ENGINEERING
TOMORROW

Fachbeitrag

Nachrüstung und Kältemittel mit hohem Temperaturgleit

Erklärung von Danfoss

Von Norbert Blatz, Global Application Excellence Manager,
John Broughton, Global Application Expert, Gewerbekälte,
Rasmus Damgaard Poulsen, Global Laboratory Technology Specialist, Ph.D. in Chemie,
Thierry Legay, Application Excellence Manager
Danfoss Cooling, September 2016

Diese Dokumentensammlung umfasst allgemeine und detaillierte Informationen zum Nachrüsten von Anlagen sowie zu Kältemitteln mit hohem Temperaturgleit. Sie dient zugleich als Leitfaden.
Da diese Themen auch in den nächsten Jahren in der Kälte- und Klimatechnik eine wichtige Rolle spielen werden, wurden diese Informationen so allgemein wie möglich gehalten.
Alle genannten Beispiele sollen daher lediglich dazu dienen, die technischen Aspekte zu erörtern.

Danfoss bietet ein umfangreiches Produktangebot für Kältemittel mit niedrigem Treibhauspotenzial (Global Warming Potential, GWP) an. Bitte wenden Sie sich an Ihren Danfoss-Ansprechpartner, um die aktuellsten Informationen zu erhalten.

Beim Thema „Nachrüstung" geht es um bestehende Systeme, die nachgerüstet werden sollen, damit sie für ein alternatives Kältemittel geeignet sind. Die Gründe für eine Nachrüstung können folgende sein:
1. Der Kältemitteltyp ist nicht mehr zulässig.
2. Der Kältemitteltyp ist nicht mehr erhältlich.
3. Der Austausch des gesamten Systems ist zu kostspielig.

Es sollte immer berücksichtigt werden, dass ein neues System mit einem modernen, umweltfreundlichen Kältemittel effizienter ist als ein nachgerüstetes System, wodurch bei ersterem auch geringere Betriebskosten möglich sind.

1. **Schnellprüfung vor der Nachrüstung (Norbert Blatz)**
   Vor dem Beginn von Nachrüstarbeiten muss geprüft werden, ob das System so nachgerüstet werden kann, dass es für das gewünschte Kältemittel geeignet ist. Ggf. sind einige zusätzliche Veränderungen erforderlich.

2. **Nachrüstung; chemische Verträglichkeit von Kältemitteln (Rasmus Damgaard Poulsen)**
   Als Ergänzung zur „Schnellprüfung" werden detaillierte Informationen darüber gegeben, in welchen Szenarien die Nachrüstung eines Systems möglich ist und welche Folgen sie in Bezug auf Komponenten und Werkstoffe hat.

3. **Nachrüstverfahren für ein System (Norbert Blatz, Thierry Legay)**
   Schritt-für-Schritt-Leitfaden dazu, wie eine Systemnachrüstung durchgeführt wird: Es wird ein Beispiel für ein kompaktes System gegeben, das in ähnlicher Weise auch auf ein komplexeres System angewandt werden kann.

4. **Nachrüstung von Systemen für Kältemittel mit Temperaturgleit (Norbert Blatz, John Broughton)**
   Viele der Kältemittel, für die die Systeme nachgerüstet oder mit denen neue Systeme betrieben werden, sind Gemische mit einem relativ hohen Temperaturgleit.
   Worum es sind handelt und welche Auswirkungen dieser auf das System und die Anwendung hat, wird hier detailliert beschrieben. Dabei wird auch soweit wie möglich ein Bezug zur Praxis hergestellt.

1. Schnellprüfung vor der Nachrüstung

Von Norbert Blatz, Global Application Excellence Manager

Verdichter:
• Kann der Verdichter mit dem neuen Kältemittel betrieben werden?
• Prüfen Sie, inwiefern sich die Kälteleistung verändern wird.
• Ist der Betriebsbereich immer noch geeignet? Prüfen Sie Temperatur- und Druckgrenzwerte.
• In den meisten Fällen muss das Öl ausgetauscht werden.

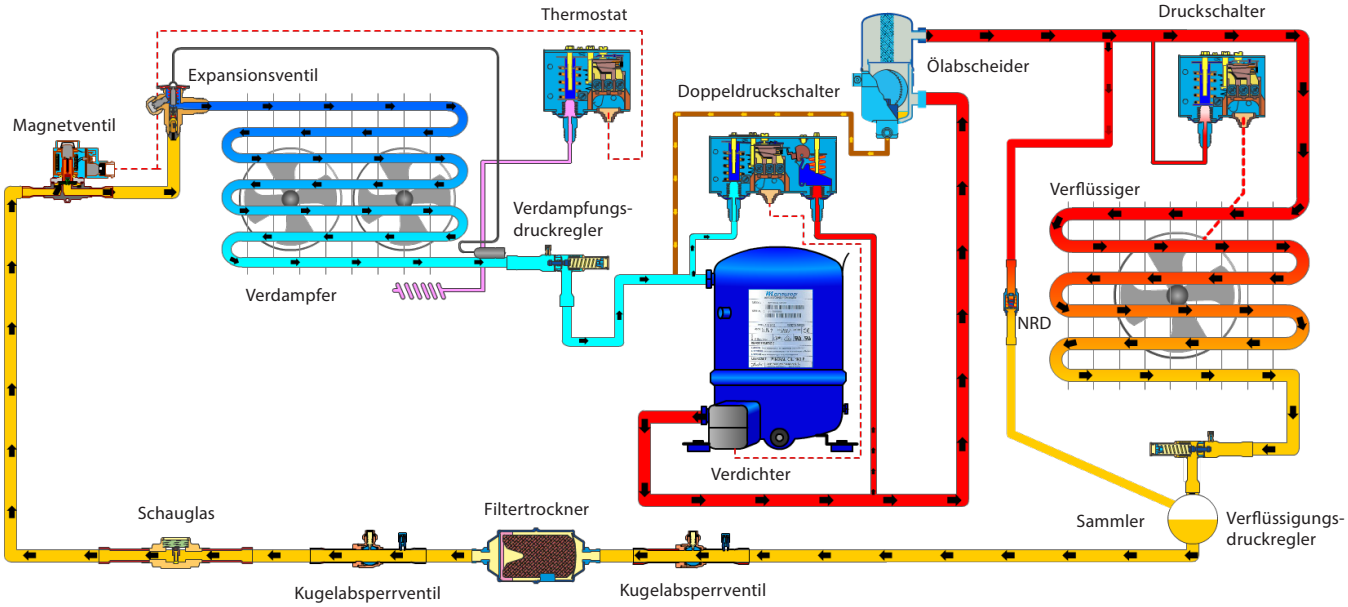
Verflüssiger:
• Prüfen Sie, ob die Leistung zur neuen Verdichterleistung passen wird. Kältemittel mit Temperaturgleit erfordern größere Oberflächen aufgrund der geringeren mittleren Temperaturdifferenz. Dies kann zu einem Anstieg der Verflüssigungstemperatur führen.

Verdampfer:
• Prüfen Sie, ob die Leistung immer noch für die Lagerbedingungen hinsichtlich der Feuchtigkeit geeignet ist. Kältemittel mit Temperaturgleit können zu einer höheren Entfeuchtungsrate führen.

Ventile:
• Magnetventile und andere Ventile mit Gummidichtungen müssen mit neuen Dichtungen versehen werden. Der Grund dafür ist, dass Öl/Kältemittel für gewöhnlich eine Schwellung der Dichtung verursacht, wenn es mit dem Dichtungswerkstoff in Kontakt kommt. Durch das neue Öl/Kältemittel werden Bestandteile des alten Öls/Kältemittels, die sich in der Dichtung eingelagert haben ausgewaschen und die Dichtung wird undicht. Nach einiger Zeit treten Leckagen auf, d. h. das Öl/Kältemittel gelangt in die Umgebung.
• Thermostatische Expansionsventile und Ventile, die mit einem thermostatischen Element für ein bestimmtes Kältemittel ausgestattet sind, können nicht einfach mit einem anderen Kältemittel verwendet werden. Als erste Maßnahme kann die Druck-Temperatur-Kennlinie des alten und des neuen Kältemittels verglichen werden. Wenn das Ventil eingestellt werden kann und die Differenz bei der gewünschten Systemtemperatur nicht mehr als 3 K beträgt, ist eine erneute Anpassung an die neuen Bedingungen möglich. Wenden Sie sich im Zweifelsfall an Ihren Danfoss-Ansprechpartner.
• Andere Regelventile, wie z. B. Druckregelventile, müssen ggf. neu eingestellt werden. Prüfen Sie, ob der Einstellbereich des Ventils und der maximale Betriebsüberdruck des Systems bei Einsatz eines neuen Kältemittels immer noch ordnungsgemäß ist.

