

(19)



(11)

**EP 3 816 543 A1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**05.05.2021 Patentblatt 2021/18**

(51) Int Cl.:  
**F25B 40/06<sup>(2006.01)</sup> F25B 49/02<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **20200553.4**

(22) Anmeldetag: **07.10.2020**

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

(71) Anmelder: **LAMBDA Wärmepumpen GmbH**  
**6364 Brixen im Thale (AT)**

(72) Erfinder:

- **ENTLEITNER, Florian**  
**6363 Westendorf (AT)**
- **FUCHS, Florian**  
**6252 Breitenbach am Inn (AT)**

(30) Priorität: **30.10.2019 AT 509312019**

(74) Vertreter: **Torggler & Hofinger Patentanwälte**  
**Postfach 85**  
**6010 Innsbruck (AT)**

### (54) VERFAHREN ZUR REGELUNG EINES EXPANSIONSVENTILS

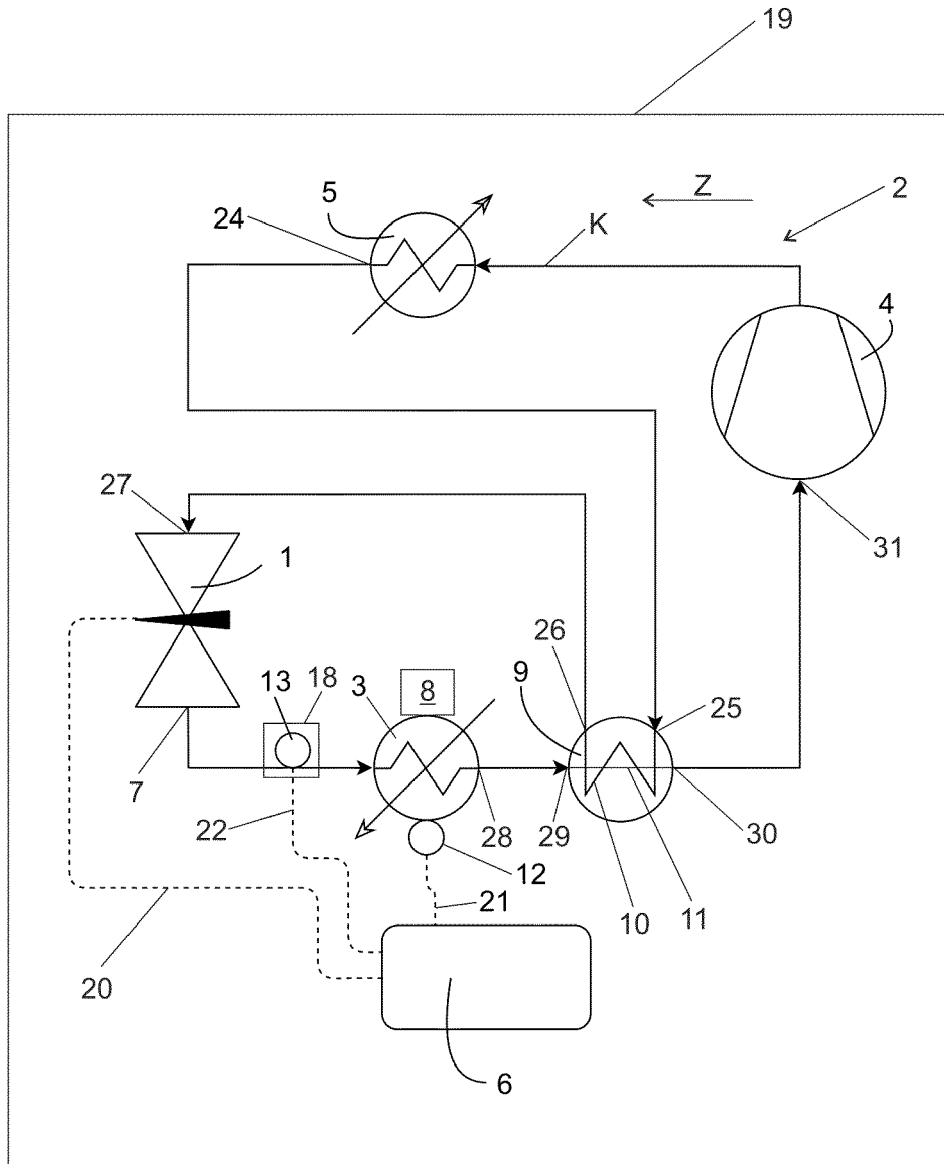
(57) Verfahren zur Regelung eines Expansionsventils (1) eines Kältemittelkreislaufes (2) umfassend wenigstens einen Verdampfer (3), wenigstens einen internen Wärmetauscher (9), wenigstens einen Verdichter (4), wenigstens einen Kondensator (5), das Expansionsventil (1) und eine mit dem Expansionsventil (1) signalleitend verbundene Regelvorrichtung (6) zur Regelung des Expansionsventils (1), wobei eine erste Fluidleitung (10) des wenigstens einen internen Wärmetauschers (9) zwischen dem wenigstens einen Kondensator (5) und dem Expansionsventil (1) angeordnet ist und eine zweite Fluidleitung (11) des wenigstens einen internen Wärmetauschers (9) zwischen dem wenigstens einen Verdampfer (3) und dem wenigstens einen Verdichter (4) angeordnet ist, wobei im Kältemittelkreislauf (2) ein Kältemittel (K) zirkuliert, wobei das Kältemittel (K) in einer Zirkulationsrichtung (Z) des Kältemittelkreislaufes (2) ausgehend von einem Ventilausgang (7) des Expansionsventils (1) den wenigstens einen Verdampfer (3), die zweite Fluidleitung (11) des wenigstens einen internen Wärmetauschers (9), den wenigstens einen Verdichter (4), den wenigstens einen Kondensator (5), die erste Fluidleitung (10) des wenigstens einen internen Wärmetauschers (9) und das Expansionsventil (1) durchströmt, wobei das Kältemittel (K) im wenigstens einen Verdampfer (3) durch Wärmeeintrag an das Kältemittel (K) durch eine auf den wenigstens einen Verdampfer (3) einwirkende Wärmequelle (8) zumindest teilweise verdampft wird, wobei das durch die erste Fluidleitung (10) strömende Kältemittel (K) Wärme an das durch die zweite Fluidleitung (11) strömende Kältemittel (K) abgibt und somit die Enthalpie des Kältemittels (K) vor Eintritt in den wenigstens einen Ver-

dichter (4) erhöht wird, wobei das Expansionsventil (1) in Abhängigkeit einer Temperaturdifferenz zwischen einer Wärmequellentemperatur der Wärmequelle (8) und der Verdampfungstemperatur des Kältemittels (K), welche im Bereich zwischen Ventilausgang (7) des Expansionsventils (1) und Verdichtereingang (31) des wenigstens einen Verdichters (4) vorherrscht, geregelt wird, wobei die auf den wenigstens einen Verdampfer (3) einwirkende Wärmequellentemperatur der Wärmequelle (8) und die Verdampfungstemperatur des Kältemittels (K) im Bereich zwischen Ventilausgang (7) und Verdichtereingang (31) ermittelt werden, wobei aus der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequellentemperatur und Verdampfungstemperatur eine Ist-Wärmequellengrädung (IW) ermittelt wird, wobei die Ist-Wärmequellengrädung (IW) durch Regelung einer Öffnungsweite des Expansionsventils (1) einer vorgegebenen oder vorgebbaren Soll-Wärmequellengrädung (SW) nachgeführt wird, wobei die Soll-Wärmequellengrädung (SW) fortlaufend angepasst wird, wobei die Regelvorrichtung (6) eine weitere Regeleinrichtung zur Verhinderung des Eintritts von flüssigem Kältemittel (K) in den wenigstens einen Verdichter (4) umfasst, wobei aus wenigstens einer gemessenen oder ermittelten Temperatur des Kältemittels (K) im Kältemittelkreislauf (2) und/oder wenigstens einem gemessenen oder ermittelten Druck des Kältemittels (K) im Kältemittelkreislauf (2) ein den Überhitzungszustand des Kältemittels (K) vor oder nach dem wenigstens einen Verdichter (4) charakterisierender Regelungs-Istwert ermittelt wird und der Regelungs-Istwert durch Regelung der Soll-Wärmequellengrädung (SW) einem vorgegebenen oder vorgebbaren Regelungs-Soll-

**EP 3 816 543 A1**

wert nachgeführt wird.

Fig. 5



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines Expansionsventils eines Kältemittelkreislaufes mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1, einen Kältemittelkreislauf mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 10 und eine Vorrichtung mit wenigstens einem solchen Kältemittelkreislauf.

**[0002]** Im Stand der Technik bekannte Kältemittelkreisläufe, beispielsweise für Wärmepumpen, Kälteanlagen oder Klimageräte, umfassen einen Verdampfer, einen Verdichter, einen Kondensator, ein Expansionsventil und eine mit dem Expansionsventil signalleitend verbundene Regelvorrichtung zur Regelung des Expansionsventils. Verdampfer, Verdichter, Kondensator und Expansionsventil sind in einer Zirkulationsrichtung des Kältemittelkreislaufes hintereinander in Serie angeordnet und werden von einem Kältemittel durchströmt, das im geschlossenen Kältemittelkreislauf zirkuliert. Eine Wärmequelle wirkt in bekannter Weise auf den Verdampfer ein und bewirkt im Verdampfer einen Wärmeeintrag auf das Kältemittel und führt somit zu einer Enthalpieerhöhung des Kältemittels, sodass es im Verdampfer zu einem Verdampfen des Kältemittels kommt. Bei der Wärmequelle kann es sich dabei um die Umgebung des Verdampfers handeln, deren Umgebungsluft den Verdampfer umgibt oder dem Verdampfer zugeführt wird (z.B. bei einer Luftwärmepumpe). Ein weiteres Beispiel einer Wärmequelle ist Wasser oder ein anderes Fluid, das dem Verdampfer in an sich bekannter Weise über einen eigenen Wärmemittelkreislauf, der hydraulisch vom Kältemittelkreislauf entkoppelt und damit stofflich von diesem getrennt ist, zugeführt wird, um das Kältemittel des Kältemittelkreislaufes im Verdampfer zu erhitzen. Mit anderen Worten ist die Wärmequelle mit dem Verdampfer thermisch verbunden und im Verdampfer wird dem Kältemittel Wärme von der mit dem Verdampfer thermisch verbundenen Wärmequelle (bzw. deren Wärmequellenmedium, z.B. Luft oder Wasser) zugeführt und das Kältemittel verdampft unter Wärmeaufnahme. Im in Zirkulationsrichtung sich anschließenden Verdichter (häufig auch als Kompressor bezeichnet) wird das verdampfte (also gasförmig vorliegende) Kältemittel verdichtet, wodurch das Kältemittel auf ein höheres Druck- und Temperaturniveau gehoben wird. Das gasförmige Kältemittel wird dann mit entsprechend erhöhtem Druck und entsprechend erhöhter Temperatur in Richtung Kondensator weitergeleitet. Im Kondensator (häufig auch als Verflüssiger bezeichnet) wird das gasförmige, überhitzte Kältemittel auf eine Temperatur, bei der es zum Verflüssigen des Kältemittels kommt, gekühlt und dadurch unter Wärmeabgabe verflüssigt. Beim weiteren Fluss durch den Kältemittelkreislauf passiert das verflüssigte Kältemittel das Expansionsventil, welches eine Engstelle im Kältemittelkreislauf darstellt. Mit dem Passieren dieser Engstelle in Form des Expansionsventils erfolgt ein rapider Druckabfall im Kältemittel, da sich das Kältemittel nach Durchtritt durch das Expansionsventil entspannen

kann. Mit dem Druckabfall geht auch eine Abkühlung des Kältemittels einher, welches nach dem Expansionsventil wieder dem Verdampfer zugeführt wird und der beschriebene Kreislauf mit zumindest teilweiser Verdampfung des Kältemittels im Verdampfer erneut startet.

**[0003]** Während des Verdampfungsprozesses nimmt das Kältemittel, welches zuvor durch das Expansionsventil auf ein geringes Druckniveau gebracht wurde, Wärme von der Wärmequelle (z.B. Umgebung) auf. Das Kältemittel wird dabei (meist vollständig) verdampft und um 5 bis 15 K (Grad Kelvin) "überhitzt". Diese sogenannte Sauggasüberhitzung (also die Erhöhung der Gastemperatur des verdampften Kältemittels über Sättigungstemperatur) wird benötigt, um den Verdichter vor Flüssigkeitsschlägen und schmiermittelverdünnenden Aerosolen zu schützen. Die Sauggasüberhitzung ist also die Temperaturdifferenz zwischen der Gastemperatur des verdampften Kältemittels bei Eintritt in den Verdichter (sog. Sauggastemperatur) und der Verdampfungstemperatur. Die Verdampfungstemperatur ist jene Temperatur bei der das Kältemittel sowohl als Flüssigkeit als auch als Gas vorliegen kann und ist vom vorherrschenden Druck abhängig. Die Verdampfungstemperatur kann aus dem Druck an einer Stelle zwischen dem Ventilausgang des Expansionsventils und dem Verdichtereingang des Verdichters berechnet werden, oder alternativ als Temperatur nach dem Expansionsventil gemessen werden.

**[0004]** In den meisten herkömmlichen Wärmepumpen- und Kältetechnik-Systemen - vor allem in kleinen und mittleren Systemen - werden sogenannte trockene Verdampfungsprozesse verwendet (einfache Trockenverdampfung).

**[0005]** Das Kältemittel wird dabei kontinuierlich im Expansionsventil entspannt, wodurch es teilweise verdampft. Das Flüssig-Gas-Gemisch durchströmt anschließend den Verdampfer, in welchem dem Kältemittel Wärme von der auf den Verdampfer einwirkenden Wärmequelle (oder deren Wärmequellenmedium) zugeführt wird. Dabei verdampft das Kältemittel zunächst im Wesentlichen vollständig bei konstantem Druck. Nach Erreichen der Taulinie des Kältemittels wird das gasförmige Kältemittel weiter ca. 5 bis 15 K über Siedetemperatur erwärmt (Sauggasüberhitzung, damit der anschließende Verdichter keine Schäden durch Flüssigkeitseintrag erleidet).

**[0006]** Bei herkömmlichen Verfahren zur Regelung des Expansionsventils regelt das Expansionsventil den Kältemittelmassenstrom und den Druck, sodass das Kältemittel am Verdichtereintritt jederzeit eine bestimmte Sauggasüberhitzung besitzt. Eine zu geringe oder keine Sauggasüberhitzung kann Schäden beim Verdichter verursachen. In dem Fall muss der Verdampfungsdruck reduziert (d.h. das Expansionsventil geschlossen) werden. Eine zu hohe Sauggasüberhitzung wirkt sich hingegen schlecht auf die Kältekreiseffizienz aus, da der Verdampfungsdruck geringer als notwendig ist. Mithilfe von elektronischen oder thermischen Expansionsventilen wird

bei bekannten Regelverfahren auf eine festeingestellte Sauggasüberhitzung (z.B. 5 K) geregelt. Als Regelgröße dient also die Differenz zwischen Sauggastemperatur (Gastemperatur des verdampften Kältemittels bei Eintritt in den Verdichter) und Verdampfungstemperatur.

**[0007]** Es sind auch Kältemittelkreisläufe mit sogenanntem internen Wärmetauscher oder Sauggaswärmetauscher bekannt, die ebenfalls mit trockener Verdampfung betrieben werden. Eine erste Fluidleitung des internen Wärmetauschers ist zwischen dem Kondensator und dem Expansionsventil angeordnet (verbindet also den Kondensatorausgang mit dem Ventileingang des Expansionsventils) und eine zweite Fluidleitung des internen Wärmetauschers ist zwischen dem Verdampfer und dem Verdichter angeordnet (verbindet also den Verdampferausgang mit dem Verdichtereingang). Das durch die erste Fluidleitung strömende Kältemittel gibt Wärme an das durch die zweite Fluidleitung strömende Kältemittel ab und erhitzt somit das Kältemittel vor Eintritt in den Verdichter.

**[0008]** Das aus dem Kondensator austretende flüssige Kältemittel auf hohem Temperaturniveau wird über den internen Wärmetauscher geführt (in dessen erster Fluidleitung) und dabei einige Kelvin abgekühlt. Diese Wärme wird genutzt um das bereits vollständig verdampfte und leicht überhitzte Kältemittel aus dem Verdampfer weiter zu erwärmen, indem es durch die zweite Fluidleitung des internen Wärmetauschers geführt wird. Damit kann der Verdampfungsprozess mit geringeren Überhitzungen (< 5 K) betrieben werden, ohne dass der Verdichter davon Schaden nimmt. Die Regelung des Expansionsventiles entspricht jener der oben beschriebenen einfachen Trockenverdampfung. Die Öffnungsweite des Expansionsventils wird wiederum geregelt, um eine bestimmte Sauggasüberhitzung (Differenz von Sauggastemperatur zwischen Verdampfer und internem Wärmetauscher und Verdampfungstemperatur) zu halten.

**[0009]** Nachteilig an dem bekannten Konzept ist, dass trotzdem eine (wenn auch geringere) Sauggasüberhitzung im Verdampfer nötig ist. Somit können nur geringe Energiemengen im internen Wärmetauscher übertragen werden. Außerdem kann die Sauggastemperatur vor dem Verdichter nicht geregelt werden, wobei zu hohe Sauggastemperaturen am Verdichtereintritt zu Beschädigungen und zu einem Überhitzen des Verdichters führen können. Zudem sind die Temperaturänderungen im internen Wärmetauscher stark von den Betriebsbedingungen abhängig (z.B. Teillastbetrieb und Druckdifferenz). Aus diesem Grund werden interne Wärmetauscher in der Praxis meist nur für geringe Temperaturerhebungen des Kältemittels verwendet und die Übertragungsfläche dementsprechend klein dimensioniert. Typisch sind dabei sog. Rohr-in-Rohr Wärmetauscher oder Rohrspindel in Flüssigkeitsabscheider als Kombinationsgerät.

