

(19)



(11)

EP 4 078 045 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
22.11.2023 Patentblatt 2023/47

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F25B 7/00 ^(2006.01) **F25B 49/02** ^(2006.01)
F25B 5/02 ^(2006.01) **F25B 6/04** ^(2006.01)
F25B 40/00 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **19821430.6**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F25B 7/00; F25B 49/02; F25B 5/02; F25B 6/04;
F25B 40/00; F25B 2339/047; F25B 2400/075;
F25B 2600/2513; F25B 2700/1933;
F25B 2700/21175

(22) Anmeldetag: **16.12.2019**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2019/085405

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2021/121546 (24.06.2021 Gazette 2021/25)

(54) KOMPRESSIIONSKÄLTEANLAGE FÜR ELEKTRISCHE KÄLTEKAMMER

COMPRESSION REFRIGERATION SYSTEM FOR ELECTRIC REFRIGERATION CHAMBERS

SYSTÈME FRIGORIFIQUE À COMPRESSION POUR CHAMBRE FRIGORIFIQUE ÉLECTRIQUE

(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**

- **BADER, Matthias**
91294 Unterpleichfeld (DE)
- **BADER, Frank**
97228 Rottendorf (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
26.10.2022 Patentblatt 2022/43

(74) Vertreter: **Götz, Georg Alois et al**
Intellectual Property IP-GÖTZ
Patent- und Rechtsanwälte
Am Literaturhaus, Königstrasse 70
90402 Nürnberg (DE)

(73) Patentinhaber: **MAINKLIMA GmbH**
97076 Würzburg (DE)

(72) Erfinder:
• **SCHÄTZEL, Rino**
97218 Gerbrunn (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
CN-A- 104 344 590 DE-A1- 3 521 060

EP 4 078 045 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Kompressionskälteanlage zur Erzeugung von tiefen Temperaturen in einer Kühlumgebung, insbesondere einer Kältekammer, aufweisend mindestens drei thermisch gekoppelte Kältemittelkreisläufe.

[0002] Die Erfindung betrifft außerdem ein Verfahren zur Erzeugung von tiefen Temperaturen in einer Kühlumgebung, insbesondere einer Kältekammer, mit einer Kompressionskälteanlage, aufweisend mindestens drei thermisch gekoppelte Kältemittelkreisläufe.

[0003] Kältekammern sind geschlossene Räume von ca. 2 m³, in denen sich ein Benutzer kurzzeitig extrem tiefen Temperaturen zwischen +1 °C und -130 °C aussetzt. Durch solche Therapien können bspw. rheumatische Erkrankungen behandelt und bei Leistungssportlern Leistungssteigerungen beobachtet werden.

[0004] Die notwendige Kälte für solche Kältekammern wird im Stand der Technik oft durch Verdampfungskälte von flüssigem Stickstoff bereitgestellt. Solche Kältekammern sind zwar günstig in der Anschaffung, weisen jedoch sehr hohe Betriebskosten auf, da durch Gasflaschen oder eine sonstige Infrastruktur flüssiger Stickstoff bereitgestellt werden muss.

[0005] Daher werden zunehmend sogenannte elektrische Kältekammern verwendet, bei der die Kühlleistung durch eine Kompressionskälteanlage bereitgestellt wird. Zum Bereitstellen tiefster Temperaturen von -130 °C kann eine solche Kompressionskälteanlage drei Kältemittelkreisläufe mit drei verschiedenen Kältemitteln aufweisen, die zusammen eine Kühlkaskade bilden.

[0006] Die EP 0 516 093 B1 betrifft eine Kälteanlage zur Erzeugung von tiefen Temperaturen im Bereich -150°C/-160°C. Dabei wird eine Kältekaskade aus zwei Kältemittelkreisläufen eingesetzt, wobei ein Hochtemperatur-Kältemittelkreislauf an einer Kaskadeneinrichtung Kälte zur Kondensation eines Kältemittels in einem Niedertemperatur-Kältemittelkreislauf bereitstellt. Durch eine mehrfach verzweigte Führung des Kältemittels am Austritt aus dem Verdichter des Niedertemperatur-Kältemittelkreislaufs kann in einem Verdampferrohr eine Temperatur von -153,5 °C gemessen werden.

[0007] In der CN 104344590 A wird ein Gasgemisch aus Methan, Ethan und Propan schrittweise in drei Kondensatoren verflüssigt, um es in einem Tank zu lagern. Dabei ist der erste Kondensator Bestandteil eines ersten Kältemittelkreislaufs mit einem ersten Verdichter, der zweite Kondensator Bestandteil eines zweiten Kältemittelkreislaufs mit einem zweiten Verdichter und der dritte Kondensator Bestandteil eines dritten Kältemittelkreislaufs mit einem dritten Verdichter. Dabei wird im stationären Betrieb das Kältemittel des dritten Kältemittelkreislaufs durch das Kältemittel des zweiten Kältemittelkreislaufs und zugleich durch das Kältemittel des ersten Kältemittelkreislaufs gekühlt/kondensiert wird.

[0008] Die CN 101225292 A betrifft ebenfalls eine Kälteanlage mit drei Kältemittelkreisläufen in kaskadenför-

miger Anordnung zur Erzeugung von tiefen Temperaturen bspw. bei -125°C. Dafür wird ein spezielles Kältemittel für den kältesten Kühlkreislauf als eine Mischung der Kältemittel R14, R170 und R1150 vorgeschlagen.

[0009] Die CN 101865589 B schlägt ebenfalls eine Kälteanlage mit drei Kältemittelkreisläufen in kaskadenförmiger Gestaltung zur Erzeugung von tiefen Temperaturen bspw. bei -110°C vor. Dabei werden die Kältemittel R404a, R23 und R14 eingesetzt. In dem zweiten Kältemittelkreislauf und dem dritten Kältemittelkreislauf (welcher dem Tieftemperaturkreislauf entspricht) ist zwischen dem Ausgang des Kältemittelverdichters und dem Kondensator ein Vorkühler angeordnet. In diesen Vorkühlern wird sensible Wärme des verdichteten Kältemittels abgeführt und dadurch der Kondensator entlastet.

[0010] Die EP 0 851 183 A2 betrifft eine Kälteanlage mit drei Kältemittelkreisläufen in kaskadenförmiger Anordnung zur Erzeugung von tiefen Temperaturen bspw. bei -125 °C. Beim Anfahren der Kälteanlage erfolgt vor dem Anschalten des Verdichters der zweiten Kältestufe eine Vorkühlung des Kältemittels der zweiten Kältestufe mit dem Kältemittel der ersten Kältestufe zur Vermeidung unerwünschter Druckspitzen. Vor dem Anschalten des Verdichters der dritten Kältestufe erfolgt eine Vorkühlung des Kältemittels der dritten Kältestufe mit dem Kältemittel der zweiten Kältestufe zur Vermeidung unerwünschter Druckspitzen. Zur Vorkühlung der dritten Kältestufe ist eine Bypassleitung vorgesehen, welche die Druckleitung mit der Saugleitung des Verdichters verbindet und durch ein Magnetventil freigegeben werden kann, um einen Einschluss von Kältemittel zu verhindern.

[0011] Die DE 35 21 060 A1 offenbart eine Kompressionskälteanlage zur Erzeugung von tiefen Temperaturen in einer Kältekammer mit drei thermisch gekoppelten Kältemittelkreisläufen mit jeweils einem eigenen Kältemittel, einem Kondensator, einem Verdampfer, einen Verdichter zum Verdichten von gasförmigem Kältemittel und ein Expansionsventil zum Entspannen von verflüssigtem Kältemittel. Ein Wärmetauscher ist dabei zur thermischen Kopplung des ersten Kältemittelkreislaufs mit dem dritten Tieftemperatur-Kältemittelkreislauf angeordnet ist, wobei das Kältemittel des ersten Kältemittelkreislaufs zum Abkühlen des Kältemittels des dritten Kältemittelkreislaufs durch den dritten Wärmetauscher geführt ist.

[0012] Kompressionskälteanlagen aus dem Stand der Technik zeichnen sich durch einen hohen Stromverbrauch zum Betrieb der Verdichter aus. Ist der Verdampfungsprozess der Kältemittel nicht optimal ausgelegt, wird zudem die Langlebigkeit der Verdichter beeinträchtigt.

[0013] Daher ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Nachteile aus dem Stand der Technik zu eliminieren und eine Kompressionskälteanlage bereitzustellen, die bei gleicher Kühlleistung weniger Energie verbraucht und eine lange Lebensdauer der eingesetzten Verdichter gewährleistet.

[0014] Die Aufgabe wird gelöst durch eine Kompres-

sionskälteanlage gemäß Anspruch 1 und ein Verfahren zum Betrieb einer Kompressionskälteanlage nach Anspruch 12. Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den Unteransprüchen beansprucht und werden nachfolgend näher erläutert.

[0015] Eine erfindungsgemäße Kompressionskälteanlage zur Erzeugung von tiefen Temperaturen in einer Kühlumgebung, insbesondere in einer Kältekammer, der eingangs näher beschriebenen Art zeichnet sich durch mindestens drei thermisch gekoppelte Kältemittelkreisläufe auf.

[0016] Der erste Kältemittelkreislauf weist ein erstes Kältemittel, bspw. das Kältemittel R407F auf, wobei das erste Kältemittel in einem Kondensator einer Kühleinrichtung unter Abgabe von Wärme, insbesondere unter Abgabe von Wärme an einen Kaltwassersatz und/oder an die Umgebung, verflüssigt wird. Ferner verdampft das erste Kältemittel unter Aufnahme von Wärme in einem Verdampfer eines ersten Wärmetauschers.

[0017] Der zweite Kältemittelkreislauf weist ein zweites Kältemittel, bspw. das Kältemittel R508B auf, wobei das zweite Kältemittel in einem Kondensator des ersten Wärmetauschers unter Abgabe von Wärme an den ersten Kältemittelkreislauf verflüssigt wird. Ferner verdampft das zweite Kältemittel unter Aufnahme von Wärme in einem Verdampfer eines zweiten Wärmetauschers.

[0018] Der dritte Kältemittelkreislauf weist ein drittes Kältemittel, bspw. das Kältemittel R14 auf, wobei das dritte Kältemittel in einem Kondensator des zweiten Wärmetauschers unter Abgabe von Wärme an den zweiten Kältemittelkreislauf verflüssigt wird. Ferner verdampft das dritte Kältemittel unter Aufnahme von Wärme in einem Verdampfer, insbesondere in einem Kammerverdampfer in der Kältekammer.

[0019] Ferner weist jeder der drei Kältemittelkreisläufe mindestens einen Verdichter zum Verdichten von gasförmigem Kältemittel auf. In den Kondensatoren wird das Kältemittel verflüssigt, wobei eine Druckleitung den Verdichter mit dem Kondensator verbindet. Ein Expansionsventil entspannt das verflüssigte Kältemittel, wobei eine Flüssigkeitsleitung die Kondensatoren mit den Expansionsventilen verbindet. Ein Verdampfer verdampft das entspannte Kältemittel, wobei eine Einspritzleitung das Expansionsventil mit dem Verdampfer verbindet. Um die Kältemittelkreisläufe zu schließen, verbindet jeweils eine Saugleitung die Verdampfer mit den Verdichtern.

[0020] Zur thermischen Kopplung des ersten Kältemittelkreislaufs mit dem dritten Kältemittelkreislauf ist ein dritter Wärmetauscher angeordnet ist. Dabei kann das Kältemittel des ersten Kältemittelkreislaufs zum Abkühlen des Kältemittels des dritten Kältemittelkreislaufs Wärme aus dem Kältemittel des dritten Kältemittelkreislaufs aufnehmen. Hierfür weisen der erste Kältemittelkreislauf und der dritte Kältemittelkreislauf im dritten Wärmetauscher eine gemeinsame Wärmeübertragungsfläche auf, die von dem ersten Kältemittel und dem dritten Kältemittel angeströmt wird, sodass das erste Kältemittel das drit-

te Kältemittel in dem dritten Wärmetauscher abkühlt.

[0021] Durch die beschriebene Anordnung des dritten Wärmetauschers zur direkten Kühlung des dritten Kältemittelkreislauf durch den ersten Kältemittelkreislauf wird die Kompressionskälteanlage insgesamt deutlich effizienter und kann mit weniger Energieeintrag von außen arbeiten. Der Grund hierfür ist, dass ein Teil der Kühlleistung, die zum Abkühlen und Kondensieren des, durch den Verdichter des dritten Kältemittelkreislauf, verdichteten dritten Kältemittels erforderlich ist, direkt durch das erste Kältemittel des ersten Kältemittelkreislauf bereitgestellt und der zweite Kältemittelkreislauf dabei quasi "übersprungen" wird. In anderen Worten, der zweite Kältemittelkreislauf muss in dem zweiten Wärmetauscher eine geringere Wärmemenge abführen, weil eine Teilmenge der abzuführenden Wärmemenge des dritten Kältemittels bereits durch den ersten Kältemittelkreislauf "abgefangen" wird. Dadurch kann der zweite Kältemittelkreislauf insgesamt kleiner und mit weniger zweitem Kältemittel dimensioniert werden, womit auch der Verdichter des zweiten Kältemittelkreislaufs weniger Energie verbraucht. Trotz dieses zusätzlichen dritten Wärmetauschers kann damit die Wirtschaftlichkeit der Kompressionskälteanlage verbessert werden.

[0022] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist der dritte Wärmetauscher einen Verdampfer zum Verdampfen des ersten Kältemittels des ersten Kältemittelkreislaufs in dem dritten Wärmetauscher auf.

[0023] Dafür weist der dritte Wärmetauscher eine Wärmeübertragungsfläche auf, wobei an einer ersten Seite der Wärmeübertragungsfläche das erste Kältemittel des ersten Kältemittelkreislaufs verdampft und somit an einer zweiten Seite der Wärmeübertragungsfläche das Kältemittel des dritten Kältemittelkreislaufs runterkühlt und somit das dritte Kältemittel für die Kondensation vorbereitet. Das dritte Kältemittel wird bspw. von 6°C auf -30°C abgekühlt, wobei es anschließend im zweiten Wärmetauscher bei ca. -80°C kondensiert. Durch die Aggregatzustandsänderung des ersten Kältemittels in dem dritten Wärmetauscher kann das dritte Kältemittel besonders effektiv gekühlt werden.