Verrohrung:
• Prüfen Sie die Bemessung der Rohrleitungen. Das neue Kältemittel verfügt ggf. über eine andere Dichte und Enthalpie (Wärmetransport). Dies kann die Geschwindigkeiten und den Druckabfall in der bestehenden Verrohrung verändern. Kritische Stellen können die Saug- und damit die Ölrückführung sein.

Regler:
• Prüfen Sie, ob der Regler neu eingestellt werden muss. Der Überhitzungsregler muss auf das neue Kältemittel eingestellt werden. Eventuell müssen auch weitere Temperatur- oder Druckeinstellungen angepasst werden.



© Danfoss | DCS | 2017.08

2. Nachrüstung; chemische Verträglichkeit von Kältemitteln

Von Rasmus Damgaard Poulsen, Global Laboratory Technology Specialist, Ph.D. in Chemie

Die Nachrüstung von Kälteanlagen wird in diesem Kontext als „das Verändern des Kältemittels und/oder Öls in einem bestehenden Anlagensystem" definiert. Es ist bekannt, dass dies hauptsächlich Auswirkungen auf die Dichtungen hat, die zu einer Leckage oder Fehlfunktion des Systems führen können, aber auch auf die Einstellung der einzelnen Komponenten (z. B. auf Expansionsvorrichtungen und die Nenngröße von anderen im System verwendeten Komponenten). In diesem Beitrag wird ein Fokus auf Probleme der Werkstoffverträglichkeit gesetzt, die während der Nachrüstung von Komponenten in Kälteanlagen auftreten können. Verdichterbezogene Probleme, Leistungs- und Effizienzveränderungen durch neue thermodynamische Daten, eine veränderte Funktionsweise (neue Überhitzungseinstellung der Expansionsventile) und die Eignung für Feuchtigkeit werden nicht thematisiert.

Das Problem in Bezug auf die Verträglichkeit besteht darin, dass der Umstieg von einem Kältemittel-/Ölgemisch auf ein anderes erheblich die Leistung der Dichtungen verändern kann. Das könnte wiederum zu einer Leckage oder Fehlfunktion der Komponenten von Danfoss führen. Aus technischer Sicht wird vor allem das Volumen und die Kompression einer regulären starren Dichtung beeinträchtigt. Auch andere Parameter wie Härte, Klebrigkeit, Dehnung, Eignung für Maximal- und Mindesttemperatur sind von Belang.

Dieses Risiko ist bekannt. Dichtungs- und Kältemittelhersteller empfehlen gegenwärtig, dass bei einer Nachrüstung alle Dichtungen ausgetauscht werden sollen. Auch ist bekannt, dass verschiedene Ölsorten unterschiedliche Auswirkungen auf die vielen in Kälteanlagen verwendeten Dichtungen haben können (d. h. sie verändern die Eigenschaften des Dichtungswerkstoffs auf verschiedene Weisen). Bei einer Nachrüstung sollte im Allgemeinen bedacht werden, dass diese Veränderung ggf. dazu führt, dass Partikel und Rückstände, die sich vor der Nachrüstung im System angelagert hatten, sich unter den neuen Bedingungen lösen können. Somit können sie im nachgerüsteten System ungewollte mechanische Probleme verursachen oder verschleiern.

Hinsichtlich der Nachrüstung gibt es drei wichtige Fälle, Nachrüstung Typ 1, 2 und 3, die in Bezug auf Verträglichkeitsprobleme näher betrachtet werden müssen:

Nachrüstung Typ	Kältemittel Typ	Ölsorte	Eigenschaftenveränderung	Risikobewertung
1	FKW zu FKW/ HFO	POE zu POE PVE zu PVE	Altes und neues Kältemittel haben ähnliche Eigenschaften in Bezug auf die chemische Verträglichkeit mit den Dichtungen.	Sehr gering
2	HFCKW zu FKW/HFO	MO zu MO AB zu AB	Altes und neues Kältemittel haben unterschiedliche Eigenschaften in Bezug auf die chemische Verträglichkeit mit den Dichtungen.	Gering
2	HFCKW zu FKW/HFO	MO zu POE/PVE AB zu POE/PVE	Altes und neues Kältemittel haben unterschiedliche Eigenschaften in Bezug auf die chemische Verträglichkeit mit den Dichtungen. Durch eine andere Ölsorte treten ggf. andere Eigenschaften des Dichtungswerkstoffs auf.	Groß

Hinweis: Diese Risikobewertung ist nur gültig, wenn alle Dichtungen ausgetauscht werden. Eine detaillierte Bewertung erfolgt nachstehend.
Hinweis: HFCKW = Hydrofluorkohlenwasserstoffe, FKW = Fluorkohlenwasserstoffe, HFO = Hydrofluoroolefin, POE = Polyolester, PVE = Polyvinylether, MO = Mineralöl, AB = Alkylbenzol

Nachrüstung; chemische Verträglichkeit von Kältemitteln (Fortsetzung)

Nachrüstung Typ 1

Ersatz durch ein Kältemittel mit ähnlichen Verträglichkeitseigenschaften, Ölsorte bleibt gleich

• Durch den Austausch des Kältemittels werden die Eigenschaften des Dichtungswerkstoffs nicht verändert (ansonsten großes Risiko).

• Umstieg von FKW auf FKW/HFO, die POE-Ölsorte wird beibehalten; Es tritt ein sehr geringes Risiko auf, wenn Temperatur- und Druckspezifikationen ähnlich sind.

• Nach einem Austausch der Dichtungen ist das Risiko gering, da das gesamte Kältemittel entfernt wurde. Im System verbliebenes Öl wird ähnlich wie das neue Öl reagieren, sofern das alte Öl im alten System nicht gespalten oder beeinträchtigt wurde.

• Das Risiko für Komplikationen ist sehr gering, was auch durch frühere Datenaufzeichnungen gestützt wird.

Nachrüstung Typ 2

Ersatz durch ein Kältemittel mit unterschiedlichen Verträglichkeitseigenschaften, Ölsorte bleibt gleich

• Der Wechsel des Kältemittels kann Probleme in Bezug auf die Entgasung (Schrumpfung) oder eine übermäßige Schwellung der Dichtungen nach der Umstellung verursachen.

• Umstieg von HFCKW auf FKW/HFO, die Mineralölsorte wird beibehalten; Es tritt ein geringes Risiko auf, wenn Temperatur- und Druckspezifikationen ähnlich sind.

• Das größte Problem bezieht sich auf die Verwendung von Dichtungen mit einer großen Menge an Weichmachern, die ggf. vom alten Kältemittel ausgewaschen wurden (oder umgekehrte Situation mit neuem Kältemittel). Das Risiko einer Leckage oder Fehlfunktion wird reduziert, wenn das neue Kältemittel ähnlich wie das alte Kältemittel reagiert (ähnliche chemische Eigenschaften).

• Nach einem Austausch der Dichtungen ist das Risiko gering, da das gesamte Kältemittel entfernt wurde. Im System verbliebenes Öl wird ähnlich wie das neue Öl reagieren, sofern das alte Öl im alten System nicht gespalten oder beeinträchtigt wurde.

• Das Risiko für Komplikationen ist gering, was auch durch frühere Datenaufzeichnungen gestützt wird.

Nachrüstung Typ 3

Ersatz durch ein Kältemittel mit unterschiedlichen Verträglichkeitseigenschaften, Öl von einer anderen Sorte

• Durch den Austausch des Kältemittels und des Öls werden die Eigenschaften des Dichtungswerkstoffs verändert (großes Risiko).

• Umstieg von HFCKW auf FKW/HFO und von Mineral- auf POE-Öl; Es tritt ein großes Risiko auf, und ein noch größeres wenn Temperatur- und Druckspezifikationen nicht gleich sind.

• Nach einem Austausch der Dichtungen ist das Risiko in Bezug auf das Kältemittel gering, wenn das gesamte Kältemittel entfernt wurde.

• Die Unverträglichkeit kann ein Problem darstellen, wenn zwei Ölsorten im System vorhanden sind, die unterschiedliche Verträglichkeitseigenschaften hinsichtlich des Dichtungswerkstoffs aufweisen. Auch wenn das System für FKW-/HFO-Kältemittel und POE-Öle geeignet ist, kann das vorhandene Mineralöl zu weiteren Veränderungen der Verträglichkeitseigenschaften führen, was wiederum das Risiko für eine Leckage oder Fehlfunktion erhöht. Davon sind auch die thermostatischen Expansionsventile sowie der Feuchtigkeitsindikator und der Filtertrockner betroffen, da das nicht mischbare Öl die mechanischen und chemischen Eigenschaften verändert.

