



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
15.12.2021 Patentblatt 2021/50

(51) Int Cl.:
F25B 49/02 (2006.01) F25B 40/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **21177574.7**

(22) Anmeldetag: **03.06.2021**

(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: **Stiebel Eltron GmbH & Co. KG**
37603 Holzminden (DE)

(72) Erfinder: **Herrs, Martin**
37671 Höxter (DE)

(30) Priorität: **09.06.2020 DE 102020115274**

(54) **VERFAHREN ZUM BETRIEB EINER KOMPRESSIÖNSKÄLTEANLAGE**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln einer Kompressionskälteanlage (200), insbesondere einer Wärmepumpe (100), sowie eine zugehörige Kompressionskälteanlage, enthaltend die Verfahrensschritte: Bestimmen eines Zielwertes ($Z_{ÜA}$) der Verdampferaustrittsüberhitzung ($T_{ÜA}$) und eines Zielwertes ($Z_{ÜE}$) der Verdichtereintrittsüberhitzung ($T_{ÜE}$), Berechnen eines Korrekturwertes basierend auf einer Regelabweichung der Verdichtereintrittsüberhitzung ($T_{ÜE}$) zu dem Zielwert ($Z_{ÜE}$) der Verdichtereintrittsüberhitzung ($T_{ÜE}$), Korrigieren des Zielwertes ($Z_{ÜA}$) der Verdampferaustrittsüberhitzung ($T_{ÜA}$) mit dem berechneten Korrekturwert, Berechnen eines Regelwertes (R) nach einer Inbetriebnahmephase der Kompressionskälteanlage (200) abhängig von dem Zielwert ($Z_{ÜA}$) der Verdampferaustrittsüberhitzung ($T_{ÜA}$) und dem Zielwert ($Z_{ÜE}$) der Verdichtereintrittsüberhitzung ($T_{ÜE}$), und Regeln des Expansionsventils (230) auf Basis des Regelwertes (R).

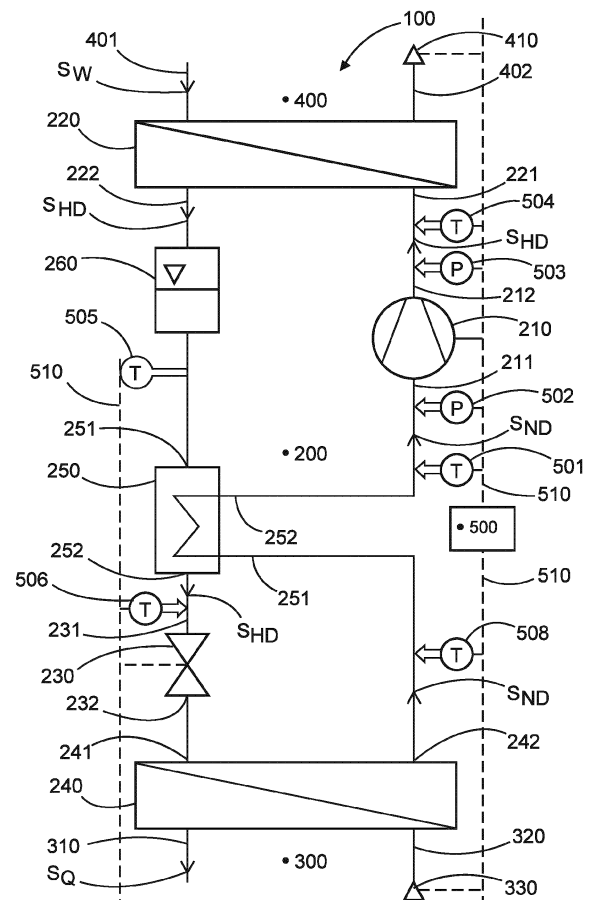


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Kompressionskälteanlage sowie eine zugehörige Kompressionskälteanlage mit einem Kältemittel, einem Verdampfer, einem Verdichter, einem Verflüssiger, einem internen Wärmeübertrager, einem Drosselorgan und einer Steuereinheit.

[0002] Derartige Kompressionskälteanlagen, beispielsweise in Form von Wärmepumpen, mit einem Dampfkompres-sionssystem in welchem ein gasförmiges Kältemittel von einem mittels der Steuereinheit, die beispielsweise einen Regler aufweist, gesteuerten Verdichter von einem Niederdruck auf einen Hochdruck verdichtet wird, sind bekannt.

[0003] Das Kältemittel wird durch den Verflüssiger getrieben, in dem es eine Heizwärme an ein in einem Wärmesen-kensystem befindliches Heizmedium abgibt. Eine innere Wärme wird in einem inneren Wärmeübertrager, beispielsweise in Form eines Rekuperators, zwischen dem unter dem Hochdruck vom Verflüssiger zum Expansionsventil strömenden Kältemittel und dem vom Verdampfer zum Verdichter unter dem Niederdruck strömende Kältemittel übertragen.

[0004] Das Kältemittel wird weiter in einer Hochdruckströmungsrichtung zu einem vom Regler gesteuerten Expansi-onsventil geführt, in dem das Kältemittel vom Hochdruck auf den Niederdruck abhängig von einem Regelwert entspannt wird. Das auf dem Niederdruck befindliche Kältemittel verdampft in dem Verdampfer bei Aufnahme von Quellwärme.

[0005] Aus DE 101 59 892 A1 ist bei einer Kältemaschine bekannt, insbesondere bei einer Wärmepumpe, einen Rekuperator zu verwenden, womit bei niedrigen Außentemperaturen die Heizleistung auf baulich einfache Weise erhöht werden soll. Hierfür ist der Rekuperator derart dimensioniert, dass er bei niedrigen Verdampfungstemperaturen wenigstens etwa 15% der Heizleistung der Wärmepumpe vom flüssigen Kältemittel auf das gasförmige Kältemittel überträgt. Ein Einspritzventil spritzt flüssiges Kältemittel in den Verdichter, so dass die Verdichtungsendtemperatur unter 120 °C bleibt.

[0006] Eine Wärmepumpenanlage mit einem Kältemittelkreislauf ist aus DE 10 2005 061 480 B3 bekannt. Sie ist mit einem Verdichter, einem ersten Wärmeübertrager, einem Drosselorgan, einem Verdampfer und einer 4-2-Wegeventi-leinheit zum Umschalten zwischen einer ersten (Heizen) und einer zweiten Betriebsart (Kühlen) ausgestattet. Eine Strömungsrichtung des in dem Kältemittelkreislauf befindlichen Kältemittels kann derart umgeschaltet werden kann, dass der erste Wärmeübertrager in der ersten Betriebsart zum Verflüssigen des Kältemittels, und in der zweiten Be-triebsart zum Verdampfen des Kältemittels dient, und der zweite Wärmeübertrager in der ersten Betriebsart zum Ver-dampfen des Kältemittels und in der zweiten Betriebsart zum Verflüssigen des Kältemittels dient, wobei der erste Wär-meübertrager im Kältemittelkreislauf so verschaltet ist, dass er in den beiden Betriebsarten Heizen und Kühlen als Gegenstrom-Wärmeübertrager arbeitet.

[0007] Die Regelung der Kompressionskälteanlage muss verschiedene Anforderungen erfüllen, so wird beispielsweise gefordert, dass eine Leistungszahl möglichst hoch ist, um einen möglichst energieeffizienten Betrieb zu erlauben. Zentral ist aber auch, dass die Betriebsgrenzen der Komponenten eingehalten werden.

[0008] In diesem Zusammenhang ist insbesondere der Verdichter hervorzuheben, der wie ausgeführt das gasförmige Kältemittel von Niederdruck (ND) auf Hochdruck (HD) verdichtet. Es ist bekannt, zur Leistungsoptimierung Verdichter vorzusehen, die den Betrieb mit unterschiedlichen Drehzahlen ermöglichen. Die Hersteller von derartigen, drehzahlva-riablen Verdichtern schreiben neben anderen Betriebsgrenzen beispielsweise vor, dass in Abhängigkeit der Drehzahl sowohl Obergrenzen als auch Untergrenzen für den Niederdruck (ND) und den Hochdruck (HD) einzuhalten sein. Werden die Grenzen entweder auf der Niederdruckseite oder auf der Hochdruckseite überschritten, muss der Betrieb des Ver-dichters im ungünstigsten Fall abgeschaltet werden.

[0009] Viele Verdichter sind ungeeignet, am Verdichtereintritt gesättigten Dampf anzusaugen, deshalb schreiben viele Verdichterhersteller vor, eine Mindestüberhitzung des Kältemittels am Verdichtereintritt sicherzustellen, beispielsweise eine Mindestüberhitzung von 2 Kelvin (K), wobei ebenfalls bei Kältemitteln mit einem Temperaturglide eine Mindestü-berhitzung einzuhalten ist.

[0010] Werden Anforderung bezüglich einer Mindestüberhitzung nicht eingehalten, kann ein erhöhter Verdichterver-schleiß durch mangelnde Schmierung der Kompressionskomponenten oder Schäden durch Kavitation durch Nachver-dampfung im Verdichter zur Folge haben.

[0011] Bei Kältekreisen mit internem Wärmeübertrager, beispielsweise in Form eines Rekuperators, ist es bekannt, eine Verdampferaustrittsüberhitzung als Hilfsregelgröße für die Regelung der Verdichtereintrittsüberhitzung heranzu-ziehen. Im Vergleich der beiden Überhitzungswerte reagiert die Verdampferaustrittsüberhitzung wesentlich schneller und ermöglicht so, Schwingungen des Kältekreises möglichst gering zu halten.

[0012] Die Taupunkttemperatur des Kältemittels ist druckabhängig und kann in Form von Kennlinien, genannt Nass-dampfkennlinie, tabelliert oder berechnet werden. Zur Regelung der Verdampferaustrittsüberhitzung kann daher ein Niederdruck im Verdampfer beispielsweise durch Einstellen eines Öffnungsgrades eines Drosselorgans eingeregelt werden.

[0013] Hierbei hat sich allerdings herausgestellt, dass beispielsweise Toleranzen der Nassdampfkennlinien, das heißt des Verlaufes der druckabhängigen Taupunkttemperatur, die zur Regelung der Verdampferaustrittsüberhitzung basie-rend auf einer Steuerung eines Öffnungsgrades einer Druckverringerungseinheit wie eines Expansionsventils verwendet

wird, vorliegen können, die eine zuverlässige Regelung der Verdichtereintrittsüberhitzung erschweren.

[0014] Vor diesem Hintergrund ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Regelverfahren für die eingangs genannte Kompressionskälteanlage vorzuschlagen, mit welchem die Regelung der Verdichtereintrittsüberhitzung verbessert wird.

[0015] Gelöst wird die Aufgabe durch die Verfahrensmerkmale des Anspruchs 1 sowie die Vorrichtungsmerkmale des Anspruchs 6.

[0016] Ein Regelwert wird in einer Inbetriebnahmephase des Dampfkompensationssystems abhängig von einer Regelabweichung einer Verdampferaustrittsüberhitzung beeinflusst, womit das Expansionsventil geregelt wird. Der Regelwert wird weiterhin nach der Inbetriebnahmephase, während eines eingefahrenen Betriebszustands des Dampfkompensationssystems, abhängig von einer Verdichtereintrittsüberhitzung bestimmt wird und das Expansionsventil wird nach der Inbetriebnahmephase abhängig von der ermittelten Verdampferaustrittsüberhitzung und der Verdichtereintrittsüberhitzung geregelt.

[0017] Eine Regelgröße der Verdampferaustrittsüberhitzung wird berechnet. Mit einem Zielwert für eine Verdampferaustrittsüberhitzung wird eine Regelabweichung Verdampferaustrittsüberhitzung berechnet. Eine Regelgröße Verdichtereintrittsüberhitzung wird berechnet. Mit einem Zielwert für eine Verdichtereintrittsüberhitzung wird eine Regelabweichung Verdichtereintrittsüberhitzung berechnet. Der Regelwert R wird aus einem gewichteten Einfluss der Regelabweichung Verdampferaustrittsüberhitzung und einem gewichteten Einfluss der Regelabweichung Verdichtereintrittsüberhitzung berechnet. Das Expansionsventil wird mit dem Regelwert geregelt.

[0018] Demnach kann bei Kältekreisen mit internem Wärmeübertrager zwischen dem Kältemittelpfad für unterkühltes Kältemittel nach Austritt aus dem wärmesenkseitigen Wärmeübertrager und dem Kältemittelpfad nach Austritt aus dem wärmequellenseitigen Wärmeübertrager und dem Verdichtereintritt, zur Regelung der Überhitzung des Kältemittels anteilig die Verdichtereintrittsüberhitzung als auch anteilig die Verdampferaustrittsüberhitzung einbezogen werden.

[0019] Diese Methode ermöglicht eine schnellere regeltechnische Reaktion auf Arbeitspunktänderungen des Kältekreis, weil die Reaktion der Verdampferaustrittsüberhitzung auf Störgrößen wie Betriebsart-/Betriebspunktänderungen kältekreisarbeitspunktabhängig bis zu 10 mal schneller erfolgt als die Reaktion der Verdichtereintrittsüberhitzung.

[0020] Deshalb wird die Regelabweichung der Verdampferausgangsüberhitzung anteilig meist stärker in die Regelung einbezogen als die Regelabweichung der Verdichtereintrittsüberhitzung, um die Gesamtreaktionszeit der Regelung zu optimieren.

[0021] Zur Erzielung eines möglichst hohen kältekreistechnischen Wirkungsgrades ist es ein Ziel, am Verdampferausgang eine möglichst niedrige Überhitzung auszuregulieren und die Überhitzung des Kältemittels möglichst vollständig in den internen Wärmeübertrager zu verlagern.

[0022] Somit wird der Sollwert für Verdampferausgangsüberhitzung immer in etwa in der Nähe von 0 Kelvin bezogen auf die Taulinie des Kältemittels eingestellt werden.

[0023] Allerdings ist es bei anteiliger Einbeziehung der Verdampferausgangsüberhitzung erforderlich, den jeweiligen auszuregulierenden Sollwert für Verdampferausgangsüberhitzung modellbasiert möglichst an den jeweiligen auszuregulierenden Sollwert für Verdichtereingangsüberhitzung anzupassen.