[0024] Im Rahmen der Erfindung verbindet in dem ersten Kältemittelkreislauf eine Leitung den Kondensator der Kühleinrichtung mit dem dritten Wärmetauscher, wobei entlang der Leitung zwischen dem Kondensator und dem dritten Wärmetauscher ein Vorkühl-Expansionsventil angeordnet ist, welches das erste Kältemittel vor dem Eintritt des ersten Kältemittels in den dritten Wärmetauscher entspannt oder entspannen kann und damit zum Verdampfen in den Verdampfer des dritten Wärmetauschers einspritzt.

[0025] Durch ein separates, dem dritten Wärmetauscher zugehöriges, Vorkühl-Expansionsventil kann die Menge an ersten Kältemittel gezielt eingestellt werden, das in den Verdampfer des dritten Wärmetauschers eingespritzt wird. Dadurch lässt sich nicht nur die Kühlleistung des dritten Wärmetauschers regeln, es wird auch gewährleistet, dass das eingespritzte Kältemittel im drit-

ten Wärmetauscher vollständig verdampft und somit den ersten Verdichter des ersten Kältemittelkreislauf nicht beschädigt. Das Vorkühl-Expansionsventil kann während des Betriebs der Kompressionskälteanlage auch vollständig verschlossen werden, womit der dritte Wärmetauscher während des Kühlbetriebs der Kompressionskälteanlage nicht mehr von dem ersten Kältemittel durchströmt wird.

[0026] Das Vorkühl-Expansionsventil ist vorzugsweise als ein schrittmotorgesteuertes Nadelventil ausgebildet, welches durch eine lineare Stellbewegung und/oder durch eine lineare Veränderung des Querschnitts der Leitung eine Durchflussmenge des ersten Kältemittels in den Verdampfer des ersten Wärmetauschers einstellt. Bei Schrittmotorventilen wird mithilfe eines kleinen Elektromotors ein Ventil rotiert und gleichzeitig durch die Rotation linear im Leitungsquerschnitt bewegt. Dabei verändert das Ventil den Querschnitt innerhalb der Leitung, durch den Kältemittel strömen kann. Je weiter das Ventil geöffnet wird, desto größer ist der durchströmbare Querschnitt der Leitung und desto größer ist der durchgelassene Kältemittelmassenstrom bzw. die Durchflussmenge an Kühlmittel. Alle in der Kompressionskälteanlage verwendeten Expansionsventile können als solche schrittmotorgesteuerten Nadelventile ausgebildet sein.

[0027] Zum Regeln der Leistung der Kompressionskälteanlage und zum Schutz des Verdichters des ersten Kühlkreislaufs vor nicht verdampftem Kältemittel weist die Erfindung ein Steuerungs- und Regelungssystem angeordnet sein, welches Steuerungs- und Regelungssystem auf:

- einen Temperatursensor zur Messung einer momentanen Temperatur des ersten Kältemittels in einer Leitung zwischen dem dritten Wärmetauscher und dem Verdichter;
- einen Drucksensor zur Messung eines Momentandrucks des ersten Kältemittels in einer Leitung zwischen dem dritten Wärmetauscher und dem Verdichter;
- eine Recheneinheit zum Errechnen einer Verdampfungstemperatur des ersten Kältemittels in dem dritten Wärmetauscher aus dem gemessenen Momentandruck und zum Ermitteln einer Regelabweichung zwischen einer vorgegebenen Soll-Differenz und einer Ist-Differenz, wobei die Ist-Differenz die Differenz der Verdampfungstemperatur des ersten Kältemittels und der momentanen Temperatur des ersten Kältemittels ist;
- das Vorkühl-Expansionsventil zum Einstellen der Durchflussmenge des ersten Kältemittels in Abhängigkeit der ermittelten Regeldifferenz.

[0028] Grundsätzlich können die Kältemittel-Durchflussmengen des Verdampfers des ersten Wärmetau-

schers, des Verdampfers des zweiten Wärmetauschers und des Kammerverdampfers des dritten Kältemittelkreislaufs in der Kühlumgebung in gleicher Weise mit einem solchen Steuerungs- und Regelungssystem eingestellt werden. Ein solches System wird auch als "Überhitzungsregler" bezeichnet. Das im Verdampfer verdampfte Kältemittel muss am Ende des Verdampfers vollständig verdampft in der Gasphase vorliegen. Es dürfen keine Flüssigkeitsanteile mehr vorliegen, die dem Verdichter des ersten Kältemittelkreislaufs schaden könnten. Durch den Überhitzungsregler wird aber gleichzeitig auch verhindert, dass das Kältemittel bereits früh im Wärmetauscher vollständig verdampft, und dadurch die Kühlleistung nicht optimal eingestellt ist. Jeder Verdampfungsprozess in der Kompressionskälteanlage kann grundsätzlich mit einem solchen Überhitzungsregler versehen sein. Die Recheneinheit kann eine speicherprogrammierbare Steuerung SPS aufweisen.

[0029] Vorzugsweise weist die Kompressionskälteanlage für die zu kühlende Kühlumgebung auf:

- Einen ersten Kammerverdampfer, der von dem ersten Kältemittel des ersten Kältemittelkreislaufs durchströmt oder durchströmbar ist, wobei zwischen dem Kondensator und dem ersten Kammerverdampfer ein Kammer-Expansionsventil angeordnet ist, welches das erste Kältemittel vor dem Eintritt des ersten Kältemittels in den ersten Kammerverdampfer entspannt oder entspannen kann und damit zum Verdampfen in den ersten Kammerverdampfer einspritzt.
- Einen zweiten Kammerverdampfer, der von dem zweiten Kältemittel des zweiten Kältemittelkreislaufs durchströmt oder durchströmbar ist, wobei zwischen dem Kondensator und dem zweiten Kammerverdampfer ein Kammer-Expansionsventil angeordnet ist, welches das zweite Kältemittel vor dem Eintritt des zweiten Kältemittels in den zweiten Kammerverdampfer entspannt oder entspannen kann und damit zum Verdampfen in den zweiten Kammerverdampfer einspritzt.
- Einen dritten Kammerverdampfer, der von dem dritten Kältemittel des dritten Kältemittelkreislaufs durchströmt oder durchströmbar ist, wobei zwischen dem Kondensator und dem dritten Kammerverdampfer ein Kammer-Expansionsventil angeordnet ist, welches das dritte Kältemittel vor dem Eintritt des dritten Kältemittels in den dritten Kammerverdampfer entspannt oder entspannen kann und damit zum Verdampfen in den dritten Kammerverdampfer einspritzt.

[0030] Die Kammerverdampfer in der Kühlumgebung sind vorzugsweise als Lamellenwärmetauscher mit einem Kupferrohr und Lamellen zu Vergrößerung der Wärmeübertragungsfläche an die Kühlumgebung ausgebil-

det. Durch die Anordnung von drei Kammerverdampfern, die jeweils von Kältemitteln aus unterschiedlichen Kältemittelkreisläufen und damit von Kältemitteln mit unterschiedlichen Temperaturniveaus durchströmt werden oder durchströmbare sind, können in der Kühlumgebung bzw. der Kältekammer verschiedene Temperaturniveaus eingestellt werden. So kann bspw. mit dem ersten Kammerverdampfer in der Kältekammer eine Temperatur von ca. -38 °C eingestellt werden, mit dem zweiten Kammerverdampfer eine Temperatur von ca. -86 °C und mit dem dritten Kammerverdampfer eine Temperatur von ca. -126 °C. So können die Temperaturen flexibel nach den Bedürfnissen des Benutzers gewählt werden.

[0031] In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung verbindet eine Druckleitung den Verdichter des dritten Kältemittelkreislaufs, mit dem Kondensator des zweiten Wärmetauschers, wobei in der Druckleitung zwischen dem Verdichter und dem Kondensator der dritte Wärmetauscher angeordnet ist. In anderen Worten, im Kühlbetrieb ist das dritte Kältemittel beim Kühlbetrieb des dritten Kältemittelkreislaufs durch den Verdichter, dann den dritten Wärmetauscher und dann den zweiten Wärmetauscher geführt, sodass das verdichtete dritte Kältemittel in der Druckleitung zuerst den dritten Wärmetauscher und anschließend den Kondensator des zweiten Wärmetauschers durchströmt.

[0032] Vorzugsweise ist in der Druckleitung zwischen dem zwischen dem Verdichter und dem dritten Wärmetauscher ein Vorkühler des dritten Kältemittelkreislaufs angeordnet.

[0033] Nach dem Austritt des verdichteten gasförmigen dritten Kältemittels aus dem Verdichter weist es eine Temperatur von bis zu 100 °C auf und muss bis zum dritten Kammerverdampfer wieder auf -126 °C abgekühlt werden. Diese Wärmemenge mit einem Temperaturunterschied von ca. 226 °C wird an mehreren Kühleinrichtungen bzw. Wärmetauschern durchgeführt, wobei jeder Wärmetauscher eine Teilaufgabe erledigt. Zuerst wird das verdichtete gasförmige dritte Kältemittel in einen Vorkühler zur Enthitzung auf bspw. 6 °C geführt. D.h. dem Kältemittel wird sensible Wärme entzogen. Dann wird das dritte Kältemittel mit 6 °C in den dritten Wärmetauscher geführt und darin, durch das im dem Verdampfer des dritten Wärmetauschers verdampfende erste Kältemittel, auf bspw. -30 °C gekühlt. Das dritte Kältemittel wird dann in dem zweiten Wärmetauscher von dem, in dem Verdampfer des zweiten Wärmetauschers verdampfenden, zweiten Kältemittel bei bspw. -80 °C verflüssigt. Der Aggregatzustand des zweiten Kältemittels verändert sich und das dritte Kältemittel steht wieder für eine Expansion und Verdampfung zur Verfügung. Durch die zusätzlichen Vorkühler kann die Antriebsenergie des ersten Verdichters, insbesondere aber auch des zweiten Verdichters, innerhalb der Kühlkaskade kleiner sein, sodass das Gesamtkonzept eine wesentlich geringere Energieaufnahme vorsieht.

[0034] Optional kann in dem zweiten Kältemittelkreislauf in der Druckleitung zwischen dem Verdichter und

dem ersten Wärmetauscher ein Vorkühler angeordnet sein, wobei die Kühleinrichtung des ersten Kühlkreislaufs, der Vorkühler des zweiten Kältemittelkreislaufs und der Vorkühler des dritten Kältemittelkreislaufs an einen gemeinsamen Kühlwasserkreislauf angeschlossen sind.

[0035] Zuerst wird das verdichtete gasförmige zweite Kältemittel in einem Vorkühler enthitzt, wobei dem Kältemittel sensible Wärme entzogen wird. Das zweite Kältemittel wird dann in dem ersten Wärmetauscher von dem, indem Verdampfer des ersten Wärmetauschers verdampfenden, ersten Kältemittel verflüssigt. Der Aggregatzustand des ersten Kältemittels verändert sich und das zweite Kältemittel steht wieder für eine Expansion und Verdampfung zur Verfügung. Der Vorkühler im dritten Kältemittelkreislauf und/oder der Vorkühler im zweiten Kältemittelkreislauf können durch Umgebungsluft oder Kühlwassergekühlt werden. Bei wassergekühlten Vorkühlern sind die Kühleinrichtung des ersten Kühlkreislaufs, der Vorkühler des zweiten Kältemittelkreislaufs und der Vorkühler des dritten Kältemittelkreislaufs an einen gemeinsamen Kühlwasserkreislauf angeschlossen sind. Der kalte Kühlwasserstrom fließt zunächst durch die Kühleinrichtung des ersten Kältemittelkreislaufs und nimmt dort Wärme zur Kondensation des ersten Kältemittels auf. Anschließend teilt sich der Kühlwasserstrom auf, wobei ein erster Teilstrom den Vorkühler des zweiten Kältemittelkreislaufs und ein zweiter Teilstrom den Vorkühler des dritten Kältemittelkreislaufs durchströmt. Das aus der Kompressionskälteanlage zurückfließende Kühlwasser kann durch einen Kaltwassersatz gekühlt werden. Ein Kaltwassersatz ist allgemein eine Kälteanlage, die kaltes Wasser bereitstellt und warmes Wasser zurückbekommt. Die Rückkühlung erfolgt durch eine separate Kältemaschine.

[0036] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist der dritte Wärmetauscher Wärmeübertragungsfläche und der zweite Wärmetauscher eine Wärmeübertragungsfläche auf, wobei das Verhältnis der Wärmeübertragungsfläche des dritten Wärmetauschers und der Wärmeübertragungsfläche des zweiten Wärmetauschers zwischen 14 zu 28 und 22 zu 28, insbesondere 18 zu 28 beträgt.

[0037] Der zweite Wärmetauscher ist ein Plattenwärmetauscher, wobei dessen Wärmeübertragungsfläche durch bspw. 28 Platten gebildet wird. Der dritte Wärmetauscher ist ebenfalls ein Plattenwärmetauscher, wobei dessen Wärmeübertragungsfläche durch bspw. 18 Platten gebildet wird. Das Verhältnis der Wärmeübertragungsflächen ist dann im Wesentlichen 18 zu 28, womit die Kühlleistung des dritten Wärmetauschers ca. 18/28 der Kühlleistung des dritten Wärmetauschers beträgt. Damit kann das gasförmige dritte Kältemittel vor dem Kondensieren ausreichend abgekühlt werden. Der erste Wärmetauscher ist ebenfalls ein Plattenwärmetauscher, wobei dessen Wärmeübertragungsfläche durch bspw. 48 Platten gebildet wird. Damit beträgt die Kühlleistung des dritten Wärmetauschers dann ca. 18/48 der Kühlleistung des ersten Wärmetauschers und die Kühlleistung

tung des zweiten Wärmetauschers ca. 28/48 der Kühlleistung des ersten Wärmetauschers.

