

(19)



(11)

EP 3 479 903 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
16.09.2020 Patentblatt 2020/38

(51) Int Cl.:
B04B 15/02 (2006.01) F25B 7/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **17200209.9**

(22) Anmeldetag: **06.11.2017**

(54) **ZENTRIFUGE**

CENTRIFUGE

CENTRIFUGEUSE

(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**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
08.05.2019 Patentblatt 2019/19

(73) Patentinhaber: **Sigma Laborzentrifugen GmbH
37520 Osterode (DE)**

(72) Erfinder: **Riese, Christian
38678 Clausthal-Zellerfeld (DE)**

(74) Vertreter: **REHBERG HÜPPE + PARTNER
Patentanwälte PartG mbB
Robert-Gernhardt-Platz 1
37073 Göttingen (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 2 910 870 DE-A1-102014 110 467

EP 3 479 903 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

TECHNISCHES GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die Erfindung betrifft eine Zentrifuge, insbesondere eine Laborzentrifuge. Zentrifugen der hier vorliegenden Art finden Einsatz beispielsweise in der Biotechnologie, der pharmazeutischen Industrie, der Medizintechnik und der Umweltanalytik. Mittels einer derartigen Zentrifuge erfolgt ein Zentrifugieren eines Produkts, insbesondere eines Behälters oder Gefäßes mit darin angeordneter Probe oder Substanz, oder einer Vielzahl derartiger Produkte mit Drehzahlen, welche mehr als 3.000 U/min, bspw. mehr als 15.000 U/min, betragen können. Infolge der Zentrifugation sollen auf das Produkt wirkende Beschleunigungen erzeugt werden, welche bspw. mehr als 15.000 x g (insbesondere mehr als 16.000 x g, mehr als 20.000 x g bis hin zu mehr als 60.000 x g) betragen können. Durch die Zentrifugation soll ein von der Probe oder der Substanz gebildetes Stoffgemisch in Komponenten unterschiedlicher Dichte zerlegt werden. Je nach den chemischen und/oder physikalischen Eigenschaften des Stoffgemisches kann während der Zentrifugation ergänzend eine gezielte Steuerung der Druck- und/oder Temperaturverhältnisse erfolgen. Um lediglich einige Beispiele zu nennen, kann der Einsatz einer Laborzentrifuge im Zusammenhang mit einer Polymerase-Kettenreaktion (PCR), einer Bestimmung des Hematokrits, zytologischen Untersuchungen oder dem Zentrifugieren von Mikrotitern, Blutbeutel, Erdölgefäßen oder Blutgefäßen u. ä. erfolgen.

[0002] Infolge der hohen Drehzahlen eines Rotors der Zentrifuge, an welchem die Produkte (u. U. infolge der Zentrifugationskraft verschwenkbar) gehalten sind, erfolgt ein relativ hoher Wärmeeintrag in eine Zentrifugenkammer der Zentrifuge. Um definierte Temperaturen des Produkts während der Zentrifugation zu gewährleisten, ist somit eine Kühlung der Zentrifugenkammer erforderlich, was üblicherweise mittels eines Kältekreislaufs erfolgt. In herkömmlichen derartigen in Zentrifugen eingesetzten Kältekreisläufen findet ein Verdichter, ein Verflüssiger, ein Expansionselement und ein Verdampfer Einsatz, wobei die Erzeugung der Kälte durch Verdampfung und Verflüssigung von Kältemittel in einem geschlossenen Kältekreislauf erfolgt. Die derart erzeugte künstliche Temperatursenke wird dann genutzt, um Wärme aus der Zentrifugenkammer abzuführen. Fig. 1 zeigt beispielhaft und schematisch einen derartigen Kältekreislauf, welcher als linksläufiger Kreisprozess in einem Diagramm, in welchem der Logarithmus des Drucks p über der Enthalpie h dargestellt ist, in Fig. 2 dargestellt ist.

a) Im Bereich der Zustandsänderung (I) - (II) findet eine Verdichtung des Kältemittels statt. Der Verdichter saugt hierbei überhitzten Dampf an, was in dem Diagramm gemäß Fig. 2 daran zu erkennen ist, dass sich der Zustandspunkt (I) rechts von der Taulinie befindet. Die während der Zustandsänderung (I) - (II) erzeugte Enthalpiedifferenz h_2-h_1 entspricht der zugeführten technischen Arbeit des Verdichters, die während der Komprimierung des Kältemittels durch den Verdichter verrichtet wird. Aus dem Verdichter tritt Dampf aus, welcher stärker überhitzt ist als bei dem Eintritt in den Verdichter. Die weitere Überhitzung ist bedingt durch die im Verdichter stattfindende polytrope Verdichtung und den Wärmeeintrag durch Reibung bei der Kompression sowie den Wärmeeintrag durch das verdichtete überhitzte Fluid.

b) Im Bereich der Zustandsänderung (II) - (III) wird das Kältemittel durch den Verflüssiger, welcher auch als Kondensator bezeichnet werden kann, unterkühlt. Die Druckverluste, die durch den inneren Widerstand entstehen, sind relativ gering, so dass die Zustandsänderung vereinfacht als isobar betrachtet werden kann. Durch die näherungsweise isobare Änderung entsteht der größte Verlusteintrag oder es findet ein Nebeneintrag von Energie durch freie Konvektion an der Außenwand des Verflüssigers statt. In den Verflüssiger gelangt überhitzter Dampf, der durch die isobare Wärmeabfuhr bis unter die Taulinie unterkühlt wird, so dass das Kältemittel den Verflüssiger in flüssigem Zustand verlässt.

c) Während der Zustandsänderung (III) - (IV) wird in dem Expansionselement, das vereinfacht als adiabat betrachtet wird, das Kältemittel auf ein geringeres Druck- und Temperaturniveau entspannt. Hier erfolgt eine isenthalpe Zustandsänderung. Aus dem Expansionselement tritt dann das Kältemittel in einem Zustand als Nassdampf aus, was im Diagramm gemäß Fig. 2 daran zu erkennen ist, dass die Linie für die Zustandsänderung (III) - (IV) im Gebiet zwischen der Taulinie und der Siedelinie des Kältemittels endet. Die Besonderheit der Zustandsänderung (III) - (IV) im Bereich des Expansionselements im realen Prozess ist, dass hier das Kältemittel nicht vollständig auf das Druckniveau gemäß dem Anfangszustand (I) entspannt wird. Dieser Druckunterschied wird während der Zustandsänderung (IV) - (I) durch den Verdampfer verursacht der durch seinen inneren Strömungswiderstand eine Druckdifferenz herbeiführt.

d) Während der Zustandsänderung (IV) - (I) erfolgt in dem Verdampfer die eigentliche Nutzung des Kältekreislaufs in Form der Wärmeübertragung von dem Kälte Träger, insbesondere der Zentrifugenkammer und/oder einem Sicherheitskessel und etwaigen Kühlrippen, in das Kältemittel. Durch die Temperatursenke, die durch die vorherigen

Zustandsänderungen und den Eintrag von Arbeit erzeugt wurde, kann Kälte abgegeben werden, welche letztendlich genutzt wird, um die Temperatur des Produkts in der Zentrifugenkammer zumindest unterhalb eines Schwellwerts der Temperatur zu halten. In dem Verdampfer erfolgt über eine geeignete Wärmetauscherfläche ein Phasenwechsel des Kältemittels von einem dem Eingang des Verdampfers zugeführten Nassdampf zu einem den Verdampfer verlassenden überhitzten Dampf, der dann von dem Verdichter angesaugt wird.

[0003] Mit der F-Gase-Verordnung (Verordnung EU Nr. 517/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16.04.2014, die ab dem 01.01.2015 Gültigkeit hat), sollen Emissionen von fluorierten Treibhausgasen (F-Gase) bis zum Jahr 2030 in mehreren in der F-Gase-Verordnung spezifizierten Schritten auf 21 % verringert werden. Dies hat zur Folge, dass bisher üblicherweise verwendete Kältemittel wie 1,1,1,2-Tetrafluorethan (R-134a) oder R404a durch alternative Kältemittel ersetzt werden müssen, was für Zentrifugen der hier vorliegenden Art eine Herausforderung darstellt. Grund hierfür ist, dass die Zentrifugen im Betrieb sehr hohe kinetische Energien erzeugen, die in unmittelbarer Nähe zu dem Kältekreislauf erzeugt werden und im Fall eines Crashes der Zentrifuge das Innenleben der Zentrifuge einschließlich des Kältekreislaufs zerstören können. Damit kann bei einem Crash das Kühlmittel austreten und in Brand geraten, wobei es bei einem Crash auch zu einem den Brand verursachenden Funkenschlag kommen kann. Um die Entstehung eines Brandes im Fall eines Crashes zu vermeiden, sind grundsätzlich besondere Anforderungen hinsichtlich der Brennbarkeit des Kältemittels zu beachten. Andererseits muss ein die besonderen Anforderungen hinsichtlich der Brennbarkeit gewährleistendes Kältemittel auch leistungsstark genug sein, um die im Betrieb der Zentrifuge erforderliche Kühlung zu gewährleisten.

STAND DER TECHNIK

[0004] Laborzentrifugen mit Kältekreisläufen werden bspw. von der Anmelderin vertrieben (vgl. www.sigma-zentrifugen.de/de/produkte/zentrifugen.html) und in der Druckschrift DE 10 2012 002 593 A1 beschrieben.

[0005] Die Druckschrift EP 3 015 791 A1 schlägt vor, in einer Zentrifuge anstelle eines Kältemittels R-134a ein auf CO₂ (R744) basierendes Kältemittel oder zumindest ein Kohlenwasserstoff-Kältemittel einzusetzen, wobei auch Mischungen eingesetzt werden sollen. Hierdurch soll ein höherer Wirkungsgrad des Kältekreislaufs erzielt werden, womit der Kältekreislauf eine kleinere Leistungsaufnahme aufweisen kann oder bei gleicher Leistungsaufnahme eine stärkere Kühlwirkung herbeiführen kann. Als mögliche Kältemittel kommen bspw. Propan (R-290), Propen (R-1270), Butan (R-600) und Isobutan (R-600a) in Betracht, die auf einfache Weise recycelt werden können, da es sich um natürlich vorkommende Stoffe handelt, und die nicht zu dem unerwünschten Treibhauseffekt bei Freisetzung des Kältemittels führen. EP 3 015 791 A1 schlägt des Weiteren vor, in dem Verdampfer des Kältekreislaufs ein Einspritzsystem anzuordnen, wobei über eine Steuerung der Einspritzung der Druck in dem Verdichter begrenzt werden soll. Des Weiteren wird vorgeschlagen, dass der Kältekreislauf mindestens einen Bypass zur Überbrückung eines internen Wärmeübertragers aufweist. Im Gegensatz zu einem Kältekreislauf, in dem ein Kältemittel R-134a eingesetzt wird, ist hier in dem Kältekreislauf zwischen der Niederdruckseite und der Hochdruckseite ein größerer Druckunterschied erforderlich, der in EP 3 015 791 A1 mit einem Druck von 1 bar auf der Niederdruckseite und 8 bar auf der Hochdruckseite angegeben ist. Hierdurch ist eine veränderte sicherheitstechnische Auslegung der Zentrifuge, welche auf einen dreifachen Arbeitsdruck ausgelegt werden muss, und/oder eine Beschränkung des Verdichterdrucks bedingt. Mittels eines Heißgas-Bypasses muss darüber hinaus gewährleistet werden, dass warmes Kältemittel dem Verdampfer zugeführt wird, wodurch eine Eisbildung bspw. am Trippelpunkt von CO₂ im Verdampfer vermieden werden muss. Hierbei ist eine Steuerung des Heißgas-Bypasses in Abhängigkeit von der Temperatur in der Saugleitung des Verdichters erforderlich, wobei zweckmäßig der Heißgas-Bypasses in einem Teillastbetrieb eingesetzt wird. Alternativ kann zur Vermeidung der Eisbildung eine Regelung des Verdichters erfolgen oder eine Steuerung des genannten Einspritzsystems erfolgen. Während des Betriebs der Zentrifuge und des Kältekreislaufs sind infolge der Kühlleistung des Kältekreislaufs kritische Druckerhöhungen in den Kältekreislauf ausgeschlossen. Problematisch kann aber ein Stillstand der Zentrifuge und des Kältekreislaufs sein, da sich (beispielsweise in Folge einer erhöhten Umgebungstemperatur) ein Druckanstieg des Kältemittels in dem nicht betriebenen Kältekreislauf ergeben kann. Zur Abhilfe schlägt EP 3 015 791 A1 eine Kältekreislauf-Kaskade mit einem zusätzlichen, nur im Stillstand betriebenen weiteren Kältekreislauf vor. Mit dem weiteren Kältekreislauf soll im Stillstand der nicht betriebene bspw. CO₂-basierter Kompressor-Kältekreislauf gekühlt werden, um eine kritische Druckerhöhung in dem CO₂-basierten Kompressor-Kältekreislauf zu verhindern, während der weitere Kältekreislauf während des Betriebs der Zentrifuge und des CO₂-basierter Kompressor-Kältekreislauf nicht betrieben wird.

[0006] Die Druckschrift DE 10 2014 110 467 A1 schlägt vor, dass in einer Zentrifuge nicht lediglich ein Kältekreislauf eingesetzt wird. Vielmehr soll die Erzeugung der Kälte durch einen Primär-Kältekreislauf erfolgen, welcher dann über einen Wärmetauscher thermisch mit einem Sekundär-Kühlkreislauf gekoppelt ist, in dem ein Kältemittel über eine Pumpe umgewälzt wird. Der dem Primär-Kältekreislauf nachgeordnete Sekundär-Kühlkreislauf dient somit lediglich dem Transport der Kälte, die von dem Primär-Kältekreislauf erzeugt worden ist, von dem Wärmetauscher zu der Zentrifugenkammer. In dem Primär-Kältekreislauf kann dann ein herkömmliches brennbares Kältemittel eingesetzt werden, welches unter

Umständen geringe Kosten besitzt, aber eine große spezifische Verdampfungsenthalpie aufweisen kann. Hingegen kann für den Sekundär-Kühlkreislauf ein nicht brennbares Wärmeträgermedium (wie bspw. ein Kühlwasser mit Zusätzen (bspw. Salz oder Alkohol), die den Gefrierpunkt herabsetzen) eingesetzt werden. Sind dann der Primär-Kältekreislauf und der Sekundär-Kühlkreislauf über eine Sicherheitswandung voneinander getrennt, kann im Fall eines Crashes der brennbare Primär-Kältekreislauf durch die Sicherheitswandung geschützt sein, während der Crash allenfalls Auswirkungen auf den nicht brennbaren Sekundär-Kühlkreislauf haben kann. Der Primär-Kältekreislauf kann sich dabei unterhalb des Sekundär-Kühlkreislaufs oder eines Sicherheitskessels oder seitlich versetzt hierzu im Gehäuse der Zentrifuge erstrecken. Ein Sicherheitskessel kann über eine Klemmverbindung derart am Gehäuse der Zentrifuge befestigt sein, dass im Falle eines Crashes eine Relativbewegung des Sicherheitskessels gegenüber dem Gehäuse der Zentrifuge möglich ist. Vorgeschlagen wird auch, dass Leitungen des Primär-Kältekreislaufs aus einem mechanisch festeren Material ausgeführt sind als Leitungen des Sekundär-Kühlkreislaufs, wobei auch möglich ist, dass Leitungen des Sekundär-Kühlkreislaufs gezielt mit Sollbruchstellen ausgestattet werden. Im Fall eines Crashes der Zentrifuge, bei welcher keine vollständige Aufnahme der kinetischen Energie durch den Sicherheitskessel erfolgen kann, kann infolge der schwächeren Ausbildung der Leitungen des Sekundär-Kühlkreislaufs die mechanische Verbindung zwischen Sekundär-Kühlkreislauf und Primär-Kältekreislauf getrennt werden, wodurch verhindert werden soll, dass die Energie infolge des Crashes über die Leitungen des Sekundär-Kühlkreislaufs zu dem Primär-Kältekreislauf übertragen wird, womit es dort zu Beschädigungen, einem Austritt des Kältemittels des Primär-Kältekreislaufs und damit einem Brand kommen könnte.

[0007] Weiterer Stand der Technik, bei welchem in einer Zentrifuge in einem Kältekreislauf ein magnetokalorisches Material zyklisch mit einem Magnetfeld beaufschlagt wird, ist aus der Druckschrift DE 10 2014 107 294 B4 bekannt.