**[0010]** Ein Kältemittelkreislauf kann auch jeweils mehr als einen Verdampfer, internen Wärmetauscher, Verdichter oder Kondensator umfassen. Im Rahmen der vor-

liegenden Offenbarung ist mit dem Begriff "wenigstens ein" im Zusammenhang mit diesen Komponenten gemeint, dass eine Instanz oder mehrere Instanzen der jeweiligen Komponente - parallel oder hintereinander angeordnet - vorhanden ist bzw. sind. Im Sinne der leichteren Lesbarkeit werden die Komponenten im Folgenden häufig im Singular bezeichnet. Auch in diesen Fällen ist gemeint, dass wenigstens eine Instanz der bezeichneten Komponente vorhanden ist und auch mehrere Instanzen - parallel oder hintereinander angeordnet - vorhanden sein können. Für den Fall, dass ein Kältemittelkreislauf mehrere Instanzen einer Komponente umfasst (zum Beispiel ein Kältemittelkreislauf mit drei Verdampfern und zwei Verdichtern), sind die Instanzen der jeweiligen Komponente in der Regel parallel angeordnet (die drei parallel angeordneten Verdampfer würden hierbei also den wenigstens einen Verdampfer darstellen und die zwei parallel angeordneten Verdichter würden hierbei den wenigstens einen Verdichter darstellen). Es kann auch Anwendungsfälle geben, in denen die Instanzen der jeweiligen Komponente hintereinander oder gemischt (einige Instanzen parallel und einige Instanzen hintereinander) angeordnet sind. Es kann auch vorgesehen sein, dass ein Kältemittelkreislauf mehr als ein Expansionsventil umfasst. So kann vorgesehen sein, dass zwei oder mehrere Expansionsventile vorhanden sind, die parallel angeordnet sind, wobei wenigstens eines davon geregelt wird. Es kann auch sein, dass alle Expansionsventile geregelt werden oder dass diese abhängig vom gewünschten Kältemittelmassenstrom gestaffelt geregelt werden. Aufgabe der Erfindung ist es, die vorbeschriebenen Nachteile zu vermeiden und ein gegenüber dem Stand der Technik verbessertes Verfahren zur Regelung eines Expansionsventils eines Kältemittelkreislaufes und einen gegenüber dem Stand der Technik verbesserten Kältemittelkreislauf anzugeben.

**[0011]** Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und durch einen Kältemittelkreislauf mit den Merkmalen des Anspruchs 10 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

**[0012]** Beim erfindungsgemäßen Verfahren ist vorgesehen, dass das Expansionsventil in Abhängigkeit einer Temperaturdifferenz zwischen einer Wärmequellentemperatur der Wärmequelle und der Verdampfungstemperatur des Kältemittels, welche im Bereich zwischen Ventilausgang des Expansionsventils und Verdichtereingang des wenigstens einen Verdichters vorherrscht, geregelt wird.

**[0013]** Im Gegensatz zu herkömmlichen Regelungsverfahren wird nicht die Sauggasüberhitzung als Regelgröße für die Regelung des Expansionsventils herangezogen, sondern als Regelgröße wird die Temperaturdifferenz zwischen einer Wärmequellentemperatur der Wärmequelle und der Verdampfungstemperatur des Kältemittels, welche im Bereich zwischen Ventilausgang des Expansionsventils und Verdichtereingang des wenigstens einen Verdichters vorherrscht, herangezogen.

Dadurch kann eine deutlich schnellere Reaktionsfähigkeit des Regelsystems gewährleistet werden.

**[0014]** Bei der Wärmequellentemperatur der Wärmequelle kann es sich um die Temperatur eines Wärmequellenmediums (z.B. Luft oder Wasser) der Wärmequelle handeln. Die Wärmequellentemperatur kann aber auch eine Temperatur sein, die abhängig von einer Temperatur der Wärmequelle (bzw. deren Wärmequellenmedium) ist. Beispielsweise kann es sich um eine Oberflächentemperatur des wenigstens einen Verdampfers handeln, die sich abhängig von der Temperatur der Wärmequelle bzw. deren Wärmequellenmedium (z.B. Umgebungsluft, die dem Verdampfer zugeführt wird oder Wasser eines Wärmemittelkreislaufs, das dem Verdampfer zugeführt wird) ändert.

**[0015]** Die Wärmequellentemperatur ist also ein Wert, der die Temperatur der Wärmequelle am Verdampfer widerspiegelt. Als Wärmequellentemperatur können z.B. die Eintritts- oder Austrittstemperaturen (z.B. wenn die Wärmequelle Wasser ist, das dem Verdampfer über einen eigenen Kreislauf zugeführt wird) oder Oberflächentemperaturen am Verdampfer (z.B. wenn die Wärmequelle Umgebungsluft ist) sowie gemittelte oder gewichtete Werte daraus verwendet werden.

**[0016]** Im Bereich zwischen Ventilausgang und Verdichtereingang weist das Kältemittel im Wesentlichen einen gleichbleibenden Druck auf, wodurch die mit dem Druck direkt zusammenhängende Verdampfungstemperatur des Kältemittels in diesem Bereich ebenfalls im Wesentlichen gleichbleibend ist.

**[0017]** Die Verdampfungstemperatur des Kältemittels kann nach Austritt des Kältemittels aus dem Ventilausgang des Expansionsventils gemessen oder aus einem Druck des Kältemittels an einer Stelle zwischen Ventilausgang und Verdichtereingang, unter Zuhilfenahme der Dampfdruckkurve (auch Siedekurve genannt) berechnet werden.

**[0018]** Es ist unerheblich, wie viele Verdichter verwendet werden und wie diese betrieben werden (z.B. elektrisch oder thermisch). Ebenso kann der oder können die Verdichter über verschiedene Leistungsstufen oder über leistungsvariable Ansteuerung verfügen.

**[0019]** Zudem ist das vorgeschlagene Regelkonzept unabhängig von der verwendeten Wärmequelle (die auf den Verdampfer einwirkt) oder Wärmesenke (die dem Kältemittel im oder am Kondensator Wärme entzieht) und der Kältemittelkreislauf kann auch weitere Bauteile und Komponenten beinhalten, die keinen wesentlichen Einfluss auf die Funktionsweise der Regelstrategie besitzen. Beispiele hierfür sind Schaugläser, Sammler, Filter, Rückschlagventile, zusätzliche Expansionsventile, zusätzliche Unterkühler, Zwischendampfeinspritzsysteme oder Bauteile, die eine Umschaltung auf einen reversiblen Betrieb ermöglichen.

**[0020]** Das Kältemittel kann teilverdampft, gesättigt oder überhitzt aus dem wenigstens einen Verdampfer austreten.

**[0021]** Der Kältemittelkreislauf umfasst wenigstens ei-

nen internen Wärmetauscher. Dieser Wärmetauscher wird häufig auch als Sauggaswärmetauscher bezeichnet.

**[0022]** Ein Kondensatorausgang des wenigstens einen Kondensators ist mit einem ersten internen Wärmetauschereingang des wenigstens einen internen Wärmetauschers verbunden und ein erster interner Wärmetauscherausgang des wenigstens einen internen Wärmetauschers ist mit einem Ventileingang des Expansionsventils verbunden. Zwischen erstem internen Wärmetauschereingang und erstem internen Wärmetauscherausgang verläuft die erste Fluidleitung. Ein Verdampferausgang des wenigstens einen Verdampfers ist mit einem zweiten internen Wärmetauschereingang des wenigstens einen internen Wärmetauschers verbunden und ein zweiter interner Wärmetauscherausgang des wenigstens einen internen Wärmetauschers ist mit einem Verdichtereingang des wenigstens einen Verdichters verbunden. Zwischen zweitem internen Wärmetauschereingang und zweitem internen Wärmetauscherausgang verläuft die zweite Fluidleitung. Die zweite Fluidleitung ist stofflich von der ersten Fluidleitung getrennt, jedoch thermisch mit der ersten Fluidleitung gekoppelt bzw. verbunden, sodass in an sich bekannter Weise Wärme vom durch die erste Fluidleitung strömenden Kältemittel an das durch die zweite Fluidleitung strömende Kältemittel abgegeben werden kann.

**[0023]** Der wenigstens eine interne Wärmetauscher kann als Rohr-in-Rohr Wärmetauscher, als Plattenwärmetauscher, als Rohrbündelwärmetauscher oder ähnliches ausgebildet sein.

**[0024]** Bei Vorhandensein eines internen Wärmetauschers strömt das Kältemittel folgendermaßen durch den Kältemittelkreislauf: ausgehend vom Ventilausgang des Expansionsventils wird das Kältemittel in den Verdampfer eingebracht, in welchem es aufgrund von Wärmeeinwirkung durch die mit dem Verdampfer thermisch verbundene bzw. auf den Verdampfer einwirkende Wärmequelle vollständig oder teilweise verdampft wird. Nach Austritt aus dem Verdampfer strömt das Kältemittel durch die zweite Fluidleitung des internen Wärmetauschers, in der das Kältemittel weiter vollständig verdampft und erhitzt wird. Nach Austritt aus dem internen Wärmetauscher bzw. dessen zweiter Fluidleitung strömt das Kältemittel in den Verdichter, in welchem es komprimiert und weiter erhitzt wird. Nach Austritt aus dem Verdichter strömt das Kältemittel durch den Kondensator, in welchem es unter Wärmeabgabe verflüssigt. Nach Austritt aus dem Kondensator strömt das Kältemittel vollständig oder im Teilstrom durch die erste Fluidleitung des internen Wärmetauschers und sorgt dabei im internen Wärmetauscher für eine Erwärmung des durch die zweite Fluidleitung strömenden Kältemittels. Nach Austritt aus dem internen Wärmetauscher bzw. dessen erster Fluidleitung strömt das Kältemittel zu einem Ventileingang des Expansionsventils und nach Austritt des Kältemittels aus dem Ventilausgang des Expansionsventils beginnt der Kreislauf erneut.

**[0025]** Die Verdampfung des Kältemittels in einem Rohr (z.B. eines als Rohrverdampfer ausgebildeten Verdampfers) durchläuft mehrere Phasen, wobei sich die Rohrwandtemperatur indirekt proportional zum Wärmeübergangskoeffizienten verhält. Ausgehend von einem vollständig flüssigen Kältemittel erfolgt zunächst ein sogenanntes Blasensieden und danach eine Filmverdampfung. Während des Blasensiedens und der Filmverdampfung ist der Wärmeübergangskoeffizient im Allgemeinen sehr hoch. Das ändert sich jedoch mit dem Erreichen des sogenannten Dryout-Punktes (auch Siedekrise genannt). Dabei reißt der Flüssigkeitsfilm an der Rohrwand ab und der Wärmeübergang ist im Wesentlichen nur mehr durch konvektiven Gastransport gegeben. Einzelne Flüssigtropfen liegen als Aerosol in der Kältemittel-Strömung vor. Sobald diese vollständig verdampft sind, beginnt die Überhitzungsphase. In dieser Phase erwärmt sich die Kältemittel-Strömung, wodurch zusätzlich die treibende Kraft des Wärmetransports (die Temperaturdifferenz) verringert wird. Die Lage des Dryout-Punktes ist dabei von der Strömungsgeschwindigkeit, Geometrie/Ausrichtung und Wärmestromdichte abhängig, liegt allerdings in der Regel zwischen ca. 70 % und 90 % Gas-Massenanteil.

**[0026]** Nach dem Dryout-Punkt (in Richtung einer weiteren Verdampfung) reduziert sich der Wärmeübergangskoeffizient um ein bis zwei Größenordnungen im Vergleich zur Filmverdampfung. Die Limitierung des Wärmeübergangskoeffizienten führt dazu, dass ein Großteil der Wärmetauscherfläche des Verdampfers für die vollständige Verdampfung nach dem Dryout-Punkt und vor allem für die Überhitzung des Kältemittels notwendig ist. Diese beiden Prozessschritte tragen allerdings nur zu einem Bruchteil am Gesamtenergieeintrag bei. Etwa 80 % bis 90 % der Wärme wird im Bereich des Blasensiedens und der Filmverdampfung auf das Kältemittel übertragen. Im Gegensatz dazu werden nur etwa 5 % bis 15 % der Wärme während der Aerosolverdampfung und weniger als 5 % der Wärme durch die Sauggasüberhitzung übertragen. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass ein Großteil der Energie mit einem Bruchteil der Wärmetauscherfläche des Verdampfers oder alternativ mit einer deutlich höheren Verdampfungstemperatur (Effizienzsteigerung) übertragen werden kann. Der Wärmeübergang im Verdampfer hat also wesentlichen Einfluss auf die Effizienz des Kältekreis-Prozesses. Wird der Verdampfungsprozess mit Gasanteilen unterhalb des Dryout-Punktes betrieben (ca. 70 % bis 90 % Gas-Massenanteil), kann der Wärmeübergang stark verbessert werden.

**[0027]** Das vorgeschlagene Verfahren zur Regelung des Expansionsventils ermöglicht eine optimale Ausnutzung des internen Wärmetauschers, wobei gleichzeitig das Regelsystem stabil gehalten werden kann. Dabei ist es möglich, den Flüssigkeitsgehalt des Kältemittels im Verdampfer zu erhöhen und den Dryout-Punkt vom Verdampfer in den internen Wärmetauscher zu verschieben. Dabei wird der Überhitzungsvorgang vollständig und Tei-

le des Verdampfungsprozesses in den internen Wärmetauscher verlagert. Dadurch kann die gesamte Wärmetauscherfläche des Verdampfers für den Verdampfungsprozess genutzt werden, was zu einem Anstieg der Verdampfungstemperatur (und somit zu einer Effizienzsteigerung) führt. Der interne Wärmetauscher kann nicht nur eine Temperaturerhöhung des Sauggases (das gasförmige Kältemittel bei Eintritt in den Verdichter) bewirken, sondern auch eine Verdampfung des Nassdampfes nach dem eigentlichen Verdampfer ermöglichen. Somit wird der Wärmeübergang im Verdampfer verbessert, wodurch die Effizienz des Systems stark erhöht wird.

**[0028]** Vorzugsweise kann vorgesehen sein, dass der Kältemittelkreislauf einen ersten Temperatursensor umfasst, wobei der erste Temperatursensor vorzugsweise in einem Wärmequellenmedium der Wärmequelle oder an dem wenigstens einen Verdampfer angeordnet ist, wobei der erste Temperatursensor die Wärmequellen-temperatur misst und der Regelvorrichtung meldet. Der erste Temperatursensor kann beispielsweise am wenigstens einen Verdampfer angeordnet sein und die Temperatur der Umgebungsluft als Wärmequellenmedium messen. Es ist auch denkbar, dass der erste Temperatursensor eine Oberflächentemperatur des wenigstens einen Verdampfers misst, welche abhängig von der Temperatur des Wärmequellenmediums ist. Der erste Temperatursensor kann auch in einer Zirkulationsleitung eines Wärmemittelkreislaufs, über den z.B. Wasser oder ein Frostschutzgemisch als Wärmequellenmedium in den Verdampfer gespeist wird, angeordnet sein.

**[0029]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass der Kältemittelkreislauf einen zweiten Temperatursensor umfasst, der eine Kältemitteltemperatur des Kältemittels nach Austritt des Kältemittels aus dem Ventilausgang des Expansionsventils und vor Eintritt des Kältemittels in den wenigstens einen Verdampfer misst und der Regelvorrichtung meldet, wobei die vom zweiten Temperatursensor gemessene Kältemitteltemperatur der Verdampfungstemperatur entspricht. Im Bereich zwischen Ventilausgang und Verdichtereingang weist das Kältemittel im Wesentlichen einen gleichbleibenden Druck auf, wodurch die mit dem Druck direkt zusammenhängende Verdampfungstemperatur des Kältemittels in diesem Bereich ebenfalls im Wesentlichen gleichbleibend ist. Die Temperatur des Kältemittels am Ventilausgang des Expansionsventils spiegelt daher die Verdampfungstemperatur des Kältemittels wider. Im gesamten Bereich zwischen Ventilausgang und Eintritt in den Verdampfer weist das Kältemittel die Verdampfungstemperatur auf. Erst im Verdampfer und dem daran anschließenden internen Wärmetauscher kommt es zu einer Erhöhung der Temperatur des Kältemittels über dessen Verdampfungstemperatur. Wenn der zweite Temperatursensor also zwischen dem Ventilausgang und dem wenigstens einen Verdampfer angeordnet ist, dann kann er direkt die Verdampfungstemperatur des Kältemittels messen. Mit anderen Worten entspricht die im Bereich zwischen Ventilausgang und Eintritt in den

Verdampfer gemessene Kältemitteltemperatur der Verdampfungstemperatur des Kältemittels bei den Druckverhältnissen in diesem Bereich.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass der Kältemittelkreislauf einen Drucksensor umfasst, wobei der Drucksensor einen Kältemitteldruck des Kältemittels an einer Stelle zwischen Ventilausgang und Verdichtereingang misst und der Regelvorrichtung meldet, wobei vorzugsweise die Regelvorrichtung aus dem Kältemitteldruck die Verdampfungstemperatur ermittelt. Die Verdampfungstemperatur ist jene Temperatur, an der das Kältemittel von der flüssigen Phase in die gasförmige Phase wechselt. Die Verdampfungstemperatur ist druckabhängig und kann mittels Dampfdruckkurve (auch Siedekurve genannt) aus dem Kältemitteldruck ermittelt werden. Insbesondere bei Ermittlung der Verdampfungstemperatur aus dem Druck des Kältemittels nach dem Verdampfer ist die vorgeschlagene Regelung deutlich schneller als die herkömmliche Sauggasüberhitzungsregelung, da die Messung des Drucks im Gegensatz zur Messung der Sauggas-temperatur vor dem Verdichter keine wesentliche Totzeit aufweist.