[0038] Vorzugsweise sind der Verdichter des ersten Kältemittelkreislaufs und/oder der Verdichter des zweiten Kältemittelkreislaufs und/oder der Verdichter des dritten Kältemittelkreislaufs als Scrollverdichter ausgebildet.

[0039] Ein Scrollverdichter (auch Scrollkompressor oder Spiralverdichter) ist allgemein ein Verdichter, der aus zwei ineinander verkämmtten Verdichterspiralen besteht, deren gegenläufige Bewegung das Gas der Kältemittel verdichtet. Im Gegensatz zu den in Kompressionskälteanlagen häufig verwendeten Hubkolbenverdichtern stellen die Scrollverdichter keinen oszillierenden Kältemittelmassenstrom bereit, sondern einen permanenten und gleichmäßigen Kältemittelmassenstrom.

[0040] In einer optionalen Weiterbildung der Erfindung verbindet in dem ersten Kältemittelkreislauf und/oder dem zweiten Kältemittelkreislauf und/oder dem dritten Kältemittelkreislauf eine Leitung den Kondensator mit dem Verdichter, wobei in der Leitung zwischen dem Kondensator und dem Verdichter ein Verdichter-Expansionsventil angeordnet ist, welches das Kältemittel in den Verdichter einspritzt.

[0041] Durch ein solches Nacheinspritzen von Kältemittel durch ein im Bereich des Verdichters angeordnetes Verdichter-Expansionsventil wird der Verdichter gekühlt, der sich ansonsten durch den Verdichtungsprozess stark aufheizen würde. Vorzugsweise wird das Kältemittel direkt in die Verdichterspiralen eingespritzt. Dadurch wird das Erhitzen des verdichteten Gases auf bspw. 100°C begrenzt. Durch eine solche Kühlung kann die Lebensdauer der Verdichter gesteigert werden.

[0042] In einer vorteilhaften Ausbildung wird im ersten Kältemittelkreislauf als erstes Kältemittel eine Tetrafluorethan/ Pentafluorethan/ Difluormethan-Mischung, im zweiten Kältemittelkreislauf als zweites Kältemittel eine Trifluormethan/ Hexafluorethan-Mischung und im dritten Kältemittelkreislauf als drittes Kältemittel Tetrafluorethan eingesetzt.

[0043] Die Tetrafluorethan/ Pentafluorethan/ Difluormethan-Mischung ist auch bekannt unter der Bezeichnung R407F, die Trifluormethan/ Hexafluorethan-Mischung ist auch bekannt unter der Bezeichnung R508B und Tetrafluormethan ist auch bekannt unter der Bezeichnung R14. Weitere Informationen zu den Kältemitteln können Stoffdatenblättern entnommen werden. Diese Kältemittel haben sich von ihren Eigenschaften als besonders gut geeignet herausgestellt.

[0044] Eigenständiger Erfindungsschutz wird beansprucht für ein Verfahren zur Erzeugung von tiefen Temperaturen in einer Kühlumgebung, insbesondere einer Kältekammer, mit einer Kompressionskälteanlage, insbesondere einer Kompressionskälteanlage in einer der bereits beschriebenen Ausführungen, aufweisend mindestens drei thermisch gekoppelte Kältemittelkreisläufe, wobei das erfindungsgemäße Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

- Bereitstellen der Kompressionskälteanlage
- Kühlen der Kühlumgebung mit dem ersten Kammerverdampfer durch das Kältemittel des ersten Kältemittelkreislaufs,
- Vorkühlen und/oder Vorkondensieren des Kältemittels des zweiten Kältemittelkreislaufs mit einem ersten Wärmetauscher durch das Kältemittel des ersten Kältemittelkreislaufs,
- Kühlen der Kühlumgebung mit dem zweiten Kammerverdampfer durch das Kältemittel des zweiten Kältemittelkreislaufs,
- Vorkühlen und/oder Vorkondensieren des Kältemittels des dritten Kältemittelkreislaufs mit einem zweiten Wärmetauscher durch das Kältemittel des zweiten Kältemittelkreislaufs und mit einem dritten Wärmetauscher durch das Kältemittel des ersten Kältemittelkreislaufs,
- Kühlen der Kühlumgebung mit dem dritten Kammerverdampfer durch das Kältemittel des dritten Kältemittelkreislaufs.

[0045] Das beschriebene Verfahren kann zum Kühlen einer Kältekammer auf bis zu -130°C eingesetzt werden. Vorzugsweise beginnen die angegebenen Verfahrensschritte in der angegebenen Reihenfolge. Optional wird ein Verfahrensschritt beendet, bevor der darauffolgende Verfahrensschritt beginnt. Alternativ gibt es zeitliche Überschneidungen zwischen den einzelnen Verfahrensschritten.

[0046] In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens erfolgt das Vorkühlen und/oder Vorkondensieren des zweiten Kältemittels und das Kühlen der Kühlumgebung mit dem zweiten Kammerverdampfer und/oder das Vorkühlen und/oder Vorkondensieren des dritten Kältemittels und das Kühlen der Kühlumgebung mit dem dritten Kammerverdampfer wenigstens zeitweise gleichzeitig.

[0047] Dadurch, dass die Vorkühlung eines Kältemittelkreislaufs zeitgleich mit dem Betrieb des Kammerverdampfers des gleichen Kältemittelkreislaufs erfolgt, kann das Verfahren zum Abkühlen der Kühlumgebung, insbesondere der Kältekammer, beschleunigt werden.

[0048] Im Rahmen der Erfindung wird nach Beendigung des Vorkühlens und/oder Vorkondensierens des zweiten Kältemittelkreislaufs der Verdichter des zweiten Kältemittelkreislaufs gestartet und/oder nach Beendigung des Vorkühlens und/oder Vorkondensierens des dritten Kältemittelkreislaufs wird der Verdichter des dritten Kältemittelkreislaufs gestartet. Das eigentliche Kühlen der Kühlumgebung mit dem jeweiligen Kältemittelkreislauf umfasst den Betrieb des Verdichters des Kältemittelkreislaufs.

[0049] In einer optionalen Weiterbildung wird vor dem

Vorkühlen und/oder Vorkondensieren des Kältemittels des zweiten Kältemittelkreislaufs und/oder vor dem Vorkühlen und/oder Vorkondensieren des Kältemittels des dritten Kältemittelkreislaufs ein Freigabeprüfschritt durchgeführt, wobei geprüft wird, ob eine vorab vorgegebene Temperatur in der Kühlumgebung erreicht worden ist.

[0050] In anderen Worten, im Bereich der Kühlumgebung ist mindestens ein Temperatursensor zum Ermitteln einer momentanen Temperatur angeordnet, wobei der Sensor einen Messwert für einen Freigabeprüfschritt liefert. Es können in der Kühlumgebung auch mehr als ein Temperatursensor angeordnet sein, wobei jeder Temperatursensor einem eigenen Freigabeschritt zugeordnet ist. So ist bspw. in dem zweiten Kammerverdampfer ein Temperatursensor angeordnet, der den erforderlichen Messwert von -35°C für einen Freigabeschritt für den Beginn des Vorkühlens und/oder Vorkondensierens des Kältemittels des zweiten Kältemittelkreislaufs bereitstellt. Ferner kann bspw. in dem dritten Kammerverdampfer ein Temperatursensor angeordnet werden, der den erforderlichen Messwert von -75°C für einen Freigabeschritt für den Beginn des Vorkühlens und/oder Vorkondensierens des Kältemittels des dritten Kältemittelkreislaufs bereitstellt. Für weitere Informationen zu den Freigabeschritten wird auf die Figurenbeschreibung zu Figur 3 verwiesen.

[0051] Vorzugsweise wird das Vorkühlen und/oder Vorkondensieren des Kältemittels des zweiten Kältemittelkreislaufs und/oder das Vorkühlen und/oder Vorkondensieren des Kältemittels des dritten Kältemittelkreislaufs in einer vorab vorgegebenen Zeitdauer, bspw. 2-8 Minuten, durchgeführt.

[0052] Beim Vorkühlen und/oder Vorkondensieren des zweiten Kältemittelkreislaufs ist der Verdichter des zweiten Kältemittelkreislaufs noch nicht in Betrieb. Beim Vorkühlen und/oder Vorkondensieren des dritten Kältemittelkreislaufs ist der Verdichter des dritten Kältemittelkreislaufs noch nicht in Betrieb. Vor dem Vorkühlen und/oder Vorkondensieren liegt das Kältemittel in den jeweiligen Kältemittelkreisläufen noch gasförmig vor und es herrscht durch das Gas ein sehr hoher Druck im System. Das Vorkühlen und/oder Vorkondensieren wird daher durchgeführt, um das Kältemittel durch Energieentzug abzukühlen wenigstens teilweise zu verflüssigen, den Druck abzusenken, und die Verdichter bei deren Start vor zu hohen Drücken bzw. Belastungen zu schützen. Beim Vorkühlen und/oder Vorkondensieren kann innerhalb weniger Minuten der Druck um ca. 10 bar gesenkt werden. Durch die Implementierung eines festen Zeitintervalls ist für die Beendigung der Vorkühl-/Vorkondensierschritte die Einrichtung zusätzlicher, von Messwerten abhängigen, Freigabeschritten entbehrlich. Damit werden die Kosten zur automatischen Regelung der Anlage gesenkt und das Programm zur Steuerung der Anlage vereinfacht.

[0053] In einer bevorzugten sind beim Vorkühlen und/oder Vorkondensieren des Kältemittels des zweiten

Kältemittelkreislaufs das Expansionsventil und das Kammer-Expansionsventil des zweiten Kältemittelkreislaufs teilweise geöffnet und/oder beim Vorkühlen und/oder Vorkondensieren des Kältemittels des dritten Kältemittelkreislaufs ist das Expansionsventil des dritten Kältemittelkreislaufs teilweise geöffnet, damit das Kältemittel entgegen der Expansionsrichtung der Expansionsventile zurückströmt oder zurückströmen kann.

[0054] Das Vorkühlen und/oder Vorkondensieren wird nachfolgend als Vorkühlbetrieb bezeichnet. Im Vorkühlbetrieb sind die Verdichter des vorzukühlenden Kreislaufs noch ausgeschaltet. Das in dem jeweiligen vorgekühlten Kältemittelkreislauf befindliche Kältemittel strebt quasi in einer "statischen Kühlung", bedingt durch das Druckgefälle zwischen heißestem und kältestem Punkt innerhalb des Kältemittelkreislaufs immer zum kältesten Punkt des jeweiligen Kältemittelkreislaufs. In dem dritten Kältemittelkreislauf ist dies beim Vorkühlbetrieb mit ca. -80°C der Kondensator des zweiten Wärmetauschers, der durch das verdampfende Kältemittel des zweiten Kältemittelkreislaufs gekühlt wird. Wenigstens teilweise geöffnete Expansionsventile geben dem Kältemittel die Möglichkeit, entgegen der eigentlichen Expansionsrichtung bzw. Einspritzrichtung der Ventile im Kältemittelkreislauf zum kältesten Punkt strömen und dort zu kondensieren. Das verflüssigte Kältemittel verbleibt während des Vorkühlbetriebs im Wärmetauscher und wird erst mit dem Start des jeweiligen Verdichters in Bewegung gesetzt. Insbesondere das Expansionsventil des dritten Kältemittelkreislaufs bleibt zu 20% des Betrags der maximalen Öffnung geöffnet, damit kein Einsperren des Kältemittels im Kältekreislauf möglich ist. Durch die Öffnung der Expansionsventile während des Vorkühlbetriebs, damit die gasförmigen Kältemittel zum kältesten Punkt im Kältemittelkreislauf strömen können, können zusätzliche Bypassleitungen entfallen.

[0055] Weitere Einzelheiten, Merkmale, Merkmals(unter)kombinationen, Vorteile und Wirkungen auf der Basis der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels {bzw. -beispiele} der Erfindung und den Zeichnungen. Diese zeigen in

Fig. 1a ein Rohrleitungs- und Instrumentenfließbild einer beispielhaften erfindungsgemäßen Kompressionskälteanlage mit zwei Kältemittelkreisläufen,

Fig. 1b ein Rohrleitungs- und Instrumentenfließbild einer ersten beispielhaften erfindungsgemäßen Kompressionskälteanlage mit drei Kältemittelkreisläufen,

Fig. 1c ein Rohrleitungs- und Instrumentenfließbild einer zweiten beispielhaften erfindungsgemäßen Kompressionskälteanlage mit drei Kältemittelkreisläufen,

Fig. 2 das Steuerungs- und Regelungssystem des Überhitzungsreglers für den dritten Wärmetauscher und

Fig. 3 ein Ablaufdiagramm eines beispielhaften erfindungsgemäßen Verfahrens zum kühlen einer Kühlumgebung mit einer Kompressionskälteanlage.

[0056] Die Figuren sind lediglich beispielhafter Natur und dienen nur dem Verständnis der Erfindung. Die gleichen Elemente sind mit denselben Bezugszeichen versehen. Zur besseren Anschaulichkeit wird nachfolgenden Figurenbeschreibung für das erste Kältemittel das beispielhaft eingesetzte Kältemittel R407F, für das zweite Kältemittel das beispielhaft eingesetzte Kältemittel R508B und für das dritte Kältemittel das beispielhaft eingesetzte Kältemittel R14 verwendet.

[0057] Figur 1a zeigt eine beispielhafte erfindungsgemäße Kompressionskälteanlage 100 zur Erzeugung von tiefen Temperaturen in einer Kältekammer 400 mit einer Kältekaskade mit zwei thermisch gekoppelten Kältemittelkreisläufen I, II. Damit können in der Kältekammer 400 maximal -80°C erreicht werden. Zur Erläuterung wird auf die Beschreibung zu Figur 1b verwiesen.

[0058] Die Figur 1b zeigt eine beispielhafte Kompressionskälteanlage 100 zur Erzeugung von tiefen Temperaturen in einer Kältekammer 400. Damit in der Kältekammer 400 Temperaturen von bis zu -130°C erreicht werden können, wird in der Kompressionskälteanlage 100 eine Kältekaskade mit drei thermisch gekoppelten Kältemittelkreisläufen I, II, III eingesetzt. Dabei kühlt ein erster Kältemittelkreislauf I oder mit dem Kältemittel R407F einen zweiten Kältemittelkreislauf II mit dem Kältemittel R508B. Der zweite Kältemittelkreislauf II wiederum kühlt einen dritten Kältemittelkreislauf III mit dem Kältemittel R14. Der dritte Kältemittelkreislauf III kann die tiefen Temperaturen in der Kältekammer 400 bereitstellen. Die einzelnen Kältemittelkreisläufe I, II, III werden nachfolgend einzeln beschrieben.

