

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
04.05.2016 Patentblatt 2016/18

(51) Int Cl.:
F25B 9/00 (2006.01) **B04B 15/02** (2006.01)
F25B 40/00 (2006.01) **F25B 41/06** (2006.01)
F25B 49/02 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **14003658.3**

(22) Anmeldetag: 29.10.2014

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

(71) Anmelder: **EPENDORF AG**
22339 Hamburg (DE)

(72) Erfinder: **Fischer, Sven**
04299 Leipzig (DE)

(74) Vertreter: **Hecht, Jan-David et al**
Patentanwaltskanzlei Dr. Hecht
Ranstädter Steinweg 28
04109 Leipzig (DE)

(54) **Zentrifuge mit einem Kompressorkühlkreislauf und Verfahren zum Betrieb einer Zentrifuge mit einem Kompressorkühlkreislauf**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft eine Zentrifuge mit einem Kompressorkühlkreislauf (5) und ein Verfahren zum Betrieb einer Zentrifuge mit einem Kompressorkühlkreislauf (5). Die erfindungsgemäße Zentrifuge weist hinsichtlich der Kühlleistung einen höheren Wir-

kungsgrad auf als vergleichbare Zentrifugen. Dies ist mit nahezu keiner bzw. einer nur unwesentlich höheren Leistungsaufnahme verbunden. Außerdem ist der Bauraum der erfindungsgemäßen Zentrifuge gegenüber vergleichbaren Zentrifugen nicht vergrößert.

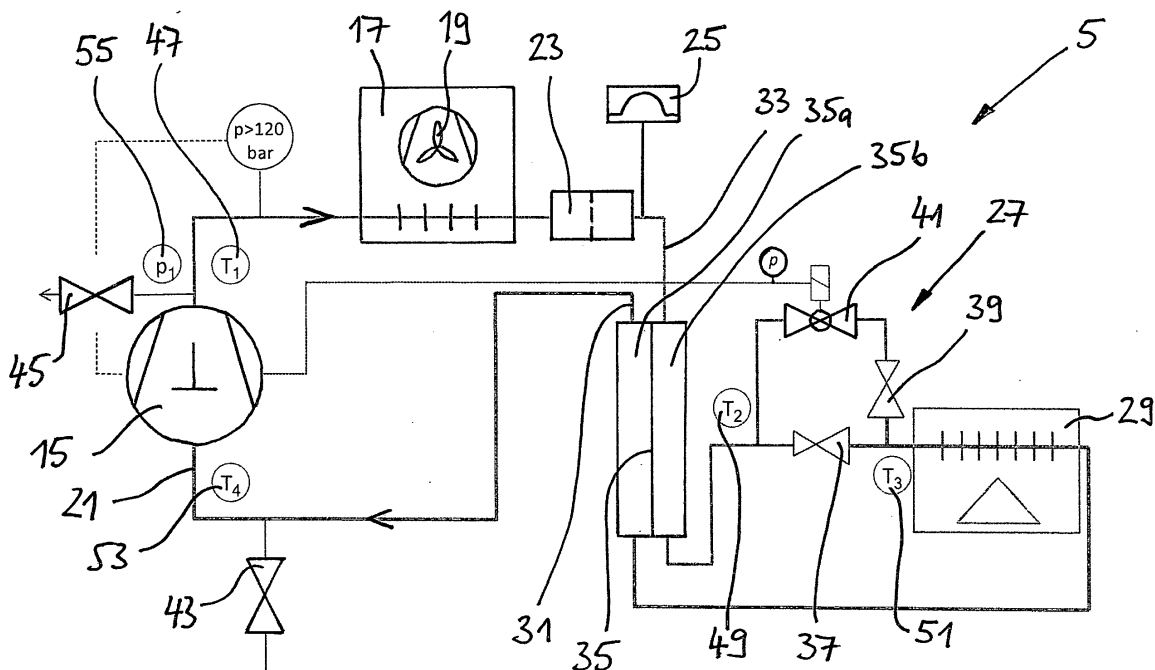


Fig. 2

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Zentrifuge mit einem Kompressorkühlkreislauf nach dem Oberbegriff von Anspruch 1 und ein Verfahren zum Betrieb einer Zentrifuge mit einem Kompressorkühlkreislauf nach dem Oberbegriff von Anspruch 10.

[0002] Zentrifugen, insbesondere Laborzentrifugen, werden dazu eingesetzt, um die Bestandteile von darin zentrifugierten Proben unter Ausnutzung der Massenträgheit zu trennen. Dabei werden zur Erzielung hoher Entmischungsraten immer höhere Rotationsgeschwindigkeiten eingesetzt. Dabei entsteht allerdings eine relativ hohes Wärmeaufkommen, das durch geeignete Kühlmethoden wieder abgeführt werden muss, um beispielsweise die zu zentrifugierenden Proben nicht nachteilig zu beeinflussen.

[0003] Zur Vermeidung einer Überhitzung oder zur Einhaltung bestimmter Probentemperaturen bei der Zentrifugation werden vor allem indirekte aktive Kühlungssysteme eingesetzt, die einen Kältemittelkreislauf besitzen, der den Zentrifugenkessel temperiert, wobei die aktive Kühlung mittels eines Verdichters erfolgt. Solche Kältemittelkreisläufe werden im Folgenden "Kompressorkühlkreisläufe" genannt.

[0004] Durch das beschriebene erhöhte Wärmeaufkommen ist es erforderlich, bestehende Kompressorkühlkreisläufe größer zu dimensionieren oder mit einer höheren Leistung zu betreiben. Während die erste Variante einen größeren Bauraum der Zentrifuge erforderlich macht, der sich nachteilig auf den Formfaktor auswirkt, ist die zweite Variante mit einem höheren Energieaufwand und damit höheren Unterhaltungskosten verbunden.

[0005] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine Lösung bereitzustellen, mit der die oben genannten Nachteile vermieden werden. Insbesondere soll der Wirkungsgrad des Kompressorkühlkreislaufs einer Zentrifuge erhöht werden. Vorzugsweise soll dabei der notwendige Bauraum in bestehenden Zentrifugen nicht vergrößert werden.

[0006] Diese Aufgabe wird gelöst durch die erfindungsgemäße Zentrifuge nach Anspruch 1 und das erfindungsgemäße Verfahren nach Anspruch 10. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Unteransprüchen angegeben.

[0007] Der Erfinder hat erkannt, dass die vorliegende Aufgabe dadurch in überraschender Weise besonders einfach und kostengünstig gelöst werden kann, wenn als Kältemittel nicht das üblicherweise verwendete Kältemittel 1,1,1,2-Tetrafluorethan (R-134a), sondern CO₂ (R-744) und/oder zumindest ein Kohlenwasserstoff eingesetzt wird. Es können dabei nicht nur reine Kältemittel, sondern auch Mischungen eingesetzt werden.

[0008] Damit weisen Kompressorkühlkreisläufe von Zentrifugen einen wesentlich höheren Wirkungsgrad auf, so dass sie entweder bei geringeren Leistungsaufnahmen betrieben werden können, um die gleiche Kühlleistung zu erzielen wie bisherige Kompressorkühlkreisläufe solcher Zentrifugen, oder es lassen sich bei gleicher Leistungsaufnahme tiefere Kühltemperaturen erzielen bzw. ein größeres Wärmeaufkommen in den Zentrifugen beherrschen.

[0009] Die Verwendung solcher Kühlkreisläufe bei Zentrifugen war bisher nicht bekannt. Zwar waren beispielsweise Kompressorkühlkreisläufe mit R-744 schon für Großkühlanlagen, beispielsweise bei Kühlhäusern, bekannt, diese weisen jedoch sehr hohe Kühlleistungen von 10 kW und mehr auf, wobei Zentrifugen nur Kühlleistungen von ca. 1,5 kW erfordern, so dass solche Kompressorkühlkreisläufe für Zentrifugen nicht einsetzbar sind. Außerdem waren ihre Baugrößen für Zentrifugen viel zu groß.

[0010] Der bessere Wirkungsgrad ergibt sich dadurch, dass bei R-134a ein Druckunterschied zwischen Niederdruck- und Hochdruckseite von 1 bar zu 8 bar, also 1:8 besteht, während beispielsweise bei R-744 ein Druckunterschied von 20 bar zu 80 bar, also von 1:4 besteht, so dass weniger Antriebsleistung zum Betrieb eines solchen R-744-Kompressorkühlkreislaufs erforderlich ist, wobei aber der absolute Druck auch wesentlich höher ist und beherrscht werden muss.

[0011] Ein positiver Nebeneffekt der vorliegenden Erfindung ist es, dass die erfindungsgemäß verwendeten Kältemittel R-744 und Kohlenwasserstoffe, wie Propan (R-290), Propen (R-1270), Butan (R-600) und Isobutan (R-600a) nicht recycelt werden müssen, da sie natürlich vorkommende Stoffe sind. Damit ist weiterhin auch kein Treibhauseffekt bei der möglichen Freisetzung der Kältemittel verbunden, da diese Kältemittel der Natur entnommen wurden.

