann zum Beispiel der Applikationsbereich eines entsprechenden Systems (und einer Zentrifuge, die ein solches System aufweist), erweitert werden. Eine solche Erweiterung kann sich aus dem besonderen zweistufigen Design i.V.m. R744 (also CO₂) ergeben. Beispielsweise kann es so möglich sein, den Applikationsbereich auf eine Umgebungstemperatur von bis zu 40°C zu erweitern. Beispielsweise können mit einer einstufigen, vollhermetischen Anlage i.V.m. R744 und bei Verdampfungsdrücken in dem Bereich von 10 bar bis 30 bar, maximale Betriebsdrücke von 75 bar erreicht werden, was in etwa 35 °C entspricht.

[0145] Die obere Einsatzgrenze für einen hermetischen, einstufigen Verdichter ist der transkritische Bereich. D.h. generell können einstufige Verdichter dauerhaft nur im subkritischen Bereich eingesetzt werden, aufgrund der begrenzten Druckdifferenz. Ausführungsformen der vorliegenden Technologie überwinden dies, indem das Kältemittel CO₂ in Verbindung mit zwei Verdichtern, die in Reihe geschaltet sind, verwendet wird, sodass keine Beschränkung auf den subkritischen Bereich gegeben ist und das System auch im transkritischen Bereich betrieben werden kann. Insbesondere kann mit einem einzelnen Kompressor die erreichbare Druckdifferenz von der unteren Stufe zur oberen Stufe in Bezug auf Verdampfungsdrücke in einem Bereich von 10 bar bis 30 bar zu gering sein. Der Hochdruck kann von der Umgebungstemperatur abhängen. Vorteilhafterweise ist mit der Verwendung von zumindest 2 Kompressoren auch bei erhöhten Umgebungstemperaturen, insbesondere bei Umgebungstemperaturen über 30 °C, ein geringer Niederdruck erreichbar.

[0146] Die Verwendung von zwei Kompressoren, die in Reihe geschaltet sind, kann aus den folgenden Erwägungen gegenüber der Verwendung von einem einzelnen Kompressor - insbesondere bei der Verwendung von CO₂ als Kältemittel - vorteilhaft sein.

[0147] Bei Kompressoren sind unter anderen die folgenden technischen Kenngrößen von Belang:

- Geometrischer Volumenstrom, bestimmt durch das Produkt von Grundfläche des Kompressionszylinders Höhe des Kompressionszylinders und Drehzahl pro Sekunde des Kompressorantriebs;
- Tatsächlich gemessener Volumenstrom;
- Liefergrad, welcher abhängig vom Druckverhältnis (Eingangsdruck zu Ausgangsdruck), vom Schadraum und/oder von Undichtigkeiten sein kann.

[0148] Der Liefergrad kann durch einen volumenstrombezogener Gütegrad mitbestimmt sein. Der volumenstrombezogene Gütegrad beschreibt die Rückexpansion in den konstruktivbedingten Schad- bzw. Totraum (z.B. Abstand Kolben, Zylinderdeckel). Der tatsächliche Volumenstrom verringert sich durch Rückexpansion in den Schadraum. Je höher der Hochdruck ist, desto mehr Kältemittel mit höherer Enthalpie expandiert zurück in den Schad- bzw. Totraum (beim Beginn der Abwärtsbewegung des Kolbens und Starten des Ansaugzyklus). Dieses Kältemittel wird bei der Abwärtsbewegung des Kolbens expandiert. Das von der Niederdruckseite eingesaugte Kältemittel, so wie das rückexpandierte Kältemittel mischen sich. So wird die Enthalpie beim Beginn der Verdichtung erhöht und die Kompressorausgangstemperatur steigt. Letzteres zeigt sich durch eine Parallelverschiebung der Verdichtungslinie hin zu höheren Enthalpien in einem log(p)-h-Diagramm.

[0149] Ferner kann der Liefergrad von einem Wandungsgütegrad mitbestimmt sein. Der Wandungsgütegrad beschreibt, inwieweit einströmendes Gas von der Niederdruckseite vor der Verdichtung durch Sekundäreffekte, beispielsweise Erwärmung an einer Zylinderwandungen, Dampfreibung etc., erwärmt wird. Diese Erwärmung wird bevorzugt gering gehalten, denn sie verringert die Dichte und damit den tatsächlichen Volumenstrom.

[0150] Zudem kann der Liefergrad von dem Lässigkeitsgrad mitbestimmt sein. Lässigkeitsverluste steigen mit zunehmendem Verdichtungsdruck und verringern sich mit steigender Kompressordrehzahl, da dann weniger Zeit für Dampfaustausch zur Verfügung stehen kann.

[0151] Der volumenstrombezogene Gütegrad und der Wandungsgütegrad korrelieren negativ mit dem Druckverhältnis, der Lässigkeitsgrad korreliert mit dem Verdichtungsdruck.

[0152] Steigende Druckverhältnisse in einer einstufigen Verdichtung verringern den Liefergrad bis zu dem Punkt, wo die Verdichtungsdrucktemperatur sehr stark ansteigt und die Enthalpiezunahme während der polytropen Verdichtung weit über die der isentropen Verdichtung hinaus geht. Die Verdichtung läuft dann unter einer deutlichen Entropiezunahme ab, was irreversible Verluste während der Verdichtung verdeutlicht. Das verringert die Kälteleistung und erhöht den Verschleiß. Die Verwendung von zwei Kompressoren in Reihe kann gegenüber einem einzelnen Kompressor folgende Vorteile erreichen: Für beide Kompressorstufen ist das Druckverhältnis als korrelativer Treiber der Verluste verringert und man kann in der Mitteldruckstufe eine Abkühlung herbeiführen, was den Liefergrad verbessert und die Verluste bei der Verdichtung verringert.

[0153] Die Entropiezunahme während der Verdichtung lässt sich auch über das Polytropenverhältnis = dh/dy beschreiben. Abhängig von der spezifischen Strömungsarbeit kann das Polytropenverhältnis wie folgt definiert werden

$$\kappa / (\kappa - 1) \times \left(\frac{\ln T_2 / T_1}{\ln P_2 / P_1} \right)$$

. 1 indiziert einen Wert vor dem Kompressor und 2 indiziert einen Wert nach dem Kompressor Entsprechend kann eine Enthalpiezunahme je Verdichtung bei kleinerem Druckverhältnis sinken. Die Entropiezunahme bei einer Verdichtung ist höher als bei einer doppelten Verdichtung, aufgrund der o.g. mechanischen und kältetechnischen Phänomene, sowie des Stoffverhaltens als Folge der niedrigeren Vortemperaturen und -drücke.

[0154] Außerdem können die Ansaugzustände im Niederdruck und Mitteldruck derart unterschiedlich sein, dass auch die Aufteilung in zwei Kompressoren vorteilhaft ist: Das Volumen am Ausgang des Kompressors ist sehr hoch, d.h. hier wird ein großes Hubvolumen benötigt. Die Antriebsleistung kann aufgrund der verringerten Druckdifferenz kleiner aus-

fallen, als sie das bei einer einstufigen Verdichtung müsste. Die gleichen Erwägungen gelten auch für die zweite Stufe, nur das hier das Volumen kleiner und die Antriebsleistung größer ist.

[0155] Darüber hinaus ist es durch Ausführungsformen der Technologie möglich, eine optimale Kälteleistung zu erreichen, indem ein optimaler Hochdruck eingestellt wird. Der optimale Hochdruck im Kältekreis (Hochdruckwert für optimale Kälteleistung), der maßgeblich von der Umgebungstemperatur (bzw. der Temperatur am Gaskühlerausgang) abhängig ist, kann durch die zweistufige Verdichtung in höheren Umgebungstemperaturen erst erreicht werden. In Abhängigkeit von einem vorbestimmten Niederdruck und dem daraus resultierenden Druckverhältnis zum optimalen Hochdruck kann ein einstufiger Verdichter möglicherweise den optimalen Hochdruck nie oder nur temporär wirtschaftlich und mit großem Wirkungsgrad erreichen. Das bedeutet, um maximale Kälteleistung mit einer Zentrifuge und ihren Betriebsbedingungen (teilweise bis 40 °C) zu erreichen, ist ein zweistufiger Kältekreis von Vorteil. Der maximale Hub zwischen Nieder- und Hochdruck aktueller einstufiger Kompressoren beträgt üblicherweise 40 bis 60 bar in vollhermetischer Konfiguration (wobei der transkritische Bereich nur temporär befahren wird), wobei die Nutzung von vollhermetischen Verdichtern vorteilhaft ist, denn ein halbhermetischer Kompressor, kann im Innenraum, wo Zentrifugen überwiegend betrieben werden, kritisch sein (schädigende physiologische Wirkungen von CO₂ auf den menschlichen Organismus).

[0156] Wie bereits beschrieben sind Ausführungsformen der Technologie insbesondere darauf gerichtet, dass das Kühlsystem in einer Zentrifuge verwendet wird. Eine solche Verwendung kann auch hinsichtlich der Wärmelast vorteilhaft sein. Eine Zentrifuge ist hinsichtlich der Wärmelast unterschiedlich zu anderen Anwendungen und profitiert deshalb von einer zweistufigen Verdichtung. Die Wärmelast in einer Zentrifuge ist dynamisch (im Unterschied zu anderen Anwendungen eines Verdichtungs-Entspannungs-Kältekreises), während die Anwendung in einem Kühlschranks oder Tiefkühlschranks eher als statisch angesehen werden kann. Der Bediener kann bei einem Kühlschrank oder Tiefkühlschrank maximal die Tür offenlassen und den Kühlschrank mit Verzögerung schließen. Die Verdampfungstemperatur ist immer in einem relativ engen Bereich. Beim Offenlassen der Tür kann die geforderte Kälteleistung kurz schwanken. In einer Zentrifuge hingegen können die Wärmelasten dauerhaft variabel sein, durch die unterschiedlich eingesetzten Rotoren (Typ, Drehzahl, Solltemperatureinstellung durch den Bediener, Unwucht, Beladung). Insbesondere die Anwendung einer variablen Nacheinspritzung zur Regulierung der Heißgastemperatur am Kompressorausgang ist daher vorteilhaft notwendig, um variable Lasten am Verdampfer Rechnung zu tragen.

[0157] In Ausführungsformen der beschriebenen Technologie kann ein Sanftanlauf bzw. ein separater Anlauf bereits gestellt werden. In den Ausführungsformen, in denen das System Teil einer Zentrifuge ist, kann hierüber die Zentrifugationsqualität erhöht werden. In anderen Worten bietet ein R744 Kompressor Vorteile hinsichtlich des Anlaufverhaltens. Durch die stufenlose Regelung beider Verdichter unabhängig voneinander, können Vibrationen, die sich auf die Proben und die Zentrifugationsqualität bzw. Anwenderwahrnehmung auswirken können, verringert werden. Ein Softanlauf, d.h. den zweistufigen Verdichter für 60-120 Sekunden nach dem Startvorgang mit einer geringen Beschleunigung zu betreiben, wirkt sich positiv auf die Zentrifugationsqualität, das Zentrifugat und Anwenderwahrnehmung aus (insbesondere bei zwei Kompressionskammern in einem Verdichter). Generell kann es für den Kompressor eine festgelegte Startdrehzahl geben, die den Kompressor erst starten lässt, wenn eine gewisse Frequenz- oder Spannungsschwelle überschritten ist. D.h. der Kompressor springt sanft an (niedrige Schwellen- bzw. Erregungsdrehzahl) und läuft dann mit niedriger Drehzahl an. Die Beschleunigung der Drehzahl soll idealerweise klein sein (beispielsweise 8/s je 10 Sekunden oder weniger, d.h. eine Beschleunigung von 8 Umdrehungen/s pro Sekunde ist die Schwellen-Beschleunigungsrate für eine Unterscheidung zwischen sanfter und schneller Beschleunigung des Kompressors). Eine kleinere Beschleunigungsrate hat geringere Erschütterungen im Gerät zur Folge.

[0158] Darüber hinaus erlauben es Ausführungsformen der Technologie, den Bedienerkomfort zu erhöhen mittels einer stufenlosen Lüfterregelung basierend auf Kompressorbeschleunigungsrate. Abhängig von der Kompressor-Beschleunigungsrate kann die Lüfterdrehzahl gesteuert werden (mehr Drehzahl des Kompressors hat mehr Last am Gaskühler bzw. Verflüssiger zur Folge). Das bedeutet, dass der Lüfter als stufenlos regelbarer Lüfter ausgeführt sein kann. Dieser Lüfter kann mit der oben beschriebenen, sanft ansteigenden Kennlinie angefahren werden (wie die Kennlinie des Kompressors). Die Kennlinie des Lüfters kann der des Verdichters vorauslaufen, um eine Leistungsreserve zu haben (d.h. bevor der Verdichter beschleunigt wird, wird erst der Lüfter beschleunigt und dann der Kompressor nachgezogen). Vorteilhaft an dieser Art der Regelung ist der lastangepasste Einsatz des Lüfters, der einen geringeren Primärenergieeinsatz zur Folge hat. Die Regelung kann ferner den Vorteil einer Verringerung von Überschwingern des Druckverhältnisses von Hochdruck zu Mitteldruck erreichen. Mit einer Leistungsreduzierung des Lüfters kann vorteilhafterweise eine Schallemission des Lüfters reduziert sein.

[0159] Ausführungsformen der beschriebenen Technologie erlauben es auch, die Kältekreisbetriebsbedingungen als Funktion der Umgebungstemperatur (abhängig von variabler Wärmelast des Rotors und der Aufstellbedingungen) einzustellen. In anderen Worten kann beim R744-Kreis ein Bezug einer Lüfterdrehzahl auf die gemessene Umgebungstemperatur (um das Gerät) am Gaskühler-Austritt hergestellt werden. Es sollte verstanden werden, dass die Kühleinrichtung insbesondere einen Lüfter umfassen kann und die Lüfterdrehzahl die Drehzahl dieses Lüfters bezeichnet. Wenn die Umgebungstemperatur geringer ist (beispielsweise unter 22°C), dann kann der Lüfter am Gaskühler langsamer

laufen. Wenn die Umgebungstemperatur größer ist (beispielsweise größer als 24°C), kann der Lüfter schneller drehen als bei 23°C. Das heißt, dass das Fenster um die ideale Umgebungstemperatur von 23°C beispielsweise 2 Kelvin betragen kann, jeweils 1 Kelvin nach oben und 1 Kelvin nach unten, in der der Lüfter mit einer Idealdrehzahl läuft. Von dieser Drehzahl kann je nach Schwankung der Umgebungstemperatur stufenlos nach oben bzw. nach unten abgewichen werden. So wird die Leistung des Gaskühlers schrittweise erhöht, um die erhöhte Umgebungstemperatur zu berücksichtigen. Die erhöhte Umgebungstemperatur führt zu einer geringeren Temperaturdifferenz zwischen Kühlmedium und Kältemittel und somit zu geringerer Leistung. Die erhöhte Lüfterdrehzahl bei einer Abweichung von 23°C kann dies kompensieren.

[0160] Weiter kann abhängig von der Umgebungstemperatur (um das Gerät) der für die Kälteleistung am Verdampfer optimale Hochdruck durch ein elektronisches oder thermostatisches Expansionsventil eingestellt werden, das sich im Rückführabschnitt befindet. Das kann last- und somit zentrifugenspezifisch die Leistung für spezielle Umgebungs- aber auch Anwendungsbedingungen erhöhen. Das heißt, die Umgebungstemperatur einer Zentrifuge hängt auch von der Abwärme (rotorspezifisch) und dem Aufstellungsort ab. Somit kann durch die Regelung der Lüfter und die Verknüpfung mit den Kompressoren bzw. mit dem Kompressor auf etwaige Änderungen in der Umgebungstemperatur reagiert werden. Einer erhöhten Umgebungstemperatur (und damit einem höheren optimalen Hochdruck) kann begegnet werden, indem das Ventil geschlossen, die Drehzahl des Verdichters erhöht, bzw. die Drehzahl des Lüfters reduziert wird. Durch diese Maßnahmen kann der Hochdruck erhöht und somit die optimale Leistung erreicht werden.

[0161] In Ausführungsformen der vorliegenden Technologie kann das System mit einer Regelungssystematik betrieben werden, die an die zweistufige CO₂-Kälteanlage angepasst ist. Hierbei sollte verständlich sein, dass die zweistufige CO₂-Kälteanlage das Kühlsystem bezeichnet, in dem CO₂ als Kältemittel verwendet wird und bei dem die zwei Kompressoren in Reihe angeordnet sind. Insbesondere kann die Regelungssystematik bei einer Zentrifuge verwendet werden, die das entsprechende Kühlsystem aufweist. Hierdurch kann eine relativ genaue Temperaturregelung erzielt werden.

[0162] Wird beispielsweise eine Drehzahl oder eine Solltemperatur an einem Bedienfeld im Betrieb vom Bediener verändert, hat die gegenwärtige Kesseltemperaturabweichung, die Umgebungstemperatur und das Ausmaß der Drehzahlveränderung durch den Bediener Einfluss auf

- die Drehzahl(en) des/der Kompressors/en,
- die Drehzahl des Lüfters bzw. Gaskühler bzw.
- den Öffnungsgrad des Ventils, das für die Rückführung verantwortlich ist.

[0163] Insbesondere kann ein solches System mit der folgende Regelsystematik betrieben werden: Ist die neue Solltemperatur > 5 Kelvin nach oben oder nach unten abweichend von der gegenwärtig gemessenen Temperatur (in der nachfolgend beschriebenen Reihenfolge),

- wird die Drehzahl des Kompressors um einen Wert (beispielsweise 20% von der Enddrehzahl) verringert oder vergrößert,
- wird die Lüfterdrehzahl um einen Wert (beispielsweise 20% von der Enddrehzahl) verringert oder vergrößert,
- wird der Öffnungsgrad des Ventils um einen Wert (beispielsweise 20% vom maximalen Öffnungswinkel) vergrößert oder verringert.

[0164] Mit einer Temperaturzunahme (d.h. eine Erhöhung der Solltemperatur) kann das Ventil geöffnet werden und mit einer Temperaturabnahme (d.h. eine Verringerung der Solltemperatur) kann das Ventil geschlossen werden. Eine Überhitzung kann mit einem Öffnen des Ventils verringert werden. Entsprechend kann ein Massenstrom und damit eine Kühlleistung erhöht sein.

[0165] Würde die Öffnung des Ventils zum Verschwinden der Überhitzung vor der ersten Verdichtungsstufe führen, wird dieser Regelvorgang für das Ventil nicht durchgeführt (beispielsweise wenn die Überhitzung bereits < 1 Kelvin ist). Die Öffnungsgradveränderung des Ventils kann mit einem Offset von beispielsweise 30 Sekunden zur Veränderung der Kompressordrehzahl durchgeführt werden.

[0166] Ist die Temperatur am Ausgang des Gaskühlers +3 Kelvin von der Umgebungstemperatur entfernt, wird die Änderung der Drehzahl nicht durchgeführt. Die Änderung der Lüfterdrehzahl wird erst ab 5 Kelvin Abweichung der Gaskühlerausgangstemperatur durchgeführt. Wird durch die 20% Änderung keine Verbesserung in den Abweichungsbereich von < 5 Kelvin erreicht, wird die Änderung der Lüfterdrehzahl erneut durchgeführt. Erst dann erfolgt die Änderung auf der nächsten Änderungsstufe.

[0167] Wenn die Abweichung der Regeltemperatur > 3 Kelvin ist (nachdem der obere Regelzyklus abgelaufen ist), wird der Vorgang von oben wiederholt, mit Anpassungen in 10% Schritten (von den maximalen Öffnungsgraden bzw. Drehzahlen der Bauteile).

[0168] So kann sich der Solltemperatur schrittweise genähert werden. Die letzte Iterationsschleife kann auf ein Ausmaß

von 5% abgesenkt werden. Wenn entsprechend schnelle Regler und Bauteile verwendet werden, kann diese Schwelle ggf. auf 2% gesetzt werden. Diesbezüglich kann eine Abwägung zwischen Schalthäufigkeit und Regelgüte getroffen werden, da das oftmalige Schalten Bauteile stärker abnutzen kann.