**[0030]** Es ist vorgesehen, dass die auf den wenigstens einen Verdampfer einwirkende Wärmequellentemperatur der Wärmequelle und die Verdampfungstemperatur des Kältemittels im Bereich zwischen Ventilausgang und Verdichtereingang ermittelt werden, wobei aus der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequellentemperatur und Verdampfungstemperatur eine Ist-Wärmequellengrädung ermittelt wird, wobei die Ist-Wärmequellengrädung durch Regelung einer Öffnungsweite des Expansionsventils einer vorgegebenen oder vorgebbaren Soll-Wärmequellengrädung nachgeführt wird. Es kann auch vorgesehen sein, dass zwei oder mehrere Expansionsventile vorhanden sind, die parallel angeordnet sind, wobei wenigstens eines davon geregelt wird. Es kann auch sein, dass alle Expansionsventile geregelt werden oder dass diese abhängig vom gewünschten Kältemittelmassestrom gestaffelt geregelt werden. So kann beispielsweise bis zu einem ersten vorgegebenen oder vorgebbaren Kältemittelmassestrom nur eines der Expansionsventile geregelt werden, wobei die weiteren Expansionsventile vorerst geschlossen bleiben. Bei Erreichen des ersten vorgegebenen oder vorgebbaren Kältemittelmassestrom kann ein weiteres Expansionsventil geregelt werden, um somit den Durchsatz an Kältemittel weiter erhöhen zu können. In diesem Sinne können noch weitere Schwellwerte für den Kältemittelmassestrom vorgegeben oder vorgebbaren sein, um durch Hinzuziehung weiterer geregelter Expansionsventile eine gewünschte Staffelung des Kältemittelmassestrom zu erreichen.

Anstelle der bisher üblichen Sauggasüberhitzung wird die sogenannte Wärmequellengrädung zwischen Wärmequellentemperatur der Wärmequelle und der Verdampfungstemperatur (z.B. Verdampfer-Eintrittstemperatur des Kältemittels nach Austritt des Kältemittels aus

dem Ventilausgang des Expansionsventils oder Ermittlung über Verdampfungsdruck) als Regelgröße verwendet. Dabei wird der jeweils aktuelle Istwert der Wärmequellengrädung (Ist-Wärmequellengrädung) ermittelt und einem vorgegebenen oder vorgebbaren Sollwert (Soll-Wärmequellengrädung) nachgeführt.

**[0031]** Die Wärmequellentemperatur kann im Wärmequellenmedium oder am Verdampfer gemessen werden (z.B. eine Oberflächentemperatur des Verdampfers, eine Lufttemperatur der Umgebungsluft im Bereich des Verdampfers oder die Wassertemperatur eines dem Verdampfer in einem Wärmemittelkreislauf zugeführten Wassers bei Eintritt in den Verdampfer oder bei Austritt aus dem Verdampfer). Die Verdampfungstemperatur des Kältemittels kann beispielsweise am Verdampfereingang gemessen oder aus einem gemessenen Kältemitteldruck des Kältemittels vor Eintritt des Kältemittels in den wenigstens einen Verdichter berechnet werden.

**[0032]** Die Öffnungsweite des Expansionsventils wird fortlaufend (zeitkontinuierlich oder zeitdiskret) derart geändert, dass sich die Ist-Wärmequellengrädung der Soll-Wärmequellengrädung angleicht. Mit anderen Worten wird die Öffnungsweite des Expansionsventils geregelt, um eine vorgebbare oder vorgegebene Soll-Wärmequellengrädung zu erreichen und/oder zu halten.

**[0033]** Vorzugweise kann dabei vorgesehen sein, dass die Regelvorrichtung eine erste Regeleinrichtung umfasst, wobei die erste Regeleinrichtung auf Basis einer ersten Regelabweichung zwischen Soll-Wärmequellengrädung und Ist-Wärmequellengrädung einen Ventilstellwert ermittelt und dem Expansionsventil meldet, wobei das Expansionsventil in Abhängigkeit des Ventilstellwerts die Öffnungsweite einstellt.

**[0034]** Beim Expansionsventil kann es sich um ein thermisches Ventil oder um ein elektrisches oder elektronisches Ventil handeln, z.B. in Form eines Schrittmotorventils, das mithilfe eines Elektromagneten die Öffnungsweite ändert.

**[0035]** Die erste Regeleinrichtung kann ein PID-, PI-, PD-Regler oder ähnliches sein. Aus dem Vergleich zwischen Sollwert (Soll-Wärmequellengrädung) und Istwert (Ist-Wärmequellengrädung) wird der neue Stellwert für das Expansionsventil generiert. Die Öffnungsweite des Expansionsventils steuert die Einspritzmenge an Kältemittel in den Verdampfer und hat somit direkten Einfluss auf den Verdampfungsdruck.

**[0036]** Es ist vorgesehen, dass die Soll-Wärmequellengrädung fortlaufend angepasst wird.

**[0037]** So kann die Soll-Wärmequellengrädung fortlaufend (zeitkontinuierlich oder zeitdiskret) angepasst oder eingestellt oder vorgegeben werden, damit einerseits der Verdichter keine Flüssigkeitsschläge erleidet und andererseits hohe Sauggastemperaturen vor dem Verdichter verhindert werden.

**[0038]** Es ist vorgesehen, dass die Regelvorrichtung eine weitere Regeleinrichtung zur Verhinderung des Eintritts von flüssigem Kältemittel in den wenigstens einen Verdichter umfasst, wobei aus wenigstens einer gemess-

senen oder ermittelten Temperatur des Kältemittels im Kältemittelkreislauf und/oder wenigstens einem gemessenen oder ermittelten Druck des Kältemittels im Kältemittelkreislauf ein den Überhitzungszustand des Kältemittels vor oder nach dem wenigstens einen Verdichter charakterisierender Regelungs-Istwert ermittelt wird und der Regelungs-Istwert durch Regelung der Soll-Wärmequellengrädung einem vorgegebenen oder vorgebbaren Regelungs-Sollwert nachgeführt wird.

**[0039]** Eine Anpassung der Soll-Wärmequellengrädung kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass eine Ist-Sauggasüberhitzung des Kältemittels nach dem internen Wärmetauscher und vor Eintritt in den wenigstens einen Verdichter ermittelt wird, wobei die Soll-Wärmequellengrädung in Abhängigkeit von der Ist-Sauggasüberhitzung angepasst bzw. eingestellt bzw. vorgegeben wird. Vorzugsweise kann also vorgesehen sein, dass eine Sauggastemperatur des Kältemittels nach dem internen Wärmetauscher und vor Eintritt in den wenigstens einen Verdichter ermittelt wird, wobei aus einer Temperaturdifferenz zwischen Sauggastemperatur und Verdampfungstemperatur eine Ist-Sauggasüberhitzung ermittelt wird, wobei die Ist-Sauggasüberhitzung durch Regelung der Soll-Wärmequellengrädung einer vorgegebenen oder vorgebbaren Soll-Sauggasüberhitzung nachgeführt wird.

**[0040]** Dabei kann vorgesehen sein, dass der Kältemittelkreislauf einen dritten Temperatursensor umfasst, der die Sauggastemperatur des Kältemittels nach dem internen Wärmetauscher und vor Eintritt in den wenigstens einen Verdichter misst und der Regelvorrichtung meldet, wobei die Regelvorrichtung eine zweite Regeleinrichtung umfasst, wobei die Regelvorrichtung zur Ermittlung der Ist-Sauggasüberhitzung die Differenz zwischen der Sauggastemperatur und der Verdampfungstemperatur berechnet, wobei die zweite Regeleinrichtung auf Basis einer zweiten Regelabweichung zwischen Soll-Sauggasüberhitzung und Ist-Sauggasüberhitzung die Soll-Wärmequellengrädung vorgibt.

**[0041]** Die zweite Regeleinrichtung kann wiederum ein PID-, PI-, PD-Regler oder ähnliches sein.

**[0042]** Die Ist-Sauggasüberhitzung ist also die Differenz zwischen der Sauggastemperatur und der Verdampfungstemperatur.

**[0043]** Die Soll-Sauggasüberhitzung kann ein fest hinterlegter Wert sein (z.B. 5 K) oder variabel in Abhängigkeit der Betriebsbedingungen dynamisch vorgegeben werden (z.B. 5 K bei geringen Verdampfungstemperaturen und 10 K bei hohen Verdampfungstemperaturen).

**[0044]** Die zweite Regeleinrichtung ermittelt die Soll-Wärmequellengrädung und meldet diese an die erste Regeleinrichtung. Für die erste Regeleinrichtung ist somit die von der zweiten Regeleinrichtung gemeldete Soll-Wärmequellengrädung der Sollwert für die Regelung.

**[0045]** Mit anderen Worten kann die zweite Regeleinrichtung dafür sorgen, dass die Differenz zwischen Sauggastemperatur und Verdampfungstemperatur (Verdampfer-Eintrittstemperatur) auf den Sollwert für die

Überhitzung (Soll-Sauggasüberhitzung) geregelt wird und dadurch der Sollwert für die Wärmequellengrädung (Soll-Wärmequellengrädung) kontinuierlich oder diskontinuierlich angepasst wird.

**[0046]** Die erste Regeleinrichtung kann auch als innere Kaskade und die zweite Regeleinrichtung kann als äußere Kaskade bezeichnet werden. Grundprinzip dieser Regelkaskadierung ist die Aufteilung des Regelsystems in einen inneren, sehr schnellen und präzisen Regelkreis (erste Regeleinrichtung) und einen äußeren, trägeren Regelkreis (zweite Regeleinrichtung). Der innere Regelkreis nimmt eine Regelung des Expansionsventils durch den Vergleich der Wärmequellengrädung (Vergleich Ist-Wärmequellengrädung mit Soll-Wärmequellengrädung) vor. Der äußere Regelkreis passt den Sollwert der Wärmequellengrädung (Soll-Wärmequellengrädung) auf die vorliegenden Betriebsbedingungen durch den Abgleich des Überhitzungszustandes des Kältemittels vor dem Verdichter an. Er regelt auf den gewünschten Überhitzungszustand des Gases vor dem Verdichter (Soll-Sauggasüberhitzung) und gibt dabei dem inneren Regelkreis dynamisch den Sollwert in Form der Soll-Wärmequellengrädung vor. Im Prinzip ergibt sich dadurch ein "Herantasten" an die optimalen Betriebsbedingungen und gleichzeitig eine stabile Regelung für den inneren Regelkreis, welcher auf kurzfristige Betriebsänderungen rasch reagiert.

**[0047]** Wie oben beschrieben, können anstatt oder neben einer Sauggasüberhitzungsregelung als äußere Kaskade alternativ auch andere Konzepte, die die gleiche Aufgabe erfüllen (Verhinderung, dass flüssiges Kältemittel in den Verdichter gelangt) als Istwert verwendet werden, z.B. eine weitere Regeleinrichtung zur Regelung der Heißgasüberhitzung. Die Heißgasüberhitzung ergibt sich aus der Temperaturdifferenz zwischen Heißgastemperatur (Temperatur am Austritt des Verdichters) und der Kondensationstemperatur (Verflüssigungstemperatur des Kältemittels, welche unter anderem über den Druck, gemessen an einer Stelle zwischen Verdichter-Austritt und Expansionsventil-Eintritt, mithilfe der Dampfdruckkurve des Kältemittels berechnet werden kann). Eine hohe Heißgasüberhitzung ist gleichbedeutend mit einer hohen Sauggasüberhitzung. Die Regelung versucht eine feste oder variable Soll-Heißgasüberhitzung durch Anpassung der Ist-Heißgasüberhitzung anzugleichen. Die Soll-Heißgasüberhitzung kann dabei z.B. von der Druckdifferenz (Kondensationsdruck - Verdampfungsdruck) und der Verdichterdrehzahl abhängig gemacht werden. Ein weiteres Konzept, welches alternativ zur Sauggasüberhitzungsregelung eingesetzt werden kann, ist die Regelung des "minimal stabilsten Signals". Dabei wird nur die Sauggastemperatur (Temperatur vor Verdichter-Eintritt) gemessen. Sobald diese nicht mehr stabil gehalten werden kann, ist das minimale stabile Signal erreicht. Jede weitere Erhöhung des Kältemittelstroms durch das Expansionsventil würde zu Flüssigkeitsschlägen im Verdichter führen.

**[0048]** Die äußere Kaskade, welche für die Ermittlung

der Soll-Wärmequellengrädung verwendet wird, muss nicht notwendigerweise aus einem klassischen Regelsystem bestehen. So kann beispielsweise auch vorgesehen sein, Werte für den Überhitzungszustand des Kältemittels vor dem Verdichter (also die Ist-Sauggasüberhitzung) kontinuierlich oder diskontinuierlich zu vergleichen und aus der Abweichung die Soll-Wärmequellengrädung anzupassen.

**[0049]** Neben der Regelkaskade können optional weitere Messgrößen in das Gesamtsystem implementiert werden (durch Ergänzung der Regelvorrichtung um weitere Reglerbausteine), um beispielsweise den Einfluss von verschiedenen Störgrößen, wie z.B. Verdichterdrehzahl bzw. -leistung oder Unterkühlungstemperatur durch eine Vorsteuerungs-Regelung zu berücksichtigen. So können z.B. die Unterkühlungstemperatur (Temperatur des Kältemittels vor dem Expansionsventil), die Verdichterdrehzahl / Verdichterleistung oder die Ventilatorleistung in Form eines Vorsteuerungssystems (Feed-Forward) oder einer Vorsteuerregelung (Feed-Forward Regelung) oder eines sonstigen Standardregelverfahrens zusätzlich implementiert werden.

**[0050]** So kann beispielsweise bei Verringerung der Verdichterdrehzahl der Kältemittelmassenstrom und somit die Öffnungsweite des Expansionsventils reduziert werden. In der bereits vorgestellten Regelkaskade wird diese Betriebsänderung verzögert in einem Anstieg der Sauggastemperatur in der äußeren Kaskade bemerkbar. Um dem vorzugreifen, kann eine Änderung der Verdichterdrehzahl direkt den Sollwert der Wärmequellengrädung (Soll-Wärmequellengrädung) beeinflussen. Gleiches gilt für die Unterkühlungstemperatur und weitere Einflussfaktoren wie die Drehzahl des Wärmequellenmotors. Als Wärmequellenmotor wird jenes Gerät verstanden, welches das Wärmequellenmedium der Wärmequelle transportiert und in thermischen Kontakt mit dem Kältemittel im Verdampfer bringt (z.B. ein Ventilator beim Wärmequellenmedium Luft oder eine Pumpe beim Wärmequellenmedium Wasser).

**[0051]** Es kann also vorgesehen sein, dass die vorgegebene oder vorgebbare Soll-Wärmequellengrädung um wenigstens einen Änderungswert geändert wird, wobei der wenigstens eine Änderungswert in Abhängigkeit einer Temperatur des Kältemittels vor dem Expansionsventil und/oder einer Verdichterdrehzahl des wenigstens einen Verdichters und/oder einer Verdichterleistung des wenigstens einen Verdichters und/oder einer Wärmequellenmotordrehzahl eines Wärmequellenmotors ermittelt wird. Beim Wärmequellenmotor kann es sich generell um eine Strömungsmaschine für das Wärmequellenmedium der Wärmequelle handeln. So kann der Wärmequellenmotor beispielsweise ein Ventilator sein, der dem Verdampfer Umgebungsluft als Wärmequellenmedium zuführt. Der Wärmequellenmotor kann auch eine Pumpe sein, die dem Verdampfer Wasser oder ein Frostschutzgemisch als Wärmequellenmedium zuführt.

**[0052]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass das Kältemittel im wenig-

tens einen Verdampfer nur teilweise verdampft wird, wobei das Kältemittel im internen Wärmetauscher vollständig verdampft wird. Dabei strömt das Kältemittel, das im Verdampfer nur teilweise verdampft wird, nach Austritt aus dem Verdampfer durch die zweite Fluidleitung des internen Wärmetauschers, in der das Kältemittel weiter vollständig verdampft und erhitzt wird. Dadurch wird eine optimale Ausnutzung des internen Wärmetauschers ermöglicht, wobei gleichzeitig das Regelsystem stabil gehalten wird. Der Flüssigkeitsgehalt des Kältemittels im Verdampfer wird erhöht und der Dryout-Punkt vom Verdampfer in den internen Wärmetauscher verschoben. Es werden also Teile des Verdampfungsprozesses und der Überhitzungsvorgang vollständig in den internen Wärmetauscher verlagert. Dadurch kann die gesamte Wärmetauscherfläche des Verdampfers für den Verdampfungsprozess vor dem Dryout-Punkt genutzt werden, was zu einem Anstieg der Verdampfungstemperatur (und somit zu einer Effizienzsteigerung) führt. Der interne Wärmetauscher soll nicht nur eine Temperaturerhöhung des Sauggases bewirken, sondern auch eine Verdampfung des Nassdampfes nach dem eigentlichen Verdampfer ermöglichen. Somit wird der Wärmeübergang im Verdampfer verbessert, wodurch die Effizienz des Systems stark erhöht wird.

**[0053]** Um eine stabile unvollständige Verdampfung im Verdampfer mit anschließender Nachverdampfung und Überhitzung im internen Wärmetauscher zu gewährleisten wird der beschriebene Kältekreislauf mit internen Wärmetauschern benötigt, wobei der interne Wärmetauscher, im Gegensatz zu in der Praxis üblichen internen Wärmetauschern bzw. Sauggaswärmetauschern, auf eine vergleichsweise hohe Übertragungsleistung ausgelegt werden sollte. Bevorzugt wird dafür ein Plattenwärmetauscher verwendet. Dabei wird die beschriebene Regelstrategie benötigt, welche einen stabilen Überhitzungszustand direkt vor oder (alternativ) direkt nach dem Verdichter gewährleistet. Je geringer der Überhitzungszustand des Kältemittels, desto höher ist der Flüssigkeitsanteil des Kältemittels am Verdampferaustritt. Zudem sollte eine mechanische bzw. gravimetrische Trennung des flüssigen und gasförmigen Kältemittels in den kältemittelführenden Bauteilen zwischen Verdampfer Eintritt und internen Wärmetauscher Eintritt verhindert werden. Daraus resultiert, dass sich der Flüssigkeitsanteil des Kältemittels vor dem Eintritt des internen Wärmetauschers kontinuierlich, also nicht sprunghaft, ändert. Diese Bedingung ist für eine stabile Regelung notwendig.

**[0054]** Schutz wird auch begehrt für einen Kältemittelkreislauf mit den Merkmalen des Anspruchs 10 und eine Vorrichtung mit wenigstens einem solchen Kältemittelkreislauf. Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den davon abhängigen Ansprüchen angegeben.

