

Kälteleistungsregelung für Anlagen mit Kolbenverdichtern

Wolfgang Linck, Dresden und Ingo Wedel-Kluge, Maintal

Selten werden Kälte- und Klimaanlagen hinsichtlich der Kälteleistung mit der Auslegungslösung betrieben. Der Kälteleistungsbedarf wird dann durch Ein- und Ausschalten des Verdichters gedeckt. Das führt oft zu einer unzulässig hohen Schalthäufigkeit und zu einer nicht zufriedenstellend arbeitenden Kälteanlage. Die Sollwerte der Regelung des Verbrauchers können nicht konstant eingehalten werden.

Die Lösung des Problems liegt in der Verwendung einer Kälteleistungsregelung. Ziel dieser Leistungsregelung ist, die benötigte Leistung bei möglichst geringer Schalthäufigkeit und einer möglichst hohen Kälteleistungszahl (Quotient aus Kälteleistung und Leistungsaufnahme des Verdichters) zu erzielen. Dabei gilt: Nicht so viel Leistungsstufen wie möglich, sondern nur so viel wie erforderlich. Manche Verbraucher vertragen durchaus das Abschalten der Kälteanlage bei geringer Schalthäufigkeit des Verdichters.

Dieser Artikel soll dazu beitragen, dem Anwender eine Übersicht über die vorhandenen Methoden und Verfahren zu geben und ihn auf deren Besonderheiten hinzuweisen, damit er in der Lage ist, unter der Vielzahl der Möglichkeiten die für ihn geeignete herauszufinden.

Bei allen Verfahren, die den Kältemittelstrom durch den Verdampfer und damit auch durch die Saugleitung zur Reduzierung der Kälteleistung senken, ist die richtige Bemessung der Saugleitung

zu den Autoren

Dipl.-Ing. Wolfgang Linck,
BKK Beratungen
Klima-
Kältetechnik,
Dresden



Dipl.-Ing. Ingo Wedel-Kluge,
Dozent der
Bundesfach-
schule Kälte-
Klima-Technik,
Maintal



für einen störungsfreien Betrieb wichtig. Auch bei der kleinsten Leistungsstufe müssen die Gasgeschwindigkeiten erreicht werden, die zur Rückführung des Öls zum Verdichter ausreichend sind. Das gilt in diesem Fall auch für die Dimensionierung der Druckleitung. Angaben zur Dimensionierung sind in der einschlägigen Fachliteratur zu finden.

Meist wird bei Teillast Öl in die Anlage ausgetragen, welches erst bei Vollast wieder zurückgeführt werden kann. Der Ölstand im Verdichter muß deshalb bei der Inbetriebnahme gut beobachtet werden.

Unbedingt erforderlich ist auch eine Kondensationsdruckregelung, die verhindert, daß dieser Druck eine minimale Grenze unterschreitet, es sei denn, daß ein elektronisches Einspritzventil vorhanden ist, welches genügend Kältemittel bei dem geringen Kondensationsdruck durchläßt.

Ein Umstand, der wenig Beachtung findet, ist der, daß bei vermindertem Massenstrom auch der Durchsatz durch den Verflüssiger abnimmt. Der Füllungsgrad des Verflüssigers wird größer, d. h. er enthält mehr flüssiges Kältemittel als im Auslegungszustand. Nur mit einem richtig dimensionierten Flüssigkeitssammelbehälter im Kältemittelkreislauf ist der weitere Betrieb der Kälteanlage möglich [1].

Leistungsregelung durch den Verdichter

Steht von Anfang an fest, daß mehrere Verbraucher angeschlossen sind, die unterschiedlich arbeiten, ist es vorteilhaft, wenn zur Deckung des Kältebedarfs mehrere Verdichter eingesetzt werden. Diese können einzeln abgeschaltet und die Kälteleistung dem Kältebedarf so angepaßt werden. Die Kälteleistungsziffer bleibt hoch und außerdem ergibt sich eine Redundanz, denn der Ausfall eines Verdichters bedeutet nicht zwangsläufig den Ausfall der Anlage. Die Lösung ist jedoch teurer als der Einsatz eines leistungsgeregelten Verdichters für die Gesamtleistung.

Die Kälteleistung kann mit einem Verdichter geregelt werden, wenn es gelingt, die Kältemittelfördermenge entsprechend zu verändern.

Unabhängig von der Bauart vollhermetisch, halbhermetisch oder offen sind nur zwei Methoden möglich, wie in den beiden nachfolgenden Unterabschnitten beschrieben:

Polumschaltbarer Antriebsmotor

Dies ist eine stufige Leistungsregelung in 2 Stufen. Die Drehzahl wird durch eine elektrische Umschaltung auf die doppelte Polzahl halbiert. Die Kälteleistung sinkt auf ungefähr 50 %, die Antriebsleistung auf 53 bis 54 % je nach Fabrikat. Die Motoren solcher Verdichter werden vom Hersteller für diesen Bedarfsfall festgelegt und die Verdichter sind daher nicht für jede Leistungsgröße verfügbar. Der Preis ist höher als der des unregulierten Bautyps und unter Umständen auch teurer als eine andere Regelungsart mit dem gleichen Erfolg (z. B. Saugdrosselregelung). Auskunft gibt der jeweilige Hersteller.

Der Aufwand seitens der Kälteanlage ist gering, die Verwendung nicht vom Bautyp (offen, halbhermetisch oder hermetisch) aber von der Verfügbarkeit abhängig.

Frequenzsteuerung

Energetisch ist die Frequenzregelung günstiger als alle anderen Methoden der Leistungsregelung [6], [8], [9], [11].

Über einen Frequenzumformer (FU) wird die Drehzahl des Verdichters stufenlos an die erforderliche Kälteleistung angepaßt. Eine Voraussetzung für den Einsatz der FU-Technik ist die Freigabe des Verdichtermotors für diese Art der Leistungsregelung. Der FU liefert, im Gegensatz zu der normal sinusförmigen Netzspannung, eine digitalisierte Spannung mit dem zeitlichen Verlauf dU/dt . Hieraus ergeben sich entsprechende Anforderungen nach der elektromagnetischen Verträglichkeit hinsichtlich der Einhaltung bestimmter Schutzanforderungen. Das bedeutet z. B., Kenntnis zu haben über die Emissionen und die Emissionsfestigkeit des Verdichtermotors einschließlich seines Umfeldes mit den weiteren Anlagenkomponenten. Weitere Vorteile der Frequenzsteuerung sind:

- verlängerte Laufzeiten des Verdichters
- durch Verringerung der Schaltungen höhere Lebensdauer
- besseres Regelverhalten durch nahezu konstanten Saugdruck
- Anlauf mit geringem Anlaufstrom
- eventuell Einsatz kleinerer Verdichter wegen der Leistungsspitze 120 %.