[0169] Insgesamt ist auch verständlich, dass die erfindungsgemäße zweistufige Verdichtung gegebenenfalls zu relativ hohen Heißgasendtemperatur, respektive einer hohen Temperatur am Ausgang der zweiten Verdichtungsstufe, führen kann. Daher werden in Ausführungsformen der Erfindung Mittel bereitgestellt, die diese Temperatur verringern - beispielsweise der Rückführabschnitt bzw. die zweite Kühlkomponente.

[0170] Nachfolgend sind Systemausführungsformen genannt. Diese Ausführungsformen werden mit dem Buchstaben "S", gefolgt von einer Zahl, abgekürzt. Wann immer im Folgenden auf "Systemausführungen" Bezug genommen wird, sind diese Ausführungsformen gemeint.

S1. Kühlsystem (10), wobei das Kühlsystem (10) aufweist:

einen Verdampfer (11),
einen ersten Kompressor (12),
einen zweiten Kompressor (14),
eine Kühlkomponente (16),
eine Expansionseinrichtung (18) und

ein Leitungssystem (20', 21'), das den Verdampfer (11), den ersten Kompressor (12), den zweiten Kompressor (14), die Kühlkomponente (14) und die Expansionseinrichtung (18) miteinander verbindet, wobei das Kühlsystem (10) ein Kältemittel beinhaltet, wobei das Kältemittel Kohlendioxid ist, wobei der erste Kompressor (12) und der zweite Kompressor (14) in Reihe zueinander angeordnet sind.

S2. Kühlsystem (10) nach der vorstehenden Ausführungsform, wobei die Kühlkomponente (16) einen Gaskühler und/oder einen Verflüssiger umfasst.

S3. Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen, wobei das Kühlsystem ausgebildet ist, einen transkritischen Dampfkompansionszyklus auszuführen.

S4. Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen, wobei das Kühlsystem ausgebildet ist, einen subkritischen Dampfkompansionszyklus auszuführen.

S5. Kühlsystem nach einer der vorstehenden Ausführungsformen, wobei das Kühlsystem eine Kälteleistung von 10 W bis 100 kW, vorzugsweise von 500 W bis 10 kW aufweist.

S6. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen, wobei das Kühlsystem einen Hauptkreislauf aufweist, wobei der Hauptkreislauf aufweist: den Verdampfer (11), den ersten Kompressor (12), den zweiten Kompressor (14), die Kühlkomponente (16), die Expansionseinrichtung (18) und zumindest einen Teil des Leitungssystems (20', 21'); und wobei das Kältemittel in dem Hauptkreislauf vorhanden ist.

S7. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen, wobei die Kühlkomponente (16) prozessabwärts des zweiten Kompressors (14) und prozessaufwärts der Expansionseinrichtung (18) angeordnet ist.

S8. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen, wobei die Kühlkomponente (16) dazu eingerichtet ist, das Kältemittel prozessabwärts des zweiten Kompressors (14) zu kühlen.

S9. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen, wobei das Kühlsystem (10) derart eingerichtet ist, dass wenn das Kältemittel den ersten Kompressor mit einer Ausgangstemperatur verlässt, das Kältemittel dem zweiten Kompressor mit einer Eingangstemperatur zugeleitet wird, die geringer ist als die Ausgangstemperatur.

S10. Das Kühlsystem (10) nach der vorstehenden Ausführungsform, wobei sich die Eingangstemperatur und die Ausgangstemperatur um eine Temperaturdifferenz unterschieden, die größer als 1 K, vorzugsweise größer als 2 K ist, weiter vorzugsweise größer als 3 K.

S11. Das Kühlsystem (10) nach der vorstehenden Ausführungsform, wobei der erste Kompressor (12) und/oder der

zweite Kompressor als einer der folgenden Kompressortypen ausgebildet ist:

- Scroll-Verdichter;
- Hubverdichter;
- Schraubenverdichter;
- Rotationskolbenverdichter.

5

S12. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S6, wobei das Kühlsystem (10) einen Rückführabschnitt (40) aufweist, der an einer ersten Verbindungsstelle (42) und an einer zweiten Verbindungsstelle (44) fluidisch mit dem Hauptkreislauf verbunden ist, wobei sich die zweite Verbindungsstelle (44) im Hauptkreislauf prozessabwärts des ersten Kompressors (12) und prozessaufwärts des zweiten Kompressors (14) befindet.

10

S13. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsformen S9 und S12, wobei das Kühlsystem (10) derart eingerichtet ist, dass das Kältemittel im Rückführabschnitt (40) an der zweiten Verbindungsstelle (44) eine geringere spezifische Enthalpie hat als das Kältemittel im Hauptkreislauf unmittelbar prozessaufwärts der zweiten Verbindungsstelle (44).

15

S14. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S12 umfassend einen Wärmetauscher (48), wobei der Wärmetauscher (48) eine Primärseite umfasst, welche in dem Hauptkreislauf prozessabwärts der Kühlkomponente (16) angeordnet ist, und wobei der Wärmetauscher (48) ausgebildet ist, das Kältemittel im Hauptkreislauf zu kühlen.

20

S15. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S14, wobei der Wärmetauscher (48) ausgebildet ist, das Kältemittel auf eine vorbestimmte Temperatur unterhalb einer Ausgangstemperatur der Kühlkomponente (16) an der ersten Verbindungsstelle (42) und/oder in dem Leitungsabschnitt (208) bereitzustellen.

25

S16. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S15, wobei der Wärmetauscher (48) prozessaufwärts der Expansionseinrichtung (18) in dem Hauptkreislauf angeordnet ist.

30

S17. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S15, wobei der Wärmetauscher (48) eine Sekundärseite umfasst, welche in dem Rückführabschnitt (40) angeordnet ist, und wobei der Wärmetauscher (48) ausgebildet ist, mittels der Primärseite Wärme von dem Kältemittel aufzunehmen und die aufgenommene Wärme mittels der Sekundärseite an das Kältemittel abzugeben, um das Kältemittel in dem Rückführabschnitt (40) zu erwärmen.

35

S18. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsformen S12 und S17, wobei die Sekundärseite im Rückführabschnitt (40) prozessaufwärts der zweiten Verbindungsstelle (44) angeordnet ist.

40

S19. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen, wobei der erste Kompressor (12) ausgebildet ist, das Kältemittel von einem primären Druckbereich in einen sekundären Druckbereich zu verdichten, wobei der sekundäre Druckbereich in Bezug auf den primären Druckbereich höhere Drücke aufweist.

45

S20. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S19, wobei der zweite Kompressor (14) ausgebildet ist, das Kältemittel von dem sekundären Druckbereich auf einen tertiären Druckbereich zu verdichten, wobei der tertiäre Druckbereich in Bezug auf den sekundären Druckbereich höhere Drücke aufweist.

50

S21. Das Kühlsystem (10) nach der vorstehenden Ausführungsform und mit den Merkmalen der Ausführungsform S12 umfassend eine weitere Expansionseinrichtung (46), welche in dem Rückführabschnitt angeordnet ist, wobei die weitere Expansionseinrichtung (46) ausgebildet ist, das Kältemittel von dem tertiären Druckbereich in den sekundären Druckbereich abzusenken.

55

S22. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsformen S12 und S21, wobei die weitere Expansionseinrichtung (46) prozessaufwärts der Sekundärseite des

Wärmetauschers (48) und/oder prozessabwärts der ersten Verbindungstelle (42) angeordnet ist.

- 5 S23. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S6 umfassend einen weiteren Wärmetauscher (50), wobei der weitere Wärmetauscher (48) eine Primärseite umfasst, welche in dem Hauptkreislauf prozessaufwärts der Expansionseinrichtung (18) und/oder prozessabwärts der Kühlkomponente (16) angeordnet ist, und wobei der weitere Wärmetauscher (50) ausgebildet ist, das Kältemittel zu kühlen.
- 10 S24. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S14 und S23, wobei der weitere Wärmetauscher prozessabwärts der Primärseite des Wärmetauschers (48) in dem Hauptkreislauf angeordnet ist.
- 15 S25. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S23, wobei der weitere Wärmetauscher (50) eine Sekundärseite umfasst, welche prozessabwärts des Verdampfers (11) und/oder prozessaufwärts des ersten Kompressors (12) in dem Hauptkreislauf angeordnet ist, und wobei der weitere Wärmetauscher (50) ausgebildet ist, mittels der Primärseite Wärme von dem Kältemittel aufzunehmen und die aufgenommene Wärme mittels der Sekundärseite an das Kältemittel abzugeben, um das Kältemittel prozessaufwärts des ersten Kompressors (12) zu erwärmen.
- 20 S26. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S23, wobei der weitere Wärmetauscher (50) ein Leitung-zu-Leitung Wärmetauscher ist.
- 25 S27. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen umfassend einen Flüssigkeitsabscheider (30), welcher ausgebildet ist, das Kältemittel in einem flüssigen Zustand abzuscheiden, und wobei der Flüssigkeitsabscheider (30) in dem Hauptkreislauf prozessabwärts des Verdampfers (11) und/oder prozessaufwärts des ersten Kompressors (12) angeordnet ist.
- 30 S28. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S25, wobei der Flüssigkeitsabscheider (30) prozessaufwärts der Sekundärseite des weiteren Wärmetauschers (50) angeordnet ist.
- 35 S29. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen umfassend einen Filtertrockner (34), welcher ausgebildet ist, Wasseranteile aus dem Kältemittel zu entfernen, und wobei der Filtertrockner (34) prozessabwärts der Kühlkomponente (16) und/oder prozessaufwärts der Expansionseinrichtung (18) in dem Hauptkreislauf angeordnet ist.
- 40 S30. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsformen S14, S23 und S29, wobei der Filtertrockner (34) zwischen der Primärseite des Wärmetauschers (48) und der Primärseite des weiteren Wärmetauschers (50) in dem Hauptkreislauf angeordnet ist.
- 45 S31. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsformen S12 und S29, wobei der Filtertrockner (34) prozessabwärts der Verbindungstelle (42) angeordnet ist.
- 50 S32. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen umfassend einen Mitteldruckbehälter (70), welcher ausgebildet ist, das Kältemittel in eine Flüssigphase und eine Gasphase zu teilen, wobei der Mitteldruckbehälter (70) prozessabwärts der Kühlkomponente (16) und/oder prozessaufwärts der Expansionseinrichtung (18) in dem Hauptkreislauf angeordnet ist.
- 55 S33. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsformen S23 und S32, wobei der Mitteldruckbehälter (70) als ein Drei-Wege-Sammler ausgebildet ist und aufweist:
- einen Behältereingang (71), welcher ausgebildet ist Kältemittel in den Mitteldruckbehälter (70) zu leiten und prozessabwärts der Kühlkomponente (16) angeordnet ist; - einen ersten Behälterausgang (72), welcher ausgebildet ist, flüssiges Kältemittel aus dem Mitteldruckbehälter in den Leitungsabschnitt (208) zu leiten und prozessaufwärts des Verdampfers (11) und/oder prozessaufwärts der Expansionseinrichtung (18) angeordnet ist; - einen zweiten Behälterausgang (73), welcher den Mitteldruckbehälter (70) an den Rückführabschnitt (40) koppelt und ausgebildet ist, gasförmiges Kältemittel in den Rückführabschnitt (40) zu leiten.
- S34. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungs-

EP 4 160 109 A1

formen S6, S14 und S33, wobei der Behältereingang (71) im Hauptkreislauf prozessabwärts des Wärmetauschers (48) angeordnet ist.

- 5 S35. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsformen S29 und S33, wobei der Behältereingang (71) prozessabwärts des Filtertrockners (34) angeordnet ist.
- S36. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsformen S12 und S32, wobei die erste Verbindungsstelle (42) durch den Mitteldruckbehälter (70) gebildet ist.
- 10 S37. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen umfassend eine Hochdruckregelungsvorrichtung (74), welche ausgebildet ist, den Druck des Kältemittels zu reduzieren, insbesondere den Druck von dem tertiären Druckbereich in den sekundären Druckbereich zu reduzieren oder den Druck innerhalb des tertiären Druckbereichs zu reduzieren.
- 15 S38. Das Kühlsystem (10) nach der vorstehenden Ausführungsformen und mit den Merkmalen der Ausführungsform S32, wobei die Hochdruckregelungsvorrichtung (74) prozessaufwärts des Mitteldruckbehälters (70) angeordnet ist.
- 20 S39. Das Kühlsystem (10) nach einer der 2 vorstehenden Ausführungsformen und mit den Merkmalen der Ausführungsformen S14 und S29, wobei die Hochdruckregelungsvorrichtung (74) prozessabwärts der Kühlkomponente (16), des ersten Wärmetauschers (48) und/oder des Filtertrockners (34) in dem Hauptkreislauf angeordnet ist.
- 25 S40. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsformen S37, wobei die Hochdruckregelungsvorrichtung (74) auf Basis eines Drucks regelbar ist, insbesondere auf Basis eines Drucks des Kältemittels prozessabwärts der Kühlkomponente (16).
- 30 S41. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsformen S12 und S37, wobei die Hochdruckregelungsvorrichtung (74) auf Basis eines Drucks prozessabwärts des ersten Wärmetauschers (48) und/oder prozessaufwärts der Hochdruckregelungsvorrichtung (74) regelbar ist.
- S42. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsformen S29 und S37, wobei die Hochdruckregelungsvorrichtung (74) auf Basis eines Drucks prozessaufwärts des Filtertrockners (34) regelbar ist.
- 35 S43. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen, wobei die Expansionseinrichtung (18) eine Überhitzungsregelungsvorrichtung ist und ausgebildet ist, eine Überhitzung des Kältemittels an dem Verdampfer (11) zu regeln.
- 40 S44. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S43, wobei die Expansionseinrichtung (18) ausgebildet ist, einen Druck des Kältemittels zu regeln, insbesondere einen Druck des Kältemittels von dem sekundären Druckbereich in den primären Druckbereich zu senken oder von dem tertiären Druckbereich in den primären Druckbereich zu senken.
- 45 S45. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen, wobei die Expansionseinrichtung (18) auf Basis eines Drucks regelbar ist, insbesondere auf Basis eines Drucks des Kältemittels prozessabwärts des Verdampfers (11) und/oder prozessaufwärts des ersten Kompressors (12).
- 50 S46. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S23, wobei die Expansionseinrichtung (18) auf Basis eines Drucks prozessaufwärts des weiteren Wärmetauschers (50) regelbar ist.
- S47. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S32, wobei die Expansionseinrichtung (18) auf Basis eines Parameterwertes des Mitteldruckbehälters (70) regelbar ist, um einen Fluss des Kältemittels von dem Leitungsabschnitt (208) in den Leitungsabschnitt (210) zu regeln.
- 55 S48. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform

EP 4 160 109 A1

S47, wobei der Parameter ein Füllstand, ein Druck, eine Temperatur und/oder ein Aggregatzustand des Kältemittels in dem Mitteldruckbehälter ist.

- 5 S49. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S47, wobei die Expansionseinrichtung (18) ausgebildet ist, den Parameterwert an dem Mitteldruckbehälter (70) zu erfassen.
- 10 S50. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen umfassend eine zweite Kühlkomponente (32), welche ausgebildet ist, das Kältemittel zu kühlen und prozessabwärts des ersten Kompressors (12) und/oder prozessaufwärts des zweiten Kompressors (14) angeordnet ist.
- 15 S51. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsformen S12 und S50, wobei die zweite Kühlkomponente (32) prozessaufwärts der Verbindungsstelle (44) angeordnet ist.
- 20 S52. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S50, wobei die zweite Kühlkomponente (32) ausgebildet ist, das Kältemittel zu kühlen, wenn das Kältemittel eine Umgebungstemperatur überschreitet, um das Kältemittel an einem Ausgang der zweiten Kühlkomponente (32) gasförmig, innerhalb des sekundären Druckbereichs und mit einer reduzierten Temperatur bereitzustellen.
- 25 S53. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsformen S50, wobei die zweite Kühlkomponente (32) ausgebildet ist, das Kältemittel auf eine vorbestimmte Temperatur zu kühlen, sodass das Kältemittel prozessabwärts des zweiten Kompressors (14) eine Temperatur unterhalb einer Grenztemperatur aufweist.
- S54. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsformen S53, wobei die Grenztemperatur derart bestimmt ist, dass das Kältemittel eine unterkritische Temperatur aufweist.
- 30 S55. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsformen S50, wobei die zweite Kühlkomponente (32) einen Ventilator umfasst, welcher ausgebildet ist, einen Luftstrom an der zweiten Kühlkomponente (32) zu erzeugen, um dem Kältemittel Wärme zu entziehen.
- 35 S56. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsformen S32 und S50, wobei der zweite Behälterausgang (73) über einen Leitungsabschnitt (216) mit der zweiten Kühlkomponente (32) verbunden ist.
- 40 S57. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S56, wobei ein erster Kältemittelfluss von der zweiten Kühlkomponente (32) zu einer weiteren Verbindungsstelle (52) fließt und ein zweiter Kältemittelfluss von dem zweiten Behälterausgang (73) zu der weiteren Verbindungsstelle (52) fließt, und wobei der erste Kältemittelfluss und der zweite Kältemittelfluss zu einem kombinierten Kältemittelfluss an der weiteren Verbindungsstelle (52) vermischt sind, und wobei der vermischte Kältemittelfluss über den Leitungsabschnitt (214) zu der zweiten Verbindungsstelle (44) und/oder zu dem zweiten Kompressor (14) fließt.
- 45 S58. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S12, wobei über die zweite Verbindungsstelle (44) in dem sekundären Druckbereich Kältemittel aus dem Rückführabschnitt (40) in die Leitung (204) einspritzbar ist.
- 50 S59. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsformen S14 und S50, wobei der Wärmetauscher (48) ausgebildet ist, das Kältemittel an der zweiten Verbindungsstelle (44) mit einer ersten spezifischen Enthalpie bereitzustellen, und wobei die zweite Kühlkomponente (32) ausgebildet ist, das Kältemittel an der zweiten Verbindungsstelle (44) mit einer zweiten spezifischen Enthalpie bereitzustellen, wobei die erste spezifische Enthalpie kleiner ist als die zweite spezifische Enthalpie.
- 55 S60. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S12, wobei ein Kältemittelfluss in dem Rückführabschnitt (40) und ein weiterer Kältemittelfluss in der Leitung (214) an der zweiten Verbindungsstelle (44) zu einem kombinierten Kältemittelfluss vermischt sind, und wobei

der vermischte Kältemittelfluss an dem zweiten Kompressor (14) bereitgestellt ist.

- 5 S61. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S50, wobei die zweite Kühlkomponente (32) ausgebildet ist, auf Basis einer Umgebungstemperatur und/oder auf Basis einer Grenztemperatur des Verdampfers (11) das Kältemittel zu kühlen.
- S62. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen umfassend eine Kreislaufregelung, welche ausgebildet ist, einen Fluss des Kältemittels zu regeln.
- 10 S63. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S62, wobei die Kreislaufregelung ausgebildet ist, ein Öffnen der Expansionseinrichtung (18) auf Basis von einem Druck des Kältemittels, insbesondere eines Hochdrucks prozessabwärts der Kühlkomponente (16) und/oder prozessabwärts des zweiten Kompressors (14) zu regeln, wobei in Abhängigkeit von einem Öffnungsgrad der Expansionseinrichtung (18) eine Entspannung des Kältemittels prozessabwärts der Expansionseinrichtung (18) steuerbar ist.
- 15 S64. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S14 und S62, wobei die Kreislaufregelung ausgebildet ist, ein Öffnen der Expansionseinrichtung (18) auf Basis von einem Druck des Kältemittels prozessabwärts des Wärmetauschers (48) zu regeln.
- 20 S65. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S62, wobei die Expansionseinrichtung (18) ein Ventil aufweist und ausgebildet ist, auf Basis einer Regelungsansteuerung durch die Kreislaufregelung eine Öffnung des Ventils in einem Bereich von vollständig geschlossen bis vollständig geöffnet schrittweise oder kontinuierlich anzupassen.
- 25 S66. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S62, wobei die Kreislaufregelung ausgebildet ist, ein Öffnen der Expansionseinrichtung (18) auf Basis von einer Temperatur des Kältemittels prozessaufwärts des ersten Kompressors (12) und/oder prozessabwärts des Verdampfers (11), insbesondere einer Temperatur an einem Verdampferausgang, zu regeln.
- 30 S67. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen, wobei in Abhängigkeit von einem Öffnungsgrad der Expansionseinrichtung (18) eine Entspannung des Kältemittels prozessabwärts der Expansionseinrichtung (18) steuerbar ist.
- 35 S68. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S62, wobei die Kreislaufsteuerung ausgebildet ist, einen vorbestimmten Temperaturwert zu bestimmen und ein Öffnen der Expansionseinrichtung (18) bei einem Überschreiten des vorbestimmten Temperaturwerts durch eine erfasste Temperatur, insbesondere eine Verdampferausgangstemperatur, zu regeln.
- 40 S69. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S21 und S62, wobei die Kreislaufregelung ausgebildet ist, ein Öffnen der weiteren Expansionseinrichtung (46) in Abhängigkeit von einer Temperatur des Kältemittels prozessabwärts des ersten Kompressors (12) und/oder prozessabwärts des zweiten Kompressors (14), insbesondere einer Kompressoraustrittstemperatur, respektive Heißgastemperatur, zu regeln, wobei in Abhängigkeit von einem Öffnungsgrad der weiteren Expansionseinrichtung (46) eine Entspannung des Kältemittels prozessabwärts der weiteren Expansionseinrichtung (46) steuerbar ist.
- 45 S70. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsformen S37 und S62, wobei die Kreislaufregelung ausgebildet ist, ein Öffnen der Hochdruckregelungsvorrichtung (74) in Abhängigkeit von einem Druck des Kältemittels prozessabwärts des zweiten Kompressors (14) und/oder prozessaufwärts der Hochdruckregelungsvorrichtung (74) zu regeln.
- 50 S71. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsformen S14, S29 und S70, wobei die Kreislaufregelung ausgebildet ist, die Hochdruckregelungsvorrichtung (74) in Abhängigkeit von einem Druck prozessabwärts des Wärmetauschers (48) und/oder prozessaufwärts des Filtertrockners (34) zu regeln.
- 55 S72. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen umfassend eine Kompressorantriebs-

EP 4 160 109 A1

vorrichtung, welche ausgebildet ist, den ersten Kompressor (12) und/oder den zweiten Kompressor (14) anzutreiben.

