

Kältemittelverdichter – Einsatzgrenzen und Schutzeinrichtungen

Richtige Verdichterüberwachung sichert Zuverlässigkeit

Ulrich Adolph, Leipzig, und Marc Woerner, Forchtenberg

Ein wichtiges Kriterium für den zuverlässigen Betrieb von Kälte- und Klimaanlageanlagen ist die Überwachung der Einsatzgrenzen von Kältemittelverdichtern und Anlagen. Digitale Schutzeinrichtungen übernehmen teilweise schon jetzt und zukünftig verstärkt diese wichtige Aufgabe. Temperaturen, Drücke, Laufzeiten und Schalthäufigkeiten sind hier die bestimmenden Faktoren. Es gilt, unnötige Stillstandszeiten zu reduzieren und Verdichterschäden zu verhindern. Umwelteinflüsse (z. B. Elektromog) müssen ebenso berücksichtigt werden wie die Instabilität von Versorgungsnetzen. Die technischen Möglichkeiten sind gegeben.

Wichtigster Ansatz für neue, wirkungsvollere Schutzsysteme ist die Verknüpfung vorhandener Sensorik mit geeigneter Software unter Einbezug von kältetechnischem Know-how.

Diese Anforderungen führten schon in den vergangenen Jahren zu einer Reihe bedeutender Weiterentwicklungen neuer, digitaler Schutzgeräte, die die Sicherheit, Zuverlässigkeit und die Verfügbarkeit von Kälteanlagen weiter optimieren.

Zuverlässigkeitsfragen bei Kältemittelverdichtern

Kältemittelverdichter sind in den unterschiedlichsten Kälte- und Klimaanlageanlagen vielfältigen Belastungen ausgesetzt. Diese Belastungen sind schon bei der Anlagenplanung möglichst umfassend zu definieren, damit der wirklich geeignete Verdichter ausgewählt werden kann. Bei dieser Auswahl sind neben Kälteleistung, Kältemittel sowie Verdampfungs- und Verflüssigungsdruck die zulässigen Einsatzgrenzen von besonderer Bedeutung.

Die vom Hersteller ermittelten und dokumentierten Einsatzgrenzen für den jeweiligen Verdichter sind vom Anwender einzuhalten, damit der Verdichter die erwartete Zuverlässigkeit erreicht. Man kann davon ausgehen, dass die meisten Verdichter von hervorragender Qualität sind und damit die Gewähr für lange Gebrauchsdauer bieten. Trotzdem kommt es immer wieder zu unerklärlichen Verdichterschä-

den, die vorrangig natürlich in der Garantiezeit zunächst von den Verdichterherstellern aus Kulanz anerkannt werden. Bei gründlicher Analyse stellt sich aber oft heraus, dass der Verdichter außerhalb der zulässigen Einsatzgrenzen eines oder mehrerer Grenzparameter betrieben worden ist.

Typisch für diesen Fall sind alle Arten von Lager- und Triebwerksschäden, die auf anlagenbedingte Ölprobleme zurückzuführen sind. Bild 1 zeigt ein gefressenes Lager infolge Viskositätsabsenkung unter die zulässige Grenze. Oft tritt als Folgeschaden die totale Zerstörung des Kurbelgehäuses ein, s. Bild 2.

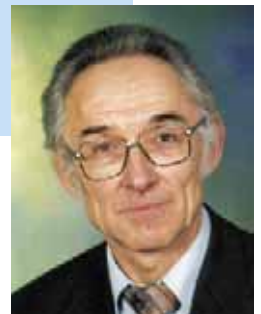
Ähnlich dramatisch stellen sich Motorausfälle dar. Entweder treten diese als Folgeschaden nach festgefressenen Lagern auf, oder sie sind durch zu hohe Motortemperatur verursacht.

Diese Beispiele lassen sich durch Ventilschäden von Kolbenverdichtern, gefressenen Rotoren von Schraubenverdichtern, zerstörten Zylinderkopfdichtungen u.v.a.m. fortsetzen. In der Fachliteratur wird immer wieder über derartige Probleme berichtet, z. B. von Petz [1].

Zur Vermeidung dieser typischen Verdichter- und Komponentenschäden gibt es unterschiedlichste Schutzeinrichtungen, die alle in einer „Sicherheitskette“ eingebunden sind, wie z. B. der Wicklungsschutz. Je nach anlagenbedingtem Ausmaß einer Störung wird die gesamte Anlage abgeschaltet oder nur ein Fehler signal-

zu den Autoren

Dr.-Ing. Ulrich Adolph,
Berater Kälte- und
Klimatechnik,
Leipzig



Dipl.-Ing. Dipl.-Kfm. Marc Woerner,
Leiter Geschäftsbereich Schutz-
und Steuerungstechnik, KRIWAN
Industrie-Elektronik
GmbH,
Forchtenberg



siert. Ein Wiederschalten ist nach dem Wegfall der Störung von selbst oder erst nach Betätigen eines „Resettasters“ bzw. durch Unterbrechen der Versorgungsspannung möglich.