[0059] In dem ersten Kältemittelkreislauf I liegt das R407F zunächst gasförmig vor und wird in einem Verdichter 101 auf bspw. 11 bar verdichtet. Der Verdichter 101 ist vorzugsweise als Scrollverdichter, bspw. vom Typ Emerson ZF-25, ausgebildet. Am Ausgang aus dem Verdichter 101 ist eine Druckleitung 115 angeordnet. Der Verdichter 101 weist einen Öl geschmierten Antriebsmotor auf. Daher ist in der Druckleitung 115 ein Ölabscheider 113 vorgesehen, der das Öl aus dem verdichteten R407F-Gasstrom abscheidet. Eine Ölrückführung 114 führt das abgeschiedene Öl zum Verdichter 101 zurück. Durch den Verdichter 101 wird das gasförmige R407F auf ein höheres Druckniveau gebracht, womit sich auch die Temperatur erhöht. Die Druckleitung 115 leitet das gasförmige R407F zur Kühlung und Kondensation in einen Kondensator 102. Der Kondensator 102 ist eine als Wärmetauscher vom Typ SWEF B12H-70 ausgebildete Kühleinrichtung 110, die mit einem Kaltwassersatz 119

bei bspw. 25°C gekühlt wird, sodass das gasförmige R407F abkühlt und kondensiert. Das kondensierte und damit flüssige R407F wird zunächst in einer Sammlerflasche 108 gesammelt. Am Austritt aus der Sammlerflasche 108 ist in der Flüssigkeitsleitung 116 ein Trockner 109 zur Absorption der Restfeuchte und ein Schauglas 112 angeordnet. Die Flüssigkeitsleitung 116 verzweigt sich auf insgesamt vier Flüssigkeitsteilleitungen 116a, 116b, 116c, 116d, wobei am Ende jeder Teilleitung 116a, 116b, 116c, 116d ein Expansionsventil 103, 106, 107, 131 angeordnet ist.

- Am Ende einer ersten Teilleitung 116a ist das Expansionsventil 103 zur Absenkung der Verdampfungstemperatur des R407F angeordnet. An das Expansionsventil 103 schließt eine Einspritzteilleitung 117a an, welche das entspannte R407F in einen Verdampfer 104 eines ersten Wärmetauschers 120 vom Typ SWEF B12H-50 einspritzt. Beim Verdampfungsprozess verdampft das R407F bei ca. -38°C vollständig und nimmt dabei Wärme aus dem R508B auf, wobei das R508B dabei kondensiert. Das in dem Verdampfer 104 verdampfte gasförmige R407F wird durch den Verdichter 101 aus einer Saugteilleitung 118a wieder zum Verdichten angesaugt.

- Am Ende einer zweiten Flüssigkeitsteilleitung 116b ist das Kammer-Expansionsventil 106 angeordnet. An das Kammer-Expansionsventil 106 schließt eine Einspritzteilleitung 117b an, welche das entspannte R407F in einen Kammerverdampfer 105 in der Kältekammer 400 einspritzt. Beim Verdampfungsprozess verdampft das R407F bei ca. -38°C vollständig und nimmt dabei Wärme aus der Kältekammer 400 auf. Das in dem Kammerverdampfer 105 verdampfte gasförmige R407F wird durch den Verdichter 101 aus einer Saugteilleitung 118b wieder zum Verdichten angesaugt.

- Am Ende einer dritten Flüssigkeitsteilleitung 116c ist das Verdichter-Expansionsventil 107 angeordnet. An das Verdichter-Expansionsventil 107 schließt eine Einspritzteilleitung 117c an, welche das entspannte R407F in zur Kühlung des Verdichters 101 in den Verdichter 101 naheinspritzt.

- Am Ende einer vierten Flüssigkeitsteilleitung 116d ist das Vorkühl-Expansionsventil 131 angeordnet. An das Vorkühl-Expansionsventil 131 schließt eine Einspritzteilleitung 117d an, welche das entspannte R407F in einen Verdampfer 134 eines dritten Wärmetauschers 130 vom Typ SWEF B12H-20 einspritzt. Beim Verdampfungsprozess verdampft das R407F bei ca. -38°C vollständig und nimmt dabei Wärme aus dem R14 auf, wobei das R14 abkühlt. Das in dem Verdampfer 134 verdampfte gasförmige R407F wird durch den Verdichter 101 aus einer Saugteilleitung 118d wieder zum Verdichten ange-

saugt.

[0060] Die Saugteileitungen 118a, 118b, 118d vereinigen sich vor dem Eintritt in den Verdichter 101 wieder zu einer gemeinsamen Saugleitung 118. Zur Verbesserung des Wirkungsgrades ist ein Rekuperator 111 angeordnet, der von der Flüssigkeitsleitung 116 und der Saugleitung 118 durchsetzt ist, damit gasförmiges R407F aus der Saugleitung 118 das flüssige R407F aus der Flüssigkeitsleitung zusätzlich abkühlt.

[0061] In dem zweiten Kältemittelkreislauf II liegt auch das R508B zunächst gasförmig vor und wird in einem Verdichter 201 auf bspw. 11 bar verdichtet. Der Verdichter 201 ist vorzugsweise als Scrollverdichter, bspw. vom Typ Emerson ZF-15, ausgebildet. Am Ausgang aus dem Verdichter 201 weist eine Druckleitung 215 angeordnet. Der Verdichter 201 weist einen Öl geschmierten Antriebsmotor auf. Daher ist in der Druckleitung 215 ein Ölabscheider 213 vorgesehen, der das Öl aus dem verdichteten R508B-Gasstrom abscheidet. Eine Ölrückführung 214 führt das abgeschiedene Öl zum Verdichter 201 zurück. Durch den Verdichter 201 wird das gasförmige R508B auf ein höheres Druckniveau gebracht, womit sich auch die Temperatur des R508B erhöht. Die Druckleitung 215 leitet das gasförmige R508B zur Kühlung in einen Kondensator 202. Der Kondensator 202 ist Teil des ersten Wärmetauschers 120, der von verdampfendem R407F gekühlt wird, welches dabei den Verdampfer 104 des ersten Wärmetauschers 120 durchströmt. Das gasförmige R508B wird bei ca. -32°C gekühlt, sodass es abkühlt und kondensiert. Das gasförmige R508B kann ferner zusätzlich nach dem Austritt aus dem Verdichter 201 und vor dem Eintritt in den Kondensator 202 in der Druckleitung 315 durch einen zusätzlichen mit einem Kaltwassersatz 219 gekühlten Vorkühler 210, bspw. Typ SWEP B12H-20 abgekühlt werden. Am Austritt aus dem Kondensator 202 ist in der Flüssigkeitsleitung 216 ein Trockner 209 zur Absorption der Restfeuchte und ein Schauglas 212 angeordnet. Die Flüssigkeitsleitung 216 verzweigt sich auf insgesamt drei Flüssigkeitsteilleitungen 216a, 216b, 216c, wobei am Ende jeder Flüssigkeitsteilleitung 216a, 216b, 216c ein Expansionsventil 203, 206, 207 angeordnet ist.

- Am Ende einer ersten Flüssigkeitsteilleitung 216a ist das Expansionsventil 203 zur Absenkung der Verdampfungstemperatur des R508B angeordnet. An das Expansionsventil 203 schließt eine Einspritzteilleitung 217a an, welche das entspannte R508B in einen Verdampfer 204 eines zweiten Wärmetauschers 230 vom Typ SWEP B12H-30 einspritzt. Beim Verdampfungsprozess verdampft das R508B bei ca. -86°C vollständig und nimmt dabei Wärme aus dem R14 auf, wobei das R14 dabei kondensiert. Das in dem Verdampfer 204 verdampfte gasförmige R508B wird durch den Verdichter 201 aus einer Saugteilleitung 218a wieder zum Verdichten angesaugt.

- Am Ende einer zweiten Flüssigkeitsteilleitung 216b ist das Kammer-Expansionsventil 206 angeordnet. An das Kammer-Expansionsventil 206 schließt eine Einspritzteilleitung 217b an, welche das entspannte R508B in einen Kammerverdampfer 205 der Kältekammer 400 einspritzt. Beim Verdampfungsprozess verdampft das R508B bei ca. -86°C vollständig und nimmt dabei Wärme aus der Kältekammer 400 auf. Das in dem Kammerverdampfer 205 verdampfte gasförmige R508B wird durch den Verdichter 201 aus einer Saugteilleitung 218b wieder zum Verdichten angesaugt.

- Am Ende einer dritten Flüssigkeitsteilleitung 216c ist das Verdichter-Expansionsventil 207 angeordnet. An das Verdichter-Expansionsventil 207 schließt eine Einspritzteilleitung 217c an, welche das entspannte R508B in zur Kühlung des Verdichters 201 in den Verdichter 201 naheinspritzt.

[0062] Die Saugteileitungen 218a, 218b vereinigen sich vor dem Eintritt in den Verdichter 201 wieder zu einer gemeinsamen Saugleitung 218. Zur Verbesserung des Wirkungsgrades ist ein Rekuperator 211 angeordnet, der von der Flüssigkeitsleitung 216 und der Saugleitung 218 durchsetzt ist, damit gasförmiges R508B aus der Saugleitung 218 das flüssige R508B der Flüssigkeitsleitung 216 zusätzlich abkühlt.

[0063] In dem dritten Kältemittelkreislauf III liegt auch das R14 zunächst gasförmig vor und wird in einem Verdichter 301 auf bspw. 11 bar verdichtet. Der Verdichter 301 ist vorzugsweise als Scrollverdichter, bspw. vom Typ Emerson ZF-06, ausgebildet. Am Ausgang aus dem Verdichter 301 ist eine Druckleitung 315 angeordnet. Der Verdichter 301 weist ebenfalls in der Druckleitung 315 einen Ölabscheider 313 auf, der das Öl aus dem verdichteten R14-Gasstrom abscheidet. Eine Ölrückführung 314 führt das abgeschiedene Öl zum Verdichter 301 zurück. Durch den Verdichter 301 wird das gasförmige R14 auf ein höheres Druckniveau gebracht, womit sich auch die Temperatur des R14 erhöht. Die Druckleitung 315 leitet das gasförmige R14 nach dem Austritt aus dem Verdichter 301 zur Kühlung zunächst vorzugsweise durch einen, mit einem Kaltwassersatz 319 gekühlten, Vorkühler 310, bspw. Typ SWEP B12H-20. Dort wird dem gasförmigen R14 sensible Wärme entzogen. Nach dem Kaltwassersatz-gekühlten Vorkühler 310 wird das R14 durch den dritten Wärmetauscher 130 geleitet und dort bei ca. -30 °C weiter abgekühlt. Die Kühlleistung in dem dritten Wärmetauscher 130 wird durch das in dem Verdampfer 134 verdampfende R407F des ersten Kältemittelkreislaufs I bereitgestellt. Nach dem Austritt aus dem dritten Wärmetauscher 130 wird das R14 durch einen Kondensator 302 geleitet. Der Kondensator 302 ist Teil des zweiten Wärmetauschers 230, der von verdampfendem R508B gekühlt wird, welches den Verdampfer 204 des zweiten Wärmetauschers 230 durchströmt. Das gasförmige R14 wird bei ca. -80°C gekühlt, sodass es

abkühlt und kondensiert. Am Austritt aus dem Kondensator 302 ist in der Flüssigkeitsleitung 316 ein Trockner 309 zur Absorption der Restfeuchte und ein Schauglas 312 angeordnet. Die Flüssigkeitsleitung 316 verzweigt sich auf insgesamt zwei Flüssigkeitsteilleitungen 316a, 316c, wobei am Ende jeder Flüssigkeitsteilleitung 316a, 316c ein Expansionsventil 303, 307 angeordnet ist.

- Am Ende einer ersten Flüssigkeitsteilleitung 316b ist das Kammer-Expansionsventil 303 angeordnet. An das Kammer-Expansionsventil 303 schließt eine Einspritzteilleitung 317b an, welche das entspannte R14 in einen Kammerverdampfer 304 der Kältekammer 400 einspritzt. Beim Verdampfungsprozess verdampft das R14 bei ca. -126°C vollständig und nimmt dabei Wärme aus der Kältekammer 400 auf. Das in dem Kammerverdampfer 304 verdampfte gasförmige R14 wird durch den Verdichter 301 aus einer Saugleitung 318 wieder zum Verdichten angesaugt.
- Am Ende einer zweiten Flüssigkeitsteilleitung 316c ist das Verdichter-Expansionsventil 307 angeordnet. An das Verdichter-Expansionsventil 307 schließt eine Einspritzteilleitung 317c an, welche das entspannte R14 zur Kühlung des Verdichters 301 in den Verdichter 301 naheinspritzt.