- 5 S73. Das Kühleystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S72, wobei die Kompressorantriebsvorrichtung ausgebildet ist, eine jeweilige Kompressordrehzahl des ersten Kompressors (12) und/oder des zweiten Kompressors (14) in Abhängigkeit von einem Druck des Kältemittels, insbesondere eines Verdampfungsdrucks, und/oder einer Temperatur des Kältemittels, insbesondere einer Verdampfungstemperatur, prozessabwärts der Expansionseinrichtung (18) zu regeln, wobei in Abhängigkeit von einer Kompressordrehzahl eine Verdichtungsleistung des ersten Kompressors (12) und/oder des zweiten Kompressors (14) steuerbar ist.
- 10 S74. Das Kühleystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsformen S62 und S72, wobei der erste Kompressor (12), der zweite Kompressor (14) und/oder die Kompressorantriebsvorrichtung jeweils einen Antrieb aufweisen und ausgebildet ist/sind, eine Drehzahl des jeweiligen Antriebs auf Basis einer Regelungsansteuerung durch die Kreislaufregelung in einem vorbestimmten Bereich von einer Minimaldrehzahl bis zu einer Maximaldrehzahl schrittweise oder kontinuierlich anzupassen.
- 15 S75. Das Kühleystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S62, wobei die Kreislaufregelung ausgebildet ist, die Kompressordrehzahl auf Basis einer vorbestimmten Verdampfungstemperatur zu regeln.
- 20 S76. Das Kühleystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S62, wobei die Kreislaufregelung ausgebildet ist, die Kompressordrehzahl zu erhöhen, um die Verdampfungstemperatur zu senken und/oder ausgebildet ist die Kompressordrehzahl zu verringern, um die Verdampfungstemperatur zu erhöhen.
- 25 S77. Das Kühleystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen, wobei die Kühlkomponente (16) einen Ventilator umfasst, welcher ausgebildet ist zur Kühlung einen Luftstrom durch die Kühlkomponente (16) zu leiten.
- 30 S78. Das Kühleystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen, wobei die Kühlkomponente (16) einen Kältemittel-Sole-Wärmetauscher umfasst, welcher ausgebildet ist, Wärme von dem Kältemittel zu einer Sole zu übertragen.
- 35 S79. Das Kühleystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S62 und S77, wobei die Kreislaufregelung ausgebildet ist, eine Ventilator-drehzahl des Ventilators in Abhängigkeit von einer Temperatur des Kältemittels prozessabwärts der Kühlkomponente (16), insbesondere einer Kühlkomponentenaustrittstemperatur, zu regeln, wobei in Abhängigkeit von einer Lüfterdrehzahl eine Kühlleistung der Kühlkomponente (16) steuerbar ist.
- 40 S80. Das Kühleystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S62 und S77, wobei der Ventilator ausgebildet ist, die Ventilator-drehzahl auf Basis einer Regelungsansteuerung durch die Kreislaufregelung in einem vorbestimmten Bereich von einer Minimaldrehzahl bis zu einer Maximaldrehzahl schrittweise oder kontinuierlich anzupassen.
- 45 S81. Das Kühleystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S62 und S77, wobei die Kreislaufregelung ausgebildet ist, den Ventilator in Abhängigkeit von einer Wärmelast in einer Mehrzahl von Stufen zu regeln, wobei in einer ersten Regelstufe die Ventilator-drehzahl null ist, in einer zweiten Regelstufe der Ventilator mit einer ersten Drehzahl größer null rotiert und/oder in einer dritten Regelstufe mit einer zweiten Drehzahl rotiert, wobei die zweite Drehzahl größer ist als die erste Drehzahl.
- 50 S82. Das Kühleystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S62, wobei die Kreislaufregelung ausgebildet ist, den Druck in dem tertiären Druckbereich derart zu regeln, dass eine Kühlleistung maximiert ist.
- 55 S83. Das Kühleystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S62, wobei die Kreislaufregelung ausgebildet ist, eine Überhitzung an dem Verdampfer (11) mittels der Expansionseinrichtung (18) derart zu regeln, dass die Überhitzung minimal ist, wobei die Überhitzung vorzugsweise zumindest 3 K an einem Kompressoreingang beträgt.

- 5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
- S84. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsformen S21 und S62, wobei die Kreislaufregelung ausgebildet ist, eine jeweilige Kompressorausgangstemperatur an dem ersten Kompressor (12) und/oder an dem zweiten Kompressor (14) mittels der weiteren Expansionseinrichtung (46) derart zu regeln, dass eine vorbestimmte Grenztemperatur an dem Kompressorausgang unterschritten ist.
- S85. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S12, wobei an der zweiten Verbindungsstelle (44) abgekühltes Kältemittel aus dem Rückführungsabschnitt (44) eingespritzt werden kann, um eine Kompressorausgangstemperatur zu senken.
- S86. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S62, wobei die Kreislaufregelung ausgebildet ist, eine erste Kompressordrehzahl des ersten Kompressors und eine zweite Kompressordrehzahl des zweiten Kompressors jeweils stufenlos zu regeln, und wobei die Kreislaufregelung ausgebildet ist, die erste Kompressordrehzahl und die zweite Kompressordrehzahl jeweils unabhängig voneinander zu regeln.
- S87. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S62, wobei die Kreislaufregelung ausgebildet ist, den ersten Kompressor und/oder den zweiten Kompressor in einer Startphase mit einem jeweiligen vorbestimmten Beschleunigungswert auf eine jeweilige vorbestimmte Solldrehzahl zu beschleunigen, wobei eine Beschleunigung vorzugsweise kleiner als oder gleich $8 \text{ Umdrehungen/s}^2$ ist.
- S88. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsformen S77 und S87, wobei die Kreislaufregelung ausgebildet ist, eine Drehzahl des Ventilators in Abhängigkeit von einer Beschleunigung des ersten Kompressors und/oder einer Beschleunigung des zweiten Kompressors zu regeln, insbesondere stufenlos zu regeln.
- S89. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S88, wobei eine Steuerungskennlinie des Ventilators einer Steuerungskennlinie des ersten Kompressors und/oder des zweiten Kompressors vorauseilt.
- S90. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsformen S62 und S77, wobei die Kreislaufregelung ausgebildet ist, eine Ventilator Drehzahl des Ventilators in Abhängigkeit einer Umgebungstemperatur, insbesondere proportional zu der Umgebungstemperatur, zu regeln, wobei die Umgebungstemperatur am Laborgerät, vorzugsweise an einem Luftaustritt der Kühlkomponente erfassbar ist.
- S91. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S62, wobei die Kreislaufregelung ausgebildet ist, in Abhängigkeit von einer Auslasstemperatur der Kühlkomponente und/oder einer Umgebungstemperatur die Expansionseinrichtung zu regeln, um einen Druck in dem tertiären Druckbereich, insbesondere einen optimalen Hochdruck, einzustellen.
- S92. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S91, wobei die Expansionseinrichtung ein thermostatisches Ventil oder ein elektronisches Expansionsventil umfasst.
- S93. Das Kühlsystem (10) nach einer der vorstehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform S62, wobei die Kreislaufregelung ausgebildet ist, eine Änderung der Umgebungstemperatur zu erfassen und die Expansionseinrichtung, die Kompressordrehzahlen und/oder eine Ventilator Drehzahl auf Basis der Umgebungstemperaturänderung zu regeln.
- [0171]** Nachfolgend sind Laborgerätausführungsformen genannt. Diese Ausführungsformen werden mit dem Buchstaben "L", gefolgt von einer Zahl, abgekürzt. Wann immer im Folgenden auf "Laborgerätausführungen" Bezug genommen wird, sind diese Ausführungsformen gemeint.
- L1. Laborgerät (300) mit einem Kühlsystem.
- L2. Laborgerät nach der vorstehenden Ausführungsform, wobei das Kühlsystem nach einer der vorstehenden Sys-

tem-Ausführungsformen ausgebildet ist.

L3. Laborgerät nach der vorhergehenden Ausführungsform, wobei das Laborgerät eine Zentrifuge ist und/oder das Laborgerät ein Tischgerät oder ein Standgerät ist.

L4. Laborgerät nach einer der vorhergehenden Ausführungsformen, wobei das Laborgerät einen Rotorkessel (301) umfasst, an dem ein/der Verdampfer (11) angeordnet ist.

L5. Laborgerät nach einer der vorhergehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform L4, wobei der Verdampfer eine Verdampferwicklung (302) umfasst, welche an einer Außenseite des Rotorkessels angeordnet ist, wobei die Verdampferwicklung durch eine umlaufende Leitung gebildet ist.

L6. Laborgerät nach einer der vorhergehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform L5, wobei die Verdampferwicklung eine zumindest einseitig abgeflachte Form, insbesondere eine D-Form, aufweist um eine Flachseite zu bilden, und wobei die Flachseite an der Außenfläche des Rotorkessels anliegt, um einen Flächenkontakt zu bilden.

L7. Laborgerät nach einer der vorhergehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform L6, wobei die Verdampferwicklung einen Außenrohrdurchmesser in einem Bereich von 5 mm bis 20 mm, vorzugsweise 10 mm oder 16 mm aufweist, und/oder wobei die Verdampferwicklung eine Wandstärke von 0,5 mm bis 5 mm, vorzugsweise eine Wandstärke von 1 mm, aufweist.

L8. Laborgerät nach einer der vorhergehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsform L4, wobei der Rotorkessel eine Seitenmantelfläche, eine Bodenmantelfläche und eine Bodenfläche aufweist, wobei die Seitenmantelfläche zylindrisch ausgebildet ist, und wobei die Bodenmantelfläche ein gekrümmtes Profil aufweist und ausgebildet ist, die Seitenmantelfläche mit der Bodenfläche zu verbinden.

L9. Laborgerät nach einer der vorhergehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsformen L5 und L8, wobei die Verdampferwicklung an der Seitenmantelfläche, der Bodenmantelfläche und/oder der Bodenfläche angeordnet ist.

L10. Laborgerät nach einer der vorhergehenden Ausführungsformen mit den Merkmalen der Ausführungsformen L5 und L8, wobei die Verdampferwicklung an der Seitenmantelfläche einen Flächenkontakt bildet.

Kurze Beschreibung der Figuren

[0172] Die vorliegende Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, die Ausführungsformen der Erfindung veranschaulichen. Diese Ausführungsformen stellen die vorliegende Erfindung beispielhaft dar und schränken diese nicht ein.

Fig. 1A zeigt eine schematische Ansicht eines Kühlsystems gemäß einer Ausführungsform;

Fig. 1B zeigt ein Enthalpie-Druck-Diagramm eines Zyklus einer Ausführungsform des Kühlsystems gemäß Fig. 1A;

Fig. 2A zeigt eine schematische Ansicht eines Kühlsystems gemäß einer Ausführungsform;

Fig. 2B zeigt ein Enthalpie-Druck-Diagramm eines Zyklus einer Ausführungsform des Kühlsystems gemäß Fig. 2A;

Fig. 3A zeigt eine schematische Ansicht eines Kühlsystems gemäß einer Ausführungsform;

Fig. 3B zeigt ein Enthalpie-Druck-Diagramm eines Zyklus einer Ausführungsform des Kühlsystems gemäß Fig. 3A;

Fig. 4A zeigt eine schematische Ansicht eines Kühlsystems gemäß einer Ausführungsform;

Fig. 4B zeigt ein Enthalpie-Druck-Diagramm eines Zyklus einer Ausführungsform des Kühlsystems gemäß Fig. 4A;

Fig. 5A zeigt eine schematische Ansicht eines Kühlsystems gemäß einer Ausführungsform;

Fig. 5B zeigt ein Enthalpie-Druck-Diagramm eines Zyklus einer Ausführungsform des Kühlsystems gemäß Fig. 5A;

Fig. 6A zeigt eine schematische Ansicht eines Kühlsystems gemäß einer Ausführungsform;

5 Fig. 6B zeigt ein Enthalpie-Druck-Diagramm eines Zyklus einer Ausführungsform des Kühlsystems gemäß Fig. 6A;

Fig. 7 zeigt eine schematische Ansicht eines Kühlsystems gemäß einer Ausführungsform;

Fig. 8 zeigt eine schematische Querschnittsansicht eines Rotorkessels gemäß einer Ausführungsform;

10

Fig. 9A zeigt eine perspektivische Querschnittsansicht eines Rotorkessels gemäß einer Ausführungsform;

Fig. 9B zeigt eine perspektivische Querschnittsansicht eines Rotorkessels gemäß einer Ausführungsform.

15

Detaillierte Beschreibung der Figuren

[0173] Es wird darauf hingewiesen, dass nicht alle Zeichnungen alle Bezugszeichen tragen. Stattdessen sind in einigen der Zeichnungen einige der Bezugszeichen der Kürze und Einfachheit der Darstellung halber weggelassen worden. Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben.

20

[0174] Ausführungsformen der Erfindung ermöglichen die effiziente Verwendung von CO₂ als Kältemittel in einem Kühlsystem. Insbesondere ist das Kühlsystem für eine Wärmeabfuhr in einem Laborgerät 300, im Speziellen in einer Zentrifuge, ausgelegt. Hierbei kann durch Wärmeströme und/oder Kältemittelströme zusätzlich zum Hauptkreislauf ein Betriebsmodus des Kühlsystems optimiert und entsprechend eine Effizienz des Kühlsystems gesteigert sein.

25

[0175] Die Figurvarianten A und B der Figuren 1 bis 6 bilden jeweils eine Einheit aus schematischem Kreislaufdiagramm und korrespondierendem log-p-Enthalpie-Diagramm. Hierbei sind Prozesspunkte, welche einen Zustand des Kältemittels beschreiben in dem Kreislaufdiagramm und in dem log-p-Enthalpie-Diagramm als Zahl mit einer Rechteckmarkierung gekennzeichnet.

30

[0176] Auf der x-Achse (siehe zum Beispiel Fig. 1B) ist die spezifische Enthalpie des verwendeten Kältemittels (CO₂) aufgetragen und auf der y-Achse der Druck, wobei die y-Achse logarithmisch ist. Das Diagramm verfügt über eine glockenförmige Linie, deren linker Bereich mit dem Bezugszeichen 802 und deren rechter Bereich mit dem Bezugszeichen 804 versehen ist.

35

[0177] In dem Bereich, der von dieser glockenförmigen Linie 802, 804 begrenzt ist, also in dem Bereich, der in der Darstellung unter dieser Linie 802, 804 angeordnet ist, liegt das Kältemittel als Nassdampf vor - also in einer Mischung aus dem flüssigen und dem gasförmigen Zustand. Links des Linienbereichs 802 liegt das Kältemittel in der flüssigen Phase vor, und der Linienbereich 802 wird auch als Siedelinie bezeichnet. Rechts des Linienbereichs 804 liegt das Kältemittel in der Gasphase vor, und der Linienbereich 804 wird auch als Taulinie bezeichnet.

40

[0178] Siedelinie 802 und Taulinie 804 treffen sich im kritischen Punkt. Oberhalb dieses Punktes (also bei einem Druck, der den kritischen Druck übersteigt) kann kein Unterschied zwischen Gas- und Flüssigphase gemacht werden, sodass dieser Bereich auch als transkritischer Bereich bezeichnet wird.

[0179] In dem Diagramm der Fig. 1B ist durch gerade Linien ein Diagramm dargestellt, das einen Kälteprozess nach einer Ausführungsform der Erfindung darstellt. Dieser Kälteprozess kann in dem Ausführungsbeispiel der Fig. 1a verwendet werden.

45

[0180] Das Kühlsystem kann eine Mehrzahl an Sensoren 60 aufweisen, welche jeweils ausgebildet sind einen Druck und/oder eine Temperatur zu erfassen. Entsprechend können die Temperatur und der Druck innerhalb des Systems 10 an unterschiedlichen Orten bestimmen werden. In Figur 1A und 1B ist ein Kühlsystem mit zweistufiger Verdichtung gezeigt.

50

[0181] Das Kühlsystem 10 wird auch einfach als System 10 bezeichnet. Das System 10 weist das Folgende auf: einen Verdampfer 11, einen ersten Kompressor 12, einen zweiten Kompressor 14, eine erste Kühlkomponente 16 und eine erste Expansionseinrichtung 18, die beispielsweise als Expansionsventil 18 ausgestaltet sein kann und im Folgenden auch einfach als Expansionsventil 18 bezeichnet wird. In einer Ausführungsform können der erste Kompressor 12 und der zweite Kompressor in einem Gehäuse, insbesondere in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet sein. Für den ersten Kompressor 12 und den zweiten Kompressor 14 kann ein gemeinsamer Antrieb vorgesehen sein, welcher ausgebildet ist, sowohl den ersten Kompressor 12, als auch den zweiten Kompressor 14 anzutreiben.

55

[0182] Darüber hinaus weist das Kühlsystem 10 ein Leitungssystem 20 auf, das eine Mehrzahl von Leitungen 20', 21', wobei das Zeichen ' für eine Ziffer steht, umfasst, die weitere Komponenten des Systems 10 miteinander verbinden.

[0183] Das System 10 bildet einen ersten Kreislauf, in dem der Verdampfer 11, der erste Kompressor 12, der zweite Kompressor 14, die Kühlkomponente 16 und das Expansionsventil 18 in dieser Reihenfolge miteinander verbunden

sind, wobei der Verdampfer 11 dieser Reihenfolge folgend wieder mit dem Expansionsventil 18 verbunden ist - dieser Kreislauf wird auch als Hauptkreislauf bezeichnet. Insbesondere sind der erste Kompressor 12 und der zweite Kompressor 14 zwischen dem Verdampfer 11 und der Kühlkomponente 16 angeordnet und in Reihe zueinander vorgesehen.

[0184] Ferner weist das System 10 einen Filtertrockner 34 auf, der zwischen der ersten Kühlkomponente 16 und dem Expansionsventil 18 angeordnet ist. Der Filtertrockner 34 kann prozessaufwärts der Expansionseinrichtung 18 in dem Hauptkreislauf angeordnet sein.

[0185] In diesem Dokument werden an verschiedenen Stellen die Begriffe "prozessaufwärts" und "prozessabwärts" verwendet. Beispielsweise mit Blick auf Fig. 1a dürfte klar sein, dass das Kühlmittel gegen den Uhrzeigersinn läuft, sodass beispielsweise die Expansionseinrichtung 18 prozessabwärts des Filtertrockners 34 angeordnet ist.