[0008] DE 10 2014 110 467 A1 offenbart eine Laborzentrifuge mit einem Primär-Kältekreislauf, der einen Kompressor, einen Kondensator, einen Ventilator, einen Filtertrockner und einen Wärmetauscher mit einem integrierten Verdampfer aufweist. In dem Primär-Kältekreislauf findet ein brennbares Kältemittel Einsatz. In dem Wärmetauscher erfolgt eine Übergabe der in dem Primär-Kältekreislauf erzeugten Kälte an einen Sekundär-Kühlkreislauf, in dem ein nicht brennbares Wärmeträgermedium mittels einer Pumpe umgewälzt wird. Eine Kühlschlange des Sekundär-Kühlkreislaufs erstreckt sich zur Kühlung eines Sicherheitskessels in sekundären Rohrleitungen um den Sicherheitskessel. In dem Primär-Kältekreislauf kann somit ein herkömmliches brennbares Kältemittel eingesetzt werden, welches bei vergleichsweise geringen Beschaffungskosten eine große spezifische Verdampfungsenthalpie besitzen kann. Hingegen kann durch Einsatz eines nicht brennbaren Wärmeträgermediums in dem Sekundärkreislauf eine Entstehung eines Brandes im Fall eines Rotor-Crashes und eines Durchschlagens des Sicherheitskessels reduziert werden.

[0009] EP 2 910 870 A1 offenbart eine allgemeine Gefrier- oder Kälteeinrichtung, die einen Primär-Kältekreislauf mit einem Kompressor, einem Kondensator und einer Drossel sowie einem ersten Verdampfer aufweist, sowie einen Sekundär-Kältekreislauf mit einem Kompressor, einem Kondensator, einem Verbraucher, einer Drossel und einem zweiten Verdampfer aufweist. Ein Kaskaden-Kondensator weist dabei den Verdampfer des Primär-Kältekreislaufs und den Kondensator des Primär-Kältekreislaufs auf unter Bildung eines Wärmetauschers zwischen den Kältemitteln der beiden Kältekreisläufe. Eine Abgabe der erzeugten Kälte an ein Objekt wie einen Gefrier- oder Kühlraum erfolgt über den Verdampfer des Sekundär-Kältekreislaufs. Die Kälteeinrichtung soll so ausgelegt und betrieben sein, dass die Möglichkeit besteht, dass ein Gefrieren im Bereich des Verdampfers des Sekundär-Kältekreislaufs erfolgt, weshalb eine Abtaufunktion erforderlich sein muss. Des Weiteren erfolgt die Dimensionierung der Kälteeinrichtung derart, dass bei einem Betrieb derselben in einer Umgebung mit einer Temperatur, die höher ist als die kritische Temperatur des Kältemittels, das Kältemittel in dem Sekundär-Kältekreislauf durch die Umgebungsluft erwärmt wird, so dass sich eine gasförmige Phase ergibt, wenn die Zirkulation des Kältemittels in dem Sekundär-Kältekreislauf gestoppt wird, womit sich ein Druckanstieg in dem Sekundär-Kältekreislauf einstellt. EP 2 910 870 A1 widmet sich der Problematik, einen derartigen Druckanstieg des Sekundär-Kältekreislaufs bei einer Unterbrechung der Zirkulation des Kältemittels in dem Sekundär-Kältekreislauf zumindest zu reduzieren. EP 2 910 970 A1 schlägt zu diesem Zweck vor, einen Ausgleichsbehälter in dem Sekundär-Kältekreislauf vorzusehen, welcher zu einer Begrenzung des Druckanstiegs für die Unterbrechung der Zirkulation des Kältemittels in dem Sekundär-Kältekreislauf sorgt. Der Ausgleichsbehälter ist unterhalb des Kaskaden-Kondensators angeordnet. Wird die Zirkulation des Kältemittels in dem Sekundär-Kältekreislauf gestoppt, wird das kondensierte und verflüssigte Kältemittel in dem Primär-Kältekreislauf schnell in dem Ausgleichsbehälter gesammelt, wodurch ein Druckanstieg in dem Sekundär-Kältekreislauf vermieden werden kann.

AUFGABE DER ERFINDUNG

[0010] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Zentrifuge vorzuschlagen, welche insbesondere hinsichtlich

- der Umweltverträglichkeit,
- der Temperaturregelung in der Zentrifugenkammer,
- der Sicherheit gegenüber der Entstehung eines Brandes,
- der Kosten und/oder

- der Effizienz

verbessert ist.

5 LÖSUNG

[0011] Die Aufgabe der Erfindung wird erfindungsgemäß mit den Merkmalen des unabhängigen Patentanspruchs gelöst. Weitere bevorzugte erfindungsgemäße Ausgestaltungen sind den abhängigen Patentansprüchen zu entnehmen.

10 BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0012] Zur Vereinfachung der Beschreibung wird in der vorliegenden Beschreibung von einer "Erzeugung von Kälte" sowie von einer "Übertragung von Kälte" gesprochen, obwohl bei zutreffender physikalischer Betrachtungsweise lediglich eine Temperatursenke erzeugt werden kann, zu welcher dann ein Wärmeübergang erfolgt.

15 **[0013]** Die erfindungsgemäße Zentrifuge, bei welcher es sich insbesondere um eine Laborzentrifuge handelt, verfügt über ein Gehäuse sowie eine in dem Gehäuse angeordnete Zentrifugenkammer. In der Zentrifugenkammer kann ein drehbar gelagerter (und über einen Motor angetriebener) Rotor angeordnet werden. Üblicherweise umgibt die Zentrifugenkammer zumindest in einem Teilumfangsbereich ein Sicherheitselement, bei welchem es sich auch um einen sich vollständig in Umfangsrichtung erstreckenden (bspw. ein- oder doppelwandigen) Sicherheitskessel handeln kann.

20 **[0014]** Erfindungsgemäß weist die Zentrifuge sowohl einen Primär-Kältekreislauf als auch einen Sekundär-Kältekreislauf auf. Der Sekundär-Kältekreislauf ist dabei (insbesondere über einen Wärmetauscher) mit dem Primär-Kältekreislauf thermisch gekoppelt, so dass in dem Primär-Kältekreislauf erzeugte Kälte an den Sekundär-Kältekreislauf übergeben werden kann. Des Weiteren ist der Sekundär-Kältekreislauf mit der Zentrifugenkammer thermisch gekoppelt, so dass sowohl die in dem Primär-Kältekreislauf erzeugte und über den Wärmetauscher übergebene Kälte als auch die in dem
25 Sekundär-Kältekreislauf erzeugte Kälte kumulativ an die Zentrifugenkammer übertragen werden können.

[0015] Erfindungsgemäß verfügt die Zentrifuge über eine Steuereinheit. Die Steuereinheit weist Steuerlogik auf, die den Primär-Kältekreislauf und den Sekundär-Kältekreislauf ansteuert. Hierbei erfolgt die Ansteuerung derart, dass während eines Betriebs der Zentrifuge mit einer Rotation des Rotors eine Erzeugung von Kälte mittels des Primär-Kältekreislaufs erfolgt und/oder ein gleichzeitiger Betrieb des Primär-Kältekreislaufs und des Sekundär-Kältekreislaufs erfolgt.

30 **[0016]** Während der Stand der Technik gemäß der Druckschrift EP 3 015 791 A1 lediglich den Einsatz einer Kältekreislaufkaskade mit zwei Kältekreisläufen vorschlägt, um diese allenfalls alternierend zu betreiben, schlägt die Erfindung erstmalig vor, gleichzeitig den Primär-Kältekreislauf und den Sekundär-Kältekreislauf zu betreiben, so dass auch beide genannten Kältekreisläufe zur Erzeugung der zur Kühlung der Zentrifugenkammer genutzten Kälte einen Beitrag liefern können.

35 **[0017]** Hierbei können die beiden Kältekreisläufe individuell (beispielsweise hinsichtlich der Zustandsänderungen, der Druckänderungen und der Enthalpie-Differenz und/oder an das jeweils in den Kältekreisläufen eingesetzte Kältemittel) angepasst werden, wodurch sich eine erhöhte Effizienz und/oder ein verbessertes Verhältnis hinsichtlich des Bauvolumens und der Kosten gegenüber der erzeugbaren Kälteleistung ergeben kann. Des Weiteren ermöglicht die erfindungsgemäße Ausgestaltung eine beliebige Wahl der Kältemittel in den beiden Kältekreisläufen, womit der Gestaltungsspielraum hinsichtlich des Wirkungsgrades, der Umweltverträglichkeit, der Sicherheit gegen die Entstehung eines Brandes und/oder der Kosten erweitern ist. Unter Umständen ermöglicht die erfindungsgemäße Ausgestaltung auch neue Steuerungsmöglichkeiten für die Steuerung der Temperatur in der Zentrifugenkammer je nach Ausgestaltung und Koordination der Ansteuerung und des Betriebs der beiden Kältekreisläufe.

40 **[0018]** Im Rahmen der Erfindung wird unter einem "**Kältekreislauf**" ein Kreislauf mit einem Kältemittel verstanden, bei welchem unter Einsatz von elektrischer Leistung Kälte erzeugt wird. Möglich ist hierbei, dass in einem Kältekreislauf eine Verdichtung des Kältemittels und/oder eine Veränderung eines Aggregatzustandes des Kältemittels erzeugt wird, der Kältekreislauf einen magnetokalorischen Effekt nutzt, der Kältekreislauf eine elektrische Peltier-Kühlung aufweist, der Kältekreislauf Kälte unter Nutzung eines Vortexrohres erzeugt oder in dem der Kältekreislauf eine Erzeugung von Kälte unter Einsatz eines Absorptionskältekreislaufs oder eines Kompressionskältekreislaufs erfolgt. Hingegen umfasst
50 eine Kältekreislauf nicht einen "**Kühlkreislauf**", bei welchem lediglich ein Kältemittel insbesondere mittels einer Pumpe gefördert wird und mittels dessen ein Transport von Kälte von einem Übergabeort (wie einem Wärmetauscher, in welchem einer Übertragung von Kälte, welche extern von dem Kühlkreislauf erzeugt worden ist, zu dem Kältemittel des Kühlkreislaufs erfolgt) zu der Zentrifugenkammer erfolgt.

55 **[0019]** Bei der "**Steuereinheit**" im Sinne der Erfindung kann es sich um eine Steuereinheit in Ausbildung als singuläre Baueinheit, mehrere miteinander verbundene oder aneinander angeflanschte Steuereinheitsmodule oder auch mehrere miteinander verbundene oder vernetzte Steuerteileinheiten handeln.

[0020] Während grundsätzlich für die Ausgestaltung des Kältekreislaufs die vorgenannten oder auch andere Ausgestaltungen der Kältekreisläufe im Rahmen der Erfindung eingesetzt werden können, weist der Primär-Kältekreislauf

und/oder der Sekundär-Kältekreislauf für einen Vorschlag der Erfindung einen Verdichter, einen Verflüssiger, eine Expansioneinrichtung und einen Verdampfer auf. Diese Wahl der Ausgestaltung des Kältekreislaufs hat sich hinsichtlich des Bauraums, der Kosten, der Energieeffizienz und der einsetzbaren Kältemittel als vorteilhaft herausgestellt.

[0021] Im Rahmen der Erfindung kann der Primär-Kältekreislauf als Hochdruckkreis ausgebildet sein, während der Sekundär-Kältekreislauf als ein Niederdruckkreis ausgebildet sein kann. Dies ermöglicht die unterschiedliche Auslegung der unterschiedlichen Kältekreisläufe mit einem Potential hinsichtlich der Optimierung der Erzeugung der erforderlichen Kälte.

[0022] Während grundsätzlich angestrebt ist, dass in einer Zentrifuge kein brennbares Kältemittel eingesetzt wird, um einen Brand zu vermeiden, kann für einen weiteren Vorschlag der Erfindung in der Zentrifuge (durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung u. U. ohne ein signifikant erhöhtes Risiko für einen Brand) auch ein brennbares Kältemittel (insbesondere ein schwer entflammbares Kältemittel, ein entflammbares Kältemittel oder ein stark entflammbares Kältemittel) eingesetzt werden, insbesondere wenn dieses (nur) für den Primär-Kältekreislauf verwendet wird. Diesem Vorschlag liegt die Erkenntnis zugrunde, dass die Leitungen und Bauelemente des Primär-Kältekreislaufs u. U. auch außerhalb eines Sicherheitskessels der Zentrifuge angeordnet sein können, so dass selbst im Fall eines Zentrifugencrashes das brennbare Kältemittel in dem Primär-Kältekreislauf nicht aus den Leitungen austreten kann und/oder nicht entzündet werden kann.

[0023] Für diese oder auch andere Ausführungsformen schlägt die Erfindung des Weiteren vor, dass in dem Sekundär-Kältekreislauf ein nicht entflammbares oder schwer entflammbares Kältemittel eingesetzt wird. Diese Ausgestaltung trägt der Tatsache Rechnung, dass u. U. das Kältemittel des Sekundär-Kältekreislaufs auch im Bereich des Sicherheitskessels der Zentrifuge oder sogar im Inneren desselben angeordnet ist, so dass dieses bei einem Zentrifugencrash grundsätzlich der Gefahr der Entstehung eines Brandes ausgesetzt ist. Durch den Einsatz des nicht entflammbaren oder schwer entflammbaren Kältemittels kann aber die grundsätzlich vorliegende Gefahr der Entstehung eines Brandes zumindest reduziert werden.

[0024] Für eine besondere Ausführungsform schlägt die Erfindung vor, dass der Primär-Kältekreislauf ein brennbares Kältemittel (insbesondere ein schwer entflammbares Kältemittel, ein entflammbares Kältemittel oder ein stark entflammbares Kältemittel) aufweist, während der Sekundär-Kältekreislauf ein nicht entflammbares oder schwer entflammbares Kältemittel aufweist. Ebenfalls möglich ist, dass der Primär-Kältekreislauf ein nicht entflammbares oder schwer entflammbares Kältemittel und der Sekundär-Kältekreislauf ein nicht entflammbares oder schwer entflammbares Kältemittel aufweist. In diesen Fällen können die beiden Kältekreisläufe über gleiche oder unterschiedliche Kältemittel verfügen.

[0025] Hierbei erfolgt eine Einstufung der Kältemittel hinsichtlich der Brennbarkeit und Entflammbarkeit insbesondere gemäß den Normen DIN EN 378-1 sowie ISO 817 (vgl. Abschnitt 6.1.3.3 in der am Anmeldetag der vorliegenden Patentanmeldung gültigen Fassung) wie folgt:

Ein **"nicht entflammbares Kältemittel"** ist ein Kältemittel, welches gemäß SN DIN EN 378-1 keine Flammenausbreitung aufweist und der Gruppe A1 (geringe Toxizität) oder B1 (höhere Toxizität) zugeordnet ist. Die erfordert, dass bei einer Prüfung in Luft mit 60 °C und bei einem Druck von 1,013 bar keine Flammenausbreitung dieses Kältemittels erfolgt, wenn es sich um Ein-Stoff-Kältemittel handelt. Findet ein Gemisch-Kältemittel Einsatz, ist dies ebenfalls diesen Gruppen zugeordnet, wenn die durch eine Analyse der Fraktionierung bestimmte WCFF (ungünstige Verteilung der Bestandteile des Gemisches, welche die höchste Brennbarkeit ergibt) des Gemisches bei einer Prüfung mit 60 °C und 1,013 bar keine Flammenausbreitung bewirkt.

[0026] **"Schwer entflammbare Kältemittel"** sind Kältemittel der Kategorie A2L gemäß ISO 817 (Abschnitt 6.1.3.3), welche bei Prüfung mit 60 °C und einem Druck von 1,013 bar zu einer Flammenausbreitung führen, eine untere Explosionsgrenze (LFL) > 3,5 Vol.-% aufweisen, eine Verbrennungswärme aufweisen, die < 19.000 kJ/kg ist, und eine maximale Flammenausbreitungsgeschwindigkeit aufweisen, die ≤ 10 cm/s beträgt bei einer Prüfung bei 23 °C und einem Druck von 1,013 bar. Vorzugsweise findet als schwer entflammbares Kältemittel dieser Kategorie A2L ein Kältemittel R1234yf Einsatz.

[0027] **"Entflammbare Kältemittel"** sind den Gruppen A2 (geringe Toxizität) oder B2 (höhere Toxizität) der Norm SN DIN EN 378-1 zugeordnet und erfüllen für ein Ein-Stoff-Kältemittel und für ein Gemisch-Kältemittel Einsatz die Bedingungen, dass es bei einer Prüfung mit 60 °C und einem Druck von 1,013 bar zu einer Flammenausbreitung kommt, wobei die untere Explosionsgrenze (LFL) > 3,5 Vol.-% ist und die Verbrennungswärme < 19.000 kJ/kg beträgt.

[0028] Schließlich werden als **"stark entflammbare Kältemittel"** Kältemittel angesehen, welche gemäß der Norm SN DIN EN 378-1 in den Gruppen A3 (geringe Toxizität) und B3 (höhere Toxizität) eingestuft werden. Hierbei werden Ein-Stoff-Kältemittel und Gemisch-Kältemittel Einsatz diesen Gruppen zugeordnet, wenn es bei einer Prüfung mit 60 °C und einem Druck von 1,013 bar zu einer Flammenausbreitung kommt und die untere Explosionsgrenze (LFL) ≤ 3,5 Vol.-% ist oder die Verbrennungswärme ≥ 19.000 kJ/kg beträgt.