[0024] Abweichungen der Messgröße des Istwertes für Verdampferausgangsüberhitzung ergeben sich aber durch

- Toleranzen bei der Erfassung der Verdampferaustrittstemperatur,
- Toleranzen bei der Erfassung des Verdampfungsdruckes und der daraus erfolgenden Berechnung der Verdampfungs-
temperatur,
- Toleranzen bei der modellbasierten Berechnung des Druckabfalls zwischen Messstelle am Verdichtereingang und
Referenzort am Verdampferausgang,
- Mischungsverhältnisabweichungen der Zusammensetzung des Kältemittels bei Kältemitteln mit Temperaturleit.

[0025] Erfindungsgemäß wird nun ein Verfahren zur adaptiven Kompensation der bei jeder Wärmepumpe individuellen aber meist systematisch bedingten Toleranzen vorgeschlagen. Gemeint ist, dass die Toleranzen durch beispielsweise Bauteiltoleranzen hervorgerufen werden, die bei jeder Wärmepumpe zwar individuell sind, sich aber im Allgemeinen nicht täglich ändern.

[0026] Erfindungsgemäß wird eine Lösung vorgeschlagen, die Sollwerte für Verdampferausgangsüberhitzung und Sollwert für Verdampferausgangsüberhitzung so auszulegen, dass im eingeschwungenen Zustand der Überhitzungsregelung sowohl die Regelabweichung für die Verdampferausgangsüberhitzung als auch die Regelabweichung für die Verdichtereintrittsüberhitzung gleichermaßen Null sind.

[0027] Demnach wird in einem Aspekt der Erfindung vorgeschlagen, dass das Verfahren zum Regeln der Kompressionskälteanlage die folgenden Schritte enthält: Bestimmen eines Zielwertes der Verdampferaustrittsüberhitzung und

eines Zielwertes der Verdichtereintrittsüberhitzung, Berechnen eines Korrekturwertes basierend auf einer Regelabweichung der Verdichtereintrittsüberhitzung zu dem Zielwert der Verdichtereintrittsüberhitzung, Korrigieren des Zielwertes der Verdampferaustrittsüberhitzung mit dem berechneten Korrekturwert, Berechnen eines Regelwertes nach einer Inbetriebnahmephase der Kompressionskälteanlage abhängig von dem Zielwert der Verdampferaustrittsüberhitzung und dem Zielwert der Verdichtereintrittsüberhitzung, und Regeln des Expansionsventils auf Basis des Regelwertes.

[0028] Durch den Korrekturwert, mit dem der Zielwert der Verdampferaustrittsüberhitzung korrigiert wird, kann das erfindungsgemäße Verfahren auf Toleranzen der Nassdampfkennlinie reagieren und die Kompressionskälteanlage präziser regeln.

[0029] Toleranzen der Nassdampfkennlinie entstehen beispielsweise regelmäßig durch eine Entmischung von Kältemittelkomponenten bereits bei einem Befüllen der Kompressionskälteanlage in einem Fall, in dem ein aus mehreren Kältemitteln zusammengesetztes Kältemittel verwendet wird. Beispielsweise kann ein als R454C bekanntes Kältemittel, das üblicherweise eine Mischung aus 21,5% R32 und 78,5% R1235yf ist, verwendet werden.

[0030] Werden Kompressionskälteanlagen mit dem Kältemittel beispielsweise aus einem bereitgestellten Kältemittelbehälter befüllt, so ergibt sich bereits durch die Schwerkraft während des Befüllvorgangs eine Entmischung, die zu einer Abweichung der Zusammensetzung des Kältemittelgemisches in der Kompressionskälteanlage von der Zusammensetzung in dem Vorratsbehälter des Kältemittels führt. Anders ausgedrückt, auch wenn in einem Herstellungsprozess alle Kompressionskälteanlagen aus demselben Vorratsbehälter befüllt werden, stellen sich zwischen den Kompressionskälteanlagen unterschiedliche Mischungsverhältnisse der Kältemittelkomponenten ein. Diese Abweichungen der Anteile der Kältemittelkomponenten können bei einer Überhitzungsregelung bereits signifikante Auswirkungen auf die Nassdampfkennlinie haben, die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren korrigiert werden.

[0031] Vorzugsweise wird der Korrekturwert proportional zu einem Zeitintegral der Regelabweichung der Verdichtereintrittsüberhitzung zu dem Zielwert der Verdichtereintrittsüberhitzung berechnet.

[0032] Vorzugsweise wird der Korrekturwert in diskreten Zeitschritten um einen proportionalen Anteil der Regelabweichung der Verdichtereintrittsüberhitzung korrigiert.

[0033] Vorzugsweise wird der Korrekturwert auf einen zulässigen Wertebereich begrenzt.

[0034] Vorzugsweise wird der Zielwert der Verdampferaustrittsüberhitzung durch Addition des berechneten Korrekturwertes korrigiert.

[0035] Eine weitere vorteilhafte Methode ist es, die Addition zur Korrektur des Zielwertes der Verdampferaustrittsüberhitzung "invers" zu vollziehen, wobei zur Bildung der Regelabweichungen vom Sollwert der Istwert subtrahiert wird. Die Regelabweichung wird vorteilhaft durch Berechnung oder Bildung einer Differenz zwischen einem "Istwert" und einem "Sollwert" berechnet.

[0036] Gemäß einem vorteilhaften Verfahrensschritt wird die Verdampferaustrittsüberhitzung gegenüber der Verdichtereintrittsüberhitzung zur Ermittlung des Regelwertes mit einem Parameter gewichtet. Besonders vorteilhaft werden die Regelabweichungen einer Verdampferaustrittsüberhitzung oder der Verdichtereintrittsüberhitzung von einem Sollwert gewichtet.

[0037] In einem anderen vorteilhaften Verfahrensschritt erfolgt eine Gewichtung der Verdampferaustrittsüberhitzung gegenüber einer Gewichtung der Verdichtereintrittsüberhitzung zur Ermittlung der Regelgröße mittels eines Parameters. Besonders vorteilhaft werden die Regelabweichungen einer Verdampferaustrittsüberhitzung oder einer Verdichtereintrittsüberhitzung mit einem Sollwert gewichtet.

[0038] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird die Verdampferaustrittsüberhitzung aus einem Verdampferaustrittstemperaturmesswert, der mit einem Verdampferaustrittstemperatursensor gemessen wird, und aus einem Niederdruck, der mit einem Niederdrucksensor gemessen wird, ermittelt.

[0039] In einem weiteren bevorzugten Verfahrensschritt wird die Verdichtereintrittsüberhitzung aus einer Verdichtereintrittstemperatur, gemessen mit einem Verdichtereintrittstemperatursensor, und einem Niederdruck, der mit einem Niederdrucksensor gemessen wird, ermittelt.

[0040] In einem vorteilhaften Verfahrensschritt wird im Regler eine erste Regelabweichung der Verdichtereintrittsüberhitzung mit einer zweiten Regelabweichung der Verdampferaustrittsüberhitzung zu einer gesamt Regelabweichung berechnet und die gesamt Regelabweichung zur Einstellung des Expansionsventils verwendet.

[0041] Vorteilhaft wird das Verfahren so ausgeführt, dass der Parameter vorzugsweise nach der Inbetriebnahmephase gleitend geändert wird, insbesondere eine Wichtung der Verdichtereintrittsüberhitzung mit einem Einfluss von weniger als 20 % gegenüber der Verdampferaustrittsüberhitzung beginnt und auf die Ermittlung des Regelwertes die Wichtung dann ändernd, insbesondere ansteigend, berücksichtigt wird, insbesondere bis zu einer vorgegebenen Zielwichtung des Parameters. Besonders vorteilhaft wird während der Inbetriebnahmephase der Wichtungskoeffizient der Verdichtereintrittsüberhitzung auf einen gegenüber der Betriebsphase kleinen Wert zwischen 0 % und 20 % eingestellt und nach Ablauf der Inbetriebnahmephase steigt er rampenförmig mit der Zeit auf einen Zielwert für die Betriebsphase an.

[0042] In einer zeitlich begrenzten Inbetriebnahmephase nach einem Einschalten des Verdichters der Parameterwert vorteilhaft so gesteuert wird, dass die Gewichtung der Verdichtereintrittsüberhitzung zur Ermittlung der Regelgröße einen Einfluss von 0 % oder nahe 0 % hat, insbesondere unter 20 % hat. Damit wird ausschließlich oder maßgeblich

die Verdampferaustrittsüberhitzung in die Regelgröße einbezogen. In einer darauffolgenden Übergangsphase wird der Parameter P so gesteuert, dass die Gewichtung der Regelgröße der Verdichtereintrittsüberhitzung zur Ermittlung der Regelgröße bis zu einem Zielwert erhöht wird und in der darauffolgenden Betriebsphase die Gewichtung Verdichtereintrittsüberhitzung den Zielwert erreicht.

[0043] Weiterhin ist es von Vorteil, den Zielwert für die Gewichtung der Regelgröße abhängig von einer Verdichtereintrittsüberhitzung in Betriebsphasen im eingeschwungenen Zustand des Dampfkompensationssystem zu variieren.

[0044] Vorzugsweise weist das Kältemittel einen Temperaturlide auf, wobei das Kältemittel insbesondere R454C aufweist oder daraus besteht, und wobei die Kompressionskälteanlage insbesondere einem internen Wärmeübertrager zur Übertragung von Wärmeenergie des Kältemittels vor Eintritt in das Drosselorgan an das Kältemittel vor Eintritt in den Verdichter enthält. Dies ist insbesondere deshalb einschlägig, da bei Kältekreisen mit R454C leistungsstarke interne Wärmeübertrager zum Einsatz kommen.

[0045] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß ferner durch eine Kompressionskälteanlage sowie eine Wärmepumpe mit einer erfindungsgemäßen Kompressionskälteanlage gelöst.

[0046] Die erfindungsgemäße Kompressionskälteanlage eignet sich unabhängig von der Art der Wärmepumpe, beispielsweise Luft-/Wasser-, Sole-/Wasser-Wärmepumpen, und unabhängig von dem Ort der Aufstellung.

[0047] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen werden nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren erläutert. Hierbei zeigen:

Fig. 1 Wärmepumpe 100 mit einem Dampfkompensationskreislauf 200

Fig. 2 $\log p / h$ - Diagramm des Dampfkompensationsprozesses mit Rekuperator 250

Fig. 3 schematisch und exemplarisch Nassdampfkennlinien verschiedener Kältemittelmischungen und

Fig. 4 schematisch und exemplarisch eine Adaption eines Verdampferausgangsüberhitzungssollwertes

[0048] Fig. 1 zeigt schematisch und exemplarisch eine Wärmepumpe 100. Die Wärmepumpe 100 besteht im Wesentlichen aus einem eine Kompressionskälteanlage bildenden Dampfkompensationssystem 200, welches folgende Komponenten enthält:

- Einen Verdichter 210 zum Verdichten des überhitzten Kältemittels,
- einen Verflüssiger 220, mit einem kältemittelseitigem Verflüssigereintritt 221 und einem Verflüssigeraustritt 222 zur Übertragung von Wärmeenergie Q_H aus dem Dampfkompensationssystem 200 an ein Heizmedium eines Heizsystems 400, mit einem Heizmediumeneintritt 401, einem Heizmediumaustritt 402 und einer Heizmediumpumpe 410, zu einer Gebäudeheizung oder ein System zur Warmwassererhitzung,
- vorteilhaft einen Kältemittelsammler 260, welcher als Kältemittelreservoir zum Ausgleich von betriebsbedingungsabhängig unterschiedlich hohen Kältemittelmengenbedarfen verwendet wird,
- ein als Expansionsventil ausgebildetes Drosselorgan 230 zum Expandieren des Kältemittels,
- einen Verdampfer 240, mit einem Verdampfereintritt 241, zur Übertragung von Quellenenergie Q_Q aus einem Wärmequellsystem 300, mit einem Wärmequelleneintritt 320 und einem Wärmequellauslass 310, wobei das Wärmequellsystem 300 insbesondere ein Solesystem sein kann, welches Wärmeenergie Q_Q aus dem Erdreich aufnimmt oder ein Luftsystem, welches Wärmeenergie Q_Q aus der Umgebungsluft aufnimmt und an das Dampfkompensationssystem 200 abgibt oder eine beliebige andere Wärmequelle,
- einen Rekuperator als Beispiel eines optionalen internen Wärmeübertragers 250, welcher dazu bestimmt ist, innere Wärmeenergie Q_i zwischen dem vom Verflüssiger 220 zum Expansionsventil 230 strömenden Kältemittel auf das vom Verdampfer 240 zum Verdichter 210 strömende Kältemittel zu übertragen und
- ein Kältemittel, insbesondere ein Kältemittelgemisch aus wenigsten zwei Stoffen oder zwei Kältemitteln welches in einer Strömungsrichtung S_{HD} und S_{ND} durch den Dampfkompensationskreis 200 strömt, wobei im Dampfkompensationskreislauf 200 Kältemitteldampf durch den Verdichter 210 auf einen Hochdruck HD gebracht wird und zu einem Verflüssiger 220 geführt ist, wobei ein Hochdruckpfad mit der Hochdruckströmungsrichtung S_{HD} vom Verdichter 210 bis zum Expansionsventil 230 gebildet ist. Nach dem Expansionsventil 230 bis zum Verdichter 210 ist ein Niederdruckpfad mit einer Niederdruckströmungsrichtung S_{ND} des Kältemittels gebildet, in dem der Verdampfer

240 liegt.

[0049] Die folgend aufgelisteten Aktoren sind vorteilhaft zumindest teilweise mit dem Regler über eine Datenverbindung 510, die per Kabel, Funk oder andere Technologien erfolgen kann, verbunden: Verdichter 210, Heizmediumpumpe 410, Solepumpe 330, Expansionsventil 230, Verdichtereintrittstemperatursensor 501, Niederdrucksensor 502, Hochdrucksensor 503 Heißgastemperatursensor 504, Rekuperatoreintrittstemperatursensor 505 Rekuperatoraustrittstemperatursensor 506 und/oder Verdampferaustrittstemperatursensor 508. Zusätzlich oder alternativ kann ein in der Fig. 1 nicht gezeigter Verdampfereintrittstemperatursensor die Temperatur am Verdampfereinlass 241 bestimmen.