[0186] Gleichzeitig ist zu beachten, dass es sich bei dem verwendeten Prozess um einen Kreisprozess handelt. Nachdem das Kältemittel die Expansionseinrichtung 18 verlassen hat, wird es nach einer gewissen Zeit durch den Verdampfer 11, die beiden Kompressoren 12 und 14 und die Kühlkomponente 16 gelaufen sein und dann wieder zum Filtertrockner 34 kommen.

[0187] Es dürfte aber verständlich sein, dass die prozesstechnische Verbindung zwischen vom Filtertrockner 34 zur Expansionseinrichtung 18 kürzer ist als von der Expansionseinrichtung 18 (über die weiteren Elemente) zum Filtertrockner 34. Für die Begriffe "prozessaufwärts" und "prozessabwärts" wird in diesem Dokument daher die kürzere prozesstechnische Verbindung zwischen zwei Elementen betrachtet. So ist - wie besprochen - beispielsweise die Expansionseinrichtung 18 prozessabwärts des Filtertrockners 34 angeordnet und der Verdampfer 11 ist prozessabwärts der Expansionseinrichtung 18 angeordnet. Ein weiteres Beispiel ist der zweite Kompressor 14, der prozessabwärts des Verdampfers 11 angeordnet ist.

[0188] So in diesem Dokument gesagt wird, dass ein Element zwischen zwei weiteren Elementen angeordnet ist, so ist damit die prozesstechnische Anordnung zwischen der prozesstechnisch kürzeren Verbindung der weiteren Elemente gemeint. In dem in Fig. 1A gezeigten Ausführungsbeispiel ist der erste Kompressor 12 in diesem Sinne beispielsweise zwischen dem Verdampfer 11 und dem zweiten Kompressor 14 angeordnet.

[0189] Mittels des ersten Kompressors 12 kann eine erste Verdichtung und mittels des zweiten Kompressors 14 kann eine zweite Verdichtung erreicht werden, um das Kältemittel von einem niedrigen Druck am Ausgang des Verdampfers 11 auf einen Hochdruck am Ausgang des zweiten Kompressors 14 zu bringen. Die Kühlkomponente 16 realisiert eine Enthalpiereduzierung, um an dem Verdichter 11 aufgenommene Wärme aus dem System 10 abzuführen. Mit dieser Abkühlung kann das Kältemittel von einer Gasphase in eine Flüssigphase übergehen. Die Expansionseinrichtung 18 kann nun durch eine Druckreduzierung das Kältemittel von der Flüssigphase in die Nassdampfphase überführen und an dem Verdampfer zur Wärmeaufnahme bereitzustellen.

[0190] Mit Bezug auf die Figuren 1A und 1B kann der Kühlkreislauf wie folgt beschrieben werden: Die Prozesspunkte sind in den entsprechenden Figuren A und B jeweils durch eine Zahl in einem Rechteck einheitlich gekennzeichnet. Der Prozesspunkt 1 liegt prozessabwärts des Verdampfers 11 und prozessaufwärts der ersten Kompressors 12. An diesem Prozesspunkt 1 liegt das Kältemittel gasförmig, mit einer relativ geringeren Temperatur und mit einem relativ geringen Druck vor.

[0191] Am Prozesspunkt 2, der zwischen dem ersten Kompressor 12 und dem zweiten Kompressor 14 liegt, ist das Kältemittel gasförmig, bei einem mittleren Druck und bei einer mittleren Temperatur.

[0192] Am Prozesspunkt 3, der zwischen dem zweiten Kompressor 14 und der Kühlkomponente 16 liegt, liegt das Kältemittel bei einem hohen Druck und bei einer hohen Temperatur vor. Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist das Kältemittel an diesem Prozesspunkt 3 transkritisch. Es wird aber darauf hingewiesen, dass das keine Notwendigkeit ist und das Kältemittel im Prozesspunkt 3 auch gasförmig vorliegen kann. In diesen Ausführungsformen ist der Prozesspunkt 3 (bzw. allgemein der Prozesspunkt zwischen dem zweiten Kompressor 14 und der Kühlkomponente 16) im Diagramm nach Fig. 1B bezüglich des Druckes also unterhalb des kritischen Druckes angeordnet, und dies gilt auch für die weiteren Ausführungsbeispiele.

[0193] Mittels der Kühlkomponente 16 wird das Kältemittel abgekühlt, sodass es am Prozesspunkt 4, der zwischen der Kühlkomponente 16 und der Expansionseinrichtung 18 liegt, bei einem hohen Druck und einer geringen Temperatur vorhanden ist. Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist das Kältemittel am Prozesspunkt 4 transkritisch. Allerdings ist es auch hier möglich, dass das Kältemittel an diesem Prozesspunkt 4 (bzw. allgemein am Prozesspunkt zwischen der Kühlkomponente 16 und der Expansionseinrichtung 18) in einer anderen Phase vorliegt und zwar insbesondere als Nassdampf. Abermals ist in solchen Ausführungsformen das Phasendiagramm nach Fig. 1B derart, dass der Druck beim entsprechenden Prozesspunkt (hier: Prozesspunkt 4) geringer ist als der kritische Druck, und diese Möglichkeit besteht auch bei den nachfolgend beschriebenen Ausführungsformen.

[0194] Mittels der Expansionseinrichtung 18 kann das Kältemittel sodann entspannt werden, sodass es zwischen der Expansionseinrichtung 18 und dem Verdampfer 11 am Prozesspunkt 5 als Nassdampf, bei geringem Druck und geringer Temperatur vorliegt.

[0195] Mittels des Verdampfers 11 kann das Kältemittel sodann verdampft werden, sodass es zwischen dem Verdampfer 11 und dem ersten Kompressor 12 beim Prozesspunkt 1 bei geringem Druck und bei geringer Temperatur

vorliegt. Im gezeigten Ausführungsbeispiel liegt das Kältemittel bei Prozesspunkt 1 gasförmig vor.

[0196] Die in den Figuren 2A und 2B gezeigte Ausführungsform ist gegenüber dem Kühlsystem gemäß der Figuren 1A und 1B um Folgendes ergänzt (d.h. sie weist zusätzlich auf): einen Flüssigkeitsabscheider 30, der zwischen dem Verdampfer 11 und dem ersten Kompressor 12 angeordnet ist.

[0197] Zusätzlich zum beschriebenen Kreislauf weist das System 10 ferner einen Rückführabschnitt 40 auf, der fluidisch an zwei Verbindungsstellen 42 und 44, die auch einfach als Verbindungen bezeichnet werden, mit dem Kreislauf verbunden ist. Die erste Verbindungsstelle 42 ist zwischen der ersten Kühlkomponente 16 und dem Expansionsventil 18 vorgesehen und die zweite Verbindungsstelle 44 ist zwischen dem ersten Kompressor 12 und dem zweiten Kompressor 14 vorgesehen.

[0198] Der Rückführabschnitt 40 weist ferner eine Expansionseinrichtung 46 auf (die auch als Expansionsventil 46 bezeichnet wird) und durchläuft einen Wärmetauscher 48, der ebenfalls von dem beschriebenen Kreislauf und insbesondere von einer Leitung 208 durchlaufen wird, die die Kühlkomponente 16 mit dem Expansionsventil 18 verbindet.

[0199] Das System 10 umfasst einen weiteren Wärmetauscher 50, der einerseits von der Leitung 208 durchflossen wird und andererseits von der Leitung 202 durchflossen wird, die den Verdampfer 11 mit dem ersten Kompressor 12 verbindet.

[0200] Die weitere Expansionseinrichtung 46 kann insbesondere in Abhängigkeit von einem Hochdruck und/oder einer Heißgastemperatur an einem Ausgang des zweiten Kompressors 14 reguliert sein. Damit kann ein Kältemittelfluss durch den Rückführabschnitt 40 verringert oder erhöht werden, um entsprechend die Heißgastemperatur zu senken oder zu erhöhen. Ferner kann die weitere Expansionseinrichtung 46 eine Nachexpansion des Kältemittels im Hochdruckbereich realisieren. Dadurch kann Kältemittel mit geringerer Enthalpie (bspw. gemäß Prozesspunkt 8 in Fig. 2A/2B) mit Kältemittel mit höherer Enthalpie (bspw. gemäß Prozesspunkt 2 in Fig. 2A/2B) gemischt werden. Durch die Mischung an der zweiten Verbindungsstelle 44 und/oder das Durchfließen des Wärmetauschers 48 kann die Enthalpie erhöht werden, um nasses Saugen, d.h. Ansaugen von Kältemittel mit teilweise flüssiger Phase und/oder Kältemittel in der Nassdampfphase vor dem zweiten Kompressor 14 zu vermeiden oder zumindest die Wahrscheinlichkeit von nassem Ansaugen zu reduzieren.

[0201] Die Expansionseinrichtung 18 kann in Abhängigkeit von einem Druck und/oder einer Temperatur an einem Ausgang des Wärmetauschers 48 reguliert werden. Hierbei kann dieser Druck am Ausgang des Wärmetauschers im Wesentlichen gleich einem Druck am Eingang der Expansionseinrichtung 18 sein.

[0202] Mit Blick auf das Phasendiagramm der Fig. 2B kann zunächst einmal grundsätzlich auf die Beschreibung des Phasendiagramms nach Fig. 1B verwiesen werden, wobei für den Fachmann verständlich sein dürfte, dass sich die Prozesspunkte (unter Beachtung der unten-stehenden Ergänzungen) im Wesentlichen wie folgt entsprechen:

Prozesspunkt Fig. 1B	Prozesspunkt Fig. 2B
1	1
2	2
3	4
4	9
5	10

[0203] Die Ausführungsform der Figuren 2A, 2B weist zusätzlich zum Hauptkreislauf einen Rückführabschnitt 40 auf. Darüber hinaus verfügt diese Ausführungsform unter anderem auch über einen Wärmetauscher 48, der prozessabwärts der Kühlkomponente 16 angeordnet ist. Mittels des Wärmetauschers 48 wird das Kältemittel prozessabwärts der Kühlkomponente 16 weiter abgekühlt, sodass es prozessabwärts davon (bei Prozesspunkt 6) bei einer noch geringeren Temperatur als bei Prozesspunkt 5 vorliegt.

[0204] Im Hauptkreislauf weiter prozessabwärts ist ein weiterer Wärmetauscher 50 angeordnet, der das Kältemittel noch weiter kühlt, sodass es prozessabwärts davon, bei Prozesspunkt 9 (Fig. 2A/2B), bei einer noch geringeren Temperatur vorliegt.

[0205] Mittels des Expansionsventils 18 kann das Kältemittel dann wieder - wie vorstehend beschrieben - expandiert werden und so bei Prozesspunkt 10 als Nassdampf vorliegen.

[0206] Mittels des Verdampfers 11 kann das Kältemittel wiederum verdampft werden. Allerdings ist es möglich, dass die Verdampfung nicht vollständig erfolgt, sodass das Kältemittel direkt prozessabwärts des Verdampfers (bei Prozesspunkt 11, Fig. 2A/2B) nahe der Taulinie vorliegt und flüssige Bestandteile im Kältemittel vorhanden sind. Mittels des prozessabwärts des Verdampfers 11 angeordneten Flüssigkeitsabscheiders 30 kann derartige Flüssigkeit abgeschieden werden, und mittels des bereits beschriebenen Wärmetauschers 50 kann zusätzliche Energie in das Kältemittel zwischen

EP 4 160 109 A1

Verdampfer 11 und erstem Kompressor 12 eingebracht werden, sodass das Kältemittel bei Prozesspunkt 1 gasförmig vorliegt.

[0207] Zwischen den Verbindungsstellen 42 und 44 ist ein Rückführabschnitt 40 angeordnet. Im Rückführabschnitt 40 prozessabwärts der Verbindungsstelle 42 ist eine Expansioneinrichtung 46 angeordnet, die beispielsweise als Expansionsventil ausgestaltet sein kann. Prozessabwärts davon beim Prozesspunkt 7 liegt das Kältemittel beim mittleren Druck als Nassdampf bei relativ geringer Temperatur vor. Durch den Wärmetauscher 48 kann das Kältemittel erwärmt werden. In der hier gezeigten Ausführungsform wird das Kältemittel bis zum Taupunkt erwärmt, allerdings ist es ebenfalls möglich, dass das Kältemittel prozessabwärts des Wärmetauschers 48 (also am Prozesspunkt 8) als Nassdampf oder gasförmig vorliegt. Das System wird insgesamt so betrieben, dass die spezifische Enthalpie, die sich durch die Mischung der Kältemittel bei Verbindung 44 (also am Prozesspunkt 3) ergibt, für den weiteren Kreislaufprozess geeignet ist.

[0208] Die Verwendung des Rückführabschnitts 40 ermöglicht es insgesamt also, eine Nacheinspritzung von Kältemittel bereitzustellen und hierüber die Heißgastemperatur am Ausgang des zweiten Verdichters 14 zu regulieren. Hierüber kann variablen Wärmelasten Rechnung getragen werden.

[0209] Durch den Einsatz der Nacheinspritzung und von einem oder mehreren internen Wärmetauschern kann der COP (Coefficient of Performance oder Leistungszahl) erhöht werden. Der COP kann über das Verhältnis einer Kälteleistung zu einer elektrischen Leistung, insbesondere einer aufgenommenen elektrischen Leistung definiert sein.

[0210] Durch die Nacheinspritzung kann der Prozesspunkt 4 im $\log(p)$ - h -Diagramm (Fig. 3A/3B) weiter nach links, d.h. in Richtung niedrigerer Enthalpie, verschoben werden. Darüber hinaus dürfte verständlich sein, dass das Kältemittel durch den Wärmetauscher 48 am Prozesspunkt 7 eine geringere Enthalpie hat als am Prozesspunkt 6, sodass das Kältemittel nach der isenthalpen (also in Fig. 3B: senkrechten) Entspannung zwischen Prozesspunkten 11 und 12 beim Prozesspunkt 12 bei einer geringeren Enthalpie vorliegt als in dem Fall, dass kein Wärmetauscher vorgesehen ist.

[0211] Der Wärmetauscher 48 kann beispielsweise als Economizer-Wärmetauscher ausgestaltet sein. Er ist vor dem Ventil 18 angeordnet und kann so das Kältemittel weiter unterkühlen. Das kann zu größerer spezifischer Verdampfungsleistung q führen und damit zu einem kleineren benötigten Massenstrom und daraus resultierend niedrigeren Kompressor-drehzahlen. Es ist also möglich, durch die Nacheinspritzung an die benötigte Verdampfungsleistung anzupassen und diese so zu erhöhen.

[0212] Ein weiteres Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird an Hand der Figuren 3A und 3B beschrieben. Das System 10 weist ferner eine zweite Kühlkomponente 32 auf, die zwischen dem ersten Kompressor 12 und dem zweiten Kompressor 14 angeordnet ist.

[0213] In dem Diagramm der Fig. 3b ist ein Kälteprozess abgebildet, welcher durch das Kühlsystem 10 gemäß der in Fig 3A gezeigten Ausführungsform verwendet werden kann. Hierbei entsprechen sich die in rechteckigen Kästen dargestellten Bezugswerte 1 bis 13 in den Figuren 10a und 10b.

[0214] Die Zustände des Kältemittels an den unterschiedlichen Punkten kann wie folgt zusammengefasst werden:

Prozesspunkt	Zustand des Kältemittels
1	gasförmig, niedriger Druck, niedrige Temperatur
2	gasförmig, mittlerer Druck, mittlere Temperatur
3	gasförmig, mittlerer Druck, niedrige Temperatur (geringer als bei 2)
4	gasförmig, mittlerer Druck, niedrige Temperatur (geringer als bei 3)
5	transkritisch, hoher Druck, hohe Temperatur
6	transkritisch, hoher Druck, niedrige Temperatur (geringer als bei 5)
7	transkritisch, hoher Druck, niedrige Temperatur (geringer als bei 6)
8	Nassdampf, mittlerer Druck, niedrige Temperatur
9	gasförmig, mittlerer Druck, niedrige Temperatur
10	transkritisch, hoher Druck, niedrige Temperatur (wie bei 7)
11	transkritisch, hoher Druck, niedrige Temperatur (geringer als bei 10)
12	Nassdampf, geringer Druck, niedrige Temperatur
13	gasförmig, geringer Druck, niedrige Temperatur

[0215] In einigen Ausführungsformen kann das Kältemittel beim Prozesspunkt 5 auch gasförmig. Alternativ oder zu-

sätzlich kann das Kältemittel bei den Prozesspunkten 6, 7, 10 und 11 auch flüssig sein.

[0216] Betrachtet man das Kältemittel am Prozesspunkt 1 (siehe Figuren 3a und 3b), also prozessaufwärts des ersten Kompressors 12, so liegt das Kältemittel gasförmig, bei einem niedrigen Druck und bei einer geringen Temperatur vor.

[0217] Im ersten Kompressor 12 wird das Kältemittel komprimiert, sodass es prozessabwärts des ersten Kompressors 12 (also am Prozesspunkt 2) gasförmig und bei einem mittleren Druck vorliegt. Durch die Kompression erwärmt sich das Kältemittel auch, sodass es bei einer mittleren Temperatur vorliegt.

[0218] In der Kühlkomponente 32 wird das Kältemittel gekühlt, sodass es prozessabwärts davon (am Prozesspunkt 3) gasförmig, bei mittlerem Druck und bei einer niedrigen Temperatur vorliegt (d.h. bei einer geringeren Temperatur als beim Prozesspunkt 2), beispielsweise bei ca. 28°C. Die Kühlkomponente 32 kann insbesondere bei höheren Verdampfungstemperaturen vorgesehen werden.

[0219] Dieses Kältemittel wird mit Kältemittel aus dem Rückführabschnitt 40 gemischt, wobei das Kältemittel aus dem Rückführabschnitt 40 noch kälter ist, sodass das Kältemittel am Prozesspunkt 4, der zwischen der Verbindung 44 und dem zweiten Kompressor 14 ist, gasförmig, bei mittlerem Druck und bei niedriger Temperatur vorliegt, wobei diese Temperatur noch geringer ist als bei Prozesspunkt 3.

[0220] Im zweiten Kompressor 14 wird das Kältemittel weiter komprimiert. Insbesondere findet die Kompression hier derart statt (siehe Fig. 3b), dass das Kältemittel zu einem Druck jenseits des kritischen Druckes komprimiert werden kann. Prozessabwärts des zweiten Kompressors 14 am Prozesspunkt 5, liegt das Kältemittel also transkritisch und bei einem hohen Druck vor (in Ausführungsformen der Erfindung ist es auch möglich, dass das Kältemittel am Prozesspunkt 5 gasförmig vorliegt). Durch die Kompression wurde das Kältemittel darüber hinaus auch erwärmt, sodass es auch bei einer hohen Temperatur vorliegt.

[0221] Mittels der Kühlkomponente 16 wird das Kältemittel gekühlt. Prozessabwärts der Kühlkomponente, bei Prozesspunkt 6, ist das Kältemittel daher transkritisch (in anderen möglichen Ausführungsformen flüssig), bei einem hohen Druck und bei einer geringen Temperatur (wobei diese Temperatur geringer ist als bei Prozesspunkt 5).

[0222] Das Kältemittel kann mittels eines Wärmetauschers 48 weiter gekühlt werden. Prozessabwärts des Wärmetauschers 48, bei Prozesspunkt 7, ist das Kältemittel daher transkritisch (in einigen Ausführungsformen auch flüssig), bei einem hohen Druck und bei einer geringen Temperatur (wobei diese Temperatur noch geringer ist als bei Prozesspunkt 6).

[0223] Folgt man zunächst dem Hauptkreislauf weiter, so wird das Kältemittel prozessabwärts des Prozesspunktes 6 durch den Filtertrockner 34 geführt, der keinen bzw. einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Zustandsgrößen des Kältemittels hat, sodass der Zustand prozessabwärts dieses Trockners 34, beim Prozesspunkt 10, zumindest im Wesentlichen identisch ist zum Zustand am Prozesspunkt 7. An dem Filtertrockner 34 kann ein minimaler Druckverlust auftreten, der jedoch in Bezug auf Druckänderungen durch die Expansionseinrichtung 11 und die Kompressoren 12 und 14 vernachlässigbar ist. Der Filtertrockner 34 kann auch prozessabwärts eines weiteren Wärmetauschers 50, in dem Hauptkreislauf angeordnet sein.