**[0055]** Der Kältemittelkreislauf umfasst wenigstens einen Verdampfer, wenigstens einen internen Wärmetauscher, wenigstens einen Verdichter, wenigstens einen Kondensator, ein Expansionsventil und eine mit dem Ex-

pansionsventil signalleitend verbundene Regelvorrichtung zur Regelung des Expansionsventils, insbesondere gemäß einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei eine erste Fluidleitung des wenigstens einen internen Wärmetauschers zwischen dem wenigstens einen Kondensator und dem Expansionsventil angeordnet ist und eine zweite Fluidleitung des wenigstens einen internen Wärmetauschers zwischen dem wenigstens einen Verdampfer und dem wenigstens einen Verdichter angeordnet ist, wobei der wenigstens eine Verdampfer, die zweite Fluidleitung, der wenigstens eine Verdichter, der wenigstens eine Kondensator, die erste Fluidleitung und das Expansionsventil in einer Zirkulationsrichtung des Kältemittelkreislaufes hintereinander in Serie angeordnet und von einem Kältemittel durchströmbar sind.

**[0056]** Beim erfindungsgemäßen Kältemittelkreislauf ist vorgesehen, dass der Kältemittelkreislauf einen mit der Regelvorrichtung signalleitend verbundenen ersten Temperatursensor umfasst, wobei vom ersten Temperatursensor eine Wärmequellentemperatur einer auf den wenigstens einen Verdampfer einwirkenden Wärmequelle messbar und der Regelvorrichtung meldbar ist, wobei der erste Temperatursensor vorzugsweise in einem Wärmequellenmedium der Wärmequelle oder an dem wenigstens einen Verdampfer angeordnet ist, wobei der Kältemittelkreislauf eine mit der Regelvorrichtung signalleitend verbundene Temperaturermittlungsvorrichtung zur Ermittlung der Verdampfungstemperatur des Kältemittels, welche im Bereich zwischen Ventilausgang des Expansionsventils und Verdichtereingang des wenigstens einen Verdichters vorherrscht, umfasst, wobei die Regelvorrichtung eine Öffnungsweite des Expansionsventils in Abhängigkeit einer Temperaturdifferenz zwischen der Wärmequellentemperatur und der Verdampfungstemperatur des Kältemittels im Bereich zwischen Ventilausgang und Verdichtereingang regelt. Die Verdampfungstemperatur kann entweder über den Verdampfungsdruck an einer Stelle zwischen Ventilausgang des Expansionsventils und Verdichtereingang berechnet oder als Temperatur am Austritt des Kältemittels aus dem Ventilausgang des Expansionsventils gemessen werden.

**[0057]** Bei der auf den wenigstens einen Verdampfer einwirkenden Wärmequelle kann es sich um die Umgebung handeln, die den Verdampfer umgibt oder deren Luft dem Verdampfer zugeführt wird (z.B. bei einer Luftwärmepumpe). Ein weiteres Beispiel einer Wärmequelle ist Wasser oder ein anderes Fluid, das dem Verdampfer in an sich bekannter Weise über einen eigenen Kältemittelkreislauf, der hydraulisch vom Kältemittelkreislauf entkoppelt und damit stofflich von diesem getrennt ist, zugeführt wird, um das Kältemittel des Kältemittelkreislaufs im Verdampfer zu erhitzen. Mit anderen Worten ist die Wärmequelle mit dem Verdampfer thermisch verbunden und im Verdampfer wird dem Kältemittel Wärme von der mit dem Verdampfer thermisch verbundenen Wärmequelle zugeführt und das Kältemittel verdampft unter Wärmeaufnahme.

**[0058]** Der Kältemittelkreislauf umfasst wenigstens einen internen Wärmetauscher, wobei von dem durch die erste Fluidleitung des wenigstens einen internen Wärmetauschers strömenden Kältemittel Wärme an das durch die zweite Fluidleitung des wenigstens einen internen Wärmetauschers strömende Kältemittel abgebar ist.

**[0059]** Der wenigstens eine interne Wärmetauscher - auch als Sauggaswärmetauscher bezeichnet - kann nicht nur eine Temperaturerhöhung des Sauggases (das gasförmige Kältemittel bei Eintritt in den Verdichter) bewirken, sondern auch eine Verdampfung des Nassdampfes nach dem eigentlichen Verdampfer ermöglichen. Somit wird der Wärmeübergang im Verdampfer verbessert, wodurch die Effizienz des Systems stark erhöht wird.

**[0060]** Vorzugsweise kann vorgesehen sein, dass die Temperaturermittlungsvorrichtung einen zwischen dem Ventilausgang und dem wenigstens einen Verdampfer angeordneten zweiten Temperatursensor umfasst, wobei vom zweiten Temperatursensor die Verdampfungstemperatur messbar und der Regelvorrichtung meldbar ist. Der zweite Temperatursensor misst also eine Kältemitteltemperatur des Kältemittels nach Austritt des Kältemittels aus dem Ventilausgang des Expansionsventils und vor Eintritt des Kältemittels in den wenigstens einen Verdampfer. In diesem Bereich entspricht die gemessene Kältemitteltemperatur der Verdampfungstemperatur des Kältemittels.

**[0061]** Es kann auch vorgesehen sein, dass die Temperaturermittlungsvorrichtung einen zwischen Ventilausgang und Verdichtereingang angeordneten Drucksensor umfasst, wobei vom Drucksensor ein Kältemittelldruck des Kältemittels messbar und der Regelvorrichtung meldbar ist, wobei von der Regelvorrichtung die Verdampfungstemperatur aus dem Kältemittelldruck ermittelbar ist.

**[0062]** Es ist vorgesehen, dass die Regelvorrichtung aus der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequellentemperatur und Verdampfungstemperatur eine Ist-Wärmequellengrädung ermittelt und die Ist-Wärmequellengrädung durch Regelung der Öffnungsweite des Expansionsventils einer vorgegebenen oder vorgebbaren Soll-Wärmequellengrädung nachführt. Es ist auch vorgesehen, dass die Regelvorrichtung die Soll-Wärmequellengrädung fortlaufend anpasst. Es ist außerdem vorgesehen, dass die Regelvorrichtung eine weitere Regeleinrichtung zur Verhinderung des Eintritts von flüssigem Kältemittel in den wenigstens einen Verdichter umfasst, wobei die Regelvorrichtung aus wenigstens einer gemessenen oder ermittelten Temperatur des Kältemittels im Kältemittelkreislauf und/oder wenigstens einem gemessenen oder ermittelten Druck des Kältemittels im Kältemittelkreislauf ein den Überhitzungszustand des Kältemittels vor oder nach dem wenigstens einen Verdichter charakterisierenden Regelungs-Istwert ermittelt und den Regelungs-Istwert durch Regelung der Soll-Wärmequellengrädung einem vorgegebenen oder vorgebbaren Regelungs-Sollwert nachführt.

**[0063]** Dabei kann vorgesehen sein, dass die Regelvorrichtung eine erste Regeleinrichtung umfasst, die auf Basis einer ersten Regelabweichung zwischen Soll-Wärmequellengrädung und Ist-Wärmequellengrädung einen Ventilstellwert in Bezug auf die Öffnungsweite ermittelt und dem Expansionsventil meldet.

**[0064]** Das Expansionsventil stellt die Öffnungsweite in Abhängigkeit des Ventilstellwerts ein.

**[0065]** Beim Expansionsventil kann es sich um ein thermisches Ventil oder um ein elektrisches oder elektronisches Ventil handeln, z.B. in Form eines Schrittmotorventils, das mithilfe eines Elektromagneten die Öffnungsweite ändert.

**[0066]** Die erste Regeleinrichtung kann ein PID-, PI-, PD-Regler oder ähnliches sein.

**[0067]** Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsvariante kann vorgesehen sein, dass der Kältemittelkreislauf einen dritten Temperatursensor umfasst, wobei vom dritten Temperatursensor eine Sauggasttemperatur des Kältemittels nach dem internen Wärmetauscher und vor Eintritt in den wenigstens einen Verdichtermessbar und der Regelvorrichtung meldbar ist, wobei die Regelvorrichtung aus einer Temperaturdifferenz zwischen Sauggasttemperatur und Verdampfungstemperatur eine Ist-Sauggasüberhitzung ermittelt und die Ist-Sauggasüberhitzung durch Regelung der Soll-Wärmequellengrädung einer vorgegebenen oder vorgebbaren Soll-Sauggasüberhitzung nachführt.

**[0068]** Die Regelvorrichtung berechnet zur Ermittlung der Ist-Sauggasüberhitzung die Differenz zwischen der Sauggasttemperatur und der Verdampfungstemperatur.

**[0069]** Vorzugweise kann vorgesehen sein, dass die Regelvorrichtung eine zweite Regeleinrichtung umfasst, die auf Basis einer zweiten Regelabweichung zwischen Soll-Sauggasüberhitzung und Ist-Sauggasüberhitzung die Soll-Wärmequellengrädung ermittelt und der ersten Regeleinrichtung meldet.

**[0070]** Die zweite Regeleinrichtung kann ein PID-, PI-, PD-Regler oder ähnliches sein.

**[0071]** Bei der vorgeschlagenen Vorrichtung kann es sich beispielsweise um eine Wärmepumpe, eine Kälteanlage oder ein Klimagerät handeln.

**[0072]** Weitere Einzelheiten und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden anhand der nachfolgenden Figurenbeschreibung erläutert. Dabei zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung mit einem Kältemittelkreislauf gemäß dem Stand der Technik,

Fig. 2 einen im Kältemittelkreislauf gemäß Figur 1 durchgeführten Kreisprozess in einem Druck-Enthalpie-Diagramm,

Fig. 3 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung mit einem Kältemittelkreislauf umfassend einen internen Wärmetauscher gemäß dem Stand der Technik,

Fig. 4 einen im Kältemittelkreislauf gemäß Figur 3 durchgeführten Kreisprozess in einem Druck-

Enthalpie-Diagramm, eine schematische Darstellung einer Vorrichtung mit einem Ausführungsbeispiel eines vorgeschlagenen Kältemittelkreislaufs,

5 Fig. 6 das Regelschema für die Regelung des Expansionsventils des Kältemittelkreislaufs gemäß Figur 5,

Fig. 7 einen im Kältemittelkreislauf gemäß Figur 5 durchgeführten Kreisprozess in einem Druck-Enthalpie-Diagramm,

10 Fig. 8 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung mit einem weiteren Ausführungsbeispiel eines vorgeschlagenen Kältemittelkreislaufs,

Fig. 9 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung mit einem weiteren Ausführungsbeispiel eines vorgeschlagenen Kältemittelkreislaufs,

15 Fig. 10 das Regelschema für die Regelung des Expansionsventils des Kältemittelkreislaufs gemäß Figur 9,

20 Fig. 11 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung mit einem weiteren Ausführungsbeispiel eines vorgeschlagenen Kältemittelkreislaufs,

Fig. 12 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung mit einem weiteren Ausführungsbeispiel eines vorgeschlagenen Kältemittelkreislaufs, und

25 Fig. 13 das um weitere Reglerbausteine ergänzte Regelschema für die Regelung des Expansionsventils des Kältemittelkreislaufs gemäß Figur 12.

**[0073]** Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Vorrichtung 19 mit einem Kältemittelkreislauf 2 gemäß dem Stand der Technik und Figur 2 zeigt einen im Kältemittelkreislauf 2 durchgeführten Kreisprozess in einem Druck-Enthalpie-Diagramm bzw. Log-p-h-Diagramm.

**[0074]** Bei der Vorrichtung 19 kann es sich beispielsweise um eine Wärmepumpe, eine Kälteanlage oder ein Klimagerät handeln. Der Kältemittelkreislauf 2 umfasst einen Verdampfer 3, einen Verdichter 4, einen Kondensator 5, ein Expansionsventil 1 und eine mit dem Expansionsventil 1 über eine Signalleitung 20 signalleitend verbundene Regelvorrichtung 6 zur Regelung des Expansionsventils 1.

35 40 45 50 55  
**[0075]** Der Verdampfer 3, der Verdichter 4, der Kondensator 5 und das Expansionsventil 1 sind in einer Zirkulationsrichtung Z des Kältemittelkreislaufes 2 hintereinander in Serie angeordnet und werden von einem Kältemittel K durchströmt, das im geschlossenen Kältemittelkreislauf 2 in Zirkulationsrichtung Z zirkuliert. Eine Wärmequelle 8 wirkt in bekannter Weise auf den Verdampfer 3 ein und führt im Verdampfer 3 zu einer Enthalpieerhöhung des Kältemittels K, sodass es im Verdampfer 3 zu einem zumindest teilweisen Verdampfen des Kältemittels K kommt. Bei der Wärmequelle 8 kann es sich um Umgebungsluft handeln, die den Verdampfer 3 umgibt oder dem Verdampfer 3 zugeführt wird (z.B. bei

einer Vorrichtung in Form einer Luftwärmepumpe). Ein weiteres Beispiel einer Wärmequelle 8 ist Wasser oder ein anderes Fluid, das dem Verdampfer 3 in an sich bekannter Weise über einen eigenen Wärmemittelkreislauf, der hydraulisch vom Kältemittelkreislauf 2 entkoppelt und damit stofflich von diesem getrennt ist, zugeführt wird, um das Kältemittel K des Kältemittelkreislaufs 2 im Verdampfer 3 zu erhitzen. Mit anderen Worten ist die Wärmequelle 8 mit dem Verdampfer 3 thermisch verbunden und im Verdampfer 3 wird dem Kältemittel K Wärme von der mit dem Verdampfer 3 thermisch verbundenen Wärmequelle 8 zugeführt und das Kältemittel K verdampft unter Wärmeaufnahme. Im in Zirkulationsrichtung Z sich an den Verdampfer 3 anschließenden Verdichter 4 (häufig auch als Kompressor bezeichnet) wird das erhitze und zumindest teilweise verdampfte (also gasförmig vorliegende) Kältemittel K verdichtet, wodurch das Kältemittel K auf ein höheres Druck- und Temperaturniveau gehoben wird. Das gasförmige Kältemittel K wird dann mit entsprechend erhöhtem Druck und entsprechend erhöhter Temperatur in Richtung Kondensator 5 weitergeleitet. Im Kondensator 5 (häufig auch als Verflüssiger bezeichnet) wird das gasförmige, überhitzte Kältemittel K auf eine Temperatur, bei der es zum Verflüssigen des Kältemittels K kommt, gekühlt und dadurch unter Wärmeabgabe an eine nicht näher dargestellte Wärmesenke (z.B. Umgebungsluft oder ein an den Kondensator 5 angeschlossener Kreislauf) verflüssigt. Beim weiteren Fluss durch den Kältemittelkreislauf 2 passiert das verflüssigte Kältemittel K das Expansionsventil 1, welches eine Engstelle im Kältemittelkreislauf 2 darstellt. Mit dem Passieren dieser Engstelle in Form des Expansionsventils 1 erfolgt ein rapider Druckabfall im Kältemittel K, da sich das Kältemittel K nach Durchtritt durch das Expansionsventil 1 entspannen kann. Mit dem Druckabfall geht auch eine Abkühlung des Kältemittels K einher, welches nach dem Expansionsventil 1 wieder dem Verdampfer 3 zugeführt wird und der beschriebene Kreislauf mit zumindest teilweiser Verdampfung des Kältemittels K im Verdampfer 3 erneut startet.

**[0076]** Beim gezeigten Kreisprozess in Form eines sogenannten trockenen Verdampfungsprozesses wird das Kältemittel K kontinuierlich im Expansionsventil 1 entspannt, wodurch es teilweise verdampft. Das Kältemittel K in Form eines Flüssig-Gas Gemisches durchströmt anschließend den Verdampfer 3, wodurch die restliche Flüssigkeit zuerst vollständig verdampft und schließlich 5 bis 15 K überhitzt wird (sog. Sauggasüberhitzung), bevor das gasförmige Kältemittel K in den Verdichter 4 gelangt. Der Verdichter 4 erhöht den Druck des gasförmigen Kältemittels K. Im Kondensator 5 wird das Kältemittel K verflüssigt, indem Wärme abgeführt wird.

**[0077]** Figur 2 zeigt beispielhaft einen Kreisprozess C im Kältemittelkreislauf 2 gemäß Figur 1 im an sich bekannten Log-p-h-Diagramm. Auf der x-Achse ist die spezifische Enthalpie E (Energiegehalt des Kältemittels K) und auf der y-Achse der logarithmisch skalierte Druck P aufgetragen. Links der glockenförmigen Kurve ist das

Kältemittel K flüssig, rechts davon (also rechts der Taulinie T) vollständig gasförmig. Dazwischen steigt der Gasgehalt von links nach rechts kontinuierlich an. Der Kreisprozess C ist strichliert angedeutet und umfasst die Prozessschritte C1, C2, C3 und C4. Wird dem Verdampfer 3 Wärme zugeführt (von der auf den Verdampfer 3 einwirkenden bzw. mit dem Verdampfer 3 thermisch verbundenen Wärmequelle 8), so verdampft das Kältemittel K zunächst vollständig auf konstantem Druck im Verdampfer 3 (Prozessschritt C1). Nach Erreichen der Taulinie T wird das dann vollständig gasförmige Kältemittel K weiter um ca. 5 bis 15 K über Siedetemperatur erwärmt. Diese sogenannte Sauggasüberhitzung ist notwendig, damit der Verdichter 4 keine Flüssigkeitsschläge erleidet. Im Verdichter 4 erfolgt eine Druck- und Temperaturerhöhung des Kältemittels K (Prozessschritt C2). Im Kondensator 5 kondensiert das Kältemittel K bei gleichbleibendem Druck unter Wärmeabgabe (Prozessschritt C3). Im Expansionsventil 1 kommt es zum Druckabfall des Kältemittels K (Prozessschritt C4) und der Kreisprozess C beginnt erneut mit dem Prozessschritt C1.