[0050] In dem in Fig. 1 gezeigten Beispiel ist die Wärmepumpe 100 als Sole-Wärmepumpe gezeigt. Natürlich sind analoge Betrachtungen und Vorteile mit Luft-/Wasser-Wärmepumpen erreichbar. Insbesondere bei Luft-Wärmepumpen ist anstelle des Solekreises mit Solepumpe 330 ein Ventilator/Lüfter als Wärmequelle angeordnet.

[0051] Der Verdichter 210 dient zur Kompression des überhitzten Kältemittels von einem Eintrittsanschluss 211 auf einen Verdichteraustrittsdruck P_{Va} bei einer Verdichteraustrittstemperatur entsprechend der Heißgastemperatur am Verdichteraustritt 212. Der Verdichter 210 enthält üblicher Weise eine Antriebseinheit mit einem Elektromotor, eine Kompressionseinheit und vorteilhaft kann der Elektromotor drehzahlvariabel betrieben werden. Die Kompressionseinheit kann als Rollkolbeneinheit, Scrollereinheit oder anders ausgeführt sein. Am Verdichteraustritt 212 ist das komprimierte überhitzte Kältemittel beim Verdichteraustrittsdruck P_{Va} auf einer höheren Drucklage, insbesondere einem Hochdruck HD, als am Eintrittsanschluss 211 mit einem Verdichtereintrittsdruck P_{Ve} , insbesondere einem Niederdruck ND, bei einer Verdichtereintrittstemperatur T_{Ve} , was den Zustand der Kältemitteltemperatur am Eintrittsanschluss 211 bei Eintritt in eine Kompressionskammer beschreibt.

[0052] Im Verflüssiger 220 erfolgt die Übertragung von Wärmeenergie Q_H vom Kältemittel des Dampfkomppressions-system 200 an ein Heizmedium des Wärmesenken-systems 400. Zunächst findet im Verflüssiger 220 die Enthitzung des Kältemittels statt, wobei überhitzter Kältemitteldampf durch eine Temperaturreduzierung einen Teil seiner Wärme-energie an das Heizmedium des Wärmesenken-systems 400 überträgt.

[0053] Nach der Enthitzung des Kältemitteldampfes erfolgt vorteilhaft im Verflüssiger 220 eine weitere Wärmeüber-tragung Q_H durch Kondensation des Kältemittels beim Phasenübergang von der Gasphase des Kältemittels auf die Flüssigphase des Kältemittels. Dabei wird weitere Wärme Q_H vom Kältemittel aus dem Dampfkompensionssystem 200 an das Heizmedium des Wärmesenken-systems 400 übertragen.

[0054] Der sich im Verflüssiger 220 einstellende Hochdruck HD des Kältemittels korrespondiert im Betrieb des Ver-dichters 210 in etwa mit einem Kondensationsdruck des Kältemittels bei einer Heizmediumtemperatur T_{ws} im Wärmesenken-system.

[0055] Das Heizmedium, insbesondere Wasser, wird mittels einer Heizmediumpumpe 410 durch das Wärmesenken-system 400 in einer Richtung SW durch den Verflüssiger 220 gefördert, dabei wird die Wärmeenergie Q_H vom Kältemittel auf das Heizmedium übertragen.

[0056] Im nachfolgenden Sammler 260 wird aus dem Verflüssiger 220 austretendes Kältemittel gespeichert, welches abhängig vom Betriebspunkt des Dampfkompensionskreises 200 nicht in das zirkulierende Kältemittel eingespeist werden soll. Wird aus dem Verflüssiger 220 mehr Kältemittel eingespeist, als durch das Expansionsventil 230 weiter-geleitet wird, füllt sich der Sammler 260, anderenfalls wird er leerer oder entleert.

[0057] Im nachfolgenden Rekuperator 250, der auch als interner Wärmeübertrager bezeichnet werden kann, wird interne Wärmeenergie Q_i vom unter dem Hochdruck HD stehenden Kältemittel, welches vom Verflüssiger 220 zum Expansionsventil 230 in einer Hochdruck-Strömungsrichtung S_{HD} strömt, auf das unter dem Niederdruck ND strömende Kältemittel übertragen, welches vom Verdampfer zum Verdichter in einer Niederdruckströmungsrichtung S_{ND} strömt, übertragen. Dabei wird das vom Verflüssiger zum Expansionsventil 230 strömende Kältemittel in vorteilhafter Weise unterkühlt.

[0058] Zunächst strömt das Kältemittel durch einen Expansionsventileintritt 231 in das Expansionsventil ein. Im Ex-pansionsventil 230 erfolgt eine Drosselung des Kältemitteldruckes vom Hochdruck HD auf den Niederdruck ND, indem das Kältemittel vorteilhaft eine Düsenanordnung oder Drossel mit einem vorteilhaft variablen Öffnungsquerschnitt pas-siert, wobei der Niederdruck vorteilhaft in etwa ein Saugdruck des Verdichters 210 entspricht. Anstelle eines Expan-sionsventils 230 kann auch eine andere beliebige Druckminderungseinrichtung eingesetzt sein. Vorteilhaft sind Druck-minderungsrohre, Turbinen oder andere Entspannungsvorrichtungen.

[0059] Ein Öffnungsgrad des Expansionsventils 230 wird durch einen Elektromotor, der üblicherweise als Schrittmotor ausgeführt ist eingestellt, welcher durch die Steuereinheit oder Regelung 500 gesteuert wird. Dabei wird der Niederdruck ND beim Expansionsventilaustritt 232 des Kältemittels aus dem Expansionsventil 230 so gesteuert, dass der sich ein-stellende Niederdruck ND des Kältemittels im Betrieb des Verdichters 210 in etwa mit dem Verdampfungsdruck des Kältemittels mit der Wärmequellenmedientemperatur T_{WQ} korrespondiert. Vorteilhaft wird die Verdampfungstemperatur des Kältemittels wenige Kelvin unterhalb der Wärmequellenmedientemperatur T_{WQ} liegen, damit die Temperaturdiffe-renz eine Wärmeübertragung treibt.

[0060] Im Verdampfer erfolgt eine Übertragung von Verdampfungswärmeenergie Q_v vom Wärmequellenfluid des

Wärmequellensystems 300, welches ein Solesystem, ein Erdwärmesystem zur Nutzung von Wärmeenergie Q_Q aus dem Erdreich, ein Luftsystem zur Nutzung von Energie Q_Q aus der Umgebungsluft oder eine andere Wärmequelle sein, die die Quellenergie Q_Q an das Dampfkompensationssystem 200 abgibt.

[0061] Das in den Verdampfer 240 einströmende Kältemittel reduziert beim Durchströmen des Verdampfers 240 durch Wärmeaufnahme Q_Q seinen Nassdampfanteil und verlässt den Verdampfer 240 vorteilhaft mit einem geringen Nassdampfanteil oder vorteilhaft auch als überhitztes gasförmiges Kältemittel. Das Wärmequellenmedium wird mittels einer Solepumpe 330 bei Sole - Wasser-Wärmepumpen oder einem Außenluftventilator bei Luft/Wasser-Wärmepumpen durch den Wärmequellenmedienpfad des Verdampfers 240 gefördert, wobei beim Durchströmen des Verdampfers dem Wärmequellenmedium die Wärmeenergie Q_Q entzogen wird.

[0062] Im Rekuperator 250 wird Wärmeenergie Q_i zwischen dem vom Verflüssiger 220 zum Expansionsventil 230 strömenden Kältemittel auf das vom Verdampfer 240 zum Verdichter 210 strömende Kältemittel übertragen, wobei das vom Verdampfer 240 zum Verdichter 210 strömende Kältemittel insbesondere weiter überhitzt.

[0063] Dieses überhitzte Kältemittel, welches mit einer Überhitzungstemperatur T_{ke} aus dem Rekuperator 250 austritt, wird zum Kältemittelintrittsanschluss 211 des Verdichters 210 geleitet.

[0064] Der Rekuperator 250 ist im Dampfkomppressionskreis 200 eingesetzt, um den Gesamt - Wirkungsgrad als Quotient aus abgegebener Heizleistung Q_H und aufgenommener elektrischer Leistung P_e zum Antrieb des Verdichtermotors zu erhöhen.

[0065] Zu diesem Zweck wird dem Kältemittel, welches im Verflüssiger 220 Wärmeenergie Q_H auf einem wärmesenkseitigen Temperaturniveau an das Heizmedium abgibt, im Hochdruckpfad des Rekuperators 250 durch Unterkühlung weitere Wärmeenergie Q_i entzogen.

[0066] Der innere Energiezustand des Kältemittels beim Eintritt in den Verdampfer 240 ist durch diesen Wärmeentzug Q_i reduziert, sodass das Kältemittel bei gleichem Verdampfungstemperaturniveau mehr Wärmeenergie Q_Q aus der Wärmequelle 300 aufnehmen kann.

[0067] Anschließend wird dem Kältemittel, nach dem Verdampferaustritt 242 aus dem Verdampfer 240, im Niederdruckpfad bei Niederdruck ND und bei einer Niederdrucktemperatur entsprechend einer Verdampferaustrittstemperatur T_{va} im Rekuperator 250 die im Hochdruckpfad entzogene Wärmeenergie Q_i wieder zugeführt. Die Zuführung der Energie bewirkt vorteilhaft eine Reduzierung des Nassdampfanteils auf einen Zustand ohne Nassdampfanteil und dann erfolgt durch weitere Energiezuführung eine Überhitzung.

[0068] Des Weiteren sind zur Erfassung des Betriebszustandes des Dampfkompensationssystems 200 vorteilhaft folgende Sensoren angeordnet, mit denen insbesondere zur Absicherung und Optimierung der Betriebsbedingungen des Dampfkompensationssystems 200 insbesondere bei Betriebszustandsänderungen eine modellbasierte Vorsteuerung umgesetzt ist.

[0069] Einerseits erfolgt vorteilhaft mit Hilfe der durch Sensoren erfassten Prozesswerte eine Absicherungen bezüglich zulässiger Arbeitsbereiche der Komponenten wie insbesondere dem Verdichter 210, andererseits erfolgen basierend auf den Sensordaten modellbasierte Vorsteuerungen insbesondere einer Drehzahl des Verdichters 210 und/oder einem Ventilöffnungsgrad des Expansionsventils, so dass die Regler zur Ausregelung einer sich dennoch, durch die Vorsteuerung aber kleineren, Regelabweichung nur noch kleinere Korrekturen durchführen muss:

- Ein Hochdrucksensor 503 vorteilhaft zur Erfassung des Hochdrucks HD des Kältemittels am Verdichteraustritt 212 oder zwischen dem Verdichteraustritt 212 und dem Expansionsventileintritt 231,
- ein Heißgastemperatursensor 504 vorteilhaft zur Erfassung einer Heißgastemperatur T_{HG} des Kältemittels am Verdichteraustritt 212, oder im Kältekreisabschnitt zwischen dem Verdichteraustritt 212 und dem Verflüssigereintritt 221,
- ein Innentemperatursensor 506 vorteilhaft zur Erfassung der Innentemperatur T_{ie} des Kältemittels zwischen dem hochdruckseitigem internen Rekuperatorauslass 252 des Kältemittels aus dem Rekuperator 250 und dem Expansionsventileintritt 231. Die Innentemperatur ist vorteilhaft auch als "Rekuperatoraustrittstemperatur Hochdruckpfad" benannt und
- vorteilhaft ein Rekuperatorinnentemperatursensor 505. Der Rekuperatorinnentemperatursensor 505 erfasst vorteilhaft Verflüssigeraustrittstemperatur T_{FA} des Kältemittel in der Strömungsrichtung am Verflüssigeraustritt oder dem hochdruckseitigen Rekuperatoreintritt und daher wird vorteilhaft die Verflüssigeraustrittstemperatur T_{FA} vom Rekuperatorinnentemperatursensor 505 gemessen.

[0070] Die folgenden Sensoren sind insbesondere für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorteilhaft:

- Ein Niederdrucksensor 502 zur Erfassung des Niederdrucks ND des Kältemittels am Verdichtereintritt 211, oder

zwischen dem Expansionsventil 230 und dem Verdichtereintritt 211,

- ein Verdampferaustrittstemperatursensor 508 zur Erfassung der Verdampferaustrittstemperatur T_{Va} des Kältemittels am Verdampferaustritt 242 oder zwischen dem Verdampferaustritt 242 und dem niederdruckseitigen Eintritt des Kältemittels in den Rekuperatoreinlass 251 des Rekuperators 250 und
- ein Niederdrucktemperatursensor 501 misst vorteilhaft eine Verdichtereintrittstemperatur oder dient vorteilhaft zur Erfassung der Kältemittelniederdrucktemperatur T_{ND} oder vorteilhaft einer Verdichtereintrittstemperatur T_{KE} am Verdichtereintritt 211, oder zwischen dem niederdruckseitigem Rekuperatorauslass 252 des Kältemittels aus dem Rekuperator 250 und dem Verdichtereintritt 211.

[0071] Die Prozessgröße, welche einen maßgeblichen Einfluss auf den Gesamt - Wirkungsgrad des Dampfkomppressionskreises 200 als Quotient zwischen der vom Dampfkomppressionskreis 200 übertragenen Heizleistung Q_H zu einer vom Verdichter 210 aufgenommenen elektrischen Leistung P_e hat, ist die Überhitzung des Kältemittels am Verdichtereintritt 211. Zur Einhaltung zulässiger Verdichter - Betriebsbedingungen werden vorteilhaft allerdings Beschränkungen bezüglich des erlaubten Überhitzungsbereiches des Kältemittels am Verdichtereintritt eingehalten. Zu niedrige Überhitzungen gefährden insbesondere die Schmiereigenschaften des Maschinenöls, zu hohe Überhitzungen bewirken insbesondere eine zu hohe Heißgastemperatur.

[0072] Die Überhitzung beschreibt die Temperaturdifferenz zwischen der erfassten Verdichtereintrittstemperatur T_{KE} des Kältemittels und der Verdampfungstemperatur des Kältemittels bei gesättigtem Dampf.

