

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50400/2018  
(22) Anmeldetag: 14.05.2018  
(43) Veröffentlicht am: 15.12.2018

(51) Int. Cl.: **F25B 47/02** (2006.01)

(30) **Priorität:**  
16.05.2017 DE 102017110560.3 beansprucht.

(71) **Patentanmelder:**  
kke GmbH  
01723 Kesselsdorf (DE)

(72) **Erfinder:**  
Bartzsch Ralf  
01324 Dresden (DE)

(74) **Vertreter:**  
Patentanwaltskanzlei Matschnig & Forsthuber  
OG  
1010 Wien (AT)

(54) **Kältemittelkreislauf einer Kälteanlage mit einer Anordnung zum Abtauen eines Wärmeübertragers und Verfahren zum Betreiben des Kältemittelkreislaufs**

(57) Die Erfindung betrifft einen Kältemittelkreislauf (1a, 1b) einer Kälteanlage mit einer Anordnung zum Abtauen mindestens eines Wärmeübertragers mit Kältemittel. Der Kältemittelkreislauf (1a, 1b) weist mindestens zwei Verdampfungsdruckstufen auf, wobei eine erste, untere Verdampfungsdruckstufe und eine zweite, obere Verdampfungsdruckstufe jeweils mit mindestens einem Verdichter (2, 4) und mindestens einem als Verdampfer betreibbaren Wärmeübertrager (9, 16) mit vorgelagertem Expansionsorgan (8, 15) ausgebildet sind. Die Wärmeübertrager (9, 16) der unterschiedlichen Verdampfungsdruckstufen sind mit Kältemittel auf unterschiedlichen Druckniveaus beaufschlagbar angeordnet. Die Anordnung zum Abtauen weist eine Verbindungsleitung (21) zum Leiten von Kältemittel auf gleichbleibendem Druckniveau auf, welche sich von einer an einem Auslass des mindestens einen Verdichters (2) der ersten, unteren Verdampfungsdruckstufe ausgebildeten Abzweigstelle (19) bis zu einer an einem Einlass des mindestens einen als Verdampfer betreibbaren Wärmeübertragers (9) der zweiten, oberen Verdampfungsdruckstufe ausgebildeten Mündungsstelle (24a) erstreckt. Die Wärmeübertrager (9, 16) sind eindirektional durchströmbar angeordnet. Die Erfindung betrifft zudem ein Verfahren zum Betreiben des Kältemittelkreislaufs (1a, 1b) in einem Abtaumodus zum Abtauen mindestens eines in einem Kühlmodus zur Wärmeaufnahme als Verdampfer betriebenen Wärmeübertragers (9) der oberen Verdampfungsdruckstufe.

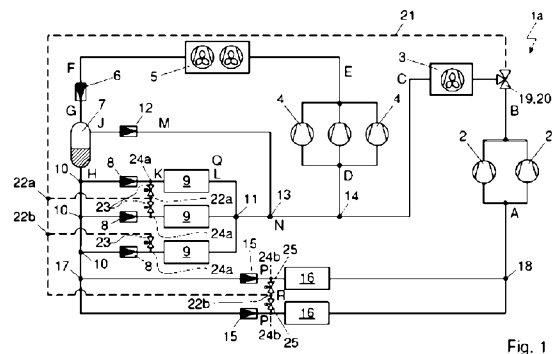


Fig. 1

## Zusammenfassung

Kältemittelkreislauf einer Kälteanlage mit einer Anordnung zum Abtauen eines Wärmeübertragers und Verfahren zum Betreiben des Kältemittelkreislaufs

Die Erfindung betrifft einen Kältemittelkreislauf (1a, 1b) einer Kälteanlage mit einer Anordnung zum Abtauen mindestens eines Wärmeübertragers mit Kältemittel. Der Kältemittelkreislauf (1a, 1b) weist mindestens zwei Verdampfungsdruckstufen auf, wobei eine erste, untere Verdampfungsdruckstufe und eine zweite, obere Verdampfungsdruckstufe jeweils mit mindestens einem Verdichter (2, 4) und mindestens einem als Verdampfer betreibbaren Wärmeübertrager (9, 16) mit vorgelagertem Expansionsorgan (8, 15) ausgebildet sind. Die Wärmeübertrager (9, 16) der unterschiedlichen Verdampfungsdruckstufen sind mit Kältemittel auf unterschiedlichen Druckniveaus beaufschlagbar angeordnet. Die Anordnung zum Abtauen weist eine Verbindungsleitung (21) zum Leiten von Kältemittel auf gleichbleibendem Druckniveau auf, welche sich von einer an einem Auslass des mindestens einen Verdichters (2) der ersten, unteren Verdampfungsdruckstufe ausgebildeten Abzweigstelle (19) bis zu einer an einem Einlass des mindestens einen als Verdampfer betreibbaren Wärmeübertragers (9) der zweiten, oberen Verdampfungsdruckstufe ausgebildeten Mündungsstelle (24a) erstreckt. Die Wärmeübertrager (9, 16) sind eindirektional durchströmbar angeordnet.

Die Erfindung betrifft zudem ein Verfahren zum Betreiben des Kältemittelkreislaufs (1a, 1b) in einem Abtaumodus zum Abtauen mindestens eines in einem Kühlmodus zur Wärmeaufnahme als Verdampfer betriebenen Wärmeübertragers (9) der oberen Verdampfungsdruckstufe.

Fig. 1

## **Kältemittelkreislauf einer Kälteanlage mit einer Anordnung zum Abtauen eines Wärmeübertragers und Verfahren zum Betreiben des Kältemittelkreislaufs**

5

Die Erfindung betrifft einen Kältemittelkreislauf einer Kälteanlage mit einer Anordnung zum Abtauen mindestens eines Wärmeübertragers mit Kältemittel. Der Kältemittelkreislauf weist mindestens zwei Verdampfungsdruckstufen auf, wobei eine erste und eine zweite Verdampfungsdruckstufe jeweils mit mindestens einem Verdichter und mindestens einem als Verdampfer betreibbaren Wärmeübertrager mit vorgelagertem Expansionsorgan ausgebildet sind. Die Wärmeübertrager der unterschiedlichen Verdampfungsdruckstufen sind mit Kältemittel auf unterschiedlichen Druckniveaus beaufschlagbar angeordnet.

10  
15

Die Erfindung betrifft des Weiteren ein Verfahren zum Betreiben des Kältemittelkreislaufs in einem Abtaumodus zum Abtauen mindestens eines in einem Kühlmodus zur Wärmeaufnahme als Verdampfer betriebenen Wärmeübertragers.

20

Bei aus dem Stand der Technik bekannten Kälteanlagen zum Konditionieren, insbesondere zum Abkühlen, von Luft, beispielsweise in Kühlräumen oder innerhalb von Kühlmöbeln als Kühlstelle, zirkuliert Kältemittel durch einen Kältemittelkreislauf. Die von der Luft der Kühlstelle an das Kältemittel abzuführende Wärme wird in einem als Verdampfer betriebenen Wärmeübertrager übertragen. Dabei verdampft das die Wärme aufnehmende Kältemittel.

25

In dem als Verdampfer betriebenen Kältemittel-Luft-Wärmeübertrager stellen sich Temperaturen des Kältemittels ein, welche zur Wärmeübertragung von der Luft an das Kältemittel stets unterhalb der Temperatur der Luft liegen. Je nach Zustand der Luft, insbesondere der Luftfeuchtigkeit, besteht die Gefahr, dass die den Wärmeübertrager durchströmende, in der Luft gebundene Feuchtigkeit,

30

aufgrund der Abkühlung als Kondensat ausfällt. Wenn die Temperaturen der Oberfläche des Wärmeübertragers geringer sind als die Taupunkt-Temperatur der Luft wird die in der Luft enthaltene Feuchtigkeit an der Oberfläche des Wärmeübertragers, auch als Luftkühler bezeichnet, als Wasser abgeschieden.

5 Die den Wärmeübertrager durchströmende Luft wird abgekühlt und entfeuchtet.

Beim Unterschreiten der Temperaturen der Oberfläche des Wärmeübertragers von 0°C gefriert die aus der Luft abgeschiedene Feuchtigkeit. Es entstehen Reif und Eis. Die Oberfläche des Wärmeübertragers wird kontinuierlich zugesezt,  
10 sodass sich der Wärmeübergang an der Oberfläche des Wärmeübertragers mit zunehmender Vereisung verschlechtert. Mit steigendem Energieverbrauch wird der Betrieb der Kälteanlage, insbesondere des Kältemittelkreislaufs, unwirtschaftlich. Die Vereisung der Oberfläche des Wärmeübertragers kann zudem dazu führen, dass eine anzustrebende Solltemperatur der  
15 abzukühlenden Luft in einem vorgeschriebenen Temperaturbereich nicht eingestellt werden kann.

