

In Wärmepumpen und Kaltwassersätzen

Erhöhung der Leistungszahl durch Plattenverdampfer mit Kältemittelverteiler und abgestimmtem Expansionsventil

Josef Osthues, Mosbach, und Stellan Bjernalt, Ronneby (Schweden)

Worum es in diesem Beitrag geht

In der Kältetechnik kommt eine Vielzahl von Wärmeaustauscherbauarten zum Einsatz. Bedingt durch die hohe spezifische Wärmeübertragungsleistung und die hermetische Bauart, setzt man überwiegend gelötete Plattenwärmeaustauscher als Verdampfer in Wärmepumpen und Kaltwassersätzen ein. Der Einsatz des Plattenwärmeaustauschers als Verdampfer bringt einige Besonderheiten mit sich. Der Plattenverdampfer besteht aus einer Mehrzahl paralleler Kanäle, auf die das zweiphasige Kältemittel, das dem Verdampfer vom Expansionsventil zugeführt wird, gleichmäßig verteilt werden muß. Insbesondere beim Einsatz zeotroper Kältemittelgemische mit Temperaturglide ist eine sorgfältige Abstimmung von Expansionsventil (Regler) und Verdampfer (Regelstrecke) von besonderer Bedeutung. Untersuchungen führten zu einer Systemlösung, die den gesamten Regelkreis Expansionsventil/Kältemittelverteiler/Plattenverdampfer beinhaltet. □

Plattenwärmeaustauscher als Verdampfer in einer Kälteanlage

Bei der Auswahl von Verdampfern für Wärmepumpen und Kaltwassersätze bietet der gelötete Plattenwärmeaustauscher viele Vorteile:

- hermetische, dichtungslose Bauweise zur Vermeidung von Kältemittelverlusten,
- kompakte Bauweise zur Minimierung des Platzbedarfes,
- hohe Wärmeübertragungswerte,
- geringes kältemittelseitiges Volumen zur Reduzierung der Kältemittelfüllmenge,
- geringe Druckdifferenzen auf der Wärmeträgerseite (Sekundärseite) des Verdampfers zur Sicherstellung einer wirtschaftlichen Betriebsweise,
- günstiges Preis-/Leistungsverhältnis.

Sehr häufig sind der Verdampfer und das Expansionsventil einer Kälteanlage die Bauteile, welche die Effizienz der gesamten Anlage wesentlich mitbestimmen. Aus diesem Grund kann eine zufriedenstellende Betriebsweise nur durch richtige Abstimmung der Verdampferbauart und -größe und des Expansionsventils erreicht werden. Wird in einer Kälteanlage die Verdampfungstemperatur z. B. nur um 1 K bzw. 2 K angehoben, so verbessert sich die Leistungszahl (COP) erheblich.

Aufgrund eines Temperaturgefälles vom Wärmeträger auf der Sekundärseite des Verdampfers zum verdampfenden Kältemittel auf der Primärseite des Verdampfers wird das Kältemittel vollständig verdampft und zusätzlich geringfügig überhitzt, d. h. am Austritt des Verdampfers befindet sich nur gasförmiges Kältemittel.

Zur Gewährleistung einer ausreichenden Kältemittelüberhitzung arbeitet der Verdampfer bevorzugt nach dem Gegenstromprinzip.

Funktionsprinzip eines thermostatischen Expansionsventils

Thermostatische Expansionsventile sind Überhitzungsregler und haben zur Aufgabe, eine optimale Überhitzung des Kältemittels am Verdampferaustritt sicherzustellen. Dazu wird vom Expansionsventil die Temperatur und der Druck des Kältemittels am Verdampferausgang (Expansionsventil mit äußerem Druckausgleich) ermittelt. Aus diesen Meßgrößen resultiert eine Stellgröße für den freien Öffnungsgrad des Expansionsventils.

In Verbindung mit Plattenverdampfern und Kältemittelverteilern ist zu beachten, daß nur thermostatische Expansionsventile mit äußerem Druckausgleich einge-

zu den Autoren

Dr.-Ing. Josef Osthues,
Honeywell
Cooling
Solutions,
Mosbach



Dipl.-Ing. (FH) Stellan Bjernalt,
Cetetherm AB,
Ronneby
(Schweden)



setzt werden dürfen. Äußerer Druckausgleich bedeutet, daß der Druck des Kältemittels nach dem Verdampfer gemessen wird. Expansionsventile mit innerem Druckausgleich arbeiten mit dem Kältemitteldruck am Verdampfereintritt.