[0073] Erfindungsgemäß wird vorzugsweise die Verdichtereintrittsüberhitzung derart geregelt, dass kein Kondensat durch Taupunktunterschreitung des in der Umge-5 bungsluft enthaltenden Wasserdampfanteils an Komponenten des Kältekreises insbesondere im Abschnitt zwischen Kältemittelaustritt des Rekuperators 252 und Verdichtereintritt 211 ausfällt. Der Kältekreisabschnitt zwischen Verdampferaustritt 242 und Rekuperatoreintritt 251 ist zwar üblicherweise kälter, weil dieser typischerweise nur ein kurzer Rohrabschnitt ist, ist eine bessere Isolierung im Vergleich zu dem Abschnitt zwischen Kältemittelaustritt des Rekuperators 252 und Verdichtereintritt 211 möglich. Beispielsweise sitzt an der Stelle des Verdichtereintritts 211 am Verdichter der Kältemittelabscheider, der geschützt werden soll. Dieser kann schlecht eingehaust werden, so dass hier die Temperatur so hochgehalten werden soll, dass nichts kondensiert. Die Problematik der Kondensation tritt auf der Hochdruckseite im Regelfall nicht auf. Auch die Passage zwischen hochdruckseitigem Rekuperatoraustritt 252 und Eintritt in das Expansionsventil 231 kühlt regelmäßig in Abhängigkeit des Betriebspunktes bei idealen Wärmeübertragungsbedingungen im Rekuperator 250 auf das Temperaturniveau des Kältemittels am Verdampferaustritt 242 ab. Da aber auch diese Passage typischerweise kurz ist und man kann sie sehr gut isolieren kann, ist auch dieser Abschnitt im Regelfall nicht problematisch. Es sollte jedoch beachtet werden, dass das erfindungsgemäße Verfahren einen Kondensatabfall grundsätzlich über den gesamten Kreislauf der Wärmepumpe verhindern kann.

[0074] Wenn - zum Zwecke eines Zahlenbeispiels - ein Verdampfungstemperaturniveau von ca. -10°C angenommen wird und die Temperatur am Soleeintritt 330 bei etwa -10°C , am Soleaustritt 310 etwa -13°C und am Verdichtereintritt 5°C beträgt, beträgt die Überhitzung 15K. Vorteilhaft sind bei vielen Anlagen Raumtemperatursensor und Raumfeuchtesensor, die eine genaue Bestimmung der Auskondensierungsbedingungen der Luft ermöglicht, bspw. liegt bei 21°C und 60% rel. Feuchte die Kondensationstemperatur im Bereich von 13°C . Unter diesen Bedingungen findet also, so lange die Rohrtemperatur über 13°C zuzüglich gegebenenfalls einen Puffer, bspw. 1K, keine Kondensation statt.

[0075] An dem selbstverständlich nicht einschränkenden Zahlenbeispiel festgehalten wird nun die Erzielung einer Überhitzung von 15K bei einer Verdichtereintrittstemperatur von 5°C erreicht. Diese Temperatur liegt unter den 13°C , die für die aktuellen Umgebungsbedingungen als Kondensationstemperatur des in der Umgebungsluft befindlichen Wasserdampfanteils bestimmt ist. Demnach findet Kondensation statt. Soll die Verdichtereintrittstemperatur wenigstens 14°C , d.h. Kondensationstemperatur plus Puffer, betragen, muss die Überhitzung um 9K größer werden, d.h. eine Überhitzung von 24K eingehalten werden.

[0076] Grenzwerte, insbesondere für die Überhitzung, legen arbeitspunktabhängig den zulässigen Überhitzungsbereich der Komponenten am Verdichtereintritt 211 fest. Weiterhin bestehen aber auch Abhängigkeiten zwischen der Verdichtereintrittsüberhitzung dT_{UE} und dem Gesamtwirkungsgrad des Dampfkomppressionskreises 200 oder auch zwischen Verdichtereintrittsüberhitzung dT_{UE} und einer Stabilität S eines Regelwertes R vorteilhaft bei der Ausregelung der Verdichtereintrittsüberhitzung.

[0077] Zur Berücksichtigung all dieser Anforderungen werden vorteilhaft in Abhängigkeit des Arbeitspunktes des Dampfkomppressionskreises 200, die Wärmequellenmedientemperatur, die Heizmediumtemperatur, die Verdichterleistung P_e und Zielwerte Z oder der Zielwert Z für eine Berechnung der Verdichtereintrittsüberhitzung dT_{UE} herangezogen. Alternativ oder zusätzlich kann aus den vom Arbeitspunkt abhängigen Kältekreis-Messgrößen wie Wärmequellenmedientemperatur, Heizmediumtemperatur, Verdichterleistung P_e und parametrierbaren, also an das Verhalten der jeweiligen Kältekreis-komponenten angepasste Koeffizienten eine Berechnung des Zielwertes Z als Vorgabewert für die Ver-

dichtereintrittsüberhitzung $dT_{\dot{U}E}$ durchgeführt werden. Im einfachsten Fall ist der Zielwert für die Verdichtereintrittsüberhitzung $dT_{\dot{U}E}$ unabhängig von allen Betriebsbedingungen konstant, z.B. 10 Kelvin. Bei einer komplexeren Anpassung wird er als Funktion einer Arbeitspunktgröße, z.B. der Verdichterleistung P_e variiert oder bei noch komplexerer Anpassung variiert er als Funktion mehrerer Arbeitspunktgrößen.

[0078] Es wird eine Regelabweichung der Verdichtereintrittsüberhitzung $dT_{\dot{U}E}$ und eine Regelabweichung der Verdampferaustrittsüberhitzung $dT_{\dot{U}A}$ miteinander gewichtet kombiniert, woraus im Regler 500 eine Gesamtregelabweichung berechnet wird, welche zur Regelung des Dampfkomppressionskreises 200 eingespeist wird. Vorteilhaft präziser werden zunächst die Regelabweichungen von der Verdichtereintrittsüberhitzung $dT_{\dot{U}E}$ und Verdampferaustrittsüberhitzung $dT_{\dot{U}A}$ durch die Bildung der Differenzen zwischen den jeweiligen Messwerten und Zielwerten gebildet.

- Regelabweichung der Verdichtereintrittsüberhitzung $dT_{\dot{U}E} = \text{Messwert Verdichtereintrittsüberhitzung} - \text{Zielwert Verdichtereintrittsüberhitzung } Z_{T\dot{U}E}$
- Regelabweichung der Verdampferaustrittsüberhitzung $dT_{\dot{U}A} = \text{Messwert Verdampferaustrittsüberhitzung} - \text{Zielwert Verdampferaustrittsüberhitzung } Z_{T\dot{U}A}$

[0079] Dann wird vorteilhaft aus dem gewichteten Einfluss von der Regelabweichung der Verdichtereintrittsüberhitzung $dT_{\dot{U}E}$ und dem gewichteten Einfluss der Regelabweichung der Verdampferaustrittsüberhitzung $dT_{\dot{U}A}$ im Regler 500 die Gesamtregelabweichung berechnet, welche zur Regelung des Dampfkomppressionskreises 200 eingespeist wird.

[0080] Beim Dampfkomppressionskreis 200 passiert das Kältemittel nach der Entspannung durch das Expansionsventil 230 zwei sequentiell angeordnete Wärmeübertrager, den Verdampfer 240 und den Rekuperator 250 in welchen dem Kältemittel Wärmeenergie Q_Q und Q_i zugeführt wird.

[0081] Im Verdampfer 250 wird dem Kältemittel Quellwärmeenergie Q_Q aus dem Wärmequellsystem 300 zugeführt. Das Temperaturniveau der zugeführten Quellwärme Q_Q ist auf einem Temperaturniveau der Wärmequelle, insbesondere wie des Erdreiches oder der Außenluft.

[0082] In dem in Kältemittel Hochdruck-Strömungsrichtung S_{HD} nachfolgenden Rekuperator 250 wird dem Kältemittel Wärmeenergie Q_i nach Verlassen des Verflüssigers 220 entzogen. Das Temperaturniveau des Kältemittels am Austritt des Verflüssigers stellt sich in etwa auf Höhe der Rücklauftemperatur des Heizmediums ein.

[0083] Diese Verschaltung des Verdampfers 240 mit dem Rekuperator 250 in Reihe hat einen entscheidenden Einfluss auf die Übertragungsfunktion der Regelstrecke für die Regelung Verdichtereintrittsüberhitzung $dT_{\dot{U}E}$.

[0084] Der Regelwert R ist vorteilhaft die gewichtete Verknüpfung der Regelabweichung der Verdichtereintrittsüberhitzung $dT_{\dot{U}E}$ mit der Regelabweichung der Verdampferaustrittsüberhitzung.

[0085] Aktor-Betriebszustandsgrößen mit einem Einfluss auf den Regelwert R, insbesondere der Verdichtereintrittsüberhitzung $dT_{\dot{U}E}$, sind im betreffenden Dampfkomppressionskreis 200 die Verdichterzahl und/oder den Öffnungsgrad des Expansionsventils 230, womit auch vorteilhaft der Niederdruck ND und das Verdampfungstemperaturniveau bestimmt sind.

[0086] Besonders vorteilhaft haben Aktoren Einfluss auf den Regelwert R, insbesondere auf die gewichtete Verknüpfung der Regelabweichung der Verdichtereintrittsüberhitzung mit der Regelabweichung der Verdampferaustrittsüberhitzung. Im betreffenden Dampfkomppressionskreis 200 sind insbesondere der Verdichter 210 durch die Variation der Verdichterzahl und das Expansionsventil 230 durch Beeinflussung des Öffnungsgrades solche Aktoren. Diese beiden Aktoren beeinflussen den Niederdruck ND und das Verdampfungstemperaturniveau.

[0087] Hierbei sind nicht alle Einflüsse gewünscht. So verändert beispielsweise eine Änderung der Verdichterzahl zur Einregelung der gewünschten Heizleistung ohne weitere kompensatorische Änderungen des Öffnungsgrades des Expansionsventils den Regelwert R in unerwünschte Bereiche, sodass eine mit der Verdichterzahländerung einhergehende modellbasiert unterstützte Öffnungsgradänderung des Expansionsventils zur Einregelung von R vorteilhaft, gegebenenfalls sogar erforderlich ist.

[0088] Vorteilhaft wird im Dampfkomppressionskreis 200 die Verdichterzahl so eingestellt, dass die vom Dampfkomppressionskreis 200 an das Heizmedium übertragene Heizleistung Q_H dem angeforderten Zielwert Z entspricht. Zur Einhaltung dieser Vorgabe ist eine Beeinflussung der Verdichterzahl zur Regelung der Verdichtereintrittsüberhitzung $dT_{\dot{U}E}$ vorteilhaft untergeordnet oder nicht angebracht.

[0089] Vorteilhaft wird der Öffnungsgrad des Expansionsventils 230 als Stellwert für die Regelung der Verdichtereintrittsüberhitzung $dT_{\dot{U}E}$ verwendet. Der Einfluss des Öffnungsgrades des Expansionsventils 230 auf die Verdichtereintrittsüberhitzung $dT_{\dot{U}E}$ vollzieht sich wie folgt:

Das Expansionsventil 230 agiert als Düse mit elektromotorisch verstellbarem Düsenquerschnitt, bei welchem üblicherweise mittels eines Schrittmotor eine nadelförmige Düsennadel per Gewinde in einen Düsensitz gefahren wird.

[0090] Der Kältemitteldurchsatz durch das Expansionsventil ist bei Betrieb mit flüssigem Kältemittel am Expansionsventileintritt 231 in etwa proportional zur Quadratwurzel des Druckunterschiedes zwischen dem Expansionsventileintritt 231 und -austritt 232 multipliziert mit einem aktuellen relativen Wert des Düsenquerschnitts oder Öffnungsgrads und

vorteilhaft einer vom Kältemittel - und einer Geometrie des Expansionsventils 230 abhängigen Konstante.

[0091] Da bei einer in einem Arbeitspunkt mit einer als konstant angenommenen Verdichterdrehzahl und einer als konstant angenommenen Heizmediumtemperatur T_{ws} auch der korrespondierende Hochdruck HD des Kältemittels beim Eintritt in das Expansionsventil 230 als konstant angenommen werden kann, beeinflusst der Öffnungsgrad des Expansionsventil 230 maßgeblich nur den Niederdruck ND, also des Austrittsdruck aus dem Expansionsventil 230.

[0092] Wird der Öffnungsgrad des Expansionsventils 230 verringert, so passiert weniger Kältemittel bei konstantem Hochdruck HD und zunächst noch konstantem Niederdruck ND das Expansionsventil 230. Da der Verdichter 210 aber weiterhin zunächst den gleichen Kältemittelmassenstrom fördert, wird in Hochdruck-Strömungsrichtung S_{HD} durch das Expansionsventil 230 weniger Kältemittel zugeführt, als vom Verdichter 210 abgesaugt wird.

[0093] Da es sich bei Kältemitteldampf um ein kompressibles Medium handelt, sinkt dann der Niederdruck ND auf der Niederdruckseite des Dampfkomppressionskreises 200. Bei sinkendem Niederdruck ND sinkt in etwa proportional der Massenstrom von Kältemittel durch den Verdichter 210, da dessen Förderleistung sich angenähert als Rauminhalt / Zeit beschreiben lässt, bedingt durch insbesondere die Kolbenhübe, und es stellt sich ein entsprechend reduzierter Niederdruckwert ND ein, bei welchem der durch das Expansionsventil 230 zugeführte Kältemittelmassenstrom gleich dem vom Verdichter 210 abgeführten Kältemittelmassenstrom ist.

[0094] Wird der Öffnungsgrad des Expansionsventils 230 vergrößert, so passiert mehr Kältemittel bei konstantem Hochdruck HD und zunächst noch konstantem Niederdruck ND das Expansionsventil 230. Da der Verdichter 210 aber weiterhin zunächst den gleichen Kältemittelmassenstrom fördert, wird der Niederdruckseite ND des Kältekreises durch das Expansionsventil 230 mehr Kältemittel zugeführt, als vom Verdichter 210 abgesaugt wird. Da es sich beim Kältemitteldampf um ein kompressibles Medium handelt, steigt der Niederdruck ND auf der Niederdruckseite des Dampfkomppressionskreises 200. Bei steigendem Niederdruck ND steigt die Massenstromförderleistung des Verdichters 210 in etwa proportional, da dessen Förderleistung sich angenähert als Rauminhalt / Zeit beschreiben lässt, und es stellt sich ein entsprechend erhöhter Niederdruck ND ein, bei welchem der durch das Expansionsventil 230 zugeführte Kältemittelmassenstrom gleich dem vom Verdichter 210 abgeführten Kältemittelmassenstrom ist.