• Wenn die Dichtungen und das Kältemittel gemäß den obigen Ausführungen ausgetauscht werden, tritt nur noch in Bezug auf die Ölsorte ein großes Risiko auf. Wenn ein vollständiges Austauschen des Öls möglich ist, liegt nur noch ein geringes Risiko vor (Nachrüstung Typ 2). In der Praxis ist es jedoch oftmals nicht möglich, die gesamte Ölmenge auszutauschen. Sicherheitsvorkehrungen wie eine verbesserte Ölrückführung können das Risiko eines durch das gesamte System zirkulierenden Ölgemisches reduzieren, jedoch hängt deren Erfolg vom jeweiligen System ab und ist nicht bekannt.

• Zudem enthalten einige Kältemittel Kohlenwasserstoffe, mit denen sich das Mineralöl vermischen lässt. Aus theoretischer Sicht sollte dies den Transport des Mineralöls im System erleichtern.

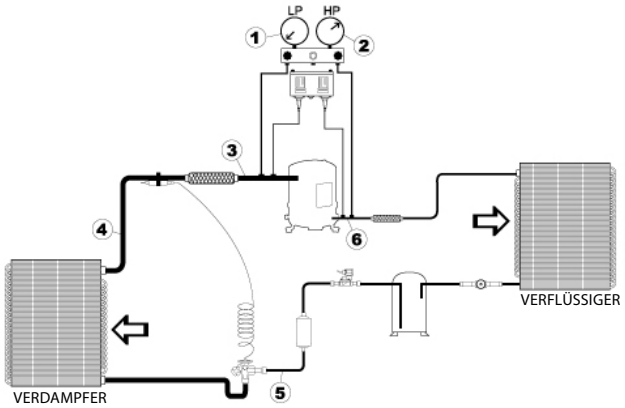
• Das Risiko für Komplikationen ist groß, da es viele verschiedene Szenarien gibt und der Anteil des ausgetauschten Öls sowie der Typ des neuen Kältemittels eine wichtige Rolle spielen. Es sind keine früheren Datenaufzeichnungen vorhanden. Darüber hinaus kann das Risiko durch veränderte Temperatur- und Druckspezifikationen noch weiter erhöht werden.

© Danfoss | DCS | 2017.08

3. Nachrüstverfahren für ein System

Von Norbert Blatz, Global Application Excellence Manager, und Thierry Legay, Application Excellence Manager

Schritt 1 – Prüfen der Betriebsparameter



Messen Sie Folgendes:
1. Saugdruck am Verdichter
2. Hochdruck am Verdichter

Messen Sie Folgendes:
3. Saugtemperatur am Verdichter (d. h. Gesamtüberhitzung)
4. Saugtemperatur am Verdampferaustritt (d. h. Verdampferüberhitzung)
5. Flüssigkeitstemperatur am Eintritt des Expansionsventils (d. h. Flüssigkeitsunterkühlung)
6. Heißgastemperatur am Verdichter

Messen Sie Folgendes:
7. Versorgungsspannung und -strom
8. Prüfen Sie den Kältemittelfluss zum Verdampfer an jedem Verteilerrohr (achten Sie vor allem auf durch Schmutz verstopfte Rohre).

Schritt 2 – Entfernen des Kältemittels

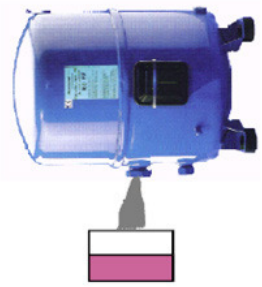
Es muss ein Gerät zur Rückgewinnung des Kältemittels verwendet werden.

- Schließen Sie das Absperrventil des Flüssigkeitssammlers und jede Komponente in der Flüssigkeitsleitung, die für einen Pump-down-Vorgang verwendet werden kann.
- Lassen Sie das System laufen, bis der Niederdruckschalter den Verdichter ausschaltet.
- Schalten Sie den Hauptschalter aus.
- Sperren Sie (sofern möglich) die Hochdruckseite des Verdichters vom System ab, indem Sie das Rotolock-Druckventil schließen.
- Saugen Sie das Kältemittel von der Hochdruckseite des Systems über einen Anschluss oder ein Ventil in der Flüssigkeitsleitung ab.
- Sobald das Kältemittel auf der Hochdruckseite in den Rückgewinnungsbehälter abgesaugt ist, öffnen Sie die Sperrvorrichtung auf der Niederdruckseite.
- Notieren Sie sich das Gewicht der aufgefangenen Kältemittelmenge.

Wichtige Hinweise:
- Bei Systemen, die mit brennbaren Kältemitteln (Sicherheitsgruppen A2, A2L, A3) gefüllt sind, sollten die Service- und Wartungsarbeiten gemäß einem bewährten Verfahren für Kälteanlagen ausgeführt werden, wobei einige andere Werkzeuge, Geräte und Maßnahmen erforderlich sind. Techniker, die Arbeiten an Systemen mit brennbaren Gasen durchführen, sollten entsprechend geschult werden!
- Die Werkzeuge sollten für einen Ex-Bereich der Zone 2 ausgelegt oder für die Verwendung mit brennbaren Kältemitteln angemessen geprüft worden sein.
- Der Arbeitsbereich muss gut belüftet sein. Zudem darf im Bereich von 3 m um das System keine Zündquelle vorhanden sein. Am Standort muss Löschpulver oder ein CO_2-Feuerlöscher verfügbar sein.
- Bevor das System geöffnet wird, muss das brennbare Kältemittel vollständig aus dem System entfernt werden. Zudem muss das System mit Stickstoff gespült werden.

Nachrüstverfahren für ein System (Fortsetzung)

Schritt 3 – Ablassen des Verdichteröls



Maneurop®-Hubkolbenverdichter von Danfoss

Große Scrollverdichter von Danfoss

- Öffnen Sie den Sauganschluss oder demontieren Sie das Schauglas (sofern vorhanden).
- Bewegen Sie den Verdichter langsam in eine waagerechte Position und lassen Sie das Öl über den Sauganschluss des Verdichters oder über die Öffnung für das Ölschauglas ab.
- Hinweis: Die großen Scrollverdichter sind mit einem Ölablassanschluss ausgestattet und können daher in einer senkrechten Position entleert werden. Beaufschlagen Sie in diesem Fall die Niederdruckseite des Verdichters (mithilfe von trockenem Stickstoff) mit Druck.
- Entnehmen Sie bei Bedarf zu Analysezwecken eine Ölprobe (bei betriebsbereiter Installation).
- Bevor Sie den Verdichter oder das Schauglas wieder montieren, ersetzen Sie die Dichtungen durch neue (Saug- und Druckanschluss, Schauglas). Prüfen Sie den Säuregehalt des Öls mithilfe eines Säure-Prüfsatzes.
- Installieren Sie einen neuen Filtertrockner. Falls der Säuretest positiv ausfällt, muss ein Burnout-Filter (Typen DAS oder DCR-DA) verwendet werden.

Der Burnout-Filter muss nach einigen Tagen, wenn keine Säure mehr vorhanden ist, entfernt werden.

Wichtiger Hinweis:
Eine geringe Menge Öl verbleibt im System (Rohre, Wärmeübertrager usw.) und über dieses Verfahren nicht entfernt werden. Zum Verringern der Menge des Altöls wird empfohlen, das Öl nach einigen Tagen erneut auszutauschen.

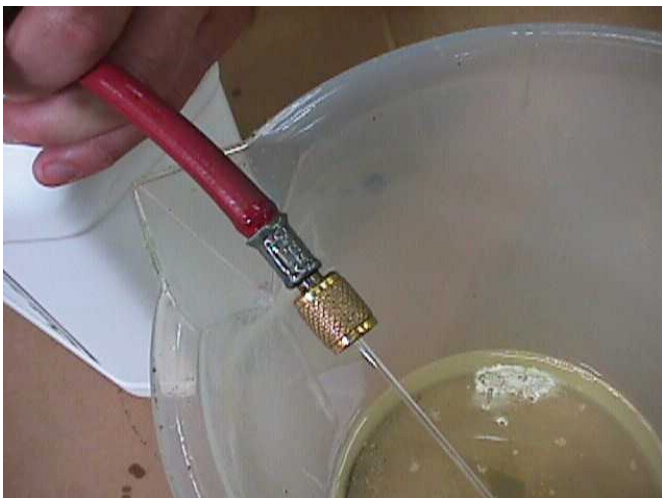
Schritt 4 – Einfüllen des Öls

Im Folgenden wird beschrieben, wie Verdichter in einem System mit Schmieröl gefüllt werden.