Eine ansteigende Kältemittelüberhitzung am Verdampferausgang hat einen zunehmenden Kältemitteldurchfluß zur Folge, eine kleinere Überhitzung verursacht einen reduzierten Kältemitteldurchfluß. Somit wird dem Verdampfer immer nur so viel Kältemittel zugeführt, wie auch verdampft und überhitzt werden kann. Um seiner Aufgabe gerecht zu werden, benötigt das Expansionsventil ein stabiles Temperatursignal (siehe MSS) am Kältemittelaustritt des Verdampfers.

Standard- oder Flüssigfüllung	MOP- oder Gasfüllung	Adsorberfüllung
<ul style="list-style-type: none"> - Füllungsverlagerung führt nicht zum Schließen des Ventils => große Zuverlässigkeit - Steigende Überhitzung bei niedriger Anwendungstemperatur - Max. Umgebungstemperatur ca. 70° C - Kein MOP möglich - Mittlere Ansprechzeit - Niedrige Herstellungskosten - Überhitzungseinstellung vor Ort kritisch 	<ul style="list-style-type: none"> - Fühler muß kälter als Kapillare und Thermokopf sein - Max. Fühlertemp. ca. 140° C - MOP - Kurze Ansprechzeit (mittlere bis lange Ansprechzeit mit Thermoballast möglich) - Niedrige Herstellkosten - Überhitzungseinstellung vor Ort kritisch 	<ul style="list-style-type: none"> - Füllungsverlagerung nicht möglich, d. h. höchste Zuverlässigkeit - Max. Fühlertemp. ca. 140° C - MOP-ähnliche Funktion möglich - Dem Verdampferverhalten angepasste Ansprechzeit möglich, d. h. konstanteste Überhitzungsregelung (stabiler Regelkreis) - Anwendbar bei Heißgasabtaugungen - Überhitzungseinstellung vor Ort unproblematisch - Hohe Herstellkosten

Tabelle 1 Eigenschaften der Steuerfüllungen thermostatischer Expansionsventile

In der Praxis werden 3 unterschiedliche Thermofüllungen für thermostatische Expansionsventile eingesetzt (Tab. 1):

- **Standard- oder Flüssigfüllung,**
- **MOP oder Gasfüllung,**
- **Adsorberfüllung.**

In diesem Zusammenhang sollen nun folgende Vor- und Nachteile der einzelnen Thermofüllungen erörtert werden:

Die **Standard- oder Flüssigfüllung** ist eine sehr zuverlässige Steuerfüllung in Bezug auf äußere Temperatureinflüsse. Insbesondere auch in Verbindung mit einem sogenannten „kalten Thermokopf“ ist die Funktion des Expansionsventils unter allen Bedingungen gewährleistet. „Kalter Thermokopf“ bedeutet: Durchflußrichtung des Ventils in Richtung des Thermokopfes, d. h. die kalte Seite des Expansionsventils ist im Bereich des Ventilkopfes.

Die Beeinflussung des zeitlichen Öffnungs- und Schließverhaltens des Expansionsventils und damit eine Abstimmung auf die Charakteristik des Verdampfers (Regelstrecke) ist kaum möglich.

Die **MOP oder Gasfüllung** kann sehr gut auf die Charakteristik der Regelstrecke abgestimmt werden (Thermoballastfüllung). Für eine zuverlässige Funktion des Expansionsventils mit einer MOP-Füllung ist es zwingend erforderlich, daß der Anlegefühler unter allen Betriebsbedingungen kälter ist als der Thermokopf und das Kapillarrohr. Wenn dieses nicht gewährleistet ist, besteht die Gefahr, daß das Füllmedium (ein Kältemittel) im „Kalten Thermokopf“ kondensiert. Die Folge ist eine Druckabsenkung im Thermosystem und somit ein Schließen des Expansionsventils. In der Praxis ist dieses Problem unter dem Begriff „Füllungsverlagerung“ oder „Charge Migration“ bekannt und macht sich in Form von

- Leistungsverlust in der Kälteanlage,
- Anstieg der Temperatur auf der Sekundärseite,

- Absinken des Verdampfungsdruckes bemerkbar.