[0012] Die erfindungsgemäße Zentrifuge, insbesondere Laborzentrifuge, mit einem Kompressorkühlkreislauf, der einen externen Wärmeübertrager, einen Verdampfer, einen Verdichter und eine Kältemittelleitung aufweist, einem Zentrifugenrotor, der von einem Zentrifugenmotor angetrieben wird, und einem Zentrifugenbehälter, der mittels des Kompressorkühlkreislaufs gekühlt wird, zeichnet sich also dadurch aus, dass das Kältemittel des Kompressorkühlkreislaufs zumindest einen Stoff aus der Gruppe Kohlendioxid und Kohlenwasserstoffe umfasst.

[0013] Im Fall im überkritischen Betrieb verwendeter Kältemittel, wie R-744, ist der externe Wärmeübertrager kein Kondensator bzw. Verflüssiger, sondern ein Gaskühler. Der Gaskühler hat die Aufgabe, das Gas zu kühlen und teilweise zu verflüssigen, da es sich in einem überkritischen Zustand befindet, weshalb der Gaskühler eine entsprechende Fläche aufweisen muss.

[0014] In einer bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass das Kältemittel zumindest einen Stoff aus der Gruppe Propan, Propen, Butan und Isobutan umfasst. Diese sind neben CO₂ besonders einfach und kostengünstig zu beschaffen und führen zu einem hohen Wirkungsgrad.

[0015] Besonders bevorzugt weist der Kompressorkühlkreislauf ein vor dem Verdampfer angeordnetes Einspritzsystem auf, das als Drossel dient und über eine Druckänderung das Kältemittel entspannt, wobei ein Einspritzmittel, das

vorzugsweise als elektronisches Einspritzventil oder als zumindest ein erstes, bevorzugt ein parallel geschaltetes erstes und ein zweites Kapillarrohr ausgebildet ist, vorgesehen ist, wobei das zweite Kapillarrohr insbesondere zu- und abschaltbar ausgebildet ist. Dadurch wird eine Steuerung der Einspritzung ermöglicht, die vor allem dazu dient, den Druck im Verdichter zu begrenzen, wie später erläutert wird.

[0016] Diesbezüglich ist es vorteilhaft, wenn das erste Kapillarrohr eine Länge im Bereich 3,0 m bis 0,5 m, bevorzugt im Bereich 2,5 m bis 1,9 m, insbesondere von 1,7 m und einen Innendurchmesser im Bereich 0,3 mm bis 1 mm, bevorzugt im Bereich 0,5 mm bis 0,7 mm, insbesondere von 0,6 mm aufweist und/oder das zweite Kapillarrohr eine Länge im Bereich 1,5 m bis 0,5 m, bevorzugt im Bereich 1,2 m bis 0,8 m, insbesondere von 1,0 m und einen Innendurchmesser im Bereich 0,5 mm bis 1,2 mm, bevorzugt im Bereich 0,7 mm bis 0,9 mm, insbesondere von 0,8 mm aufweist und/oder das zumindest ein Kapillarrohr einen Außendurchmesser im Bereich 1,0 mm bis 3 mm, bevorzugt im Bereich 1,5 mm bis 2,5 mm, insbesondere 2 mm aufweist. Dieses Einspritzsystem ist besonders gut an die erfindungsgemäßen Kältemittel, insbesondere an R-744 im Zusammenhang mit den erforderlichen Auslegungen von Zentrifugen angepasst.

[0017] In einer besonders bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass ein interner Wärmeübertrager im Kompressorkühlkreislauf angeordnet ist, der eine Wärmeübertragung zwischen zwei Bereichen der Kältemittelleitung gestattet, wobei bevorzugt ein erster Bereich der Kältemittelleitung zwischen Verdampfer und Verdichter und ein zweiter Bereich der Kältemittelleitung zwischen externem Wärmeübertrager und Einspritzorgan liegt, wobei insbesondere vorgesehen ist, dass der interne Wärmeübertrager als zwei ineinander geführte Rohrabschnitte ausgebildet ist. Beispielsweise wird hochdruckseitig ein inneres Rohr verwendet, das einen Innendurchmesser von 6 mm und eine Wandstärke von 1 mm aufweist, während niederdruckseitig ein äußeres Rohr verwendet wird mit einem Innendurchmesser von 10 mm und einer Wandstärke von 1 mm. Die Länge des internen Wärmeübertragers liegt vorzugsweise im Bereich 0,5 m bis 2,5 m, bevorzugt im Bereich 1,0 m bis 2,0 m und beträgt insbesondere 1,5 m.

[0018] Damit sind mehrere vorteilhafte Wirkungen verbunden. Zum einen wird das Kältemittel weiter erhitzt bevor es in den Verdichter gelangt und zum anderen wird die Wärme, die vor dem Verdichter aufgenommen wird, dem externen Wärmeübertrager bzw. dem Gaskühler entzogen bevor das Kältemittel in das Einspritzsystem fließt. Damit ist eine Verbesserung des Wirkungsgrades verbunden. Außerdem wird dadurch auch eine Rückführung von flüssigem Kältemittel in den Verdichter, die zu sogenannten "Flüssigkeitsschlägen" führen kann, vermieden.

[0019] In diesem Zusammenhang kann vorteilhaft zumindest ein Bypass zur Überbrückung des internen Wärmeübertragers bestehen, bevorzugt können zwei Bypässe zur Überbrückung des internen Wärmeübertragers bestehen, wobei der erste Bypass im ersten Bereich und der zweite Bypass im zweiten Bereich der Kältemittelleitung vorgesehen ist. Dadurch ist der interne Wärmeübertrager ab- und zuschaltbar und regelbar ausgelegt, so dass eine leicht erzielbare Anpassung des Kompressorkühlkreislaufs an verschiedene Arbeitsbedingungen möglich ist.

[0020] Für diese Ausgestaltung eines Wärmeübertragers wird selbständiger Schutz beansprucht, also unabhängig davon, ob dieser in Zentrifugen bzw. Kompressorkühlkreisläufen in Zentrifugen eingesetzt wird.

[0021] Weitere bevorzugte Ausgestaltungen bestehen darin, dass vor dem Verdampfer, bevorzugt vor dem Einspritzsystem, ein Ausdehnungsgefäß bzw. Kältemittelsammler angeordnet ist, dessen Zuleitung insbesondere absperrbar ausgebildet ist und/oder dass ein Bypass besteht, der Kühlmittel nach dem Verdichter und vor dem externen Wärmeübertrager abzieht und dem Verdampfer zuführt und/oder dass vor dem Verdampfer und nach dem externen Wärmeübertrager ein Sicherheitsorgan, bevorzugt in Form eines Sicherheitsventils, angeordnet ist. Alternativ können diese Elemente auch an anderen Stellen im Kühlmittelkreislauf angeordnet werden, allerdings werden diese Stellen bevorzugt.

[0022] Mit dem Ausdehnungsgefäß bzw. Kältemittelsammler wie auch dem Sicherheitsventil wird sichergestellt, dass es im Stillstand der Zentrifuge und des Kompressorkühlkreislaufs nicht zu einem Bersten des Kompressorkühlkreislaufs bzw. Leckagen aufgrund sicherheitsrelevanter Druckerhöhung kommt.

[0023] Außerdem kann mit dem Ausdehnungsgefäß bzw. Kältemittelsammler die Kältemittelmenge an den Bedarf angepasst werden, also beispielsweise an die Umgebungstemperatur angepasst werden.

[0024] Aufgrund der hohen Verdichterdrücke im Gegensatz zu R-134a muss die erfindungsgemäße Zentrifuge sicherheitstechnisch entsprechend ausgelegt sein. Alle Komponenten könnten hierzu auf einen 3-fachen Arbeitsdruck ausgelegt werden, was aber zu einer massiven Überdimensionierung führen würde. Stattdessen ist vorgesehen, dass der Arbeitsdruck, also der Verdichterdruck auf einen Bereich 100 bar bis 140 bar, bevorzugt maximal 130 bar, insbesondere maximal 120 bar beschränkt wird und bei einem Überschreiten eine Abschaltung des Verdichters erfolgt. Aufgrund von Toleranzen bei der Druckbestimmung von üblicherweise 10% ist bei einem kontrollierten Verdichterdruck von 120 bar ein realer Druck von bis zu ca. 132 bar verbunden. Aus Sicherheitsgründen wird das System dann auf eine Maximalbelastung von $120 \text{ bar} \times 1,43 = 171,6 \text{ bar}$ ausgelegt.

[0025] Mit dem Bypass, der ein Heißgasbypass ist, wird erreicht, dass warmes Kältemittel dem Verdampfer zugeführt wird, wodurch eine Eisbildung beispielsweise am Tripelpunkt von CO_2 im Verdampfer vermieden werden kann. Diesbezüglich wird vorzugsweise ein hinsichtlich des Kältemittelflusses steuerbarer Bypass verwendet, der in Abhängigkeit von der Temperatur in der Saugleitung des Verdichters geregelt wird. Zweckmäßig wird der Bypass im Teillastbetrieb eingesetzt.