Die Verdichtungsendtemperatur kann wegen der größeren elektrischen Leistungsverluste in der Wicklung des Motors höher als beim unregulierten Verdichter sein. Zu beachten ist auch, daß die Ventilplattenkonstruktion den Massendurchsatz bei maximaler Drehzahl zuläßt. Wegen der Digitalisierung von Spannung und Strom sind besondere Maßnahmen zur Abschirmung der Kabel und der Einsatz von Elektrosinusfiltern gegenüber den anderen Verbrauchern erforderlich. Der Asynchronmotor muß für die max. Frequenz ausgelegt werden, da das Drehmoment oberhalb der Netzfrequenz sinkt, während die Leistung konstant bleibt.

Die Leistungsgrenzen für die erzielbare Kälteleistung sind durch die zuvor angeführten Umstände und die Aufrechterhaltung der Ölversorgung bestimmt. Zu niedrige Drehzahlen verhindern eine ausreichende Versorgung der Schmierstellen, zu hohe ergeben unzulässige Verdichtungsendtemperaturen. Es gibt etliche Verdichter, bei denen der Bereich von 25 Hz bis 60 Hz zulässig ist. Das ist ein Leistungsbereich von 50 % bis 120 %. Durch die kritische(n) Drehzahl(en) des einzelnen Verdichters kann es sein, daß nicht der ganze Frequenzbereich stufenlos genutzt werden kann. Genaue Angaben macht der Hersteller, der ja schon wegen der elektromagnetische Verträglichkeit des Motors befragt werden muß.

Die technische Entwicklung bei Frequenzumformern ist in letzter Zeit stark fortgeschritten. Die Geräte werden immer kleiner, leistungsfähiger, zuverlässiger und auch preiswerter, so daß man mit ihrer zunehmenden Verwendung bei der Leistungsregelung rechnen kann. Eine Übersicht der gegenwärtigen Marktpreise gibt Bild 1.

Verdichter mit Frequenzumformer werden von verschiedenen Herstellern schon komplett angeboten. Die Leistungsaufnahme des Motors und die Kälteleistung ändern sich nahezu proportional, der Liefergrad des Verdichters verschlechtert sich unwesentlich wegen der relativen Zunahme der Spaltverluste mit kleiner werdender Drehzahl.

Die Methode ist für den Anwender leicht überschaubar. Die Kälteleistung kann stufenlos und ohne Verzögerung geregelt werden. Daher ist dieses Verfahren besonders für Kälteanlagen geeignet, bei denen der Sollwert sehr schnell der Leistungsänderung der Kälteanlage folgt (Zuluft- bzw. Vorlauftemperaturregelung, Prüfkammern).

Verminderung der Wirksamkeit einzelner Zylinder

Dieses Verfahren ist beschränkt auf halbhermetische und offene Verdichter. Die Leistungsregelung wird bereits vom Hersteller mitgeliefert. Sie kann je nach Konstruktion auch nachträglich angebaut werden [2].

Es gibt mehrere Methoden zur Realisierung, jedoch nur eine bei einem bestimmten Erzeugnis. Zur Ansteuerung der Leistungsregelung werden Auf-Zu-Magnetventile verwendet, die bei Anlegen von Spannung Kältemitteldruck zur Bewegung von Steuerkolben durchlassen, wodurch die eigentliche Leistungsänderung realisiert wird. Im spannungslosen Zustand sind die Magnetventile geschlossen und der Verdichter arbeitet mit 100 % Leistung.

Für alle nachfolgend beschriebenen Methoden gilt, daß die Einsatzgrenzen des Verdichters eventuell eingeschränkt werden müssen. Die Kühlwirkung durch den

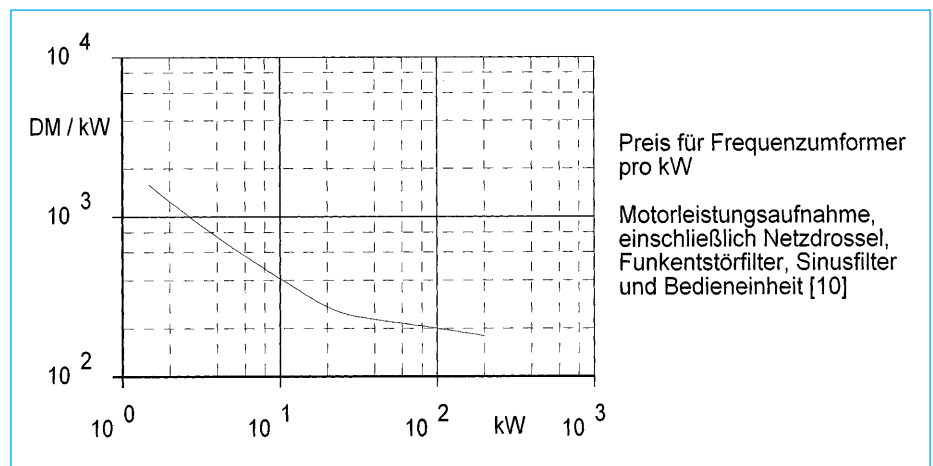


Bild 1 Übersicht zu Marktpreisen bei Frequenzumrichtern pro kW Motorleistungsaufnahme

verminderten Kältemittelmassenstrom wird schlechter, da es wegen der unveränderten zulässigen oberen Grenze für die Sauggastemperatur am Verdichtereintritt nicht möglich ist, das durch eine größere Sauggaserwärmung völlig auszugleichen. Das Kältemittelgas wird stärker erhitzt und die Verdichtungsendtemperatur steigt ohne die Beschränkung über den zulässigen Wert. Zusatzkühlung mittels Ventilatoren und z. T. Ölkühlung können die Einsatzgrenze wieder etwas anheben. Da die Leistungsregelung vom Hersteller des Verdichters mit angeboten wird, gibt dieser auch an, wie sich die zulässige Verdampfungs- und Kondensationstemperatur bei Leistungsregelung durch Verminderung der Zahl einzelner arbeitender Zylinder verschieben.