[0029] Des Weiteren werden in der vorliegenden Patentanmeldung Ein-Stoff- oder Gemisch-Kältemittel als **"brennbare Kältemittel"** angesehen, wenn diese einer der Brennbarkeitsklassen A2, B2, A2L, B2L, A3, B3 nach SN DIN EN 378-1 zugeordnet werden und schwer entflammbar, entflammbar oder stark entflammbar sind, während die Ein-Stoff- oder Gemisch-Kältemittel, welche den Gruppen A1 oder B1 zugeordnet sind und nicht entflammbar sind, als **"nicht**

brennbare Kältemittel" bezeichnet sind.

[0030] In den Kältekreisläufen kann ein Wärmetauscher im Bereich des Verflüssigers des Primär-Kältekreislaufs und/oder im Bereich der Übergabe zwischen den beiden Kältekreisläufen, also des Verdampfers des Primär-Kältekreislaufs und des Verflüssigers des Sekundär-Kältekreislaufs, angeordnet sein. Hierbei können im Rahmen der Erfindung Wärmetauscher beliebiger Bauart eingesetzt werden. So kann beispielsweise (ohne Beschränkung auf diese Ausführungsform) ein Plattenwärmetauscher eingesetzt werden oder ein Rohrbündelwärmetauscher. Für eine bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung findet für einen Wärmetauscher, insbesondere für den Wärmetauscher im Bereich des Verflüssigers des Primär-Kältekreislaufs, ein Microchannel-Wärmetauscher Einsatz. Hierunter wird ein Wärmetauscher verstanden, bei dem ein (beispielsweise aus Metall, insbesondere Aluminium, bestehender ein- oder mehrteiliger) Körper oder Block eine Vielzahl kleiner Kanäle mit einer Quererstreckung der Kanäle oder einem Durchmesser derselben von beispielsweise weniger als 2 mm oder 1 mm von dem Kältemittel durchströmt wird, womit ein hoher Wirkungsgrad, ein kleines Füllvolumen des Kältemittels, ein geringes Gewicht und eine kompakte Bauform erzielt werden können. Das Kältemittel wird somit hier nicht in Rohren geführt. Möglich ist, dass in dem Microchannel-Wärmetauscher die Kanäle von Bohrungen des Körpers oder Blocks gebildet sind oder der Körper oder Block aus mehreren, beispielsweise miteinander verschweißten oder verlöteten Teilen gebildet ist, die Nuten aufweisen können und bei Verbindung miteinander die Kanäle begrenzen. An dem Körper oder Block kann dann für den Einsatz des Wärmetauschers im Bereich des Verflüssigers des Primär-Kältekreislaufs unmittelbar und/oder an hieran befestigten Kühlrippen mittels eines Gebläses Umgebungsluft vorbeigeführt werden. Hinsichtlich einer möglichen Ausgestaltung eines derartigen Microchannel-Wärmetauschers wird auf Wärmetauscher dieser Bauart hingewiesen, wie diese beispielsweise von dem Unternehmen Danfoss vertrieben werden oder auf der Internet-Seite www.kka-online.info/artikel/kka_Neue_Trends_bei_Komplettverfluessigungssaetzen_1406699 beschrieben sind.

[0031] Grundsätzlich können die Bauelemente der Kältekreisläufe sowie die eingesetzten Wärmetauscher an beliebiger Stelle in der Zentrifuge angeordnet sein. Für einen Vorschlag der Erfindung sind der Primär-Kältekreislauf, ein Wärmetauscher, welcher den Primär-Kältekreislauf mit dem Sekundär-Kältekreislauf koppelt, und zumindest ein Teil des Sekundär-Kältekreislaufs auf einer der Zentrifugenkammer abgewandten Seite eines Sicherheitselements, insbesondere eines Sicherheitskessels, angeordnet. Anders gesagt befinden sich der Rotor der Zentrifuge einerseits und der Primär-Kältekreislauf andererseits auf unterschiedlichen Seiten des Sicherheitselements, was für die Ausbildung des Sicherheitselements als Sicherheitskessel bedeutet, dass sich der Rotor im Inneren des Sicherheitskessels befindet, während der Primär-Kältekreislauf außerhalb des Sicherheitskessels angeordnet ist. In diesem Fall kann auch bei Einsatz eines schwer entflammaren Kältemittels oder eines brennbaren Kältemittels in dem Primär-Kältekreislauf die Entstehung eines Brandes zuverlässig unterbunden werden, womit auch in der Zentrifuge der Einsatz eines kostengünstigen Kältemittels zumindest für den Primär-Kältekreislauf ermöglicht ist.

[0032] Für die Verteilung der Bauelemente der Kältekreisläufe und der Leitungen in dem Gehäuse der Zentrifuge gibt es vielfältige Möglichkeiten. Um lediglich ein nicht beschränkendes Beispiel zu nennen, kann das Gehäuse der Zentrifuge einen ungefähr rechteckigen Horizontalschnitt aufweisen. In diesem Fall ist das Sicherheitselement ein Sicherheitskessel mit einem kreisförmigen Horizontalschnitt. Zwischen einer Ecke des Gehäuses und dem Sicherheitskessel mit kreisförmigem Horizontalschnitt ergibt sich ein Zwischenraum, in welchem im Rahmen der Erfindung besonders vorteilhaft ein Verdichter des Primär-Kältekreislaufs angeordnet werden kann. Ein entsprechender anderer Zwischenraum ergibt sich zwischen einer anderen Ecke des Gehäuses und dem Sicherheitskessel. In diesem anderen Zwischenraum kann dann der Verdichter des Sekundär-Kältekreislaufs angeordnet werden. Der Wärmetauscher, der den Primär-Kältekreislauf und den Sekundär-Kältekreislauf thermisch miteinander koppelt, kann in diesem Fall in einem Zwischenraum angeordnet werden, welcher sich zwischen einer Seitenwandung des Gehäuses und dem Sicherheitskessel ergibt, wobei es sich vorzugsweise um einen Zwischenraum zwischen dem Verdichter des Primär-Kältekreislaufs, dem Verdichter des Sekundär-Kältekreislaufs, der Seitenwandung des Gehäuses und dem Sicherheitskessel handelt. Einerseits können hierdurch die Leitungsverbindungen (insbesondere von und zu dem Wärmetauscher) in den beiden Kältekreisläufen verhältnismäßig kurz gehalten werden. Andererseits kann auf diese Weise der Wärmetauscher (geschützt durch den Sicherheitskessel) besonders platzsparend angeordnet werden.

[0033] Für die Steuerung oder Regelung (im Folgenden auch kurz nur "Steuerung") der Verdichter der Kältekreisläufe gibt es unterschiedliche Möglichkeiten. So können beispielsweise drehzahlgeregelte Verdichter eingesetzt werden. Diese erfordern aber einen Umrichter, weitere Bauelemente und/oder einen erhöhten Sensoraufwand und Regelungsaufwand, was die Kosten erhöhen kann. Gemäß einem Vorschlag der Erfindung ist die Steuerlogik der Steuereinheit derart ausgebildet, dass ein Verdichter des Primär-Kältekreislaufs und/oder ein Verdichter des Sekundär-Kältekreislaufs in ON-Betriebszuständen und OFF-Betriebszuständen angesteuert werden/wird. Somit können auch nicht drehzahlgeregelte Verdichter eingesetzt werden, welche somit lediglich einen aktiven und einen nicht aktiven Betriebszustand aufweisen. In diesem Fall kann die Regelung der Verdichtungsleistung und damit der erzeugten Kälte über die Dauer der ON-Betriebszustände und das Verhältnis der Zeitdauer der ON-Betriebszustände zu der Dauer der dazwischen stattfindenden OFF-Betriebszustände gesteuert werden.

[0034] Möglich ist hierbei durchaus, dass die beiden Verdichter der Kältekreisläufe gleichzeitig in den ON-Betriebszustand gesteuert werden. Soll hingegen ein unerwünschter erhöhter Spitzenstrom infolge des gleichzeitigen Einschaltens der Verdichter vermieden werden, werden für einen Vorschlag der Erfinder der Verdichter des Primär-Kältekreislaufs und der Verdichter des Sekundär-Kältekreislaufs zeitversetzt in den ON-Betriebszustand gesteuert. Hingegen kann der Wechsel in den OFF-Betriebszustand gleichzeitig oder ebenfalls mit einem Zeitversatz erfolgen.

[0035] Für einen weiteren Vorschlag der Erfindung ist die Steuerlogik der Steuereinheit der Zentrifuge derart ausgebildet, dass der Primär-Kältekreislauf unabhängig von einer erforderlichen Kälteleistung zur Kühlung der Zentrifugenkammer (und somit unabhängig von der Abweichung der Ist-Temperatur im Inneren der Zentrifugenkammer von der Solltemperatur) in einem ON-Betriebszustand betrieben wird. Somit treten in dem Verdampfer des Primär-Kältekreislaufs nicht so starke Temperaturschwankungen auf, wie dies der Fall wäre für einen alternierenden Wechsel zwischen einem ON-Betriebszustand und einem OFF-Betriebszustand in dem Primär-Kältekreislauf. In diesem Fall wird lediglich der Sekundär-Kältekreislauf abhängig von einer erforderlichen Kälteleistung zur Kühlung der Zentrifugenkammer zwischen einem ON-Betriebszustand und einem OFF-Betriebszustand hin- und hergeschaltet. Hintergrund dieser Ausgestaltung ist, dass die mögliche abzuführende Wärmemenge des Primär-Kältekreislaufs von der Kondensationstemperatur abhängig ist, wobei diese erfindungsgemäß erhöht wird, womit eine Verringerung der Leistung erfolgen kann. Möglicherweise kann mittels einer derartigen unterschiedlichen Ansteuerung der beiden Kältekreisläufe eine genauere Regelung der Temperatur in der Zentrifugenkammer erfolgen.

[0036] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Patentansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Die in der Beschreibung genannten Vorteile von Merkmalen und von Kombinationen mehrerer Merkmale sind lediglich beispielhaft und können alternativ oder kumulativ zur Wirkung kommen, ohne dass die Vorteile zwingend von erfindungsgemäßen Ausführungsformen erzielt werden müssen. Ohne dass hierdurch der Gegenstand der beigefügten Patentansprüche verändert wird, gilt hinsichtlich des Offenbarungsgehalts der ursprünglichen Anmeldungsunterlagen und des Patents Folgendes: weitere Merkmale sind den Zeichnungen - insbesondere den dargestellten Geometrien und den relativen Abmessungen mehrerer Bauteile zueinander sowie deren relativer Anordnung und Wirkverbindung - zu entnehmen. Die Kombination von Merkmalen unterschiedlicher Ausführungsformen der Erfindung oder von Merkmalen unterschiedlicher Patentansprüche ist ebenfalls abweichend von den gewählten Rückbeziehungen der Patentansprüche möglich und wird hiermit angeregt. Dies betrifft auch solche Merkmale, die in separaten Zeichnungen dargestellt sind oder bei deren Beschreibung genannt werden. Diese Merkmale können auch mit Merkmalen unterschiedlicher Patentansprüche kombiniert werden. Ebenso können in den Patentansprüchen aufgeführte Merkmale für weitere Ausführungsformen der Erfindung entfallen.

[0037] Die in den Patentansprüchen und der Beschreibung genannten Merkmale sind bezüglich ihrer Anzahl so zu verstehen, dass genau diese Anzahl oder eine größere Anzahl als die genannte Anzahl vorhanden ist, ohne dass es einer expliziten Verwendung des Adverbs "mindestens" bedarf. Wenn also beispielsweise von einem Element die Rede ist, ist dies so zu verstehen, dass genau ein Element, zwei Elemente oder mehr Elemente vorhanden sind. Diese Merkmale können durch andere Merkmale ergänzt werden oder die einzigen Merkmale sein, aus denen das jeweilige Erzeugnis besteht.

[0038] Die in den Patentansprüchen enthaltenen Bezugszeichen stellen keine Beschränkung des Umfangs der durch die Patentansprüche geschützten Gegenstände dar. Sie dienen lediglich dem Zweck, die Patentansprüche leichter verständlich zu machen.

KURZBESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0039] Im Folgenden wird die Erfindung anhand in den Figuren dargestellter bevorzugter Ausführungsbeispiele weiter erläutert und beschrieben.

Fig. 1 zeigt schematisch einen einzigen Kältekreislauf einer Zentrifuge mit den in dem Kältekreislauf auftretenden Zuständen (I) bis (IV) des Kältemittels (Stand der Technik).

Fig. 2 zeigt den Kältekreislauf gemäß Fig. 1 in einem linksläufigen Kreisprozess mit der Darstellung der Zustände (I) bis (IV) mit dem Logarithmus des Drucks p über der Enthalpie h (Stand der Technik).

Fig. 3 zeigt eine Zentrifuge mit einem Primär-Kältekreislauf und einem Sekundär-Kältekreislauf und Kennzeichnung der Zustände der Kältemittel (I) bis (VIII) in schematischer Darstellung.

Fig. 4 zeigt die beiden linksläufigen Kreisprozesse des Primär-Kältekreislaufs und des Sekundär-Kältekreislaufs mit den Zuständen (I) bis (VIII) bei Darstellung des Logarithmus des Drucks p über der Enthalpie h für eine Kälteanlage gemäß Fig. 3.

- Fig. 5** zeigt eine Zentrifuge in einer teilgeschnittenen Draufsicht oder einem Horizontal-schnitt.
- Fig. 6** zeigt die Zentrifuge gemäß Fig. 5 in einer teilgeschnittenen räumlichen Ansicht schräg von oben und links vorne.
- Fig. 7** zeigt die Zentrifuge gemäß Fig. 5 und 6 in einer teilgeschnittenen räumlichen Ansicht schräg von oben und rechts hinten.
- Fig. 8** zeigt die Zentrifuge gemäß den Fig. 5 bis 7 in einer teilgeschnittenen horizontalen Ansicht schräg von rechts hinten.
- Fig. 9** zeigt eine Steuerung der Verdichter der Kältekreisläufe einer Zentrifuge für eine Dauerkühlung.
- Fig. 10** zeigt die Steuerung der Verdichter der Kältekreisläufe für eine Temperaturregelung mit zeitversetzter Ansteuerung der Verdichter in einen ON-Betriebszustand.
- Fig. 11** zeigt eine Steuerung der Verdichter der Kältekreisläufe der Zentrifuge mit permanentem Betrieb des Verdichters des Primär-Kältekreislaufs und temperatur-abhängiger alternierender Ansteuerung des Sekundär-Kältekreislaufs in ON-Betriebszustände und OFF-Betriebszustände.

FIGURENBESCHREIBUNG

[0040] Fig. 1 zeigt eine Zentrifuge 1 gemäß dem Stand der Technik. Die Zentrifuge 1 verfügt über eine Kälteanlage 2. Die Kälteanlage 2 weist hier einen einzigen Kältekreislauf 3 auf. In dem Kältekreislauf 3 sind ein Verdichter 5, der über einen mit elektrischer Energie betriebenen Motor 4 angetrieben ist, ein Verflüssiger oder Kondensator 6, ein Expansionselement 7 (insbesondere ein Expansionsventil oder eine Drossel) und ein Verdampfer 8 in dieser Reihenfolge über Leitungen 9a, 9b, 9c, 9d in einem geschlossenen Kreislauf miteinander verbunden.

[0041] In Fig. 1 kennzeichnen die eingekreisten Ziffern die Zustände (I), (II), (III) und (IV) des in dem Kältekreislauf 3 eingesetzten Kühlmittels. Zwischen dem Verdichter 5 und dem Expansionselement 7 bildet der Verflüssiger 6 mit den Leitungen 9a, 9b einen Hochdruck-Kreislaufteil 10, während zwischen dem Expansionselement 7 und dem Verdichter 5 der Verdampfer 8 mit den Leitungen 9c, 9d einen Niederdruck-Kreislaufteil 11 bildet. Im Bereich des Verdampfers 8 wird die in dem Kältekreislauf 3 erzeugte Kälte übergeben an die Zentrifugenkammer 12, welche hier nur schematisch dargestellt ist. Ein energetischer Austausch des Kältekreislaufs 3 erfolgt über die Bereitstellung von Kälte für die Zentrifugenkammer 12 durch den Verdampfer 8 hinaus einerseits durch die Beaufschlagung des Motors 4 mit elektrischer Leistung und die Verdichtung des Kältemittels im Bereich des Verdichters 5. Andererseits erfolgt im Bereich des Verflüssigers 6 ein Wärmeaustausch mit der Umgebungsluft, wobei hier ein Lüfter mit elektrischer Leistung angetrieben werden kann. Der Verflüssiger 6 bildet somit einen Wärmetauscher 13 aus.