[0026] Alternativ oder zusätzlich kann auch zur Verhinderung solcher Eisbildung bzw. Bereifung vorgesehen sein,

dass der Verdichter heruntergeregelt wird oder das Einspritzsystem geöffnet wird, was wiederum zweckmäßig in Abhängigkeit von der Temperatur in der Saugleitung des Verdichters geregelt wird.

[0027] Zusätzlich oder alternativ kann auch eine Kühlkaskade dahingehend verwendet werden, dass der beispielsweise CO₂ basierte Kompressorkühlkreislauf mittels eines weiteren Kühlkreislaufs im Stillstand gekühlt wird, um kritische Druckerhöhungen im Kompressorkühlkreislauf zu verhindern.

[0028] In einer bevorzugten Ausgestaltung sind ein oder mehrere der folgenden Mittel zum Steuern vorgesehen, wobei mit "Mitteln zum Steuern" im Rahmen der vorliegenden Erfindung auch stets Mittel zum Regeln mit offenbart sind. Durch die nachfolgend genannten Mittel kann jeweils der Wirkungsgrad verbessert und es können sicherheitsrelevante Druckerhöhungen vermieden werden.

1. Mittel, die Kältemittelmenge in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur und/oder der gewünschten Kühltemperatur und/oder des Verdichterdrucks zu steuern. Anstelle der Umgebungstemperatur kann auch die Temperatur des externen Wärmeübertragers verwendet werden.

2. Mittel, das Einspritzsystem in Abhängigkeit vom Druck im Kompressorkühlkreislauf zu steuern, bevorzugt das zweite Kapillarrohr bei einem bestimmten Druckschaltpunkt zuzuschalten.

3. Mittel, die Länge zumindest eines Kapillarrohrs in Abhängigkeit von der Einspritztemperatur und/oder der Kältemittelmenge und/oder des Verdichterdrucks anzupassen. Hinsichtlich der Länge könnte beispielsweise eine Kaskade von Kapillarrohren unterschiedlicher Länge vorgesehen sein, die über entsprechende Ventile zuschaltbar sind, wobei entsprechende Bypässe abschaltbar sind, so dass beliebige Kombinationen von in Reihe geschalteten Kapillarrohrlängen ermöglicht werden.

4. Mittel, den Verdichterdruck in Abhängigkeit von zumindest einer der Temperaturen Temperatur des externen Wärmeübertragers und Umgebungstemperatur anzupassen.

[0029] Unabhängiger Schutz wird beansprucht für das erfindungsgemäße Verfahren zum Betrieb einer Zentrifuge, insbesondere Laborzentrifuge, mit einem Kompressorkühlkreislauf, der einen externen Wärmeübertrager, einen Verdichter, einen Verdichter und eine Kältemittelleitung aufweist, einem Zentrifugenrotor, der von einem Zentrifugenmotor angetrieben wird, und einem Zentrifugenbehälter, der mittels des Kompressorkühlkreislaufs gekühlt wird, das sich dadurch auszeichnet, dass als Kältemittel des Kompressorkühlkreislaufs zumindest ein Stoff aus der Gruppe Kohlendioxid und Kohlenwasserstoffe verwendet wird.

[0030] In einer vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, die Kältemittelmenge in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur und/oder der gewünschten Kühltemperatur und/oder des Drucks im Verdichter zu steuern. Dadurch wird der Wirkungsgrad verbessert und es können sicherheitsrelevante Druckerhöhungen vermieden werden.

[0031] Alternativ oder zusätzlich kann vorgesehen sein, dass der Verdichterdruck in Abhängigkeit von zumindest einer der Temperaturen Temperatur des externen Wärmeübertragers und Umgebungstemperatur gesteuert wird.

[0032] Dabei ist festzustellen, dass die Kältemittelmenge von der Maschinengröße abhängt, wobei bei höheren Umgebungstemperaturen eine größere Füllmenge bessere Ergebnisse erzielt. Die Drücke liegen dabei bevorzugt bei ca. 50-70 bar für etwa 10°C Umgebungstemperatur, bei ca. 75-90 bar für etwa 23°C Umgebungstemperatur und bei ca. 105-130 bar für etwa 40°C Umgebungstemperatur.

[0033] Besonders vorteilhaft wird die erfindungsgemäße Zentrifuge verwendet.

[0034] Wenn das Einspritzsystem der Zentrifuge bei Erreichen eines ersten Verdichterdrucks bei einem höheren Durchsatz betrieben wird, das Einspritzsystem bei einem Absinken auf einen zweiten Verdichterdruck, der kleiner ist als der erste Verdichterdruck, bei dem geringeren Durchsatz betrieben wird und das Einspritzsystem bei erneutem Erreichen des ersten Verdichterdrucks wiederum bei dem höheren Durchsatz betrieben wird, dann können sicherheitsrelevante Druckanstiege vermieden werden und es wird der Wirkungsgrad des Kompressorkühlkreislaufs erhöht.

[0035] Vorteilhaft liegt zumindest einer der ersten und zweiten Verdichterdrücke im Bereich 75 bar bis 115 bar, bevorzugt im Bereich 80 bar bis 105 bar. Weiterhin vorteilhaft liegt der Abstand des ersten vom zweiten Verdichterdruck im Bereich 1 bar bis 10 bar, bevorzugt 2 bar bis 7 bar, insbesondere 4 bar bis 5 bar, wodurch eine Hysterese erzeugt wird, die ein dauerhaftes Hin- und Herschalten bei Erreichen des Druckschaltpunktes verhindert. Dabei werden in einer Variante Druckschaltpunkte von 86 bar für den ersten Verdichterdruck und 82 bar für den zweiten Verdichterdruck sowie in einer zweiten Variante Druckschaltpunkte von 105 bar für den ersten Verdichterdruck und 100 bar für den zweiten Verdichterdruck bevorzugt.

[0036] Von Vorteil ist es weiterhin, wenn zunächst beim Start der Zentrifuge das Einspritzsystem, beispielsweise in Form eines elektronischen Einspritzventils oder in Form zweier Kapillarrohre, mit einem höheren Durchsatz betrieben wird, um zum eine schnelle Abkühlung zu erreichen, aber auch, um einen zu hohen Hochdruck zu vermeiden. Dadurch wird eine gute Verdampferausnutzung erreicht und der Verdampfer selbst schnell abgekühlt. Erst später sollte der

Durchsatz zugunsten einer niedrigen Verdampfungstemperatur, und somit auch der zu erreichenden Proben­temperatur, verringert werden, auch weil dann im Wesentlichen nicht mehr die Wärme des Verdampfers, sondern vor allem die durch den Rotor eingetragene Wärme abgeführt werden muss.

[0037] Der Zeitpunkt der Reduzierung des Durchsatzes wird durch Überwachung der Temperatur am Verdichtereingang bestimmt, wobei einerseits ein solches Absinken der Temperatur verhindert wird, dass Flüssigkeitsschläge im Verdampfer aufgrund nicht vollständiger Verdampfung des Kältemittels zu befürchten sind. Andererseits wird mittels einer Tendenzkontrolle überwacht, ob sich die Temperatur aufgrund eines zu hohen Drucks auf der Niederdruckseite nicht mehr merklich verringert. In beiden Fällen wird dann der Durchsatz verringert.

[0038] Es ist also vorteilhaft, wenn das Einspritzsystem beim Start der Zentrifuge bei einem höheren Durchsatz betrieben wird, der später zur Vermeidung von Flüssigkeitsschlägen im Verdampfer und/oder bei einem Verharren bei einer zu hohen Kältemitteltemperatur abgesenkt wird.

[0039] Außerdem ist es zweckmäßig, die Länge zumindest eines Kapillarrohres des Einspritzsystems in Abhängigkeit von der Einspritztemperatur und/oder der Kältemittelmenge und/oder des Verdichterdrucks anzupassen, wodurch ebenfalls sicherheitsrelevante Druckanstiege vermieden und der Wirkungsgrad des Kompressorkühlkreislau­fs erhöht werden können. Dabei sollte die Länge des Kapillarrohrs so eingestellt werden, dass sie abhängig von der Anlagengröße auf die jeweils zu erreichende Verdampfungstemperatur angepasst ist. Das dazu parallel geschaltete Kapillarrohr kann (fast) beliebig gewählt werden, da je nach Größe die Regelung dieses dann öfter oder weniger oft zuschalten wird.