Durch die Leistungsänderung verschieben sich in der Kälteanlage die Verdampfungs- und Kondensationstemperatur, sofern sie nicht anders geregelt werden. Ohne Regelung wird die Verdampfungstemperatur steigen und die Kondensationstemperatur sinken. Die Abnahme der Kälteleistung durch die Verminderung der Zahl einzelner arbeitender Zylinder ist deshalb nicht so groß wie die prozentuale Verminderung des wirksamen Hubvolumens.

Interner Bypass

Der interne Bypass (Bild 2) ist eine Sonderlösung, die nur bei bestimmten Typen verwendet wird, bei denen die nachfolgend beschriebenen Verfahren aus konstruktiven Gründen nicht angewendet werden können.

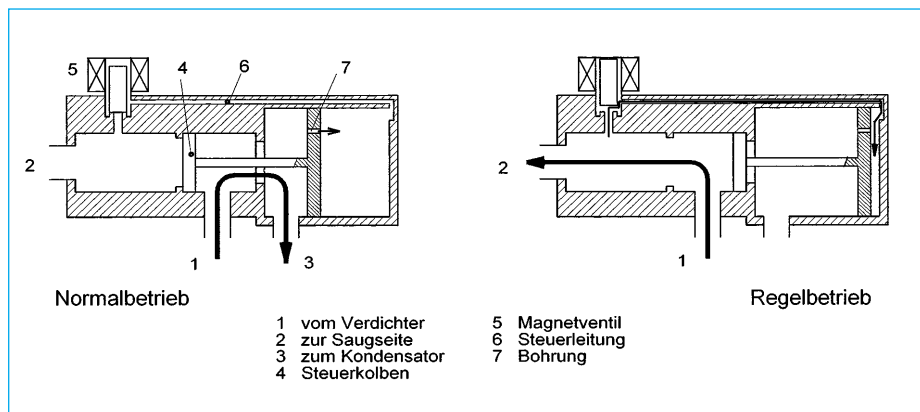


Bild 2 Interner Bypass für eine konstruktionsabhängige Verdichter-Leistungsregelung

Ein Dreiwegeventil steht bei Vollast so, daß das Kältemittel direkt in die Druckleitung gefördert wird. Bei Regelbetrieb wird es durch ein Magnetventil, welches Saugdruck auf eine Seite des Steuer-

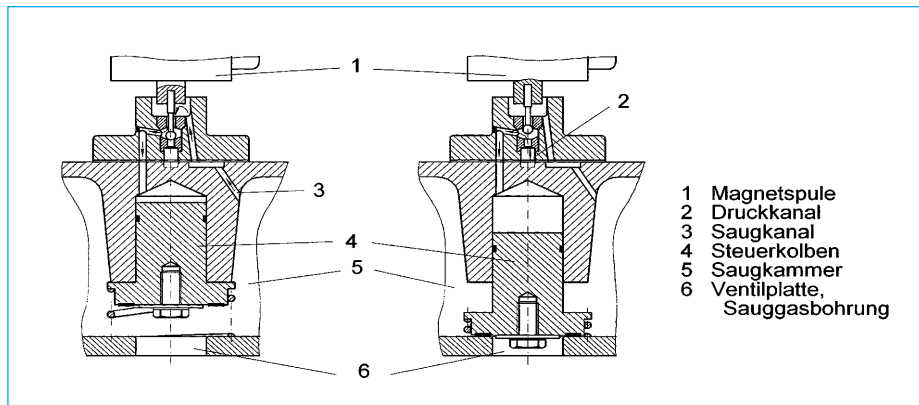


Bild 3 Stufige Leistungsänderung infolge Saugdampfabsperung

kolbens gibt, so verstellt, daß der Zylinder, der inaktiviert werden soll, das Kältemittelgas direkt wieder in die Saugkammer des Verdichters fördert.

Die Leistungsänderung mit internem Bypass ist stufig. Die Leistungsaufnahme ist bei Teillast verringert, jedoch weniger als im Verhältnis der Kälteleistungsabnahme.

Saugdampfabsperung

Der Steuerkolben wird bei Vollast mit Federkraft über der Sauggasbohrung in der Ventilplatte gehalten. Soll das entsprechende Zylinderpaar wirkungslos gemacht werden, erreicht durch Erregung des Magnetventils Druckgas den Steuerkolben, der daraufhin die Sauggasbohrung verschließt. Das Zylinderpaar saugt kein Gas mehr an.

Die Leistungsänderung ist stufig, die mögliche Stufigkeit nimmt mit der Anzahl der Zylinder zu. Die Lösung ist preiswert. Die Leistungsaufnahme sinkt bei 50 % Kälteleistung nach Herstellerangaben (Bock Kältemaschinen) nur auf 58 %. Gegenüber der Drehzahlregelung ist das eine Verschlechterung.

Saugventilabhebung

Hierbei wird durch den Steuerkolben beim Ansprechen der Leistungsregelung das Saugventilplättchen angehoben. Der Zylinder saugt Kältemittelgas an, schiebt es aber über das Saugventil wieder in die Saugkammer zurück. Im übrigen gelten die bei der Saugdampfabsperung angeführten Vor- und Nachteile.

Schadraumzuschaltung

Die Verringerung der Kälteleistung wird durch die Verschlechterung des Liefergrades der betreffenden Zylinder erreicht. In Abhängigkeit von der erforderlichen Minderleistung wird über ein Magnetventil mittels eines un stetig verstellbaren Steuerkolbens das Endvolumen des Verdichtungsraumes, d. h. der Schadraum, vergrößert. Es wird weniger Kältemittelgas angesaugt, da dieses aus dem Schadraum in den Zylinderraum reexpandiert. Die geförderte Kältemittelmasse sinkt (Abb. 4).

Bekannt ist bei großen Verdichtern eine andere Art der Schadraumzuschaltung, bezeichnet als Ausschubventilregelung [6] oder Mittellochregulierung. Hierbei werden seitliche Öffnungen in der Zylinderwand erst durch den Kolben selbst verschlossen. Auf dem ersten Teil des Kolbenhubs wird das Gas in die Saugleitung zurückgeschoben. Die Leistungsregelung ist stufig und nur bei konstruktiv vorbereiteten Verdichtern möglich.