**[0078]** Bei herkömmlichen Regelungsverfahren erfolgt eine Regelung des Expansionsventils 1, um einen vorgegebenen Sollwert für die Sauggasüberhitzung zu erzielen. Zur Ermittlung des Istwertes der Sauggasüberhitzung sind ein zweiter Temperatursensor 13 und ein dritter Temperatursensor 16 vorgesehen, die signalleitend mit der Regelvorrichtung 6 verbunden sind. Der zweite Temperatursensor 13 erfasst die Temperatur des Kältemittels K vor dem Eintritt in den Verdampfer 3 und meldet diese Temperatur über eine zweite Sensorleitung 22 der Regelvorrichtung 6. Der dritte Temperatursensor 16 erfasst die Temperatur des Kältemittels K am Verdampferaustritt vor dem Eintritt in den Verdichter 4 und meldet diese Temperatur über eine dritte Sensorleitung 23 der Regelvorrichtung 6. Die Regelvorrichtung 6 ermittelt den Istwert der Sauggasüberhitzung, indem die Temperaturdifferenz zwischen der Temperatur des Kältemittels K vor dem Eintritt in den Verdichter 4 (Sauggastemperatur) und der Verdampfungstemperatur (z.B. gemessen durch die Temperatur des Kältemittels K vor dem Eintritt in den Verdampfer 3) berechnet wird. Über die Signalleitung 20 wird das Expansionsventil 1 derart angesteuert, dass eine Öffnungsweite des Expansionsventil 1 angepasst wird, sodass der Istwert der Sauggasüberhitzung auf den Sollwert der Sauggasüberhitzung geregelt wird. Mithilfe eines (z.B. elektronischen oder thermischen) Expansionsventils 1 kann somit auf eine festeingestellte Sauggasüberhitzung (z.B. 5 K) geregelt werden. Als Regelgröße dient die Differenz von Sauggastemperatur zu Verdampfungstemperatur. Mit anderen Worten regelt das Expansionsventil 1 also den Kältemittelmassenstrom und den Druck, sodass das Kältemittel K am Verdichtereintritt eine bestimmte Sauggasüberhitzung aufweist. Eine zu geringe oder keine Sauggasüberhitzung kann Schäden beim Verdichter 4 verursachen. In dem Fall muss der Verdampfungsdruck reduziert (d.h. das Expansionsventil 1 geschlossen) werden. Eine zu hohe Saug-

gasüberhitzung wirkt sich hingegen schlecht auf die Kältekreislaufeffizienz aus, da der Verdampfungsdruck geringer als notwendig ist.

**[0079]** Figur 3 zeigt eine Vorrichtung 19 gemäß Figur 1, wobei der Kältemittelkreislauf 2 zusätzlich einen Wärmetauscher 9 in Form eines sogenannten internen Wärmetauschers oder Sauggaswärmetauschers umfasst und der dritte Temperatursensor 16 zwischen dem Verdampfer 3 und dem internen Wärmetauscher 9 angeordnet ist und somit die Sauggastemperatur des Kältemittels K am Verdampferaustritt misst. Eine erste Fluidleitung 10 des internen Wärmetauschers 9 ist zwischen dem Kondensator 5 und dem Expansionsventil 1 angeordnet und eine zweite Fluidleitung 11 des internen Wärmetauschers 9 ist zwischen dem Verdampfer 3 und dem Verdichter 4 angeordnet, wobei von dem durch die erste Fluidleitung 10 strömenden Kältemittel K Wärme an das durch die zweite Fluidleitung 11 strömende Kältemittel K abgebar ist.

**[0080]** Konkret ist ein Kondensatorausgang 24 des Kondensators 5 mit einem ersten internen Wärmetauschereingang 25 des internen Wärmetauschers 9 verbunden und ein erster interner Wärmetauscherausgang 26 des internen Wärmetauschers 9 ist mit einem Ventileingang 27 des Expansionsventils 1 verbunden. Zwischen erstem internen Wärmetauschereingang 25 und erstem internen Wärmetauscherausgang 26 verläuft die erste Fluidleitung 10. Ein Verdampferausgang 28 des Verdampfers 3 ist mit einem zweiten internen Wärmetauschereingang 29 des internen Wärmetauschers 9 verbunden und ein zweiter interner Wärmetauscherausgang 30 des internen Wärmetauschers 9 ist mit einem Verdichtereingang 31 des Verdichters 4 verbunden. Zwischen zweitem internen Wärmetauschereingang 29 und zweitem internen Wärmetauscherausgang 30 verläuft die zweite Fluidleitung 11. Die zweite Fluidleitung 11 ist stofflich von der ersten Fluidleitung 10 getrennt, jedoch thermisch mit der ersten Fluidleitung 10 gekoppelt bzw. verbunden, sodass in an sich bekannter Weise Wärme vom durch die erste Fluidleitung 10 strömenden Kältemittel K an das durch die zweite Fluidleitung 11 strömende Kältemittel K abgegeben werden kann.

**[0081]** Das aus dem Kondensator 5 austretende flüssige Kältemittel K auf hohem Temperaturniveau wird über den internen Wärmetauscher 9 geführt und dabei einige Kelvin abgekühlt. Diese Wärme wird genutzt, um das bereits vollständig verdampfte und leicht überhitzte Kältemittel K aus dem Verdampfer 3 weiter zu erwärmen. Damit kann der Verdampfungsprozess mit geringeren Überhitzungen ( $< 5$  K) betrieben werden, ohne dass der Verdichter 4 davon Schaden nimmt. Die Sauggastemperatur des Kältemittels K wird mit dem dritten Temperatursensor 16 zwischen Verdampfer 3 und internen Wärmetauscher 9 gemessen. Die Verdampfungs- temperatur des Kältemittels K kann am Eintritt des Verdampfers 3 mit dem zweiten Temperatursensor 13 gemessen werden. Die Regelung des Expansionsventils 1 entspricht jener der einfachen Trockenverdampfung (siehe Figur

1). Die Öffnungsweite des Expansionsventils 1 wird daher wiederum geregelt, um eine bestimmte Sauggasüberhitzung (Temperaturdifferenz zwischen der Sauggastemperatur und der Verdampfungs- temperatur) zu halten.

**[0082]** Figur 4 zeigt beispielhaft einen Kreisprozess C im Kältemittelkreislauf 2 gemäß Figur 3 im Log-p-h-Diagramm. Im Vergleich mit dem Kreisprozess C der Figur 2 (Kältemittelkreislauf 2 ohne internen Wärmetauscher 9) ist erkennbar, dass hierbei im Prozessschritt C1 das Überhitzen des vollständig gasförmigen Kältemittels K nach Erreichen der Taulinie T im internen Wärmetauscher 9 stattfindet (in dessen zweiter Fluidleitung 11) und dementsprechend im Prozessschritt C3 die letzte Abkühlung des Kältemittels K vor dem daran anschließenden Eintritt in das Expansionsventil 1 ebenfalls im internen Wärmetauscher 9 stattfindet (in dessen erster Fluidleitung 10).

**[0083]** Figur 5 zeigt eine Vorrichtung 19 mit einem Ausführungsbeispiel eines vorgeschlagenen Kältemittelkreislaufs 2. Aufbau und Verschaltung von Expansionsventil 1, Verdampfer 3, interner Wärmetauscher 9, Verdichter 4 und Kondensator 5 entsprechen dem in Figur 3 gezeigten Kältemittelkreislauf 2. Der Kältemittelkreislauf 2 umfasst eine mit der Regelvorrichtung 6 signalleitend verbundene Temperaturermittlungsvorrichtung 18 zur Ermittlung einer Verdampfer-Eintrittstemperatur des Kältemittels K nach Austritt des Kältemittels K aus einem Ventilausgang 7 des Expansionsventils 1. Im gezeigten Beispiel umfasst die Temperaturermittlungsvorrichtung 18 einen zweiten Temperatursensor 13, wobei vom zweiten Temperatursensor 13 die Verdampfungs- temperatur (entspricht Verdampfer-Eintrittstemperatur) messbar und über eine zweite Sensorleitung 22 der Regelvorrichtung 6 meldbar ist. Der vorgeschlagene Kältemittelkreislauf 2 umfasst außerdem einen mit der Regelvorrichtung 6 signalleitend verbundenen ersten Temperatursensor 12, der in einem Wärmequellenmedium der Wärmequelle 8 oder am wenigstens einen Verdampfer 3 angeordnet ist, wobei vom ersten Temperatursensor 12 eine Wärmequellentemperatur einer auf den wenigstens einen Verdampfer 3 einwirkenden Wärmequelle 8 messbar und über eine erste Sensorleitung 21 der Regelvorrichtung 6 meldbar ist. Die Regelvorrichtung 6 ist dazu konfiguriert, eine Öffnungsweite des Expansionsventils 1 in Abhängigkeit einer Temperaturdifferenz zwischen der Wärmequellentemperatur und der Verdampfungs- temperatur zu regeln. Die Regelvorrichtung 6 ermittelt aus der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequellentemperatur und Verdampfungs- temperatur eine Ist-Wärmequellengrädung IW und führt die Ist-Wärmequellengrädung IW durch Regelung der Öffnungsweite des Expansionsventils 1 einer vorgegebenen oder vorgebbaren Soll-Wärmequellengrädung SW nach. Dazu umfasst die Regelvorrichtung 6 eine hier nicht näher dargestellte erste Regeleinrichtung 15, die dazu konfiguriert ist, auf Basis einer ersten Regelabweichung zwischen Soll-Wärmequellengrädung SW und Ist-Wärmequellengrädung IW

einen Ventilstellwert in Bezug auf die Öffnungsweite zu ermitteln und dem Expansionsventil 1 über eine Signalleitung 20 zu melden.

**[0084]** Figur 6 zeigt schematisch das Regelschema für die Regelung des Expansionsventils 1 des Kältemittelkreislaufs 2 gemäß Figur 5. Anstatt der Sauggasüberhitzung wie bei herkömmlichen Regelungsverfahren wird die Wärmequellengrädung (Differenz zwischen Wärmequellentemperatur und Verdampfungstemperatur) als Regelgröße verwendet. Auf Basis einer ersten Regelabweichung zwischen Soll-Wärmequellengrädung SW und Ist-Wärmequellengrädung IW ermittelt die erste Regeleinrichtung 15 einen Ventilstellwert V in Bezug auf die Öffnungsweite des Expansionsventils 1 und meldet diesen über die Signalleitung 20 dem Expansionsventil 1, das im Regelschema die Regelstrecke darstellt. Aus einer veränderten Öffnungsweite des Expansionsventils 1 ergibt sich eine neue Ist-Wärmequellengrädung IW, die im Regelschema zur Bestimmung der ersten Regelabweichung rückgeführt wird. Die Soll-Wärmequellengrädung SW kann als Fixwert (fest hinterlegter Wert) vorgegeben sein. Die Ist-Wärmequellengrädung IW wird von der Regelvorrichtung 6 ermittelt, indem die Temperaturdifferenz zwischen der vom ersten Temperatursensor 12 gemeldeten Wärmequellentemperatur und der vom zweiten Temperatursensor 13 gemeldeten Verdampfer-Eintrittstemperatur (entspricht der Verdampfungstemperatur) berechnet wird.

**[0085]** Die Regelung soll anhand des nachfolgenden Beispiels erläutert werden. Dabei soll die Soll-Wärmequellengrädung SW einen Wert von 5 K haben, die Verdampfungstemperatur soll  $-5\text{ °C}$  betragen, die Wärmequellentemperatur (z.B. Lufttemperatur) soll  $1\text{ °C}$  betragen und der Istwert der Öffnungsweite des Expansionsventils 1 soll zu Beginn der Regelung 40 % betragen. Bei diesen beispielhaften Werten weist die Ist-Wärmequellengrädung IW einen Wert von 6 K auf (Wärmequellentemperatur minus Verdampfungstemperatur), d.h. die Verdampfungstemperatur könnte um 1 K angehoben werden, wodurch die Kältekreiseffizienz steigt. In der ersten Regeleinrichtung 15 wird die Abweichung zwischen Soll-Wärmequellengrädung SW und Ist-Wärmequellengrädung IW z.B. in einem PID Regler verarbeitet und daraus ein neuer Ventilstellwert V für das Expansionsventil 1 generiert. In diesem Fall öffnet das Expansionsventil 1 z.B. auf 42%, sodass mehr Kältemittel K in den Verdampfer 3 einströmt und der Druck und somit die Verdampfungstemperatur ansteigen. Die Ist-Wärmequellengrädung IW reduziert sich dadurch auf 5,8 K und ein neuer Regelungszyklus beginnt.

**[0086]** Figur 7 zeigt beispielhaft einen Kreisprozess C im Kältemittelkreislauf 2 gemäß Figur 5 im Log-p-h-Diagramm. Im Vergleich mit dem Kreisprozess C der Figur 4 ist erkennbar, dass hierbei jeweils wesentlich größere Anteile der Prozessschritte C1 und C3 im internen Wärmetauscher 9 stattfinden. Da beim vorgeschlagenen Kältemittelkreislauf 2 der Dryout-Punkt stark in Richtung des internen Wärmetauschers 9 verschoben ist, bewirkt der

interne Wärmetauscher 9 nicht nur eine Temperaturerhöhung des Sauggases, sondern ermöglicht auch eine Verdampfung des Nassdampfes nach dem eigentlichen Verdampfer 3. Insgesamt lässt sich dadurch der Kältemittelkreislauf 2 wesentlich effizienter betreiben.

**[0087]** Figur 8 zeigt eine Vorrichtung 19 mit einem weiteren Ausführungsbeispiel eines vorgeschlagenen Kältemittelkreislaufs 2. Im Unterschied zum Kältemittelkreislauf 2 gemäß Figur 5 umfasst hierbei die Temperaturermittlungsvorrichtung 18 einen Drucksensor 14, wobei vom Drucksensor 14 ein Kältemitteldruck des Kältemittels K an einer Stelle zwischen Ventilausgang 7 und Verdichtereingang 31 messbar und der Regelvorrichtung 6 über eine Drucksensorleitung 32 meldbar ist, wobei von der Regelvorrichtung 6 die Verdampfungstemperatur aus dem Kältemitteldruck ermittelbar ist. Die Regelung des Expansionsventils 1 erfolgt gleich wie beim Ausführungsbeispiel gemäß den Figuren 5 und 6.

**[0088]** Figur 9 zeigt eine Vorrichtung 19 mit einem weiteren Ausführungsbeispiel eines vorgeschlagenen Kältemittelkreislaufs 2. Der Kältemittelkreislauf 2 entspricht dem Kältemittelkreislauf 2 der Figur 8, ergänzt um weitere Sensoren und Reglerbausteine. Konkret umfasst der gezeigte Kältemittelkreislauf 2 zusätzlich einen dritten Temperatursensor 16, der zwischen dem internen Wärmetauscher 9 und dem Verdichter 4 angeordnet ist und somit die Sauggastemperatur des Kältemittels K nach dem internen Wärmetauscher 9 und vor Eintritt in den Verdichter 4 misst und der Regelvorrichtung 6 über eine dritte Sensorleitung 23 meldet. Anders als dargestellt kann die Temperaturermittlungsvorrichtung 18 auch einen zweiten Temperatursensor 13 zur direkten Ermittlung der Verdampfungstemperatur aus der Verdampfer-Eintrittstemperatur umfassen (siehe Figur 5).

**[0089]** Die Regelvorrichtung 6 umfasst eine hier nicht näher dargestellte zweite Regeleinrichtung 17. Die Regelvorrichtung 6 berechnet zur Ermittlung der Ist-Sauggasüberhitzung IS die Differenz zwischen der vom dritten Temperatursensor 16 gemeldeten Sauggastemperatur und der mittels der Temperaturermittlungsvorrichtung 18 ermittelten Verdampfungstemperatur und die zweite Regeleinrichtung 17 gibt auf Basis einer zweiten Regelabweichung zwischen einer vorgegebenen oder vorgebbaren Soll-Sauggasüberhitzung SS und der Ist-Sauggasüberhitzung IS die Soll-Wärmequellengrädung SW vor, die der ersten Regeleinrichtung 15 als Führungsgröße zugeführt wird. Mit anderen Worten wird die Ist-Sauggasüberhitzung IS durch Regelung der Soll-Wärmequellengrädung SW einer vorgegebenen oder vorgebbaren Soll-Sauggasüberhitzung SS nachgeführt.

**[0090]** Figur 10 zeigt schematisch das Regelschema für die Regelung des Expansionsventils 1 des Kältemittelkreislaufs 2 gemäß Figur 9. Das Regelschema zeigt eine 2-stufige Regelkaskade, bei der die erste Regeleinrichtung 15 die innere Kaskade (innerer Regelkreis) und die zweite Regeleinrichtung 17 die äußere Kaskade (äußerer Regelkreis) darstellen. Die innere Kaskade entspricht dem Regelschema der Figur 6. Die zweite Rege-

leinrichtung 17 gibt auf Basis einer zweiten Regelabweichung zwischen Soll-Sauggasüberhitzung SS und Ist-Sauggasüberhitzung IS die Soll-Wärmequellengrädung SW vor, die der ersten Regeleinrichtung 15 als Führungsgröße zugeführt wird. Die erste Regeleinrichtung 15 ermittelt wie oben beschrieben einen Ventilstellwert V in Bezug auf die Öffnungsweite des Expansionsventils 1 und meldet diesen über die Signalleitung 20 dem Expansionsventil 1, das in der inneren Kaskade die Regelstrecke darstellt. Aus einer veränderten Öffnungsweite des Expansionsventils 1 ergibt sich eine neue Ist-Wärmequellengrädung IW, die in der inneren Kaskade zur Bestimmung der ersten Regelabweichung rückgeführt wird. Eine Änderung der Öffnungsweite des Expansionsventils 1 bewirkt einen veränderten Kältemittelmassenstrom und damit einen veränderten Druck und eine veränderte Temperatur des Kältemittels K bei Eintritt in den Verdampfer 3, welcher mit dem sich daran anschließenden internen Wärmetauscher 9 die Regelstrecke der äußeren Kaskade darstellt. Nach Austritt des Kältemittels K aus dem internen Wärmetauscher 9 weist dieses eine neue Ist-Sauggasüberhitzung IS auf, die in der äußeren Kaskade zur Bestimmung der zweiten Regelabweichung rückgeführt wird.