1. Erste Maßnahmen und erforderliche Ausrüstung

- Senken Sie den Druck auf der Niederdruckseite des Verdichters auf den Atmosphärendruck ab. Achten Sie darauf, dass kein Vakuum entsteht, um zu verhindern, dass während des Einfüllens Luft und Feuchtigkeit in den Verdichter gelangen.
- Verwenden Sie einen neuen, noch nicht geöffneten Ölbehälter und eine Handölpumpe. Der Pumpenschlauch sollte einen ¼-Zoll-Bördel und am Ende einen Ventildrücker aufweisen, der das Ventil am Serviceanschluss des Verdichters öffnet.
- Die zugelassene Ölsorte ist auf dem Typenschild des Verdichters angegeben. Vergewissern Sie sich, dass das Öl im Behälter der auf dem Typenschild des Verdichters angegebenen Ölsorte entspricht. Vergewissern Sie sich, dass das Öl im Behälter der auf dem Typenschild des Verdichters angegebenen Ölsorte entspricht.

2. Entlüften von Pumpe und Schlauch



- Setzen Sie die Handpumpe (ähnlich wie abgebildet) erst unmittelbar vor dem Entlüften in den Ölbehälter ein (stellen Sie sicher, dass die Pumpe sauber ist), damit der Behälter nur kurz geöffnet ist (verwenden Sie einen Anschlussadapter (sofern verfügbar), um das Öl nur minimal der Luft auszusetzen).

© Danfoss | DCS | 2017.08

Nachrüstverfahren für ein System (Fortsetzung)

- Entfernen Sie mit wenigen Pumpvorgängen die gesamte Luft aus der Pumpe und dem Schlauch. Das Entlüften der Pumpe ist erforderlich, um den Schlauch für das verbliebende feuchtigkeitsgesättigte Öl zu spülen und zu reinigen.
- Schließen Sie den Schlauch unmittelbar nach dem Entlüften an den Schraderventilanschluss des Verdichters an, um das Eindringen von Feuchtigkeit zu verhindern.

3. Pumpen des Öls in den Verdichter

- Pumpen Sie die erforderliche Menge Öl in den Verdichter, bis im Schauglas der korrekte Füllstand angezeigt wird.

Hinweis: *Wenn eine große Ölmenge in einem Verdichter ohne Schauglas verloren gegangen ist, kann der Ölstand nicht gemessen bzw. angezeigt werden. Die einzige Möglichkeit, um sicherzustellen, dass die korrekte Menge eingefüllt wird, ist, den Verdichter zu leeren und mit neuem Öl wieder zu befüllen.*
In einem solchen Fall sollte der Verdichter demontiert werden.

Weitere Empfehlungen

- Lassen Sie den Verdichter nach dem Einfüllen des Öls 20 Minuten lang unter Volllast laufen. Prüfen Sie anschließend mithilfe des Schauglases erneut den Ölstand. Der Ölstand sollte zwischen den Markierungen ¼ und ¾ sichtbar sein.
- Achten Sie darauf, nicht mehr Öl als notwendig einzufüllen. Folgende ungünstige Bedingungen können auftreten, wenn zu viel Öl eingefüllt wurde:
  - Störungen von Ventilen und Kolben oder des Scrollverdichters durch Ölschläge
  - Übermäßige Ölverlagerung
  - Verringerte Verdampferleistung durch die Ansammlung des Öls auf der Niederdruckseite des Systems

Schritt 5 – Erzeugen eines Vakuums und Durchführen der Entfeuchtung

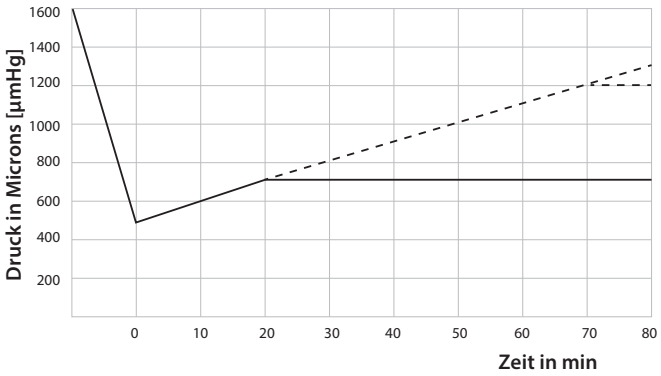
Bei einer Nachrüstung muss im Kältekreis nach dem Austauschen der Systemkomponenten (z. B. Filtertrockner, Expansionsventil usw.) und dem erneuten Montieren des Verdichters ein Vakuum erzeugt werden.

Dieser Abschnitt geht auf ein bewährtes Verfahren für die Entfeuchtung eines Systems unter Vakuum ein. Der Feuchtigkeitsgehalt eines Kältekreises ist sehr schwer zu messen. Das Befolgen des beschriebenen Verfahrens ist demnach die beste Möglichkeit, um vor der Inbetriebnahme eines Systems einen sicheren und akzeptablen Feuchtigkeitsgehalt zu erreichen.

Feuchtigkeit beeinträchtigt die ordnungsgemäße Funktion des Verdichters und der Kälteanlage. Luft und Feuchtigkeit verringern die Lebensdauer und erhöhen den Verflüssigungsdruck. Beides führt auch zu einer übermäßig hohen Heißgastemperatur, wodurch die Schmierfähigkeiten des Öls herabgesetzt werden können.
Außerdem erhöhen Luft und Feuchtigkeit das Risiko von Säurebildung, Kupferablagerungen und Schäden an der Motorisolierung. Alle diese Phänomene können mechanische und elektrische Störungen des Verdichters verursachen.
Um dem entgegenzuwirken, wird empfohlen, gemäß den im Folgenden beschriebenen Verfahren ein Vakuum zu erzeugen.

Verfahren

Falls möglich (wenn Absperrventile vorhanden sind), muss der Verdichter vom System abgesperrt werden. Die Vakuumpumpe muss sowohl an die Nieder- als auch an die Hochdruckseite angeschlossen werden, um im System ein gleichmäßiges Vakuum zu erzeugen.



1. Erzeugen Sie nach einer Dichtheitsprüfung
2. im Kältekreis ein Vakuum von 500 µm Hg (0,67 mbar).
3. Sperren Sie nach dem Erreichen eines solchen Vakuums den Kältekreis von der Pumpe ab.
4. Warten Sie 30 Minuten.
5. Wenn der Druck schnell ansteigt, ist der Kältekreis nicht dicht. Ermitteln und reparieren Sie undichte Stellen. Beginnen Sie erneut mit Schritt 1.
6. Wenn der Druck langsam ansteigt, tritt im Kältekreis Feuchtigkeit auf. Brechen Sie das Vakuum mit Stickstoff und wiederholen Sie die Schritte 2 bis 4.

Nachrüstverfahren für ein System (Fortsetzung)

Verdichter mit Absperrventilen

7. Verbinden Sie den Verdichter mit dem System, indem Sie die Absperrventile öffnen.
8. Wiederholen Sie die Schritte 2 bis 4 (sowie 5 bis 6, falls erforderlich).
9. Brechen Sie das Vakuum mit Stickstoff.
10. Wiederholen Sie die Schritte 2 bis 4 im gesamten Kältekreis.

Verdichter ohne Absperrventile

7. Brechen Sie das Vakuum mit Stickstoff.
8. Wiederholen Sie die Schritte 2 bis 4 (sowie 5 bis 6, falls erforderlich).

Es muss ein Vakuum von 500 µm Hg (0,67 mbar) erreicht und vier Stunden lang aufrechterhalten werden. Dadurch wird sichergestellt, dass der Kältekreis sowohl dicht als auch vollständig entfeuchtet ist. Dieser Druck muss in der Kälteanlage und nicht am Manometer der Vakuumpumpe gemessen werden.

Vakuumpumpe

Es muss eine zweistufige Vakuumpumpe mit Gasballast (stehendes Vakuum mit 0,04 mbar) verwendet werden, deren Leistung für das Volumen des Systems geeignet ist. Es wird empfohlen, Anschlussleitungen mit großem Durchmesser einzusetzen und diese an die Absperrventile anzuschließen (nicht an den Schraderventilanschluss des Verdichters). Dadurch werden übermäßige Druckverluste verhindert.

Feuchtigkeitsgehalt

Zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme kann der Feuchtigkeitsgehalt im System bis zu 100 ppm betragen. Im Betrieb muss der Filtertrockner diesen Wert auf 20 bis 50 ppm reduzieren.