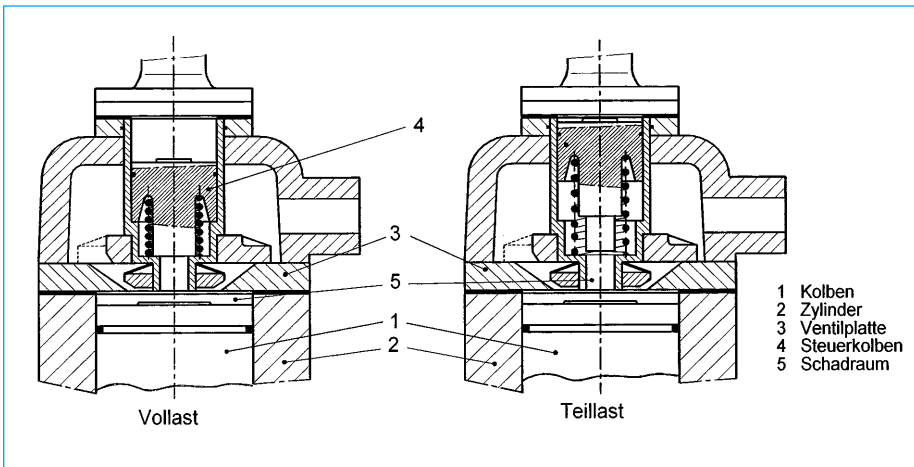


Bild 4 Verringerung der Kälteleistung durch Schadraumzuschaltung

Leistungsregelung durch Drosselung des Sauggasstroms

Verdampfungsdruckregler

Verdampfungsdruckregler sind Proportionalregler. Sie werden in die Saugleitung möglichst kurz hinter dem Verdampfer eingebaut. Sie haben die Aufgabe, den Verdampfungsdruck nicht unter einen, am Druckregler eingestellten Sollwert absinken zu lassen, z. B. zur Verhinderung von Eisbildung nicht unter einen Druck entsprechend 0 °C Verdampfungstemperatur. Dadurch wird gleichzeitig die Kälteleistung und die Leistungsaufnahme des Verdichters gesenkt, weil der Saugdruck vor dem Verdichter sinkt. Die Einhaltung eines bestimmten Sollwertes beim Verbraucher (z. B. Raumtemperatur) gelingt durch den Einsatz von Verdampfungsdruckreglern nicht.

Liegt der Verdampfungsdruck der Kälteanlage ohne Druckregler (Auslegungszustand) knapp unter dem Sollwert des Verdampfungsdruckreglers, dann ist dieser fast geschlossen. Es muß die Kühlung des Verdichters durch Ersatzgas (Heißgas, Nacheinspritzventil) gesichert werden.

Verdampfungsdruckregler sind handelsüblich direkt gesteuert vom Verdampfungsdruck, servogesteuert durch den Kondensationsdruck oder elektronisch gesteuert über die Temperatur an der Verdampferoberfläche. Die Konstruktionen sind so ausgeführt, daß der Druckverlust im ungedrosselten Zustand minimiert ist, um die Leistungsverluste der Kälteanlage so gering wie möglich zu halten. Servogesteuerte Ventile sind da besser als die direkt gesteuerten, aller-

dings auch teurer. Die Ventilgröße muß sorgfältig nach den Angaben des Herstellers ausgewählt werden. Insbesondere sollte das P-Band so gelegt werden, daß auch bei Minillast die festgelegte untere Grenze für die Verdampfungstemperatur nicht unterschritten wird (Auf-friergefahr bei Teillast).

Stufige oder stetige Drosselung

In die Saugleitung wird ein Magnetventil eingebaut, welches zweckmäßig stromlos offen ist. Ein Bypass, dessen Drosselwirkung eingestellt werden kann, sichert den Kältemitteldurchfluß für die Leistungsstufe bei geschlossenem Magnetventil. Diese Bypassleitung kann auch innerhalb des Magnetventils liegen [3], [4]. Es werden Auf-Zu-Ventile (stufig) oder Ventile mit stetiger Hubänderung verwendet.

Bei Ansteuern der Drosselstufe erhöht sich der Verdampfungsdruck und sinken der Saugdruck vor dem Verdichter und der Kältemittelmassenstrom. Die Leistungsaufnahme des Verdichters sinkt, allerdings nicht im gleichen Maße wie die Kälteleistung. So kann man bei einer Drosselung auf 50 % Kälteleistung mit einer Senkung der Leistungsaufnahme je nach Anlagenausführung auf 58 bis 60 % rechnen (Messungen an Kompaktklimageräten von AL-KO AeroTech für die Deutsche Post beim TÜV Essen). Bei luftbeaufschlagten Verdampfern ist von Nachteil, daß durch die erhöhte Verdampfungstemperatur nur eine geringe oder gar keine Entfeuchtungsleistung mehr erbracht wird. Ist es am Ort des Regelfühlers (z. B. im Raum) kalt genug, aber zu feucht, muß man die Verdampferfläche verkleinern und nachheizen (siehe Kapitel „Flächenabschaltung“).

Das Verfahren mit dem eingebauten Saugdrosselventil ist einfach und kostengünstig. In der Praxis wird meist eine Einstellung auf 50 % der Kälteleistung bei geschlossenem Magnetventil mit Auf-Zu-Ventilen gewählt. Bei stetig regelnden Ventilen kann man bei Einhaltung der Einsatzgrenze des Verdichters den Regelbereich bis minimal 33 % ausdehnen.

Für den Kältemonteur ist die Einstellung des richtigen Drosselzustandes manchmal ein Problem, weil die Auslegungsbedingungen der Anlage nicht vorhanden sind, für die der Anlagenbauer den Einstellwert vorgeschrieben hat. Hier wird die Anwendung eines Hilfsdiagramms nach Bild 6 vorgeschlagen, das mit wenig Mühe für jede Verdichterbaugröße einzeln erstellt werden kann.