[0224] Im dargestellten Ausführungsbeispiel wird das Kältemittel prozessabwärts des Filtertrockners 34 durch einen Wärmetauscher 50 weiter gekühlt, sodass es prozessabwärts des Wärmetauschers 50 (am Prozesspunkt 11) transkritisch (in einigen Ausführungsformen auch gasförmig), bei hohem Druck und bei einer geringen Temperatur vorliegt (die noch geringer ist als an den Prozesspunkten 7 und 10).

[0225] Weiter abwärts im Prozess wird das Kältemittel durch das Expansionsventil 18 geleitet, hierdurch ausgedehnt und in den Nassdampf überführt. Prozessabwärts des Expansionsventils 18 (also beim Prozesspunkt 12) liegt das Kältemittel also als Nassdampf, bei einem geringen Druck und bei einer geringen Temperatur vor.

[0226] Das Kältemittel wird im Anschluss durch den Verdampfer 11 verdampft, idealerweise also vollständig in den gasförmigen Zustand überführt. Prozessabwärts des Verdampfers 11 (also beim Prozesspunkt 13) liegt das Kältemittel also gasförmig (bzw. gemäß Fig. 10b am Übergang zwischen Nassdampf und gasförmig), bei geringem Druck und bei niedriger Temperatur vor. In Abweichung zu einer idealen Verdampfung kann der Verdampfer das Kältemittel zumindest teilweise lediglich an die Taulinie 804 annähern, respektive genau bis zu dem Taupunkt bringen. Hierbei können die flüssigen Anteile des Kältemittels durch einen Flüssigkeitsabscheider 30 und/oder den weiteren Wärmetauscher 50 abgeschieden und/oder in gasförmiges Kältemittel umgewandelt werden.

[0227] Der Flüssigkeitsabscheider 30 kann prozessabwärts des Verdampfers 11 vorgesehen sein und flüssige Bestandteile zumindest teilweise entfernen, um sicherzustellen, dass diese nicht in prozessabwärts angeordnete Komponenten (und insbesondere nicht in die Kompressoren 12, 14) gelangen. Hierbei können flüssige Bestandteile beispielsweise derart reduziert sein, dass die Bildung von Tröpfchen am Kompressoreingang unterbunden oder zumindest reduziert ist.

[0228] Prozessabwärts des Verdampfers 11 und prozessaufwärts des ersten Kompressors 12 kann das Kältemittel ferner den bereits beschriebenen Wärmetauscher 50 durchlaufen und hierdurch erwärmt werden, sodass prozessabwärts davon, beim Prozesspunkt 1, das Kältemittel gasförmig, bei niedrigem Druck und bei niedriger Temperatur (aber wärmer als beim Prozesspunkt 13) vorliegt, wodurch der Prozesskreislauf geschlossen wird. Insbesondere für den Fall einer unvollständigen Verdampfung im Verdampfer kann hierdurch zusätzlich sichergestellt werden, dass keine bzw.

möglichst wenig Kältemittel im flüssigen Zustand in den prozessabwärts angeordneten Kompressor 12 gelangt.

[0229] In den vorstehenden Absätzen wurde beschrieben, wie das Kältemittel den Hauptkreislauf durchläuft. Zusätzlich dazu kann in Ausführungsformen der Erfindung auch ein weiterer Rückführabschnitt 40 vorgesehen sein. Wie in Fig. 10a zu sehen ist, kann dieser Rückführabschnitt 40 über die Verbindungen 42 und 44 mit dem Hauptkreislauf verbunden sein. Verbindung 42 ist hierbei prozessabwärts des Wärmetauschers 48 und prozessaufwärts des Expansionsventils 18 vorgesehen, und in der gezeigten Ausführungsform prozessaufwärts des Filtertrockners 34. Verbindung 44 ist zwischen dem ersten Kompressor 12 und dem zweiten Kompressor 14 vorgesehen.

[0230] Dem Rückführabschnitt wird also Kältemittel mit dem Zustand im Prozesspunkt 7 zugeführt, wobei dieses Kältemittel transkritisch bei einem hohen Druck und bei einer niedrigen Temperatur ist.

[0231] Das Kältemittel durchläuft im Rückführabschnitt 40 ein Expansionsventil 46, mittels dem der Druck des Kältemittels hin zum mittleren Druck verringert wird. Prozessabwärts des Expansionsventils 46 (beim Prozesspunkt 8) liegt das Kältemittel als Nassdampf vor, bei einem mittleren Druck und bei geringer Temperatur.

[0232] Weiter prozessabwärts im Rückführabschnitt 40 durchläuft das Kältemittel den Wärmetauscher 48, der das Kältemittel erwärmt. Die Erwärmung ist dergestalt, dass das Kältemittel hierdurch verdampft, also in den gasförmigen Zustand überführt wird, oder zumindest an den Taupunkt (also an den Übergang zwischen Nassdampf und Gas) gebracht wird. Auch eine Erwärmung bis kurz vor die Taulinie ist möglich. Die Mischenthalpie aus Prozesspunkt 3 und Prozesspunkt 9 kann idealerweise im gasförmigen Bereich liegen. Hierzu können die Wärmetauscher 32, 48 entsprechend ausgelegt sein und ein Öffnungsgrad des weiteren Expansionsventils 46 zur Regulierung des Verhältnisses des Massenstroms im Rückführabschnitt 40 und des Massenstroms im Hauptkreislauf entsprechend einstellbar sein. Prozessabwärts des Wärmetauschers 48 (also beim Prozesspunkt 9) liegt das Kältemittel also wiederum gasförmig (oder am Übergang Nassdampf zu Gas, möglicherweise aber auch als Nassdampf), bei mittlerem Druck und bei geringer Temperatur vor, da der Energieeintrag über den Wärmetauscher für den Phasenübergang benötigt wird. Insbesondere hat das Kältemittel am Prozesspunkt 9 eine geringere spezifische Enthalpie als am Prozesspunkt 3, sodass die Mischung dieser Kältemittel (siehe Prozesspunkt 4) zu einer Temperaturabsenkung bezogen auf den Prozesspunkt 3 führt.

[0233] Nach der ausführlichen Beschreibung der voranstehenden Ausführungsformen, bei denen der in den jeweiligen Figuren "B" gezeigte Kreisprozess im Detail beschrieben wurde, wird darauf hingewiesen, dass die nachfolgenden Ausführungsformen im Sinne einer kurzen Beschreibung kürzer beschrieben werden. Die vorstehenden Ausführungen bezüglich der entsprechenden Diagramme und bezüglich des entsprechenden Prozesses gelten aber gleichermaßen für die nachfolgend beschriebenen Ausführungsformen und der Fachmann wird diese an Hand der Diagramme und im Zusammenhang mit der ausführlichen voranstehenden Beschreibung verstehen.

[0234] Gemäß einer in Fig. 4A gezeigten Ausführungsform des Kühlsystems 10 und dem korrespondierenden Mollier-Diagramm gemäß Fig. 4B kann die erste Verbindungsstelle durch einen Mitteldruckbehälter 70 ergänzt, respektive ersetzt sein. Hierbei kann prozessaufwärts eines Eingangs 71 des Mitteldruckbehälters 70 eine Hochdruckregelvorrichtung 74 in dem Hauptkreislauf angeordnet sein, welche insbesondere als ein Expansionsventil ausgebildet sein kann. Mittels der Hochdruckregelvorrichtung 74 kann der Hochdruck auf einen Mitteldruck abgesenkt werden. Insbesondere kann hier ein Übergang von der Flüssigphase oder transkritischen Phase in die Nassdampfphase realisiert sein. Über einen ersten Ausgang 72 des Mitteldruckbehälters 70 kann flüssiges Kältemittel zu der Expansionseinrichtung 18 geleitet werden und/oder über einen zweiten Ausgang 73 des Mitteldruckbehälters 70 kann zumindest teilweise gasförmiges Kältemittel, respektive Kältemittel in der Nassdampfphase in den Rückführabschnitt 40 eingeleitet werden. Hierbei kann das Kältemittel über den Rückführabschnitt 40 von dem zweiten Kompressor 14 abgesaugt werden. Alternativ zu einer Einspeisung des Kältemittels, zwischen den Kompressoren 12 und 14 auf einem Mitteldruck, kann das Kältemittel mit Niederdruck Kältemittel in der Gasphase vermischt werden. Beispielsweise kann die zweite Verbindungsstelle 44 den Rückführabschnitt 40 prozessaufwärts des ersten Kompressors 12 in den Hauptkreislauf einkoppeln.

[0235] Ein zweiter Wärmetauscher 50 und/oder eine weitere Kühlkomponente 32 können mit der Verwendung eines Mitteldruckbehälters 70 entfallen. Die Expansionseinrichtung 18 kann auf Basis einer Verdampferausgangstemperatur, welche beispielsweise durch einen Sensor in dem Leitungsabschnitt 202 erfasst ist, gesteuert werden. Dadurch kann die Expansionseinrichtung 18 eine Überhitzung des Kältemittels regeln.

[0236] Die Ausführungsform gemäß den Figuren 5A und 5B basiert auf der Ausführungsform gemäß der Figur 4A und ist zusätzlich um die zweite Kühlkomponente 32 ergänzt. Hierbei kann zwischen den Kompressoren 12, 14 eine erste Kühlung des Kältemittels durch die zweite Kühlkomponente 32 erreicht werden. Durch Mischen des Kältemittels an der Verbindungsstelle 44 mit abgekühltem Kältemittel aus dem Rückführabschnitt kann anschließend eine weitere Abkühlung des Kältemittels erreicht werden. Die zweite Kühlkomponente 32 kann mit einem Ventilator versehen sein, sodass die Kühlleistung der zweiten Kühlkomponente 32 über eine Ventilatordrehzahl regelbar sein kann.

[0237] In einer weiteren Ausführungsform des Kühlsystems 10 gemäß Fig. 6A und 6B kann der Mitteldruckbehälter 70 über ein Leitungssegment 216, welches den zweiten Behälterausgang 73 mit einer weiteren Verbindungsstelle 52 verbindet, an den Hauptkreislauf prozessabwärts des Verdampfers 11, vorteilhafterweise prozessabwärts des Flüssigkeitsabscheiders 30, prozessabwärts des ersten Kompressors 12 und/oder prozessabwärts der zweiten Kühlkomponente 32 angeschlossen werden. Ein erster gemischter Kältemittelfluss kann von der weiteren Verbindungsstelle 52 zu

der zweiten Verbindungsstelle 44 fließen.

[0238] Prozessabwärts von Prozesspunkt 6 ist die Verbindungsstelle 42 angeordnet, wo sich der Kältemittelstrom aufteilt. Im Hauptkreislauf ist prozessabwärts der Verbindungsstelle eine Hochdruckregelvorrichtung 74 (beispielsweise ein Expansionsventil) angeordnet, und auch im Rückführabschnitt ist eine Expansionseinrichtung 46 angeordnet. Zur Vereinfachung des Zustandsdiagramms nach Fig. 6B wurde angenommen, dass die Vorrichtungen 74, 46 das Kältemittel gleichermaßen expandieren, sodass die prozessabwärts dieser Vorrichtungen angeordneten Prozesspunkte in Fig. 6B beide mit 8b bezeichnet werden, wobei der Prozesspunkt prozessabwärts der Vorrichtung 46 in Fig. 6A als 8b' bezeichnet wird, in Fig. 6B aber mit Prozesspunkt 8b zusammenfällt. Allerdings ist für den Fachmann verständlich, dass das nur beispielhaft ist und die Vorrichtungen 74 und 46 in anderen Ausführungsformen auch unterschiedlich ausgestaltet sein können.

[0239] Nach der Entspannung des Kältemittels (Prozesspunkt 8b, Fig. 6A) kann der Kältemittelfluss in zwei Flüsse (Prozesspunkte 7 und 8a) aufgeteilt werden. Der entspannte Kältemittelfluss im Prozesspunkt 8b', der anschließend über den Wärmetauscher 48 zu Prozesspunkt 8c erwärmt wird, kann in einer Nassdampfphase vorliegen (Prozesspunkt 8c). Vorzugsweise befindet sich das Kältemittel in dem Prozesspunkt 8a vollständig in einem gasförmigen Zustand, respektive auf der Sättigungslinie 804. Der Zustand des Kältemediums kann durch die Temperatur des erwärmenden Kältemittels zwischen den Prozesspunkten 5 und 6, sowie den Massenstromverhältnissen zwischen den Prozesspunkten 5 und 6, sowie 8b und 8c reguliert werden. Einen Wärmefluss in den Rückführabschnitt 40 kann proportional zu einer thermischen Kopplungsfläche des Wärmetauschers 48 sein. Der Prozesspunkt 8c kann variabel sein und beispielsweise auch mit dem Prozesspunkt 8a zusammenfallen.

[0240] Mit der zweiten Kühlkomponente 32 kann das Kältemittel partiell flüssig an der weiteren Verbindungsstelle vorliegen. Um ein nasses Saugen, d.h. einen Kontakt des zweiten Kompressors 14 mit der Flüssigphase zu unterbinden, kann über den Rückführabschnitt 44 ein entsprechender Temperatenausgleich realisiert sein, um ein vollständig gasförmiges Kältemittel an dem Eingang des zweiten Kompressors 14 bereitzustellen.

[0241] In dem Kühlsystem können drei Druckniveaus unterschieden werden. Fig. 7 trennt mit der Linie A-A' einen primären Niederdruckbereich von einem sekundären Mitteldruckbereich. Der Niederdruckbereich wird durch den Ausgang der Expansionseinrichtung 18 und den Kompressorereingang des ersten Kompressors 12 begrenzt. Ein tertiärer Hochdruckbereich beginnt mit dem Ausgang des zweiten Kompressors 14 und erstreckt sich bis zu den jeweiligen Druckminderer in Form der Expansionseinrichtung 18 und/oder der weiteren Expansionseinrichtung 46. Der Rückführungsabschnitt kann prozessabwärts einer Sekundärseite des Wärmetauschers 48 ein verlängertes Leitungssegment aufweisen.

[0242] Das Kühlsystem 10 kann in einer Zentrifuge 300 verwendet werden, um einen Zentrifugenkessel 301 zu kühlen (Fig. 8). Hierbei kann eine Verdampferwicklung 302 des Verdampfers 11 mit einem relativ großen Flächenkontakt an einer Außenwand des Zentrifugenkessels angeordnet sein, um einen Wärmetransfer von dem Rotorinnenraum in die Verdampferwicklung 302 zu maximieren. Vorteilhafterweise können die Wicklungen der Verdampferwicklung 302 an den Rotorkessel 301 zumindest teilweise angepresst werden oder zumindest teilweise in eine abgeflachte Form gepresst sein. Hierbei können an einem geraden Abschnitt des Zentrifugenkessels abgeflachte Wicklungen der Verdampferwicklung 302 bündig zueinander angeordnet sein. Mit der Verwendung von CO₂ als Kältemittel kann ein Rohrdurchmesser der Verdampferwicklung 302 reduziert sein, sodass ein Flächenkontakt zwischen Verdampferwicklung 302 und Rotorkessel 301 erhöht sein kann.

[0243] Gemäß einer Ausführungsform kann die Verdampferwicklung 302 ein Rohr mit 16 mm Außenrohrdurchmesser und einer Wandstärke von 1 mm aufweisen, wobei je Wicklung eine Kontaktlänge in x-Richtung von 11,6 mm aufweist und wobei die Verdampferwicklung 302 in einem senkrechten Abschnitt in X-Richtung 10 Kontaktwicklungen umfasst, sodass sich in X-Richtung eine Gesamtlänge von 116 mm ergibt (Fig. 9A).

[0244] Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann die Verdampferwicklung 302 ein Rohr mit 10 mm Außenrohrdurchmesser und einer Wandstärke von 1 mm aufweisen, wobei je Wicklung eine Kontaktlänge in x-Richtung von 8,9 mm aufweist und wobei die Verdampferwicklung 302 in einem senkrechten Abschnitt in X-Richtung 14 Kontaktwicklungen umfasst, sodass sich in X-Richtung eine Gesamtlänge von 124,6 mm ergibt (Fig. 9B).

[0245] Die Erhöhung der Kontaktfläche, wie in Fig. 9A und Fig. 9B gezeigt, hat bei einer normierten Kälteleistung von 2 kW, einem normierten U-Wert von 40 W/(m²K) und einer Verdampfungstemperatur eine Veränderung der Temperaturdifferenz zwischen einer Rohrinnenseite und einer Kesselinnenseite zur Folge. Die Temperatur der Kesselinnenseite nähert sich durch die Flächenvergrößerung der Verdampfungstemperatur an. Für die oben angenommenen Werte ist die Temperaturdifferenz zur Rohraußenseite wie folgt:

- 0,216 m²: 9,28 K
- 0,23 m²: 8,7 K

[0246] Entsprechend kann die Temperatur am Rand des Rohres durch die Flächenvergrößerung 0,58 K niedriger sein, sodass auch die Kesseltemperatur verringert sein kann. Die tiefere Kesseltemperatur hat eine bessere Proben-

kühlung zur Folge. Die Verringerung des Rohrdurchmessers kann darüber hinaus Materialeinsparungen bewirken.

[0247] Wenn in diesem Dokument ein relativer Begriff wie "etwa", "im Wesentlichen" oder "ungefähr" verwendet wird, soll dieser Begriff auch den genauen Begriff einschließen. Das heißt, z. B. "im Wesentlichen gerade" sollte so ausgelegt werden, dass er auch "(genau) gerade" einschließt.

[0248] Wann immer in diesem Dokument Schritte genannt werden, ist zu beachten, dass die Reihenfolge, in der die Schritte in diesem Text genannt werden, zufällig sein kann. Das heißt, dass die Reihenfolge, in der die Schritte genannt werden, zufällig sein kann, es sei denn, es wird etwas anderes angegeben oder es ist für den Fachmann klar. Das heißt, wenn im vorliegenden Dokument z. B. angegeben wird, dass ein Verfahren die Schritte (A) und (B) umfasst, bedeutet dies nicht notwendigerweise, dass Schritt (A) vor Schritt (B) erfolgt, sondern es ist auch möglich, dass Schritt (A) (zumindest teilweise) gleichzeitig mit Schritt (B) durchgeführt wird oder dass Schritt (B) vor Schritt (A) erfolgt. Wenn außerdem gesagt wird, dass ein Schritt (X) einem anderen Schritt (Z) vorausgeht, bedeutet dies nicht, dass es keinen Schritt zwischen den Schritten (X) und (Z) gibt. Das heißt, Schritt (X) vor Schritt (Z) umfasst die Situation, dass Schritt (X) direkt vor Schritt (Z) ausgeführt wird, aber auch die Situation, dass (X) vor einem oder mehreren Schritten (Y1), ..., gefolgt von Schritt (Z), ausgeführt wird. Entsprechende Überlegungen gelten, wenn Begriffe wie "nach" oder "vor" verwendet werden.

[0249] Während im Vorstehenden bevorzugte Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben wurde, wird der Fachmann verstehen, dass diese Ausführungsformen nur zur Veranschaulichung erläutert wurden und keinesfalls so ausgelegt werden sollten, dass sie den Bereich der vorliegenden Erfindung, der durch die Ansprüche definiert ist, einschränken.

Patentansprüche

1. Laborgerät (300) mit einem Kühlsystem (10), wobei das Kühlsystem (10) aufweist:

einen Verdampfer (11),
 einen ersten Kompressor (12),
 einen zweiten Kompressor (14),
 eine Kühlkomponente (16),
 eine Expansionseinrichtung (18) und
 ein Leitungssystem (20', 21'), das den Verdampfer (11), den ersten Kompressor (12), den zweiten Kompressor (14), die Kühlkomponente (16) und die Expansionseinrichtung (18) miteinander verbindet,

wobei das Kühlsystem (10) ein Kältemittel beinhaltet, wobei das Kältemittel Kohlendioxid ist und wobei der erste Kompressor (12) und der zweite Kompressor (14) in Reihe zueinander angeordnet sind.

2. Laborgerät (300) nach Anspruch 1, wobei das Kühlsystem (10) derart eingerichtet ist, dass wenn das Kältemittel den ersten Kompressor mit einer Ausgangstemperatur verlässt, das Kältemittel dem zweiten Kompressor mit einer Eingangstemperatur zugeleitet wird, die geringer ist als die Ausgangstemperatur.