[0042] Fig. 2 zeigt den linksläufigen Kreisprozess, wie dieser mit den Schritten a) bis d) und den Zustandsänderungen (I) - (II), (II) - (III), (III) - (IV) und (IV) - (I) in der Beschreibungseinleitung unter der Überschrift "Technisches Gebiet der Erfindung" beschrieben worden ist.

[0043] Fig. 3 zeigt schematisch eine erfindungsgemäße Zentrifuge 1, bei der die Kälteanlage 2 einen Primär-Kältekreislauf 14 sowie einen Sekundär-Kältekreislauf 15 aufweist. Der Primär-Kältekreislauf 14 ist über einen Wärmetauscher 16 mit dem Sekundär-Kältekreislauf 15 gekoppelt. Hierbei entspricht der Sekundär-Kältekreislauf 15 grundsätzlich dem Kältekreislauf 3 gemäß Fig. 1, wobei dieser auch entsprechende Zustände (I), (II), (III) und (IV) aufweist. In dem Sekundär-Kältekreislauf 15 sind Komponenten, welche in dem Kältekreislauf 3 enthalten sind, mit denselben Bezugszeichen gekennzeichnet, und auf diese wird im Folgenden mit denselben Bezeichnungen Bezug genommen. Bei ansonsten entsprechender Gestaltung kommuniziert in dem Sekundär-Kältekreislauf 15 der Verdampfer 6 abweichend zu Fig. 1 nicht mit der Umgebungsluft. Vielmehr ist der Verdampfer 6 Bestandteil des Wärmetauschers 16.

[0044] In dem Primär-Kältekreislauf 14 sind ein Verdichter 17, der von einem mittels elektrischer Energie angetriebenen Motor 18 angetrieben wird, ein Verflüssiger 19, der hier als Wärmetauscher 20 ausgebildet ist und über einen Ventilator thermisch mit der Umgebungsluft gekoppelt ist, ein Expansionselement 21 und ein Verdampfer 22, der zusammen mit dem Verflüssiger 6 den Wärmetauscher 16 bildet, über Leitungen 23a, 23b, 23c, 23d in einem geschlossenen Kreislauf miteinander verbunden. In dem Primär-Kältekreislauf 14 kennzeichnen die Zustände (V), (VI), (VII) und (VIII) die Zustände des Kältemittels zwischen dem Verdampfer 22 und dem Verdichter 17 (Zustand V), zwischen dem Verdichter 17 und dem Verflüssiger 19 (Zustand VI), zwischen dem Verflüssiger 19 und dem Expansionselement 21 (Zustand VII) sowie zwischen dem Expansionselement 21 und dem Verdampfer 22 (Zustand VIII). In dem Primär-Kältekreislauf 14 zirkuliert das Kältemittel auch zwischen einem Hochdruck-Kreislaufteil und einem Niederdruck-Kreislaufteil, wie dies zuvor für den Kältekreislauf 3 erläutert worden ist. Der Primär-Kältekreislauf 14 bildet einen Hochdruckkreislauf 24, während der

Sekundär-Kältekreislauf 15 einen Niederdruckkreislauf 25 bildet.

[0045] Ein energetischer Austausch des Primär-Kältekreislaufs 14 erfolgt über die Bereitstellung von Kälte für den Wärmetauscher 16 durch den Verdampfer 22 hinaus einerseits durch die Beaufschlagung des Motors 18 mit elektrischer Leistung und die Verdichtung des Kältemittels im Bereich des Verdichters 17. Andererseits erfolgt im Bereich des Verflüssigers 19 ein Wärmeaustausch mit der Umgebungsluft, wobei hier ein Lüfter mit elektrischer Leistung angetrieben werden kann. Ein energetischer Austausch des Sekundär-Kältekreislaufs 15 erfolgt über die Bereitstellung von Kälte durch den Wärmetauscher 16 zu dem Verflüssiger hinaus einerseits durch die Beaufschlagung des Motors 4 mit elektrischer Leistung und die Verdichtung des Kältemittels im Bereich des Verdichters 5. Andererseits erfolgt im Bereich des Verdampfers 8 eine Kühlung der Zentrifugenkammer 12.

[0046] Die Kältekreisläufe 14, 15 können gleichzeitig betrieben werden. Auf Grundlage der Einbringung der elektrischen Energie über den Motor 18 und den hiervon angetriebenen Verdichter 17 wird in dem Primär-Kältekreislauf 14 Kälte erzeugt, welche über den Wärmetauscher 16 an den Sekundär-Kältekreislauf 15 übertragen wird, indem der Verdampfer 22 Kälte abgibt an den Verflüssiger 6 und indem die übergebene Kälte in dem Verflüssiger 6 zur Verflüssigung des Kältemittels des Sekundär-Kältekreislaufs 15 genutzt wird. In dem Sekundär-Kältekreislauf 15 wird ergänzende Kälte erzeugt mit der Einbringung elektrischer Energie über den Motor 4 und den davon angetriebenen Verdichter 5. Die auf diese Weise von dem Primär-Kältekreislauf 14 und dem Sekundär-Kältekreislauf 15 erzeugte Kälte wird dann kumuliert von dem Verdampfer 8 des Sekundär-Kältekreislaufs 15 an die Zentrifugenkammer 12 übertragen. Möglich ist, dass die Massenströme, die Kältemittel und/oder die Drücke in den beiden Kältekreisläufen 14, 15 unterschiedlich sind.

[0047] Fig. 4 zeigt die beiden linksläufigen Kreisprozesse der beiden Kältekreisläufe 14, 15 in einem Diagramm, in dem der Logarithmus des Drucks p über der Enthalpie h dargestellt ist. Der hier erfolgenden Kopplung der beiden Kältekreisläufe 14, 15 über den Wärmetauscher 16 liegt das Prinzip zugrunde, dass in dem Sekundär-Kältekreislauf 15 das Kühlmittel tiefer heruntergekühlt werden kann infolge der Zuführung der Kälte über den Wärmetauscher 16 aus dem Primär-Kältekreislauf 14 als dies der Fall ist, wenn das die Zentrifugenkammer 12 kühlende Kühlmittel über einen Verflüssiger 6 in Form eines Wärmetauschers 13 mit der Umgebung thermisch gekoppelt ist. Der Sekundär-Kältekreislauf 15 nimmt Wärme von der Zentrifugenkammer 12 auf und gibt diese im Wärmetauscher 16 über den Verflüssiger 6 des Sekundär-Kältekreislaufs 15 an den Primär-Kältekreislauf 14, hier den Verdampfer 22 des Wärmetauschers 16, ab.

[0048] In Fig. 4 entsprechen die jeweiligen Kreisprozesse (I) - (II), (II) - (III), (III) - (IV), (IV) - (I) für den Sekundär-Kältekreislauf 15 sowie (V) - (VI), (VI) - (VII), (VII) - (VIII), (VIII) - (V) für den Primär-Kältekreislauf 14 prinzipiell dem in Fig. 2 dargestellten und in der Beschreibungseinleitung beschriebenen Kreisprozess, wobei diese Kreisprozesse aber dann bei anderen Drücken, Temperaturen und spezifischen Enthalpien stattfinden.

[0049] Der Wärmeübergang zwischen den Kältekreisläufen 14, 15 erfolgt im Bereich des Wärmetauschers 16, was in den Kreisprozessen gemäß Fig. 4 in den Zustandsänderungen (II) - (III) des Sekundär-Kältekreislaufs 15 und (VIII) - (V) des Primär-Kältekreislaufs 14 dargestellt ist. Die Verdampfungstemperatur des Primär-Kältekreislaufs 14 muss dabei etwas geringer sein als die Kondensationstemperatur des Sekundär-Kältekreislaufs 15, um durch eine künstliche Temperatursenke den erforderlichen Wärmeübergang zu ermöglichen. Je geringer in dem Wärmetauscher 16 der Temperaturgradient ist, desto größer muss der Massenstrom in dem Primär-Kältekreislauf 14 gewählt werden. Durch die starke Reduzierung der Endtemperatur der Verflüssigung im Bereich des Verflüssigers 6 des Sekundär-Kältekreislaufs 15 wird die nötige Enthalpiedifferenz für die Verdampfung des Kältemittels vergrößert. Entsprechend der Enthalpiedifferenz kann mehr Wärmemenge aus der Zentrifugenkammer 12 abgeführt werden. Außerdem wird die erreichbare Einspritztemperatur im Verdampfer 8 des Primär-Kältekreislaufs 15 herabgesetzt. Durch die tiefere Einspritztemperatur entsteht ein größerer Temperaturgradient zwischen dem Kältemittel und der Zentrifugenkammer 12, womit die Ableitung von Wärme verbessert wird.

[0050] Mit dem Diagramm gemäß Fig. 4 soll lediglich qualitativ die Wirkungsweise der mit dem Primär-Kältekreislauf 14 und dem Sekundär-Kältekreislauf 15 gebildeten Kälteanlage 2 dargestellt werden. In Fig. 4 sind die Kreisprozesse beispielhaft dargestellt für ein Kältemittel in den Kältekreisläufen 14, 15, welches jeweils als Kältemittel R1234yf ausgebildet ist. In diesem Diagramm ist als Bezugszustand $h = 200 \text{ kJ/kg}$ und $s = 1 \text{ kJ/(kg K)}$ bei 0°C auf der Siedelinie gewählt worden.

[0051] Möglich ist, dass durch die Verwendung der beiden hintereinandergeschalteten Kältekreisläufe 14, 15 die Einspritztemperaturen in dem Verdampfer 8 des Sekundär-Kältekreislaufs 15 auf ein Minimum abgesenkt werden. Durch die verringerte Eingangstemperatur des Kältemittels im Bereich des Verflüssigers 6 vergrößert sich die aufzunehmende spezifische innere Energie des Kältemittels, die nötig ist, um dieses vollständig zu verdampfen. Somit vergrößert sich die Wärmemenge, die von der Zentrifugenkammer 12 an das Kältemittel überführt werden kann. Mit der erfindungsgemäßen Kälteanlage 2 ist es möglich, bedingt durch die jeweilige Dampfdruckkurve ein Kältemittel einzusetzen, welches weniger Verdampfungsenthalpie aufweist und bei gleichen Drucklagen eine höhere Einspritztemperatur besitzt. Die erfindungsgemäße Kälteanlage 2 kann u. U. bei wesentlich höheren Umgebungstemperaturen betrieben werden als eine Kälteanlage 2 gemäß Fig. 1 mit lediglich einem Kältekreislauf 3. Hierbei tritt zwar ein Leistungsverlust auf. Dieser Leistungsverlust beeinflusst die Kälteanlage jedoch nicht so stark wie eine einstufige Kälteanlage 3.

[0052] Mit der erfindungsgemäßen Kälteanlage 2 mit zwei miteinander gekoppelten Kältekreisläufen 14, 15 ist es möglich, u. U. auch ein brennbares Kältemittel in dem Primär-Kältekreislauf 14 einzusetzen, da der Primär-Kältekreislauf 14 räumlich über ein Sicherheitselement 26, insbesondere einen Sicherheitskessel 27, von der Zentrifugenkammer 12 getrennt werden kann.

[0053] Fig. 5 bis 8 zeigen einen exemplarischen konstruktiven Aufbau einer Zentrifuge 1 mit der Integration der für die Kälteanlage 2 erforderlichen Komponenten. Die Zentrifuge 1 verfügt über ein Gehäuse 28, welches grundsätzlich im Horizontalschnitt eckig ist und mittels eines Deckels 29 geschlossen werden kann. In dem Gehäuse 28 ist in einem Teilraum 30, welcher über den Deckel 29 zugänglich ist, das Sicherheitselement 26 in Form des Sicherheitskessels 27, in dem der Rotor rotiert, angeordnet. Hingegen sind in einem benachbarten Teilraum 31, der nicht über den Deckel 29 zugänglich ist, so dass hier das Gehäuse 28 geschlossen ist, wesentliche Komponenten der Kälteanlage 2, insbesondere die Verdichter 5, 17, der Wärmetauscher 16 und der Verflüssiger 19 bzw. Wärmetauscher 20 sowie zugeordnete Leitungen 9, 23 angeordnet. In dem Teilraum 31 sowie dem hieran angeschlossenen geschlossenen Gehäuseteil sind auch elektronische Steuereinrichtungen, ein Bedienfeld sowie Anzeigen der Zentrifuge 1 angeordnet. In Fig. 5 sind die Teilräume 30, 31, welche hier nicht durch eine Wandung voneinander getrennt sind, durch die gestrichelte dargestellte fiktive gekrümmte Trennebene voneinander getrennt.

[0054] Für das dargestellte Ausführungsbeispiel ist der Verdichter 17 des Primär-Kältekreislaufs 14 in einem Zwischenraum 32 zwischen einer Ecke 33 und dem Sicherheitskessel 27 angeordnet. Der Verdichter 5 des Sekundär-Kältekreislaufs 15 ist in einem Zwischenraum 34 zwischen einer benachbarten Ecke 35 und dem Sicherheitskessel 27 angeordnet. Der Wärmetauscher 16 ist wiederum in einem Zwischenraum 36 zwischen einer die beiden Ecken 33, 35 verbindenden Seitenwandung 37 und dem Sicherheitskessel 27 angeordnet.

[0055] In Fig. 8 ist zu erkennen, dass die beiden Expansionselemente 7, 21 in einer Ebene unterhalb des Sicherheitskessels 27 (seitlich versetzt zu diesem in dem Teilraum 31 oder sogar auch unterhalb des Sicherheitskessels 27 in dem Teilraum 30) angeordnet sind, wodurch sich eine kompakte Bauweise ergibt und/oder Leitungen von den Expansionselementen 7, 21 zu dem Verdampfer 8 kurz gehalten werden können.

[0056] Schematisch ist in Fig. 3 skizziert, dass eine Steuerung der beiden Kältekreisläufe 14, 15 über eine Steuerlogik 38 aufweisende elektronische Steuereinheit 39 erfolgt. Die Steuereinheit 39 steuert über Steuerleitungen 40, 41 die Leistung der Verdichter 5, 17, was durch unmittelbare Steuerung der elektrischen Beaufschlagung der Motoren 4, 18 erfolgt oder durch Übermittlung eines Steuersignals an die Motoren 4, 18, in denen dann, u. U. mittels einer Steuerteileinheit, die geeignete elektrische Beaufschlagung der Motoren 4, 18 gesteuert wird. Für die Steuerung der Kältekreisläufe 14, 15 durch die Steuereinheit 39 umfasst die Erfindung auch die folgenden Möglichkeiten:

In Fig. 9 ist über der Zeit 42 der Betriebszustand 43 der Verdichter 5, 17 bzw. der Motoren 4, 18 dargestellt, welcher sich infolge der Ansteuerung derselben durch die Steuereinheit 39 ergibt. Hier erfolgt keine Drehzahlregelung der Verdichter 5, 17, sondern diese werden vielmehr je nach Kühlbedarf, der auf Grundlage eines Temperatursensors 44 in der Zentrifugenkammer 12, dessen Messsignal ebenfalls der Steuereinheit 39 zugeführt wird, ermittelt wird, in einen ON-Betriebszustand 45 und einen OFF-Betriebszustand 46 geschaltet, was durch Aktivierung oder Deaktivierung der Motoren 4, 18 erfolgt. Fig. 9 zeigt die Ansteuerung für die Gewährleistung einer Dauerkühlung mit einer maximalen Kälteleistung. In Fig. 9 ist mit durchgezogener Betriebskurve 47 das angesteuerte Betriebsverhalten des Sekundär-Kältekreislaufs 15, also des Verdichters 5, dargestellt, während gestrichelt die Betriebskurve 48 für das Betriebsverhalten des Primär-Kältekreislaufs 14 und damit des Verdichters 17 dargestellt ist. Für die Dauerkühlung werden die Betriebszustände dauerhaft in den ON-Betriebszustand 45 geschaltet. Während die Umschaltung durchaus auch gleichzeitig erfolgen kann, zeigt Fig. 9, dass die Umschaltung in den ON-Betriebszustand 45 für die Betriebskurven 47, 48 mit einem Zeitversatz 49 erfolgt, womit eine Reduzierung der Spitzenströme durch eine zeitliche Trennung der beiden Überhöhungen infolge der Umschaltung der Motoren 4, 18 in den ON-Betriebszustand 45 herbeigeführt werden kann. Für das dargestellte Ausführungsbeispiel erfolgt die Aktivierung des Sekundär-Kältekreislaufs 15 vor der Aktivierung des Primär-Kreislaufs 14, während auch ein umgekehrter Zeitversatz 49 möglich ist.