Um die Kälteanlage, insbesondere den Kältemittelkreislauf wirtschaftlich zu betreiben und die Solltemperatur der abgekühlten Luft einhalten zu können, ist bei fortschreitender Vereisung der Oberfläche des Wärmeübertragers ein  
20 Kühlzyklus der Kälteanlage zu unterbrechen und ein Abtauvorgang der Oberfläche einzuleiten.

Bei herkömmlichen Kälteanlagen dienen je nach Solltemperatur elektrische Abtauvorrichtungen, beispielsweise elektrische Widerstandsheizungen in Form von Heizstäben, zum Enteisen der Oberflächen der als Verdampfer betriebenen  
25 Wärmeübertrager.

Die Heizstäbe weisen als elektrische Abtauvorrichtungen jedoch einen sehr großen Leistungsbedarf auf. Zudem wird neben der Oberfläche der Wärmeübertrager auch die Umgebung der Heizstäbe, wie die abzukühlende  
30 Luft und abzukühlendes Kühlgut, beispielsweise die in Kühlräumen oder in Kühlmöbeln gelagerte Ware, durch die von den Heizstäben abgegebene Wärme erwärmt. Die beim Abtauprozess insbesondere in die Umgebung des

Wärmeübertragers eingetragene Energie ist während des dem Abtauprozess nachfolgenden Kühlprozesses durch die Kälteanlage wieder abzuführen, was die notwendige Energie zum Abkühlen ebenfalls erhöht.

- 5 Aus der EP 1 498 673 A1 geht ein Verfahren zum Betreiben einer Kälteanlage mit einem Kältemittelkreislauf hervor. Der Kältemittelkreislauf weist jeweils mindestens einen als Verflüssiger betriebenen Wärmeübertrager, zwei als Verdampfer betriebene Wärmeübertrager und einen Verdichter mit mindestens zwei Leistungsstufen oder zwei Verdichter auf. Der oder die Verdichter sind  
10 ausgangsseitig über eine Abtauleitung mit den Einlässen der Verdampfer, auch als Kälteverbraucher bezeichnet, verbunden. Je nach Abtaubedarf eines oder mehrerer Kälteverbraucher wird dem oder den abzutauenden Verdampfern über die Abtauleitung verdichtetes, heißes Kältemittel zugeführt. Das verdichtete, heiße Kältemittel wird vor dem Einleiten in den oder die Verdampfer auf das  
15 Saugdruckniveau des Kältemittelkreislaufs entspannt.

- In der WO 2013/078088 A1 wird eine Kälteanlage mit einem Kältemittelkreislauf mit Kohlendioxid als Kältemittel offenbart. Der Kältemittelkreislauf weist eine  
20 Niedertemperatur-Stufe und eine Normaltemperatur-Stufe jeweils mit dazugehörigen Verdichter und Verdampfern auf. Die Verdampfer der Niedertemperatur-Stufe sind sowohl in einem Kühlmodus als auch in einem Abtaumodus mit Heißgas betreibbar. Das Heißgas des Kältemittels dient dem Abtauen der Verdampfer und kann von den Verdichtern der Niedertemperatur-Stufe beziehungsweise der Normaltemperatur-Stufe bereitgestellt werden. Die  
25 Normaltemperatur-Stufe ist zudem mit einem Abscheider, auch als Mitteldruckabscheider bezeichnet, ausgebildet. Aus dem Mitteldruckabscheider wird flüssiges Kältemittel entnommen und zu den einzelnen Verdampfern geführt. Beim Betrieb im Abtaumodus wird das Heißgas durch eine den Austritt der Verdichter mit einem Verteiler verbindende Leitung geleitet und vom  
30 Verteiler auf die Verdampfer aufgeteilt. In Strömungsrichtung nach den Verdampfern wird das Heißgas in einem Sammler zusammengeführt und in den Mitteldruckabscheider eingeleitet.

Beim Betrieb im Abtaumodus wird mindestens einer der Verdampfer der Niedertemperatur-Stufe mit Heißgas beaufschlagt, während die anderen Verdampfer abgeschaltet sind und nicht von Kältemittel durchströmt werden. Mindestens einer der Verdampfer der Normaltemperatur-Stufe wird im  
5 Kühlmodus betrieben.

Die Aufgabe der Erfindung besteht in der Bereitstellung einer Anordnung zum Abtauen mindestens eines als Verdampfer betriebenen Wärmeübertragers in einem Kältemittelkreislauf einer Kälteanlage sowie einem Verfahren zum  
10 Betreiben des Kältemittelkreislaufs beim Abtauen mittels Heißgas. Dabei sollen lediglich einzelne Verdampfer, insbesondere einer Temperaturstufe, abtaubar sein, während andere Verdampfer der gleichen Temperaturstufe in einem Kühlmodus weiter betrieben werden.

Der Abtauvorgang soll unter dem Aufwand minimaler Energie und minimaler  
15 Zeit wirtschaftlich ermöglicht werden. Die Temperatur der Luft der Kühlstelle soll während des Abtauvorgangs nahezu konstant gehalten und damit das der Kühlstelle zugeordnete Kühlgut geschont werden. Es sollen lediglich minimale Betriebskosten, Herstellungs- beziehungsweise Installationskosten und Wartungskosten verursacht werden.

20

Die Aufgabe wird durch den Gegenstand und das Verfahren mit den Merkmalen der selbstständigen Patentansprüche gelöst. Weiterbildungen sind in den abhängigen Patentansprüchen angegeben.

25 Die Aufgabe wird durch einen erfindungsgemäßen Kältemittelkreislauf einer Kälteanlage mit einer Anordnung zum Abtauen mindestens eines Wärmeübertragers mit Kältemittel gelöst. Der Kältemittelkreislauf weist mindestens zwei Verdampfungsdruckstufen auf, wobei eine erste, untere Verdampfungsdruckstufe mit mindestens einem Verdichter und mindestens  
30 einem als Verdampfer betreibbaren Wärmeübertrager mit vorgelagertem Expansionsorgan sowie eine zweite, obere Verdampfungsdruckstufe mit mindestens einem Verdichter und mindestens einem als Verdampfer

betreibbaren Wärmeübertrager mit vorgelagertem Expansionsorgan ausgebildet sind. Die als Verdampfer betreibbaren Wärmeübertrager der unterschiedlichen Verdampfungsdruckstufen sind mit Kältemittel auf unterschiedlichen Druckniveaus beaufschlagbar angeordnet.

- 5 Die Druckniveaus der Verdampfungsdruckstufen beziehen sich dabei jeweils auf die Verdampfungsdrücke des Kältemittels beim Durchströmen der als Verdampfer betreibbaren Wärmeübertrager.

Nach der Konzeption der Erfindung weist die Anordnung zum Abtauen eine  
10 Verbindungsleitung zum Leiten von Kältemittel auf gleichbleibendem Druckniveau auf. Die Verbindungsleitung erstreckt sich von einer an einem Auslass des mindestens einen Verdichters der ersten, unteren Verdampfungsdruckstufe ausgebildeten Abzweigstelle bis zu einer an einem Einlass des mindestens einen als Verdampfer betreibbaren Wärmeübertragers  
15 der zweiten, oberen Verdampfungsdruckstufe ausgebildeten Mündungsstelle. Die als Verdampfer betreibbaren Wärmeübertrager sind jeweils eindirektional durchströmbar angeordnet.

Unter der eindirektionalen Durchströmung, auch als unidirektionale oder  
20 monodirektionale Durchströmung bezeichnet, ist zu verstehen, dass das Kältemittel den Wärmeübertrager unabhängig vom Betriebsmodus des Kältemittelkreislaufs stets in einer Richtung durchquert. Dabei ist ein Auslass des jeweiligen Wärmeübertragers über eine Kältemittelleitung mit einem Einlass eines Verdichters verbunden, sodass das Kältemittel unabhängig vom  
25 Betriebsmodus aus dem Wärmeübertrager austretend direkt vom Verdichter angesaugt wird. Die Wärmeübertrager sind als Luft-Kältemittel-Wärmeübertrager ausgebildet.

Die Begriffe Einlass und Auslass beziehen sich dabei stets auf die Strömungsrichtung des Kältemittels durch die Komponenten des  
30 Kältemittelkreislaufs. Die Strömungsrichtung des Kältemittels bleibt unabhängig vom Betriebsmodus durch alle Komponenten des Kältemittelkreislaufs konstant.

Anstelle von einzelnen Verdichtern können die Verdampfungsdruckstufen jeweils auch mit Verdichtereinheiten aus mindestens zwei parallel betriebenen und parallel mit Kältemittel beaufschlagbaren Verdichtern ausgebildet sein.