3. Laborgerät (300) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Kühlsystem (10) einen Hauptkreislauf aufweist, und wobei der Hauptkreislauf aufweist:

den Verdampfer (11),
 den ersten Kompressor (12),
 den zweiten Kompressor (14),
 die Kühlkomponente (16),
 die Expansionseinrichtung (18) und
 zumindest einen Teil des Leitungssystems (20', 21');

und wobei das Kältemittel in dem Hauptkreislauf vorhanden ist,

wobei das Kühlsystem (10) einen Rückführabschnitt (40) aufweist, der an einer ersten Verbindungsstelle (42) und an einer zweiten Verbindungsstelle (44) fluidisch mit dem Hauptkreislauf verbunden ist, wobei sich die zweite Verbindungsstelle (44) im Hauptkreislauf prozessabwärts des ersten Kompressors (12) und prozessaufwärts des zweiten Kompressors (14) befindet.

4. Laborgerät (300) gemäß Anspruch 3, umfassend einen Wärmetauscher (48), wobei der Wärmetauscher (48) eine

Primärseite umfasst, welche in dem Hauptkreislauf prozessabwärts der Kühlkomponente (16) angeordnet ist, und wobei der Wärmetauscher (48) ausgebildet ist, das Kältemittel im Hauptkreislauf zu kühlen; wobei der Wärmetauscher (48) vorzugsweise ausgebildet ist, das Kältemittel auf eine vorbestimmte Temperatur unterhalb einer Ausgangstemperatur der Kühlkomponente (16) an der ersten Verbindungsstelle (42) und/oder in einem Leitungsabschnitt (208) bereitzustellen,

wobei der Wärmetauscher (48) vorzugsweise eine Sekundärseite umfasst, welche in dem Rückführabschnitt (40) angeordnet ist, und wobei der Wärmetauscher (48) ausgebildet ist, mittels der Primärseite Wärme von dem Kältemittel aufzunehmen und die aufgenommene Wärme mittels der Sekundärseite an das Kältemittel abzugeben, um das Kältemittel in dem Rückführabschnitt (40) zu erwärmen.

5
10
5. Laborgerät (300) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche 3 bis 4, umfassend eine weitere Expansionseinrichtung (46), welche in dem Rückführabschnitt angeordnet ist, wobei die weitere Expansionseinrichtung (46) ausgebildet ist, das Kältemittel von dem tertiären Druckbereich in den sekundären Druckbereich abzusinken.

15
20
6. Laborgerät (300) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche 3 bis 5, umfassend einen weiteren Wärmetauscher (50), wobei der weitere Wärmetauscher (48) eine Primärseite umfasst, welche in dem Hauptkreislauf prozessaufwärts der Expansionseinrichtung (18) und/oder prozessabwärts der Kühlkomponente (16) angeordnet ist, und wobei der weitere Wärmetauscher (50) ausgebildet ist, das Kältemittel zu kühlen; wobei der weitere Wärmetauscher (50) vorzugsweise eine Sekundärseite umfasst, welche prozessabwärts des Verdampfers (11) und/oder prozessaufwärts des ersten Kompressors (12) in dem Hauptkreislauf angeordnet ist, und wobei der weitere Wärmetauscher (50) ausgebildet ist, mittels der Primärseite Wärme von dem Kältemittel aufzunehmen und die aufgenommene Wärme mittels der Sekundärseite an das Kältemittel abzugeben, um das Kältemittel prozessaufwärts des ersten Kompressors (12) zu erwärmen.

25
7. Laborgerät (300) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, umfassend einen Flüssigkeitsabscheider (30), welcher ausgebildet ist, das Kältemittel in einem flüssigen Zustand abzuscheiden, und wobei der Flüssigkeitsabscheider (30) in dem Hauptkreislauf prozessabwärts des Verdampfers (11) und/oder prozessaufwärts des ersten Kompressors (12) angeordnet ist.

30
8. Laborgerät (300) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, umfassend einen Mitteldruckbehälter (70), welcher ausgebildet ist, das Kältemittel in eine Flüssigphase und eine Gasphase zu teilen, wobei der Mitteldruckbehälter (70) prozessabwärts der Kühlkomponente (16) und/oder prozessaufwärts der Expansionseinrichtung (18) in dem Hauptkreislauf angeordnet ist.

35
9. Laborgerät (300) gemäß Anspruch 8 im Rückbezug zum Anspruch 6, wobei der Mitteldruckbehälter (70) als ein Drei-Wege-Sammler ausgebildet ist und aufweist:

- einen Behältereingang (71), welcher ausgebildet ist Kältemittel in den Mitteldruckbehälter (70) zu leiten und prozessabwärts der

40 Kühlkomponente (16) angeordnet ist;

- einen ersten Behälteraussgang (72), welcher ausgebildet ist, flüssiges Kältemittel aus dem Mitteldruckbehälter in den Leitungsabschnitt (208) zuleiten und prozessaufwärts des Verdampfers (11) und/oder prozessaufwärts der Expansionseinrichtung (18) angeordnet ist;

45 - einen zweiten Behälteraussgang (73), welcher den Mitteldruckbehälter (70) an den Rückführabschnitt (40) koppelt und ausgebildet ist, gasförmiges Kältemittel in den Rückführabschnitt (40) zu leiten.

10. Laborgerät (300) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, umfassend

50 eine Hochdruckregelungsvorrichtung (74), welche ausgebildet ist, den Druck des Kältemittels zu reduzieren, insbesondere den Druck von einem tertiären Druckbereich in einen sekundären Druckbereich zu reduzieren oder den Druck innerhalb des tertiären Druckbereichs zu reduzieren; und/oder

eine zweite Kühlkomponente (32), welche ausgebildet ist, das Kältemittel zu kühlen und prozessabwärts des ersten Kompressors (12) angeordnet ist, wobei die zweite Kühlkomponente (32) ausgebildet ist, das Kältemittel auf eine vorbestimmte Temperatur zu kühlen, sodass das Kältemittel prozessabwärts des zweiten Kompressors (14) eine Temperatur unterhalb einer Grenztemperatur aufweist.

55
11. Laborgerät (300) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, umfassend eine Kreislaufregelung, welche ausgebildet ist, einen Fluss des Kältemittels zu regeln, wobei die Kreislaufregelung ausgebildet ist, ein Öffnen der Expan-

sionseinrichtung (18) auf Basis von einem Druck des Kältemittels wobei in Abhängigkeit von einem Öffnungsgrad der Expansionseinrichtung (18) eine Entspannung des Kältemittels prozessabwärts der Expansionseinrichtung (18) steuerbar ist.

5 12. Laborgerät (300) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche 3 bis 8 oder 10, wobei an der zweiten Verbindungsstelle (44) abgekühltes Kältemittel aus dem Rückführungsabschnitt (44) einspritzbar ist, um eine Kompressoraustragstemperatur zu senken.

10 13. Laborgerät (300) gemäß Anspruch 11, wobei die Kreislaufregelung ausgebildet ist, in Abhängigkeit von einer Auslasttemperatur der Kühlkomponente und/oder einer Umgebungstemperatur die Expansionseinrichtung zu regeln, um einen Druck in dem tertiären Druckbereich, insbesondere einen optimalen Hochdruck, einzustellen.

15 14. Laborgerät gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Laborgerät einen Rotorkessel (301) umfasst, an dem ein/der Verdampfer (11) angeordnet ist, wobei der Verdampfer eine Verdampferwicklung (302) umfasst, welche an einer Außenseite des Rotorkessels angeordnet ist, wobei die Verdampferwicklung durch eine umlaufende Leitung gebildet ist.,

20 wobei die Verdampferwicklung eine zumindest einseitig abgeflachte Form, insbesondere eine D-Form, aufweist um eine Flachseite zu bilden, und wobei die Flachseite an der Außenfläche des Rotorkessels anliegt, um einen Flächenkontakt zu bilden,
wobei die Verdampferwicklung vorzugsweise einen Außenrohrdurchmesser in einem Bereich von 5 mm bis 20 mm, aufweist.

25 15. Laborgerät nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Laborgerät eine Zentrifuge ist.

30

35

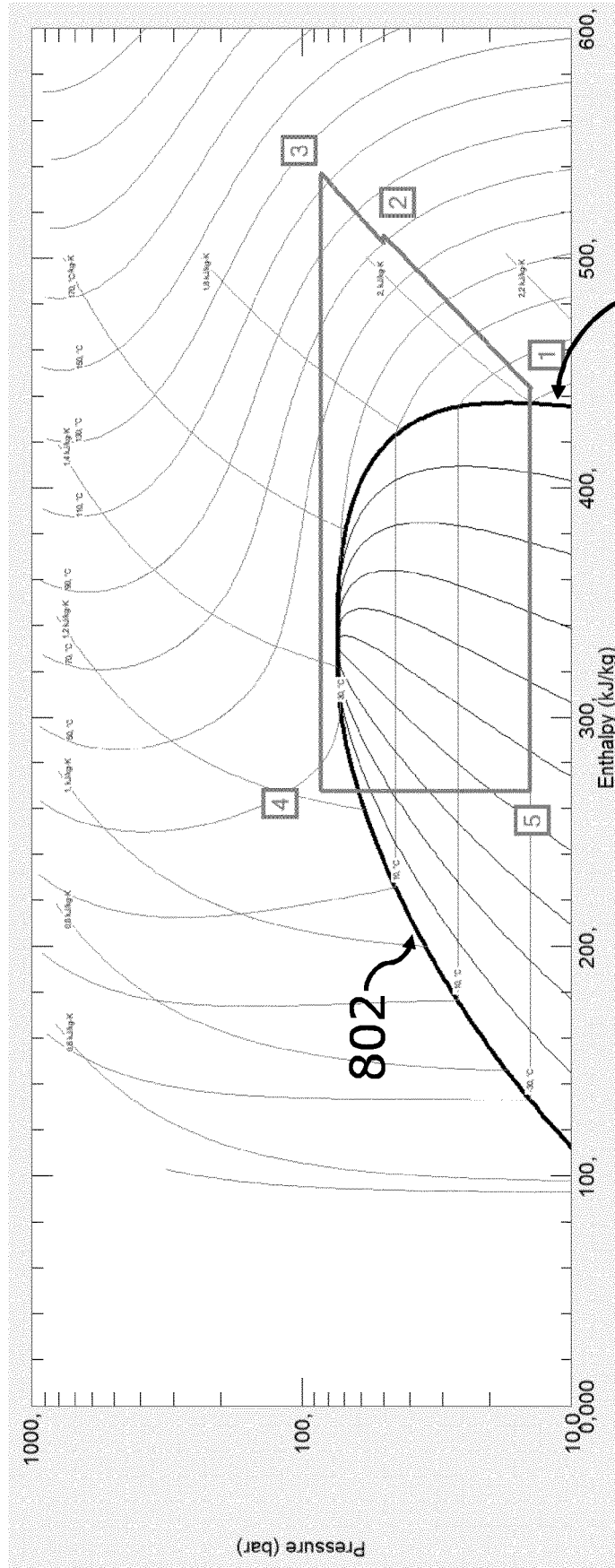
40

45

50

55

Fig. 1B



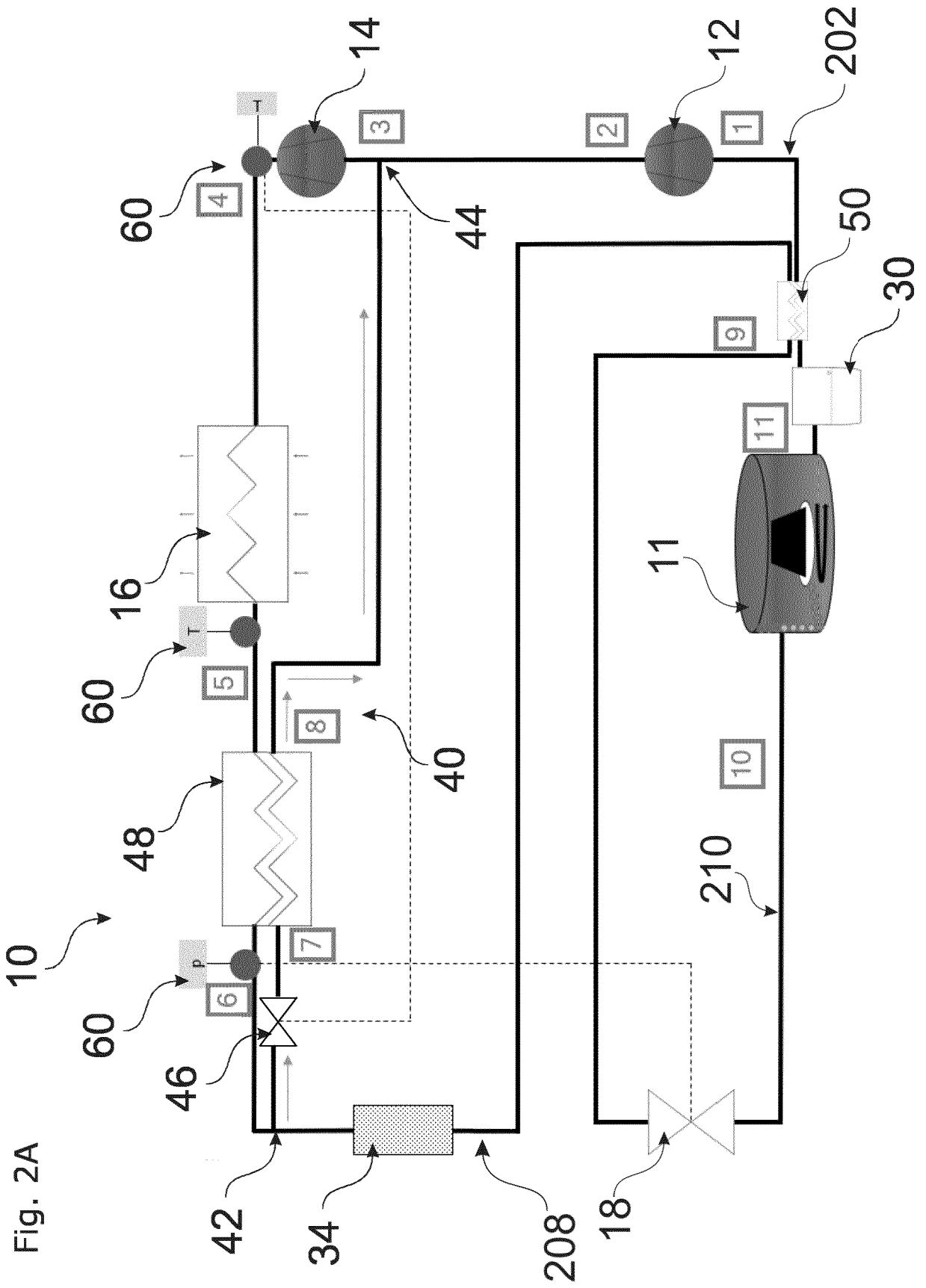
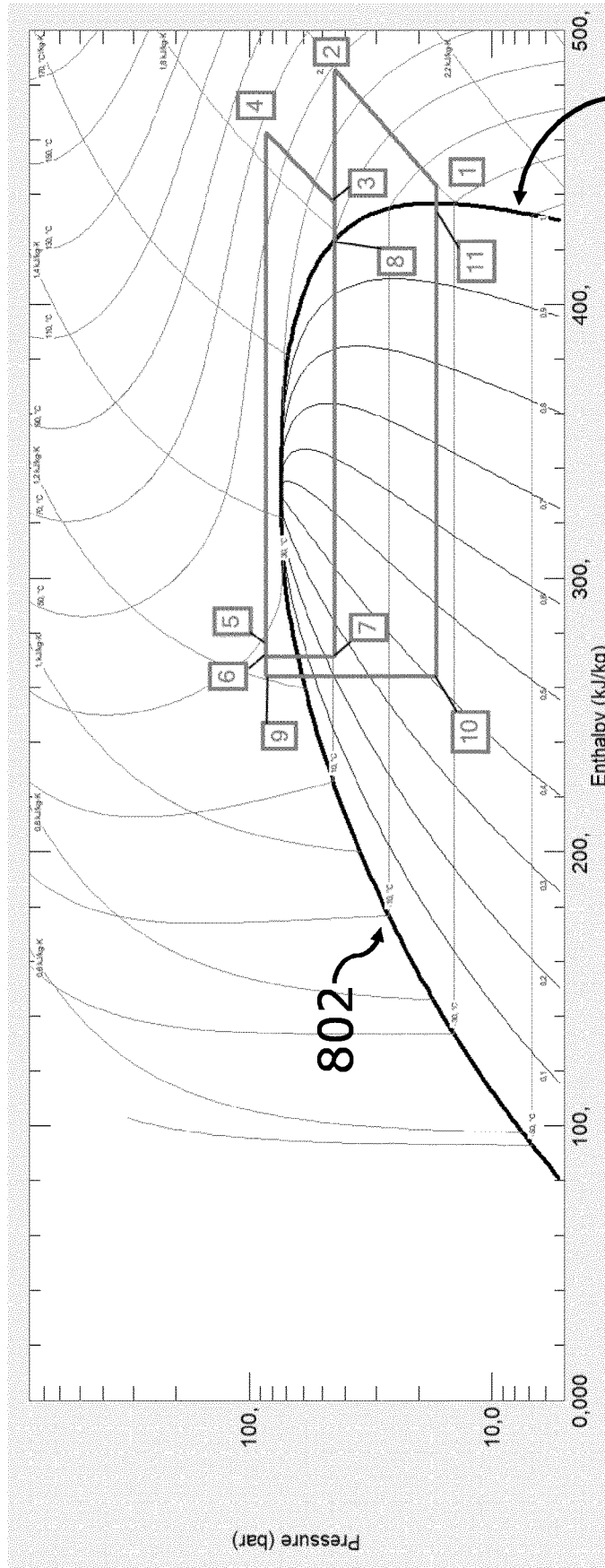