**[0091]** Grundprinzip dieser Regelkaskadierung ist die Aufteilung des Regelsystems in einen inneren, sehr schnellen und präzisen Regelkreis (erste Regeleinrichtung 15) und einen äußeren, trägeren Regelkreis (zweite Regeleinrichtung 17). Der innere Regelkreis nimmt eine Regelung des Expansionsventils 1 durch den Vergleich der Wärmequellengrädung (Vergleich Ist-Wärmequellengrädung IW mit Soll-Wärmequellengrädung SW) vor. Der äußere Regelkreis passt den Sollwert der Wärmequellengrädung (Soll-Wärmequellengrädung SW) auf die vorliegenden Betriebsbedingungen durch den Abgleich des Überhitzungszustandes des Kältemittels K vor dem Verdichter 4 ab. Er regelt auf den gewünschten Überhitzungszustand des Gases vor dem Verdichter 4 (Soll-Sauggasüberhitzung SS) und gibt dabei dem inneren Regelkreis dynamisch den Sollwert in Form der Soll-Wärmequellengrädung SW vor. Im Prinzip ergibt sich dadurch ein "Herantasten" an die optimalen Betriebsbedingungen und gleichzeitig eine stabile Regelung für den inneren Regelkreis, welcher auf kurzfristige Betriebsänderungen rasch reagiert. Der Eingangs-Sollwert für die äußere Kaskade in Form der Soll-Sauggasüberhitzung SS soll einerseits gewährleisten, dass der Verdichter 4 keine Flüssigkeitsschläge erleidet und andererseits hohe Sauggastemperaturen vor dem Verdichter 4 verhindern. Die Soll-Sauggasüberhitzung SS kann ein fest hinterlegter Wert sein oder variabel in Abhängigkeit der Betriebsbedingungen dynamisch vorgegeben werden.

**[0092]** Die Regelung soll anhand des nachfolgenden Beispiels erläutert werden, das auf folgenden Vorgaben und Annahmen beruht:

Soll-Wärmequellengrädung SW = 5 K  
Soll-Sauggasüberhitzung SS = 10 K

Sauggastemperatur (dritter Temperatursensor 16) = 10 °C

Verdampfungstemperatur (Temperaturermittlungsvorrichtung 18) = -5 °C

Wärmequellentemperatur, z.B. Lufttemperatur (erster Temperatursensor 12) = 0 °C

Istwert Öffnungsweite Expansionsventil 1 = 40 %

Gasgehalt am Austritt aus dem Verdampfer 3 = 85 %

1) Die Ist-Wärmequellengrädung IW beträgt: Wärmequellentemperatur - Verdampfungstemperatur = 5 K. Das entspricht der Soll-Wärmequellengrädung SW, somit ist der innere Regelkreis eingeregelt.

2) Der äußere Regelkreis vergleicht die Soll-Sauggasüberhitzung SS mit der Ist-Sauggasüberhitzung IS = Sauggastemperatur - Verdampfungstemperatur = 15 K. Die Sauggastemperatur vor dem Verdichter 4 ist somit 5 K wärmer als benötigt. Das heißt der Kältemittelstrom kann erhöht, sprich das Expansionsventil 1 geöffnet werden, um somit die Verdampfungstemperatur zu erhöhen bzw. die Sauggastemperatur zu verringern.

3) In der zweiten Regeleinrichtung 17 wird aufgrund der Abweichung der Sauggasüberhitzung die Soll-Wärmequellengrädung SW auf 4,8 K reduziert.

4) Um die Ist-Wärmequellengrädung IW an die neue Soll-Wärmequellengrädung SW anzupassen wird der Ventilstellwert V des Expansionsventils 1 angepasst und das Expansionsventil 1 geöffnet. Dadurch steigt der Verdampfungsdruck und damit die Verdampfungstemperatur, in dem Beispiel auf -4,8 °C.

5) Die veränderte Verdampfungstemperatur führt zu einem verringerten Wärmestrom im Verdampfer 3, wodurch weniger Kältemittel K im Verdampfer 3 verdampft. Der Gasgehalt am Verdampferaustritt bzw. Eintritt in den internen Wärmetauscher 9 sinkt auf 83 %.

6) Im internen Wärmetauscher 9 muss somit mehr Kältemittel K verdampft werden. Da die übertragene Energiemenge in etwa gleich bleibt, reduziert sich die Sauggastemperatur. Die neue Ist-Sauggasüberhitzung IS beträgt z. B. 10 K, somit ist auch der äußere Regelkreis eingeregelt und das System ist vollständig eingeregelt.

**[0093]** Figur 11 zeigt eine Vorrichtung 19 mit einem weiteren Ausführungsbeispiel eines vorgeschlagenen Kältemittelkreislaufs 2. Der Kältemittelkreislauf 2 entspricht dem Kältemittelkreislauf 2 der Figur 9, wobei hier allerdings die Temperaturermittlungsvorrichtung 18 einen zweiten Temperatursensor 13 zur direkten Messung der Verdampfungstemperatur umfasst und wobei der Kältemittelkreislauf 2 weitere Sensoren umfasst. Konkret

sind ein zweiter Drucksensor 33 zur Ermittlung des Druckes des Kältemittels K nach Austritt aus dem Verdichter 4 und vor Eintritt in das Expansionsventil 1 und ein vierter Temperatursensor 34 zur Ermittlung der Temperatur des Kältemittels K nach Austritt aus dem Verdichter 4 und vor Eintritt in den Kondensator 5 vorgesehen. Die Signale des zweiten Drucksensors 33 werden über eine zweite Drucksensorleitung 35 und die Signale des vierten Temperatursensors 34 werden über eine vierte Sensorleitung 36 der Regelvorrichtung 6 zugeführt. Als äußere Kaskade der Regelkaskadierung kann dabei zur Vorgabe der Soll-Wärmequellengrädung eine Regelung der Heißgasüberhitzung auf Basis der Heißgastemperatur (ermittelt vom vierten Temperatursensor 34) gegenüber der Kondensationstemperatur (ermittelt aus der Dampfdruckkurve durch Messung des Druckes vom zweiten Drucksensor 33) erfolgen. Die Heißgasüberhitzungsregelung verhält sich ähnlich zur Sauggasüberhitzungsregelung. Eine geringe Heißgasüberhitzung führt zu Flüssigkeitsschlägen im Verdichter 3, eine zu hohe Heißgasüberhitzung zu Effizienzseinbußen. Die Heißgasüberhitzung wird an eine fixe oder veränderbare Soll-Heißgasüberhitzung angepasst. Eine veränderbare Soll-Heißgasüberhitzung kann z.B. in Abhängigkeit zum Verdampfungsdruck, zum Kondensationsdruck und zur Verdichterdrehzahl stehen.

**[0094]** Figur 12 zeigt eine Vorrichtung 19 gemäß Figur 11, ergänzt um ein weiteres Wertermittlungsverfahren und um weitere Reglerbausteine. Konkret ist ein weiterer Sensor 37 zur Ermittlung der Leistung und/oder Drehzahl des Verdichters 4 vorgesehen. Die Signale des Sensors 37 werden über eine weitere Sensorleitung 38 der Regelvorrichtung 6 zugeführt.

**[0095]** Die gegenüber dem Regelschema der Figur 10 weiteren Reglerbausteine sind im schematischen Regelschema der Figur 13 dargestellt. Bei den ergänzten Reglerbausteinen handelt es sich um eine erste Vorsteuerung 39 und um eine zweite Vorsteuerung 40. Durch die erste Vorsteuerung 39 kann die Temperatur des Kältemittels K am Eintritt in das Expansionsventil 1 berücksichtigt werden und durch die zweite Vorsteuerung 40 kann eine Verdichterdrehzahl und/oder Verdichterleistung des Verdichters 4 (ermittelt durch den weiteren Sensor 37) berücksichtigt werden.

**[0096]** Zur Vereinfachung der Darstellung wurden die vorgeschlagenen Kältemittelkreisläufe mit jeweils einem Verdampfer, internen Wärmetauscher, Verdichter und Kondensator dargestellt. Ein vorgeschlagener Kältemittelkreislauf kann aber auch jeweils mehr als einen Verdampfer, internen Wärmetauscher, Verdichter oder Kondensator umfassen. Für den Fall, dass ein vorgeschlagener Kältemittelkreislauf mehrere Instanzen einer Komponente umfasst (zum Beispiel ein Kältemittelkreislauf mit drei Verdampfern und zwei Verdichtern), sind die Instanzen der jeweiligen Komponente in der Regel parallel angeordnet. Es kann auch vorgesehen sein, dass ein vorgeschlagener Kältemittelkreislauf mehr als ein Expansionsventil umfasst. So kann vorgesehen sein, dass zwei oder mehrere Expansionsventile vorhanden sind,

die parallel angeordnet sind, wobei wenigstens eines davon wie vorgeschlagen geregelt wird. Es kann auch sein, dass alle Expansionsventile wie vorgeschlagen geregelt werden oder dass diese abhängig vom gewünschten Kältemittelmassenstrom gestaffelt wie vorgeschlagen geregelt werden.

Bezugszeichenliste:

10 **[0097]**

1	Expansionsventil
2	Kältemittelkreislauf
3	Verdampfer
15 4	Verdichter
5	Kondensator
6	Regelvorrichtung
7	Ventilausgang
8	Wärmequelle
20 9	interner Wärmetauscher
10	erste Fluidleitung des internen Wärmetauschers
11	zweite Fluidleitung des internen Wärmetauschers
12	erster Temperatursensor
13	zweiter Temperatursensor
25 14	Drucksensor
15	erste Regeleinrichtung
16	dritter Temperatursensor
17	zweite Regeleinrichtung
18	Temperaturermittlungsvorrichtung
30 19	Vorrichtung
20	Signalleitung
21	erste Sensorleitung
22	zweite Sensorleitung
23	dritte Sensorleitung
35 24	Kondensatorausgang
25	erster interner Wärmetauschereingang
26	erster interner Wärmetauscherausgang
27	Ventileingang
28	Verdampferausgang
40 29	zweiter interner Wärmetauschereingang
30	zweiter interner Wärmetauscherausgang
31	Verdichtereingang
32	Drucksensorleitung
33	zweiter Drucksensor
45 34	vierter Temperatursensor
35	zweite Drucksensorleitung
36	vierte Sensorleitung
37	weiterer Sensor
38	weitere Sensorleitung
50	
C	Kreisprozess
C1-C4	Prozessschritte des Kreisprozesses
E	spezifische Enthalpie
K	Kältemittel
55 P	Druck
T	Taulinie
V	Ventilstellwert
Z	Zirkulationsrichtung

SW	Soll-Wärmequellengrädung
IW	Ist-Wärmequellengrädung
SS	Soll-Sauggasüberhitzung
IS	Ist-Sauggasüberhitzung

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung eines Expansionsventils (1) eines Kältemittelkreislaufes (2) umfassend wenigstens einen Verdampfer (3), wenigstens einen internen Wärmetauscher (9), wenigstens einen Verdichter (4), wenigstens einen Kondensator (5), das Expansionsventil (1) und eine mit dem Expansionsventil (1) signalleitend verbundene Regelvorrichtung (6) zur Regelung des Expansionsventils (1), wobei eine erste Fluidleitung (10) des wenigstens einen internen Wärmetauschers (9) zwischen dem wenigstens einen Kondensator (5) und dem Expansionsventil (1) angeordnet ist und eine zweite Fluidleitung (11) des wenigstens einen internen Wärmetauschers (9) zwischen dem wenigstens einen Verdampfer (3) und dem wenigstens einen Verdichter (4) angeordnet ist, wobei im Kältemittelkreislauf (2) ein Kältemittel (K) zirkuliert, wobei das Kältemittel (K) in einer Zirkulationsrichtung (Z) des Kältemittelkreislaufes (2) ausgehend von einem Ventilausgang (7) des Expansionsventils (1) den wenigstens einen Verdampfer (3), die zweite Fluidleitung (11) des wenigstens einen internen Wärmetauschers (9), den wenigstens einen Verdichter (4), den wenigstens einen Kondensator (5), die erste Fluidleitung (10) des wenigstens einen internen Wärmetauschers (9) und das Expansionsventil (1) durchströmt, wobei das Kältemittel (K) im wenigstens einen Verdampfer (3) durch Wärmeeintrag an das Kältemittel (K) durch eine auf den wenigstens einen Verdampfer (3) einwirkende Wärmequelle (8) zumindest teilweise verdampft wird, wobei das durch die erste Fluidleitung (10) strömende Kältemittel (K) Wärme an das durch die zweite Fluidleitung (11) strömende Kältemittel (K) abgibt und somit die Enthalpie des Kältemittels (K) vor Eintritt in den wenigstens einen Verdichter (4) erhöht wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Expansionsventil (1) in Abhängigkeit einer Temperaturdifferenz zwischen einer Wärmequellentemperatur der Wärmequelle (8) und der Verdampfungstemperatur des Kältemittels (K), welche im Bereich zwischen Ventilausgang (7) des Expansionsventils (1) und Verdichtereingang (31) des wenigstens einen Verdichters (4) vorherrscht, geregelt wird, wobei die auf den wenigstens einen Verdampfer (3) einwirkende Wärmequellentemperatur der Wärmequelle (8) und die Verdampfungstemperatur des Kältemittels (K) im Bereich zwischen Ventilausgang (7) und Verdichtereingang (31) ermittelt werden, wobei aus der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequellentemperatur und Verdampfungstemperatur eine Ist-Wärmequellengrädung (IW) ermittelt wird, wobei die Ist-Wärmequellengrädung (IW) durch Regelung einer Öffnungsweite des Expansionsventils (1) einer vorgegebenen oder vorgebbaren Soll-Wärmequellengrädung (SW) nachgeführt wird, wobei die Soll-Wärmequellengrädung (SW) fortlaufend angepasst wird, wobei die Regelvorrichtung (6) eine weitere Regelungseinrichtung zur Verhinderung des Eintritts von flüsigem Kältemittel (K) in den wenigstens einen Verdichter (4) umfasst, wobei aus wenigstens einer gemessenen oder ermittelten Temperatur des Kältemittels (K) im Kältemittelkreislauf (2) und/oder wenigstens einem gemessenen oder ermittelten Druck des Kältemittels (K) im Kältemittelkreislauf (2) ein den Überhitzungszustand des Kältemittels (K) vor oder nach dem wenigstens einen Verdichter (4) charakterisierender Regelungs-Istwert ermittelt wird und der Regelungs-Istwert durch Regelung der Soll-Wärmequellengrädung (SW) einem vorgegebenen oder vorgebbaren Regelungs-Sollwert nachgeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kältemittelkreislauf (2) einen ersten Temperatursensor (12) umfasst, wobei der erste Temperatursensor (12) vorzugsweise in einem Wärmequellenmedium der Wärmequelle (8) oder an dem wenigstens einen Verdampfer (3) angeordnet ist, wobei der erste Temperatursensor (12) die Wärmequellentemperatur misst und der Regelvorrichtung (6) meldet.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kältemittelkreislauf (2) einen zweiten Temperatursensor (13) umfasst, der eine Kältemitteltemperatur des Kältemittels (K) nach Austritt des Kältemittels (K) aus dem Ventilausgang (7) des Expansionsventils (1) und vor Eintritt des Kältemittels (K) in den wenigstens einen Verdampfer (3) misst und der Regelvorrichtung (6) meldet, wobei die vom zweiten Temperatursensor (13) gemessene Kältemitteltemperatur der Verdampfungstemperatur entspricht.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kältemittelkreislauf (2) einen Drucksensor (14) umfasst, wobei der Drucksensor (14) einen Kältemitteldruck des Kältemittels (K) an einer Stelle zwischen Ventilausgang (7) und Verdichtereingang (31) misst und der Regelvorrichtung (6) meldet, wobei vorzugsweise die Regelvorrichtung (6) aus dem Kältemitteldruck die Verdampfungstemperatur ermittelt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regelvorrichtung (6) eine erste Regeleinrichtung (15) umfasst, wobei die erste Regeleinrichtung (15) auf Basis einer ers-

- ten Regelabweichung zwischen Soll-Wärmequellengrädung (SW) und Ist-Wärmequellengrädung (IW) einen Ventilstellwert (V) ermittelt und dem Expansionsventil (1) meldet, wobei das Expansionsventil (1) in Abhängigkeit des Ventilstellwerts (V) die Öffnungsweite einstellt.
- 5
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Sauggastemperatur des Kältemittels (K) nach dem internen Wärmetauscher (9) und vor Eintritt in den wenigstens einen Verdichter (4) ermittelt wird, wobei aus einer Temperaturdifferenz zwischen Sauggastemperatur und Verdampfungstemperatur eine Ist-Sauggasüberhitzung (IS) ermittelt wird, wobei die Ist-Sauggasüberhitzung (IS) durch Regelung der Soll-Wärmequellengrädung (SW) einer vorgegebenen oder vorgebbaren Soll-Sauggasüberhitzung (SS) nachgeführt wird.
- 10
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kältemittelkreislauf (2) einen dritten Temperatursensor (16) umfasst, der die Sauggastemperatur des Kältemittels (K) nach dem internen Wärmetauscher (9) und vor Eintritt in den wenigstens einen Verdichter (4) misst und der Regelvorrichtung (6) meldet, wobei die Regelvorrichtung (6) eine zweite Regeleinrichtung (17) umfasst, wobei die Regelvorrichtung (6) zur Ermittlung der Ist-Sauggasüberhitzung (IS) die Differenz zwischen der Sauggastemperatur und der Verdampfungstemperatur berechnet, wobei die zweite Regeleinrichtung (17) auf Basis einer zweiten Regelabweichung zwischen Soll-Sauggasüberhitzung (SS) und Ist-Sauggasüberhitzung (IS) die Soll-Wärmequellengrädung (SW) vorgibt.
- 15
- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die vorgegebene oder vorgebbare Soll-Wärmequellengrädung (SW) um wenigstens einen Änderungswert geändert wird, wobei der wenigstens eine Änderungswert in Abhängigkeit einer Temperatur des Kältemittels (K) vor dem Expansionsventil (1) und/oder einer Verdichterdrehzahl des wenigstens einen Verdichters (4) und/oder einer Verdichterleistung des wenigstens einen Verdichters (4) und/oder einer Wärmequellenmotordrehzahl eines Wärmequellenmotors ermittelt wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Kältemittel (K) im wenigstens einen Verdampfer (3) nur teilweise verdampft wird, wobei das Kältemittel (K) im internen Wärmetauscher (9) vollständig verdampft wird.
10. Kältemittelkreislauf (2) umfassend wenigstens einen Verdampfer (3), wenigstens einen internen Wärme-
- tauscher (9), wenigstens einen Verdichter (4), wenigstens einen Kondensator (5), ein Expansionsventil (1) und eine mit dem Expansionsventil (1) signalleitend verbundene Regelvorrichtung (6) zur Regelung des Expansionsventils (1), insbesondere gemäß einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei eine erste Fluidleitung (10) des wenigstens einen internen Wärmetauschers (9) zwischen dem wenigstens einen Kondensator (5) und dem Expansionsventil (1) angeordnet ist und eine zweite Fluidleitung (11) des wenigstens einen internen Wärmetauschers (9) zwischen dem wenigstens einen Verdampfer (3) und dem wenigstens einen Verdichter (4) angeordnet ist, wobei der wenigstens eine Verdampfer (3), die zweite Fluidleitung (11), der wenigstens eine Verdichter (4), der wenigstens eine Kondensator (5), die erste Fluidleitung (10) und das Expansionsventil (1) in einer Zirkulationsrichtung (Z) des Kältemittelkreislaufes (2) hintereinander in Serie angeordnet und von einem Kältemittel (K) durchströmbar sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kältemittelkreislauf (2) einen mit der Regelvorrichtung (6) signalleitend verbundenen ersten Temperatursensor (12) umfasst, wobei vom ersten Temperatursensor (12) eine Wärmequellentemperatur einer auf den wenigstens einen Verdampfer (3) einwirkenden Wärmequelle (8) messbar und der Regelvorrichtung (6) meldbar ist, wobei der erste Temperatursensor (12) vorzugsweise in einem Wärmequellenmedium der Wärmequelle (8) oder an dem wenigstens einen Verdampfer (3) angeordnet ist, wobei der Kältemittelkreislauf (2) eine mit der Regelvorrichtung (6) signalleitend verbundene Temperaturermittlungsvorrichtung (18) zur Ermittlung der Verdampfungstemperatur des Kältemittels (K), welche im Bereich zwischen Ventilausgang (7) des Expansionsventils (1) und Verdichtereingang (31) des wenigstens einen Verdichters (4) vorherrscht, umfasst, wobei die Regelvorrichtung (6) eine Öffnungsweite des Expansionsventils (1) in Abhängigkeit einer Temperaturdifferenz zwischen der Wärmequellentemperatur und der Verdampfungstemperatur des Kältemittels (K) im Bereich zwischen Ventilausgang (7) und Verdichtereingang (31) regelt, wobei die Regelvorrichtung (6) aus der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequellentemperatur und Verdampfungstemperatur eine Ist-Wärmequellengrädung (IW) ermittelt und die Ist-Wärmequellengrädung (IW) durch Regelung der Öffnungsweite des Expansionsventils (1) einer vorgegebenen oder vorgebbaren Soll-Wärmequellengrädung (SW) nachführt, wobei die Regelvorrichtung (6) die Soll-Wärmequellengrädung (SW) fortlaufend anpasst, wobei die Regelvorrichtung (6) eine weitere Regeleinrichtung zur Verhinderung des Eintritts von flüssigem Kältemittel (K) in den wenigstens einen Verdichter (4) umfasst, wobei die Regelvorrichtung (6) aus wenigstens einer gemessenen oder ermittelten Tem-