- 5 Nach einer Weiterbildung der Erfindung ist zwischen der Abzweigstelle der Anordnung zum Abtauen und einem Einlass des mindestens einen Verdichters der zweiten, oberen Verdampfungsdruckstufe ein als Enthitzer für das aus dem mindestens einen Verdichter der ersten, unteren Verdampfungsdruckstufe austretende gasförmige Kältemittel betriebener Wärmeübertrager derart  
10 angeordnet, dass das aus dem Enthitzer austretende Kältemittel von dem mindestens einen Verdichter der zweiten, oberen Verdampfungsdruckstufe angesaugt wird.

- Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist in Strömungsrichtung  
15 des Kältemittels durch die Verbindungsleitung vor der am Einlass des mindestens einen als Verdampfer betreibbaren Wärmeübertragers der zweiten, oberen Verdampfungsdruckstufe ausgebildeten Mündungsstelle ein Absperrventil angeordnet. Die Mündungsstelle ist vorteilhaft in einer zwischen dem Expansionsorgan und dem Wärmeübertrager angeordneten  
20 Kältemittelleitung ausgebildet.

- Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung besteht darin, dass die Verbindungsleitung mit einer Verzweigung zum Einbinden einer  
Kältemittelleitung ausgebildet ist, welche sich von der Verzweigung bis zu einer  
25 an einem Einlass des mindestens einen als Verdampfer betreibbaren Wärmeübertragers der ersten, unteren Verdampfungsdruckstufe ausgebildeten Mündungsstelle erstreckt. Die Mündungsstelle ist bevorzugt ebenfalls in einer zwischen dem Expansionsorgan und dem Wärmeübertrager angeordneten Kältemittelleitung ausgebildet. In Strömungsrichtung des Kältemittels durch die  
30 Kältemittelleitung ist vor der Mündungsstelle vorteilhaft ein Abtauventil angeordnet.

Nach einer Weiterbildung der Erfindung ist die erste, untere Verdampfungsdruckstufe und/oder die zweite, obere Verdampfungsdruckstufe aus mindestens zwei parallel betriebenen und parallel mit Kältemittel beaufschlagbaren Wärmeübertragern ausgebildet, wobei jedem  
5 Wärmeübertrager ein Expansionsorgan vorgelagert angeordnet ist.

Nach einer ersten alternativen Ausgestaltung der Erfindung ist die Abzweigstelle als ein Drei-Wege-Ventil ausgebildet.

Nach einer zweiten alternativen Ausgestaltung der Erfindung sind innerhalb der  
10 Verbindungsleitung der Anordnung zum Abtauen ein Absperrventil und in einem Ansaugbereich des mindestens einen Verdichters der oberen Verdampfungsdruckstufe ein Differenzdruckventil angeordnet. Das Differenzdruckventil ist vorteilhaft zwischen der Abzweigstelle und einem als Enthitzer betreibbaren Wärmeübertrager ausgebildet.

15

Der Kältemittelkreislauf weist zudem bevorzugt einen als Kondensator/Gaskühler auf einem Hochdruckniveau betriebenen Wärmeübertrager zur Abgabe von Wärme sowie einen Abscheider auf. Der Abscheider ist dabei als ein sogenannter Mitteldruckabscheider ausgebildet und  
20 mit Kältemittel auf einem mittlerem Druckniveau zwischen dem Hochdruckniveau und dem Druckniveau der oberen Verdampfungsdruckstufe beaufschlagt angeordnet.

Die Aufgabe wird auch durch ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Betreiben  
25 des Kältemittelkreislaufs in einem Abtaumodus zum Abtauen mindestens eines in einem Kühlmodus zur Wärmeaufnahme als Verdampfer betriebenen Wärmeübertragers einer oberen Verdampfungsdruckstufe gelöst. Das Verfahren weist folgende Schritte auf:

- Feststellen einer Vereisung einer Wärmeübertrageroberfläche des im Kühlmodus zur Wärmeaufnahme als Verdampfer betriebenen Wärmeübertragers der oberen Verdampfungsdruckstufe,
- Schließen eines dem mindestens einen abzutauenden Wärmeübertrager

- zugeordneten Expansionsorgans und
- Öffnen eines dem mindestens einen abzutauenden Wärmeübertrager zugeordneten Absperrventils sowie
  - zumindest teilweises Öffnen einer Verbindungsleitung an einer Abzweigstelle und Leiten zumindest eines Teilmassenstroms von heißem Druckgas mindestens eines Verdichters einer unteren Verdampfungsdruckstufe zum jeweils abzutauenden Wärmeübertrager der oberen Verdampfungsdruckstufe,
  - Hindurchleiten des heißen Druckgases auf dem Druckniveau der oberen Verdampfungsstufe durch den mindestens einen Wärmeübertrager und
  - Ansaugen des aus dem mindestens einen Wärmeübertrager austretenden Kältemittels durch mindestens einen Verdichter der oberen Verdampfungsdruckstufe,
  - Schließen der Verbindungsleitung an der Abzweigstelle und des Abtauventils bei Erreichen einer Abtauendtemperatur am Wärmeübertrager.

Nach einer Weiterbildung der Erfindung wird eine Überhitzung des Kältemittels am Einlass in den mindestens einen Verdichter der oberen Verdampfungsdruckstufe überwacht. Wenn die Überhitzung einen

5 vorgegebenen Sollwert unterschreitet, wird die Verbindungsleitung an der Abzweigstelle und/oder das dem mindestens einen abzutauenden Wärmeübertrager zugeordnete Absperrventil geschlossen.

Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist das Verfahren in

10 einem Abtaumodus zum Abtauen mindestens eines in einem Kühlmodus zur Wärmeaufnahme als Verdampfer betriebenen Wärmeübertragers der unteren Verdampfungsdruckstufe folgende Schritte auf:

- Feststellen einer Vereisung einer Wärmeübertrageroberfläche des in einem Kühlmodus zur Wärmeaufnahme als Verdampfer betriebenen Wärmeübertragers der unteren Verdampfungsdruckstufe,
- Schließen eines dem mindestens einen abzutauenden Wärmeübertrager zugeordneten Expansionsorgans und
- Öffnen eines dem mindestens einen abzutauenden Wärmeübertrager

- zugeordneten Abtauventils sowie
- zumindest teilweises Öffnen der Verbindungsleitung an der Abzweigstelle und Leiten zumindest eines Teilmassenstroms von heißem Druckgas des mindestens einen Verdichters der unteren Verdampfungsdruckstufe zum jeweils abzutauenden Wärmeübertrager der unteren Verdampfungsdruckstufe,
  - Entspannen des Druckgases beim Durchströmen des Abtauventils auf das Druckniveau der unteren Verdampfungsstufe,
  - Hindurchleiten des heißen Druckgases durch den mindestens einen Wärmeübertrager und
  - Ansaugen des aus dem mindestens einen Wärmeübertrager austretenden Kältemittels durch mindestens einen Verdichter der unteren Verdampfungsdruckstufe,
  - Schließen der Verbindungsleitung an der Abzweigstelle und des Abtauventils bei Erreichen einer Abtauendtemperatur am Wärmeübertrager.

Beim Öffnen der Verbindungsleitung an der Abzweigstelle wird der Massenstrom des heißen Druckgases bevorzugt in einem Verhältnis zwischen 0 und 100 % in die Teilmassenströme aufgeteilt.

5

Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird bei der Ausbildung der unteren Verdampfungsdruckstufe und/oder bei der Ausbildung der oberen Verdampfungsdruckstufe aus mindestens zwei parallel mit Kältemittel beaufschlagbaren Wärmeübertragern mindestens einer der Wärmeübertrager im Abtaumodus betrieben, während mindestens ein zweiter Wärmeübertrager im Kühlmodus betrieben wird.

10

Die als Verdampfer betreibbaren Wärmeübertrager der unteren Verdampfungsdruckstufe und/oder der oberen Verdampfungsdruckstufe sind jeweils vorteilhaft einzeln abtaubar.

15

Die erfindungsgemäße Anordnung zum Abtauen eines Wärmeübertragers in einem Kältemittelkreislauf einer Kälteanlage und das erfindungsgemäße Verfahren zum Betreiben des Kältemittelkreislaufs beim Abtauen weisen

zusammenfassend diverse Vorteile auf:

- es sind einzelne Verdampfer, insbesondere einer Verdampfungstemperaturstufe oder Verdampfungsdruckstufe, in minimaler Zeit abtaubar, während andere Verdampfer der gleichen oder anderen Temperaturstufe im Kühlmodus weiter betrieben werden können,
- Konstanthalten der Temperatur der Luft der Kühlstelle während des Abtauvorgangs, dadurch
- minimaler Energieverbrauch für den unumgänglichen Abtauvorgang der Wärmeübertrager sowie minimale Betriebskosten der Kälteanlage und damit schnelles Erreichen von gesteckten Klimazielen und
- Schonen des der Kühlstelle zugeordneten Kühlguts,
- Verwenden des klimafreundlichen Kältemittels Kohlendioxid mit einem neutralen Treibhauspotential von eins, kurz auch als GWP für englisch „global warming potential“ bezeichnet, sowie
- minimaler Installationsaufwand beziehungsweise minimale Herstellungskosten und Wartungskosten der Kälteanlage.

Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile von Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen mit Bezugnahme auf die zugehörigen Zeichnungen. Es zeigen:

Fig. 1 und 2: einen Kältemittelkreislauf mit einer Niedertemperatur-Stufe und eine Normaltemperatur-Stufe jeweils mit dazugehörigen Verdichtern und als Verdampfer betriebenen Wärmeübertragern sowie einer Anordnung zum Abtauen der Wärmeübertrager und

den Betrieb des Kältemittelkreislaufs im Kühlmodus und im Abtaumodus der Wärmeübertrager in einem log p,h-Diagramm, speziell bei subkritischem Betrieb.

30

In den **Fig. 1 und 2** ist jeweils ein Kältemittelkreislauf 1a, 1b mit einer Niedertemperatur-Stufe und eine Normaltemperatur-Stufe mit dazugehörigen

Verdichtern 2, 4 und als Verdampfer betriebenen Wärmeübertragern 9, 16 sowie einer Anordnung zum Abtauen der Wärmeübertrager 9, 16 dargestellt. Der gezeigte Kältemittelkreislauf 1a, 1b entspricht einer sogenannten Booster-Schaltung. Als Kältemittel wird bevorzugt das natürliche Kältemittel Kohlendioxid, kurz als CO<sub>2</sub> oder R744 bezeichnet, verwendet.

Die Verdichter 2 der Niedertemperatur-Stufe, welche innerhalb einer Verdichtereinheit parallel zueinander angeordnet sind, saugen Kältemittel mit dem Zustand A aus den Verdampfern 16 der Niedertemperatur-Stufe, auch als untere Verdampfungsdruckstufe bezeichnet, an und verdichten das Kältemittel auf ein Druckniveau der oberen Verdampfungsstufe beziehungsweise auf ein Druckniveau oberhalb der oberen Verdampfungsstufe. Das gasförmige Kältemittel auf niederem Druckniveau ist überhitzt und liegt am Auslass der Verdichter 2 im Zustand B vor.

Die jeweiligen Zustände des Kältemittels sind aus dem in **Fig. 3** gezeigten log p, h-Diagramm, welches den Betrieb des Kältemittelkreislaufs 1a, 1b anhand der Zustandspunkte und Zustandsänderungen beim Betrieb im Kühlmodus und im Abtaumodus der Wärmeübertrager 9, 16 zeigt, zu entnehmen.

20

Beim Betrieb des Kältemittelkreislaufs 1a, 1b, insbesondere der als Verdampfer betriebenen Wärmeübertrager 9, 16, im Kühlmodus wird das Kältemittel vollständig zum als Enthitzer betriebenen Wärmeübertrager 3 geleitet, in welchem das Kältemittel auf den Zustand C enthitzt wird. Die Wärme wird beispielsweise vom Kältemittel an Luft übertragen.

Die Verdichter 4, welche ebenfalls innerhalb einer Verdichtereinheit parallel zueinander angeordnet sind, saugen das Kältemittel mit dem Zustand D der Normaltemperatur-Stufe, auch als obere Verdampfungsdruckstufe bezeichnet, an und verdichten das Kältemittel auf ein Hochdruckniveau. Das angesaugte gasförmige Kältemittel auf Druckniveau der oberen Verdampfungsstufe ist überhitzt und liegt am Auslass der Verdichter 4 im Zustand E vor.

Anschließend wird das Kältemittel zum als Kondensator/Gaskühler betriebenen

Wärmeübertrager 5 geleitet, in welchem das Kältemittel auf den Zustand F enthitzt und verflüssigt wird. Die Wärme wird beispielsweise wiederum vom Kältemittel an Luft übertragen. Das Kältemittel tritt als vorzugsweise Flüssigkeit aus dem Wärmeübertrager 5 aus.

5

Wenn das Kältemittel bei subkritischem beziehungsweise unterkritischem Betrieb des Kältemittelkreislaufs, wie in Fig. 3 gezeigt, verflüssigt wird, wird der Wärmeübertrager 5 als Kondensator bezeichnet. Ein Teil der Wärmeübertragung findet bei konstanter Temperatur statt. Bei überkritischem  
10 Betrieb beziehungsweise bei überkritischer Wärmeabgabe im Wärmeübertrager 5 nimmt die Temperatur des Kältemittels stetig ab. In diesem Fall werden der Wärmeübertrager 5 auch als Gaskühler und das Kältemittel als transkritisches Medium bezeichnet. Überkritischer Betrieb kann unter bestimmten Umgebungsbedingungen oder Betriebsweisen des Kältemittelkreislaufs  
15 insbesondere mit dem Kältemittel Kohlendioxid auftreten.

Das aus dem Wärmeübertrager 5 austretende, flüssige Kältemittel wird beim Durchströmen des Expansionsorgans 6, welches vorteilhaft als ein Expansionsventil ausgebildet ist, vom Hochdruckniveau auf ein  
20 Mitteldruckniveau entspannt und im Zustand G als Zwei-Phasengemisch aus Flüssigkeit und Dampf in einen Abscheider 7, welcher auch als Mitteldruckabscheider bezeichnet wird, eingeleitet. Innerhalb des Mitteldruckabscheiders 7 wird das dampfförmige Kältemittel vom flüssigen Kältemittel abgeschieden. Das Mitteldruckniveau weist einen Druck auf, welcher  
25 zwischen dem Hochdruckniveau und dem Druckniveau der oberen Verdampfungsdruckstufe liegt.

Das auf dem Mitteldruckniveau vorliegende flüssige Kältemittel wird im Zustand H aus dem Mitteldruckabscheider 7 entnommen und zu Expansionsorganen 8  
30 der oberen Verdampfungsdruckstufe und zu Expansionsorganen 15 der unteren Verdampfungsdruckstufe geleitet.

Je nach Bedarf, das heißt je nach Kältebedarf der oberen Verdampfungsdruckstufe, wird das Kältemittel auf verschiedene, parallel zueinander angeordnete und als Verdampfer betriebene Wärmeübertrager 9 der oberen Verdampfungsdruckstufe aufgeteilt. Vor dem Einlass in die  
5 Verdampfer 9 werden die Teilmassenströme des Kältemittels in den jeweils den Verdampfern 9 in Strömungsrichtung des Kältemittels vorgelagert angeordneten Expansionsorganen 8 vom Mitteldruckniveau auf das Druckniveau der oberen Verdampfungsdruckstufe entspannt. Das aus den insbesondere jeweils als Expansionsventil ausgebildeten Expansionsorganen 8 austretende Kältemittel  
10 liegt im Zustand K als Zwei-Phasengemisch aus Flüssigkeit und Dampf vor. Beim Durchströmen der Verdampfer 9 wird das flüssige Kältemittel unter Aufnahme von Wärme, beispielsweise aus der die Verdampfer 9 umgebenden Luft, verdampft und das gasförmige Kältemittel gegebenenfalls überhitzt. Das Kältemittel tritt im Zustand L aus den Verdampfern 9 aus. Der an Abzweigstellen  
15 10 in Teilmassenströme der oberen Verdampfungsdruckstufe aufgeteilte Kältemittelmassenstrom wird an einer Mündungsstelle 11 wieder vermischt.

Parallel zum flüssigen Kältemittel wird auch das gasförmige Kältemittel aus dem Mitteldruckabscheider 7 entnommen. Das ebenfalls auf dem Mitteldruckniveau  
20 vorliegende gasförmige Kältemittel wird im Zustand J aus dem Mitteldruckabscheider 7 abgeführt und zu einem Expansionsorgan 12, insbesondere einem Expansionsventil, geleitet. Beim Durchströmen des Expansionsventils 12 wird das gasförmige Kältemittel auf das Druckniveau der oberen Verdampfungsdruckstufe entspannt und anschließend im Zustand M an  
25 einer Mündungsstelle 13 mit dem Anteil des aus den Verdampfern 9 austretenden Kältemittels vermischt.

Das nach dem Vermischen im Zustand N vorliegende Kältemittel wird mit dem aus dem Enthitzer 3 im Zustand C austretenden Kältemittel an der Mündungsstelle 14 vermischt und als Kältemittel im Zustand D von der  
30 Verdichtereinheit 4 angesaugt.