[0040] Für sämtliche Merkmale des Einspritzsystems und dessen Steuerung bzw. Regelung, insbesondere die Ausgestaltung mit zwei Kapillarrohren, wird für sich genommen selbständiger Schutz beansprucht. Dabei kann dieses Einspritzsystem auch völlig unabhängig von dem im Rahmen dieser Erfindung eingesetzten Kältemittel vorteilhaft verwendet werden, da auch für andere Kältemittel damit ein Überdruck verhindert bzw. beim Start eine optimale und beschleunigte Abkühlung erreicht wird. Die Kennzeichen und weitere Vorteile der Erfindung werden im Rahmen der folgenden Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels im Zusammenhang mit den Figuren deutlich werden. Dabei zeigen rein schematisch:

Fig. 1 die erfindungsgemäße Zentrifuge in einer perspektivischen Ansicht und

Fig. 2 den in der Zentrifuge nach Fig. 1 verwendeten Kompressorkühlkreislauf in einer Fließbilddarstellung.

[0041] In Fig. 1 ist zu erkennen, dass die erfindungsgemäße Zentrifuge 1 als Laborzentrifuge 1 in üblicher Weise mit einem Gehäuse 3, mit einer nicht gezeigten Abdeckung für einen Kompressorkühlkreislauf 5, und einem Zentrifugenbehälter 7, mit einem von einem Zentrifugenmotor (nicht gezeigt) angetriebenen Zentrifugenrotor 9 ausgebildet ist, wobei der Zentrifugenbehälter 7 von einem Zentrifugendeckel 11 verschlossen werden kann. Bestandteil des Zentrifugengehäuses 3 ist eine Grundplatte 13, auf der der Verdichter 15 des Kompressorkühlkreislau­fs 5 montiert ist. Außerdem ist ein externer Wärmeübertrager 17 vorgesehen, der als Gaskühler ausgebildet ist und über einen Lüfter 19 gekühlt wird.

[0042] Der erfindungsgemäß verwendete Kompressorkühlkreislauf 5 ist in Fig. 2 näher dargestellt. Es ist zu erkennen, dass der Kompressorkühlkreislauf 5 eine Kühlmittelleitung 21 für CO₂ (R-744) aufweist, die den Verdichter 15 stromabwärts mit dem Gaskühler 17, einem Filtertrockner 23, ein Sicherheitsventil 25 als Sicherheitsorgan, einem Einspritzsystem 27 und einem Verdampfer 29 in fluider Kommunikation verbindet. Der Verdampfer 29 ist ein Kupferrohr mit 10 mm Innendurchmesser bei einer Wandstärke von 1 mm, das 14 Mal um den Zentrifugenbehälter 7 gewickelt und auf­ge­prägt wurde und eine Länge von 18,9 m aufweist.

[0043] Der Verdichter 15 ist ein Hubkolbenkompressor. Der Filtertrockner 23 ist beispielsweise ein Stahlfilter, es könnte aber auch ein Kupferfilter verwendet werden. Der Gaskühler 17 weist Kupferrohrmaterial mit 5 mm Außendurchmesser bei 0,5 mm Wandstärke auf, wobei der Lüfter 19 aus der kommerziell erhältlichen Laborzentrifuge Eppendorf 5810R verwendet wurde. Diese Laborzentrifuge wurde also insgesamt nur hinsichtlich des Kompressorkühlkreislau­fs ange­passt. Dabei sind alle Bauteile so ausgelegt, dass sie einem Druck von 172 bar standhalten.

[0044] Zwischen einem niederdruckseitigen ersten Bereich 31 der Kältemittelleitung 21, der zwischen Verdampfer 29 und Verdichter 15 verläuft, und einem hochdruckseitigen zweiten Bereich 33 der Kältemittelleitung 21, der zwischen dem Gaskühler 17 und Einspritzsystem 27 verläuft, ist ein interner Wärmeübertrager 35 angeordnet. Der interne Wärmeübertrager 35 weist ein äußeres Mantelrohr 35a aus Kupfer, das einen Innendurchmesser von 10 mm und eine Wandstärke von 1 mm besitzt, durch das der niederdruckseitige erste Bereich 31 geführt wird, und ein in dem äußeren Mantelrohr 35a verlaufendes inneres Rohr 35b aus Kupfer auf, das einen Innendurchmesser von 6 mm und eine Wandstärke von 1 mm besitzt, durch das der hochdruckseitige zweite Bereich 33 geführt wird. Die Länge des internen Wärmeübertragers 35 beträgt 1,5 m.

[0045] Damit wird das Kältemittel weiter erhitzt bevor es in den Verdichter 15 gelangt und die Wärme, die vor dem Verdichter 15 aufgenommen wird, wird dem Gaskühler 17 entzogen bevor das Kältemittel in das Einspritzsystem 27 fließt. Damit ist eine Verbesserung des Wirkungsgrades verbunden. Außerdem wird dadurch auch eine Rückführung von flüssigem Kältemittel in den Verdichter 15, die zu sogenannten "Flüssigkeitsschlägen" führen kann, vermieden.

[0046] Das Einspritzsystem 27 weist zwei Kapillaren 37, 39 auf, wobei die zweite Kapillare 39 mittels eines Magnet-

ventils 41 abgesperrt bzw. geöffnet werden kann. Die erste Kapillare 37 ist dabei 2,2 m lang und weist einen Innendurchmesser von 0,6 mm bei einer Wandstärke von 0,7 mm auf, während die zweite Kapillare 39 eine Länge von 1 m aufweist und einen Innendurchmesser von 0,8 mm besitzt. Hierbei ist die Wandstärke 0,6 mm. Beide Kapillaren 37, 39 sind als Kupferrohre ausgebildet, wie auch der übrige Teile der Verrohrung der Kühlmittleitung 21.

[0047] Es ist ein Befüllventil 43 für CO₂ stromaufwärts vor dem Verdichter 15 vorgesehen und ein Ablassventil 45 stromabwärts nach dem Verdichter 15, das mit einem Ausdehnungsgefäß bzw. Kältemittelsammler (nicht gezeigt) verbunden ist. Das Ausdehnungsgefäß bzw. der Kältemittelsammler weist ein Innenvolumen von 0,5 l auf, der mit einer Saugleitung aus Kupfer mit einem Außendurchmesser von 6 mm und einem Innendurchmesser von 4 mm mit der Kühlmittleitung 21 verbunden ist.

[0048] Schließlich sind Temperatursensoren 47, 49, 51, 53 vorgesehen, die die Verdichtertemperatur (47), die Einspritztemperatur (49), die Verdampfertemperatur (51) und die Temperatur vor dem Verdichter (53) bestimmen. Außerdem ist ein Drucksensor 55 vorgesehen, der den Verdichterdruck bestimmt. Zusätzlich, und nicht gezeigt, können Sensoren zur Bestimmung der Umgebungstemperatur und der Gaskühlertemperatur vorgesehen sein.

[0049] Nicht gezeigt sind auch weitere Zusatzoptionen, die in dem erfindungsgemäßen Kompressorkühlkreislauf 5 Verwendung finden könnten, nämlich ein regelbarer Bypass, der Kühlmittel nach dem Verdichter 15 und vor dem Gaskühler 17 abzieht und dem Verdampfer 29 nach dem Einspritzsystem 27 zuführt und regelbare Bypässe zur Umgehung des internen Wärmeübertragers 35 jeweils im ersten 31 und zweiten Bereich 33 der Kühlmittleitung.

[0050] Das Volumen des Kompressorkühlkreislaufs 5 für das Kältemittel beträgt ca. 3 l, wobei verschiedene Befüllungen mit CO₂ möglich sind, nämlich insbesondere im Bereich von 300 bis 500 g. Es ist eine Sicherheitsabschaltung bei einem Verdichterdruck größer 120 bar vorgesehen.

[0051] Es wurden Vergleichsuntersuchungen zwischen der erfindungsgemäßen Zentrifuge mit R-744 und der Vergleichszentrifuge Eppendorf 5810R mit R-134a für Befüllungen mit 350 g und 470g/460 g vorgenommen, die im Folgenden näher dargestellt werden.

[0052] Die Vergleichsuntersuchungen erfolgten bei 10 °C, 23 °C (Raumtemperatur) und 30 °C in einer Klimakammer des Typs 3705/06 der Fa. Feutron. Die relative Luftfeuchte betrug bei diesen Temperaturen jeweils ca. 45%. Die Zentrifugentests erfolgten mit einem Festwinkelrotor (FWR) und einem Ausschwingrotor (ASR).

[0053] Die Zentrifugenlaufzeit betrug 60 min pro Test, wobei die Zeit von der Vortemperierung der Zentrifugen in der Klimakammer bis zur Temperaturkonstanz jeweils mehrere Stunden betrug. Der Zentrifugendeckel 11 wurde immer ca. 0,5 h vor dem Teststart geschlossen, um im Zentrifugenbehälter 7 eine konstante Ausgangstemperatur herzustellen.

[0054] In den Zentrifugenrotoren waren jeweils 4 ml Probengut (Wasser mit 10% Ethanolanteil) angeordnet. Im Rahmen dieser Vergleichsmessungen wurde dann neben dem Stromverbrauch und der Temperatur im inneren Zentrifugendeckel auch die Probentemperatur ermittelt, wobei dies jeweils durch Mittelwertbildung für zwei Tests erfolgte.