Wichtige Hinweise

- Während der Erstevakuierung des Systems/Kältekreises besteht durch das Verringern des Drucks auf weniger als 500 µm Hg das Risiko, dass die im System vorhandene Feuchtigkeit gefriert (kleine Flüssigkeitsansammlungen gefrieren und verdampfen nicht). Das erreichte geringe Vakuum kann fälschlicherweise zu der Annahme führen, dass im System keine Feuchtigkeit mehr enthalten ist. Tatsächlich ist sie aber noch in Form von Eis vorhanden. Dies stellt dann ein besonders hohes Risiko dar, wenn eine relativ große Vakuumpumpe in einem kleinen Kältekreis verwendet wird. Über eine einzelne Vakuumpumpe und das Erzeugen eines Vakuums von 250 µm Hg (0,33 mbar) kann kein ausreichend geringer Feuchtigkeitsgehalt sichergestellt werden.
- Eine niedrige Umgebungstemperatur (< 10 °C) der Anlage beeinträchtigt das Entfernen der Feuchtigkeit.
- Treffen Sie Gegenmaßnahmen und schalten Sie die Kurbelwannenheizung des Verdichters ein.
- Das Befolgen des oben beschriebenen Verfahrens ist bei FKW und POE-Ölen noch wichtiger als bei HFCKW (R22) oder FCKW und Mineralölen.

Warnung

Es darf kein Megohmmeter verwendet und keine Spannung an den Verdichter angelegt werden, während das Vakuum besteht. Ansonsten könnte die Motorwicklung beschädigt werden. Lassen Sie den Verdichter niemals unter Vakuum laufen, da dies Schäden am Verdichtermotor verursacht.

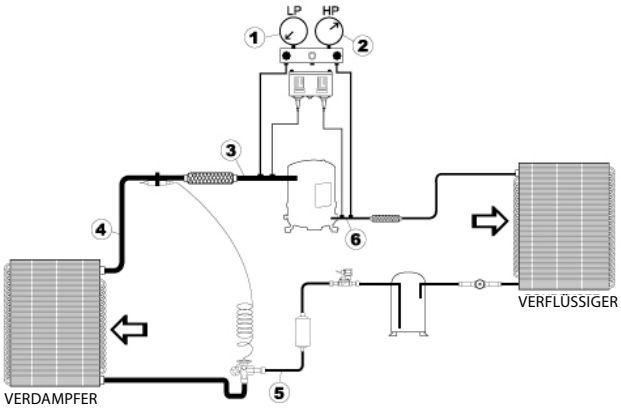
Schritt 6 – Einfüllen des Kältemittels

Zeotrope und nahezu azeotrope Kältemittelgemische wie R407C und R404A müssen immer im flüssigen Zustand eingefüllt werden. Für die Erstbefüllung muss der Verdichter ausgeschaltet und die Serviceventile müssen geschlossen werden.
Füllen Sie vor dem Einschalten des Verdichters so viel Kältemittel ein, bis die Nennsystemfüllung so genau wie möglich erreicht ist.
Füllen Sie dann das Kältemittel im flüssigen Zustand langsam auf der Niederdruckseite in größtmöglichem Abstand zum laufenden Verdichter nach.

Warnung

- Wenn in der Flüssigkeitsleitung ein Magnetventil verwendet wird, muss das Vakuum auf der Niederdruckseite gebrochen werden, bevor das System an die Spannungsversorgung angeschlossen wird.
- Die Kältemittelmenge muss sowohl für den Sommer- als auch für den Winterbetrieb geeignet sein. Weitere Informationen zu maximalen Kältemittelfüllmengen finden Sie im Abschnitt „Kältemittelregulierung und maximale Füllmengen“ in den Anwendungsleitfäden für Verdichter.

Schritt 7 – Prüfen nach der Inbetriebnahme



Messen Sie Folgendes und notieren Sie sich die Werte:

1. Saugdruck am Verdichter
2. Hochdruck am Verdichter
3. Saugtemperatur am Verdichter (d. h. Gesamtüberhitzung)
4. Saugtemperatur am Verdampferaustritt (d. h. Verdampferüberhitzung)
5. Flüssigkeitstemperatur am Eintritt des Expansionsventils (d. h. Flüssigkeitsunterkühlung)
6. Heißgastemperatur am Verdichteraustritt

Prüfen Sie, ob die Messwerte erwartungsgemäß/akzeptabel sind und im Betriebsbereich der Systemkomponenten liegen.

Bei der Verwendung von Kältemitteln mit einem hohen Temperaturgleit gelten besondere Anforderungen. Auf diese wird nachfolgend eingegangen.

© Danfoss | DCS | 2017.08

4. Nachrüstung von Systemen für Kältemittel mit Temperaturgleit

Von Norbert Blatz, Global Application Excellence Manager, und
John Broughton, Global Application Expert, Gewerbekälte

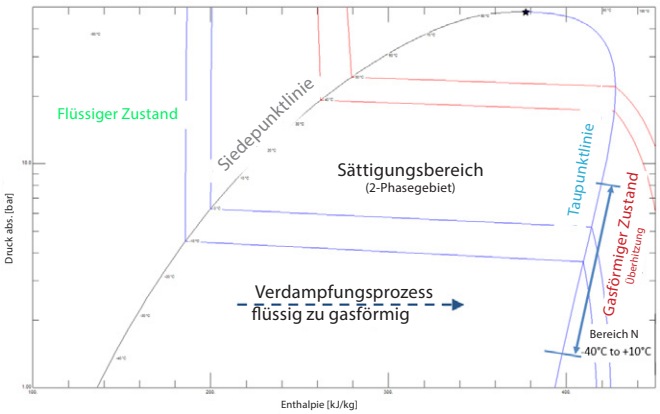
Infolge der F-Gas-Verordnung zum Senken des Treibhauspotenzials von Kältemitteln wurden/werden zahlreiche neue synthetische Kältemittel eingeführt. Bei den meisten handelt es sich um zeotrope Gemische mit einem hohen Temperaturgleit.

Um die Unterschiede zu azeotropen Kältemitteln (kein Temperaturgleit) zu veranschaulichen, werden Log-p-h- und p-T-Diagramme eingesetzt.

Alle verschiedenen Zustände bei unterschiedlichen Bedingungen werden in einem Log-p-h-Diagramm dargestellt. Die x-Achse gibt die spezifische Enthalpie an, während die y-Achse den Druck anzeigt (für gewöhnlich in logarithmischer Darstellung).
Von links nach rechts liegt das Kältemittel zunächst als Flüssigkeit vor, erreicht den Siedepunkt, an dem die Verdampfung beginnt, und gelangt in den Sättigungsbereich. Im Sättigungsbereich treten beide Zustände, flüssig und gasförmig, auf. Je mehr Energie zugeführt wird, desto höher ist die Enthalpie und desto mehr Flüssigkeit verdampft, bis der Taupunkt erreicht ist, an dem das gesamte Medium gasförmig ist. Beim Überschreiten des Taupunkts wird der Dampf überhitzt.

Der Wert der Überhitzung wird als Temperaturdifferenz zwischen Taupunkttemperatur und Temperatur des überhitzten Dampfs bei gleichem Druck gemessen, z. B. am Austritt eines Verdampfers für die Trockenexpansion. Als Beispiel wurde der Betriebsbereich („Bereich N“) der thermostatischen Expansionsventile von Danfoss eingezeichnet.

Diagramm 1

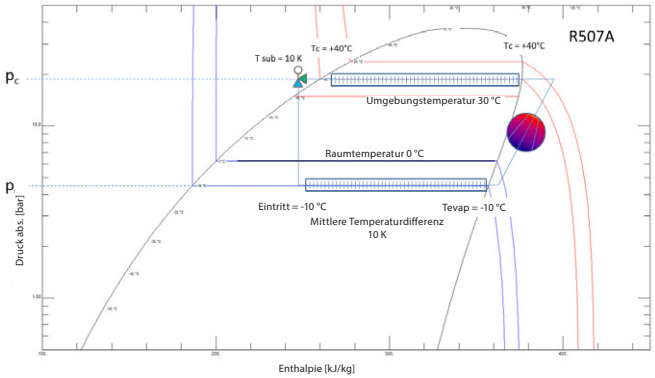


Im Sättigungsbereich hängt die Temperatur direkt vom Druck ab. Bei reinen Kältemitteln (keine Gemische, z. B. R134a) und azeotropen Gemischen ist die Temperatur während des gesamten Verdampfungsprozesses gleich. Bei Gemischen mit Temperaturgleit (d. h. zeotropen Gemischen) verändert sich die Temperatur während des Verdampfungs- oder Verflüssigungsprozesses erheblich. Der Druck bleibt jedoch konstant.