Fig. 2A

Fig. 2B



804

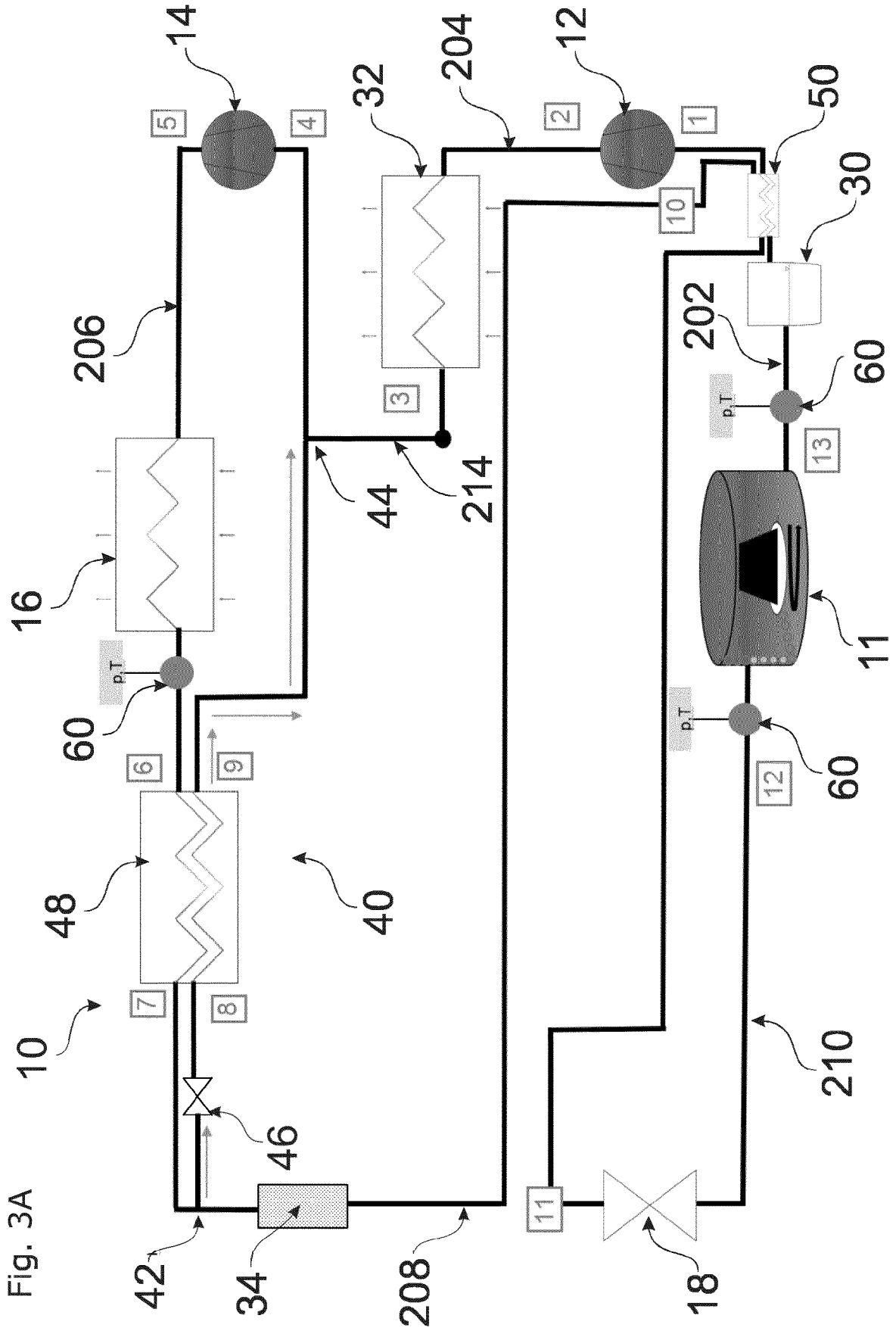
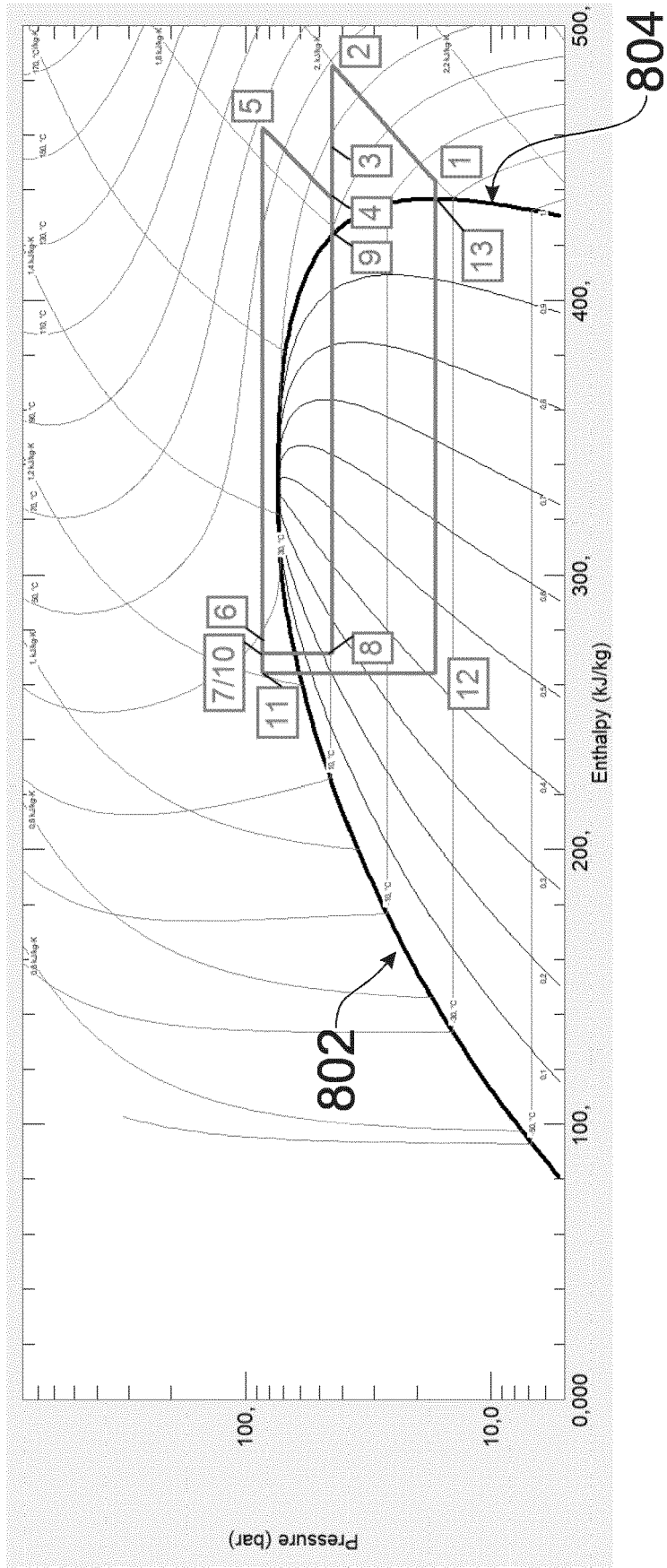


Fig. 3A

Fig. 3B



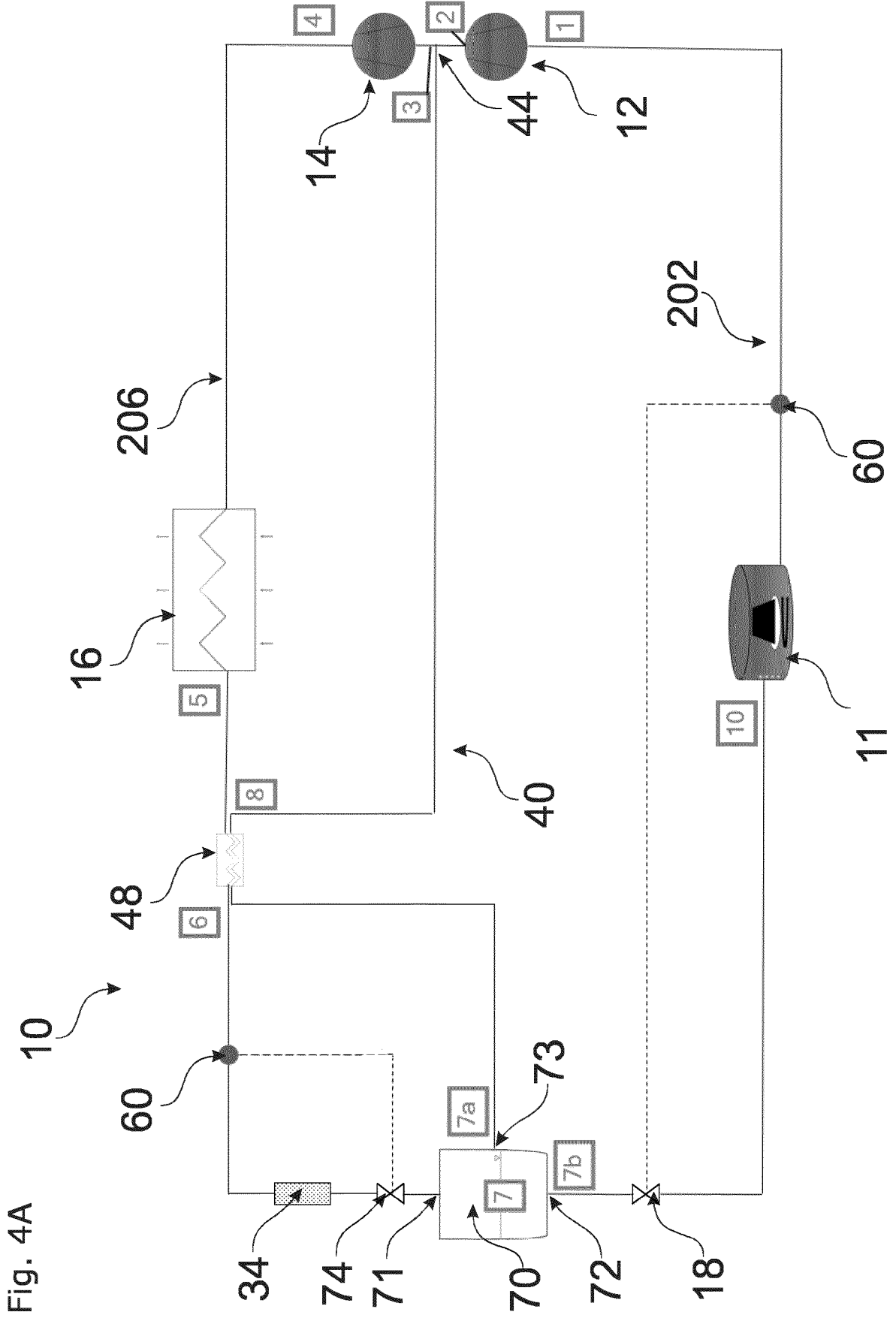


Fig. 4A

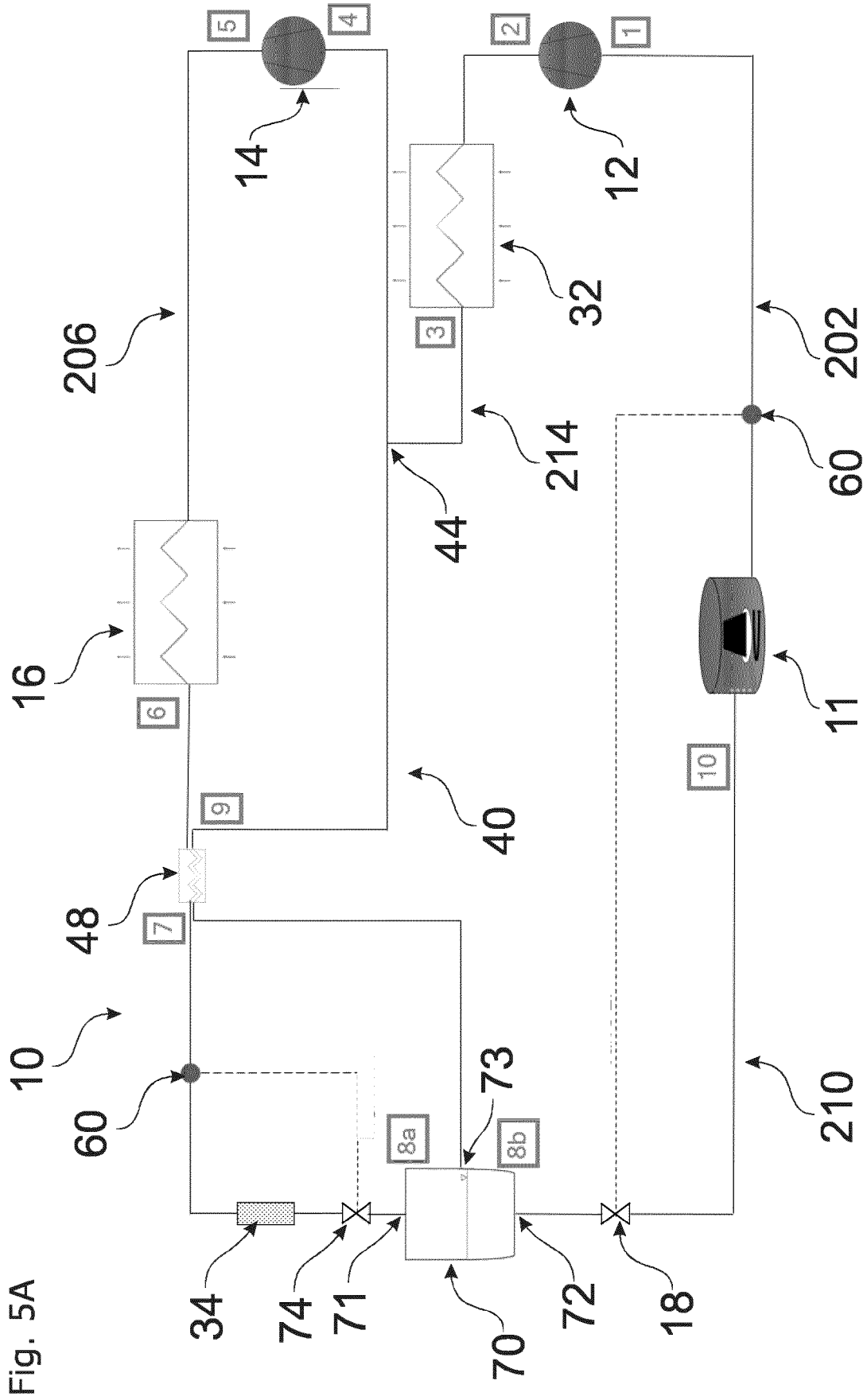
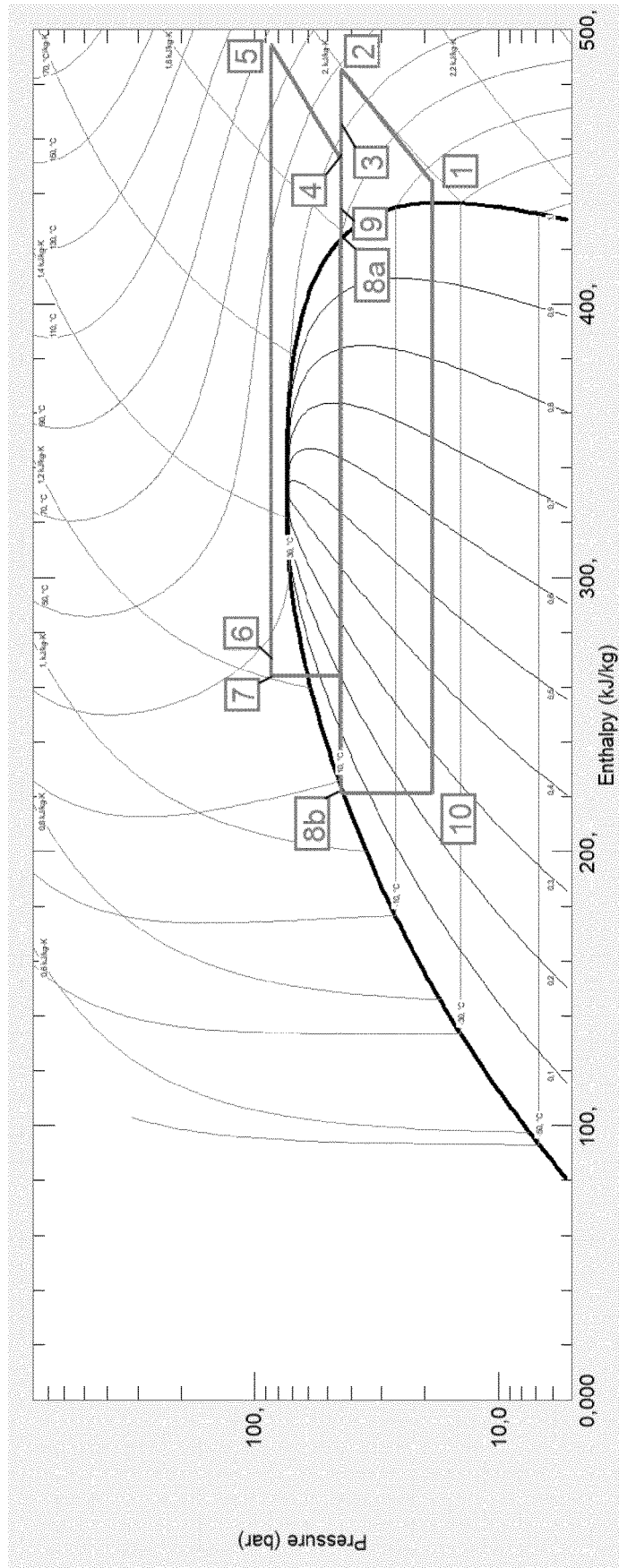


Fig. 5A

Fig. 5B



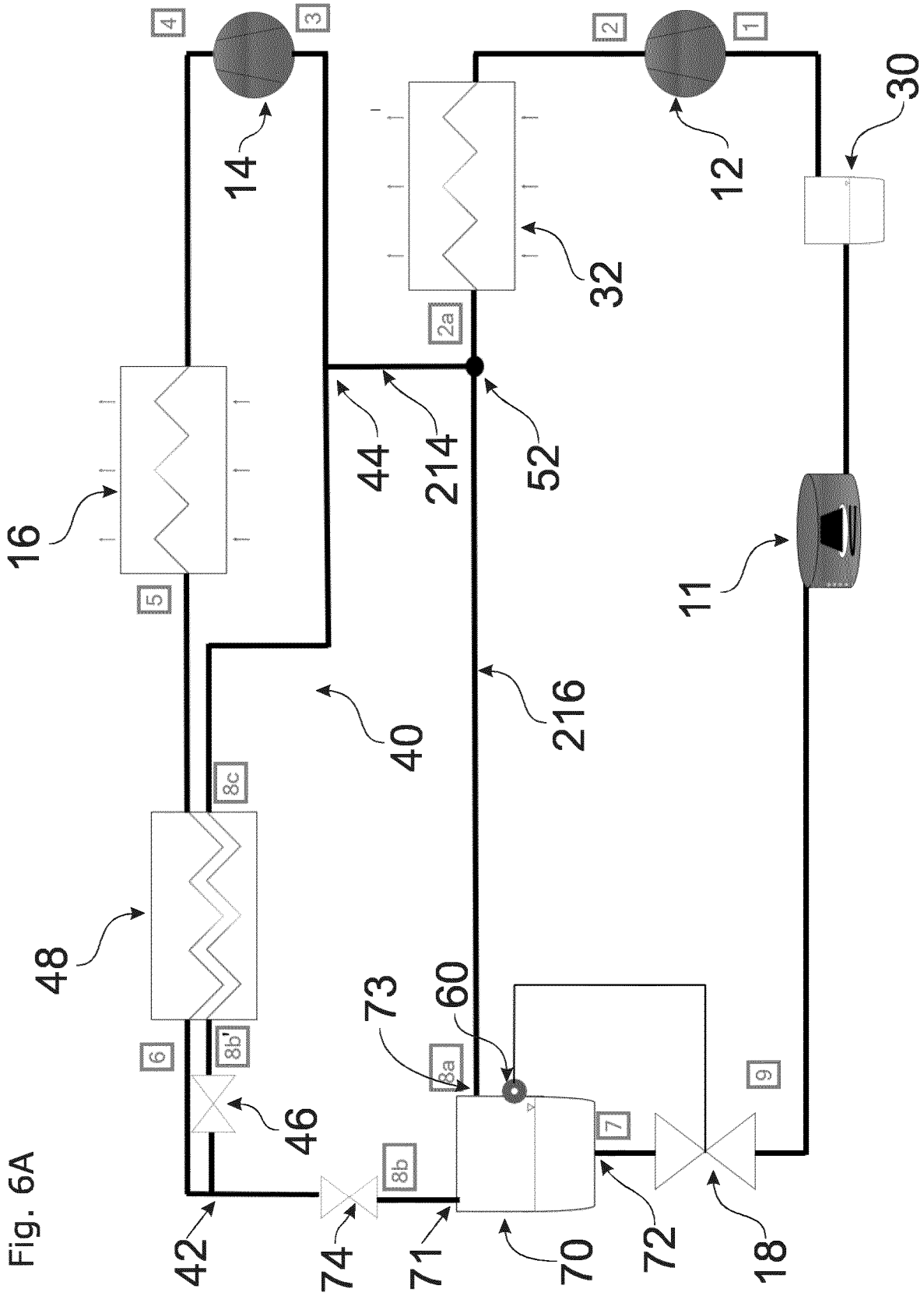
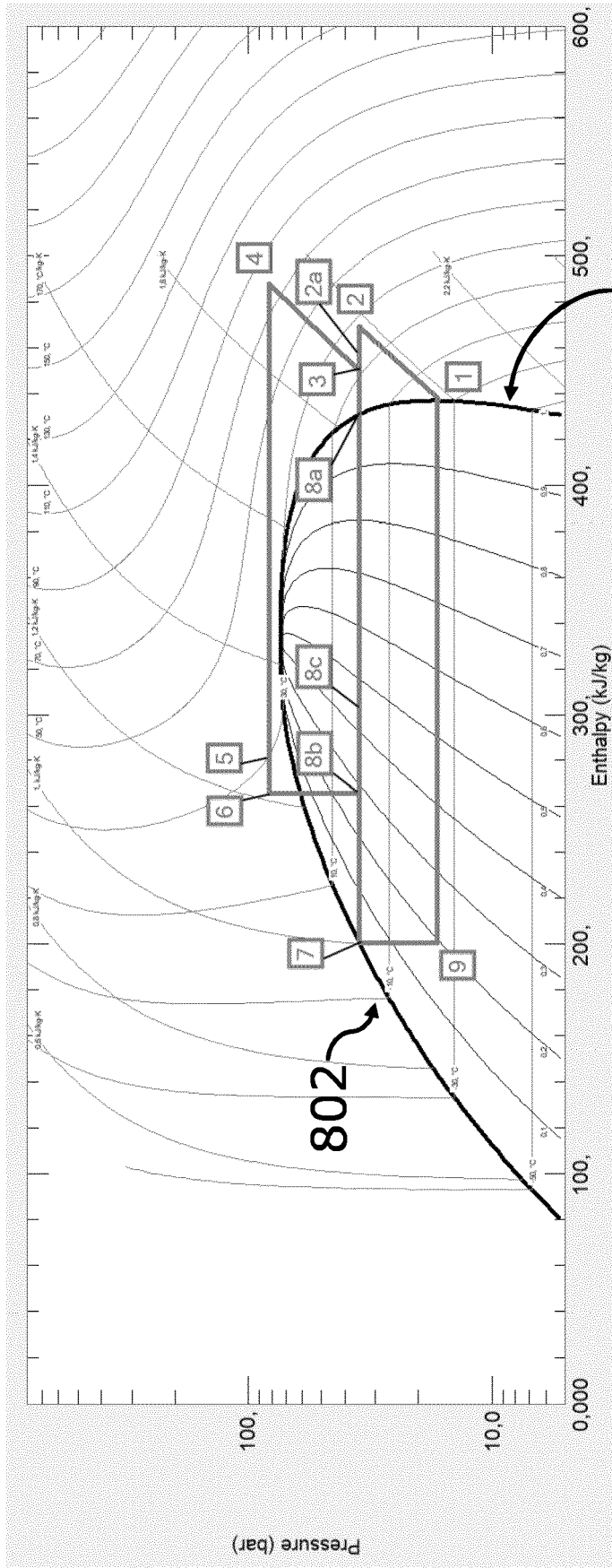