[0095] Der Niederdruck ND wiederum beeinflusst maßgeblich die Wärmeübertragung zwischen Wärmequellenmedium und Kältemittel im Verdampfer 240. Der Wärmestrom Q_Q aus dem Wärmequellenmedium 300 wird zwischen dem Wärmequellenmedium und dem Kältemittel mit unterschiedlicher Temperatur übertragen, wobei der Wärmestrom Q_Q dabei abhängig vom der Temperaturdifferenz zwischen dem Wärmequellenmedium und dem Kältemittel und dem Wärmeübergangswiderstand einer Wärmeübertragungsschicht des Verdampfers 240 ist.

[0096] Der Wärmeübergangswiderstand zwischen Wärmequellenmedienpfad des Verdampfers und Kältemittelpfad des Verdampfers ist in einem jeweiligen Dampfkomppressionskreis 200 als in etwa konstant anzunehmen. Daher ist die Größe der Wärmeübertragungsleistung im Verdampfer 240 maßgeblich abhängig vom Integral der Temperaturdifferenzen aller Flächenelemente der Wärmeübertragungsschicht.

[0097] Um ein hinreichendes Maß von Wärmeenergie Q_Q vom Wärmequellenmedium 300 an das Kältemittel übertragen zu können, muss sichergestellt sein, dass die Temperatur des Wärmequellenmediums in möglichst allen Flächenelementen der Übertragungsschicht des Wärmeübertragers, hier des Verdampfers 240, größer ist als die Temperatur des Kältemittels am jeweiligen Flächenelement ist.

[0098] Ist der Aggregatzustand des Kältemittels beim Durchströmen des Verdampfers 240 gesättigter Dampf, so stellt sich eine Kältemitteltemperatur ein, welche durch die Sättigungsdampfkennlinie als Stoffeigenschaft des Kältemittels eine Funktion des Niederdrucks ND des Kältemittels ist. Somit lässt sich durch eine Steuerung des Niederdruckes ND oder auch eines Verdampfungsdruckes indirekt eine Steuerung der Verdampfungstemperatur des Kältemittels beim Durchströmen des Rekuperators 250 steuern.

[0099] Die Wärmeenergie Q_Q , welche vom Wärmequellenmedium an das den Verdampfer 240 durchströmende Kältemittel übertragen wird, bewirkt eine Aggregatzustandsbeeinflussung des Kältemittels.

[0100] Der Nassdampfanteil im gesättigten Kältemitteldampf nimmt bei konstantem Niederdruck bei Wärmeübertragung an das Kältemittel ab. Bei einer unvollständigen Verdampfung ist der Nassdampfanteil und damit auch der innere Energiezustand des Kältemittels beim Austritt aus dem Wärmeübertrager eine Funktion vom:

- Nassdampfanteil bei Eintritt in den Verdampfer 240,
- Kältemittelmassenstrom,
- Übertragener Wärmeleistung Q_Q , und von einer
- Enthalpiedifferenz im Nassdampfgebiet beim jeweiligen Niederdruck ND, welche das Kältemittel als Stoffkonstante als Funktion des Drucks aufweist.

[0101] Zur vollständigen Verdampfung erfolgt eine zusätzliche Energiezuführung im Rekuperator 250, um das Kälte-

mittel über den Zustand gesättigten Dampfes hinaus zu überhitzen.

[0102] Mit dem Verfahren wird bei gegebenen Betriebsbedingungen des Dampfkomppressionskreises 200 in Abhängigkeit der Stellgröße "Öffnungsgrad Expansionsventil 230" ein korrespondierender Kältemittelzustand beim Austritt aus dem Verdampfer 240 eingestellt.

[0103] Im eingeschwungenen Zustand ergibt sich hinsichtlich einer Regeltreckensteilheit der "isolierten" Regelstrecke "Verdampfer 240" ein Regelstreckenverhalten mit moderater Steilheit. Das Regelstreckenverhalten ist insbesondere gekennzeichnet durch Regelstreckenausgangswertes Verdampferaustrittsüberhitzung als Funktion des Regelstreckeneingangswertes Expansionsventilöffnungsgrad.

[0104] Vorteilhaft wird ein Kältemittel, insbesondere als Kältemittel ein Kältemittelgemisch verwendet, welches einen "Temperaturglide" aufweist, insbesondere wird vorteilhaft R454C verwendet. Vorteilhaft wird bei einem Kältemittelgemisch mit einem Temperaturglide, sich bei einer relativen Öffnungsgradänderung des Stellorgans Expansionsventil von 1 % rel. am Austritt des Kältemittels aus dem Verdampfer üblicherweise eine Überhitzungsänderung von etwa kleiner 1 K eingestellt.

[0105] Die Einstellung dieses Zustandes erfolgt vorteilhaft auch durch eine regelungstechnische Beeinflussung wenigstens einer oder mehrerer der verschiedenen folgenden Zeitkonstanten; die letztendlich die Prozessgröße Kältemittelüberhitzung am Verdampferaustritt 242 beeinflussen:

- Eine erste Zeitkonstante bewirkt vorteilhaft eine Verzögerung der mechanischen Öffnungsgradänderung des Expansionsventils 230 durch die Begrenzung der Verfahrensgeschwindigkeit durch den Regler 500, der Regelwert R wird in dieser ersten Zeitkonstante Z in der Verfahrensgeschwindigkeit durch einen Bremswert reduziert. Der Bremswert kann beispielsweise die reglertechnische Zykluszeit, in welcher ein Verfahrensschritt des Expansionsventils 230 gesteuert wird, umfassen.
- Eine zweite Zeitkonstante wirkt durch den Regler 500 vorgegeben vorteilhaft auf eine verzögerte Einstellung eines korrespondierenden Niederdruckes bei Öffnungsgradänderungen des Expansionsventils 230 aufgrund der Kompressibilität des Kältemitteldampfes bei Niederdruck ND im Niederdruckpfad.
- Eine dritte Zeitkonstante ist vorteilhaft eine thermische Zeitkonstante der Wärmeübertragungsschicht des Verdampfers 240, wobei eine Änderung des Verdampfungsdruckes und damit der Verdampfungstemperatur eine verzögerte Temperaturänderung der Wärmeübertragungsschicht des Verdampfers, welcher oft mehrere Kilogramm Metall hat und des Wärmequellenmediums.
- Eine vierte Zeitkonstante ergibt sich vorteilhaft aus verzögerten Aggregatzustandsänderungen des Kältemittels bei Verdampfungstemperaturänderungen.
- Eine fünfte Zeitkonstante ergibt sich vorteilhaft aus dem Transport des Kältemittels durch den Verdampfer 240 mit einer endlichen Strömungsgeschwindigkeit.

[0106] Es stellt sich also vorteilhaft nach Änderung der Stellgröße "Öffnungsgrad des Expansionsventils 230" eine Verzögerung der korrespondierenden Kältemittelzustandsänderung beim Austritt aus dem Verdampferaustritt 242 ein und eine Gesamtzeitkonstante Z_{ges} liegt arbeitspunktabhängig vorteilhaft im Bereich von 30 Sekunden bis etwa 5 Minuten.

[0107] Nach Durchströmung des Verdampfers 240 tritt das Kältemittel bei Niederdruck ND in den Niederdruckpfad des Rekuperators 250 ein.

[0108] Der Aggregatzustand des Kältemittels beim Einströmen in den Rekuperators 250 ist in einem üblichen Betriebsfall, also vorteilhaft entweder gesättigter Dampf mit einem geringem Dampfanteil zwischen 0 bis 20 % oder insbesondere auch vorteilhaft auch bereits überhitztes Kältemittel.

[0109] Bei vorteilhaft gesättigtem Dampf stellt sich eine Kältemitteltemperatur ein, welche durch die Sättigungsdampf-kennlinie des Kältemittels eine Funktion des Kältemitteldruckes ist. Bei Eintritt von überhitztem Kältemittel wird die Kältemitteltemperatur maximal eine Größe annehmen, welche der Eintrittstemperatur des Wärmequellenmediums entspricht. In diesem Fall entspricht die Größe vorzugsweise der Eintrittstemperatur des Kältemittels in den Hochdruckpfad des Rekuperators 250, also die Temperatur des Kältemittels nach Austritt aus dem Verflüssiger 220.

[0110] Um ein hinreichendes Maß von Wärmeenergie vom Kältemittel des hochdruckseitigen Kältemittelpfad an das Kältemittel des niederdruckseitigen Kältemittelpfad im Rekuperator 250 übertragen zu können, muss sichergestellt sein, dass die Temperatur des Kältemittels des hochdruckseitigen Kältemittelpfades auf Hochdruck HD in möglichst allen Flächenelementen der Übertragungsschicht des Rekuperators 250 größer als die Temperatur des Kältemittels des niederdruckseitigen Kältemittelpfades bei Niederdruck ND am jeweiligen Flächenelement ist.

[0111] Die korrespondierenden Temperaturen des Heizsystems 400 des Dampfkompressionssystems 200 sind in

einem Heizfall höher als die korrespondierenden Temperaturen der Wärmequelle wie dem Erdreich oder der Außenluft.

[0112] Die Wärmeenergie Q_i , welche vom Kältemittel bei Hochdruck HD des hochdruckseitigen Kältemittelpfads an das Kältemittel bei Niederdruck im niederdruckseitigen Kältemittelpfad des Rekuperators 250 übertragen wird, bewirkt eine Aggregatzustandsbeeinflussung des Kältemittels auf der Niederdruckseite. Der Nassdampfanteil des den Reku-

perator 250 niederdruckseitig bei Niederdruck ND durchströmenden Kältemittels nimmt bei einer Wärmeübertragung an das Kältemittel ab und nach einer vollständigen Verdampfung erfolgt vorteilhaft eine Überhitzung des Kältemittels.

[0113] Der innere Energiezustand des Kältemittels, beim Austritt aus dem niederdruckseitigen Pfad des Rekuperators, wird vorteilhaft abhängig von einem oder mehreren der folgenden Faktoren beeinflusst. Hierbei sollte beachtet werden, dass die Energiezustandsänderung ausschließlich auf physikalischen Abhängigkeiten beruht, wobei der Regler die Steuerung der Aktoren beeinflusst, was dann natürlich auch die physikalischen Größen wie den Kältemittelmassenstrom beeinflusst:

- Nassdampfanteil bei Eintritt in den Rekuperator 250,
- Kältemittelmassenstrom,
- übertragene Wärmeleistung Q_i , womit vorteilhaft abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen der Temperatur des Kältemittels bei Hochdruck HD im hochdruckseitigen Kältemittelpfad und der Temperatur des Kältemittels des niederdruckseitigen Kältemittelpfades bei Niederdruck ND geregelt wird, und/oder
- eine Enthalpiedifferenz im Nassdampfgebiet beim jeweiligen Niederdruck ND.

[0114] Vorteilhaft wird somit bewirkt, dass sich in Abhängigkeit der gegebenen Betriebsbedingungen des Dampfkomppressionskreises 200 sowie in Abhängigkeit der Stellgröße "Öffnungsgrad Expansionsventil 230" ein korrespondierender Kältemittelzustand beim Austritt 252 aus dem Rekuperator 250 beim Niederdruck ND einstellt.

[0115] Im eingeschwungenen Zustand ergibt sich hinsichtlich Regelstreckensteilheit der "isolierten" Regelstrecke beim Niederdruck ND des Kältemittels im niederdruckseitigen Pfad des Rekuperators 250 ein Regelstreckenverhalten mit hoher Steilheit, bei in etwa gleichbleibendem inneren Energiezustand des Kältemittels beim Eintritt 251 in den niederdruckseitigen ND Pfad des Rekuperators 250. Mit einer insbesondere relativen Öffnungsgradänderung des Expansionsventils von 1 % wird eine Überhitzungsänderung am Austritt des Kältemittels aus dem Verdampfer 230 von vorteilhaft etwa 10 K oder auch über 10 K eingestellt.

[0116] Gegenüber dem Rekuperator 250 erfolgt vorteilhaft eine wesentlich höhere Wärmeübertragung im Verdampfer 240 zwischen dem Quellmedium und dem Kältemittel im Verdampfer 240.

[0117] So wird im Verdampfer 240 eine wesentlich höhere Wärmeübertragung als im Rekuperator 250 eingestellt, da der Umgebung mittels Verdampfer 240 eine wesentlich größere Energie entzogen werden soll, als sie nur im Rekuperator 250 innerhalb des Kältekreislaufes zu übertragen. Die treibende Temperaturdifferenz beträgt beispielsweise im Rekuperator zwischen 20 K bis 60 K, während diese im Verdampfer lediglich zwischen 3 K bis 10 K beträgt. Um die gewünschten Energien trotz unterschiedlicher treibender Temperaturdifferenzen übertragen zu können, wird beispielsweise die Austauschfläche des Verdampfers ca. 5 bis 20 mal größer ausgelegt als die des Rekuperators 250.

[0118] Die Einstellung dieses Zustandes erfolgt hierbei vorteilhaft unter Verwendung wenigstens einer der folgenden Zeitkonstanten Z_i :

- Mit einer elften Zeitkonstante Z_{11} wird vorteilhaft eine Verzögerung der mechanischen Öffnungsgradänderung des Expansionsventils 230 durch die Begrenzung einer Verfahrgeschwindigkeit vorgegeben.
- Eine zwölfte Zeitkonstante Z_{12} wirkt vorteilhaft auf die verzögerte Einstellung eines korrespondierenden Niederdruckes ND bei Öffnungsgradänderungen des Expansionsventils 230 aufgrund der Kompressibilität des Kältemitteldampfes im Niederdruckpfad ND.
- Eine 13. Zeitkonstante Z_{13} ist eine thermische Zeitkonstante der Wärmeübertragungsschicht des Verdampfers. Somit bewirkt eine Änderung des Verdampfungsdruckes und damit der Verdampfungstemperatur eine verzögerte Temperaturänderung der Wärmeübertragungsschicht, welche oft mehrere Kilogramm Metall beinhaltet, und des Kältemittels im Niederdruckpfad des Verdampfers 240.
- Eine 14. Zeitkonstante Z_{14} wird vorteilhaft aus verzögerten Aggregatzustandsänderungen des Kältemittels bei Verdampfungstemperaturänderungen ermittelt oder vorgegeben.
- Eine 15. Zeitkonstante Z_{15} ergibt sich vorteilhaft aus dem Transport des Kältemittels durch den Verdampfer 240 mit

einer endlichen Strömungsgeschwindigkeit und wird berücksichtigt.