[0057] Fig. 10 zeigt die entsprechenden Verhältnisse für eine Steuerung (wovon auch eine Regelung umfasst ist) einer vorgegebenen Temperatur in der Zentrifugenkammer 12, welche nicht die Bereitstellung der maximalen Kälteleistung erfordert. Zu diesem Zweck erfolgt eine alternierende Hin- und Herschaltung der Betriebszustände der Kältekreisläufe 14, 15 zwischen dem ON-Betriebszustand 45 und dem OFF-Betriebszustand 46, wobei die Frequenz der Hin- und Herschaltung und/oder das Verhältnis der Zeitspannen für den ON-Betriebszustand 45 und den OFF-Betriebszustand 46 mit der bereitgestellten Kälteleistung korreliert, so dass mittels der Steuereinheit je nach erforderlicher Kälteleistung eine geeignete Ansteuerung durch Beeinflussung der Frequenz der Hin- und Herschaltung und der Verhältnisse der Zeitdauern erfolgen kann. Auch für diese Hin- und Herschaltung kann ein Zeitversatz 49 für die Umschaltung von dem OFF-Betriebszustand 46 in den ON-Betriebszustand 45 genutzt werden, wobei vorzugsweise dann die Rückschaltung von dem ON-Betriebszustand 45 in den OFF-Betriebszustand 46 ohne Zeitversatz 49 erfolgt. Hier erfolgt für die Bereitstellung einer konstanten Kälteleistung die Umschaltung der beiden Kältekreisläufe 14, 15 mit derselben Frequenz, wobei aber für das dargestellte Ausführungsbeispiel angesichts des Zeitversatzes 49 der ON-Betriebszustand 45 für den Sekundär-Kältekreislauf 15 länger ist als für den Primär-Kältekreislauf 14 (ohne dass dies zwingend der Fall ist).

[0058] Fig. 11 zeigt eine modifizierte Temperaturregelung, bei welcher der Primär-Kältekreislauf 14 permanent in den ON-Betriebszustand 45 geschaltet wird, so dass dieser eine permanente Wärmesenke bereitstellt. Hier wird die Steuerung der der Zentrifugenkammer 12 zugeführten Kälte lediglich über die Abnahme der Kälte von dem Primär-Kältekreislauf 14 durch den Sekundär-Kältekreislauf 15 gesteuert, indem bedarfsgerecht die Hin- und Herschaltung des Sekundär-Kältekreislaufs 15 zwischen dem ON-Betriebszustand 45 und dem OFF-Betriebszustand 46 erfolgt, wobei hier zur Steuerung oder Regelung der Temperatur in der Zentrifugenkammer 12 und damit der der Zentrifugenkammer 12 zugeführten Kälte Einfluss genommen wird auf das Verhältnis der Zeitspannen der ON-Betriebszustände und der OFF-Betriebszustände.

[0059] Im Folgenden wird eine beispielhafte Auslegung für die Kältekreisläufe 14, 15 angegeben, auf welche aber keine Einschränkung der Erfindung erfolgen soll. Hierbei nehmen die Indizes Bezug auf die Zustände (I) bis (VIII) der Kältemittel in den Kältekreisläufen 14, 15, wie diese in den Fig. 3 und 4 verwendet werden.

a) Sekundär-Kältekreislauf 15

Temperaturen:

$$T_I = -20^\circ\text{C}$$

$$T_{II} = 0^\circ\text{C}$$

$$T_{III} = -10^\circ\text{C}$$

$$T_{IV} = -30^\circ\text{C}$$

Drücke:

$$p_I = 1 \text{ bar}$$

$$p_{II} = 2,5 \text{ bar}$$

Enthalpien:

$$h_I = 350 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{II} = 390 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{IIS} = 375 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{III} = 188 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{IV} = 188 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Enthalpiedifferenzen:

$$\Delta h_{II-I} = 40 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta h_{IIS-I} = 25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta h_{III-II} = -202 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta h_{I-IV} = 162 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Massenstrom:

$$\dot{m}_{ND} = 0,0044 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Kälteleistung:

$$\dot{Q}_o = \dot{m}_{ND} \cdot \Delta h_{I-IV} = 0,7128 \text{ kW}$$

Kondensatorleistung ND:

$$\dot{Q}_{Z1} = \dot{m}_{ND} \cdot \Delta h_{III-II} = -0,899 \text{ kW}$$

Verdichterleistung:

$$P_{ND} = \dot{m}_{ND} \cdot \Delta h_{II-I} = 0,176 \text{ kW}$$

Leistungszahl:

$$\varepsilon_{ND} = EER_{ND} = \frac{\dot{Q}_o}{P_{ND}} = 4,05$$

b) Primär-Kältekreislauf 14

Temperaturen:

$$T_V = -5^\circ\text{C}$$

$$T_{VI} = 55^\circ\text{C}$$

$$T_{VII} = 40^\circ\text{C}$$

$$T_{VIII} = -15^\circ\text{C}$$

Drücke:

$$p_{III} = 2,3 \text{ bar}$$

$$p_{IV} = 10 \text{ bar}$$

Enthalpien:

$$h_V = 358 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{VI} = 422 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{VIS} = 407 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{VII} = 248 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{VIII} = 248 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Enthalpiedifferenzen:

$$\Delta h_{VI-V} = 64 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta h_{VIS-V} = 49 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta h_{VII-VI} = -174 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta h_{V-VIII} = 110 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

(fortgesetzt)

Massenstrom:

$$\dot{m}_{HD} = 0,008 \frac{kg}{s}$$

Verdampferleistung HD: $\dot{Q}_{Z2} = \dot{m}_{HD} \cdot \Delta h_{V-VIII} = 0,889 \text{ kW}$ Kondensatorleistung: $\dot{Q}_U = \dot{m}_{HD} \cdot \Delta h_{VII-VI} = -1,382 \text{ kW}$ Verdichterleistung: $P_{HD} = \dot{m}_{HD} \cdot \Delta h_{VI-V} = 0,512 \text{ kW}$

Leistungszahl:

$$\varepsilon_{HD} = EER_{HD} = \frac{\dot{Q}_{Z2}}{P_{HD}} = 1,74$$

[0060] Hier bezeichnet HD den Hochdruckkreislauf 24, während ND den Niederdruckkreislauf 25 bezeichnet.

[0061] Obige Auslegungen beruhen auf dem Einsatz des Kältemittels R1234yf in beiden Kältekreisläufen 14, 15. Möglich ist auch eine anderweitige Auslegung, bei welcher die Temperaturen, die Drücke, die Enthalpien, die Verdichterleistung und/oder der Massenstrom um $\pm 20 \%$, $\pm 10 \%$, $\pm 5 \%$ von den angegebenen Werten abweichen können.

[0062] Die Anordnung des Verdampfers 8 und dessen Integration im Bereich der Zentrifugenkammer 12 kann im Rahmen der Erfindung beliebig sein. So kann sich ein Verdampfer 8 (und ein hiermit gebildeter Wärmetauscher) im Inneren eines Sicherheitselements 26 oder Sicherheitskessels 27, in einer Wandung des Sicherheitselements 26 oder Sicherheitskessels 27 selbst oder außerhalb des Sicherheitselements 26 oder Sicherheitskessels 27 erstrecken. Beispielsweise kann eine den Verdampfer 8 bildende Leitung sich in Umfangsrichtung eines Sicherheitskessels 27 erstrecken oder derart in den Sicherheitskessel 27 selbst integriert sein. Insbesondere für Zentrifugen 1 mit kleinen Drehzahlen können der Primär-Kältekreislauf 14 und der Sekundär-Kältekreislauf 15 beide innerhalb oder außerhalb eines Sicherheitskessels 27 angeordnet sein. Möglich ist insbesondere für Zentrifugen 1 mit größeren Drehzahlen, dass zusätzlich zu einem Sicherheitskessel 27 eine Sicherheitswandung Einsatz findet, welche zumindest teilweise die Teilräume 30, 31 voneinander trennen kann. In diesem Fall kann der Sekundär-Kältekreislauf 15 in einem Zwischenraum zwischen dem Sicherheitskessel 27 und der Sicherheitswandung angeordnet sein, während der Primär-Kältekreislauf 14 dann auf der dem Sicherheitskessel 27 abgewandten Seite der Sicherheitswandung angeordnet ist. Möglich ist auch, dass der Sicherheitskessel 27 doppelwandig ausgebildet ist und sich der Sekundär-Kältekreislauf 15 zumindest teilweise und im Bereich des Verdampfers 8 in einem Zwischenraum zwischen den doppelten Wandungen des Sicherheitskessels 27 erstreckt.

[0063] In der vorliegenden Beschreibung wird teilweise auf den Primär-Kältekreislauf 14 und den Sekundär-Kältekreislauf 15 verkürzt in Form von "die Kältekreisläufe 14, 15" Bezug genommen.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0064]

- 1 Zentrifuge
- 2 Kälteanlage
- 3 Kältekreislauf
- 4 Motor
- 5 Verdichter
- 6 Verflüssiger, Kondensator
- 7 Expansionselement oder Drossel
- 8 Verdampfer
- 9 Leitung
- 10 Hochdruck-Kreislaufteil
- 11 Niederdruck-Kreislaufteil
- 12 Zentrifugenkammer
- 13 Wärmetauscher
- 14 Primär-Kältekreislauf
- 15 Sekundär-Kältekreislauf
- 16 Wärmetauscher
- 17 Verdichter
- 18 Motor
- 19 Verflüssiger
- 20 Wärmetauscher

	21	Expansionselement oder Drossel
	22	Verdampfer
	23	Leitung
	24	Hochdruckkreislauf
5	25	Niederdruckkreislauf
	26	Sicherheitselement
	27	Sicherheitskessel
	28	Gehäuse
	29	Deckel
10	30	Teilraum
	31	Teilraum
	32	Zwischenraum
	33	Ecke
	34	Zwischenraum
15	35	Ecke
	36	Zwischenraum
	37	Seitenwandung
	38	Steuerlogik
	39	Steuereinheit
20	40	Steuerleitung
	41	Steuerleitung
	42	Zeit
	43	Betriebszustand
	44	Temperatursensor
25	45	ON-Betriebszustand
	46	OFF-Betriebszustand
	47	Betriebskurve (Sekundär-Kältekreislauf)
	48	Betriebskurve (Primär-Kältekreislauf)
	49	Zeitversatz
30	I	Zustand des (zweiten) Kältemittels zwischen Verdampfer 8 und Verdichter 5
	II	Zustand des (zweiten) Kältemittels zwischen Verdichter 5 und Verflüssiger 6
	III	Zustand des (zweiten) Kältemittels zwischen Verflüssiger 6 und Expansionselement 7
	IV	Zustand des (zweiten) Kältemittels zwischen Expansionselement 7 und Verdampfer 8
	V	Zustand des (ersten) Kältemittels zwischen Verdampfer 22 und Verdichter 17
35	VI	Zustand des (ersten) Kältemittels zwischen Verdichter 17 und Verflüssiger 19
	VII	Zustand des (ersten) Kältemittels zwischen Verflüssiger 19 und Expansionselement 21
	VIII	Zustand des (ersten) Kältemittels zwischen Expansionselement 21 und Verdampfer 22

40 Patentansprüche

1. Zentrifuge (1) mit

- 45 a) einem Gehäuse (28),
b) einer Zentrifugenkammer (12), in der ein drehbar gelagerter Rotor angeordnet ist oder werden kann,
c) einem Primär-Kältekreislauf (14)

gekennzeichnet durch

- 50 d) einen Sekundär-Kältekreislauf (15), der mit dem Primär-Kältekreislauf (14) und mit der Zentrifugenkammer (12) thermisch gekoppelt ist,
e) wobei eine Steuereinheit (39) mit Steuerlogik (38) vorhanden ist, welche den Primär-Kältekreislauf (14) und den Sekundär-Kältekreislauf (15) so ansteuert, dass
- 55 ea) während eines Betriebs der Zentrifuge (1) mit einer Rotation des Rotors eine Erzeugung von Kälte mittels des Primär-Kältekreislaufs (14) erfolgt und/oder
eb) ein gleichzeitiger Betrieb des Primär-Kältekreislaufs (14) und des Sekundär-Kältekreislaufs (15) erfolgt.

2. Zentrifuge (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Primär-Kältekreislauf (14) und/oder der Sekundär-Kältekreislauf (15) einen Verdichter (5; 17), einen Verflüssiger (6; 19), eine Expansionseinrichtung (7; 21) und einen Verdampfer (8; 22) aufweisen/aufweist.
- 5 3. Zentrifuge (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Primär-Kältekreislauf (14) ein Hochdruckkreislauf (24) ist und der Sekundär-Kältekreislauf (15) ein Niederdruckkreislauf (25) ist.
4. Zentrifuge (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Primär-Kältekreislauf (14) ein brennbares Kältemittel aufweist.
- 10 5. Zentrifuge (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Sekundär-Kältekreislauf (15) ein nicht entflammbares oder schwer entflammbares Kältemittel aufweist.
- 15 6. Zentrifuge (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**
 - a) der Primär-Kältekreislauf (14) ein brennbares Kältemittel aufweist und der Sekundär-Kältekreislauf (15) ein nicht entflammbares oder schwer entflammbares Kältemittel aufweist oder
 - b) der Primär-Kältekreislauf (14) ein nicht entflammbares oder schwer entflammbares Kältemittel und der Sekundär-Kältekreislauf (15) ein nicht entflammbares oder schwer entflammbares Kältemittel aufweist.
- 20 7. Zentrifuge (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein Wärmetauscher (16; 20) als Microchannel-Wärmetauscher ausgebildet ist.
- 25 8. Zentrifuge (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**
 - a) der Primär-Kältekreislauf (14),
 - b) ein Wärmetauscher (16), der den Primär-Kältekreislauf (14) mit dem Sekundär-Kältekreislauf (15) thermisch koppelt, und
 - c) zumindest ein Teil des Sekundär-Kältekreislaufs (15)
- 30 auf einer der Zentrifugenkammer (12) abgewandten Seite eines Sicherheitselements (26) angeordnet sind.
9. Zentrifuge (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**
 - a) ein Gehäuse (28) der Zentrifuge (1) einen ungefähr rechteckigen Horizontalschnitt aufweist,
 - b) der Sicherheitselement (26) ein Sicherheitskessel (27) mit kreisförmigem Horizontalschnitt ist,
 - c) ein Verdichter (17) des Primär-Kältekreislaufs (14) in einem Zwischenraum (32) zwischen einer Ecke (33) des Gehäuses (28) und dem Sicherheitskessel (27) angeordnet ist,
 - d) ein Verdichter (5) des Sekundär-Kältekreislaufs (15) in einem Zwischenraum (34) zwischen einer Ecke (35)
 - 40 des Gehäuses (28) und dem Sicherheitskessel (27) angeordnet ist,
 - e) der oder ein Wärmetauscher (16), der den Primär-Kältekreislauf (14) und den Sekundär-Kältekreislauf (15) thermisch miteinander koppelt, in einem Zwischenraum (36) zwischen einer Seitenwandung (37) des Gehäuses (28) und dem Sicherheitskessel (27) angeordnet ist.
- 45 10. Zentrifuge (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerlogik (38) der Steuereinheit (39) derart ausgebildet ist, dass ein Verdichter (17) des Primär-Kältekreislaufs (14) und/oder ein Verdichter (5) des Sekundär-Kältekreislaufs (15) in ON-Betriebszuständen (45) und OFF-Betriebszuständen (46) angesteuert werden/wird.
- 50 11. Zentrifuge (1) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerlogik (38) der Steuereinheit (39) derart ausgebildet ist, dass der Verdichter (17) des Primär-Kältekreislaufs (14) und der Verdichter (5) des Sekundär-Kältekreislaufs (17) versetzt mit einem Zeitversatz (49) in den ON-Betriebszustand (45) gesteuert werden.
- 55 12. Zentrifuge (1) nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerlogik (38) der Steuereinheit (39) derart ausgebildet ist, dass
 - a) der Primär-Kältekreislauf (14) unabhängig von einer erforderlichen Kälteleistung zur Kühlung der Zentrifugenkammer (12) dauerhaft in einem ON-Betriebszustand (45) betrieben wird und

b) der Sekundär-Kältekreislauf (15) abhängig von einer erforderlichen Kälteleistung zur Kühlung der Zentrifugenkammer (12) zwischen einem ON-Betriebszustand (45) und einem OFF-Betriebszustand (46) hin- und hergeschaltet wird.

5

Claims

1. Centrifuge (1) comprising

- 10 a) a housing (28),
b) a centrifugation chamber (12) wherein a rotor which is supported for being rotated is arranged or can be arranged,
c) a primary cooling circuit (14)

15 characterised by

- d) a secondary cooling circuit (15) which is thermically coupled to the primary cooling circuit (14) and to the centrifugation chamber (12),
e) a control unit (39) being provided comprising control logic (38) which controls the primary cooling circuit (14) and the secondary cooling circuit (15) in a way such that

- ea) during an operation of the centrifuge (1) wherein the rotor is rotated cooling energy is generated by the primary cooling circuit (14) and/or
eb) the primary cooling circuit (14) and the secondary cooling circuit (15) are operated simultaneously.

25

2. Centrifuge (1) of claim 1, **characterised in that** the primary cooling circuit (14) and/or the secondary cooling circuit (15) comprise/comprises a compressor (5; 17), a condenser (6; 19), an expanding device (7; 21) and an evaporator (8; 22).