- peratur des Kältemittels (K) im Kältemittelkreislauf (2) und/oder wenigstens einem gemessenen oder ermittelten Druck des Kältemittels (K) im Kältemittelkreislauf (2) ein den Überhitzungszustand des Kältemittels (K) vor oder nach dem wenigstens einen Verdichter (4) charakterisierenden Regelungs-Istwert ermittelt und den Regelungs-Istwert durch Regelung der Soll-Wärmequellengrädung (SW) einem vorgegebenen oder vorgebbaren Regelungs-Sollwert nachführt.
- 5  
10
11. Kältemittelkreislauf nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Temperaturermittlungsvorrichtung (18) einen zwischen dem Ventilausgang (7) und dem wenigstens einen Verdampfer (3) angeordneten zweiten Temperatursensor (13) umfasst, wobei vom zweiten Temperatursensor (13) die Verdampfungstemperatur messbar und der Regelvorrichtung (6) meldbar ist.
- 15  
20
12. Kältemittelkreislauf nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Temperaturermittlungsvorrichtung (18) einen zwischen Ventilausgang (7) und Verdichtereingang (31) angeordneten Drucksensor (14) umfasst, wobei vom Drucksensor (14) ein Kältemitteldruck des Kältemittels (K) messbar und der Regelvorrichtung (6) meldbar ist, wobei von der Regelvorrichtung (6) die Verdampfungstemperatur aus dem Kältemitteldruck ermittelbar ist.
- 25  
30
13. Kältemittelkreislauf nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regelvorrichtung (6) eine erste Regeleinrichtung (15) umfasst, die auf Basis einer ersten Regelabweichung zwischen Soll-Wärmequellengrädung (SW) und Ist-Wärmequellengrädung (IW) einen Ventilstellwert (V) in Bezug auf die Öffnungsweite ermittelt und dem Expansionsventil (1) meldet.
- 35  
40
14. Kältemittelkreislauf nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kältemittelkreislauf (2) einen dritten Temperatursensor (16) umfasst, wobei vom dritten Temperatursensor (16) eine Sauggastemperatur des Kältemittels (K) nach dem internen Wärmetauscher (9) und vor Eintritt in den wenigstens einen Verdichter (4) messbar und der Regelvorrichtung (6) meldbar ist, wobei die Regelvorrichtung (6) aus einer Temperaturdifferenz zwischen Sauggastemperatur und Verdampfungstemperatur eine Ist-Sauggasüberhitzung (IS) ermittelt und die Ist-Sauggasüberhitzung (IS) durch Regelung der Soll-Wärmequellengrädung (SW) einer vorgegebenen oder vorgebbaren Soll-Sauggasüberhitzung (SS) nachführt.
- 45  
50  
55
15. Kältemittelkreislauf nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regelvorrichtung (6) eine zweite Regeleinrichtung (17) umfasst, die auf Basis
- einer zweiten Regelabweichung zwischen Soll-Sauggasüberhitzung (SS) und Ist-Sauggasüberhitzung (IS) die Soll-Wärmequellengrädung (SW) ermittelt und der ersten Regeleinrichtung (15) meldet.
16. Vorrichtung (19), insbesondere Wärmepumpe oder Kälteanlage oder Klimagerät, mit wenigstens einem Kältemittelkreislauf (2) nach einem der Ansprüche 10 bis 15.