[0119] Der niederdruckseitige Kältemittelpfad des Rekuperators 250 wird aus dem Verdampferaustritt 242 des Verdampfers 240 gespeist. Der innere Energiezustand des Kältemittels wird auch hier bereits durch zumindest zwei Zeitkonstanten Z , Z_{11} , Z_{12} , Z_{13} , Z_{14} , Z_{15} , Z_{ges} nach Änderung der Stellgröße "Öffnungsgrad Expansionsventil" verzögert.

[0120] Nach Änderung der Stellgröße "Öffnungsgrad Expansionsventil 230" stellt sich dann eine weitere Verzögerung der korrespondierenden Kältemittelzustandsänderung durch das Zeitverhalten des Rekuperators 250 beim Austritt aus dem niederdruckseitigen Kältemittelpfad des Rekuperators 250 ein.

[0121] Das Zeitverhalten des Rekuperators 250 lässt sich vorteilhaft als Rekuperatorgesamt - Zeitkonstante Z_{ges} abhängig vom jeweiligen Arbeitspunkt des Dampfkomppressionskreises im Bereich zwischen in etwa 1 Minuten bis 30 Minuten berücksichtigen.

[0122] Es erfolgt vorteilhaft eine gewichtete Kombination Verdichtereintrittsüberhitzung $dT_{\text{ÜE}}$ und der der Verdampferaustrittsüberhitzung $dT_{\text{ÜA}}$, indem insbesondere mittels einer gewichteten Kombination der Regelabweichung der Verdichterüberhitzung und der Regelabweichung der Verdampferaustrittsüberhitzung $dT_{\text{ÜA}}$ die Gesamtregelabweichung berechnet wird, welche im Regler 500 zur Regelung des Dampfkomppressionskreises 200 eingespeist wird.

[0123] Die Verdichtereintrittsüberhitzung $dT_{\text{ÜE}}$ wird vorteilhaft als Haupt - Regelgröße verwendet und die korrespondierenden Signalfüsse und Signalverarbeitungen erfolgt insbesondere in den folgenden Verfahrensschritten:

Schritt 1: Zunächst werden die Prozessgrößen Verdichtereintrittsüberhitzung $dT_{\text{ÜE}}$ vorteilhaft als Hauptregelgröße und die Verdampferaustrittsüberhitzung $dT_{\text{ÜA}}$ vorteilhaft als Hilfsgröße in einem ersten Verfahrensschritt messtechnisch erfasst.

[0124] Dazu wird jeweils eine Verdampfungstemperatur des Kältemittels am jeweiligen Erfassungspunkt entweder

- direkt messtechnisch ermittelt, mit einem Temperatursensor, welcher so positioniert ist, dass er eine der Kältemitteltemperatur im Nassdampfgebiet entsprechende Temperatur erfasst oder

- indirekt messtechnisch ermittelt, mit einem Drucksensor, welcher einen Kältemitteldruck des im Nassdampfgebiet verdampfenden Kältemittels erfasst und aus der kältemittelspezifischen Abhängigkeit zwischen Druck und Temperatur im Nassdampfgebiet dann die Verdampfungstemperatur berechnet wird.

[0125] Des Weiteren wird am jeweiligen dem Überhitzungsmesspunkt, insbesondere am Verdampferausgang 242 und/oder am Verdichtereingang 211 zugeordneten Temperaturen der Kältemitteltemperatur mittels Temperatursensoren 501, 508 erfasst. Es wird dann die Temperaturdifferenz des Kältemittels am jeweiligen Messpunkt und der Verdampfungstemperatur berechnet und dieser Temperaturdifferenzwert entspricht dann der jeweiligen Überhitzung des Kältemittels am Messpunkt.

[0126] Ausgangsgrößen der Berechnung in Schritt 1 sind dann die Verdichtereintrittsüberhitzung $dT_{\text{ÜE}}$ und die Verdampferaustrittsüberhitzung $dT_{\text{ÜA}}$.

[0127] Schritt 2: Die Prozessgrößen Verdichtereintrittsüberhitzung $dT_{\text{ÜE}}$ und Verdampferaustrittsüberhitzung $dT_{\text{ÜA}}$ werden zur Bildung zugeordneter Regelabweichungen mit jeweils zugeordneten Sollwerten in einem zweiten Schritt vorteilhaft verrechnet:

Der Sollwert für die Verdichtereintrittsüberhitzung $dT_{\text{ÜE}}$ wird vorteilhaft zur Sicherstellung des zulässigen Verdichtersbetriebsbereiches und eines möglichst hohen Wirkungsgrades des Kältekreises im Bereich zwischen ca. 5 K bis 20 K variiert.

[0128] Der Sollwert für die Verdampferaustrittsüberhitzung $dT_{\text{ÜA}}$ am Verdampferaustritt 242 wird dann in Abhängigkeit der Kältekreis-Betriebsart und des Kältekreis-Arbeitspunktes so variiert, dass die Verdampferüberhitzung im eingeschwungenen Regelfall in etwa dem sich einstellenden Prozesswert der Verdampferaustrittsüberhitzung $dT_{\text{ÜA}}$ entspricht. Dieser Sollwert für die Verdampferaustrittsüberhitzung $dT_{\text{ÜA}}$ kann modellbasiert in Abhängigkeit von einer Betriebsart oder einem Arbeitspunkt abhängig von der Verdampfungstemperatur, der Kondensationstemperatur, der Verdichterleistung, einem Sollwert der Verdichtereintrittsüberhitzung $dT_{\text{ÜE}}$ am Verdampferaustritt 242 und/oder von Komponenteneigenschaften vorberechnet werden und adaptiv korrigiert werden.

[0129] Es wird dann die Regelabweichung der Verdichtereintrittsüberhitzung $dT_{\text{ÜE}}$ berechnet, indem vom Prozesswert der Verdichtereintrittsüberhitzung $dT_{\text{ÜE}}$ der Sollwert der Verdichtereintrittsüberhitzung $dT_{\text{ÜE}}$ subtrahiert wird.

[0130] Es wird dann die Regelabweichung der Verdampferaustrittsüberhitzung $dT_{\text{ÜA}}$ berechnet, indem vom Prozesswert der Verdampferaustrittsüberhitzung $dT_{\text{ÜA}}$ der Sollwert der Verdampferaustrittsüberhitzung $dT_{\text{ÜA}}$ subtrahiert wird.

[0131] Schritt 3: In einem dritten Verfahrensschritt werden die Regelabweichung der Verdichtereintrittsüberhitzung $dT_{\text{ÜE}}$ und die Regelabweichung der Verdampferaustrittsüberhitzung $dT_{\text{ÜA}}$ vorteilhaft zu einer Gesamtregelabweichung-Überhitzung kombiniert.

[0132] Die Kombination erfolgt insbesondere mittels einer gewichteten Addition der Einzel - Regelabweichungen.

[0133] Der Gewichtungseinfluss ist ein Maß für die anteilige Kombination der Einzel - Regelabweichungen und kann

im Extremfall die ausschließliche Einbeziehung nur einer Einzel - Regelabweichung, aber üblicherweise die gewichtete Einbeziehung beider Einzel - Regelabweichungen bewirken.

[0134] Vorteilhaft wird der Gewichtungseinfluss als Wert zwischen 0 bis 1, also 0 bis 100 % veranschlagt und dieser Wert wird auf den Grad der Einbeziehung der Regelabweichung der Verdichtereintrittsüberhitzung dT_{UE} in die Gesamt - Regelabweichung einbezogen, womit sich für die Berechnung der Gesamt - Regelabweichung folgende Abhängigkeit ergibt:

$$\begin{aligned} \text{Gesamt} - \text{Regelabweichung Überhitzung} = \\ (\text{Gewichtungseinfluss} * \text{Regelabweichung Verdichtereintrittsüberhitzung}) + \\ ((1 - \text{Gewichtungseinfluss}) * \text{Regelabweichung Verdampferaustrittsüberhitzung}) \end{aligned}$$

[0135] Der Wert des Gewichtungseinfluss kann vorteilhaft von der Betriebsart und/oder dem Arbeitspunkt der Wärmepumpe 100 abhängig variiert werden:

- Beim Betriebsartübergang zwischen Betriebsart = Betrieb mit ausgeschaltetem Verdichter 210 und Betriebsart = Betrieb mit eingeschaltetem Verdichter 210 im Heizbetrieb wird aufgrund der dynamischen Prozesswerteänderungen beim Anfahren des Dampfkompensionssystems 200 vorteilhaft ausschließlich zunächst die Regelabweichung Verdampferaustrittsüberhitzung dT_{UA} in die Gesamt - Regelabweichung einbezogen, insbesondere ist der Wert eines Gewichtungseinflusses dann zunächst = 0 oder ein Wert vorteilhaft unter 20 %.
- Nach einer Stabilisierungsphase des Dampfkompensionssystems 200 ist es vorteilhaft, nicht spontan auf den für den Regelbetrieb ausgelegten Wert des Gewichtungseinflusses umzuschalten, sondern den Übergang rampenförmig zu gestalten. In diesem Fall ist es vorteilhaft, dass der Wert vom Gewichtungseinfluss vom Startwert = 0, oder einem Wert insbesondere unter 20%, vorteilhaft rampenförmig auf den vorgesehenen Zielwert angehoben werden. Hiermit wird insbesondere eine Werteunstetigkeit bei einem spontanen Umschalten vermieden und somit Regelschwingungen vermieden.
- Der Zielwert des Gewichtungseinflusses wird vorteilhaft an die jeweilige Betriebsart und den Arbeitspunkt angepasst. Betriebspunkte, welche sich durch erhöhte Schwingneigung auszeichnen bedürfen vorteilhaft einer geringeren Gewichtung der Regelabweichung der Verdichtereintrittsüberhitzung dT_{UE} , insbesondere wird hiermit ein regeltechnisch kritisches Signalverhalten der Verdichtereintrittsüberhitzung dT_{UE} aufgrund der gegenüber der Verdampferaustrittsüberhitzung dT_{UA} größeren Signalverzögerung und größeren Streckensteilheit eine Schwingneigung vermieden.

[0136] Schritt 4: In einem vierten Verfahrensschritt wird die berechnete Gesamt - Regelabweichung der Überhitzung dann im Regler 500 verarbeitet, welcher die korrespondierenden Aktoren des Kältekreises, insbesondere das Expansionsventil 230 mit dem stellbarem Öffnungsgrad und/oder den Verdichter 210 mit stellbarer Verdichterdrehzahl, so steuert, dass sich im eingeregelter Fall eine Regelabweichung der Überhitzung gleich möglichst etwa 0 Kelvin einstellt.

[0137] Dabei kann ein P, I, PI, PID - Regler eingesetzt werden, wobei die Regelanteile an die jeweilige Betriebsart und den Arbeitspunkt vorteilhaft dynamisch angepasst werden.

[0138] Demnach kann bei Kältekreisen mit internem Wärmeübertrager, in diesem Beispiel dem Rekuperator 250, zwischen dem Kältemittelfad für unterkühltes Kältemittel nach Austritt aus dem wärmesenkenseitigen Wärmeübertrager, hier dem Verflüssiger 220, und dem Kältemittelfad nach Austritt aus dem wärmequellenseitigen Wärmeübertrager, hier dem Verdampfer 210, und dem Verdichtereintritt 211, zur Regelung der Überhitzung des Kältemittels anteilig die Verdichtereintrittsüberhitzung T_{UE} als auch anteilig die Verdampferaustrittsüberhitzung T_{UA} einbezogen werden.

[0139] In diesem idealisierten Fall wäre auch die aus den Einzel - Regelabweichungen verknüpfte Gesamt - Regelabweichung gleich Null, jedoch wird bedingt durch Komponenten - oder Ausregelungs - Toleranzen dieser Fall kaum auftreten.

[0140] Üblicherweise wird sich ein eingeschwungener Regelbetrieb einfinden, bei welchem aber die Einzel - Regelabweichungen zwar jeweils ungleich Null sind, aber die verknüpfte Gesamt - Regelabweichung gleich Null ist. In diesem Fall ist dann die Ist - Überhitzung Verdichtereintritt nicht die Soll - Überhitzung Verdichtereintritt, also wird der Kältekreis nicht im optimalen Arbeitspunkt betrieben.

[0141] Wenn im optimalen Arbeitspunkt für die Verdichtereintrittsüberhitzung (Istwert Verdichtereintrittsüberhitzung gleich Sollwert Verdichtereintrittsüberhitzung) der Sollwert für die Verdampferaustrittsüberhitzung so adaptiert würde, dass dieser gleich dem aktuellen Istwert der Verdampferaustrittsüberhitzung entspräche, würde die Regelung ohne Regelabweichung bezüglich der jeweiligen Überhitzungswerte einschwingen und im optimalen Arbeitspunkt betrieben

werden.

[0142] Dies wird erfindungsgemäß durch die durchgeführte Adaption des Sollwerts für die Verdampferaustrittsüberhitzung umgesetzt. Als Eingangsgröße für die Adaption wird die Regelabweichung Überhitzung Verdichtereintritt, also die Differenz zwischen Soll-Überhitzung Verdichtereintritt und Ist-Überhitzung Verdichtereintritt, verwendet. Mit Hilfe einer Adaptionzeitkonstante als Parameter wird eine Kompensationsvariable Temperaturdifferenzadaption berechnet, indem der Wert der Adaptionzeitkonstante mit Hilfe einer Zeitfunktion den inversen Wert der Regelabweichung Überhitzung Verdichtereintritt annimmt. Anders ausgedrückt, die Adaptionzeitkonstante bestimmt zusammen mit der Zeitfunktion die Dauer, binnen welcher die Temperaturdifferenzadaption der Regelabweichung nachfolgt. Auch andere Formen der Filterung rascher Änderungen der Regelabweichung, beispielsweise Tiefpassfilter, sind vorstellbar.