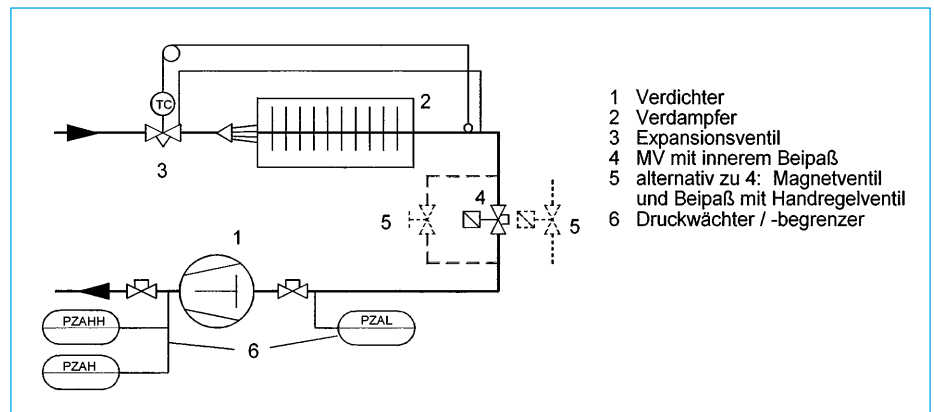


Bild 5 Leistungsregelung über Magnetventil mit innerem Bypass

Aus der Verdichterkennlinie für ein bestimmtes Kältemittel (Herstellerangabe)

$Q_o = f(t_o)$, Parameter t_k

Q_o Kälteleistung [kW]

t_o Verdampfungstemperatur entsprechend dem Druck p_o vor dem Verdichter

t_k Kondensationstemperatur kann man für jede Kondensationstemperatur eine Kennlinie

$p_{o \text{ } \%} = f(t_o \text{ } 100 \%) \text{ } \% \text{ Leistung}$ bei max. Drosselung [%] ableiten. Diese Kennlinie gilt immer nur für eine spezielle Verdichterbaugröße.

Stetige Drosselung mit Heißgasbypass und Nacheinspritzung

Eine weitere Absenkung der minimalen Leistungsgrenze kann in Zusammenhang mit dem stetig verstellbaren Saugdrosselventil durch zusätzliche Kühlung des Sauggasstroms mittels Ersatzgas erreicht werden.

Ohne Saugdrosselventil erfolgt nur eine Leistungsanpassung selbsttätig über den Saugdruck. Die Regelung auf einen bestimmten Sollwert benötigt das Saugdrosselventil.

beginnt. Gleichzeitig verhindert ein Nacheinspritzventil, daß vor dem Verdichter die Sauggastemperatur unzulässig ansteigt.

Die Leistungsgrenze dieser Methode liegt bei etwa 10 % der Vollastkälteleistung, einem Wert, unterhalb dem nicht mehr geregelt zu werden braucht; man kann die Anlage abschalten.

Die Leistungsaufnahme des Verdichters sinkt ab dem Freigeben des Heißgasstroms nicht mehr ab. Die Regelmethode wird mit sinkendem Saugdruck energetisch immer ungünstiger und die Kälteleistungszahl immer schlechter. Dabei ist die Einsatzgrenze des Verdichters zu berücksichtigen. Die Sauggastemperatur muß in den vorgeschriebenen Grenzen gehalten werden.

Das Ziel, eine von einem Regler gesteuerte stetige Leistungsänderung, wird sicher erreicht.

Elektronischer Durchflußregler anstatt Expansionsventil

Statt des thermostatischen Expansionsventils kann auch ein elektronischer Durchflußregler (mit Schrittschaltmotor oder pulsmodulierendem Stellantrieb) die Kälteleistungsregelung übernehmen. Dieser muß die Funktion des Expansionsventils übernehmen (die Sicherung einer Mindestüberhitzung des Kältemittels am Verdampferaustritt) und kann zusätzlich von einem Sollwert gesteuert werden. Der

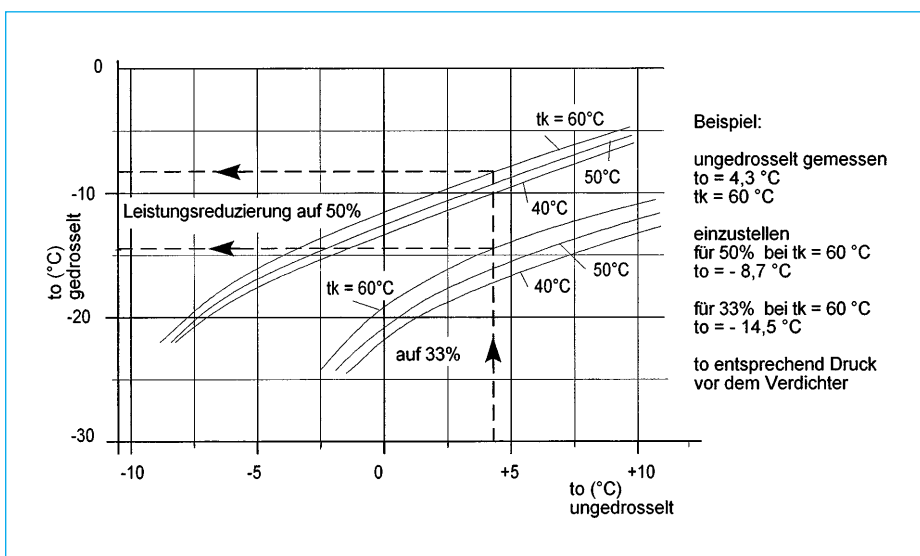


Bild 6 Verdichter-Hilfsdiagramm zur Einstellung des richtigen Drosselzustandes

Der Monteur muß bei der Einstellung des Bypasses nur darauf achten, daß etwa die gleiche Kondensationstemperatur wie im ungedrosselten Zustand vorhanden ist. Das ist leicht durch Verringerung des Kühlmassenstroms (Drosseln der Kühlwassermenge oder Abdecken von Kondensatorfläche bei luftgekühlten Kondensatoren) zu erreichen.

Wie in Bild 6 angegeben, geht man von der Verdampfungstemperatur auf der Abszisse aus, die sich im ungedrosselten Zustand ergeben hat, sucht die Kennlinie für die vorhandene Kondensationstemperatur und liest auf der Ordinate die Temperatur ab, die vor dem Verdichter einzuregeln ist, um die entsprechende Kälteleistungsminderung im Drosselzustand zu erreichen. Die Verdampfungstemperaturen ergeben sich aus den entsprechenden Sättigungsdrücken vor dem Verdichter.