[0064] Der erste Wärmetauscher 120, der zweite Wärmetauscher 230, der dritte Wärmetauscher 130, die Kühleinrichtung 110 und/oder die Vorkühler 210, 310 können alle oder teilweise als Wärmetauscher, insbesondere Plattenwärmetauscher, ausgebildet sein, die von Wärmeträgermedien (Kältemittel, Wasser,...) vorzugsweise im Gegenstrom durchströmt werden. Einspritzleitungen bzw. Einspritzteilleitungen 117a-d, 217a-c, 317b,c sind in der Praxis so kurz wie möglich ausgebildet, um Verluste zu vermeiden. Vorzugsweise befinden sich die Expansionsventile 103, 203, 303, 106, 206, 107, 207, 307, 131 direkt an der Vorrichtung, in die das entspannte Kältemittel eingespritzt wird. Die Kühleinrichtung 110 des ersten Kühlreislaufs I, der Vorkühler 210 des zweiten Kältemittelkreislaufs II und der Vorkühler 310 des dritten Kältemittelkreislaufs III sind an einen gemeinsamen Kühlwasserkreislauf 119, 219, 319 angeschlossen, wobei der Kühlwasserkreislauf 119, 219, 319 nach dem Durchströmen der durch eine Kaltwassersatzkühlung kühlbar ist. Nach dem Durchströmen der Kühleinrichtung 110 teilt sich der Kühlwasserkreislauf 119 in zwei Kühlwasserteilströme 219, 319 auf, wobei ein erster Kühlwasserteilstrom 219 den Vorkühler 210 des zweiten Kältemittelkreislaufs II und ein erster Kühlwasserteilstrom 319 den Vorkühler 310 des dritten Kältemittelkreislaufs III parallel dazu durchströmt. Im Rücklauf vereinigen sich die Kühlwasserteilströme 219, 319 wieder. Zusätzlich kann im ersten Kältemittelkreislauf ein Hubkolbenverdichter 140 zum Entfeuchten der Kältekammer 400 beim Start der Kompressionskälteanlage 100 angeordnet sein.

[0065] Figur 1c zeigt eine zweite Ausführungsform ei-

ner erfindungsgemäßen Kompressionskälteanlage 100. Im Unterschied zu Figur 1b entfallen die wassergekühlten Vorkühler 210, 310. Stattdessen können bspw. (nicht dargestellte) luftgekühlte Vorkühler angeordnet sein.

[0066] Figur 2 zeigt das Steuer- und Regulationssystem des Überhitzungsreglers für den dritten Wärmetauscher 130. Dabei nimmt ein analoger Temperatursensor 135, bspw. ein Platin-Messwiderstand PT 1000, am Austritt aus dem Verdampfer 134 des dritten Wärmetauschers 130 die momentane Temperatur $T_{1,K1}$ des R407F auf.

[0067] Gleichzeitig errechnet eine Recheneinheit 500 aus dem analogen Druckmesswert $p_{1,K1}$ eines Drucksensors 136 in der Saugleitung 118 eine Verdampfungstemperatur $T_{0,K1}$. Ein DIPD-Regler ermittelt eine Regelabweichung durch einen Soll-Ist-Vergleich zwischen einer vorgegebenen Soll-Differenz und einer Ist-Differenz zwischen der gemessenen Temperatur $T_{1,K1}$ und der aus dem Druckmesswert $p_{1,K1}$ errechneten Verdampfungstemperatur $T_{0,K1}$. Diese Soll-Differenz für die geforderte Überhitzung kann bspw. mit 5-15 K in dem DPID-Regler vorgegeben werden. Die vorgegebene Überhitzung ist grundsätzlich abhängig von den verwendeten Wärmetauschern. Ist die Soll-Differenz größer als die Ist-Differenz, besteht die Gefahr, dass das R407 nicht vollständig verdampft ist und den Verdichter 101 beschädigen könnte. Das Vorkühl-Expansionsventil 131 erhält das Stellsignal, die Durchflussmenge an R407F zu reduzieren. Ist die Soll-Differenz kleiner als die Ist-Differenz, verdampft das Kältemittel zu früh und die Kühlleistung des dritten Wärmetauschers 130 ist möglicherweise unerwünscht reduziert, was die Energieeffizienz der Anlage verschlechtert. Das Vorkühl-Expansionsventil 131 erhält in diesem Fall das Stellsignal, die Durchflussmenge an R407F zu erhöhen.

[0068] Figur 3 zeigt ein Ablaufdiagramm eines beispielhaften Verfahrens 600. Das Verfahren 600 beginnt mit dem Bereitstellen 601 der Kompressionskälteanlage 100. Dann erfolgt das Kühlen 602 der Kältekammer 400 mit einem ersten Kammerverdampfer 105 durch das R407F, wobei dem ersten Kammerverdampfer 105 durch das Kammer-Expansionsventil 106 R407F eingespritzt wird. Vor dem Beginn des Vorkühlens und/oder Vorkondensierens 603 des R508B wird ein Freigabeprüfungsschritt 607 durchgeführt. Dabei wird geprüft, ob eine vorab vorgegebene Temperatur T_{Kammer} von bspw. -35°C in der Kühlumgebung 400 erreicht ist. Die Temperatur T_{Kammer} wird durch einen Temperatursensor in der Kältekammer 400, insbesondere als Paketsensor in dem zweiten Kammerverdampfer 205 ermittelt. Die Temperatur T_{Kammer} wird optional als Analogwert an die Recheneinheit 500 übermittelt. Eine Software auf der Recheneinheit 500 startet an einem Umschlagpunkt die Vorkühlung 603, wobei der Umschlagpunkt neben der erforderlichen Freigabebedingung Temperatur T_{Kammer} auch weitere Freigabebedingungen wie Lizenzen oder Sicherheitsketten beim Freigabeprüfungsschritt 607 voraussetzen kann. Durch eine voreingestellte Freigabedifferenz

voreingestellte Freigabedifferenz von bspw. 30°C führen kurzzeitige Temperaturschwankungen nicht zu Freigabeschwankungen am Umschlagpunkt.

[0069] Zum Start oder zum Ende des Vorkühlens und/oder Vorkondensierens 603 des R508B mit dem ersten Wärmetauscher 120 durch das R407F wird das erste Kammer-Expansionsventil 106 geschlossen. Zum Start des Vorkühlens und/oder Vorkondensierens 603 des R508B wird das Expansionsventil 203 und das Kammer-Expansionsventil 206 des zweiten Kältemittelkreislaufs II wenigstens teilweise geöffnet (bspw. 20%), damit durch die Druckunterschiede innerhalb des zweiten Kältemittelkreislaufs II das gasförmige R508B entgegen der Einspritzrichtung der Expansionsventile 203, 206 zum Kondensator 202 strömen und dort zum Vorkondensieren sammeln kann. Das Vorkühlen und/oder Vorkondensieren 603 des R508B wird nach Freigabe 607 der Vorkühlung 603 in einer vorab vorgegebenen Zeitdauer Δt , bspw. 2-8 Minuten, durchgeführt.

[0070] Nach Beendigung des Vorkühlens und/oder Vorkondensierens 603 wird zum Kühlen 604 der Verdichter 201 des zweiten Kältemittelkreislaufs II gestartet. Beim Kühlen 604 der Kühlumgebung 400 mit einem zweiten Kammerverdampfer 205, wird dem zweiten Kammerverdampfer 205 durch das Kammer-Expansionsventil 206 R508B eingespritzt.

[0071] Vor dem Beginn des Vorkühlens und/oder Vorkondensierens 605 des R14 wird ein weiterer Freigabeprüfschritt 608 durchgeführt. Dabei wird geprüft, ob eine vorab vorgegebene Temperatur T_{Kammer} von bspw. -75°C in der Kühlumgebung 400 erreicht ist. Die Temperatur T_{Kammer} wird durch einen analogen Temperatursensor in der Kältekammer 400, insbesondere als Paketsensor in dem dritten Kammerverdampfer 304 ermittelt. Im Übrigen ist der Freigabeprüfschritt 608 zum dem Freigabeprüfschritt vergleichbar 607.

[0072] Zum Start oder zum Ende des Vorkühlens und/oder Vorkondensierens 605 des R14 mit dem zweiten Wärmetauscher 120 durch das R508B und mit dem dritten Wärmetauscher 130 durch das R14 wird das zweite Kammer-Expansionsventil 206 geschlossen. Zum Start des Vorkühlens und/oder Vorkondensierens 605 des R14 werden ferner das Expansionsventil 203 und das Vorkühl-Expansionsventil 131 geöffnet, damit die Verdampfer 134, 204 in den Wärmetauschern 230, 130 durchströmt werden können. Zum Start des Vorkühlens und/oder Vorkondensierens 605 des R14 wird ferner das (Kammer)-Expansionsventil 303 des dritten Kältemittelkreislaufs III zusätzlich wenigstens teilweise geöffnet (bspw. 20%), damit durch die Druckunterschiede innerhalb des dritten Kältemittelkreislaufs III das gasförmige R14 entgegen der Einspritzrichtung zum Kondensator 302 und zum dritten Wärmetauscher 130 strömen kann. Das Vorkühlen und/oder Vorkondensieren 605 des R14 wird nach Freigabe 608 der Vorkühlung 605 in einer vorab vorgegebenen Zeitdauer Δt , bspw. 2-8 Minuten, wieder beendet. Nach Beendigung des Vorkühlens und/oder Vorkondensierens 605 wird der Verdichter 301 des drit-

ten Kältemittelkreislaufs III gestartet.

[0073] Beim Kühlen 606 der Kältekammer 400 mit einem dritten Kammerverdampfer 304 durch das verdampfende R14 kann die tiefstmögliche Temperatur T_{Kammer} von max. -130°C erreicht werden. Prinzipiell ist es möglich, das Kühlen 606 ohne den dritten Wärmetauscher 130 durchzuführen und dafür das Vorkühl-Expansionsventil 121 zu schließen.

10 Bezugszeichenliste

[0074]

	100	Kompressionskälteanlage
15	101	Verdichter des ersten Kältemittelkreislaufs
	102	Kondensator des ersten Kältemittelkreislaufs
	103	Expansionsventil des ersten Kältemittelkreislaufs
20	104	Verdampfer des ersten Kältemittelkreislaufs
	105	Kammerverdampfer des ersten Kältemittelkreislaufs
25	106	Kammer-Expansionsventil des ersten Kältemittelkreislaufs
	107	Verdichter-Expansionsventil des ersten Kältemittelkreislaufs
	108	Sammlerflasche des ersten Kältemittelkreislaufs
30	109	Trockner des ersten Kältemittelkreislaufs
	110	Kühleinrichtung
	111	Enthitzer des ersten Kältemittelkreislaufs
	112	Schauglas des ersten Kältemittelkreislaufs
35	113	Ölabscheider des ersten Kältemittelkreislaufs
	114	Ölrückführung des ersten Kältemittelkreislaufs
40	115	Druckleitung des ersten Kältemittelkreislaufs
	116	Flüssigkeitsleitung des ersten Kältemittelkreislaufs
	116a-116d	Flüssigkeitsteilleitung
45	117	Einspritzleitung des ersten Kältemittelkreislaufs
	117a-117d	Einspritzteilleitung
	118	Saugleitung des ersten Kältemittelkreislaufs
50	118a,b,d	Saugteilleitung
	119	Kaltwassersatzkühlung des ersten Kältemittelkreislaufs
	120	Erster Wärmetauscher
	130	Dritter Wärmetauscher
55	131	Vorkühl-Expansionsventil
	134	Verdampfer des dritten Wärmetauschers
	135	Temperatursensor
	136	Drucksensor

170	Hubkolbenverdichter	313	Ölabscheider des dritten Kältemittelkreislaufs
201	Verdichter des zweiten Kältemittelkreislaufs	314	Ölrückführung des dritten Kältemittelkreislaufs
202	Kondensator des zweiten Kältemittelkreislaufs	5 315	Druckleitung des dritten Kältemittelkreislaufs
203	Expansionsventil des zweiten Kältemittelkreislaufs	316	Flüssigkeitsleitung des dritten Kältemittelkreislaufs
204	Verdampfer des zweiten Kältemittelkreislaufs	316b,c	Flüssigkeitsteilleitung
205	Kammerverdampfer des zweiten Kältemittelkreislaufs	10 317	Einspritzleitung des dritten Kältemittelkreislaufs
206	Kammer-Expansionsventil des zweiten Kältemittelkreislaufs	317b,c 318	Einspritzteilleitung Saugleitung des dritten Kältemittelkreislaufs
207	Verdichter-Expansionsventil des zweiten Kältemittelkreislaufs	15 319	Kaltwassersatzkühlung des dritten Kältemittelkreislaufs
209	Trockner des zweiten Kältemittelkreislaufs	400	Kühlumgebung, insbesondere Kältekammer
210	Vorkühler des zweiten Kältemittelkreislaufs	500	Recheneinheit, insbesondere SPS
211	Enthitzer des zweiten Kältemittelkreislaufs	20 600 601	Verfahren Bereitstellen der Kompressionskälteanlage
212	Schauglas des zweiten Kältemittelkreislaufs	602	Kühlen
213	Ölabscheider des zweiten Kältemittelkreislaufs	603 25 604	Vorkühlen und/oder Vorkondensieren Kühlen
214	Ölrückführung des zweiten Kältemittelkreislaufs	605 606	Vorkühlen und/oder Vorkondensieren Kühlen
215	Druckleitung des zweiten Kältemittelkreislaufs	607	Freigabeprüfschritt für Vorkühlen und/oder Vorkondensieren
216	Flüssigkeitsleitung des zweiten Kältemittelkreislaufs	30 608	Freigabeprüfschritt für Vorkühlen und/oder Vorkondensieren
216a-216c	Flüssigkeitsteilleitung	I	erster Kältemittelkreislauf
217	Einspritzleitung des zweiten Kältemittelkreislaufs	II III	zweiter Kältemittelkreislauf dritter Kältemittelkreislauf
217a-217c	Einspritzteilleitung	35 p _{1,K1}	momentaner Druck
218	Saugleitung des zweiten Kältemittelkreislaufs	T _{0,K1} T _{1,K1}	Verdampfungstemperatur momentane Temperatur
218a,b	Saugteilleitung	T _{Kammer}	momentane Kammertemperatur
219	Kaltwassersatzkühlung des zweiten Kältemittelkreislaufs	40 Δt	Zeitdauer
230	Zweiter Wärmetauscher		
301	Verdichter des dritten Kältemittelkreislaufs		Patentansprüche
302	Kondensator des dritten Kältemittelkreislaufs	45	1. Kompressionskälteanlage (100), geeignet zur Erzeugung von tiefen Temperaturen in einer Kühlumgebung, insbesondere in einer Kältekammer (400), aufweisend mindestens drei thermisch gekoppelte Kältemittelkreisläufe (I, II, III), darunter einen
303	Expansionsventil des dritten Kältemittelkreislaufs, insbesondere Kammer-Expansionsventil des dritten Kältemittelkreislaufs		
304	Verdampfer des dritten Kältemittelkreislaufs, insbesondere dritter Kammerverdampfer	50	- ersten Kältemittelkreislauf (I) mit einem ersten Kältemittel, wobei das erste Kältemittel in einem Kondensator (102) einer Kühleinrichtung (110) unter Abgabe von Wärme verflüssigt oder verflüssigbar ist und unter Aufnahme von Wärme in einem Verdampfer (104) eines ersten Wärmetauschers (120) verdampft oder verdampfen kann, einen
307	Verdichter-Expansionsventil des dritten Kältemittelkreislaufs		
309	Trockner des dritten Kältemittelkreislaufs	55	- zweiten Kältemittelkreislauf (II) mit einem zwei-
310	Vorkühler des dritten Kältemittelkreislaufs		
312	Schauglas des dritten Kältemittelkreislaufs		

ten Kältemittel, wobei das zweite Kältemittel in einem Kondensator (202) des ersten Wärmetauschers (120) unter Abgabe von Wärme an den ersten Kältemittelkreislauf (I) verflüssigt oder verflüssigbar ist und unter Aufnahme von Wärme in einem Verdampfer (204) eines zweiten Wärmetauschers (230) verdampft oder verdampfen kann, einen