[0143] Die Notwendigkeit der Adaption bzw. Korrektur ergibt sich beispielsweise aus Toleranzen der Nassdampfkenlinie des Kältemittels.

[0144] Fig. 3 zeigt schematisch und exemplarisch drei Nassdampfkenlinien 1010, 1020 und 1030 für unterschiedliche Mischungsverhältnisse von Kältemittelkomponenten, in diesem Beispiel von R32 und R1234yf. Die Nassdampfkenlinie 1020 entspricht in diesem Beispiel der Nassdampfkenlinie von R454C. Für die Nassdampfkenlinie 1010 ist gegenüber R454C der Anteil von R32 abgesenkt, während er für die Nassdampfkenlinie 1030 erhöht ist. Bei den drei Nassdampfkenlinien 1010, 1020 und 1030 handelt es sich also um typische Gemischwerte, die ausgehend von einer Befüllung einer Kompressionskälteanlage aus einem Behältnis mit R454C erhalten werden.

[0145] Es kann gesehen werden, dass die Taupunkttemperatur in Abhängigkeit des Druckes für niedrigere Anteile von R32, vgl. Nassdampfkenlinie 1010, höher liegt, als die Taupunkttemperatur für höhere Anteile von R32, vgl. Nassdampfkenlinie 1020, 1030. Erfindungsgemäß können diese Toleranzen der Nassdampfkenlinien durch die Adaption und Einbeziehung des Korrekturwertes kompensiert werden.

[0146] Die Berechnung der Temperaturdifferenzadaption kann in zwei aufeinanderfolgenden Schritten erfolgen. In einem ersten Schritt wird unter Einbeziehung des im letzten Schleifendurchlauf berechneten Wertes der Temperaturdifferenz Adaption Verdampferausgangsüberhitzungssollwert zunächst ein unbegrenzter neuer Wert von Temperaturdifferenz Adaption Verdampferausgangsüberhitzungssollwert (unbegrenzt) berechnet, im zweiten Schritt wird dieser Wert auf die parametrierbare Bereichsgrenze begrenzt und dann als neu berechneter Prozesswert weiterverarbeitet. Die Temperaturdifferenz Adaption Verdampferausgangsüberhitzungssollwert wird vorzugsweise derart adaptiert, dass sie in einer festgelegten Zeit, genannt Adaptionzeitkonstante Verdampferausgangsüberhitzungssollwert, den Wert der Regelabweichung der Überhitzung am Verdichtereintritt annehmen würde.

[0147] Anschließend wird der Bereich der Temperaturdifferenz Adaption Verdampferausgangsüberhitzungssollwert auf den mit einem Adaptionbereichsparameter eingestellten Bereich begrenzt, indem der zuvor berechnete Wert auf den Bereich +/- Adaptionbereichsparameter (in Kelvin) begrenzt wird.

[0148] Fig. 4 zeigt schematisch und exemplarisch einen Verlauf 2010 der Regelabweichung der Verdichtereintrittsüberhitzung und einen Verlauf 2020 der sich als Folge der Regelabweichung einstellenden Adaption des Verdampferausgangsüberhitzungssollwerts über die Zeit in Minuten auf der horizontalen Achse.

[0149] In den ersten beispielhaft vier Minuten liegt keine Regelabweichung der Verdichtereintrittsüberhitzung vor, so dass sich auch keine Korrektur bzw. Adaption ergibt. In einem Zeitbereich 2030 liegt eine Regelabweichung von 0,5 K vor. So lange die Regelabweichung bei + 0,5 K verbleibt, steigt die Adaption bzw. Korrektur in die Gegenrichtung an. Zu einem Zeitpunkt 2040 erreicht die Korrektur einen beispielhaften bei -1 K gezeigten Maximalwert, auf den sie beschränkt bleibt, obwohl die Regelabweichung besteht.

[0150] In einem Zeitbereich 2050 liegt nun eine in die Gegenrichtung ausgeschlagene Regelabweichung vor. Der Wert der Adaption erhöht sich sukzessive, um der Regelabweichung entgegenzuwirken. Die Steigung der Adaption 2020 in dem Zeitbereich 2050 ist größer als die Steigung in dem Zeitbereich 2030, da die Steigung vorzugsweise proportional zu dem Wert der Regelabweichung gewählt wird. Nach einem Absinken in einem Zeitbereich 2060 bleibt die Korrektur in einem Zeitbereich 2070 konstant, da die Regelabweichung in diesem Zeitbereich Null beträgt.

[0151] Bei Mehrstoff - Kältemitteln mit "Temperaturgleit", beispielsweise R454C, sind auf die Taupunkttemperatur bezogene Überhitzungen auch im negativen Bereich möglich, in Betriebspunkten, bei denen noch nicht alle Kältemittelbestandteile vollständig verdampft sind.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Regeln einer Kompressionskälteanlage (200), insbesondere einer Wärmepumpe (100), in welcher

- ein gasförmiges Kältemittel von einem mittels eines Reglers (500) gesteuerten Verdichter (210) von einem Niederdruck (ND) auf einen Hochdruck (HD) verdichtet wird,
- das Kältemittel durch einen Verflüssiger (220) getrieben wird, in dem es eine Heizwärme (Q_H) an ein in einem Wärmesenkensystem (400) befindliches Heizmedium abgibt,

- eine innere Wärme (Q_i) des Kältemittels in einem Rekuperator (250) beim unter dem Hochdruck (HD) vom Verflüssiger (220) zum Expansionsventil (230) strömenden Kältemittel mit dem unter Niederdruck (ND) vom Verdampfer (240) zum Verdichter (210) strömenden Kältemittel ausgetauscht wird,
- das Kältemittel in einer Hochdruckströmungsrichtung (S_{HD}) zu einem von dem Regler (500) gesteuerten Expansionsventil (230) geführt ist, in dem das Kältemittel vom Hochdruck (HD) auf den Niederdruck (ND) abhängig von einem Regelwert (R) geregelt entspannt wird, wobei
- das auf dem Niederdruck ND befindliche Kältemittel in dem Verdampfer (240) bei Aufnahme von Quellwärme Q_Q verdampft,

enthaltend die Verfahrensschritte:

- Bestimmen eines Zielwertes ($Z_{\dot{U}A}$) der Verdampferaustrittsüberhitzung ($T_{\dot{U}A}$) und eines Zielwertes ($Z_{\dot{U}E}$) der Verdichtereintrittsüberhitzung ($T_{\dot{U}E}$),
 - Berechnen eines Korrekturwertes basierend auf einer Regelabweichung der Verdichtereintrittsüberhitzung ($T_{\dot{U}E}$) zu dem Zielwert ($Z_{\dot{U}E}$) der Verdichtereintrittsüberhitzung ($T_{\dot{U}E}$),
 - Korrigieren des Zielwertes ($Z_{\dot{U}A}$) der Verdampferaustrittsüberhitzung ($T_{\dot{U}A}$) mit dem berechneten Korrekturwert,
 - Berechnen eines Regelwertes (R) nach einer Inbetriebnahmephase der Kompressionskälteanlage (200) abhängig von dem Zielwert ($Z_{\dot{U}A}$) der Verdampferaustrittsüberhitzung ($T_{\dot{U}A}$) und dem Zielwert ($Z_{\dot{U}E}$) der Verdichtereintrittsüberhitzung ($T_{\dot{U}E}$), und
 - Regeln des Expansionsventils (230) auf Basis des Regelwertes (R).
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Korrekturwert proportional zu einem Zeitintegral der Regelabweichung der Verdichtereintrittsüberhitzung ($T_{\dot{U}E}$) zu dem Zielwert ($Z_{\dot{U}E}$) der Verdichtereintrittsüberhitzung ($T_{\dot{U}E}$) berechnet wird.
 3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Korrekturwert in diskreten Zeitschritten um einen proportionalen Anteil der Regelabweichung der Verdichtereintrittsüberhitzung ($T_{\dot{U}E}$) korrigiert wird.
 4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Korrekturwert auf einen zulässigen Wertebereich begrenzt wird.
 5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Zielwert ($Z_{\dot{U}A}$) der Verdampferaustrittsüberhitzung ($T_{\dot{U}A}$) durch Addition des berechneten Korrekturwertes korrigiert wird.
 6. Kompressionskälteanlage (200), insbesondere Wärmepumpe (100), mit
 - einem Kältekreis mit Kältemittel,
 - einem Verdichter (210),
 - einem Verflüssiger (220),
 - einem Verdampfer (240),
 - einem Expansionsventil (230),
 - einem internen Wärmeübertrager (250), genannt Rekuperator, und
 - einem Regler (500),
 wobei beim Betrieb der Kompressionskälteanlage (200)
 - gasförmiges Kältemittel von dem mittels des Reglers (500) gesteuerten Verdichter (210) von einem Niederdruck (ND) auf einen Hochdruck (HD) verdichtet wird,
 - das Kältemittel durch den Verflüssiger (220) getrieben wird, in dem es eine Heizwärme (Q_h) an ein in einem Wärmesenkensystem (400) befindliches Heizmedium abgibt,
 - eine innere Wärme (Q_i) des Kältemittels in einem Rekuperator (250) beim unter dem Hochdruck (HD) vom Verflüssiger (220) zum Expansionsventil (230) strömenden Kältemittel mit dem unter Niederdruck (ND) vom Verdampfer (240) zum Verdichter (210) strömenden Kältemittel ausgetauscht wird,
 - das Kältemittel in einer Hochdruckströmungsrichtung (S_{HD}) zu einem von dem Regler (500) gesteuerten Expansionsventil (230) geführt ist, in dem das Kältemittel vom Hochdruck (HD) auf den Niederdruck (ND) abhängig von einem Regelwert (R) geregelt entspannt wird, wobei
 - das auf dem Niederdruck ND befindliche Kältemittel in dem Verdampfer (240) bei Aufnahme von Quellwärme Q_Q verdampft,

wobei der Regler (500) ausgebildet ist zum:

EP 3 922 931 A1

- Bestimmen eines Zielwertes ($Z_{\dot{U}A}$) der Verdampferaustrittsüberhitzung ($T_{\dot{U}A}$) und eines Zielwertes ($Z_{\dot{U}E}$) der Verdichtereintrittsüberhitzung ($T_{\dot{U}E}$),
- Berechnen eines Korrekturwertes basierend auf einer Regelabweichung der Verdichtereintrittsüberhitzung ($T_{\dot{U}E}$) zu dem Zielwert ($Z_{\dot{U}E}$) der Verdichtereintrittsüberhitzung ($T_{\dot{U}E}$),
- Korrigieren des Zielwertes ($Z_{\dot{U}A}$) der Verdampferaustrittsüberhitzung ($T_{\dot{U}A}$) mit dem berechneten Korrekturwert,
- Berechnen eines Regelwertes (R) nach einer Inbetriebnahmephase der Kompressionskälteanlage (200) abhängig von dem Zielwert ($Z_{\dot{U}A}$) der Verdampferaustrittsüberhitzung ($T_{\dot{U}A}$) und dem Zielwert ($Z_{\dot{U}E}$) der Verdichtereintrittsüberhitzung ($T_{\dot{U}E}$), und
- Regeln des Expansionsventils (230) auf Basis des Regelwertes (R).

7. Kompressionskälteanlage (200) nach Anspruch 6, wobei das Kältemittel eine Mischung mehrerer Kältemittelkomponenten enthält.

8. Kompressionskälteanlage (200) nach Anspruch 7, wobei als Kältemittel eine Mischung enthaltend R32 und R1234yf, insbesondere R454C, verwendet wird.