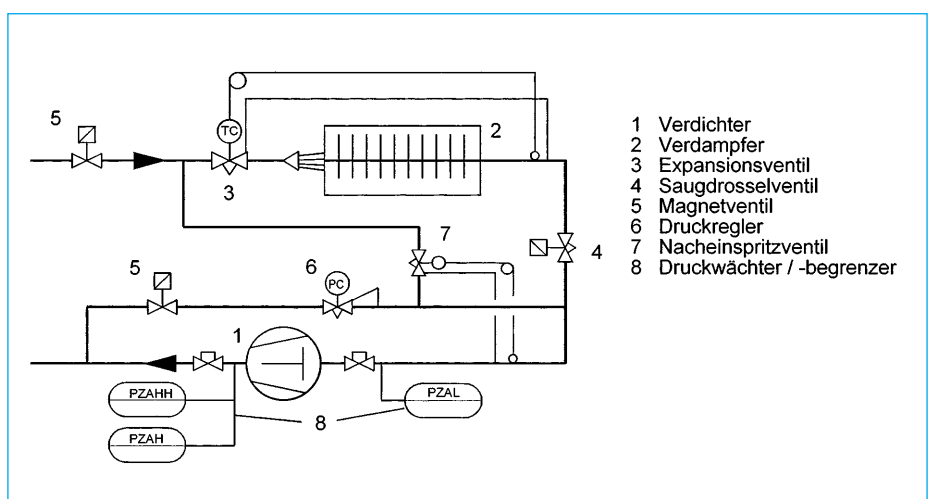


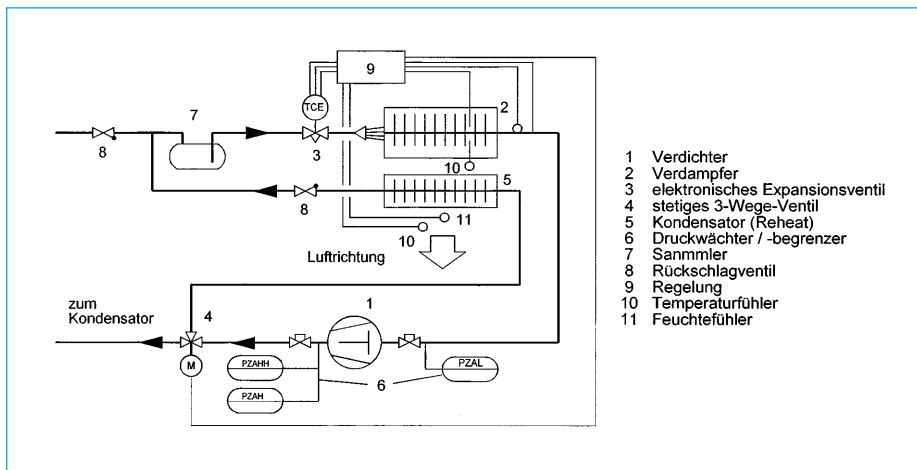
Bild 7 Leistungsregelung durch stetige Drosselung mit Heißgasbypass und Nacheinspritzung

Wie in Abb. 7 gezeichnet, wird eine Bypassleitung von der Druckseite zur Saugseite des Verdichters vorgesehen. In diese ist ein Druckregler eingebaut, der bei Unterschreitung eines bestimmten, am Druckregler einstellbaren Wert zu öffnen

Saugdruck sinkt nicht erst in der Saugleitung wie beim Saugdrosselventil, sondern schon im Verdampfer. Der Vorteil liegt bei luftbeaufschlagten Verdampfern

darin, daß über dem Teil des Verdampferrohres, in dem noch flüssige Kältemittelanteile vorhanden sind, weiterhin eine Entfeuchtungsleistung erreicht wird. Dem wirkt entgegen, daß die Verdampfungsstrecke proportional mit der Leistungsabsenkung verkürzt wird. Die Grenze für die mögliche Leistungsabsenkung wird wieder durch den Verdichter bestimmt, liegt also bei ca. 33 %.

Im Zusammenwirken mit einem im Luftstrom nachgeschalteten Kondensator (Reheat), der durch ein stetiges 3-Wege-Ventil angesteuert wird, lassen sich die Sollwerte von Temperatur und Feuchte gleichzeitig regeln, siehe Bild 8. Das ist durch die anderen Leistungsregelverfahren schwer möglich.



- 1 Verdichter
- 2 Verdampfer
- 3 elektronisches Expansionsventil
- 4 stetiges 3-Wege-Ventil
- 5 Kondensator (Reheat)
- 6 Druckwächter / -begrenzer
- 7 Sammler
- 8 Rückschlagventil
- 9 Regelung
- 10 Temperaturfühler
- 11 Feuchtefühler

Bild 8 Gleichzeitige Temperatur- und Feuchterege­lung durch erhöhten Aufwand an Regeltechnik

Diese Lösung erfordert einen erhöhten Aufwand an Regeltechnik und eine gute Abstimmung der Regelparameter. Die Gerätekosten betragen ein mehrfaches der einfachen Saugdrossel. Sie ist für eine reine Temperaturregelung zu teuer.

Leistungsregelung durch Heißgasbypass

Bei diesem Regelverfahren wird Kältemittel von der Druckseite zur Saugseite über entsprechende Regelorgane geleitet, um den Kältemitteldurchsatz am Verdampfer zu verringern und die Verdampfungstemperatur anzuheben.

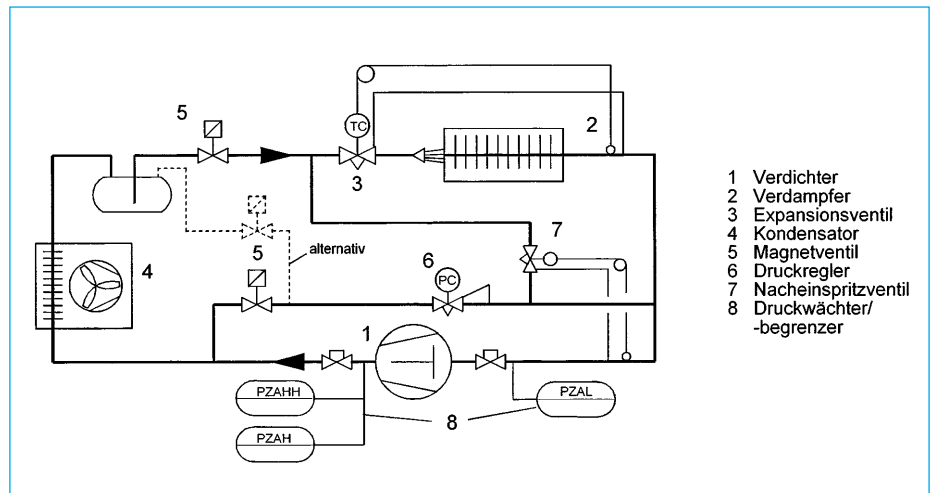
Allen Verfahren ist gemeinsam, daß die Leistungsaufnahme des Verdichters bei Leistungsregelung nicht absinkt. Der Verdichter arbeitet in allen Kälteleistungsbereichen unter Vollast. Trotzdem kommt der Gasbypass verbreitet zur Anwendung, weil er einfach zu handhaben ist.