[0055] In den nachfolgenden Tabellen 1 bis 4 sind jeweils die Ergebnisse dargestellt, wobei für die Vergleichszentrifuge Eppendorf 5810R mit R-134a eine Temperatur von -9 °C vorgegeben wurde, während für die erfindungsgemäße Zentrifuge 1 Druckschaltintervalle für den Verdichterdruck vorgegeben wurden, der jeweils über den Drucksensor 55 bestimmt wurde. Dabei gibt der erste Wert den Schaltpunkt an, bei dessen Erreichen das Magnetventil 41 das zweite Kapillarrohr 39 öffnet, und der zweite Wert gibt den Schaltpunkt an, bei dessen Erreichen das Magnetventil 41 das zweite Kapillarrohr 39 schließt. Die Hysterese durch die unterschiedlichen Schaltpunkte verhindert ein dauerndes Schalten des Magnetventils 41. Die in den Tabellen angegebenen Temperaturen und Stromverbräuche sind jeweils auf die Zentrifugenlaufzeit von 60 min bezogen, wobei T_Probe die Probentemperatur ist und T_Deckel die Temperatur am Zentrifugendeckel 11 ist.

Tabelle 1:

Temperatur	10 °C		23 °C		30 °C	
Kältemittel	R-134a	R-744	R-134a	R-744	R-134a	R-744
Temperatur/ Druckschaltintervall	-9°C	86/82 bar	-9°C	86/82 bar	-9°C	86/82 bar
T_Probe	5,5 °C	3,3 °C	8,5 °C	4,8 °C	12,5 °C	15,3 °C
T_Deckel	-0,8 °C	-3,6 °C	2,0 °C	-1,9 °C	5,5 °C	8,9 °C
Stromverbrauch	1,05 kWh	1,08 kWh	1,10 kWh	1,12 kWh	1,13 kWh	1,16 kWh

[0056] In Tabelle 1 werden jeweils Tests mit 360 g Kältemittel für FWR für verschiedene Temperaturen der Klimakammer verglichen, wobei die Rotordrehzahl jeweils auf 12100 Umdrehungen pro Minute festgesetzt war.

[0057] Es ist zu erkennen, dass die erfindungsgemäße Zentrifuge bei Temperaturen unterhalb 30 °C eine deutliche bessere Kühleffizienz (T_Probe, T_Deckel) aufweist als die Vergleichszentrifuge, wobei der Stromverbrauch jeweils nur

EP 3 015 791 A1

geringfügig höher ausfällt. Für 30 °C ist die Kühleffizienz dagegen herabgesetzt.

Tabelle 2:

Temperatur	10 °C		23 °C		30 °C	
Kältemittel	R-134a	R-744	R-134a	R-744	R-134a	R-744
Zieltemperatur/ Druckschaltintervall	-9°C	86/82 bar	-9 °C	86/82 bar	-9 °C	86/82 bar
T_Probe	-0,5 °C	-2,5 °C	3,9 °C	-1,0 °C	7,4 °C	10,0 °C
T_Deckel	-3,0 °C	-6,1 °C	1,0 °C	-3,4 °C	4,5 °C	8,5 °C
Stromverbrauch	1,12 kWh	1,17 kWh	1,16 kWh	1,21 kWh	1,21 kWh	1,25 kWh

[0058] In Tabelle 2 werden jeweils Tests mit 360 g Kältemittel für ASR für verschiedene Temperaturen der Klimakammer verglichen, wobei die Rotordrehzahl jeweils auf 4000 Umdrehungen pro Minute festgesetzt war.

[0059] Es ist zu erkennen, dass die erfindungsgemäße Zentrifuge wiederum bei Temperaturen unterhalb 30 °C eine deutliche bessere Kühleffizienz (T_Probe, T_Deckel) aufweist, als die Vergleichszentrifuge, wobei der Stromverbrauch jeweils nur geringfügig höher ausfällt. Für 30 °C ist die Kühleffizienz dagegen herabgesetzt.

Tabelle 3:

Temperatur	10 °C		23 °C		30 °C	
Kältemittel	R-134a	R-744	R-134a	R-744	R-134a	R-744
Zieltemperatur/ Druckschaltintervall	-9°C	86/82 bar	-9°C	86/82 bar	-9°C	86/82 bar
T_Probe	0,0 °C	-8,2 °C	2,8 °C	1,5 °C	7,8 °C	14,0 °C
T_Deckel	-2,0 °C	-9,6 °C	0,7 °C	0,2 °C	6,0 °C	13,4 °C
Stromverbrauch	1,05 kWh	1,08 kWh	1,21 kWh	1,23 kWh	1,23 kWh	1,25 kWh

[0060] In Tabelle 3 werden jeweils Tests mit 470 g R-134a bzw. 460 g R-744 Kältemittel für ASR für verschiedene Temperaturen der Klimakammer verglichen, wobei die Rotordrehzahl jeweils auf 4000 Umdrehungen pro Minute festgesetzt war.

[0061] Es ist zu erkennen, dass die erfindungsgemäße Zentrifuge bei Temperaturen unter der Raumtemperatur eine wesentlich bessere Kühleffizienz (T_Probe, T_Deckel) aufweist als die Vergleichszentrifuge. Für Raumtemperatur sind die Unterschiede nicht mehr so deutlich und für 30 °C bleibt die Kühleffizienz dagegen herabgesetzt. Der Stromverbrauch war jeweils nur geringfügig höher für die erfindungsgemäße Zentrifuge 1.

Tabelle 4:

Temperatur	30 °C	
Kältemittel	R-134a	R-744
Zieltemperatur/ Druckschaltintervall	-9 °C	100/95 bar
T_Probe	7,8 °C	5,5 °C
T_Deckel	6,0 °C	4,2 °C
Stromverbrauch	1,23 kWh	1,29 kWh

[0062] In Tabelle 4 werden Tests mit 470 g R-134a bzw. 460 g R-744 Kältemittel für ASR für eine Temperatur der Klimakammer von 30 °C verglichen, wobei die Rotordrehzahl jeweils auf 4000 Umdrehungen pro Minute festgesetzt war. Im Unterschied zu Tabelle 3 waren hier die Druckschaltpunkte geändert auf 100 bar / 95 bar.

[0063] Es ist zu erkennen, dass die erfindungsgemäße Zentrifuge 1 nun auch bei Temperaturen von 30 °C eine wesentlich bessere Kühleffizienz (T_Probe, T_Deckel) aufweist, als die Vergleichszentrifuge, wobei der Stromverbrauch nur geringfügig höher ist als bei vermindertem Verdichterdruck und gegenüber R-134a eine Verbrauchszunahme von etwa 5% besteht.

[0064] Dass die Kühlergebnisse bei ca. 30 °C bei geringeren Verdichterdrücken nicht so gut ausfallen, mag daran

liegen, dass sich CO₂ bei Temperaturen oberhalb 31 °C im überkritischen Zustand befindet und dadurch in diesem Bereich nicht mehr so effizient arbeitet, als wenn ein Phasenübergang vorhanden ist.

[0065] Aus diesen Vergleichsuntersuchungen ist zu entnehmen, dass mit der erfindungsgemäßen Zentrifuge 1 zum Teil deutliche bessere Kühlergebnisse erzielt werden als für bisher eingesetzte Zentrifugen mit R-134a. Für höhere Kältemittelmengen verbessert sich die Kühlleistung unterhalb Raumtemperatur noch einmal deutlich, verliert jedoch bei Raumtemperatur, so dass es vorteilhaft ist, die Kältemittelmenge in Abhängigkeit von der Gaskühlertemperatur und/oder der Umgebungstemperatur zu regeln, also bei geringeren Gaskühlertemperaturen bzw. Umgebungstemperaturen eine höhere Kältemittelmenge zu verwenden.

[0066] Weitere Tests haben ergeben, dass die CO₂-Zentrifuge bei gleicher Proben temperatur (jeweils eingestellt auf 0°C) mit 1,19 KW/h weniger Strom verbraucht, als die Serienmaschine mit 1.3 KW/h.

[0067] Für Temperaturen oberhalb der Raumtemperatur ist es vorteilhaft, den Verdichterdruck zu erhöhen, wobei beide Maßnahmen auch miteinander kombiniert werden können, also bei Temperaturen oberhalb Raumtemperatur ein höherer Verdichterdruck und eine geringere Kältemittelmenge verwendet werden. Bei Raumtemperatur ist es vorteilhaft, eine geringere Kältemittelmenge und einen geringeren Verdichterdruck und bei Temperaturen unterhalb Raumtemperatur ist es vorteilhaft, eine höhere Kältemittelmenge und einen geringeren Verdichterdruck zu verwenden.

[0068] Außerdem wurde festgestellt, dass der Geräuschpegel der erfindungsgemäßen Zentrifuge 1 geringer liegt als für die Vergleichszentrifuge. Beispielsweise betrug der Schalldruckpegel für die erfindungsgemäße Zentrifuge 1 in 1 m Entfernung bei der Verwendung von ASR bei 4000 Umdrehungen pro Minute 65,3 dB, während der Schalldruckpegel bei der Verwendung der Vergleichszentrifuge unter denselben Bedingungen 67,9 dB betrug.