Bedingt durch die Bauweise kann bei Expansionsventilen mit „kaltem Thermokopf“ insbesondere bei Betrieb am MOP-Punkt die Forderung

Thermokopf immer wärmer als der Anlegefühler

nicht erfüllt werden. Aus diesem Grunde werden von Honeywell Cooling Solutions keine Expansionsventile der Bauart „kalter Thermokopf“ mit Gas-MOP Füllungen hergestellt. Als sehr zuverlässige Alternative in bezug auf Füllungsverlagerung werden Adsorberfüllungen eingesetzt.

Die **Adsorberfüllung** ist absolut sicher gegenüber dem Problem der Füllungsverlagerung. Des weiteren zeigt die Adsorberfüllung insbesondere bei kritischen Verdampfern (Regelstrecke) eine sehr konstante Überhitzungsregelung. Durch eine konsequente Weiterentwicklung der Adsorberfüllungen können diese sowohl mit sehr weiten Verdampfungstemperaturbereichen als auch mit MOP-ähnlichem Verhalten (Verdampfungsdruckbegrenzung) geliefert werden. Ein weiterer wichtiger Vorteil dieser Art von Steuerfüllungen ist die problemlose Überhitzungseinstellung und der Einsatz als Kombi-Adsorberfüllung. Die Einsatzmöglichkeit eines Thermokopfes für mehrere Kältemittel reduziert die Anzahl der im Service erforderlichen Expansionsventile erheblich.

Kältemittelverteilung in einem Plattenverdampfer

Um die Verdampferleistung zu optimieren, ist eine gleichmäßige Kältemittelverteilung auf die vorhandenen parallelen

Kanäle des Plattenwärmeaustauschers notwendig. Die Bilder 1 und 2 zeigen die Problematik der Kältemittelverteilung bei unterschiedlichen Bautiefen der Plattenverdampfer. Dem Plattenverdampfer wird das Kältemittel vom Expansionsventil kommend als zweiphasiges Gemisch aus Flüssigkeits- und Dampfanteilen mit relativ hoher Geschwindigkeit zugeführt. Bei Plattenverdampfern mit kleiner Plattenanzahl (Bild 1) erfolgt, bedingt durch die hohe kinetische Energie der Flüssigkeitsanteile, eine Überversorgung der letzten Kältemittelkanäle mit flüssigem Kältemittel. Bei Plattenverdampfern mit großer Plattenanzahl (Bild 2) wird der als Freistrahle eintretende Kältemittelmassenstrom an den scharfkantigen Stegen der einzelnen Platten abgeschält. Eine Überversorgung mit Kältemittel tritt nach ca. 20 bis 30 Plat-

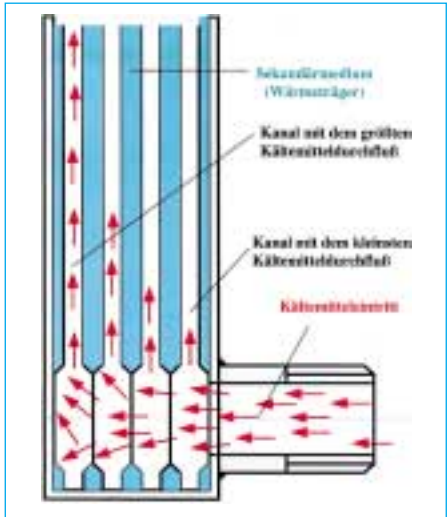


Bild 1 Schematische Darstellung der Kältemittelverteilung auf die einzelnen Kanäle bei Plattenverdampfern mit kleiner Plattenzahl ohne Kältemittelverteiler

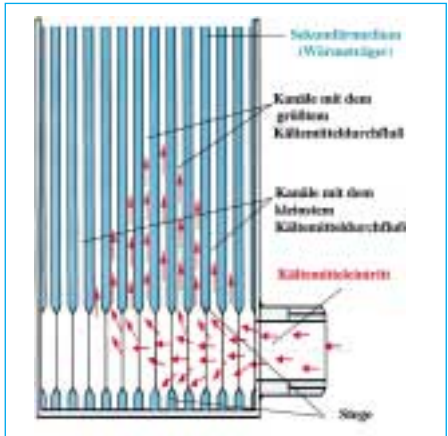


Bild 2 Schematische Darstellung der Kältemittelverteilung auf die einzelnen Kanäle bei Plattenverdampfern mit großer Plattenzahl ohne Kältemittelverteiler