Dieser Temperaturgleit entsteht, sehr vereinfacht ausgedrückt, da das Kältemittel mit der niedrigsten Verdampfungstemperatur zuerst verdampft, während das Kältemittel mit der höchsten Verdampfungstemperatur dies zuletzt tut.
Zum Veranschaulichen der Auswirkungen des Temperaturgleits wird ein standardmäßiger Trockenexpansionskreis in ein vereinfachtes Log-p-h-Diagramm gezeichnet. Die Temperaturdifferenz soll 10 K betragen (Differenz zwischen Temperatur am Wärmeübertrager und Umgebungs- sowie Kühlraumtemperatur).

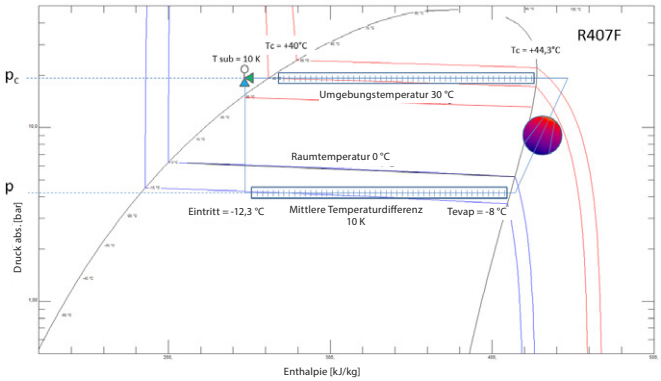
Beispiel für ein Kältemittel ohne Temperaturgleit, azeotropes Gemisch, R507A:
Bei gleichem Druck bleibt die Verflüssigungs- und die Verdampfungstemperatur konstant.
p_c = Verflüssigungsdruck
p_0 = Verdampfungsdruck

Diagramm 2



Beispiel für ein Kältemittel mit Temperaturgleit, zeotropes Gemisch, R407F (gleiches System):
Für eine Temperaturdifferenz von 10 K verändert sich die Verdampfungstemperatur von -12,3 °C am Eintritt zu -8 °C (Taupunkt).

Diagramm 3



Die Veränderung der Verdampfungstemperatur und die Auswirkungen für den Wärmeübertrager und die Expansionsvorrichtung werden im nächsten Abschnitt thematisiert.

Nachrüstung von Systemen mit Kältemittel mit Temperaturgleit (Fortsetzung)

Auswirkungen für die Anwendung beim Verwenden von Kältemitteln mit hohem Temperaturgleit

Durch die Temperaturänderung verändert sich auch die Differenz zwischen Lufttemperatur und Temperatur am Wärmeübertrager. Dies sollte beim Bemessen des Wärmeübertragers berücksichtigt werden.

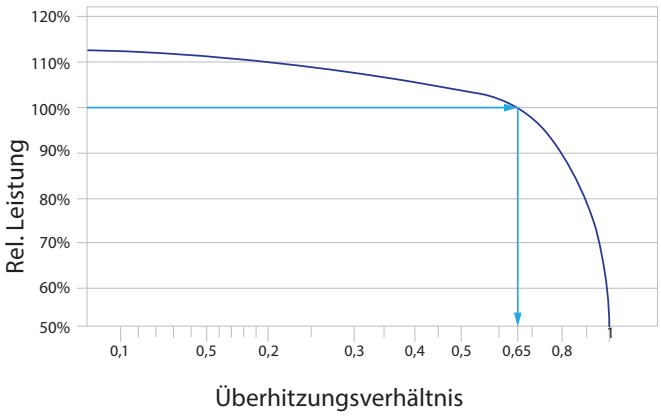
Verflüssiger:
Die mittlere Differenz zwischen Lufttemperatur und Temperatur am Verflüssiger wird geringer sein, wodurch ein größerer Verflüssiger erforderlich ist. Eine Nachrüstung kann zu einem Anstieg der Verflüssigungstemperatur führen, auch wenn der Verdichter gleiche Leistung hat wie vorher).

Verdampfer:
Die mittlere Temperaturdifferenz wird steigen, was zu einer höheren Leistung führt. Jedoch sollten zwei Dingen besonders berücksichtigt werden: das Expansionsventil und die Veränderung der Entfeuchtungsrate.

Zuerst wird kurz auf das Verhältnis zwischen der Überhitzung und der Leistung des Wärmeübertragers eingegangen.

Überhitzungsregelung:
Die Leistung eines Lamellenrohr-Verdampfers wird auf Grundlage der Lufteintrittstemperatur, DT1, und des Überhitzungswerts bestimmt.
DT1 ist definiert als Differenz zwischen Lufteintrittstemperatur und Taupunkt-Verdampfungstemperatur.
Berechnungsbeispiel: Lufteintrittstemperatur = 0 °C, Taupunkt-Verdampfungstemperatur = -10 °C → DT1 = 10 K

Diagramm 4



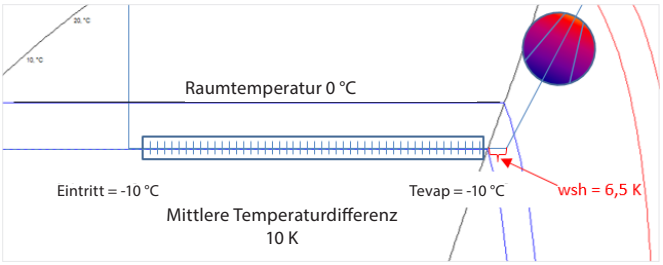
Für eine Verdampferleistung von 100 % wird die gewünschte Überhitzung folgendermaßen definiert:
DT1 x Überhitzungsverhältnis, d. h. 10 K x 0,65 = 6,5 K.
Aus regelungstechnischer Sicht liegt ein Wert von 0,65 nahe am Optimum. Er wird in der Norm EN 328 als Sollwert für Luftkühler angegeben. Diagramm 4 veranschaulicht, dass bereits eine geringfügige Erhöhung (höhere Überhitzung) dieses Werts zu einem großen Leistungsverlust in Bezug auf die Ausnutzung der Verdampferoberfläche führt.
Dagegen führt eine geringfügige Verringerung des Werts zu einem relativ kleinen Leistungsanstieg.
Bei einem Vergleich der Werte für die Verdampferüberhitzung von Diagramm 2 und 3 erkennt man die Unterschiede. Die mittlere Temperaturdifferenz am Verdampfer von Diagramm 2 und 3 ist gleich groß. Doch aufgrund des Temperaturgleits im R407F-Diagramm (Nr. 3) ist der Überhitzungssollwert niedriger. Der Grund dafür ist, dass die Taupunkt-Verdampfungstemperatur mit -8,1 °C um 2 K höher ist als die von R507A in Diagramm 2: DT1 = 0 °C - (-8,1 °C) = 8,1 K. Daher ergibt sich für die gewünschte Überhitzung: 8,1 K x 0,65 = 5,3 K.

Kältemittel mit hohem Temperaturgleit und Expansionsventile

Expansionsvorrichtungen nutzen Druck und Temperatur, um die Überhitzung am Austritt des Verdampfers zu regeln. Für die Überhitzungsregelung ist die Taupunktlinie (Verdampfung 100 %) die einzige gültige Referenz.
Das thermostatische Element des Expansionsventils ist mit einem Medium gefüllt, das über einen großen Bereich für nahezu die gleiche Temperaturdifferenz sorgt (z. B. Danfoss-Bereich N: -40 bis +10 °C).
Dadurch kann mit Bezug auf den Taupunkt die Überhitzung bestimmt werden.

Bei R507A (Diagramm 2) ist z. B. ein Überhitzungswert von 6,5 K erforderlich, um den Verdampfer mit voller Leistung (100 %) zu betreiben. Dies basiert auf einer mittleren Temperaturdifferenz von 10 K.

Diagramm 2, Ausschnitt



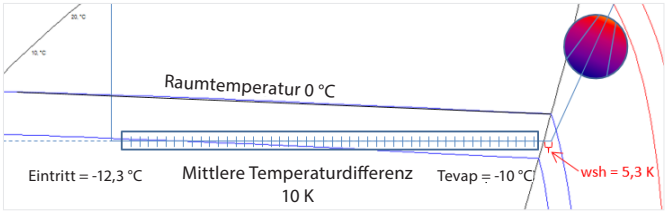
© Danfoss | DCS | 2017.08

Nachrüstung von Systemen mit Kältemittel mit Temperaturgleit (Fortsetzung)

Warum muss die Überhitzung eines thermostatischen Expansionsventils ggf. neu eingestellt werden?