[0069] Aus Öluntersuchungen wiederum wurde durch Bestimmung der enthaltenen Metallgehalte der Verschleiß verglichen. Es wurde ermittelt, dass keine erhöhte Abnutzung durch den erhöhten Verdichterdruck bei der erfindungsgemäßen Zentrifuge 1 gegenüber einer Ölreferenzprobe (Idemitsu Öl des Typs DAPHNE PZ68S) als Neuware besteht, da keine höheren Metallgehalte bei vergleichbaren Laufzeiten von ca. 100 h bestanden.

[0070] Aus der vorliegenden Darstellung ist deutlich geworden, dass mit der vorliegenden Erfindung eine Zentrifuge 1 bereitgestellt wird, die hinsichtlich der Kühlleistung einen höheren Wirkungsgrad als vergleichbare Zentrifugen aufweist. Dies ist mit nahezu keiner bzw. einer nur unwesentlich höheren Leistungsaufnahme verbunden. Außerdem ist der Bauraum der erfindungsgemäßen Zentrifuge 1 gegenüber vergleichbaren Zentrifugen nicht vergrößert.

[0071] Soweit nichts anders angegeben ist, können sämtliche Merkmale der vorliegenden Erfindung frei miteinander kombiniert werden. Auch die in der Figurenbeschreibung beschriebenen Merkmale können, soweit nichts anderes angegeben ist, als Merkmale der Erfindung frei mit den übrigen Merkmalen kombiniert werden. Dabei können gegenständliche Merkmale auch als Verfahrensmerkmale Verwendung finden und Verfahrensmerkmale als gegenständliche Merkmale.

Bezugszeichenliste

[0072]

1	erfindungsgemäße Zentrifuge 1
3	Gehäuse
5	Kompressorkühlkreislauf
7	Zentrifugenbehälter
9	Zentrifugenrotor
11	Zentrifugendeckel
13	Grundplatte
15	Verdichter
17	externer Wärmeübertrager, Gaskühler
19	Lüfter
21	Kühlmittleitung
23	Filtertrockner
25	Sicherheitsorgan, Sicherheitsventil
27	Einspritzsystem
29	Verdampfer
31	erster Bereich der Kältemittleitung 21, niederdruckseitig
33	zweiter Bereich der Kältemittleitung 21, hochdruckseitig
35	interner Wärmeübertrager
35a	äußerer Rohrabschnitt des interner Wärmeübertrager 35
35b	innerer Rohrabschnitt des interner Wärmeübertrager 35
37, 39	Kapillaren des Einspritzsystems 27

41	Magnetventil
43	Befüllventil
45	Ablassventil
47, 49, 51, 53	Temperatursensoren
55	Drucksensor

Patentansprüche

- 10 1. Zentrifuge, insbesondere Laborzentrifuge (1), mit einem Kompressorkühlkreislauf (5), der einen externen Wärmeübertrager (17), einen Verdampfer (29), einen Verdichter (15) und eine Kältemittelleitung (21) aufweist, einem Zentrifugenrotor (9), der von einem Zentrifugenmotor angetrieben wird, und einem Zentrifugenbehälter (7), der mittels des Kompressorkühlkreislaufs (5) gekühlt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Kältemittel des Kompressorkühlkreislaufs (5) zumindest einen Stoff aus der Gruppe Kohlendioxid und Kohlenwasserstoffe umfasst.
- 15 2. Zentrifuge nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Kältemittel zumindest einen Stoff aus der Gruppe Propan, Propen, Butan und Isobutan umfasst.
- 20 3. Zentrifuge (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kompressorkühlkreislauf (5) ein vor dem Verdampfer (29) angeordnetes Einspritzsystem (27) aufweist mit einem Einspritzmittel (37, 39), das vorzugsweise als elektronisches Einspritzventil oder als zumindest ein erstes, bevorzugt ein parallel geschaltetes erstes (37) und ein zweites Kapillarrohr (39) ausgebildet ist, wobei das zweite Kapillarrohr (39) insbesondere zu- und abschaltbar ausgebildet ist.
- 25 4. Zentrifuge (1) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das erste Kapillarrohr (37) eine Länge im Bereich 3,0 m bis 0,5 m, bevorzugt im Bereich 2,5 m bis 1,9 m, insbesondere von 1,7 m und einen Innendurchmesser im Bereich 0,3 mm bis 1 mm, bevorzugt im Bereich 0,5 mm bis 0,7 mm, insbesondere von 0,6 mm aufweist und/oder das zweite Kapillarrohr (39) eine Länge im Bereich 1,5 m bis 0,5 m, bevorzugt im Bereich 1,2 m bis 0,8 m, insbesondere von 1,0 m und einen Innendurchmesser im Bereich 0,5 mm bis 1,2 mm, bevorzugt im Bereich 0,7 mm bis 30 0,9 mm, insbesondere von 0,8 mm aufweist und/oder das zumindest ein Kapillarrohr (37, 39) einen Außendurchmesser im Bereich 1,0 mm bis 3 mm, bevorzugt im Bereich 1,5 mm bis 2,5 mm, insbesondere 2 mm aufweist.
- 35 5. Zentrifuge (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein interner Wärmeübertrager (35) im Kompressorkühlkreislauf (5) angeordnet ist, der eine Wärmeübertragung zwischen zwei Bereichen (31, 33) der Kältemittelleitung (21) gestattet, wobei bevorzugt ein erster Bereich der Kältemittelleitung zwischen Verdampfer und Verdichter und ein zweiter Bereich der Kältemittelleitung zwischen externem Wärmeübertrager (17) und Einspritzorgan (27) liegt, wobei insbesondere vorgesehen ist, dass der interne Wärmeübertrager (35) als zwei ineinander geführte Rohrabschnitte (35a, 35b) ausgebildet ist.
- 40 6. Zentrifuge nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest ein, bevorzugt zwei Bypässe zur Überbrückung des internen Wärmeübertragers bestehen, wobei der erste Bypass im ersten Bereich und der zweite Bypass im zweiten Bereich der Kältemittelleitung besteht.
- 45 7. Zentrifuge (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** vor dem Verdampfer, bevorzugt vor dem Einspritzsystem ein Ausdehnungsgefäß oder Kältemittelsammler angeordnet ist, dessen Zuleitung insbesondere absperrbar ausgebildet ist und/oder dass vor dem Verdampfer (29) und nach dem externen Wärmeübertrager (17) ein Sicherheitsorgan, bevorzugt in Form eines Sicherheitsventils (23), angeordnet ist.
- 50 8. Zentrifuge (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Bypass besteht, der Kältemittel nach dem Verdichter und vor dem externen Wärmeübertrager abzieht und dem Verdampfer zuführt.
- 55 9. Zentrifuge nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** Mittel vorgesehen sind, die Kältemittelmenge in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur und/oder der gewünschten Kühltemperatur und/oder des Drucks im Kompressorkühlkreislauf (5) zu steuern und/oder dass Mittel vorgesehen sind, das Einspritzsystem in Abhängigkeit vom Druck im Verdichter zu steuern und/oder dass Mittel vorgesehen sind, die Länge zumindest eines Kapillarrohres in Abhängigkeit von der Einspritztemperatur und/oder der Kältemittelmenge und/oder Verdichterdruck anzupassen und/oder dass Mittel vorgesehen sind, den Verdichterdruck in Abhängigkeit von zumindest einer der Temperaturen des externen Wärmeübertragers und Umgebungstemperatur anzupassen.

- 5 10. Verfahren zum Betrieb einer Zentrifuge, insbesondere Laborzentrifuge (1), mit einem Kompressorkühlkreislauf (5), der einen externen Wärmeübertrager (17), einen Verdampfer (29), einen Verdichter (15) und eine Kältemittelleitung (21) aufweist, einem Zentrifugenrotor (9), der von einem Zentrifugenmotor angetrieben wird, und einem Zentrifugenbehälter (7), der mittels des Kompressorkühlkreislaufs (5) gekühlt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Kältemittel des Kompressorkühlkreislaufs (5) zumindest ein Stoff aus der Gruppe Kohlendioxid und Kohlenwasserstoffe verwendet wird.
- 10 11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kältemittelmenge in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur und/oder der gewünschten Kühltemperatur und/oder des Drucks im Verdichter zu steuern.
- 15 12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Verdichterdruck in Abhängigkeit von zumindest einer der Temperaturen Temperatur des externen Wärmeübertragers (17) und Umgebungstemperatur gesteuert wird.
- 20 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Zentrifuge eine verwendet wird, die nach einem der Ansprüche 1 bis 9 ausgebildet ist.
- 25 14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Einspritzsystem (27) der Zentrifuge (1) bei Erreichen eines ersten Verdichterdrucks bei einem höheren Durchsatz betrieben wird, das Einspritzsystem (27) bei einem Absinken auf einen zweiten Verdichterdruck, der kleiner ist als der erste Verdichterdruck, bei einem geringeren Durchsatz betrieben wird und das Einspritzsystem (27) bei erneutem Erreichen des ersten Verdichterdrucks wieder bei dem geringeren Durchsatz betrieben wird, wobei bevorzugt vorgesehen ist, dass das Einspritzsystem beim Start der Zentrifuge bei einem höheren Durchsatz betrieben wird, der später zur Vermeidung von Flüssigkeitsschlägen im Verdampfer und/oder bei einem Verharren bei einer zu hohen Kältemitteltemperatur abgesenkt wird.
- 30 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Länge zumindest eines Kapillarrohres des Einspritzsystems in Abhängigkeit von der Einspritztemperatur angepasst wird.