- dritten Kältemittelkreislauf (III) mit einem dritten Kältemittel, wobei das dritte Kältemittel in einem Kondensator (302) des zweiten Wärmetauschers (230) unter Abgabe von Wärme an den zweiten Kältemittelkreislauf (II) verflüssigt oder verflüssigbar ist und unter Aufnahme von Wärme in einem Verdampfer (304) verdampft oder verdampfen kann,

wobei jeder der drei Kältemittelkreisläufe (I, II, III) ferner jeweils aufweist:

- mindestens einen Verdichter (101, 201, 301) zum Verdichten von gasförmigem Kältemittel,
- ein Expansionsventil (103, 203, 303) zum Entspannen von verflüssigtem Kältemittel,

wobei

ein dritter Wärmetauscher (130) zur thermischen Kopplung des ersten Kältemittelkreislaufs (I) mit dem dritten Kältemittelkreislauf (III) angeordnet ist und das erste Kältemittel des ersten Kältemittelkreislaufs (I) zum Abkühlen des dritten Kältemittels des dritten Kältemittelkreislaufs (III) und zum Aufnehmen von Wärme aus dem dritten Kältemittel durch den dritten Wärmetauscher (130) geführt ist wobei ferner in dem ersten Kältemittelkreislauf (I) eine Leitung (116, 116d, 117d) den Kondensator (102) der Kühleinrichtung (110) mit dem dritten Wärmetauscher (130) verbindet und zwischen dem Kondensator (102) und dem dritten Wärmetauscher (130) ein Vorkühl-Expansionsventil (131) zum Entspannen des ersten Kältemittels vor dem Eintritt in den dritten Wärmetauscher (130) angeordnet ist,

gekennzeichnet durch ein Steuerungs- und/oder Regelungssystem zum Schutz des Verdichters des ersten Kühlkreislaufs vor nicht verdampftem erstem Kältemittel, wobei das Steuerungs- und/oder Regelungssystem aufweist:

- einen Temperatursensor (135) zur Messung einer momentanen Temperatur ($T_{1,K1}$) des ersten Kältemittels in einer Leitung zwischen dem dritten Wärmetauscher (130) und dem Verdichter (101);
- einen Drucksensor (136) zur Messung eines Momentandrucks ($p_{1,K1}$) des ersten Kältemittels in einer Leitung zwischen dem

dritten Wärmetauscher (130) und dem Verdichter (101);

- eine Recheneinheit (500), welche ausgebildet ist

- zum Errechnen einer Verdampfungstemperatur ($T_{0,K1}$) des ersten Kältemittels in dem dritten Wärmetauscher (130) aus dem gemessenen Momentandruck ($p_{1,K1}$) und
- zum Ermitteln einer Regelabweichung zwischen einer vorgegebenen Soll-Differenz und einer Ist-Differenz, wobei die Ist-Differenz die Differenz zwischen der Verdampfungstemperatur ($T_{0,K1}$) des ersten Kältemittels und der momentanen Temperatur ($T_{1,K1}$) des ersten Kältemittels ist;

- zum Steuern des Vorkühl-Expansionsventils (131) zum Einstellen eines Kältemassenstroms des ersten Kältemittels in Abhängigkeit der ermittelten Regelabweichung.

2. Kompressionskälteanlage (100) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der dritte Wärmetauscher (130) einen Verdampfer (134) zum Verdampfen des ersten Kältemittels in dem dritten Wärmetauscher (130) aufweist.
3. Kompressionskälteanlage (100) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Vorkühl-Expansionsventil (131) als ein schrittmotorgesteuertes Ventil ausgebildet ist, welches durch eine Veränderung des Querschnitts der Leitung (116, 116d, 117d) eine Durchflussmenge des ersten Kältemittels einstellt.
4. Kompressionskälteanlage (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** für die Kühllumgebung (400) angeordnet oder anordenbar sind:
 - ein erster Kammverdamper (105), der von dem ersten Kältemittel des ersten Kältemittelkreislaufs (I) durchströmt oder durchströmbar ist;
 - ein zweiter Kammverdamper (205), der von dem zweiten Kältemittel des zweiten Kältemittelkreislaufs (II) durchströmt oder durchströmbar ist;
 - ein dritter Kammverdamper (304), der von dem dritten Kältemittel des dritten Kältemittelkreislaufs (III) durchströmt oder durchströmbar ist.

5. Kompressionskälteanlage (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
eine Druckleitung (315) den Verdichter (301) des dritten Kältemittelkreislaufs (III), mit dem Kondensator (302) des zweiten Wärmetauschers (230) verbindet und in der Druckleitung (315) zwischen dem Verdichter (301) und dem Kondensator (302) der dritte Wärmetauscher (130) angeordnet ist.
6. Kompressionskälteanlage (100) nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
in der Druckleitung (315) zwischen dem zwischen dem Verdichter (301) und dem dritten Wärmetauscher (130) ein Vorkühler (310) des dritten Kältemittelkreislaufs (III) angeordnet ist.
7. Kompressionskälteanlage (100) nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
in der Druckleitung (215) zwischen dem Verdichter (201) und dem ersten Wärmetauscher (120) ein Vorkühler (210) des zweiten Kältemittelkreislaufs (II) angeordnet ist, wobei die Kühleinrichtung (110) des ersten Kühlreislaufs (I), der Vorkühler (210) des zweiten Kältemittelkreislaufs (II) und der Vorkühler (310) des dritten Kältemittelkreislaufs (III) an einen gemeinsamen Kühlwasserkreislauf (119, 219, 319) anschließbar sind.
8. Kompressionskälteanlage (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
der dritte Wärmetauscher (130) eine Wärmeübertragungsfläche aufweist und der zweite Wärmetauscher (210) eine Wärmeübertragungsfläche aufweist, wobei das Verhältnis der Wärmeübertragungsfläche des dritten Wärmetauschers (130) und der Wärmeübertragungsfläche des zweiten Wärmetauschers (210) zwischen 14:28 und 22: 28, insbesondere 18:28 beträgt.
9. Kompressionskälteanlage (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Verdichter (101) des ersten Kältemittelkreislaufs (I), der Verdichter (201) des zweiten Kältemittelkreislaufs (II) und/oder der Verdichter (301) des dritten Kältemittelkreislaufs (III) als Scrollverdichter ausgebildet sind.
10. Kompressionskälteanlage (100) nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
in dem ersten Kältemittelkreislauf (I) und/oder dem zweiten Kältemittelkreislauf (II) und/oder dem dritten Kältemittelkreislauf (III) eine Leitung (116, 116c, 117c; 216, 216c, 217c; 316, 316c, 317c;) den jeweiligen Kondensator (102, 202, 302) mit dem jeweiligen Verdichter (101, 201, 301) verbindet, wobei in der Leitung (116, 116c, 117c; 216, 216c, 217c; 316, 316c, 317c;) zwischen dem Kondensator (102, 202, 302) und dem Verdichter (101, 201, 301) ein Verdichter-Expansionsventil (107, 207, 307) zum Einspritzen des Kältemittels in den Verdichter (101, 201, 301) angeordnet ist.
11. Kompressionskälteanlage (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
im ersten Kältemittelkreislauf (I) als erstes Kältemittel eine Tetrafluorethan/ Pentafluorethan/Difluormethan-Mischung, im zweiten Kältemittelkreislauf (II) als zweites Kältemittel eine Trifluormethan/ Hexafluorethan-Mischung und im dritten Kältemittelkreislauf (III) als drittes Kältemittel Tetrafluormethan eingesetzt oder einsetzbar ist.
12. Verfahren (600) zur Erzeugung von tiefen Temperaturen in einer Kühlumgebung, insbesondere einer Kältekammer (400), mit einer Kompressionskälteanlage nach einem der Ansprüche 1-11, aufweisend mindestens drei thermisch gekoppelte Kältemittelkreisläufe (I, II, III),
das Verfahren umfassend die folgenden Schritte:
- Bereitstellen (601) der Kompressionskälteanlage (100)
 - Kühlen (602) der Kühlumgebung (400) mit einem ersten Kammerverdampfer (105) durch ein Kältemittel des ersten Kältemittelkreislaufs (I),
 - Vorkühlen und/oder Vorkondensieren (603) eines Kältemittels des zweiten Kältemittelkreislaufs (II) durch das Kältemittel des ersten Kältemittelkreislaufs (I) in einem ersten Wärmetauscher (120),
 - Kühlen (604) der Kühlumgebung (400) mit einem zweiten Kammerverdampfer (205) durch das Kältemittel des zweiten Kältemittelkreislaufs (II),
 - Vorkühlen und/oder Vorkondensieren (605) eines Kältemittels des dritten Kältemittelkreislaufs (III) durch das Kältemittel des zweiten Kältemittelkreislaufs (II) in einem zweiten Wärmetauscher (210) und durch das Kältemittel des ersten Kältemittelkreislaufs (I) in einem dritten Wärmetauscher (130),
 - Kühlen (606) der Kühlumgebung (400) mit einem dritten Kammerverdampfer (304) durch das Kältemittel des dritten Kältemittelkreislaufs (III)
- dadurch gekennzeichnet, dass**
nach Beendigung des Vorkühlens und/oder Vorkondensierens (603) der Verdichter (201) des zweiten Kältemittelkreislaufs (II) gestartet wird und/oder nach Beendigung des Vorkühlens und/oder Vorkondensierens (605) der Verdichter (301) des dritten

Kältemittelkreislaufs (III) gestartet wird.

13. Verfahren (600) nach einem der Ansprüche 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** vor dem Vorkühlen und/oder Vorkondensieren (603) des Kältemittels des zweiten Kältemittelkreislaufs (II) und/oder vor dem Vorkühlen und/oder Vorkondensieren (605) des Kältemittels des dritten Kältemittelkreislaufs (III) ein Freigabeprüfschritt (607, 608) durchgeführt wird, wobei geprüft wird, ob eine vorab vorgegebene Temperatur (T_{Kammer}) in der Kühlumgebung (400) erreicht ist. 5 10
14. Verfahren (600) nach einem der Ansprüche 12-13, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Vorkühlen und/oder Vorkondensieren (603) des Kältemittels des zweiten Kältemittelkreislaufs (II) und/oder das Vorkühlen und/oder Vorkondensieren (605) des Kältemittels des dritten Kältemittelkreislaufs (III) in einer vorab vorgegebenen Zeitdauer (Δt), bspw. 2-8 Minuten, durchgeführt wird. 15 20
15. Verfahren (600) nach einem der Ansprüche 12-14, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Vorkühlen und/oder Vorkondensieren (603) des Kältemittels des zweiten Kältemittelkreislaufs (II) ein Expansionsventil (203) und ein Kammer-Expansionsventil (206) des zweiten Kältemittelkreislaufs (II) teilweise geöffnet sind und/oder beim Vorkühlen und/oder Vorkondensieren (605) des Kältemittels des dritten Kältemittelkreislaufs (III) ein Expansionsventil (303) des dritten Kältemittelkreislaufs (III) teilweise geöffnet ist. 25 30 35

Claims

1. Compression refrigeration system (100), suitable for producing low temperatures in a cold environment, in particular in a refrigeration chamber (400), comprising at least three thermally-coupled refrigeration medium circuits (I, II, III), including 40 45
- a first refrigeration medium circuit (I) with a first refrigeration medium, wherein the first refrigeration medium is liquefied or can be liquefied in a condenser (102) of a refrigeration device (110) with the emission of heat, and evaporates or can evaporate in an evaporator (104) of a first heat exchanger (120) with the absorption of heat, a
 - second refrigeration medium circuit (II) with a second refrigeration medium, wherein the second refrigeration medium is liquefied or can be liquefied in a condenser (202) of the first heat exchanger (120) with the emission of heat to the 50 55

first refrigeration medium circuit (I), and evaporates or can evaporate in an evaporator (204) of a second heat exchanger (230) with the absorption of heat, a

- third refrigeration medium circuit (III) with a third refrigeration medium, wherein the third refrigeration medium is liquefied or can be liquefied in a condenser (302) of the second heat exchanger (230) with the emission of heat to the second refrigeration medium circuit (II), and evaporates or can evaporate in an evaporator (304) with the absorption of heat, wherein each of the three refrigeration medium circuits (I, II, III) further comprise:

- at least one compressor (101, 201, 301) for compressing gaseous refrigeration media
- an expansion valve (103, 203, 303) for the expanding of liquefied refrigeration media,

wherein

a third heat exchanger (130) is arranged for the thermal coupling of the first refrigeration medium circuit (I) to the third refrigeration medium circuit (III), and the first refrigeration medium of the first refrigeration medium circuit (I) is guided through the third heat exchanger (130) for the purpose of cooling the third refrigeration medium of the third refrigeration medium circuit (III) and for the absorbing of heat from the third refrigeration medium, and wherein, further, in the first refrigeration medium circuit (I) a line (116, 116d, 117d) connects the condenser (102) of the refrigeration device (110) to the third heat exchanger (130), and a pre-cooling expansion valve (131) is arranged between the condenser (102) and the third heat exchanger (130), for expanding the first refrigeration medium before entering the third heat exchanger (130),

characterized by

- an instrumentation and control system for protecting the compressor of the first refrigeration medium circuit against first refrigeration medium which has not evaporated, wherein the instrumentation and control system comprises:
 - a temperature sensor (135) for measuring a temperature ($T_{1,K1}$) at a particular moment of the first refrigeration medium in a line between the third heat exchanger (130) and the compressor (101);
 - a pressure sensor (136) for measuring the pressure ($P_{1,K1}$) at a particular moment of the first refrigeration medium in a line between the third heat exchanger (130) and the compressor (101);

- a computer unit (500), which is configured
 - such as to calculate an evaporation temperature ($T_{0,K1}$) of the first refrigeration medium in the third heat exchanger (130) from the pressure ($P_{1,K1}$) measured at a particular moment, and
 - to determine a deviation between a predetermined reference differential value and an actual difference value, wherein the actual difference value is the difference between the evaporation temperature ($T_{0,K1}$) of the first refrigeration medium and the temperature ($T_{1,K1}$) of the first refrigeration medium;
 - to actuate the pre-cooling expansion valve (131) for adjusting a refrigeration mass flow of the first refrigeration medium as a dependency of the deviation which has been detected.