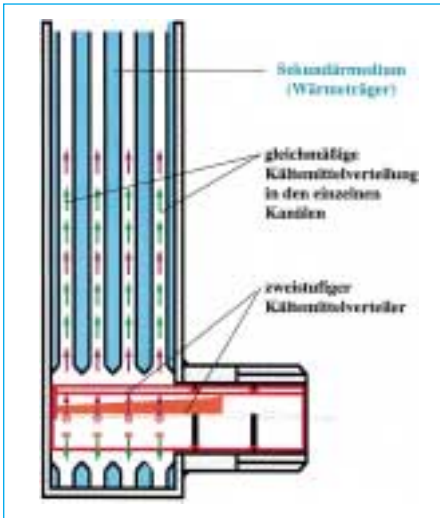


Bild 3 Zweistufiger Kältemittelverteiler für Plattenverdampfer

ten auf. Insbesondere ist ein Transport des flüssigen Kältemittels zu den letzten Kältemittelkanälen nicht gewährleistet.

Der Kanal mit dem größten Kältemitteldurchfluß bestimmt das Regelverhalten des Expansionsventils, d. h. nur dieser Kanal wird thermostatisch geregelt. Die restlichen Kanäle sind aufgrund einer zu geringen Kältemittelmenge leistungsmäßig nicht voll ausgenutzt.

Nur durch Einsatz eines Kältemittelverteilers kann eine gleichmäßige Beaufschlagung der vorhandenen parallelen Kältemittelkanäle erreicht werden, so daß die maximal mögliche Kälteleistung zur Verfügung steht.

Der hier eingesetzte patentierte zweistufige Kältemittelverteiler ist so konstruiert, daß das Kältemittel durch ein Sintermetall in den Verdampfer gelangt. Die Porengröße des Sintermetalls ist größer als

die Filterfeinheit herkömmlicher Filtertrockner gewählt. Ein Verstopfen ist somit ausgeschlossen. Die Aufgabe des Sintermetalls besteht darin, die hohe kinetische Energie in Einströmrichtung zu vermindern. Im Verteilerrohr selbst (Bild 3) erfolgt eine weitgehende Trennung in Dampf- und Flüssigkeitsphase. Umfangreiche Untersuchungen [2] haben gezeigt, daß die besten Ergebnisse bei separaten Drosselbohrungen für den Flüssig- und Dampfanteil erzielt werden. Je eine Bohrungsreihe für die Gas- und die Flüssigphase verteilt daher das Kältemittel auf die einzelnen parallelen Kanäle des Plattenverdampfers.

Es ergeben sich je nach Applikation in der Regel relativ kleine Bohrungen. Da der Kältemittelverteiler erst im Anschluß an den Lötvorgang bei der Fertigung des Wärmeaustauschers eingesetzt wird, besteht nicht die Gefahr, daß sich die Bohrungen durch Kapillarwirkung mit Lot zusetzen.

Durch die Wahl eines glatten Verteilerrohrs ist es problemlos möglich, auch Plattenverdampfer mit großer Plattenanzahl gleichmäßig mit Kältemittel zu versorgen. Ein Abschalen des Freistrahls oder eine Überversorgung der letzten Kältemittelkanäle werden durch diese zweistufige Kältemittelverteilung ausgeschlossen. Dadurch kann der Verdampfer mit einer geringeren Überhitzung stabil betrieben werden (siehe MSS). Die Folgen sind eine höhere Kälteleistung und ein stabiles Regelverhalten des gesamten Verdampfersystems.

Durch die Injektion des flüssigen Kältemittels in den „strömungstechnisch toten Bereich“ des Verdampfers ist der Transport des sich dort bevorzugt ansammelnden Kältemaschinenöls auch bei kleinen spezifischen Leistungen sichergestellt.