Fig. 1

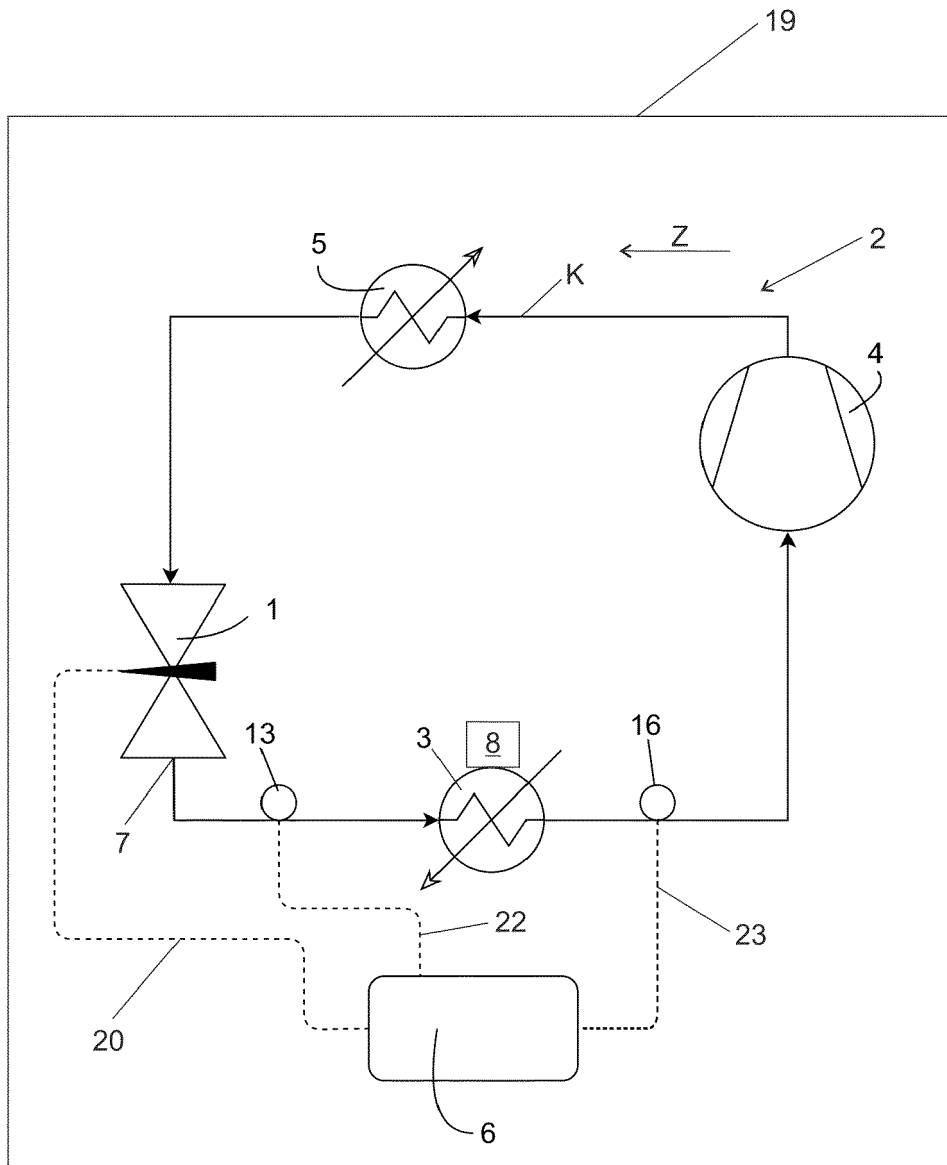


Fig. 2

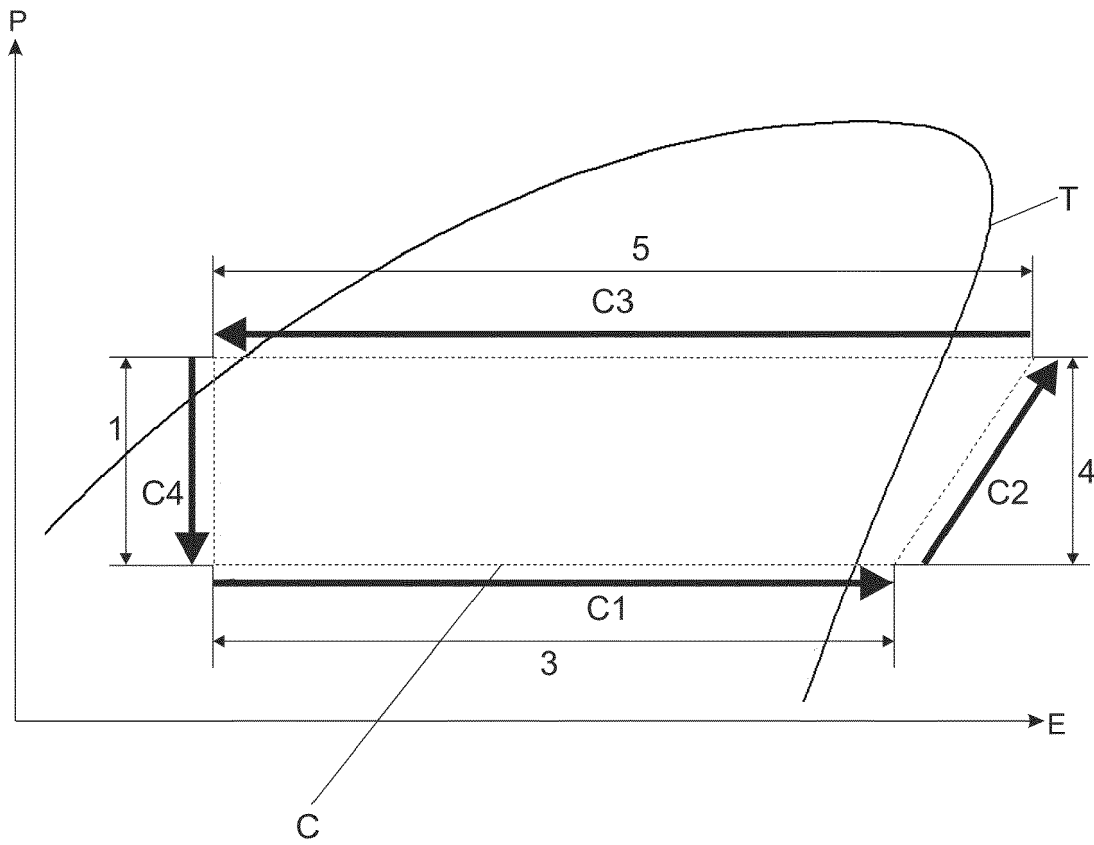


Fig. 3

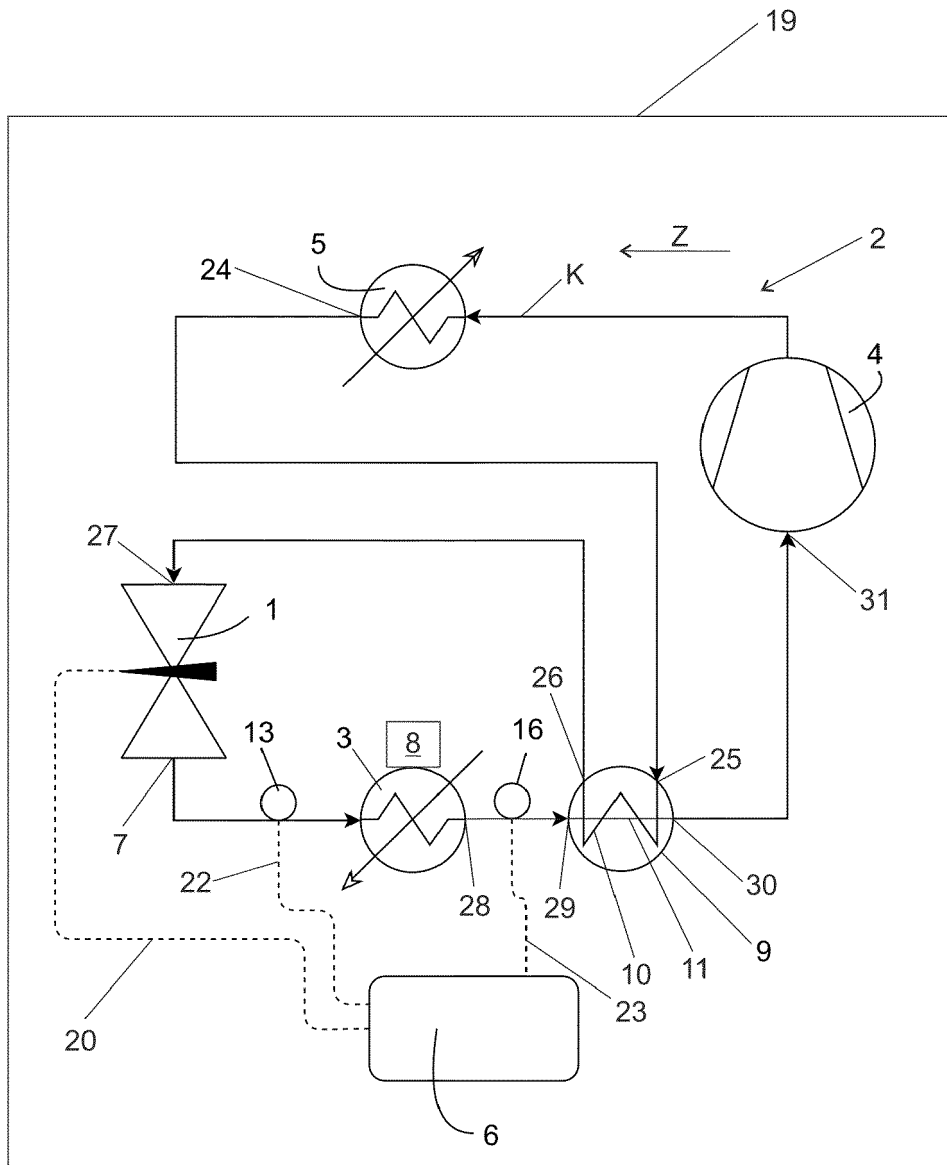


Fig. 4

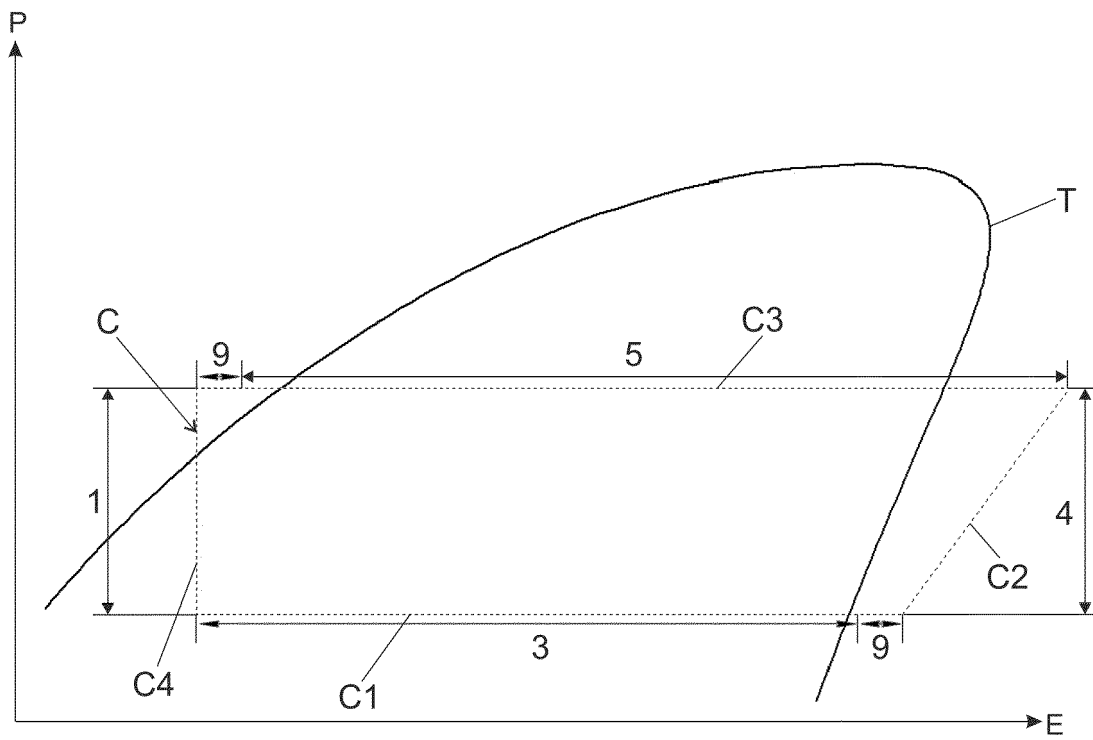


Fig. 5

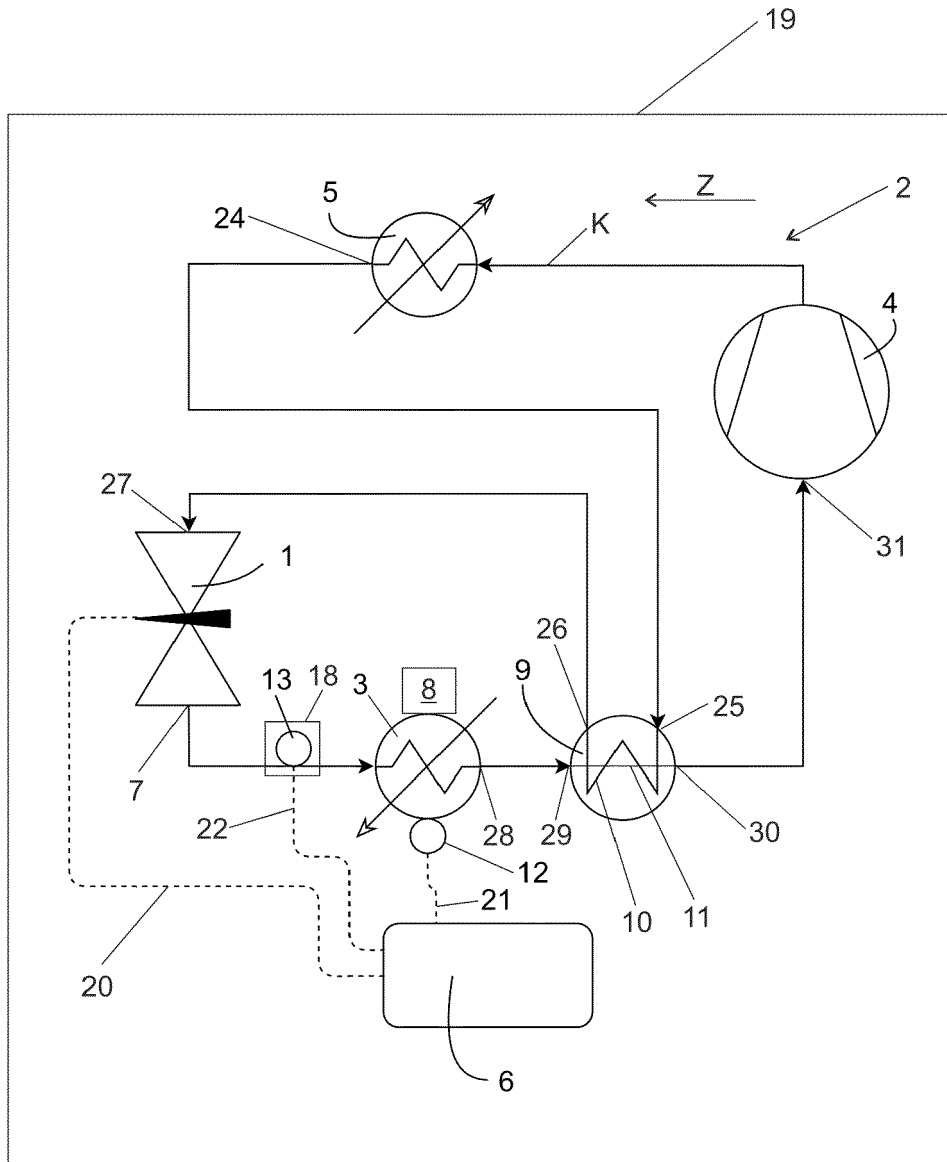


Fig. 6

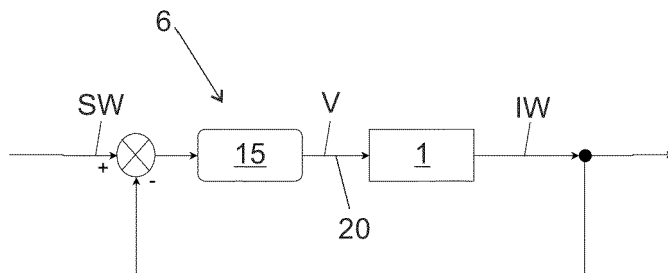


Fig. 7

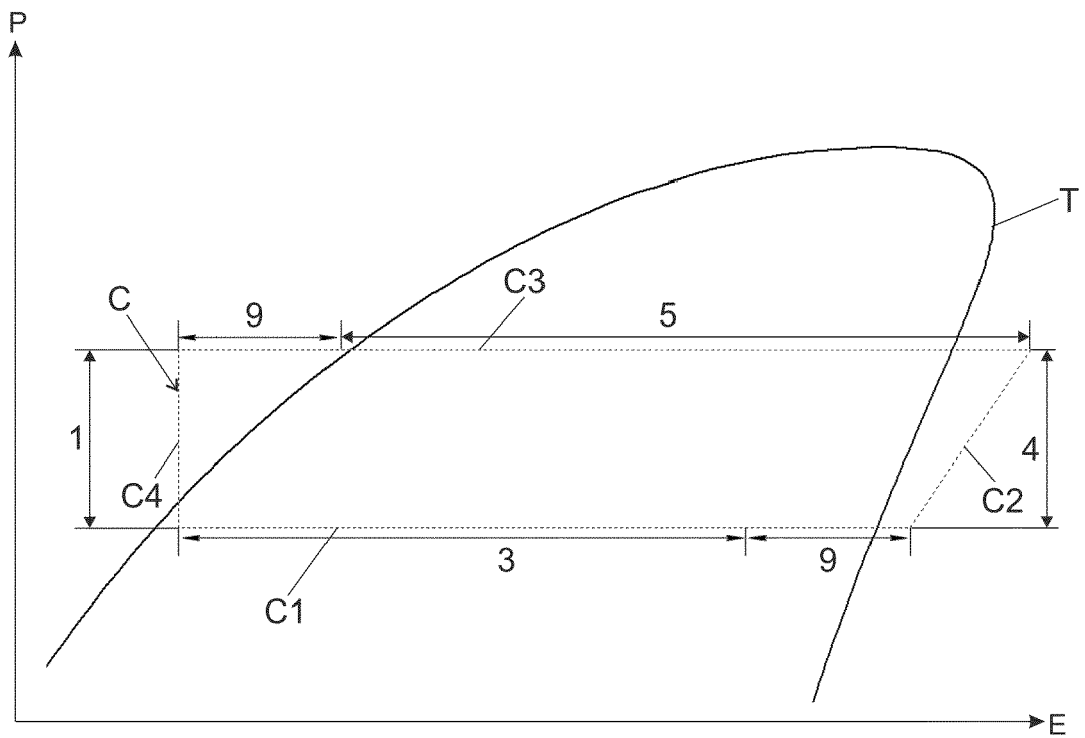


Fig. 8

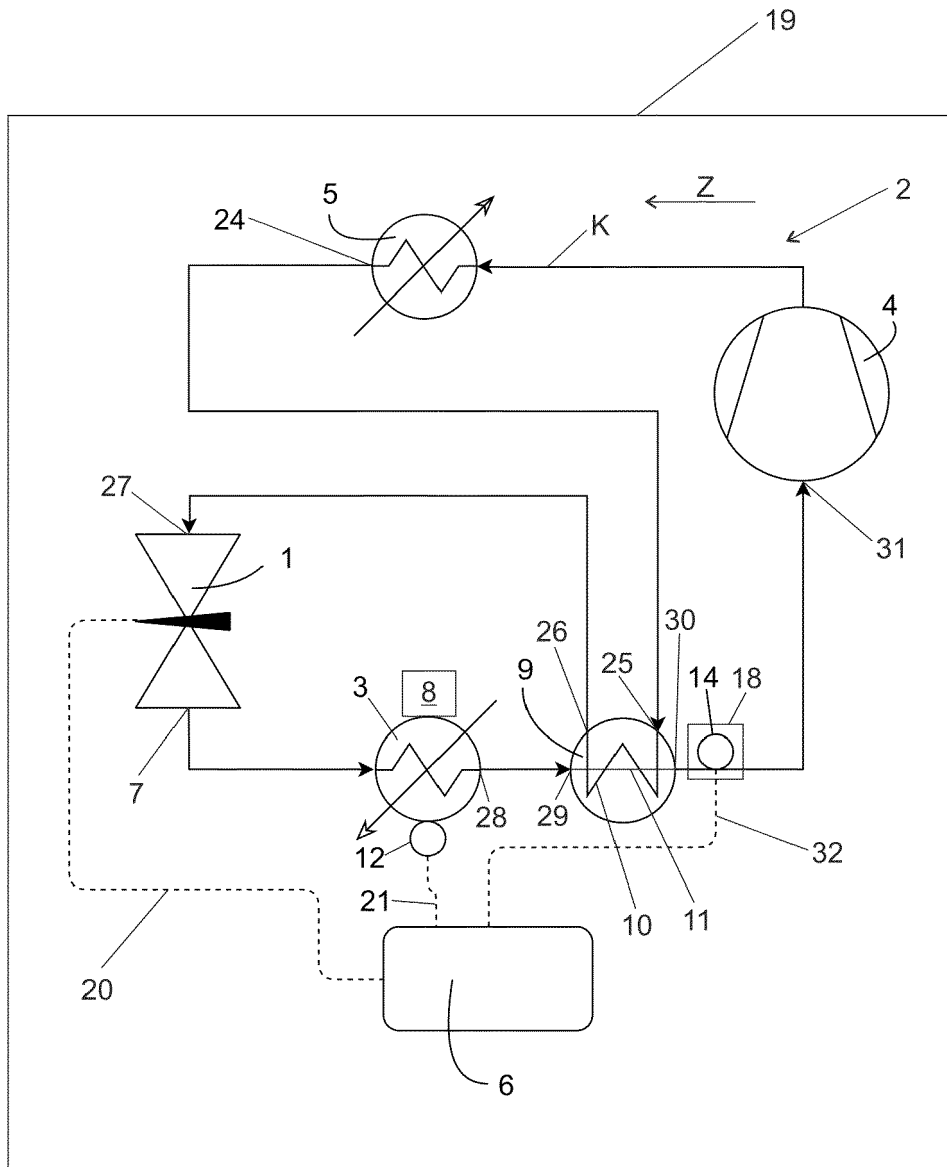






Fig. 12

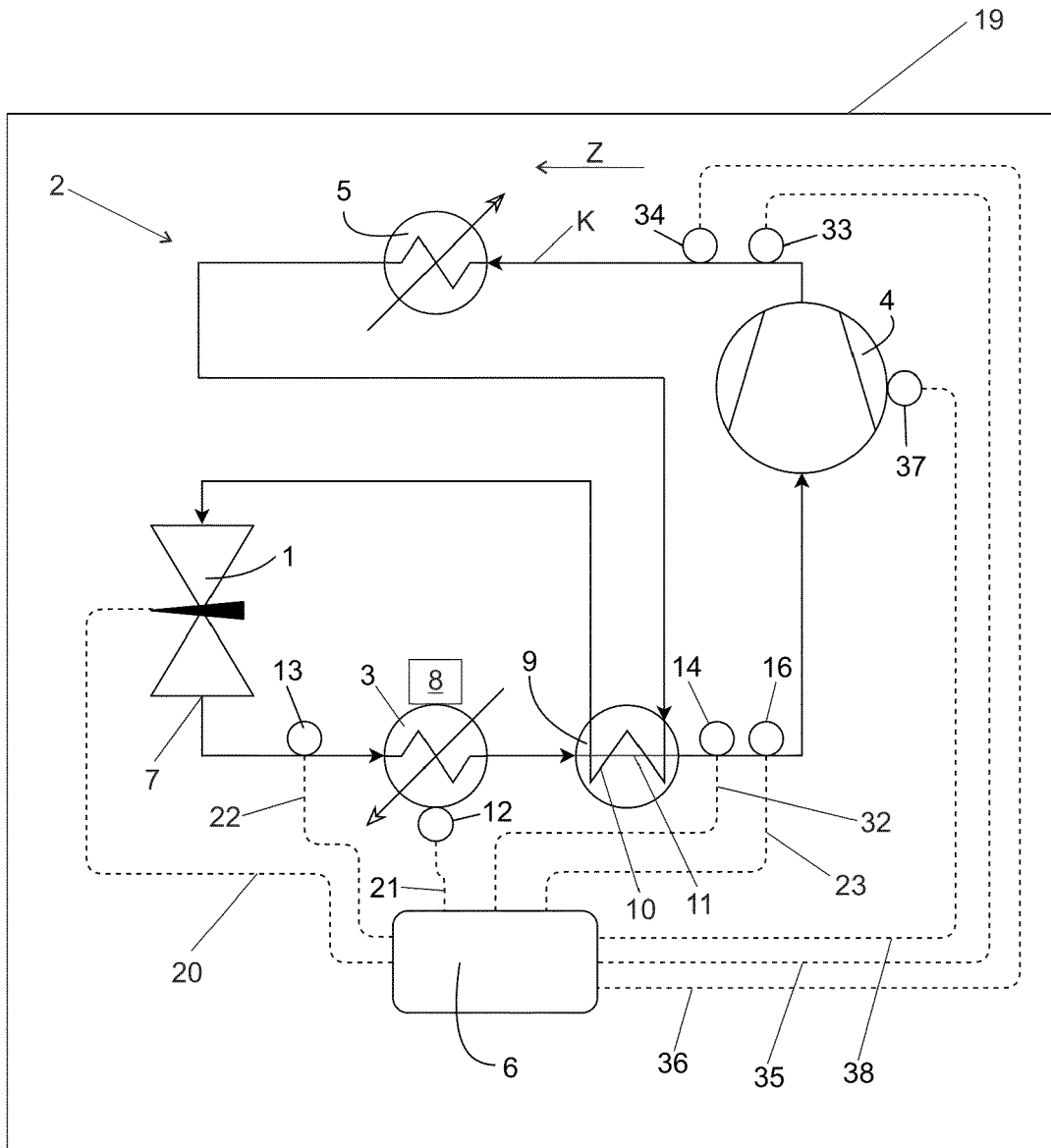
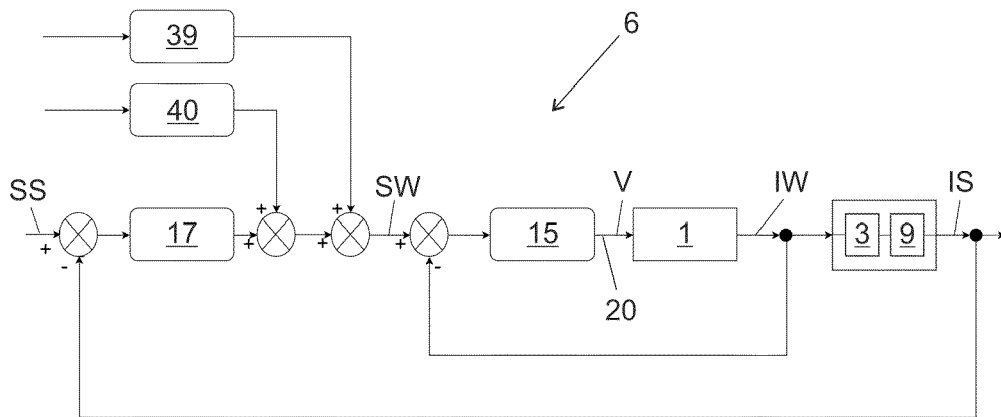


Fig. 13





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 20 20 0553

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y	WO 2019/020952 A1 (VALEO SYSTEMES THERMIQUES [FR]) 31. Januar 2019 (2019-01-31) * Seite 7, Zeile 1 - Seite 10, Zeile 20; Abbildungen 2a,2b *	1-7,9-16	INV. F25B40/06 F25B49/02
A	----- US 2004/068999 A1 (JESSEN LARS MOU [DK]) 15. April 2004 (2004-04-15) * Absätze [0018] - [0024], [0039], [0040], [0042]; Abbildungen 1,2a,2b *	8	
A	----- EP 2 647 928 A2 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 9. Oktober 2013 (2013-10-09) * Absatz [0011] - Absätze [0016], [0022] - [0024]; Abbildung 1 *	1-16	
A	----- EP 3 282 209 A1 (LG ELECTRONICS INC [KR]) 14. Februar 2018 (2018-02-14) * Absatz [0036] - Absatz [0051]; Abbildungen 5,6,7 *	1-16	
	-----		RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F25B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>München</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>10. März 2021</b>	Prüfer <b>Gaspar, Ralf</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 20 20 0553

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.

10-03-2021

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2019020952 A1	31-01-2019	CN 111133262 A	08-05-2020
		EP 3658832 A1	03-06-2020
		FR 3069626 A1	01-02-2019
		WO 2019020952 A1	31-01-2019
-----			
US 2004068999 A1	15-04-2004	CN 1512284 A	14-07-2004
		US 2004068999 A1	15-04-2004
-----			
EP 2647928 A2	09-10-2013	CN 101842645 A	22-09-2010
		CN 102425872 A	25-04-2012
		DK 2196745 T3	11-12-2017
		DK 2647925 T3	06-02-2017
		DK 2647926 T3	07-01-2019
		DK 2647927 T3	19-10-2020
		DK 2647928 T3	12-12-2016
		EP 2196745 A1	16-06-2010
		EP 2647925 A2	09-10-2013
		EP 2647926 A2	09-10-2013
		EP 2647927 A2	09-10-2013
		EP 2647928 A2	09-10-2013
		ES 2605462 T3	14-03-2017
		ES 2611980 T3	11-05-2017
		ES 2650233 T3	17-01-2018
		ES 2700938 T3	20-02-2019
		JP 4948374 B2	06-06-2012
JP 2009133547 A	18-06-2009		
US 2010205987 A1	19-08-2010		
WO 2009069524 A1	04-06-2009		
-----			
EP 3282209 A1	14-02-2018	CN 107655229 A	02-02-2018
		EP 3282209 A1	14-02-2018
		US 2018031282 A1	01-02-2018
-----			

EPO FORM P0461

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