30 3. Centrifuge (1) of one of the preceding claims, **characterised in that** the primary cooling circuit (14) is a high pressure circuit (24) and the secondary cooling circuit (15) is a low pressure circuit (25).

35 4. Centrifuge (1) of one of the preceding claims, **characterised in that** the primary cooling circuit (14) comprises a flammable refrigerant.

5. Centrifuge (1) of one of the preceding claims, **characterised in that** the secondary cooling circuit (15) comprises a non-flammable or low or difficult flammable refrigerant.

40 6. Centrifuge (1) of one of the preceding claims, **characterised in that**

- a) the primary cooling circuit (14) comprises a flammable refrigerant and the secondary cooling circuit (15) comprises a non-flammable or low or difficult flammable refrigerant or
b) the primary cooling circuit (14) comprises a non-flammable or low or difficult flammable refrigerant and the second cooling circuit (15) comprises a non-flammable or low or difficult flammable refrigerant.

45

7. Centrifuge (1) of one of the preceding claims, **characterised in that** at least one heat exchanger (16; 20) is embodied as a microchannel heat exchanger.

50 8. Centrifuge (1) of one of the preceding claims, **characterised in that**

- a) the primary cooling circuit (14),
b) a heat exchanger (16) which thermically couples the primary cooling circuit (14) to the secondary cooling circuit (15) and
c) at least a part of the secondary cooling circuit (15)

55

are arranged on a side of a securing element (26) facing towards the centrifugation chamber (12).

9. Centrifuge (1) of one of the preceding claims, **characterised in that**

- a) a housing (28) of the centrifuge (1) comprises an approximately rectangular horizontal section,
- b) the securing element (26) is a securing container or vessel (27) having a circular horizontal section,
- c) the compressor (17) of the primary cooling circuit (14) is arranged in an interspace (32) between an edge (33) of the housing (28) and the securing container or vessel (27),
- d) a compressor (5) of the secondary cooling circuit (15) is arranged in an intermediate space (34) between an edge (35) of the housing (28) and the securing container or vessel (27),
- e) the or a heat exchanger (16) which thermically couples the primary cooling circuit (14) and the secondary cooling circuit (15) to each other is arranged in an interspace (36) between a side wall (37) of the housing (28) and the securing container or vessel (27).

10. Centrifuge (1) of one of the preceding claims, **characterised in that** the control logic (38) of the control unit (39) is embodied such that it is possible to control a compressor (17) of the primary cooling circuit (14) and/or a compressor (5) of the secondary cooling circuit (15) into ON operating states (45) and OFF operating states (46).

11. Centrifuge (1) of claim 10, **characterised in that** the control logic (38) of the control unit (39) is designed such that the compressor (17) of the primary cooling circuit (14) and the compressor (5) of the secondary cooling circuit (17) are controlled into the ON operating state (45) with an offset in time (49).

12. Centrifuge (1) of claim 10 or 11, **characterised in that** the control logic (38) of the control unit (39) is embodied such that

a) the primary cooling circuit (14) is permanently operated in an ON operating state (45) independent on the required cooling power for cooling the centrifugation chamber (12) and

b) the secondary cooling circuit (15) is switched forth and back between an ON operating state (45) and an OFF operating state (46) dependent on a required cooling power for cooling the centrifugation chamber (12).

Revendications

1. Centrifugeuse (1), avec

- a) un carter (28),
- b) une chambre de centrifugeuse (12) dans laquelle un rotor est ou peut être disposé supporté en rotation,
- c) un circuit de réfrigération primaire (14),

caractérisée par

d) un circuit de réfrigération secondaire (15), qui est couplé thermiquement au circuit de réfrigération primaire (14) et à la chambre de centrifugeuse (12),

e) une unité de commande (39) dotée d'une logique de commande (38) étant présente, laquelle commande le circuit de réfrigération primaire (14) et le circuit de réfrigération secondaire (15) de telle sorte que

ea) pendant un fonctionnement de la centrifugeuse (1) avec une rotation du rotor, il se produit une production de froid au moyen du circuit de réfrigération primaire (14), et/ou

eb) un fonctionnement simultané du circuit de réfrigération primaire (14) et du circuit de réfrigération secondaire (15) est effectué.

2. Centrifugeuse (1) selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** le circuit de réfrigération primaire (14) et/ou le circuit de réfrigération secondaire (15) comporte/comportent un compresseur (5 ; 17), un condenseur (6 ; 19), un équipement d'expansion (7 ; 21) et un évaporateur (8 ; 22).

3. Centrifugeuse (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** le circuit de réfrigération primaire (14) est un circuit haute pression (24), et le circuit de réfrigération secondaire (15) est un circuit basse pression (25).

4. Centrifugeuse (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** le circuit de réfrigération primaire (14) comporte un réfrigérant combustible.

5. Centrifugeuse (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** le circuit de réfrigération secondaire (15) comporte un réfrigérant non inflammable ou difficilement inflammable.

6. Centrifugeuse (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que**

- a) le circuit de réfrigération primaire (14) comporte un réfrigérant combustible, et le circuit de réfrigération secondaire (15) comporte un réfrigérant non inflammable ou difficilement inflammable, ou
- b) le circuit de réfrigération primaire (14) comporte un réfrigérant non inflammable ou difficilement inflammable, et le circuit de réfrigération secondaire (15) comporte un réfrigérant non inflammable ou difficilement inflammable.

7. Centrifugeuse (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce qu'au moins un** échangeur de chaleur (16 ; 20) est constitué en tant qu'échangeur de chaleur à microcanaux.

8. Centrifugeuse (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que**

- a) le circuit de réfrigération primaire (14),
- b) un échangeur de chaleur (16) qui couple thermiquement le circuit de réfrigération primaire (14) au circuit de réfrigération secondaire (15), et
- c) au moins une partie du circuit de réfrigération secondaire (15)

sont disposés sur un côté d'un élément de sécurité (26) qui est éloigné de la chambre de centrifugeuse (12).

9. Centrifugeuse (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que**

- a) un carter (28) de la centrifugeuse (1) comporte une coupe horizontale à peu près rectangulaire,
- b) l'élément de sécurité (26) est une chaudière de sécurité (27) ayant une coupe horizontale circulaire,
- c) un compresseur (17) du circuit de réfrigération primaire (14) est disposé dans un espace intermédiaire (32) entre un coin (33) du carter (28) et la chaudière de sécurité (27),
- d) un compresseur (5) du circuit de réfrigération secondaire (15) est disposé dans un espace intermédiaire (34) entre un coin (35) du carter (28) et la chaudière de sécurité (27),
- e) le ou un échangeur de chaleur (16), qui couple thermiquement le circuit de réfrigération primaire (14) au circuit de réfrigération secondaire (15), est disposé dans un espace intermédiaire (36) entre une paroi latérale (37) du carter (28) et la chaudière de sécurité (27).

10. Centrifugeuse (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la logique de commande (38) de l'unité de commande (39) est constituée de telle sorte qu'un compresseur (17) du circuit de réfrigération primaire (14) et/ou un compresseur (5) du circuit de réfrigération secondaire (15) est/sont commandés pour adopter des états de fonctionnement ON (45) et des états de fonctionnement OFF (46).

11. Centrifugeuse (1) selon la revendication 10, **caractérisée en ce que** la logique de commande (38) de l'unité de commande (39) est constituée de telle sorte que le compresseur (17) du circuit de réfrigération primaire (14) et le compresseur (5) du circuit de réfrigération secondaire (15) sont commandés pour adopter l'état de fonctionnement ON (45) de façon décalée avec un décalage temporel (49).

12. Centrifugeuse (1) selon la revendication 10 ou 11, **caractérisée en ce que** la logique de commande (38) de l'unité de commande (39) est constituée de telle sorte que

- a) le circuit de réfrigération primaire (14) est mis en fonctionnement dans un état de fonctionnement ON (45) de façon durable indépendamment d'une performance de réfrigération nécessaire pour le refroidissement de la chambre de centrifugeuse (12), et
- b) le circuit de réfrigération secondaire (15) est commuté dans un sens et dans l'autre entre un état de fonctionnement ON (45) et un état de fonctionnement OFF (46) en fonction d'une performance de réfrigération nécessaire pour le refroidissement de la chambre de centrifugeuse (12).

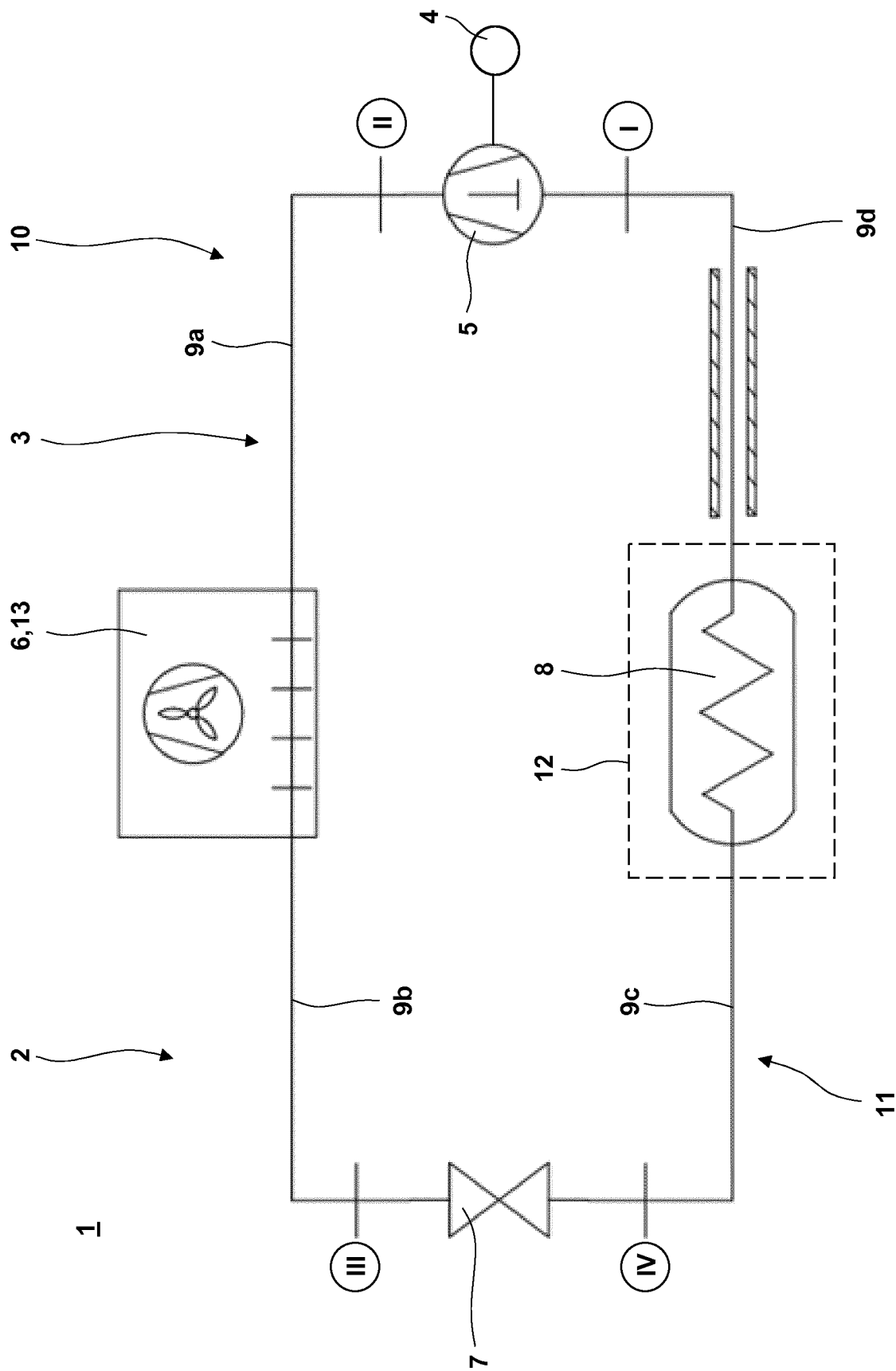


Fig. 1
(STAND DER TECHNIK)

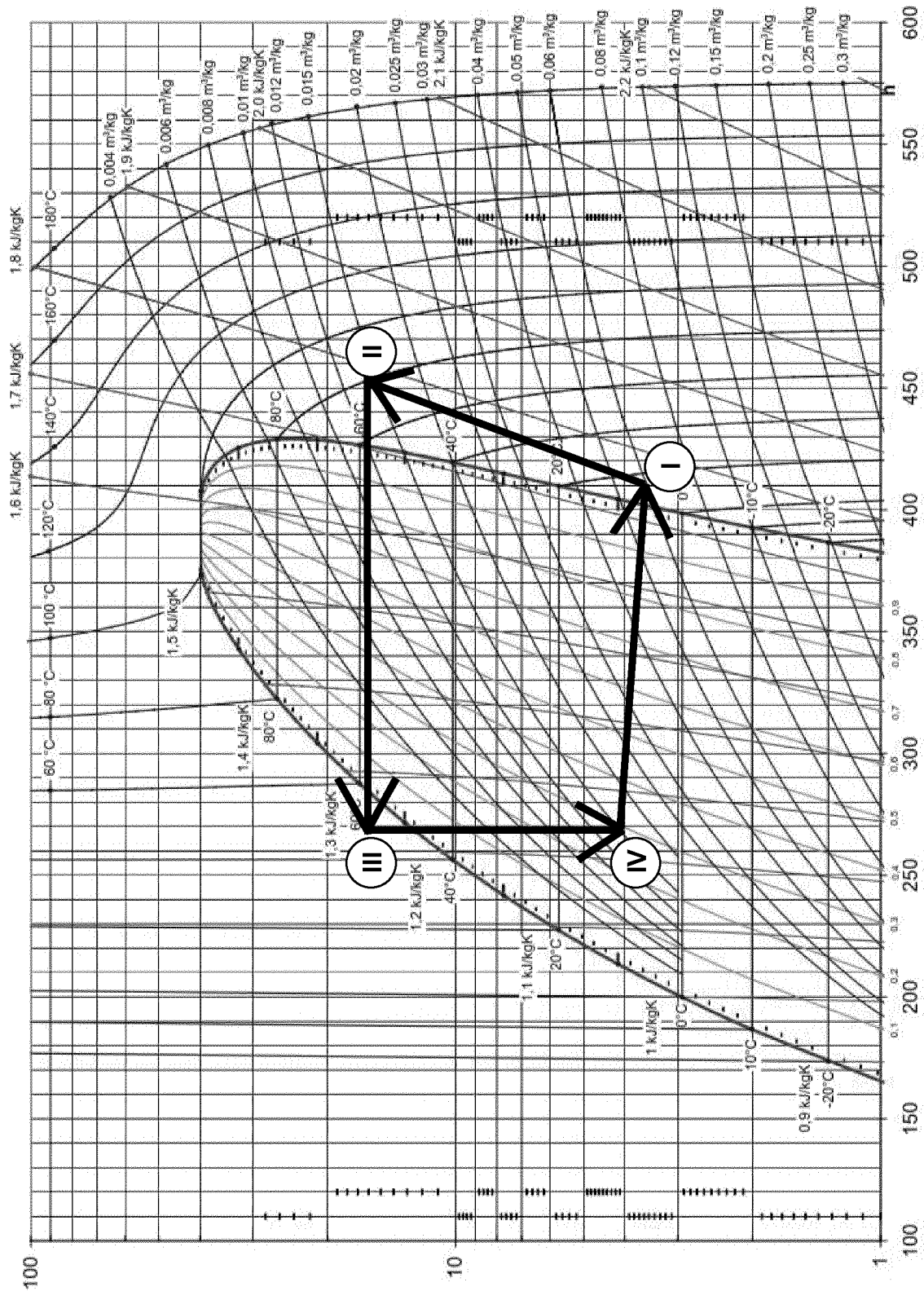


Fig. 2
(STAND DER TECHNIK)