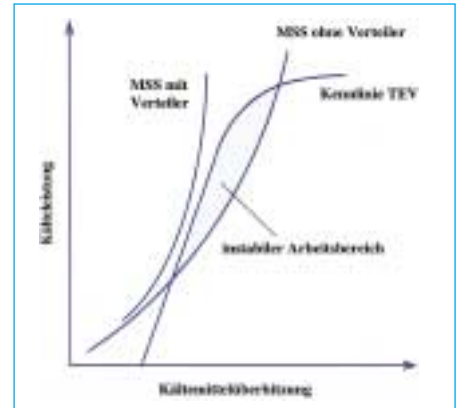


Bild 4 MSS-Kennlinie eines Plattenverdampfers mit und ohne Kältemittelverteiler

Einfluß des Kältemittelverteilers auf die MSS-Kennlinie des Plattenverdampfers; Besonderheiten bei Einsatz zeotroper Kältemittelgemische mit Temperaturglide

Werden Verdampfer mit geringen Überhitzungen betrieben, besteht die Gefahr eines instabilen Überhitzungssignals. Das bedeutet, das Temperatursignal am Verdampferausgang schwingt periodisch. Sobald die Kältemittelüberhitzung vergrößert wird, stellt sich wieder ein stabiles Überhitzungssignal ein. Der Punkt, wo sich das Überhitzungssignal vom stabilen zum instabilen Zustand ändert, wird allgemein als **Minimal Stabiles Signal (MSS)** bezeichnet. Mit einer Änderung der Anlagenbedingungen, z. B. der Kälteleistung, bedingt durch eine veränderte Kondensationstemperatur, ändert sich auch der MSS-Punkt.

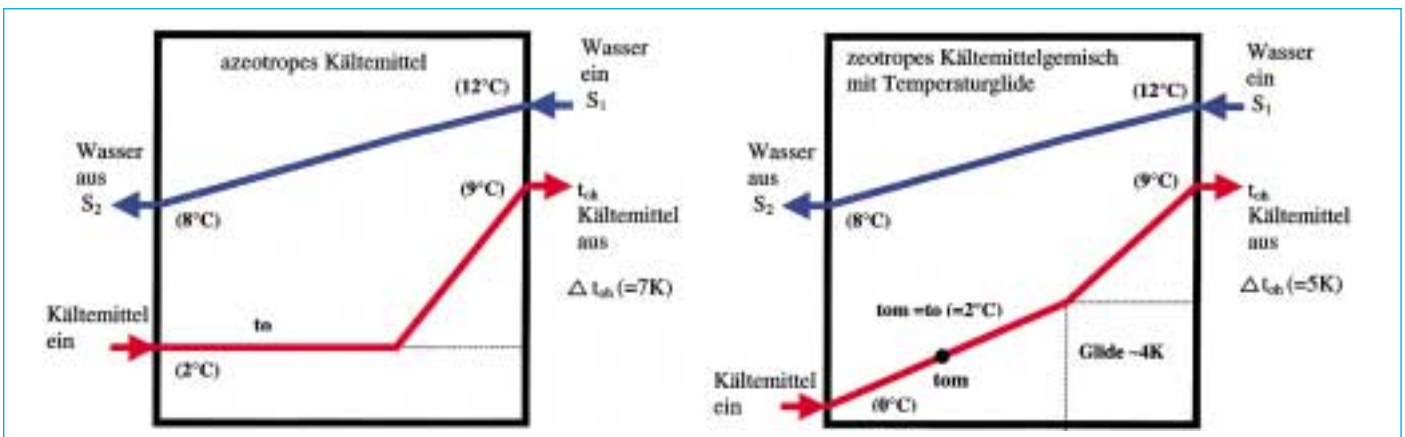


Bild 5 Temperaturverlauf im Plattenverdampfer (schematisch für Chiller)

Die MSS-Linie von Plattenverdampfern befindet sich auf einem relativ hohen Überhitzungsniveau, falls keine besonderen Maßnahmen zur Sicherstellung einer gleichmäßigen Kältemittelverteilung getroffen werden.

Da das hier vorgestellte Verdampfersystem einen speziell entwickelten Kältemittelverteiler beinhaltet, kann der Plattenverdampfer mit geringer Überhitzung stabil betrieben werden. Die Absenkung der minimal erforderlichen Überhitzung ist auf eine gleichmäßige Kältemittelverteilung in den einzelnen parallelen Kältemittelkanälen zurückzuführen. In Bild 4 sind in beispielhafter Form die MSS-Kennlinien eines Verdampfers mit und ohne Kältemittelverteiler dargestellt.