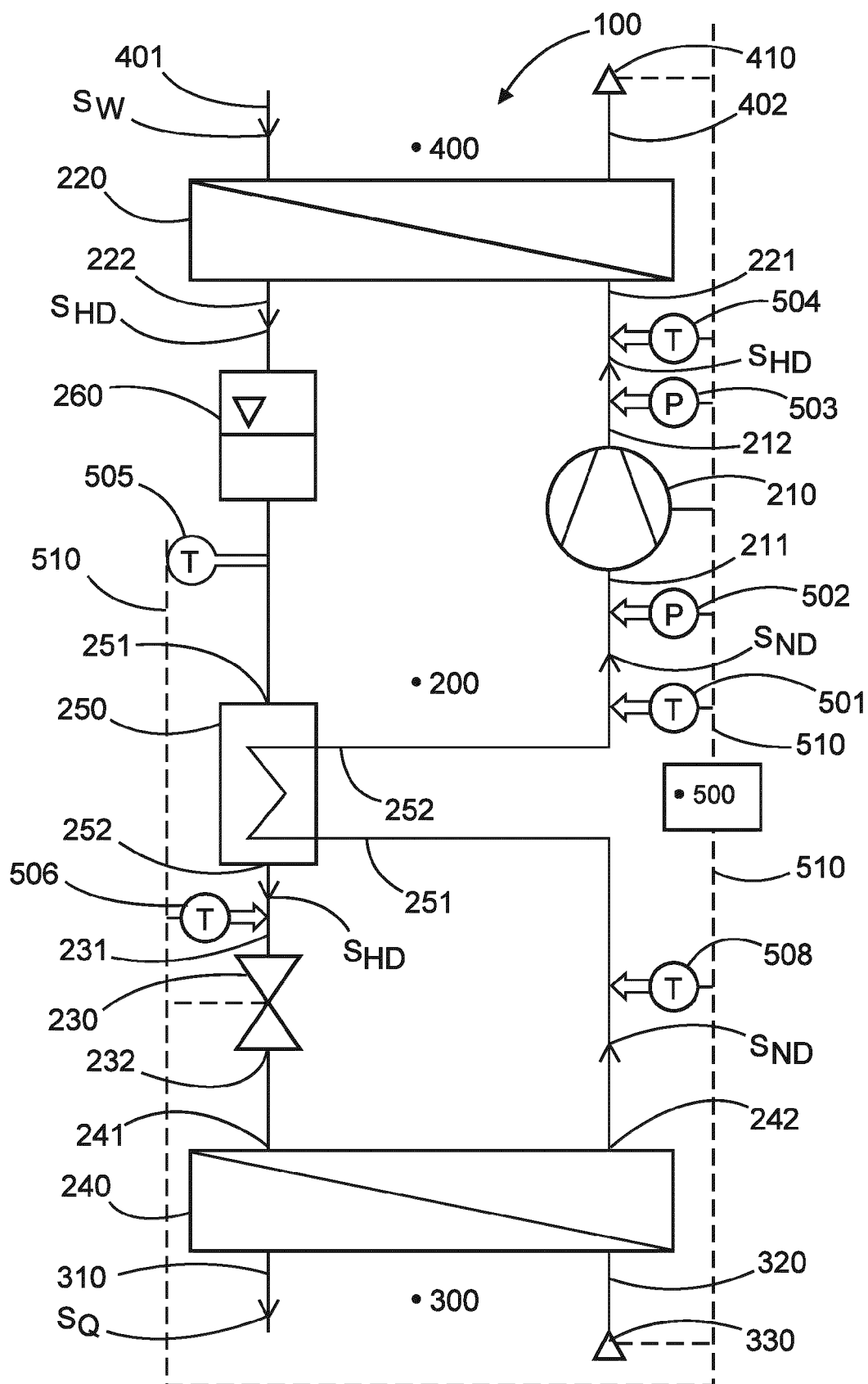


Fig. 1

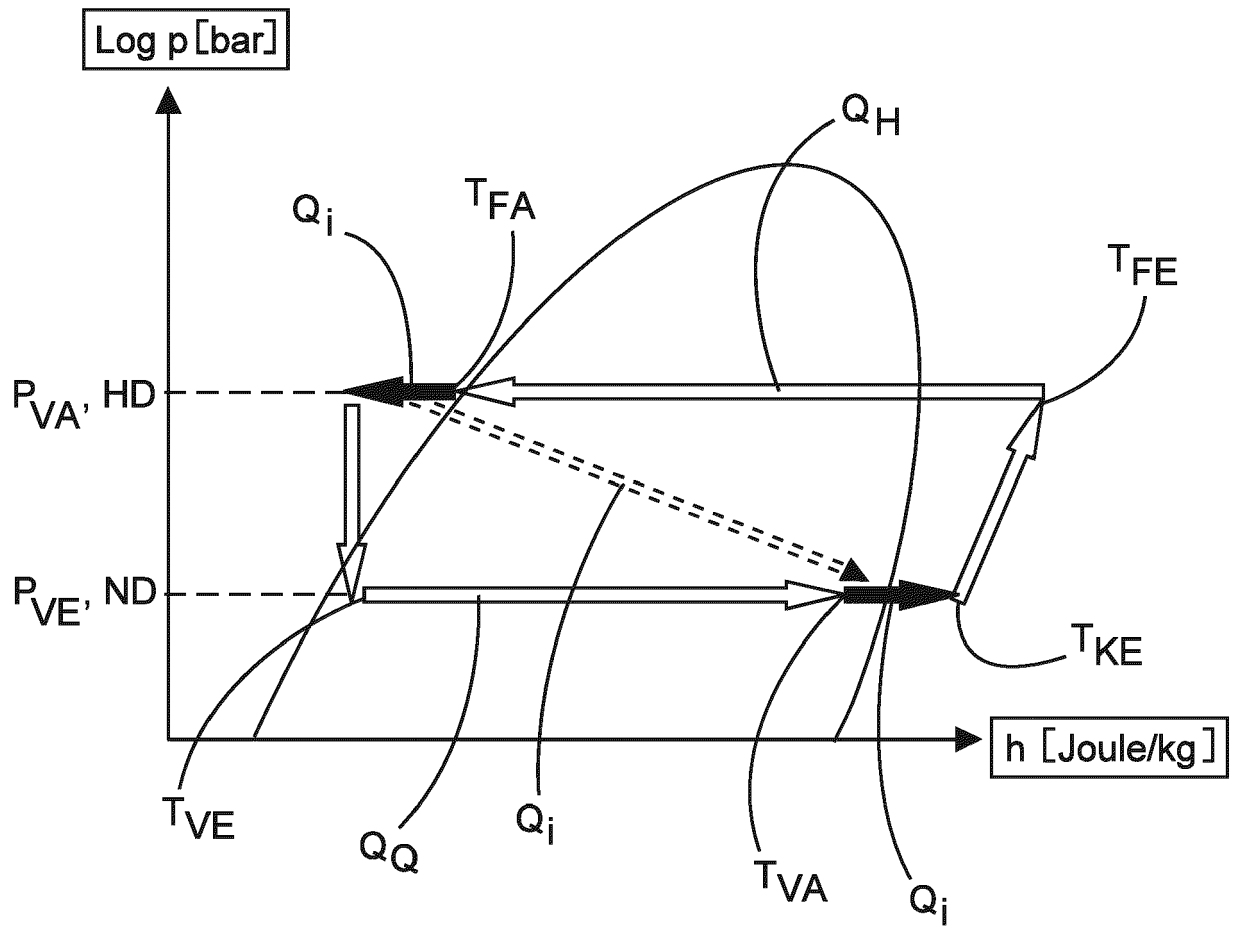


Fig. 2

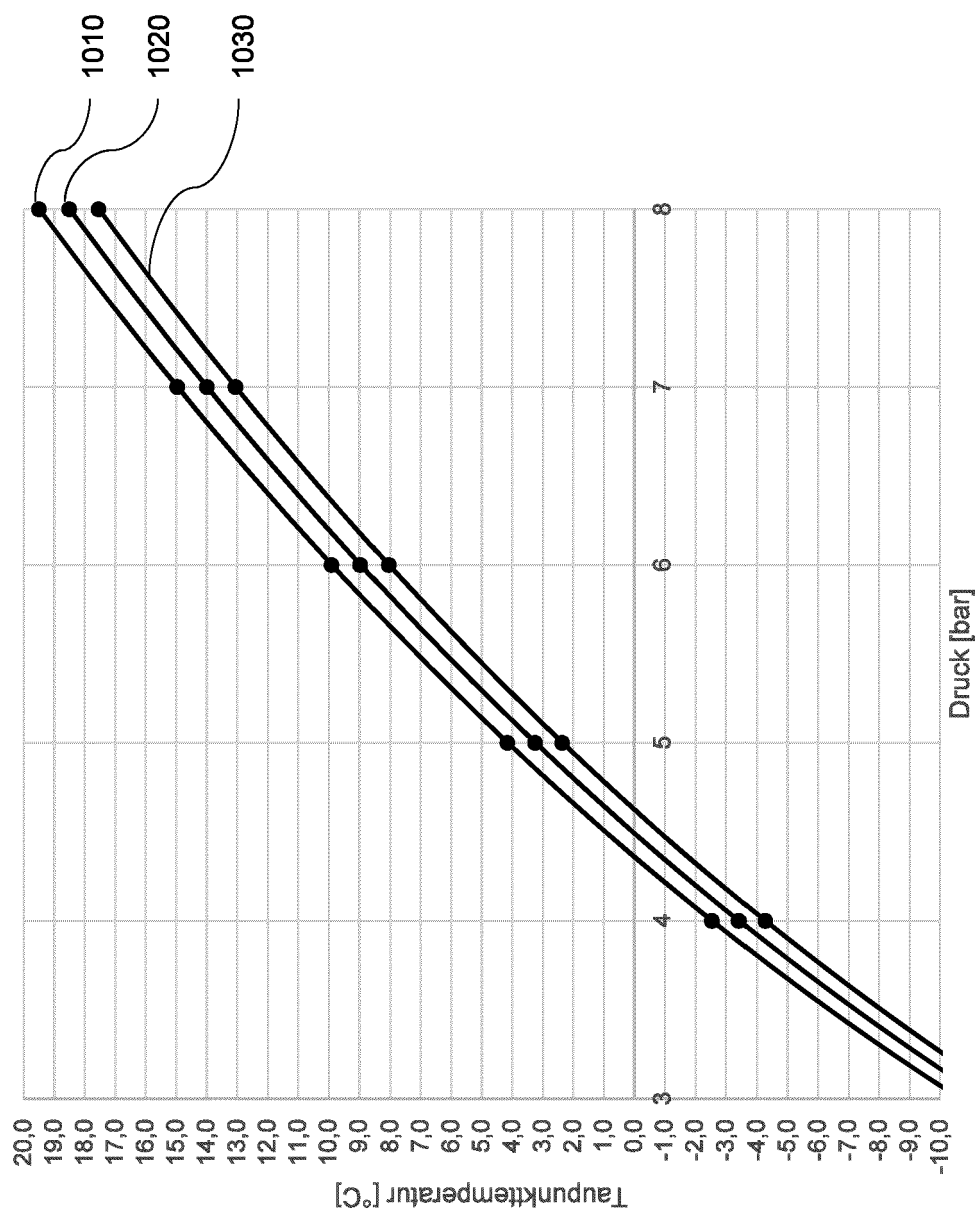


Fig. 3

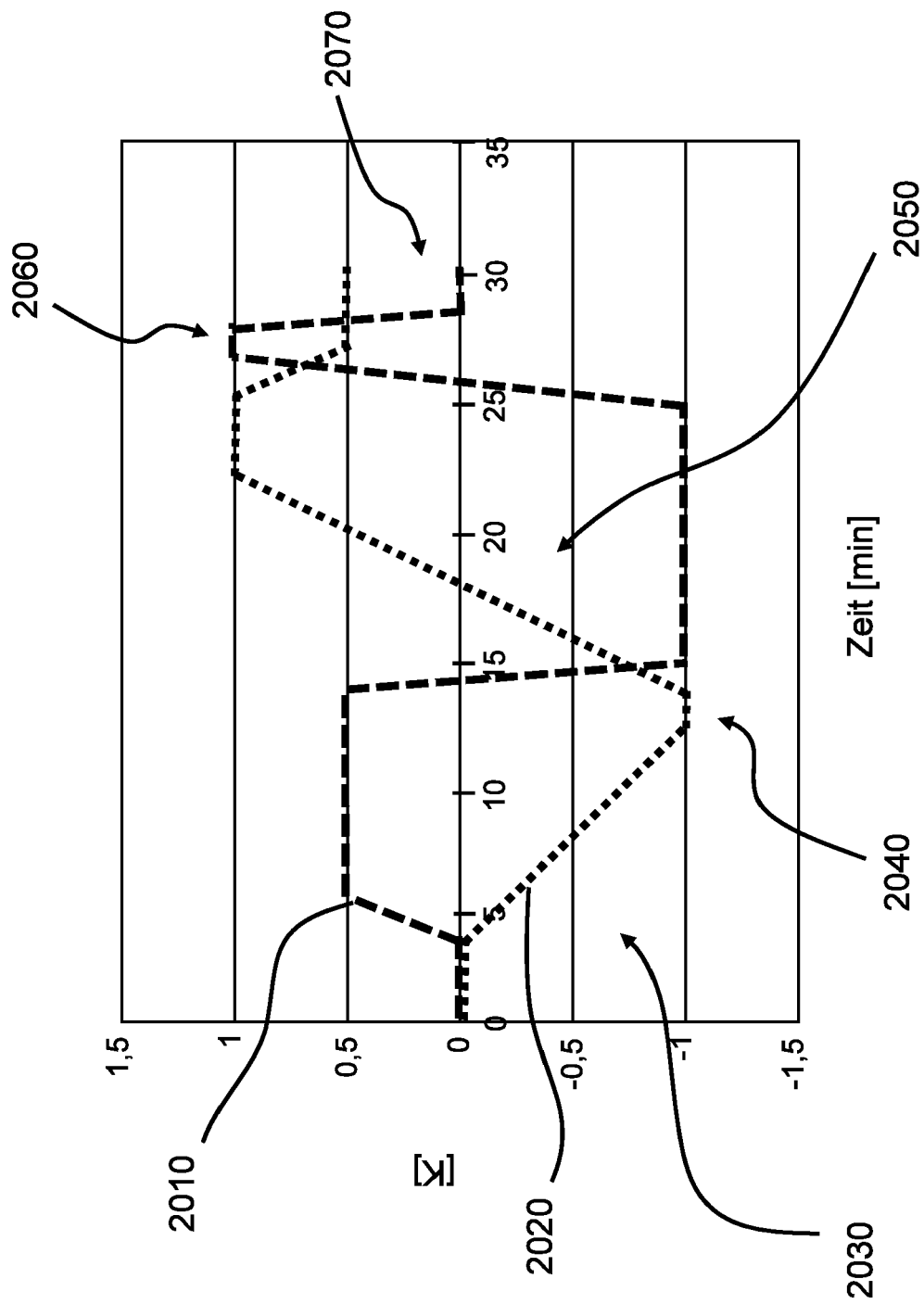


Fig. 4



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 21 17 7574

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 1 014 013 A1 (SANDEN CORP [JP]) 28. Juni 2000 (2000-06-28) * Absätze [0017] - [0038]; Abbildungen 1, 2 *	1-8	INV. F25B49/02 F25B40/00
A	EP 1 026 459 A1 (SANDEN CORP [JP]) 9. August 2000 (2000-08-09) * Absätze [0029] - [0044]; Abbildung 3 *	1-8	
A	DE 11 2016 005264 T5 (VALEO JAPAN CO LTD [JP]) 2. August 2018 (2018-08-02) * Absätze [0017] - [0037]; Abbildungen 1, 2 *	1-8	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F25B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 24. Oktober 2021	Prüfer Amous, Moez
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

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

EP 21 17 7574

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

24-10-2021

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	EP 1014013	A1	28-06-2000	EP 1014013 A1	28-06-2000
				JP 2000179960 A	30-06-2000
15	EP 1026459	A1	09-08-2000	EP 1026459 A1	09-08-2000
				JP 4202505 B2	24-12-2008
				JP 2000205670 A	28-07-2000
20	DE 112016005264	T5	02-08-2018	CN 107848375 A	27-03-2018
				DE 112016005264 T5	02-08-2018
				JP 2017088137 A	25-05-2017
				WO 2017086343 A1	26-05-2017
25					
30					
35					
40					
45					
50					
55					

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 10159892 A1 [0005]
- DE 102005061480 B3 [0006]