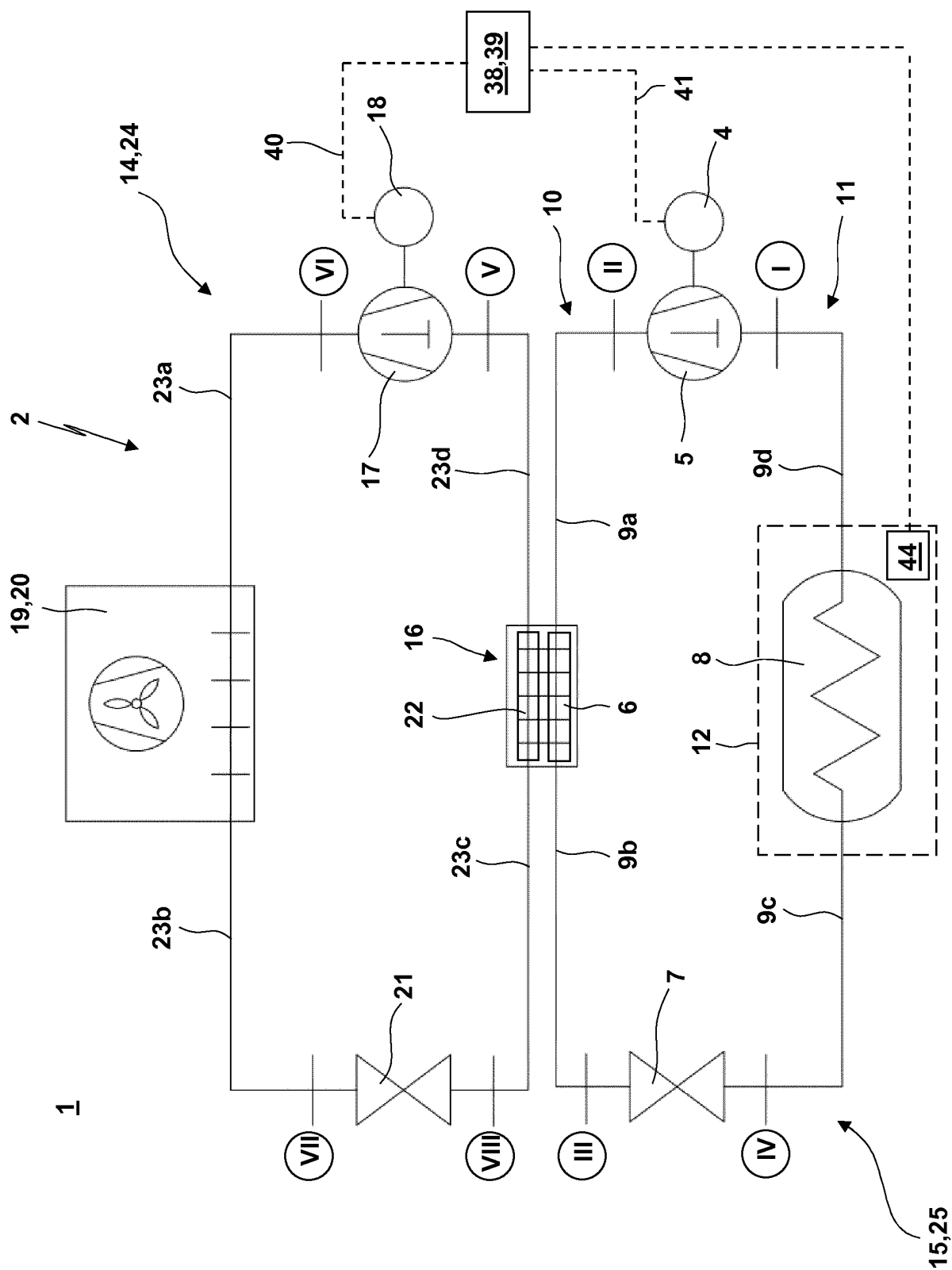


Fig. 3

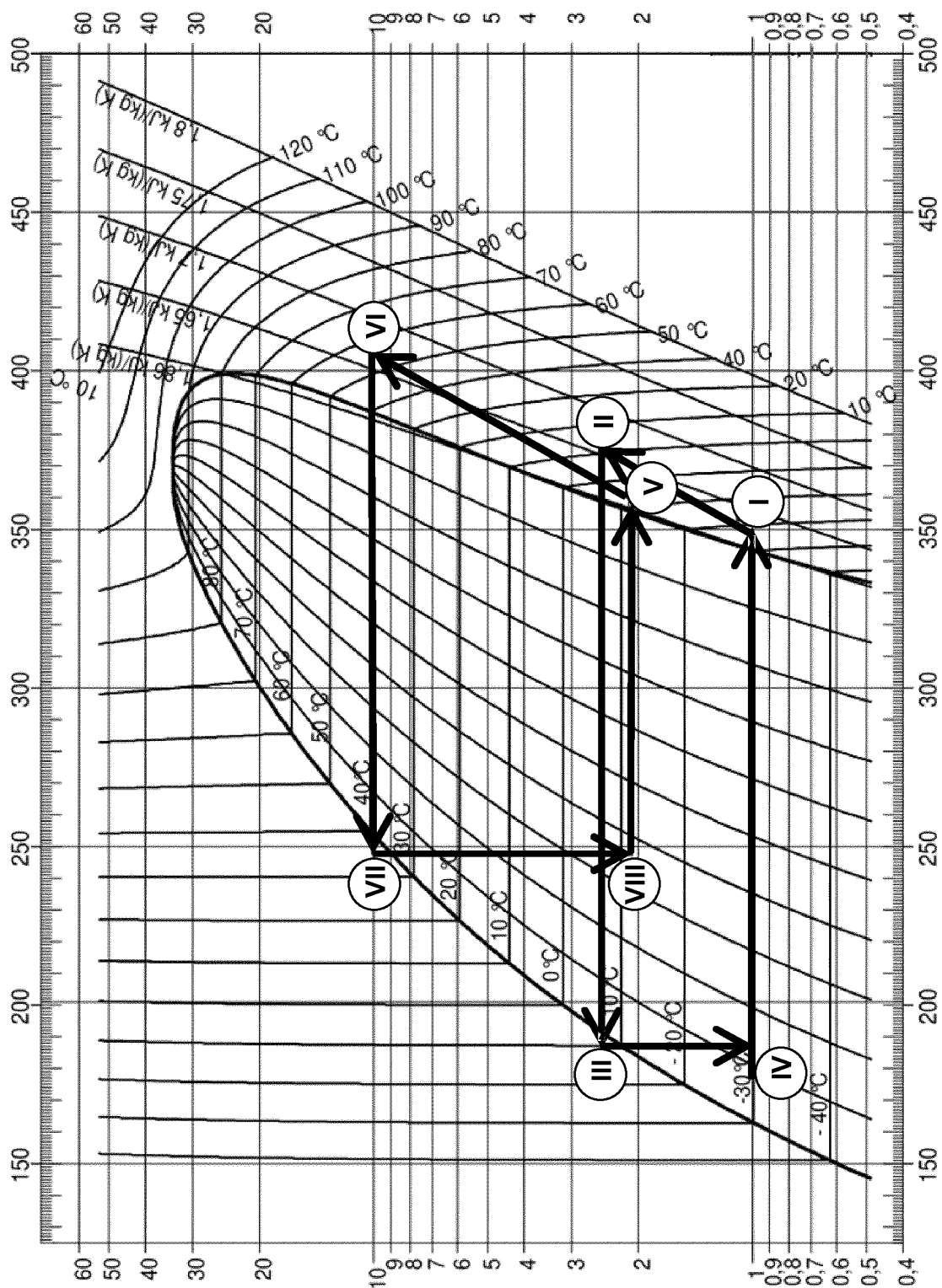


Fig. 4

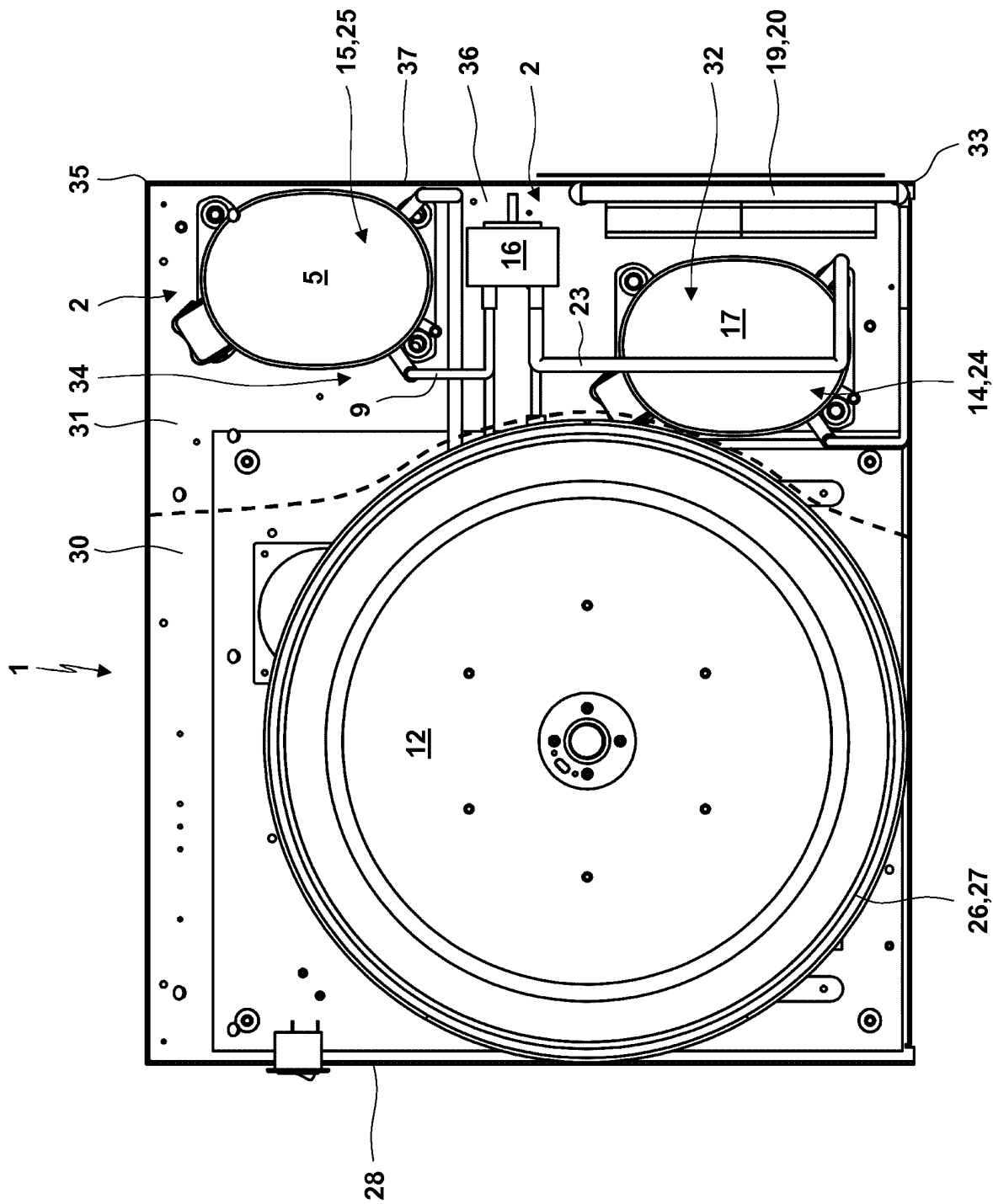


Fig. 5

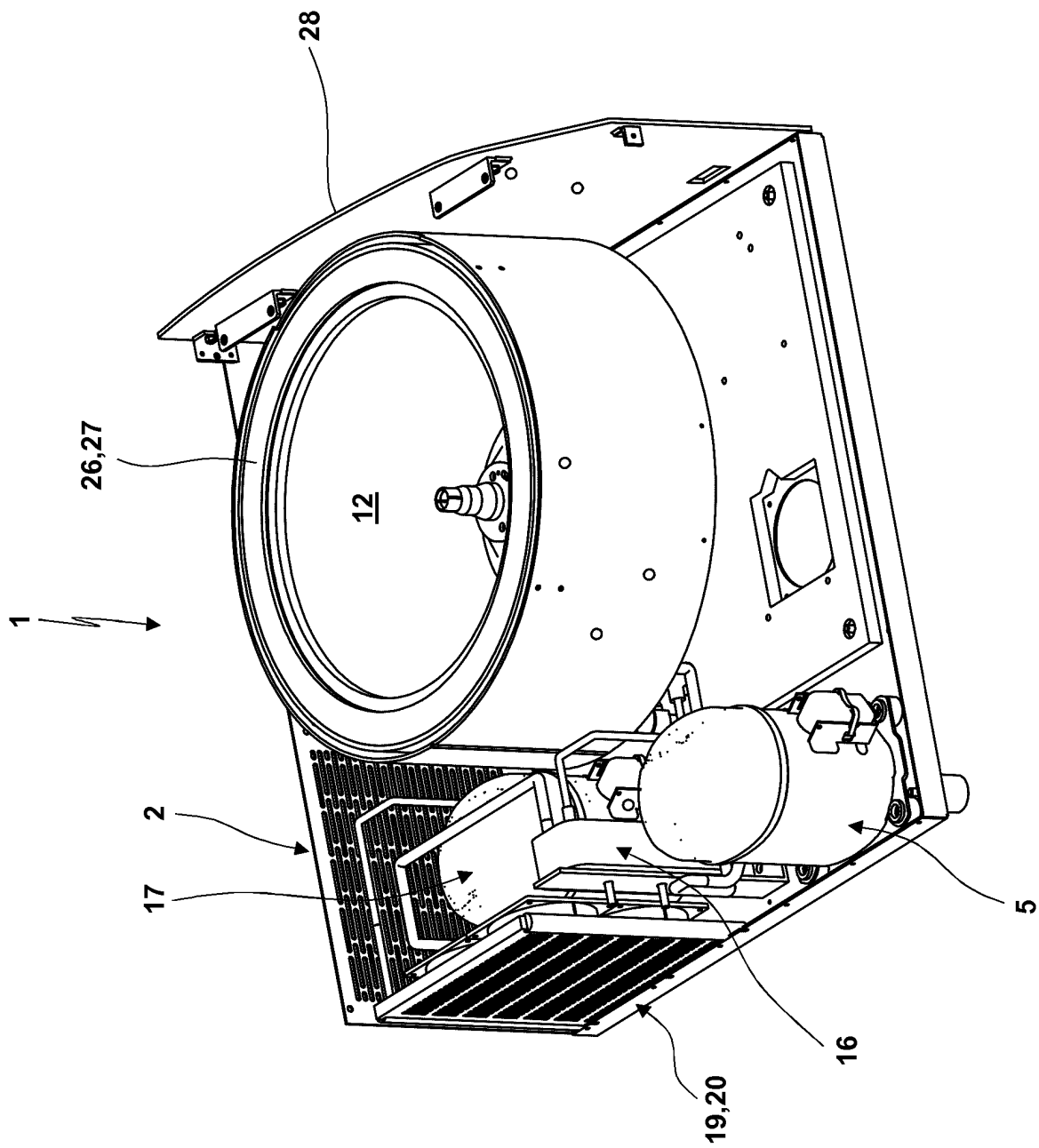


Fig. 6

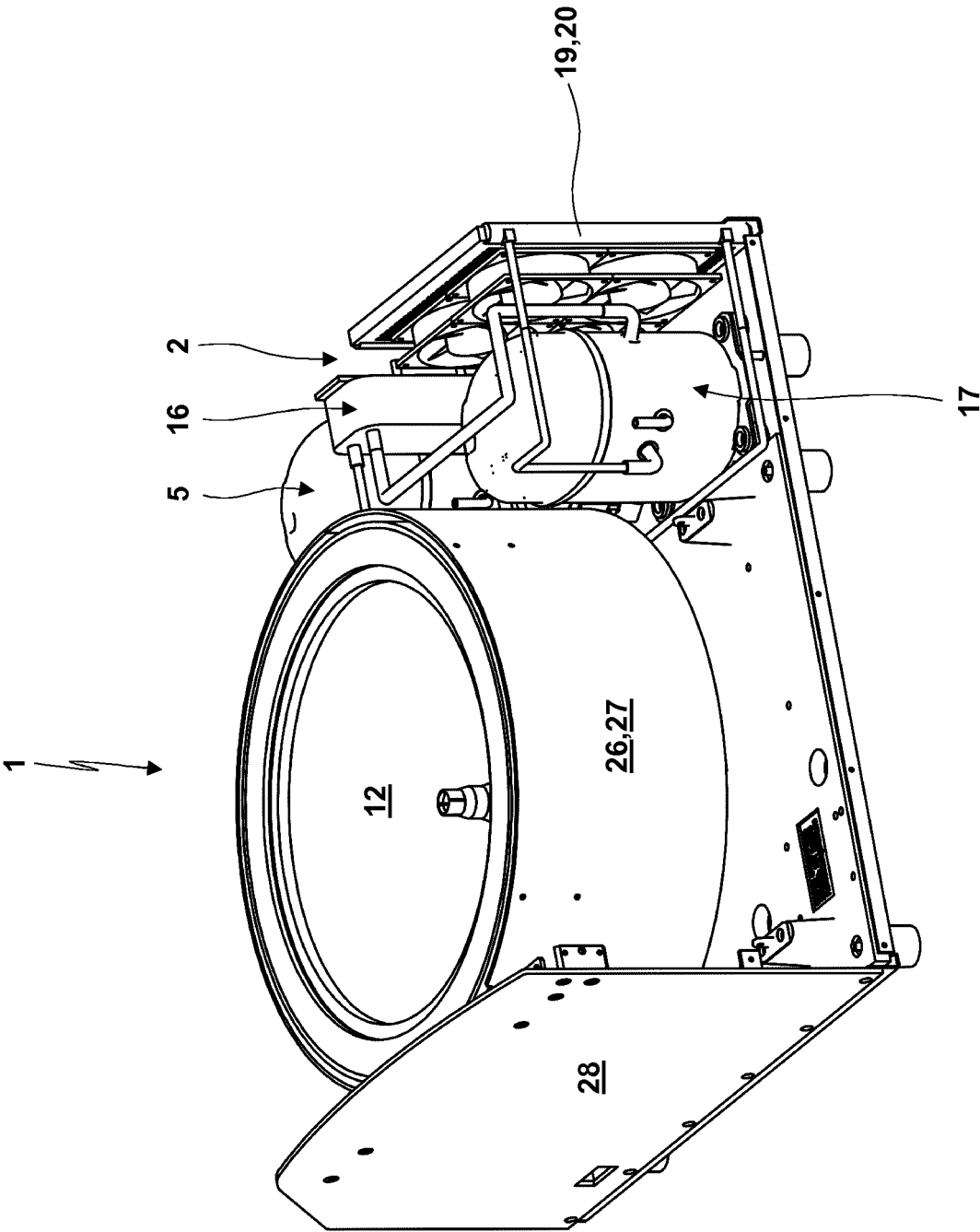


Fig. 7

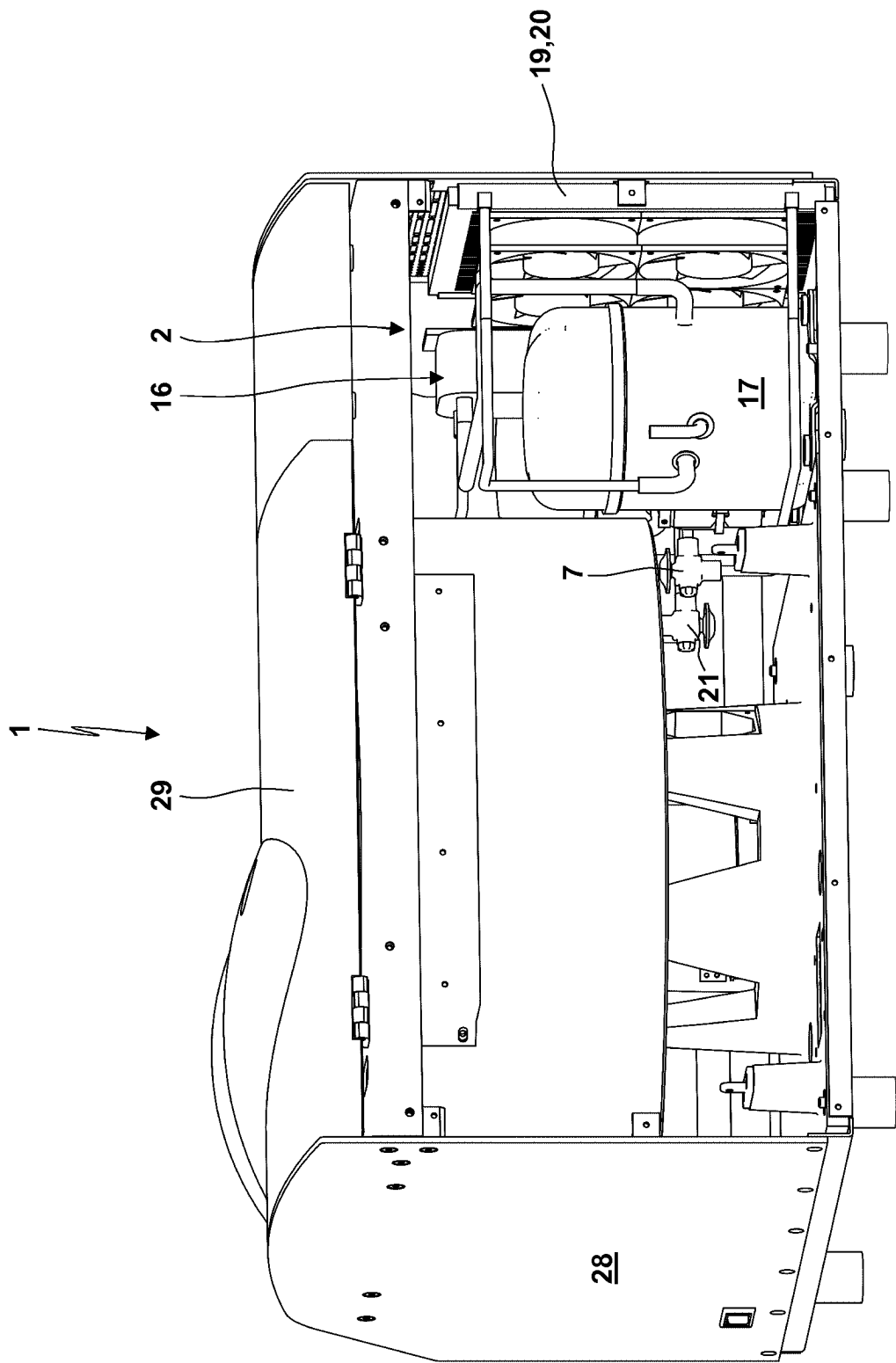


Fig. 8

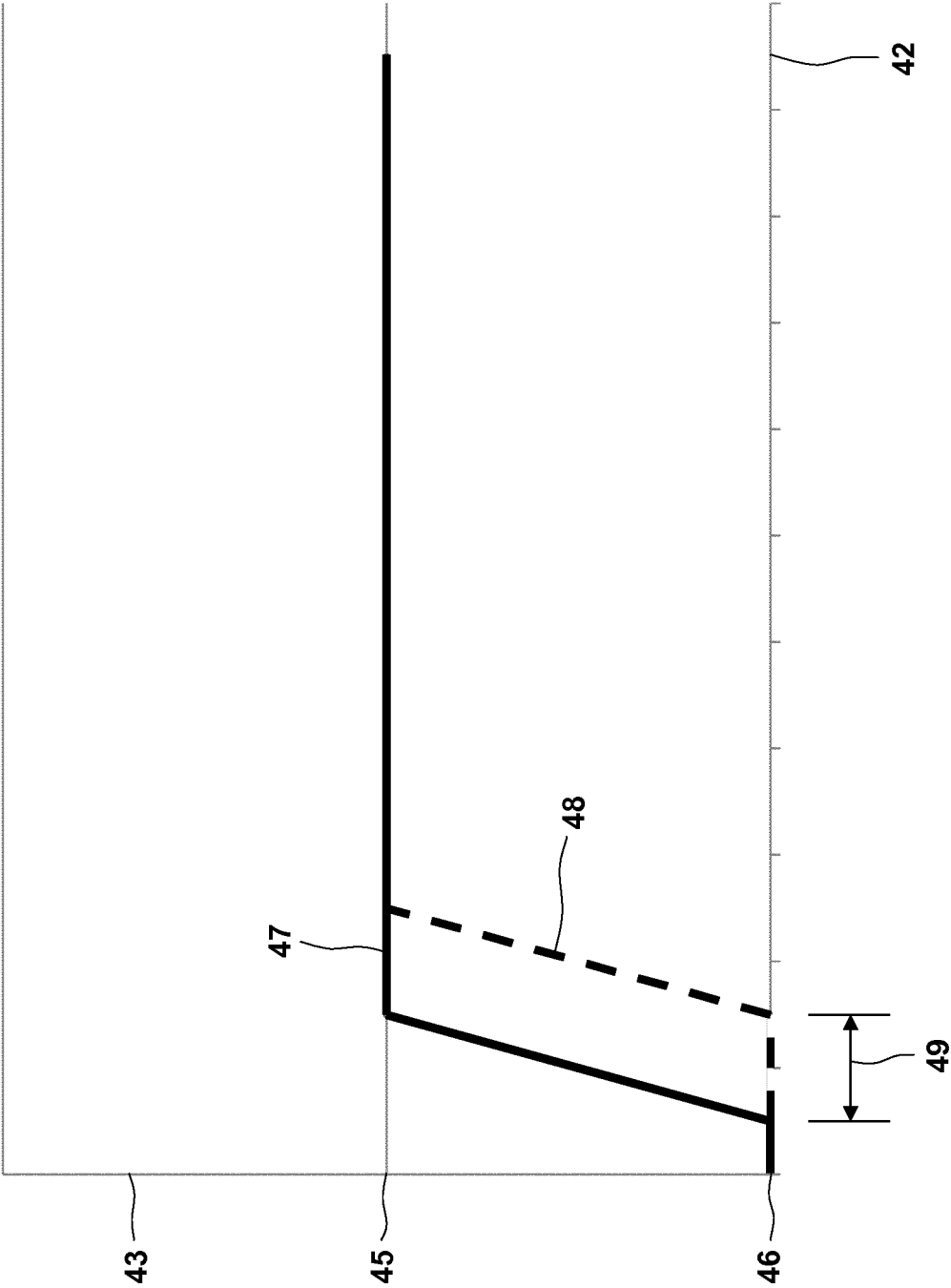