Besonders kritisch wird das Regelverhalten eines Plattenverdampfers in Verbindung mit einem zeotropen Kältemittelgemisch, wie z. B. R 407 C. Anhand der in Bild 5 schematisch dargestellten Temperaturverläufe wird deutlich, daß beim Einsatz eines Kältemittels mit großem Temperaturglide die am Verdampferaustritt zur Überhitzungsregelung verfügbare Temperaturdifferenz kleiner wird. Um die Kälteanlage jedoch stabil und mit gutem Wirkungsgrad betreiben zu können ist in diesem Fall der Einsatz eines Verdampfers mit niedriger MSS-Linie besonders wichtig.

Bedingt durch die unterschiedlichen Verdampfungstemperaturen im Verdampfer ist z. B. bei Einsatz von R 407 C in Kaltwassersätzen die Gefahr partieller Eisbildung im Bereich des Kältemitteleintritts gegeben. Hier ist, im Gegenstrombetrieb, die Temperaturdifferenz zwischen dem verdampfenden Kältemittel auf der Primärseite und dem austretenden Wasser auf der Sekundärseite des Verdampfers auf dem niedrigsten Niveau.

Insbesondere bei Sole-/Wasser-Wärmepumpen sind zur Darstellung guter Leistungszahlen sehr geringe Temperaturdifferenzen zwischen eintretender Sole und dem verdampfenden Kältemittel erforderlich.

Die in der Praxis angestrebten Werte verlangen nach einem stabilen Überhitzungssignal in der Größe von 4–5 K bezogen auf den Taupunkt des eingesetzten Kältemittels.

Überhitzungsregelung eines Plattenverdampfers mit einem thermostatischen Expansionsventil

Umfangreiche Untersuchungen [2] am Regelkreis „Expansionsventil/Kältemittelverteiler/Plattenverdampfer“ haben gezeigt, daß das Zeitverhalten der gewählten Thermofüllung des Expansionsventils einen entscheidenden Einfluß auf die Regelgüte hat.

In Verdampfern kleinerer Leistung werden aus diesem Grund Honeywell-Expansionsventile mit Kombi-Adsorberfüllungen [4] eingesetzt, die in ihrem Zeitverhalten optimiert sind. Im Bereich großer Leistung werden Ventile mit gedämpften Gasfüllungen in Verbindung mit einem „warmen Thermokopf“ eingesetzt.

Bei der Auslegung der Expansionsventile muß der zusätzliche Strömungsdruckverlust des Kältemittelverteilers berücksichtigt werden. Die Betriebsbedingung des Verdampfers, das Kältemittel und der Druckverlust des Kältemittelverteilers bestimmen die Auswahl der Expansionsventile. Bei Einsatz eines Kältemittelverteilers müssen grundsätzlich Expansionsventile mit äußerem Druckausgleich eingesetzt werden.

Die Überhitzungseinstellung der eingesetzten Expansionsventile ist so gewählt, daß die Plattenverdampfer in Verbindung mit dem Kältemittelverteiler mit stabiler Überhitzung betrieben werden.

Bild 4 zeigt schematisch, daß bei dieser Überhitzungseinstellung ein Plattenverdampfer ohne Kältemittelverteiler nicht in allen Betriebspunkten stabil betrieben werden könnte.

Zusammenfassung

Durch Einbau von geeigneten Kältemittelverteilern und den Einsatz geeigneter Expansionsventile können Plattenverdampfer mit geringerer Kältemittelüberhitzung stabil betrieben werden. Dieser Effekt führt grundsätzlich in Verbindung mit einer guten Auslastung des Plattenverdampfers zu einer Steigerung der Verdampferleistung, bzw. für den praktischen Einsatz bedeutet dieses Verhalten eine Anhebung der Verdampfungstemperatur und führt damit zu einer Erhöhung der Anlageneffizienz.

Durch die dargestellte Systemlösung Plattenverdampfer/Kältemittelverteiler/Expansionsventil stehen dem Anwender insbesondere auch für zeotrope Kältemittelmischungen mit großem Temperaturglide optimal aufeinander abgestimmte Komponenten zur Verfügung. □