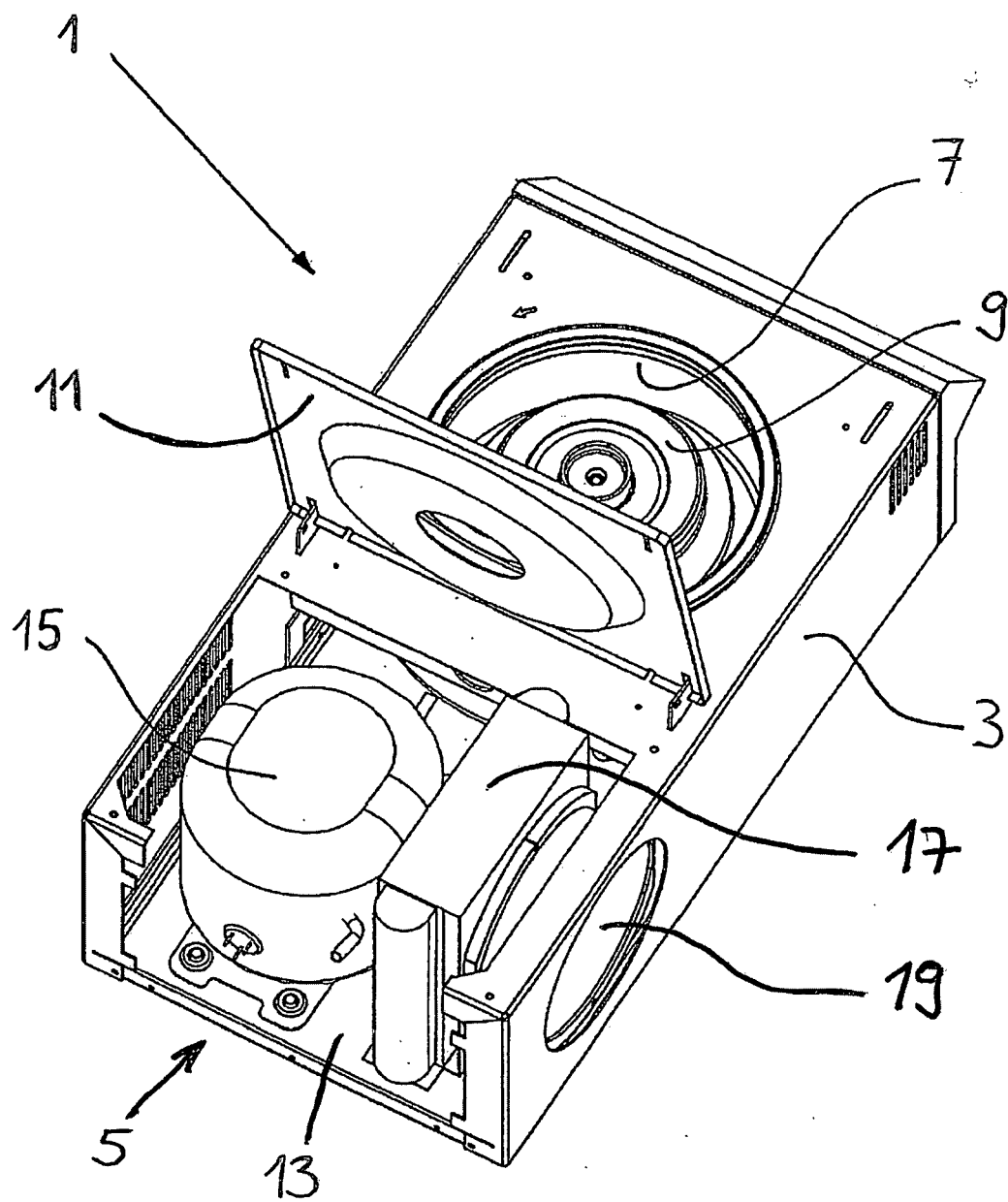


Fig. 1

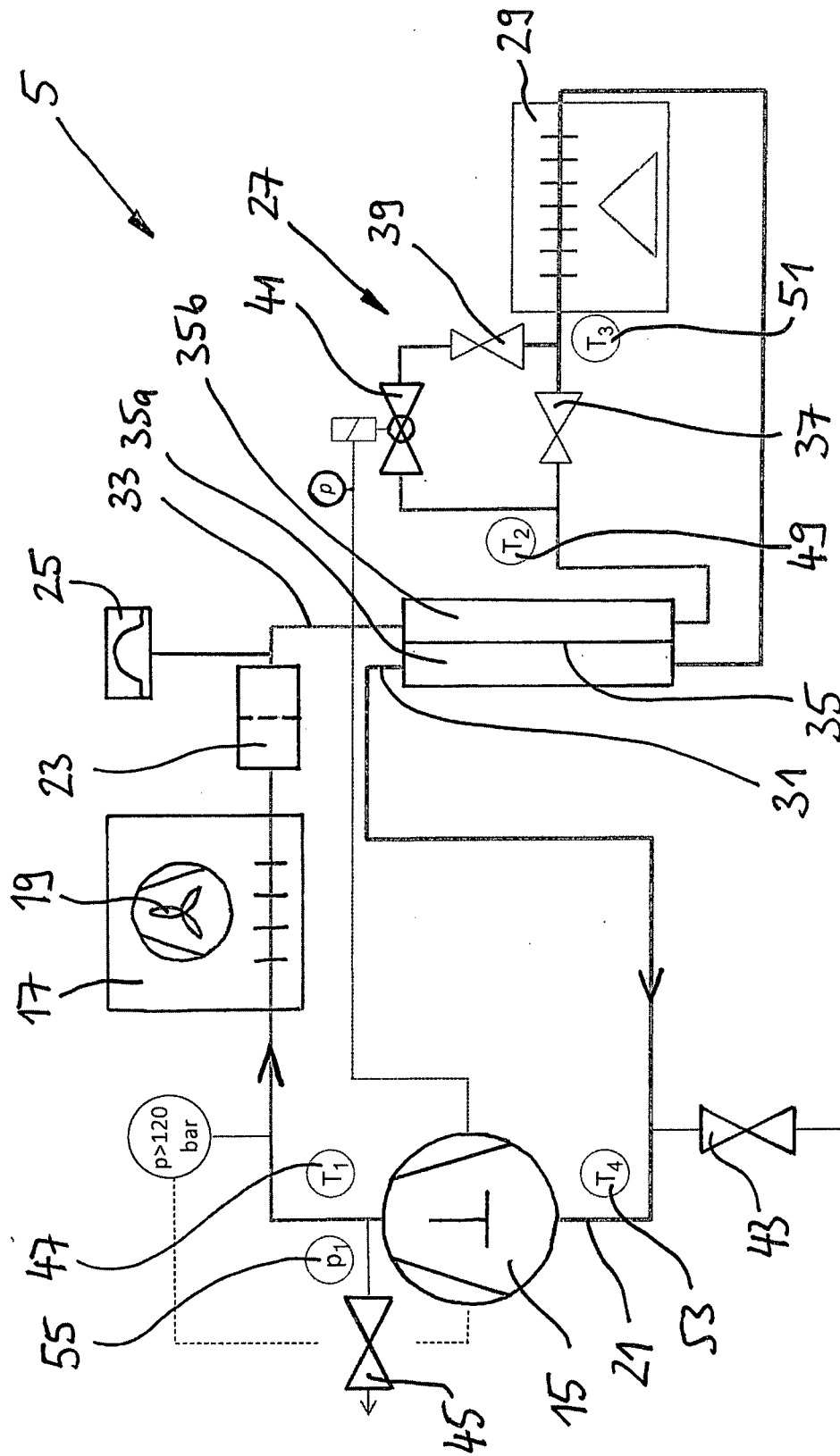


Fig. 2



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 14 00 3658

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 10 2012 002593 A1 (EPPENDORF AG [DE]) 14. August 2013 (2013-08-14)	1,10,13	INV. F25B9/00 B04B15/02 F25B40/00 F25B41/06 F25B49/02
Y	* Absatz [0044] - Absatz [0066] * -----	2,9	
Y	EP 1 731 857 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 13. Dezember 2006 (2006-12-13) * Absätze [0032], [0078] * -----	2	
Y	US 2007/204635 A1 (TANAKA KOUSUKE [JP] ET AL) 6. September 2007 (2007-09-06) * Absatz [0065] - Absatz [0122]; Abbildungen 1-9 * * Absätze [0070], [0071], [0072], [0095] * -----	9	
A	DE 10 2006 054828 A1 (DENSO CORP [JP]) 31. Mai 2007 (2007-05-31) * Absatz [0031] - Absatz [0107]; Anspruch 1; Abbildungen 1-6 * -----	9	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F25B B04B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 3. September 2015	Prüfer Szilagy, Barnabas
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)



Nummer der Anmeldung

EP 14 00 3658

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

GEBÜHRENPFLICHTIGE PATENTANSPRÜCHE

Die vorliegende europäische Patentanmeldung enthielt bei ihrer Einreichung Patentansprüche, für die eine Zahlung fällig war.