Das auf dem Mitteldruckniveau im Zustand H aus dem Mitteldruckabscheider 7

entnommene flüssige Kältemittel wird zudem je nach Bedarf, das heißt je nach Kältebedarf der unteren Verdampfungsdruckstufe, auf verschiedene, parallel zueinander angeordnete und als Verdampfer betriebene Wärmeübertrager 16 der unteren Verdampfungsdruckstufe aufgeteilt. Vor dem Einlass in die 5 Verdampfer 16 werden die Teilmassenströme des Kältemittels in jeweils den Verdampfern 16 in Strömungsrichtung des Kältemittels vorgelagert angeordneten Expansionsorganen 15 vom Mitteldruckniveau auf das Druckniveau der unteren Verdampfungsdruckstufe entspannt. Das aus den insbesondere jeweils als Expansionsventil ausgebildeten Expansionsorganen 10 15 austretende Kältemittel liegt im Zustand P als Zwei-Phasengemisch aus Flüssigkeit und Dampf vor. Beim Durchströmen der Verdampfer 16 wird das flüssige Kältemittel unter Aufnahme von Wärme, beispielsweise aus der die Verdampfer 16 umgebenden Luft, verdampft und das gasförmige Kältemittel gegebenenfalls überhitzt. Das Kältemittel tritt im Zustand A aus den 15 Verdampfern 16 aus. Der an einer Abzweigstelle 17 in Teilmassenströme der unteren Verdampfungsdruckstufe aufgeteilte Kältemittelmassenstrom wird an einer Mündungsstelle 18 wieder vermischt und von der Verdichtereinheit 2 der unteren Verdampfungsdruckstufe angesaugt. Der Kältemittelkreislauf 1a, 1b ist geschlossen.

20

Das beim Betrieb der Verdichter 2 der unteren Verdampfungsdruckstufe erzeugte heiße Druckgas, auch als Heißgas bezeichnet, wird in die obere Verdampfungsdruckstufe eingeleitet und gemeinsam mit dem Sauggas aus den Verdampfern 9 der oberen Verdampfungsdruckstufe sowie dem Drosselgas aus dem 25 Mitteldruckabscheider 7 von den Verdichtern 4 der oberen Verdampfungsdruckstufe angesaugt und auf das Hochdruckniveau verdichtet. Die Verdampfer 9 der oberen Verdampfungsdruckstufe werden auch als Normaltemperatur-Kühlstellen oder Kühlstellen der Normalkühlung, kurz NK-Kühlstellen, bezeichnet. Das Hochdruckniveau entspricht dem 30 Verflüssigungsdruck des Kältemittels.

Je nach Anlagenzustand ist das Heißgas der unteren Verdampfungsdruckstufe nach dem Austritt aus den Verdichtern 2 vor dem Vermischen mit dem in der

oberen Verdampfungsdruckstufe zirkulierenden Kältemittel abzukühlen und wird zur Wärmeabgabe durch den Enthitzer 3 geleitet. Die Verdampfer 16 der unteren Verdampfungsdruckstufe werden auch als Tieftemperatur-Kühlstellen oder Kühlstellen der Tiefkühlung, kurz TK-Kühlstellen, bezeichnet.

5

Der Kältemittelkreislauf 1a, 1b ist zudem mit einer Verbindungsleitung 21 ausgebildet, welche sich ausgehend von einer Abzweigstelle 19 jeweils bis zu einem Einlass in die Wärmeübertrager 9 der oberen Verdampfungsdruckstufe beziehungsweise in die Wärmeübertrager 16 der unteren Verdampfungsdruckstufe erstreckt. Die Abzweigstelle 19 ist dabei zwischen dem Auslass der Verdichtereinheit 2 der unteren Verdampfungsdruckstufe und dem Enthitzer 3 ausgebildet, sodass das beim Betrieb der Verdichter 2 der unteren Verdampfungsdruckstufe erzeugte Heißgas je nach Bedarf zumindest anteilig zu den Wärmeübertragern 9, 16 geleitet werden kann. Das Heißgas ist an der Abzweigstelle 19 in einen Massenstrom zum Enthitzer 3 und einen Massenstrom zu den Wärmeübertragern 9, 16 in einem Verhältnis zwischen 0 und 100 % aufteilbar.

Die Verbindungsleitung 21 ist mit Verzweigungen 22a, 22b ausgebildet, um das Heißgas als Kältemittelmassenstrom gegebenenfalls aufzuteilen und parallel zu den Wärmeübertragern 9, 16 der Verdampfungsdruckstufen zu führen. Die einzelnen Strömungspfade der Verbindungsleitung 21 münden dabei jeweils an Mündungsstellen 24a, 24b in Kältemittelleitungen ein, welche zwischen den Expansionsorganen 8, 15 und den Wärmeübertragern 9, 16 der Verdampfungsdruckstufen und damit jeweils am Einlass der Wärmeübertrager 9, 16 ausgebildet sind. Jeder Strömungspfad der Verbindungsleitung 21 weist ein Abtauventil 23, 25 auf, um den Strömungspfad je nach Bedarf zu öffnen oder zu schließen und den in Strömungsrichtung des Kältemittels nach der Mündungsstelle 24a, 24b angeordneten Wärmeübertrager 9, 16 mit Heißgas zu beaufschlagen.

Die sich von der Abzweigstelle 19 bis zu den Mündungsstellen 24a, 24b

erstreckende Verbindungsleitung 21 mit den Verzweigungen 22a, 22b sowie den Abtauventilen 23, 25 sind Komponenten einer Anordnung zum Abtauen mindestens eines der beim Betrieb im Kühlmodus als Verdampfer betriebenen Wärmeübertrager 9, 16. Beim Betrieb des Kältemittelkreislaufs 1a, 1b im  
5 Abtaumodus werden die zuvor beim Betrieb im Kühlmodus zur Wärmeaufnahme als Verdampfer betriebenen Wärmeübertrager 9, 16 abgetaut beziehungsweise enteist. Beim Betrieb des Kältemittelkreislaufs 1a, 1b, insbesondere beim Betrieb eines Wärmeübertragers 9, 16, im Kühlmodus sind die jeweils zum Wärmeübertrager 9, 16 zugeordneten Abtauventile 23, 25 der  
10 Anordnung zum Abtauen geschlossen.

Die Abzweigstelle 19 der Anordnung zum Abtauen kann auf verschiedene Art und Weise ausgebildet werden.

Wie aus Fig. 1 hervorgeht, weist der Kältemittelkreislauf 1a ein an der  
15 Abzweigstelle 19 ausgebildetes Drei-Wege-Ventil 20, auch als Abtauhauptventil bezeichnet, auf, welches den Massenstrom des aus der Verdichtereinheit 2 der unteren Verdampfungsdruckstufe austretenden heißen Druckgases abhängig vom jeweiligen Betriebsmodus des Kältemittelkreislaufs 1a steuert und in Teilmassenströme in Richtung des Enthitzers 3 sowie in die Verbindungsleitung  
20 21 aufteilt.

Nach einer alternativen Ausführungsform gemäß dem Kältemittelkreislauf 1b aus Fig. 2 sind im Bereich der Abzweigstelle 19 ein erstes Ventil 26 und ein zweites Ventil 27, insbesondere ein pilotgesteuertes Differenzdruckventil 27, angeordnet. Das erste Ventil 26 ist bevorzugt als Absperrventil ausgebildet.  
25

Die Abtauventile 23 der Strömungspfade, welche sich zwischen einer Verzweigung 22a und einer Mündungsstelle 24a erstrecken, um Heißgas zu einem Wärmeübertrager 9 der oberen Verdampfungsdruckstufe zu leiten, sind insbesondere als Absperrventile 23, speziell als Magnetventile, ausgebildet.  
30

Beim Betrieb des Kältemittelkreislaufs 1a, 1b im Abtaumodus wird zuerst von einer übergeordneten Regelungseinrichtung ein Befehl zum Abtauen

ausgegeben. Das Drei-Wege-Ventil 20 des Kältemittelkreislaufs 1a nach Fig. 1 beziehungsweise das Ventil 26 des Kältemittelkreislaufs 1b nach Fig. 2 werden zumindest teilweise geöffnet, sodass lediglich ein erster Teilmassenstrom des heißen Druckgases der Verdichtereinheit 2 der unteren Verdampfungsdruckstufe durch den Enthitzer 3 in die Saugleitung der Verdichtereinheit 4 der oberen Verdampfungsdruckstufe geleitet wird, während ein zweiter Teilmassenstrom des heißen Druckgases der Verdichtereinheit 2 der unteren Verdampfungsdruckstufe zu den abzutauenden Wärmeübertragern 9 der oberen Verdampfungsdruckstufe geführt wird. Je nach Bedarf können das Drei-Wege-Ventil 20 beziehungsweise das Ventil 26 auch derart eingestellt werden, dass der Massenstrom des heißen Druckgases der Verdichtereinheit 2 der unteren Verdampfungsdruckstufe anstatt durch den Enthitzer 3 in die Saugleitung der Verdichtereinheit 4 der oberen Verdampfungsdruckstufe zu den abzutauenden Wärmeübertragern 9 der oberen Verdampfungsdruckstufe geleitet wird.