- 2. Compression refrigeration system (100) according to claim 1,
characterized in that
the third heat exchanger (130) comprises an evaporator (134) for evaporating the first refrigeration medium in the third heat exchanger (130).

- 3. Compression refrigeration system (100) according to claim 1,
characterized in that
the pre-cooling expansion valve (131) is configured as a stepping motor-controlled valve, which adjusts a flow quantity of the first refrigeration medium by changing the cross-section of the line (116, 116d, 117d).

- 4. Compression refrigeration system (100) according to any one of the preceding claims,
characterized in that
for the refrigerating environment (400) there are arranged or can be arranged:
 - a first chamber evaporator (105), through which the first refrigeration medium of the first refrigeration medium circuit (I) flows or can flow;
 - a second chamber evaporator (205), through which the second refrigeration medium of the second refrigeration medium circuit (II) flows or can flow;
 - a third chamber evaporator (304), through which the third refrigeration medium of the third refrigeration medium circuit (III) flows or can flow.

- 5. Compression refrigeration system (100) according to any one of the preceding claims,
characterized in that
a pressure line (315) connects the compressor (301) of the third refrigeration medium circuit (III) to the condenser (302) of the second heat exchanger (230), and the third heat exchanger (130) is arranged in the pressure line (315) between the compressor (301) and the condenser (302).

- 6. Compression refrigeration system (100) according to claim 5,
characterized in that
a pre-cooler (310) of the third refrigeration medium circuit (III) is arranged in the pressure line (315) between the compressor (301) and the third heat exchanger (130).

- 7. Compression refrigeration system (100) according to claim 6,
characterized in that
a pre-cooler (210) of the second refrigeration medium circuit (II) is arranged in the pressure line (215) between the compressor (201) and the first heat exchanger (120), wherein the refrigeration device (110) of the first refrigeration medium circuit (I), the pre-cooler (210) of the second refrigeration medium circuit (II), and the pre-cooler (310) of the third refrigeration medium circuit (III) can be connected to a common cooling water circuit (119, 219, 319).

- 8. Compression refrigeration system (100) according to any one of the preceding claims,
characterized in that
the third heat exchanger (130) comprises a heat transfer surface, and the second heat exchanger (210) comprises a heat transfer surface, wherein the proportion of the heat transfer surface of the third heat exchanger (130) and the heat transfer surface of the second heat exchanger (210) amounts to between 14:28 and 22:28, and in particular 18:28.

- 9. Compression refrigeration system (100) according to any one of the preceding claims,
characterized in that
the compressor (101) of the first refrigeration medium circuit (I), the compressor (201) of the second refrigeration medium circuit (II), and/or the compressor (301) of the third refrigeration medium circuit (III) are configured as scroll compressors.

- 10. Compression refrigeration system (100) according to claim 9,
characterized in that
a line (116, 116c, 117c; 216, 216c, 217c; 316, 316c, 317c) in the first refrigeration medium circuit (I) and/or in the second refrigeration medium circuit (II) and/or in the third refrigeration medium circuit (III) connects the respective condenser (102, 202, 302) to the respective compressor (101, 201, 301), wherein a compressor expansion valve (107, 207, 307) for injecting the refrigeration medium into the compres-

sor (101, 201, 301) is arranged in the line (116, 116c, 117c; 216, 216c, 217c; 316, 316c, 317c) between the condenser (102, 202, 302) and the compressor (101, 201, 301).

11. Compression refrigeration system (100) according to any one of the preceding claims, **characterized in that** in the first refrigeration medium circuit (I), as the first refrigeration medium, a tetrafluoroethane/pentafluoroethane/difluoromethane mixture is used or can be used, in the second refrigeration medium circuit (II), as the second refrigeration medium, a trifluoromethane/hexafluoroethane mixture, and in the third refrigeration medium circuit (III), as the third refrigeration medium, tetrafluoromethane.
12. Method (600) for producing low temperatures in a cold environment, in particular in a refrigeration chamber (400), with a compression refrigerating system according to any one of claims 1-11, comprising at least three thermally-coupled refrigeration medium circuits (I, II, III),

the method comprising the following steps:

- Provision (601) of the compression refrigerating system (100),
- cooling (602) of the cooling environment (400) with a first chamber evaporator (105) by means of a refrigeration medium of the first refrigeration medium circuit (I),
- pre-cooling and/or pre-condensing (603) of a refrigeration medium of the second refrigeration medium circuit (II) by the refrigeration medium of the first refrigeration medium circuit (I) in a first heat exchanger (120),
- cooling (604) of the cooling environment (400) with a second chamber evaporator (205) by means of a refrigeration medium of the second refrigeration medium circuit (II),
- pre-cooling and/or pre-condensing (605) of a refrigeration medium of the third refrigeration medium circuit (III) by the refrigeration medium of the second refrigeration medium circuit (II) in a second heat exchanger (210), and by the refrigeration medium of the first refrigeration medium circuit (I) in a third heat exchanger (130),
- cooling (606) of the cooling environment (400) with a third chamber evaporator (304) by means of a refrigeration medium of the third refrigeration medium circuit (III),

characterized in that

after the ending of the pre-cooling and/or pre-

condensing (603), the compressor (201) of the second refrigeration medium circuit (II) is started, and/or after the ending of the pre-cooling and/or pre-condensing (605), the compressor (301) of the third refrigeration medium circuit (III) is started.

13. Method (600) according to claim 12, **characterized in that** before the pre-cooling and/or pre-condensing (603) of the refrigeration medium of the second refrigeration medium circuit (II) and/or before the pre-cooling and/or pre-condensing (605) of the refrigeration medium of the third refrigeration medium circuit (III), a release testing step (607, 608) is carried out, wherein a test is carried out as to whether a predetermined temperature ($T_{Chamber}$) has been attained in the cooling environment (400).
14. Method (600) according to any one of claims 12-13, **characterized in that** the pre-cooling and/or pre-condensing (603) of the refrigeration medium of the second refrigeration medium circuit (II) and/or before the pre-cooling and/or pre-condensing (605) of the refrigeration medium of the third refrigeration medium circuit (III) is carried out in a predetermined period of time (Δt), such as 2-8 minutes.
15. Method (600) according to any one of claims 12-14, **characterized in that** during the pre-cooling and/or pre-condensing (603) of the refrigeration medium of the second refrigeration medium circuit (II), an expansion valve (203) and a chamber expansion valve (206) of the second refrigeration medium circuit (II) are partially opened, and/or during the pre-cooling and/or pre-condensing (605) of the refrigeration medium of the third refrigeration medium circuit (III), an expansion valve (303) of the third refrigeration medium circuit (III) is partially opened.

Revendications

1. Installation frigorifique à compression (100), appropriée pour la production de basses températures dans un environnement de refroidissement, en particulier dans une chambre froide (400), comprenant au moins trois circuits de fluide frigorigène (I, II, III) couplés thermiquement, parmi lesquels,

- un premier circuit de fluide frigorigène (I) avec un premier fluide frigorigène, dans lequel le premier fluide frigorigène est liquéfié ou peut être liquéfié dans un condenseur (102) d'un dispositif

de refroidissement (110) en dégageant de la chaleur, et s'évapore ou peut s'évaporer en absorbant de la chaleur dans un évaporateur (104) d'un premier échangeur de chaleur (120),

- un deuxième circuit de fluide frigorigène (II) avec un deuxième fluide frigorigène, dans lequel le deuxième fluide frigorigène est liquéfié ou peut être liquéfié dans un condenseur (202) du premier échangeur de chaleur (120) en cédant de la chaleur au premier circuit de fluide frigorigène (I), et s'évapore ou peut s'évaporer en absorbant de la chaleur dans un évaporateur (204) d'un deuxième échangeur de chaleur (230),

- un troisième circuit de fluide frigorigène (III) avec un troisième fluide frigorigène, dans lequel le troisième fluide frigorigène est liquéfié ou peut être liquéfié dans un condenseur (302) du deuxième échangeur de chaleur (230) en cédant de la chaleur au deuxième circuit de fluide frigorigène (II), et s'évapore ou peut s'évaporer en absorbant de la chaleur dans un évaporateur (304),

dans laquelle chacun des trois circuits de fluide frigorigène (I, II, III) comprend en outre respectivement :

- au moins un compresseur (101, 201, 301) pour comprimer le fluide frigorigène gazeux,
- une soupape de détente (103, 203, 303) pour détendre le fluide frigorigène liquéfié,

dans laquelle

un troisième échangeur de chaleur (130) est agencé pour le couplage thermique du premier circuit de fluide frigorigène (I) avec le troisième circuit de fluide frigorigène (III), et le premier fluide frigorigène du premier circuit de fluide frigorigène (I) est guidé à travers le troisième échangeur de chaleur (130) pour refroidir le troisième fluide frigorigène du troisième circuit de fluide frigorigène (III) et pour absorber de la chaleur du troisième fluide frigorigène, dans lequel en outre dans le premier circuit de fluide frigorigène (I) une conduite (116, 116d, 117d) relie le condenseur (102) du dispositif de refroidissement (110) au troisième échangeur de chaleur (130) et une vanne de détente de pré-refroidissement (131) est disposée entre le condenseur (102) et le troisième échangeur de chaleur (130) pour détendre le premier fluide frigorigène avant l'entrée dans le troisième échangeur de chaleur (130),

caractérisée par

un système de commande et/ou de régulation pour protéger le compresseur du premier circuit de refroidissement contre le premier fluide frigorigène non évaporé, le système de comman-

de et/ou de régulation comprenant :

- un capteur de température (135) pour mesurer une température instantanée ($T_{1,K1}$) du premier fluide frigorigène dans une conduite entre le troisième échangeur de chaleur (130) et le compresseur (101) ;
- un capteur de pression (136) pour mesurer une pression instantanée ($P_{1,K1}$) du premier fluide frigorigène dans une conduite entre le troisième échangeur de chaleur (130) et le compresseur (101) ;
- une unité de calcul (500) qui est conçue

- pour calculer une température d'évaporation ($T_{0,K1}$) du premier fluide frigorigène dans le troisième échangeur de chaleur (130) à partir de la pression instantanée mesurée ($P_{1,K1}$) et
- pour déterminer un écart de régulation entre une différence de consigne prédéfinie et une différence réelle, la différence réelle étant la différence entre la température d'évaporation ($T_{0,K1}$) du premier fluide frigorigène et la température instantanée ($T_{1,K1}$) du premier fluide frigorigène ;

- pour commander la soupape de détente de pré-refroidissement (131) afin de régler un débit massique de fluide frigorigène du premier fluide frigorigène en fonction de l'écart de régulation déterminé.

2. Installation frigorifique à compression (100) selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** le troisième échangeur de chaleur (130) comprend un évaporateur (134) pour évaporer le premier fluide frigorigène dans le troisième échangeur de chaleur (130).

3. Installation frigorifique à compression (100) selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la soupape de détente de pré-refroidissement (131) est conçue comme une soupape commandée par un moteur pas à pas, qui règle un débit du premier fluide frigorigène en modifiant la section transversale de la conduite (116, 116d, 117d).