Fig. 9

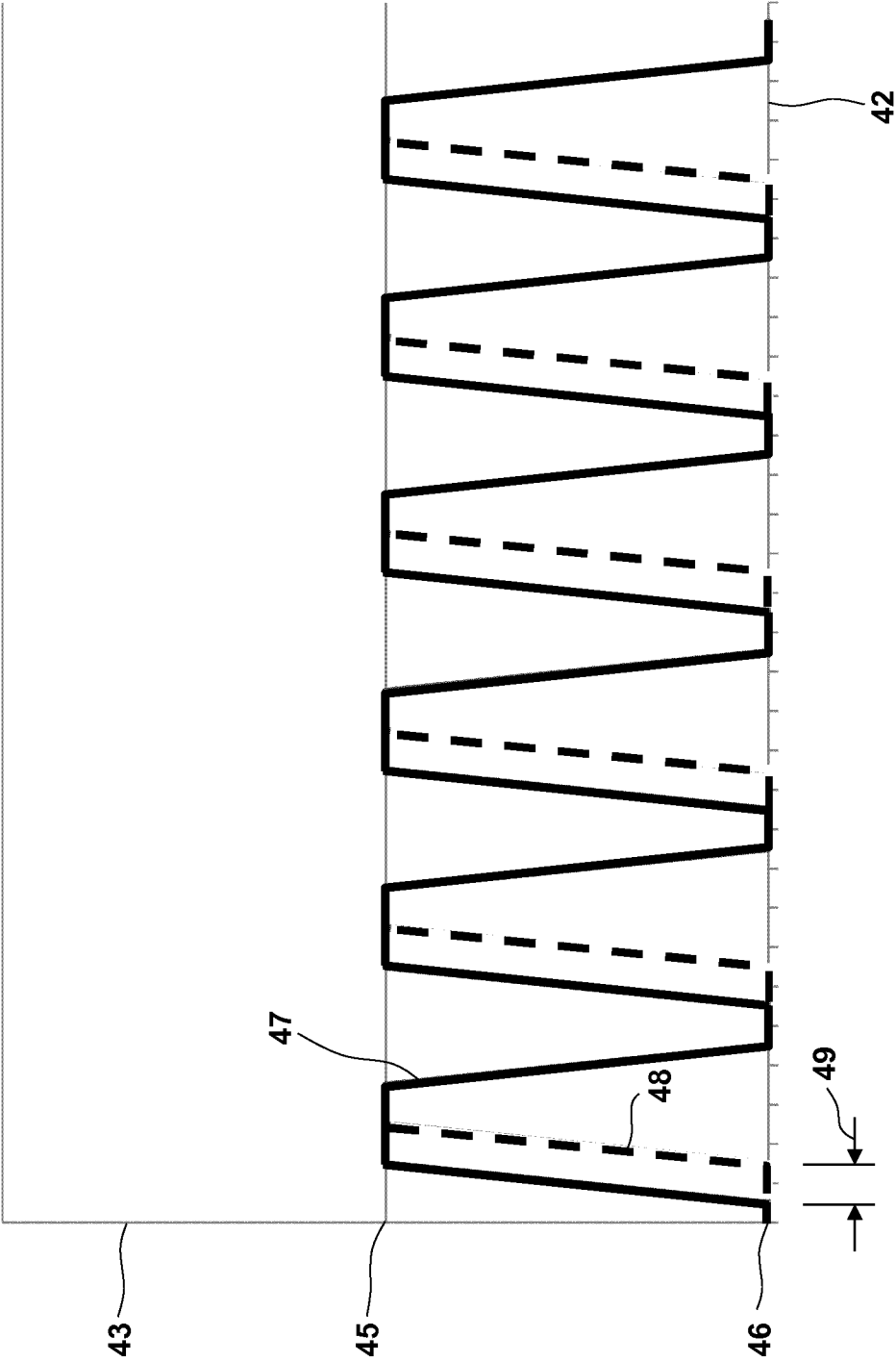


Fig. 10

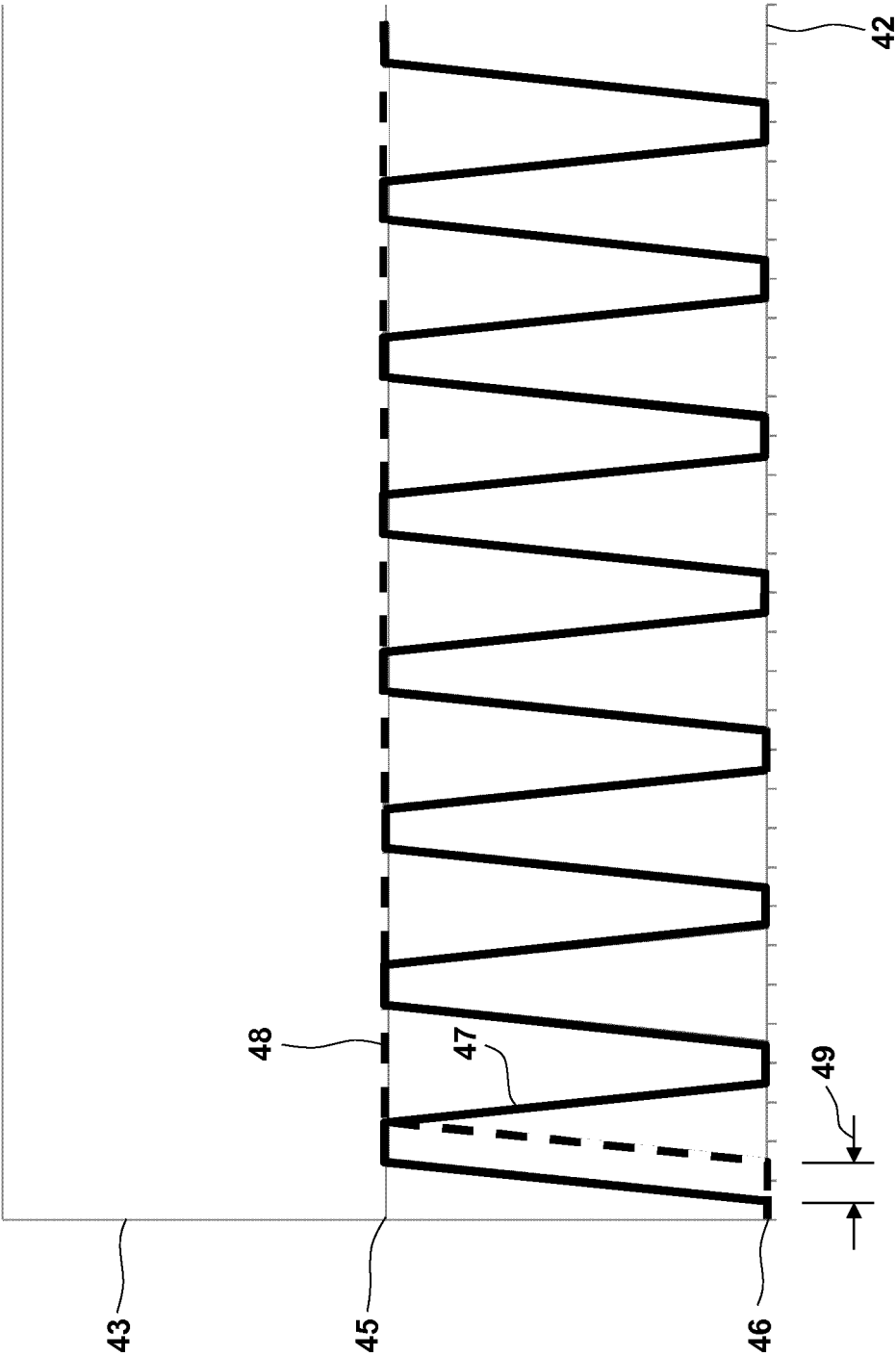


Fig. 11

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102012002593 A1 **[0004]**
- EP 3015791 A1 **[0005] [0016]**
- DE 102014110467 A1 **[0006] [0008]**
- DE 102014107294 B4 **[0007]**
- EP 2910870 A1 **[0009]**
- EP 2910970 A1 **[0009]**