☐ Nur ein Teil der Anspruchsgebühren wurde innerhalb der vorgeschriebenen Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für jene Patentansprüche erstellt, für die keine Zahlung fällig war, sowie für die Patentansprüche, für die Anspruchsgebühren entrichtet wurden, nämlich Patentansprüche:

☐ Keine der Anspruchsgebühren wurde innerhalb der vorgeschriebenen Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für die Patentansprüche erstellt, für die keine Zahlung fällig war.

MANGELNDE EINHEITLICHKEIT DER ERFINDUNG

Nach Auffassung der Recherchenabteilung entspricht die vorliegende europäische Patentanmeldung nicht den Anforderungen an die Einheitlichkeit der Erfindung und enthält mehrere Erfindungen oder Gruppen von Erfindungen, nämlich:

Siehe Ergänzungsblatt B

☐ Alle weiteren Recherchegebühren wurden innerhalb der gesetzten Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.

☐ Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der eine zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Recherchenabteilung nicht zur Zahlung einer solchen Gebühr aufgefordert.

☒ Nur ein Teil der weiteren Recherchegebühren wurde innerhalb der gesetzten Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für die Teile der Anmeldung erstellt, die sich auf Erfindungen beziehen, für die Recherchegebühren entrichtet worden sind, nämlich Patentansprüche:

9(teilweise)

☐ Keine der weiteren Recherchegebühren wurde innerhalb der gesetzten Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für die Teile der Anmeldung erstellt, die sich auf die zuerst in den Patentansprüchen erwähnte Erfindung beziehen, nämlich Patentansprüche:

☐ Der vorliegende ergänzende europäische Recherchenbericht wurde für die Teile der Anmeldung erstellt, die sich auf die zuerst in den Patentansprüchen erwähnte Erfindung beziehen (Regel 164 (1) EPÜ).



**MANGELNDE EINHEITLICHKEIT
DER ERFINDUNG
ERGÄNZUNGSBLATT B**

Nummer der Anmeldung

EP 14 00 3658

Nach Auffassung der Recherchenabteilung entspricht die vorliegende europäische Patentanmeldung nicht den Anforderungen an die Einheitlichkeit der Erfindung und enthält mehrere Erfindungen oder Gruppen von Erfindungen, nämlich:

1. Ansprüche: 2(vollständig); 1, 10, 13(teilweise)

Zentrifuge wobei das Kältemittel zumindest einen Stoff aus der Gruppe Propan, Propen, Butan und Isobutan umfasst.

2. Ansprüche: 3, 4(vollständig); 1(teilweise)

Zentrifuge wobei der Kompressorkühlkreislauf ein vor dem Verdampfer angeordnetes Einspritzsystem aufweist mit einem Einspritzmittel das bevorzugt ein parallel geschaltetes erstes und ein zweites Kapillarrohr ausgebildet ist, wobei das zweite Kapillarrohr insbesondere zu- und abschaltbar ausgebildet ist.

3. Ansprüche: 5, 6(vollständig); 1(teilweise)

Zentrifuge wobei ein interner Wärmeübertrager im Kompressorkühlkreislauf angeordnet ist, der eine Wärmeübertragung zwischen zwei Bereichen der Kältemittelleitung gestattet, wobei bevorzugt ein erster Bereich der Kältemittelleitung zwischen Verdampfer und Verdichter und ein zweiter Bereich der Kältemittelleitung zwischen externem Wärmeübertrager und Einspritzorgan liegt, wobei insbesondere vorgesehen ist, dass der interne Wärmeübertrager als zwei ineinander geführte Rohrabschnitte ausgebildet ist

4. Ansprüche: 7(vollständig); 1(teilweise)

Zentrifuge wobei vor dem Verdampfer ein Ausdehnungsgefäß oder Kältemittelsammler angeordnet ist, dessen Zuleitung insbesondere absperrrbar ausgebildet ist und/oder dass vor dem Verdampfer (29) und nach dem externen Wärmeübertrager ein Sicherheitsorgan, bevorzugt in Form eines Sicherheitsventils angeordnet ist.

5. Ansprüche: 8(vollständig); 1(teilweise)

Zentrifuge wobei ein Bypass besteht, der Kühlmittel nach dem Verdichter und vor dem externen Wärmeübertrager abzieht und dem Verdampfer zuführt.

6. Ansprüche: 1, 9-11(alle teilweise)

Zentrifuge wobei Mittel vorgesehen sind, die Kältemittelmenge in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur



**MANGELNDE EINHEITLICHKEIT
DER ERFINDUNG
ERGÄNZUNGSBLATT B**

Nummer der Anmeldung

EP 14 00 3658

Nach Auffassung der Recherchenabteilung entspricht die vorliegende europäische Patentanmeldung nicht den Anforderungen an die Einheitlichkeit der Erfindung und enthält mehrere Erfindungen oder Gruppen von Erfindungen, nämlich:

zu steuern.

7. Ansprüche: 1, 9-11(alle teilweise)

Zentrifuge wobei Mittel vorgesehen sind, die Kältemittelmenge in Abhängigkeit von der gewünschten Kühltemperatur zu steuern.

8. Ansprüche: 1, 9-11(alle teilweise)

Zentrifuge wobei Mittel vorgesehen sind, die Kältemittelmenge in Abhängigkeit von dem Druck im Kompressorkühlkreislauf zu steuern.

9. Ansprüche: 14(vollständig); 1, 9, 10, 13(teilweise)

Zentrifuge wobei Mittel vorgesehen sind das Einspritzsystem in Abhängigkeit vom Druck im Verdichter zu steuern.

10. Ansprüche: 15(vollständig); 1, 9, 10(teilweise)

Zentrifuge wobei Mittel vorgesehen sind, die Länge zumindest eines Kapillarrohres in Abhängigkeit von der Einspritztemperatur anzupassen

11. Ansprüche: 1, 9(alle teilweise)

Zentrifuge wobei Mittel vorgesehen sind, die Länge zumindest eines Kapillarrohres in Abhängigkeit von der Kältemittelmenge anzupassen

12. Ansprüche: 1, 9(alle teilweise)

Zentrifuge wobei Mittel vorgesehen sind die Länge zumindest eines Kapillarrohres in Abhängigkeit von dem Verdichterdruck anzupassen

13. Ansprüche: 12(vollständig); 1, 9, 10(teilweise)

Zentrifuge wobei Mittel vorgesehen sind, den Verdichterdruck in Abhängigkeit von zumindest einer der Temperaturen des externen Wärmeübertragers und Umgebungstemperatur anzupassen.



**MANGELNDE EINHEITLICHKEIT
DER ERFINDUNG
ERGÄNZUNGSBLATT B**

Nummer der Anmeldung

EP 14 00 3658

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Nach Auffassung der Recherchenabteilung entspricht die vorliegende europäische Patentanmeldung nicht den Anforderungen an die Einheitlichkeit der Erfindung und enthält mehrere Erfindungen oder Gruppen von Erfindungen, nämlich:

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

EP 14 00 3658

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

03-09-2015

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102012002593 A1	14-08-2013	CN 104203422 A	10-12-2014
		DE 102012002593 A1	14-08-2013
		EP 2814617 A2	24-12-2014
		JP 2015513447 A	14-05-2015
		US 2015080202 A1	19-03-2015
		WO 2013120604 A2	22-08-2013

EP 1731857 A1	13-12-2006	CN 1906453 A	31-01-2007
		EP 1731857 A1	13-12-2006
		JP 4396286 B2	13-01-2010
		JP 2005207644 A	04-08-2005
		US 2007156373 A1	05-07-2007
		WO 2005071332 A1	04-08-2005

US 2007204635 A1	06-09-2007	CN 1926392 A	07-03-2007
		EP 1852664 A1	07-11-2007
		ES 2510665 T3	21-10-2014
		JP 4503646 B2	14-07-2010
		US 2007204635 A1	06-09-2007
		WO 2006090451 A1	31-08-2006

DE 102006054828 A1	31-05-2007	DE 102006054828 A1	31-05-2007
		JP 5011713 B2	29-08-2012
		JP 2007139393 A	07-06-2007
		SE 0602460 A	23-05-2007

EPO FORM P0461

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