4. Installation frigorifique à compression (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** sont disposés ou peuvent être disposés pour l'environnement de refroidissement (400) :

- un premier évaporateur de chambre (105), qui est traversé ou peut être traversé par le premier fluide frigorigène du premier circuit de fluide fri-

- gorigène (I) ;
 - un deuxième évaporateur de chambre (205), qui est traversé ou peut être traversé par le deuxième fluide frigorigène du deuxième circuit de fluide frigorigène (II) ;
 - un troisième évaporateur de chambre (304), qui est traversé ou peut être traversé par le troisième fluide frigorigène du troisième circuit de fluide frigorigène (II).
- 5
- 10
- 15
- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
- le compresseur (101) du premier circuit de fluide frigorigène (I), le compresseur (201) du deuxième circuit de fluide frigorigène (II) et/ou le compresseur (301) du troisième circuit de fluide frigorigène (III) sont conçus comme des compresseurs à spirale.
10. Installation frigorifique à compression (100) selon la revendication 9,
caractérisée en ce que
 dans le premier circuit de fluide frigorigène (I) et/ou dans le deuxième circuit de fluide frigorigène (II) et/ou dans le troisième circuit de fluide frigorigène (III), une conduite (116, 116c, 117c ; 216, 216c, 217c ; 316, 316c, 317c) relie le condenseur respectif (102, 202, 302) au compresseur respectif (101, 201, 301), sachant qu'une soupape de détente de compresseur (107, 207, 307) est disposée dans la conduite (116, 116c, 117c ; 216, 216c, 217c ; 316, 316c, 317c) entre le condenseur (102, 202, 302) et le compresseur (101, 201, 301) pour injecter le fluide frigorigène dans le compresseur (101, 201, 301).
11. Installation frigorifique à compression (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
 dans le premier circuit de fluide frigorigène (I), on utilise ou on peut utiliser comme premier fluide frigorigène un mélange de tétrafluoroéthane/ pentafluoroéthane/ difluorométhane, dans le deuxième circuit de fluide frigorigène (II), on utilise ou on peut utiliser comme deuxième fluide frigorigène un mélange de trifluorométhane/ hexafluoroéthane, et dans le troisième circuit de fluide frigorigène (III), on utilise ou on peut utiliser comme troisième fluide frigorigène du tétrafluorométhane.
12. Procédé (600) de production de basses températures dans un environnement frigorifique, notamment une chambre froide (400), avec une installation frigorifique à compression selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, comprenant au moins trois circuits de fluide frigorigène (I, II, III) couplés thermiquement,
 le procédé comprenant les étapes suivantes :
 - mettre à disposition (601) l'installation frigorifique à compression (100)
 - refroidir (602) l'environnement de refroidissement (400) avec un premier évaporateur de chambre (105) par un fluide frigorigène du premier circuit de fluide frigorigène (I),
 - pré-refroidir et/ou pré-condenser (603) un fluide frigorigène du deuxième circuit de fluide frigorigène (II) par le fluide frigorigène du premier circuit de fluide frigorigène (I) dans un premier échangeur de chaleur (120),
5. Installation frigorifique à compression (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
 une conduite de refoulement (315) relie le compresseur (301) du troisième circuit de fluide frigorigène (III) au condenseur (302) du deuxième échangeur de chaleur (230), et le troisième échangeur de chaleur (130) est disposé dans la conduite de refoulement (315) entre le compresseur (301) et le condenseur (302).
6. Installation frigorifique à compression (100) selon la revendication 5,
caractérisée en ce que
 un pré-refroidisseur (310) du troisième circuit de fluide frigorigène (III) est disposé dans la conduite de refoulement (315) entre le compresseur (301) et le troisième échangeur de chaleur (130).
7. Installation frigorifique à compression (100) selon la revendication 6,
caractérisée en ce que
 un pré-refroidisseur (210) du deuxième circuit de fluide frigorigène (II) est disposé dans la conduite de refoulement (215) entre le compresseur (201) et le premier échangeur de chaleur (120), le dispositif de refroidissement (110) du premier circuit de refroidissement (I), le pré-refroidisseur (210) du deuxième circuit de fluide frigorigène (II) et le pré-refroidisseur (310) du troisième circuit de fluide frigorigène (III) pouvant être raccordés à un circuit d'eau de refroidissement commun (119, 219, 319).
8. Installation frigorifique à compression (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
 le troisième échangeur de chaleur (130) présente une surface de transfert de chaleur et le deuxième échangeur de chaleur (210) présente une surface de transfert de chaleur, le rapport entre la surface de transfert de chaleur du troisième échangeur de chaleur (130) et la surface de transfert de chaleur du deuxième échangeur de chaleur (210) étant compris entre 14:28 et 22:28, en particulier 18:28.
9. Installation frigorifique à compression (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes,
caractérisée en ce que

- refroidir (604) l'environnement de refroidissement (400) avec un deuxième évaporateur de chambre (205) par le fluide frigorigène du deuxième circuit de fluide frigorigène (II),
5
- pré-refroidir et/ou pré-condenser (605) un fluide frigorigène du troisième circuit de fluide frigorigène (III) par le fluide frigorigène du deuxième circuit de fluide frigorigène (II) dans un deuxième échangeur de chaleur (210) et par le fluide frigorigène du premier circuit de fluide frigorigène (I) dans un troisième échangeur de chaleur (130),
10
- refroidir (606) l'environnement de refroidissement (400) avec un troisième évaporateur de chambre (304) par le fluide frigorigène du troisième circuit de fluide frigorigène (III)
15
- caractérisé en ce que** 20
on démarre le compresseur (201) du deuxième circuit de fluide frigorigène (II) à la fin du pré-refroidissement et/ou de la pré-condensation (603), et/ou on démarre le compresseur (301) du troisième circuit de fluide frigorigène (III) à la fin du pré-refroidissement et/ou de la pré-condensation (605). 25
- 13.** Procédé (600) selon l'une quelconque des revendications 12,
30
caractérisé en ce que
avant le pré-refroidissement et/ou la pré-condensation (603) du fluide frigorigène du deuxième circuit de fluide frigorigène (II) et/ou avant le pré-refroidissement et/ou la pré-condensation (605) du fluide frigorigène du troisième circuit de fluide frigorigène (III), on effectue une étape de contrôle de validation (607, 608), par laquelle on vérifie si une température prédéfinie (T_{Kammer}) est atteinte dans l'environnement de refroidissement (400).
35
40
- 14.** Procédé (600) selon l'une des revendications 12 ou 13,
caractérisé en ce que 45
le pré-refroidissement et/ou la pré-condensation (603) du fluide frigorigène du deuxième circuit de fluide frigorigène (II) et/ou le pré-refroidissement et/ou la pré-condensation (605) du fluide frigorigène du troisième circuit de fluide frigorigène (III) sont effectués pendant une durée prédéterminée (Δt), par exemple de 2 à 8 minutes.
50
- 15.** Procédé (600) selon l'une quelconque des revendications 12 à 14,
caractérisé en ce que 55
lors du pré-refroidissement et/ou de la pré-condensation (603) du fluide frigorigène du deuxième circuit de fluide frigorigène (II), on ouvre partiellement une vanne de détente (203) et une vanne de détente de chambre (206) du deuxième circuit de fluide frigorigène (II), et/ou lors du pré-refroidissement et/ou de la pré-condensation (605) du fluide frigorigène du troisième circuit de fluide frigorigène (III), on ouvre partiellement une vanne de détente (303) du troisième circuit de fluide frigorigène (III).

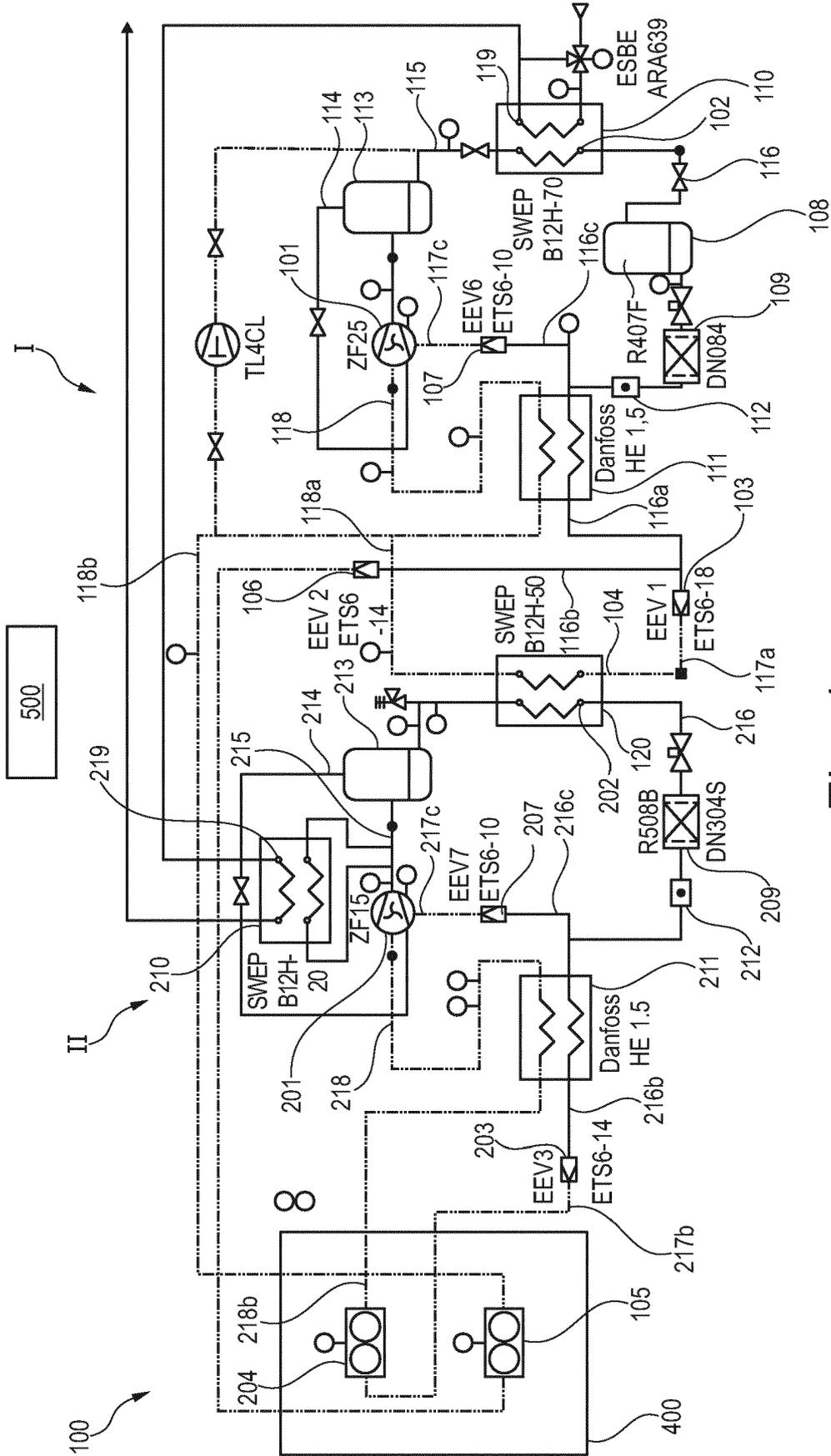


Fig. 1a

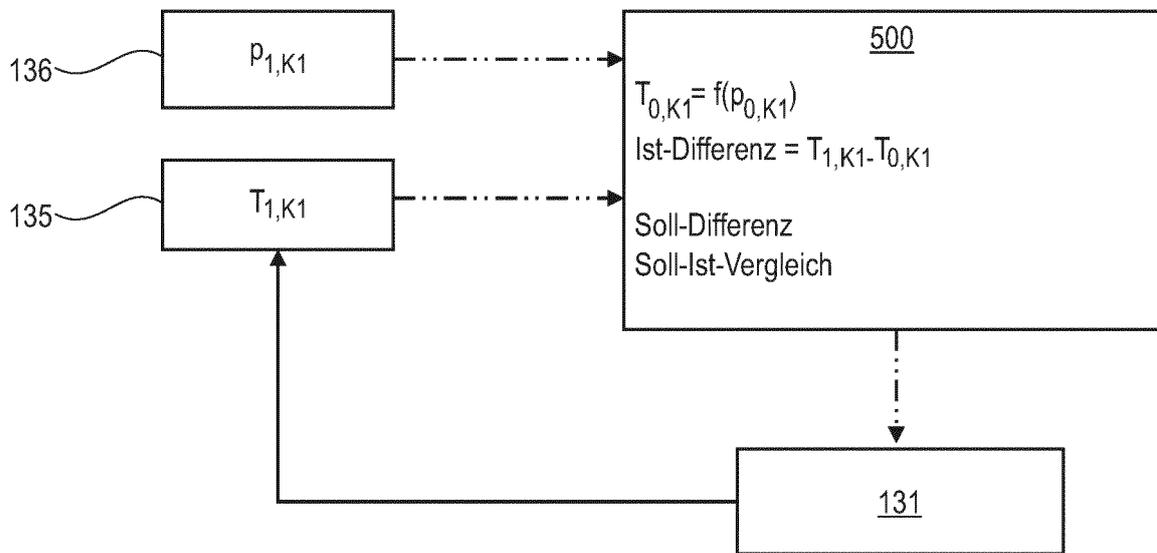


Fig. 2

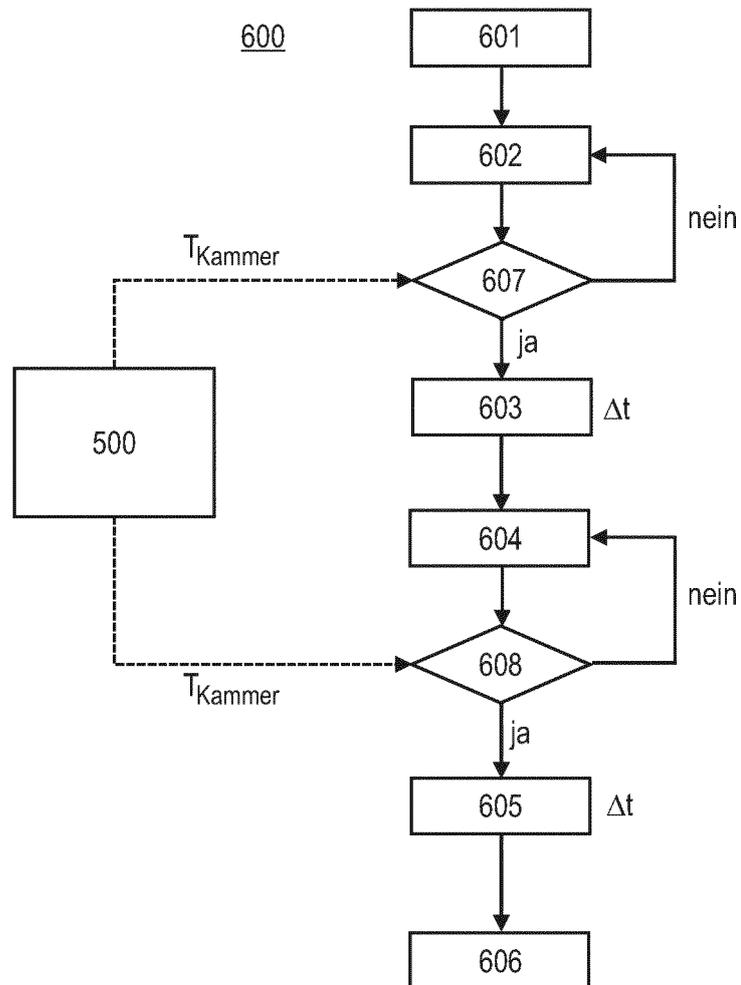


Fig. 3

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 0516093 B1 **[0006]**
- CN 104344590 A **[0007]**
- CN 101225292 A **[0008]**
- CN 101865589 B **[0009]**
- EP 0851183 A2 **[0010]**
- DE 3521060 A1 **[0011]**