Heißgasbypass um den Verdichter

Das Druckgas wird direkt hinter dem Verdichter abgenommen und über einen einstellbaren Druckregler, der vom Druck auf der Austrittsseite geregelt wird, in die Saugleitung geleitet, Bild 9. Da das Druckgas stark überhitzt ist, kommt man ohne ein Nacheinspritzventil zur Kühlung des Sauggases bei üblichen Klimageräten und normalen Klimabedingungen nicht aus, wenn man Kälteleistungen von 40 % und darunter erreichen will. Die Kälteleistung wird nur durch die Höhe des Saugdrucks und den Einstellwert des Druckreglers

Ist ein Flüssigkeitssammelbehälter vorhanden und ist die Anlage so gebaut, daß Flüssigkeitssammelbehälter und Saugleitung nahe beieinander liegen, kann Druckgas aus dem Gasraum verwendet werden (siehe Bild 9, alternativ). Die Temperatur dieses Gases ist annähernd gleich der Kondensatortemperatur und damit 40 bis 50 K niedriger als die Verdichtungsendtemperatur. Zusätzlich fällt die Gastemperatur durch die Entspannung. Man kann eine höhere Leistungsabsenkung erreichen, ohne daß flüssiges Kältemittel nachgespritzt werden muß. Für die Leistungsaufnahme des Verdichters ist es jedoch gleich, aus welchem Anlagenteil das Kältemittel zugeführt wird. Der Verdichter arbeitet immer unter Vollast. Entsprechend schlecht ist die Kälteleistungsziffer.

Nicht vergessen werden darf bei Kälteanlagen mit Abpumpschaltung ein Magnetventil, das beim Abpumpen den Bypass sperrt. Gibt es eine Nacheinspritzung, dann muß das flüssige Kältemittel nach dem Abpumpmagnetventil in der Flüssigkeitsleitung entnommen werden, oder es ist ein zweites Magnetventil in dieser Leitung vorzusehen. Über den Bypass kann ohne diese Maßnahme beim Abpumpen sonst Kältemittel ständig in die Saugleitung nachströmen und verhindern, daß der Saugdruck unter den Ausschaltwert am Druckwächter absinkt. Aus dem Verdampfer wird zwar alles flüssige Kältemittel entfernt, aber der Verdichter schaltet nicht selbsttätig ab.



- 1 Verdichter
- 2 Verdampfer
- 3 Expansionsventil
- 4 Kondensator
- 5 Magnetventil
- 6 Druckregler
- 7 Nacheinspritzventil
- 8 Druckwächter / -begrenzer

Bild 9 Heißgasbypaß um den Verdichter

Heißgaseinspeisung zwischen Expansionsventil und Verdampfer

Diese Leistungsregelungsart ist nur sinnvoll, wenn die Druckgasleitung vom Verdichter zum Kondensator in der Nähe des Expansionsventils geführt ist.

Heißgas wird, wie in Bild 10 zu sehen, in den Rohrabschnitt zwischen Expansionsventil und Verteilerspinne eingeleitet. Als Fitting für die Einbindung empfiehlt sich ein Heißgasmischer, der handelsüblich ist und eine gute Durchmischung von Zweiphasengemisch und Heißgas sichert.

diesem Fall muß das Expansionsventil voll schließen, weil die Überhitzung negativ ist. Der Verdampfer würde heizen statt zu kühlen. Selbstverständlich wird der Temperaturregler in diesem Fall den Vorgang rückgängig machen und Kälteleistung fordern, aber es kommt zu Regelschwankungen, die schlecht zu beherrschen sind.

Diese Gefahr kann abgewendet werden, wenn der Druckverlust in der Bypassleitung richtig, d. h. hoch genug ist. Besser ist es jedoch, einen einstellbaren Druckregler vor das Regelorgan zu positionieren, der vom Druck auf seiner Austrittsseite geregelt wird. Die gewünschte untere Leistungsgrenze kann

durch den eingestellten Druck festgelegt werden. Ist zusätzlich eine Kondensationsdruckregelung vorhanden, kann über die Höhe dieses Drucks die Bypassleistung sehr genau eingestellt werden.

Das bei dieser Regelungsart zum Verdichter strömende Sauggas hat maximal die Mediumtemperatur am Verdampfer. Der Verdampfungsdruck sinkt außerdem nicht ab, weshalb keine Gefahr zur Überschreitung der Einsatzgrenze des Verdichters vorliegt. Die Kälteleistungsziffer ist allerdings schlecht. Kälteleistungsregelung mit Gasbypass ist „Energievernichtung“.

Flächenabschaltung

Mit der Flächenabschaltung am Verdampfer ist auch eine Senkung der Kälteleistung möglich. Der Verdampfer muß dazu konstruktiv vorbereitet sein. Der Kältemittelmassenstrom wird nach dem Expansionsventil aufgeteilt, wobei ein oder mehrere Teile des Verdampfers über Magnetventile abgesperrt werden können. Die abgeschaltete Fläche passiert das zu kühlende Medium unterkühlt. Bei Flächenverkleinerung sinkt der Saugdruck und damit die Oberflächentemperatur am aktiven Verdampferteil. Die Kälteleistung sinkt aber durch das höhere DT zwischen Medien- und Verdampfungstemperatur nicht so stark, wie es der Abnahme an Fläche entsprechen würde. Die Energieeinsparung bei Flächenabschaltung ergibt sich wie bei der reinen Saugdrosselregelung aus der Verminderung des Kältemittelmassenstroms.