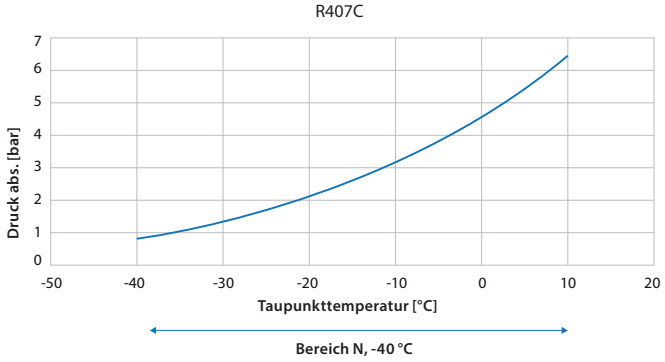
1. Temperaturgleit:
In Diagramm 3 beträgt die Taupunkttemperatur aufgrund des Temperaturgleits von R407F etwa -8,1 °C. Der gleiche Verdampfer erfordert nun eine Überhitzungseinstellung von 5,3 K, um ebenfalls bei einer mittleren Temperaturdifferenz von 10 K eine Leistung von 100 % zu erzielen.

Diagramm 3, Ausschnitt



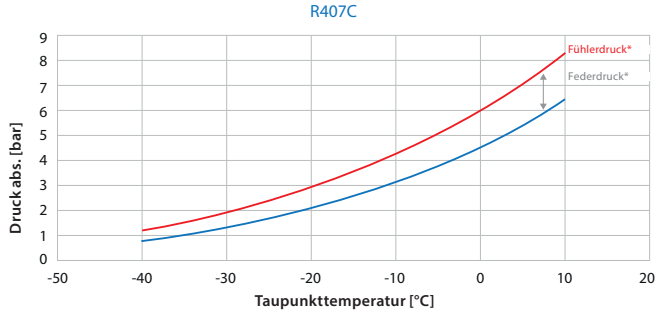
2. Für das Retrofit Kältemittel ist kein thermostatisches Expansionsventil mit korrekter Füllflüssigkeit verfügbar:
Hier nun eine Taupunktkurve wie in Diagramm 1, die jedoch als Druck / Temperaturkurve dargestellt.

Diagramm 5



Um die erforderliche Fühlertemperatur (Überhitzung) für die Öffnung des Ventils zu erhöhen, wird eine Feder hinzugefügt, die dem Fühlerdruck entgegenwirkt: Fühlerdruck + Federdruck = Überhitzung

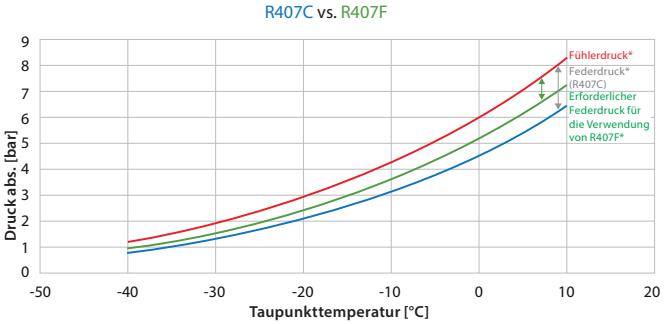
Diagramm 6



** Zur Verdeutlichung des Prinzips vereinfacht*

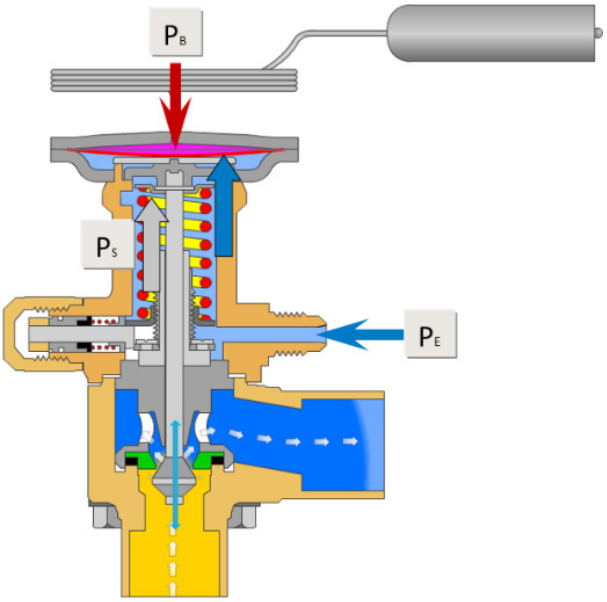
Bei einer Nachrüstung für R407F führen die R407C-Füllmenge und der Federdruck/die Federkraft zu einem zu hohen Überhitzungswert. Daher muss der Federdruck reduziert werden. Dies erfolgt durch Drehen der Schraube für die Überhitzungseinstellung gegen den Uhrzeigersinn.

Diagramm 7

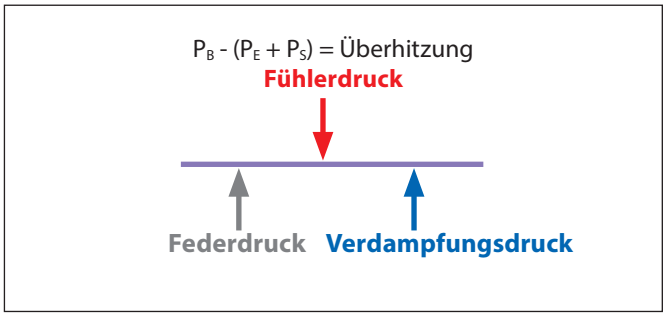


** Zur Verdeutlichung des Prinzips vereinfacht*

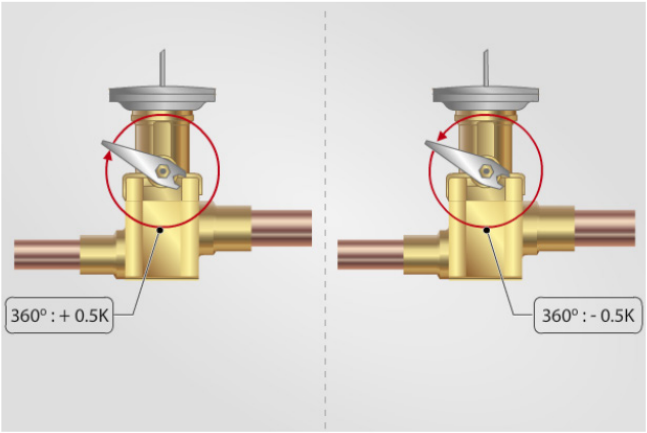
Kräfte bei einem Ventil und Verfahren zum Einstellen der statischen Überhitzung



Der Fühlerdruck PB muss größer sein als der Verdampfungsdruck PE und der Federdruck PS.
Durch das Reduzieren des Federdrucks (durch Anpassen der Überhitzungseinstellung) kann das Ventil für ein Kältemittel konfiguriert werden, für das es im Grunde nicht ausgelegt wurde.

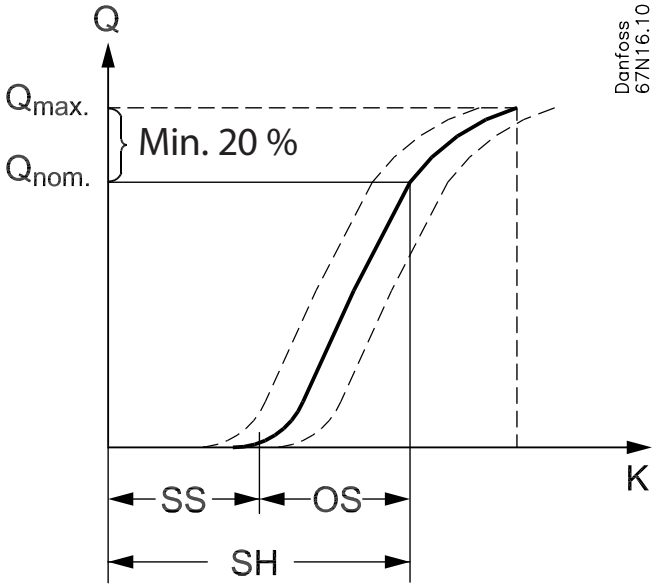


TE 5~55 superheat



Achtung! Falls eine Korrektur von mehr als 3 K erforderlich ist, kann die Regelqualität abnehmen. Es wird empfohlen, eine andere Füllungsart auszuwählen, mit der der Sollwert leichter erreicht werden kann.