Fig. 6A

Fig. 6B



804

802

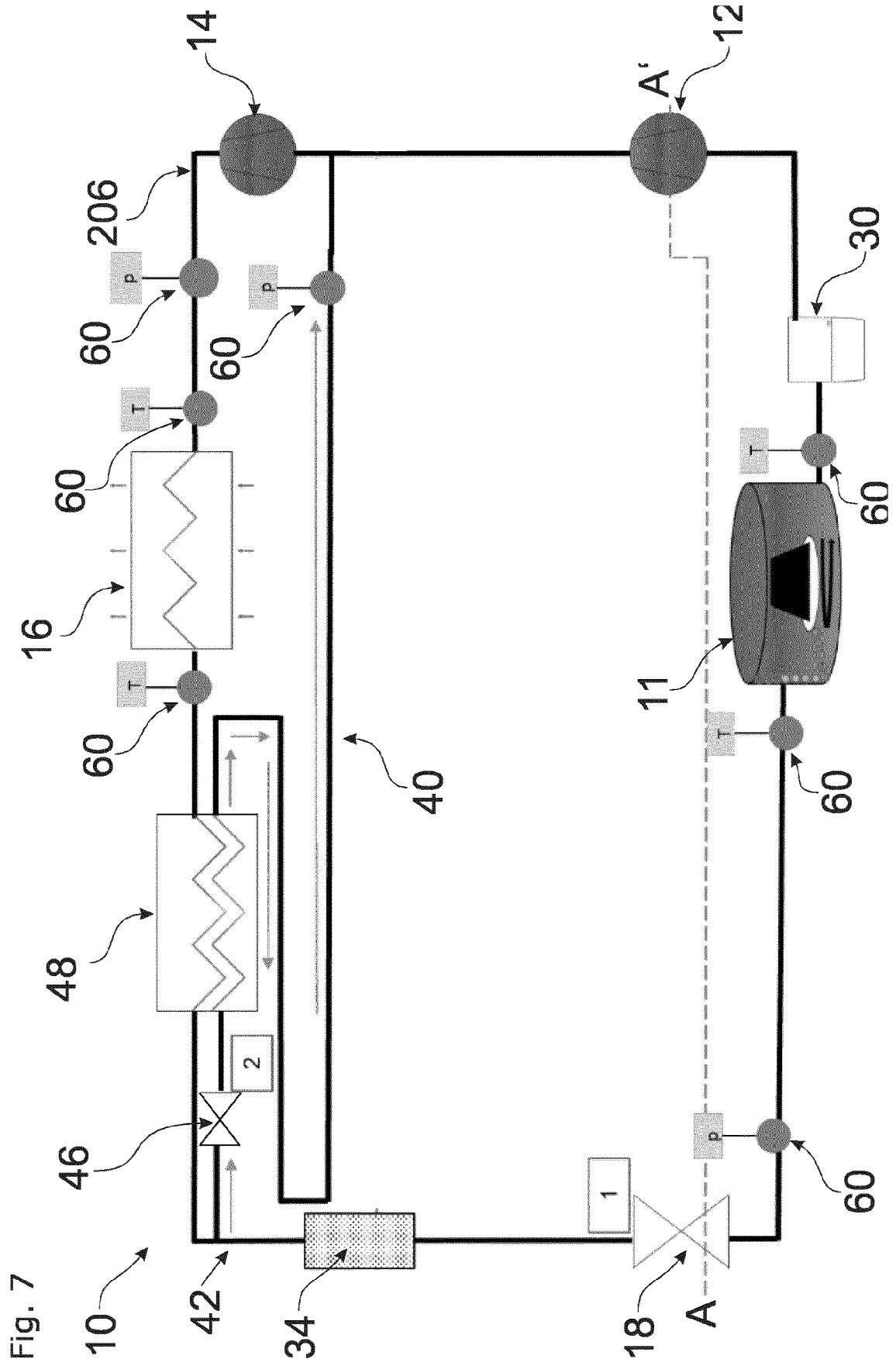
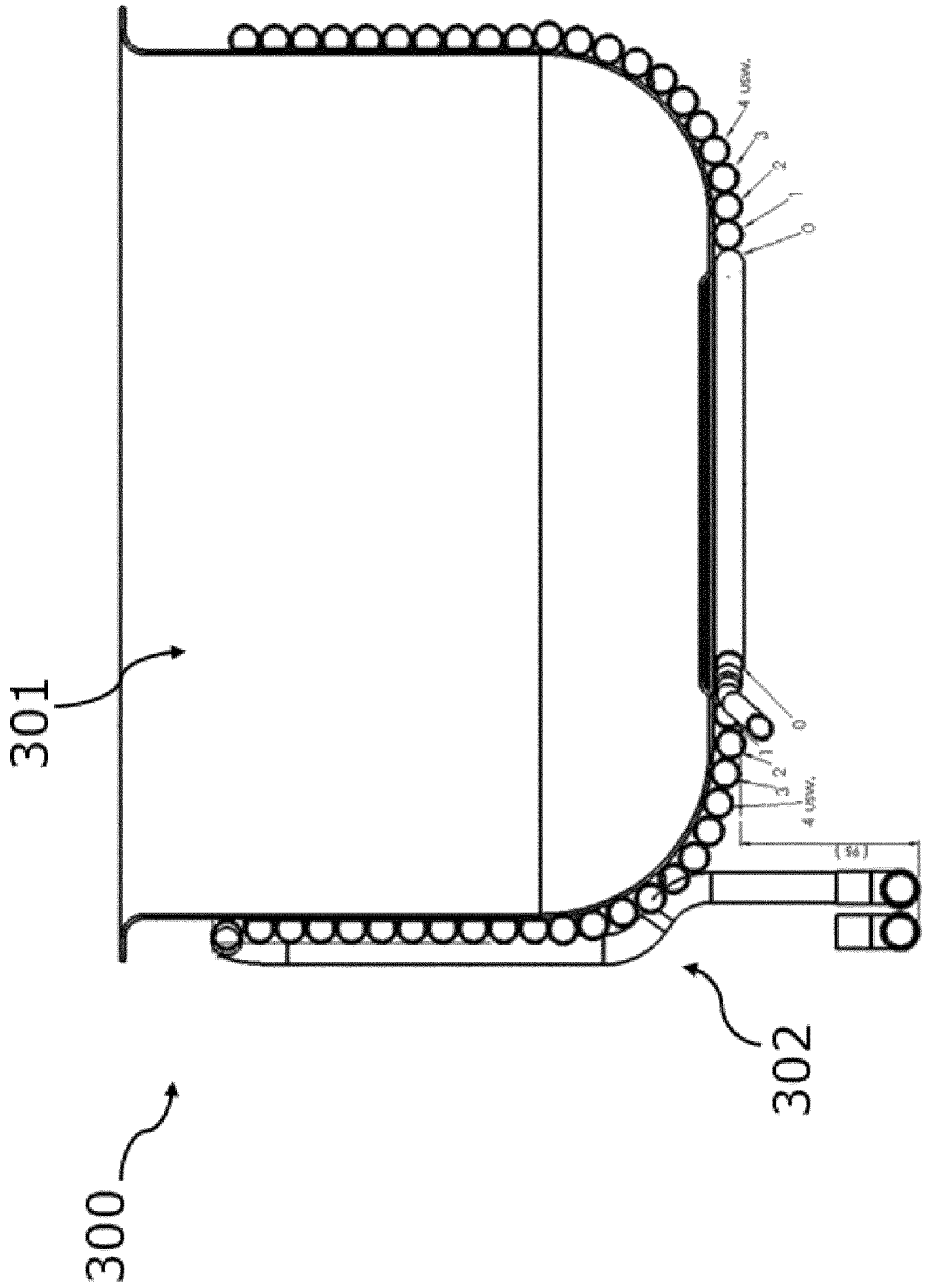


Fig. 7

Fig. 8



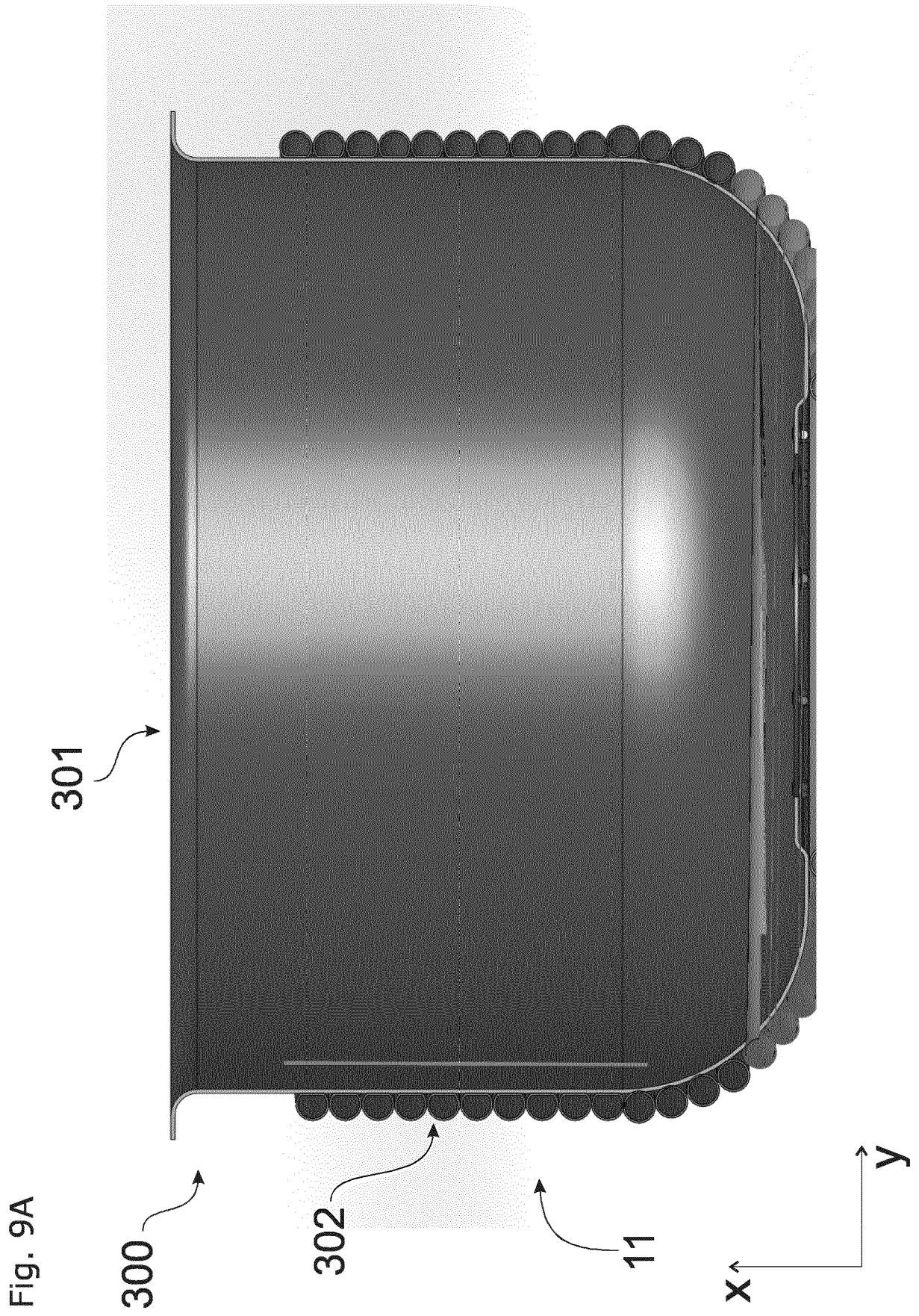
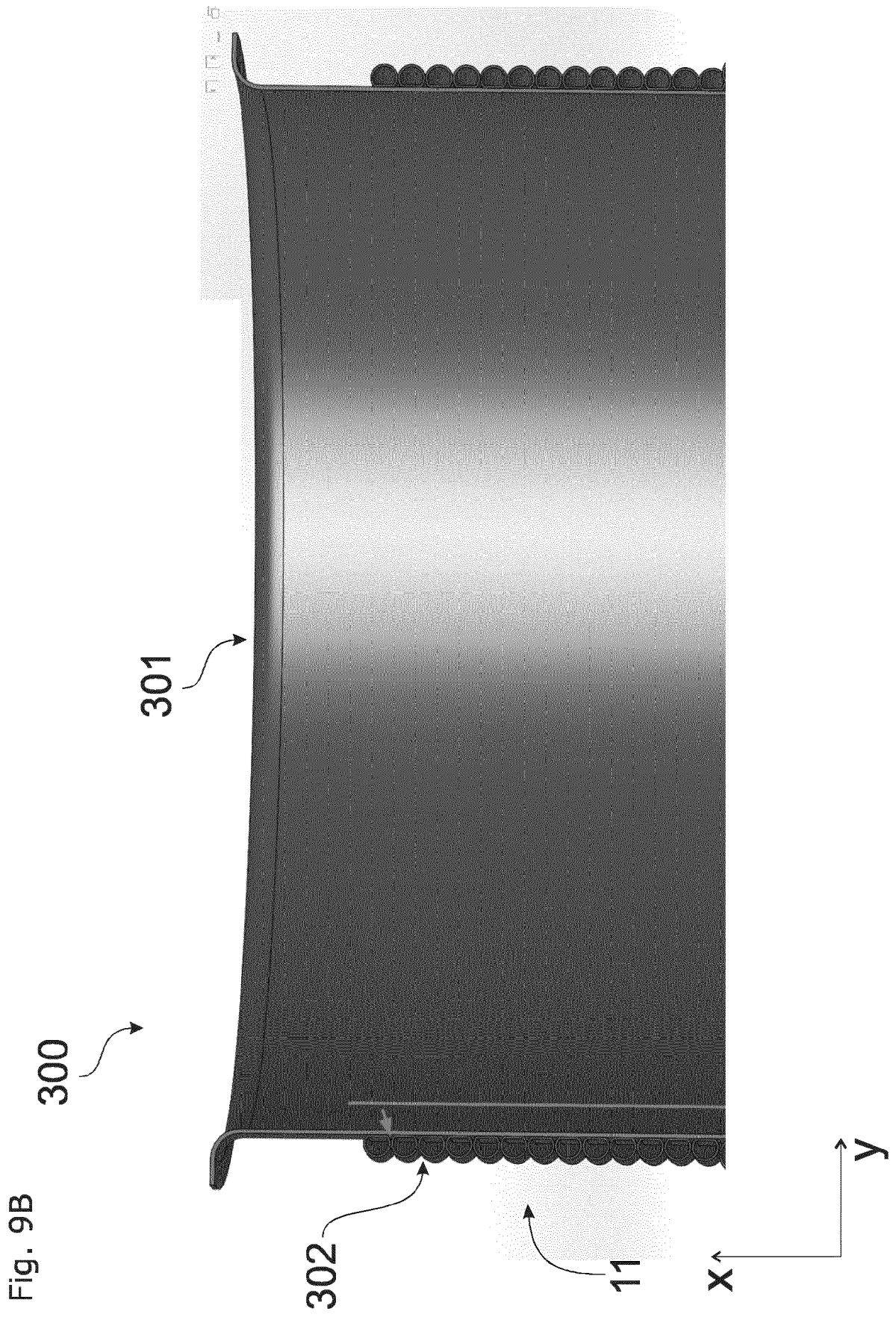


Fig. 9A





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 22 19 6688

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y	US 5 509 881 A (SHARPLES THOMAS D [US]) 23. April 1996 (1996-04-23) * & zugehörige Beschreibung; Abbildung 1 *	1-15	INV. F25B1/10 F25B9/00 F25B40/02 B04B15/02
Y	US 6 923 011 B2 (TECUMSEH PRODUCTS CO [US]) 2. August 2005 (2005-08-02) * & zugehörige Beschreibung; Abbildungen 1-3 *	1-15	
Y	US 7 096 679 B2 (TECUMSEH PRODUCTS CO [US]) 29. August 2006 (2006-08-29) * & zugehörige Beschreibung; Abbildung 9 *	8,9	
Y	EP 3 015 791 A1 (EPPENDORF AG [DE]) 4. Mai 2016 (2016-05-04) * Absatz [0001] - Absatz [0070]; Abbildungen 1,2 *	1-15	
A	EP 3 479 903 A1 (SIGMA LABORZENTRIFUGEN GMBH [DE]) 8. Mai 2019 (2019-05-08) * das ganze Dokument *	1-15	RECHERCHIERTER SACHGEBIETE (IPC) F25B B04C B04B
A	EP 0 295 377 A2 (HERMLE BERTHOLD GMBH MASCHF [DE]) 21. Dezember 1988 (1988-12-21) * das ganze Dokument *	1-15	
A	US 2017/209874 A1 (HORNEK MATTHIAS [DE] ET AL) 27. Juli 2017 (2017-07-27) * das ganze Dokument *	1-15	
A	US 2021/252526 A1 (MÜLLER HEIKO [DE] ET AL) 19. August 2021 (2021-08-19) * das ganze Dokument *	1-15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 24. Januar 2023	Prüfer Gasper, Ralf
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04-C03)

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

EP 22 19 6688

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

24-01-2023

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	US 5509881 A	23-04-1996	DE 69516982 T2	05-10-2000
EP 0714323 A1			05-06-1996	
JP 3520304 B2			19-04-2004	
JP H09502660 A			18-03-1997	
US 5509881 A			23-04-1996	
WO 9601696 A1			25-01-1996	
20	US 6923011 B2	02-08-2005	CA 2479137 A1	02-03-2005
US 2005044865 A1			03-03-2005	
25	US 7096679 B2	29-08-2006	CA 2490660 A1	23-06-2005
FR 2869098 A1			21-10-2005	
US 2005132729 A1			23-06-2005	
30	EP 3015791 A1	04-05-2016	EP 3015791 A1	04-05-2016
WO 2016066267 A2			06-05-2016	
35	EP 3479903 A1	08-05-2019	KEINE	
40	EP 0295377 A2	21-12-1988	DE 3720085 A1	29-12-1988
EP 0295377 A2			21-12-1988	
45	US 2017209874 A1	27-07-2017	DE 102014110467 A1	28-01-2016
EP 3171982 A1			31-05-2017	
US 2017209874 A1			27-07-2017	
WO 2016012596 A1			28-01-2016	
50	US 2021252526 A1	19-08-2021	CN 112584934 A	30-03-2021
DE 102018114450 A1			19-12-2019	
EP 3807011 A1			21-04-2021	
JP 2021527559 A			14-10-2021	
US 2021252526 A1			19-08-2021	
55			WO 2019238891 A1	19-12-2019

EPO FORM P0461

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