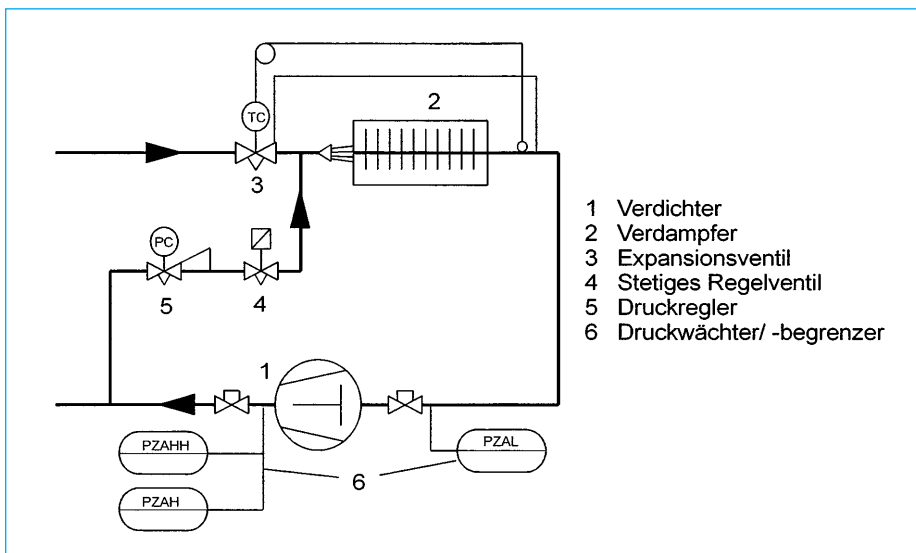


Bild 10 Leistungsregelung durch Heißgaseinspeisung zwischen Expansionsventil und Verdampfer

Als Regelorgane kommen getaktete oder stetig regelnde Magnetventile in Frage. Wegen der gleichbleibenden Sauggasgeschwindigkeit bereitet die Ölrückführung keine Schwierigkeiten.

Die Beigabe von Heißgas nach dem Expansionsventil birgt in sich aber eine Tücke. Das Expansionsventil sichert bekanntlich den Füllungsgrad des Verdampfers über die Regelung der am Expansionsventil eingestellten Überhitzung. Die Beigabe von Heißgas steigert die Überhitzung und das Expansionsventil wird versuchen, das auszuregeln. Es öffnet weiter. Gleichzeitig sinkt die Druckdifferenz am Expansionsventil, weil ja Heißgas mit hohem Druck zugeführt wurde. Der Hub des Ventilkegels wird abermals größer. Es kann bei zu groß dimensioniertem Bypass und besonders luftbeaufschlagtem Verdampfer geschehen, daß die Temperatur des Kältemittelgemisches im Verdampfer über der Lufteintrittstemperatur liegt und Kondensation im Verdampfer eintritt. In

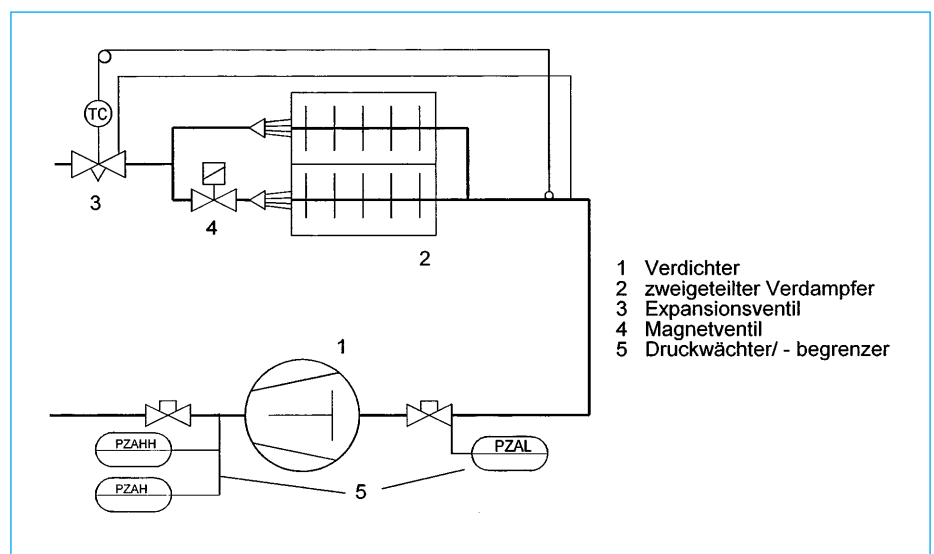


Bild 11 Leistungsregelung durch Flächenabschaltung am Verdampfer

Das Regelverhalten ist bei luftbeaufschlagten Verdampfern schlecht, weil die erzielbare Abkühlung der Luft auch von der relativen Feuchtigkeit abhängt. Darüber hinaus ist die Temperaturschichtung im Medium nach dem Verdampfer ein unerwünschter Effekt, der nur schwer wieder zu beheben ist.

Das eigentliche Anwendungsgebiet der Flächenabschaltung ist die geregelte Entfeuchtung der Luft bei luftbeaufschlagten Verdampfern. Ohne diese Maßnahme ist durch die höhere Verdampfungstemperatur eine Unterschreitung des Taupunktes an der Verdampferoberfläche und damit

die Ausscheidung von Tauwasser nicht immer möglich. Meist wird die Flächenabschaltung in Verbindung mit einer Nachheizung über einen im Luftstrom nachgeschalteten Kondensator (Reheat, Schaltung siehe Bild 8) eingesetzt. □

Literatur

[1] W. Linck, M. Giebe „Bestimmung von Kältemittelfüllmenge und Sammlergröße für Kälteanlagen“, Die Kälte & Klimatechnik, Heft 11, 52. Jahrgang, November 1999, Gentner Verlag Stuttgart und „BIV Edition Technologie“, Ausgabe Mai 99, Bundesinnungsverband des Deutschen Kälteanlagenbauerhandwerks

- [2] DMW Copeland, Technische Mitteilung 87-02-06
 [3] Magnetventil, Typ WAC, Fa. Offenwanger, 75248 Ölbronn-Dürren
 [4] Hegglin, Andreas „Elektronische Regelung in der Klimakälte“, Ki Luft- und Kältetechnik 9/1994
 [5] Breidenbach, Karl „Der Kälteanlagenbauer“, Bd. 2, 3. Auflage 1990, Verlag C. F. Müller, Karlsruhe
 [6] „Handbuch Verdichter“, Vulkan Verlag Essen, 1. Ausgabe
 [7] I. V. Morosov „Kältetechnische Komponenten unter den Bedingungen veränderlicher Leistung“, Cholodilnaja Technika 9/1988, Moskau
 [8] Timoschin, V. A. „Frequenzregelung der Verdichterkälteleistung“, Cholodilnaja Technika 6/1990, Moskau
 [9] Trauer, Michael „DORIN-Verdichter – Der Dreh mit der Drehzahl“, DIE KÄLTE und Klimatechnik 4/97
 [10] Frigotechnik Handels GmbH
 [11] Iselt, Peter/Arndt, Ulrich „Die andere Kältetechnik“, C. F. Müller Verlag, Heidelberg, 1. Auflage 1999