Beim Betrieb des Kältemittelkreislaufs 1a, 1b im Abtaumodus wird somit zumindest ein Teil des in der Verdichtereinheit 2 der unteren Verdampfungsdruckstufe auf ein Druckniveau der oberen Verdampfungsstufe beziehungsweise auf ein Druckniveau oberhalb der oberen Verdampfungsstufe verdichtete und im Zustand B vorliegende gasförmige Kältemittel beziehungsweise Heißgas ohne nennenswerte Druckänderung durch die Verbindungsleitung 21 mit den Verzweigungen 22a und die geöffneten Absperrventile 23 hindurch zu den abzutauenden Wärmeübertragern 9 geführt und auf dem Druckniveau der oberen Verdampfungsstufe durch den jeweiligen mindestens einen Wärmeübertrager 9 hindurchgeleitet. Das Heißgas strömt infolge der treibenden Druckdifferenz durch den Wärmeübertrager 9 hindurch.

Dabei werden das Heißgas unter Wärmeabgabe enthitzt und gegebenenfalls zumindest teilweise verflüssigt sowie die Wärmeübertragungsfläche des nunmehr als Enthitzer/Kondensator betriebenen Wärmeübertragers 9 enteist. Das Kältemittel kühlt sich ab und tritt mit dem Zustand Q aus dem Wärmeübertrager 9 aus. Die vom Kältemittel abgeführte Wärme dient zum Schmelzen des Eises und gegebenenfalls dem Verdunsten des Wassers.

Durch die hervorragenden Wärmeübergangseigenschaften von R744 als Kältemittel ist es möglich, den Eisansatz an der Oberfläche des Wärmeübertragers 9 ohne jeglichen Hilfsenergieaufwand lediglich mit dem  
5 Energieinhalt des heißen Druckgases in kürzester Zeit zu entfernen. Der Abtauvorgang kann dabei durch Abschmelzen des Eises oder durch Sublimation erfolgen. Zudem ist eine Erhöhung der Luftfeuchtigkeit in der Kühlstelle durch Druckgaseinleitung in der Stillstandsphase des Wärmeübertragers 9 möglich.

10

Der Betrieb im Kühlmodus wird für den oder die abzutauenden Wärmeübertrager 9 für die Zeit des Abtauens und damit der Druckgasdurchleitung unterbrochen. Das jeweilige Expansionsventil 8 ist geschlossen.

15

Nach dem Durchströmen des Wärmeübertragers 9 wird das enthitzte und möglicherweise als Zwei-Phasengemisch vorliegende Kältemittel an der Mündungsstelle 11 mit dem überhitzt aus den gegebenenfalls weiterhin als Verdampfer betriebenen Wärmeübertragern 9 der oberen  
20 Verdampfungsdruckstufe vermischt. Die weiteren Verfahrensschritte entsprechen den Schritten des Betriebs des Kältemittelkreislaufs 1a, 1b beziehungsweise der Wärmeübertrager 9 im Kühlmodus.

Auch beim Betrieb des Kältemittelkreislaufs 1a, 1b im Abtaumodus ist  
25 sicherzustellen, dass von der Verdichtereinheit 4 ausschließlich überhitztes und damit gasförmiges Kältemittel angesaugt wird, um Flüssigkeitsschläge zu vermeiden, welche die Verdichter 4 beschädigen oder zerstören können.

Insbesondere beim gleichzeitigen Abtauen von mehreren Wärmeübertragern 9  
30 der oberen Verdampfungsdruckstufe könnte ein Vermischen der aus den Wärmeübertragern 9 austretenden Kältemittelmassenströme an der Mündungsstelle 11 dazu führen, dass Kältemittel im Zwei-Phasengemisch und

damit nicht überhitzt vorliegt.

Dabei ist zu verhindern, dass zumindest teilweise flüssiges Kältemittel trotz des Vermischens mit dem Sauggas aus den jeweils als Verdampfer betriebenen Wärmeübertragern 9 der oberen Verdampfungsstufe an der Mündungsstelle 11 und mit dem Drosselgas aus dem Abscheider 7 an der Mündungsstelle 13 sowie gegebenenfalls dem zumindest teilweise enthitzen oder unkonditionierten Heißgas der Verdichtereinheit 2 der unteren Verdampfungsstufe an der Mündungsstelle 14 zur Verdichtereinheit 4 der oberen Verdampfungsstufe gelangt. Es ist folglich sicherzustellen, dass eine ausreichende Menge Heißgas mit dem Zustand B durch den Enthitzer 3 geleitet wird, um an der Mündungsstelle 14 mit dem von der Mündungsstelle 13 zuströmendem Kältemittel vermischt zu werden und so das Kältemittel im überhitzten Zustand D von der Verdichtereinheit 4 anzusaugen. Dabei ist zu gewährleisten, dass ein ausreichend großer Anteil des Kältemittelmassenstroms durch den Enthitzer 3 geleitet wird, wobei zudem die im Enthitzer 3 zu übertragene Wärme, beispielsweise durch Steuern eines Lüfters, beeinflusst wird. Wenn im Enthitzer 3 keine Wärme übertragen werden soll, ist folglich die Luftzufuhr zum Enthitzer 3 zu stoppen. Die Aufteilung des Kältemittelmassenstroms an der Abzweigstelle 19 ist dementsprechend zu steuern.

Die Überhitzung des Kältemittels am Einlass der Verdichtereinheit 4 der oberen Verdampfungsdruckstufe, auch als Ansaugüberhitzung bezeichnet, wird stets überwacht. Wenn die Ansaugüberhitzung einen vorgegebenen Sollwert unterschreitet, werden entweder die Verbindungsleitung 21 im Bereich der Abzweigstelle 19 oder das Abtauventil 23 des jeweiligen Verdampfers 9 geschlossen. Dabei wird die Verbindungsleitung 21 des Kältemittelkreislaufs 1a nach Fig. 1 mittels des Drei-Wege-Ventils 20 und die Verbindungsleitung 21 des Kältemittelkreislaufs 1b nach Fig. 2 mittels des Absperrventils 26 geschlossen. Damit wird wirksam verhindert, dass die Verdichtereinheit 4 Kältemittel mit flüssigem Anteil, das heißt als Zwei-Phasengemisch vorliegendes Kältemittel, ansaugt und beschädigt werden kann.

Beim Erreichen der Abtauendtemperatur am jeweiligen Wärmeübertrager 9 werden zuerst die Verbindungsleitung 21 und zeitlich verzögert das Abtauventil 23 des Wärmeübertragers 9 geschlossen. Nach Ablauf einer vorgegebenen  
5 Zeitspanne, beispielsweise zum Abtropfen des Wassers von der Oberfläche des Wärmeübertragers 9, wird der Wärmeübertrager 9 wieder im Kühlmodus und damit als Verdampfer betrieben, der Kühlprozess an der Kühlstelle wird fortgesetzt.

10 Der Betrieb des Kältemittelkreislaufs 1a, 1b im Abtaumodus erfolgt unter minimalem Energieverbrauch. So ist beispielsweise ein Verdampfer eines Kühlraums mit einer Temperatur von  $+1^{\circ}\text{C}$  täglich mindestens dreimal abzutauen. Beim Abtauen mit einer elektrischen Abtauvorrichtung sind dabei etwa 9,8 kW/Tag an Elektroenergie aufzuwenden. Für das Abtauen des  
15 gleichen Verdampfers mittels Heißgas reduziert sich der Verbrauch an Elektroenergie um bis zu 88 %.

Ein als Verdampfer betriebener Wärmeübertrager einer Wärmepumpe ist bei Außentemperaturen von weniger als  $+1^{\circ}\text{C}$  mehrmals täglich zu enteisen, wobei die Leistungsaufnahme der elektrischen Abtauvorrichtung etwa 16,8 kW  
20 beträgt. Für das Abtauen des gleichen Verdampfers mittels Heißgas reduziert sich der Verbrauch an Elektroenergie um etwa 78 %.

Die Abtauventile 25 der Strömungspfade, welche sich zwischen einer Verzweigung 22b und einer Mündungsstelle 24b erstrecken, um Heißgas zu  
25 einem Wärmeübertrager 16 der unteren Verdampfungsdruckstufe zu leiten, sind insbesondere als Magnetventile mit Expansionsfunktion ausgebildet.