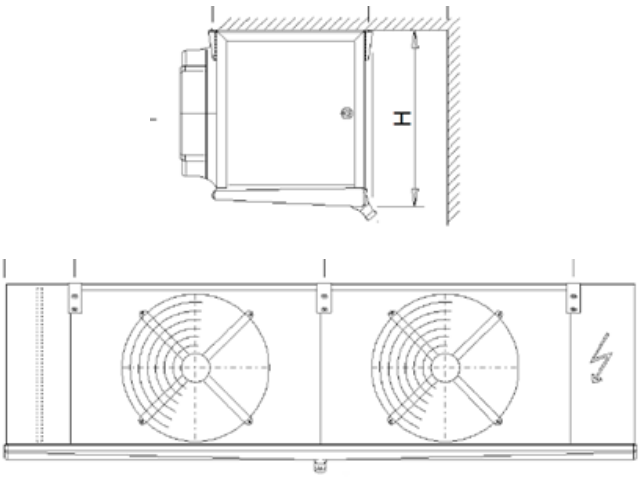
Beispiel:
Statische Überhitzung SS = 4 K/7,2 °F (Werkseinstellung)
Öffnungsüberhitzung OS = 4 K/7,2 °F
Die Öffnungsüberhitzung (Beginn der Ventilöffnung bis Nennleistung) beträgt 4 K. Die Öffnungsüberhitzung wird durch die Bauweise bestimmt und kann nicht verändert werden.
Gesamtüberhitzung SH = SS + OS
SH = 4 + 4 = 8 K/14,4 °F
Die Gesamtüberhitzung SH lässt sich durch das Anpassen der statischen Überhitzung SS (mithilfe der Einstellspindel) verändern.



© Danfoss | DCS | 2017.08

Verdampferleistung bei der Verwendung von Kältemitteln mit Temperaturgleit und Auswirkungen auf die Anwendung

Aufgrund des Temperaturgleits treten auf der Verdampferoberfläche teilweise niedrige Temperaturen auf, wodurch möglicherweise die Entfeuchtungsrate erhöht werden kann.



Die folgenden Beispielwerte sind gegeben *(siehe Diagramm 2)*:
Kühlraum, R507A, Raumbedingungen: 0 °C und 80 % rF,
mittlere Temperaturdifferenz: 10 K
Kälteleistung: 10 kW
Es wurden ein Verdampfer für die Wandmontage mit einer Oberfläche von 32,7 m² und zwei Lüftern mit einem Durchsatz von 6280 m³/h ausgewählt.

Ergebnisse im Detail

R507A	Leistung	Δtm	DT1	t0 dew	WSH	Laufzeit
	10,1 kW	10 K	10 K	-10 °C	6,5 K	18 h/Tag
Verdampfer:	2 Lüfter/32,7 m²					
Lufteintritt:	0 °C	80 % rF				
Luftaustritt:	-3,8 °C	95 % rF				
Luftstrom:	6280 m³/h					
Entfeuchtung:	47,75 kg/Tag					

Nachrüstung mit R407F

Erster Schritt: Die Überhitzungseinstellung (6,5 K) wird nicht verändert.
Eine mittlere Temperaturdifferenz von 12 K führt zu einer höheren Leistung von 12,5 kW und einer kürzeren Betriebszeit. Ein Nachteil ist die deutlich erhöhte Entfeuchtungsrate. Diese kann bei unverpackten Frischwaren zu Problemen führen.

R407F	Leistung	Δtm	DT1	t0 dew	WSH	Laufzeit
	12,5 kW	12 K	10 K	-10 °C	6,5 K	14,3 h/Tag
Verdampfer:	2 Lüfter/32,7 m²					
Lufteintritt:	0 °C	80 % rF				
Luftaustritt:	-4,7 °C	95 % rF				
Luftstrom:	6280 m³/h					
Entfeuchtung:	60,96 kg/Tag					

Zweiter Schritt: Das Expansionsventil wird auf einen Überhitzungswert von 5,3 K eingestellt.
Die Überhitzung wurde auf 5,3 K reduziert und die Taupunkt-Verdampfungstemperatur wurde auf -8,1 °C erhöht, um eine Temperaturdifferenz von 10 K zu erhalten (siehe auch Diagramm 3).

R407F	Leistung	Δtm	DT1	t0 dew	WSH	Laufzeit
	10,8 kW	10 K	8,1 K	-8,1 °C	5,3 K	16,6 h/Tag
Verdampfer:	2 Lüfter/32,7 m²					
Lufteintritt:	0 °C	80 % rF				
Luftaustritt:	-4,1 °C	95 % rF				
Luftstrom:	6280 m³/h					
Entfeuchtung:	53,32 kg/Tag					

Wichtiger Hinweis:
Wie diese Ergebnisse zeigen, sollte die mittlere Temperaturdifferenz bei einer Anwendung, bei der die Entfeuchtung ein kritischer Parameter ist, geringer sein als diejenige bei Anwendungen mit Einstoffkältemitteln oder azeotropen Kältemittelgemischen.

Besondere Auswirkungen:
Bei einigen großen Anwendungen mit niedrigen Temperaturen und Kältemitteln mit hohem Temperaturgleit hat sich gezeigt, dass flüssiges Kältemittel bis in die Verdichter gelangen. In diesen Fällen war ein Verfahren notwendig, dass vom oben beschriebenen abweicht: Die Überhitzungseinstellung musste erhöht werden, um den Verdichter zu schützen. Bei Kältemitteln ohne oder mit geringem Temperaturgleit treten diese Auswirkungen in Anwendungen mit niedrigen Temperaturen nicht auf.

Zusammenfassung:
Komponenten für Kältemittel mit hohem Temperaturgleit müssen in Abhängigkeit der mittleren Temperaturdifferenz bemessen und ausgewählt werden. Auch kann es durch den Temperaturgleit erforderlich sein, die Überhitzungseinstellung zu verändern. Ein Kältemittel, das bei einem bestimmten Temperaturbereich verwendet wird, eignet sich nicht unbedingt auch für einen anderen Temperaturbereich (z. B. Klima- vs. Niedrigtemperaturanwendung).
Jedes mechanische Expansionsventil ist für die Verwendung mit einem bestimmten Kältemittel optimiert (in Bezug auf die Leistung). Bei Einsatz eines anderen Kältemittels arbeitet das Ventil nicht mit den voreingestellten Werten.
Wenn Sie das Risiko für Systemstörungen reduzieren und eine stabile, optimale Systemregelung aufrechterhalten möchten, ist ein neu eingestelltes thermostatisches Expansionsventil oder ein elektrisches Expansionsventil eine gute Wahl. Ein elektronisches Expansionsventil bietet auch mehr Flexibilität bei späteren Systemumstellungen, wenn der Überhitzungsregler für das ausgewählte Kältemittel geeignet ist. Danfoss verbessert kontinuierlich seine Regler, damit sie mit den neuesten Kältemitteln mit geringem Treibhauspotenzial eingesetzt werden können.

Hinweis:
Die in diesem Dokument genannten Kältemittel stehen nicht für die Bevorzugung des einen oder anderen Kältemittels und Bedingungen! Der Zweck dieses Dokuments ist eine neutrale Erörterung von physikalischen Aspekten sowie Auswirkungen auf Komponenten und die Systemkonstruktion.

Ob sich ein Expansionsventil von Danfoss für eine bestimmte Anwendung eignet, können Sie mit dem Low-GWP Tool herausfinden:
http://refrigerationandairconditioning.danfoss.com/support-center/apps-and-software/low-gwp-tool/
Siehe auch: ASERCOM, Refrigerant Glide and Effect on Performances Declaration; Kältemittel mit Temperaturgleit und Auswirkungen auf die Leistungsangaben (http://asercom.org/guides)

Die in Katalogen, Prospekten und anderen schriftlichen Unterlagen, wie z.B. Zeichnungen und Vorschlägen enthaltenen Angaben und technischen Daten sind vom Käufer vor Übernahme und Anwendung zu prüfen. Der Käufer kann aus diesen Unterlagen und zusätzlichen Diensten keinerlei Ansprüche gegenüber Danfoss oder Danfoss Mitarbeitern ableiten, es sei denn, dass diese vorsätzlich oder grob fahrlässig gehandelt haben. Danfoss behält sich das Recht vor, ohne vorherige Bekanntmachung im Rahmen des Angemessenen und Zumutbaren Änderungen an ihren Produkten – auch an bereits in Auftrag genommenen – vorzunehmen. Alle in dieser Publikation enthaltenen Warenzeichen sind Eigentum der jeweiligen Firmen. Danfoss und das Danfoss Logo sind Warenzeichen der Danfoss A/S. Alle Rechte vorbehalten.

© Danfoss | DCS | 2017.08