Beim Betrieb des Kältemittelkreislaufs 1a, 1b im Abtaumodus der Wärmeübertrager 16 der unteren Verdampfungsdruckstufe wird zumindest ein  
30 Teil des in der Verdichtereinheit 2 der unteren Verdampfungsdruckstufe auf ein Druckniveau der oberen Verdampfungsstufe beziehungsweise auf ein Druckniveau oberhalb der oberen Verdampfungsstufe verdichteten und im

Zustand B vorliegenden gasförmigen Kältemittels beziehungsweise Heißgases durch die Verbindungsleitung 21 mit den Verzweigungen 22a, 22b und mindestens ein geöffnetes Abtauventil 25 hindurch zu mindestens einem abzutauenden Wärmeübertrager 16 geführt. Das Heißgas wird beim  
5 Durchströmen des Abtauventils 25 vom Zustand B zum Zustand R auf das Druckniveau der unteren Verdampfungsdruckstufe entspannt und durch den abzutauenden Wärmeübertrager 16 hindurchgeleitet.

Der Betrieb im Kühlmodus wird für den oder die abzutauenden Wärmeübertrager 16 für die Zeit des Abtauens und damit der  
10 Druckgasdurchleitung unterbrochen. Das jeweilige Expansionsventil 15 ist geschlossen.

Dabei wird das Heißgas unter Wärmeabgabe enthitzt. Die Wärmeübertragungsfläche des nunmehr als Enthitzer betriebenen Wärmeübertragers 16 wird enteist. Die vom Kältemittel abgeführte Wärme dient  
15 zum Schmelzen des Eises und dem Verdunsten des Wassers. Das Kältemittel tritt bevorzugt mit dem Zustand A aus dem Wärmeübertrager 16 aus.

Anschließend werden die aus den Wärmeübertragern 16 der unteren Verdampfungsdruckstufe austretenden Kältemittelmassenströme an der  
20 Mündungsstelle 18 vermischt und von der Verdichtereinheit 2 angesaugt. Die weiteren Verfahrensschritte entsprechen den Schritten des Betriebs des Kältemittelkreislaufs 1a, 1b im Kühlmodus der Wärmeübertrager 9, 16.

Dabei ist wiederum sicherzustellen, dass von der Verdichtereinheit 2  
25 ausschließlich überhitztes und damit gasförmiges Kältemittel angesaugt wird, um Flüssigkeitsschläge zu vermeiden, welche die Verdichter 2 beschädigen oder zerstören können. Der Kältemittelkreislauf 1a, 1b, insbesondere im Hinblick auf die Kältemittelmassenströme durch die Wärmeübertrager 16, ist dementsprechend zu steuern.

30

Da das Vorsehen der Anordnung zum Abtauen als Komponenten des Kältemittelkreislaufs 1a, 1b zusätzliche Einrichtungen zum Abtauen der

Wärmeübertragerflächen, wie elektrische Abtauvorrichtungen, entbehren, können sowohl Materialkosten eingespart und der Installationsaufwand minimiert werden. Zudem verursacht der Betrieb der Anlage verursacht lediglich minimale Kosten.

5

**Bezugszeichenliste**

|          |   |
|----------|---|
| 1a, 1b   | Kältemittelkreislauf  |
| 2        | Verdichter, Verdichtereinheit untere Verdampfungsdruckstufe     |
| 3        | Wärmeübertrager, Enthitzer                                      |
| 4        | Verdichter, Verdichtereinheit obere Verdampfungsdruckstufe      |
| 5        | Wärmeübertrager, Kondensator/Gaskühler                          |
| 6        | Expansionsorgan, Expansionsventil Hochdruck                     |
| 7        | Abscheider, Mitteldruckabscheider                               |
| 8        | Expansionsorgan, Expansionsventil obere Verdampfungsdruckstufe  |
| 9        | Wärmeübertrager, Verdampfer obere Verdampfungsdruckstufe        |
| 10, 17   | Abzweigstelle   |
| 11, 18   | Mündungsstelle  |
| 12       | Expansionsorgan, Expansionsventil Mitteldruck                   |
| 13, 14   | Mündungsstelle  |
| 15       | Expansionsorgan, Expansionsventil untere Verdampfungsdruckstufe |
| 16       | Wärmeübertrager, Verdampfer untere Verdampfungsdruckstufe       |
| 19       | Abzweigstelle   |
| 20       | Drei-Wege-Ventil  |
| 21       | Verbindungsleitung  |
| 22a, 22b | Verzweigung Verbindungsleitung 21                               |
| 23       | Abtauventil, Absperrventil                                      |
| 24a, 24b | Mündungsstelle  |
| 25       | Abtauventil   |
| 26       | Ventil, Absperrventil   |
| 27       | Ventil, Differenzdruckventil                                    |
| A - R    | Zustand, Zustandspunkte Kältemittel                             |

## Patentansprüche

1. Kältemittelkreislauf (1a, 1b) einer Kälteanlage mit einer Anordnung zum Abtauen mindestens eines Wärmeübertragers mit Kältemittel, wobei der Kältemittelkreislauf (1a, 1b) mindestens zwei Verdampfungsdruckstufen aufweist, wobei
  - eine erste, untere Verdampfungsdruckstufe mit mindestens einem Verdichter (2) und mindestens einem als Verdampfer betreibbaren Wärmeübertrager (16) mit vorgelagertem Expansionsorgan (15) sowie
  - eine zweite, obere Verdampfungsdruckstufe mit mindestens einem Verdichter (4) und mindestens einem als Verdampfer betreibbaren Wärmeübertrager (9) mit vorgelagertem Expansionsorgan (8)
 ausgebildet sind, wobei die Wärmeübertrager (9, 16) der unterschiedlichen Verdampfungsdruckstufen mit Kältemittel auf unterschiedlichen Druckniveaus beaufschlagbar angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anordnung zum Abtauen eine Verbindungsleitung (21) zum Leiten von Kältemittel auf gleichbleibendem Druckniveau aufweist, welche sich von einer an einem Auslass des mindestens einen Verdichters (2) der ersten, unteren Verdampfungsdruckstufe ausgebildeten Abzweigstelle (19) bis zu einer an einem Einlass des mindestens einen als Verdampfer betreibbaren Wärmeübertragers (9) der zweiten, oberen Verdampfungsdruckstufe ausgebildeten Mündungsstelle (24a) erstreckt und dass die Wärmeübertrager (9, 16) eindirektional durchströmbar angeordnet sind.
  
2. Kältemittelkreislauf (1a, 1b) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen der Abzweigstelle (19) der Anordnung zum Abtauen und einem Einlass des mindestens einen Verdichters (4) der zweiten, oberen Verdampfungsdruckstufe ein als Enthitzer für das

aus dem mindestens einen Verdichter (2) der ersten, unteren Verdampfungsdruckstufe austretende gasförmige Kältemittel betriebener Wärmeübertrager (3) derart angeordnet ist, dass das aus dem Wärmeübertrager (3) austretende Kältemittel von dem mindestens einen Verdichter (4) der zweiten, oberen Verdampfungsdruckstufe angesaugt wird.

3. Kältemittelkreislauf (1a, 1b) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** in Strömungsrichtung des Kältemittels durch die Verbindungsleitung (21) vor der Mündungsstelle (24a) ein Absperrventil (23) angeordnet ist.
4. Kältemittelkreislauf (1a, 1b) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mündungsstelle (24a) der Verbindungsleitung (21) in einer zwischen dem Expansionsorgan (8) und dem Wärmeübertrager (9) angeordneten Kältemittelleitung ausgebildet ist.
5. Kältemittelkreislauf (1a, 1b) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verbindungsleitung (21) mit einer Verzweigung (22b) zum Einbinden einer Kältemittelleitung ausgebildet ist, welche sich von der Verzweigung (22b) bis zu einer Mündungsstelle (24b) an einem Einlass des mindestens einen als Verdampfer betreibbaren Wärmeübertragers (16) der ersten, unteren Verdampfungsdruckstufe erstreckt.
6. Kältemittelkreislauf (1a, 1b) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** in Strömungsrichtung des Kältemittels durch die Kältemittelleitung vor der Mündungsstelle (24b) ein Abtauventil (25) angeordnet ist.

7. Kältemittelkreislauf (1a, 1b) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste, untere Verdampfungsdruckstufe aus mindestens zwei parallel betriebenen und parallel mit Kältemittel beaufschlagbaren Wärmeübertragern (16) ausgebildet ist, wobei jedem Wärmeübertrager (16) ein Expansionsorgan (15) vorgelagert angeordnet ist und/oder dass die zweite, obere Verdampfungsdruckstufe aus mindestens zwei parallel betriebenen und parallel mit Kältemittel beaufschlagbaren Wärmeübertragern (9) ausgebildet ist, wobei jedem Wärmeübertrager (9) ein Expansionsorgan (8) vorgelagert angeordnet ist.
8. Kältemittelkreislauf (1a) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abzweigstelle (19) als ein Drei-Wege-Ventil (20) ausgebildet ist.
9. Kältemittelkreislauf (1b) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** innerhalb der Verbindungsleitung (21) ein Absperrventil (26) und in einem Ansaugbereich des mindestens einen Verdichters (4) der oberen Verdampfungsdruckstufe ein Differenzdruckventil (27) angeordnet sind.
10. Verfahren zum Betreiben des Kältemittelkreislaufs (1a, 1b) nach einem der Ansprüche 1 bis 9 in einem Abtaumodus zum Abtauen mindestens eines in einem Kühlmodus zur Wärmeaufnahme als Verdampfer betriebenen Wärmeübertragers (9) einer oberen Verdampfungsdruckstufe, aufweisend folgende Schritte:
  - Feststellen einer Vereisung einer Wärmeübertrageroberfläche des in einem Kühlmodus zur Wärmeaufnahme als Verdampfer betriebenen Wärmeübertragers (9),
  - Schließen eines dem mindestens einen abzutauenden Wärmeübertrager (9) zugeordneten Expansionsorgans (8) und

- Öffnen eines dem mindestens einen abzutauenden Wärmeübertrager (9) zugeordneten Absperrventils (23) sowie
  - zumindest teilweises Öffnen einer Verbindungsleitung (21) an einer Abzweigstelle (19) und Leiten zumindest eines Teilmassenstroms von heißem Druckgas mindestens eines Verdichters (2) einer unteren Verdampfungsdruckstufe zum jeweils abzutauenden Wärmeübertrager (9) der oberen Verdampfungsdruckstufe,
  - Hindurchleiten des heißen Druckgases auf dem Druckniveau der oberen Verdampfungsstufe durch den mindestens einen Wärmeübertrager (9) und
  - Ansaugen des aus dem mindestens einen Wärmeübertrager (9) austretenden Kältemittels durch mindestens einen Verdichter (4) der oberen Verdampfungsdruckstufe,
  - Schließen der Verbindungsleitung (21) an der Abzweigstelle (19) und des Abtauventils (23) bei Erreichen einer Abtauendtemperatur am Wärmeübertrager (9).
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Überhitzung des Kältemittels am Einlass in den mindestens einen Verdichter (4) der oberen Verdampfungsdruckstufe überwacht wird und die Verbindungsleitung (21) an der Abzweigstelle (19) und/oder das dem mindestens einen abzutauenden Wärmeübertrager (9) zugeordnete Absperrventil (23) geschlossen wird, wenn die Überhitzung einen vorgegebenen Sollwert unterschreitet.
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11 in einem Abtaumodus zum Abtauen mindestens eines in einem Kühlmodus zur Wärmeaufnahme als Verdampfer betriebenen Wärmeübertragers (16) der unteren Verdampfungsdruckstufe, aufweisend folgende Schritte:
- Feststellen einer Vereisung einer Wärmeübertrageroberfläche des in einem Kühlmodus zur Wärmeaufnahme als Verdampfer betriebenen

Wärmeübertragers (16),

- Schließen eines dem mindestens einen abzutauenden Wärmeübertrager (16) zugeordneten Expansionsorgans (15) und
- Öffnen eines dem mindestens einen abzutauenden Wärmeübertrager (16) zugeordneten Abtauventils (25) sowie
- zumindest teilweises Öffnen der Verbindungsleitung (21) an der Abzweigstelle (19) und Leiten zumindest eines Teilmassenstroms von heißem Druckgas des mindestens einen Verdichters (2) der unteren Verdampfungsdruckstufe zum jeweils abzutauenden Wärmeübertrager (16) der unteren Verdampfungsdruckstufe,
- Entspannen des Druckgases beim Durchströmen des Abtauventils (25) auf das Druckniveau der unteren Verdampfungsstufe,
- Hindurchleiten des heißen Druckgases durch den mindestens einen Wärmeübertrager (16) und
- Ansaugen des aus dem mindestens einen Wärmeübertrager (16) austretenden Kältemittels durch mindestens einen Verdichter (2) der unteren Verdampfungsdruckstufe,
- Schließen der Verbindungsleitung (21) an der Abzweigstelle (19) und des Abtauventils (25) bei Erreichen einer Abtauendtemperatur am Wärmeübertrager (16).

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Massenstrom des heißen Druckgases beim Öffnen der Verbindungsleitung (21) an der Abzweigstelle (19) in einem Verhältnis zwischen 0 und 100 % in die Teilmassenströme aufgeteilt wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der Ausbildung der unteren Verdampfungsdruckstufe aus mindestens zwei parallel mit Kältemittel beaufschlagbaren Wärmeübertragern (16) mindestens einer der

Wärmeübertrager (16) im Abtaumodus betrieben wird, während mindestens ein zweiter Wärmeübertrager (16) im Kühlmodus betrieben wird und/oder dass bei der Ausbildung der oberen Verdampfungsdruckstufe aus mindestens zwei parallel mit Kältemittel beaufschlagbaren Wärmeübertragern (9) mindestens einer der Wärmeübertrager (9) im Abtaumodus betrieben wird, während mindestens ein zweiter Wärmeübertrager (9) im Kühlmodus betrieben wird.





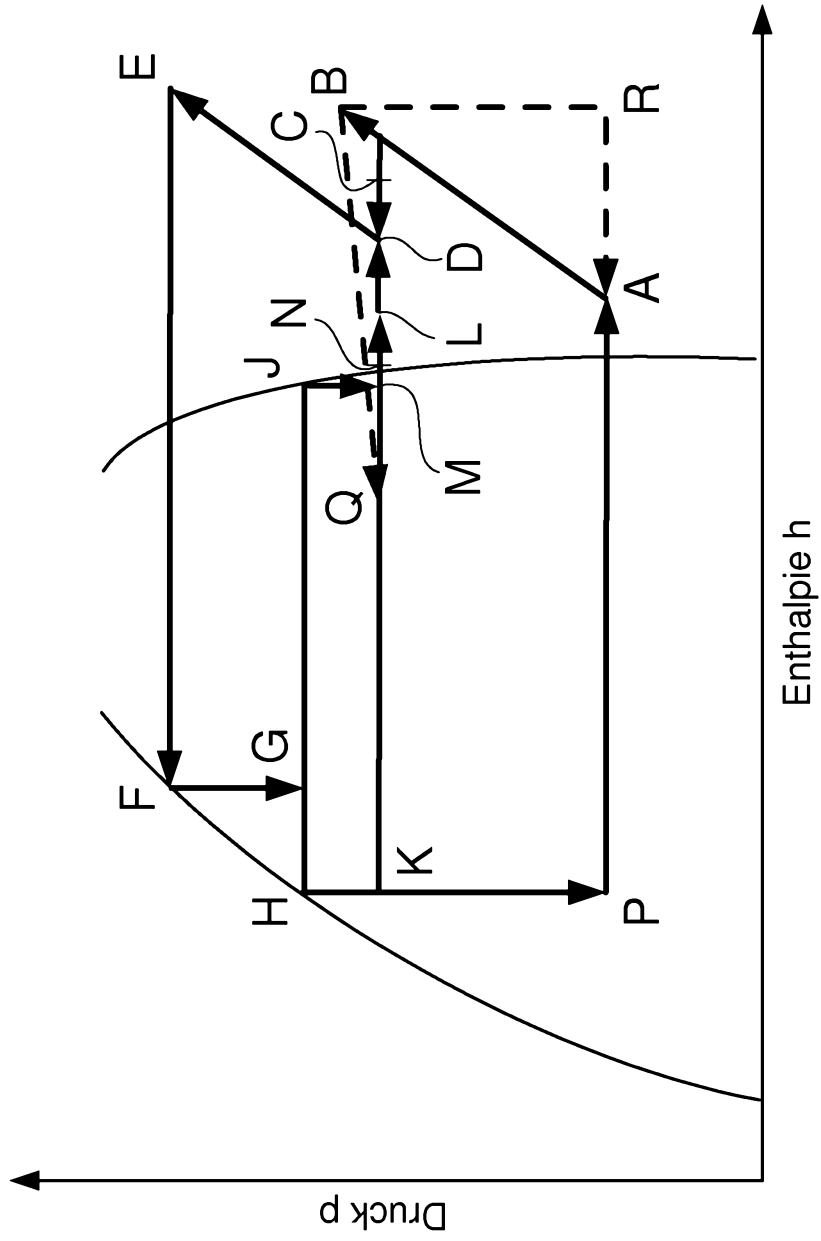


Fig. 3