Eine weitere Aufgabe von Schutzeinrichtungen ist die Überwachung der Druckstutzen- und Öltemperatur, des Ölvorrats und des Öldrucks. Bereits bei der Projektierung der Gesamtanlage, für die unterschiedlichen Anwendungen in der Kältetechnik und im Klimabereich, ist die Planung der Schutzsysteme zu berücksichtigen.

Um die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Kälte- und Klimaanlageanlagen weiter zu erhöhen, müssen Schutzsysteme sicher, selektiv und schnell reagieren, wobei diese Reihenfolge einzuhalten ist.

[1] Petz, M.: Typische Verdichter- und Komponentenschäden, Vortrag 4. KK-Fachtagung, 2. März 2004, Bingen

In vielen Fällen muss man als Ausfallursache die Überschreitung der zulässigen Einsatzgrenzen der Verdichter konstatieren. Natürlich sind einerseits ein wesentlicher Teil der Einsatzgrenzen durch Überwachungstechnik so abgesichert, dass sie eigentlich nicht überschritten werden können. Andererseits muss man aber feststellen, dass der Absicherung Grenzen gesetzt sind, weil viele Verdichterparameter voneinander so abhängig sind, dass eine eindeutige Festlegung auf einen Schalterpunkt für alle Einsatzbereiche kaum möglich ist. Insbesondere der Betrieb bei Teilbelastung führt oft zu Verschiebungen von Grenzen, die dann nicht mehr durch die Parameter der Schutzsysteme abgesichert sind. Man benötigt dafür mit den Lastzuständen veränderliche Schutzparameter, die aber bisher von den Verdichterherstellern nur in Ausnahmefällen bereitgestellt werden, neuerdings z. B. bei den Bitzer-Octagonverdichtern für Zylinderabschaltung.

Neben den rein anlagenbedingten Zustandsüberwachungen zeichnet sich eine wesentliche Störquelle in den außerhalb der Anlagen liegenden Umweltbedingungen ab, die die Zuverlässigkeit der Verdichter reduzieren können und die in Zukunft mehr betrachtet werden müssen.

Die Qualität der elektrischen Versorgungsnetze vor Ort und mit ihr die Spannungsqualität, die bisher als durchaus stabil und zuverlässig galten, entsprechen vor allem bei Antrieb mittels Frequenzumrichter nicht mehr dem Standard. Der Rückgang der Netzstabilität und vor allem der vermehrte Einsatz von modernen, statischen und dynamischen Frequenzumformern haben zu einer erhöhten elektrischen Verschmutzung der Versorgungsnetze geführt. In vielen Fällen liegt diese Verschmutzung um ein Vielfaches über den vom Gesetzgeber bzw. von den Versorgungsunternehmen selbst vorgegebenen Grenzen.

Hierin lassen sich zwei wesentliche Fehlerursachen konstatieren, die in der Praxis auftreten. Zum einen kommt es häufig zu ungewollten Abschaltungen der Schutztechnik, denn die Schutztechnik ist noch nicht in jedem Fall den enormen EMV-Belastungen gewachsen. Zum anderen kann es durch diese Netzstörungen zu einem Nicht-Wirken der Schutztechnik kommen. Das ist eine Herausforderung für weitere Entwicklungen auf diesem Gebiet.

Die Einsatzgrenzen von Kältemittelverdichtern

Im Folgenden sollen die Einsatzgrenzen, die Möglichkeiten und Grenzen des Schutzes gegen ihre Überschreitung dargestellt werden.

Im Bild 4 ist ein Einsatzgrenzendigramm in allgemeiner Darstellung gezeigt. Abhängig von der Verdampfungstemperatur t_o und der Verflüssigungstemperatur t ist der gedachte Verdichter für ein bestimmtes Kältemittel innerhalb des ausgezogenen Linienzuges anwendbar. Dabei sind die einzelnen Abschnitte des Linienzuges bedingt durch folgende Parameter:

Die **Linie $t_o = t$** ist die triviale Grenze, oberhalb der im Allgemeinen überhaupt erst ein Kühlprozess mit einem Verdichter sinnvoll ist.

Die **Linie 1** stellt die **Fördergrenze** für das maximale Druckverhältnis dar. Es ist die $t-t_o$ - bzw. $p-p_o$ -Kombination, bei der der Ausnutzungsgrad gleich null wird, d.h. bei der der Verdichter nichts mehr fördert. Meist wird nicht die Nullgrenze 1a dokumentiert, sondern eine Grenze, bei der der Verdichter noch wirtschaftlich einsetzbar ist, z. B. bei der der Ausnutzungsgrad größer als 0,3 ist, Grenze 1b. Unterhalb eines solchen Grenzwertes ist dann meist die Anwendung eines zweistufigen Verdichters, die Anwendung von zwei Verdichtern in zweistufiger Schaltung oder eine Kaskadenschaltung zweckmäßig. Oft ist diese Grenze praktisch nicht relevant, da sie von den Temperaturgrenzen 2 und 3 überdeckt wird.

Die Druckstutzen- und die Öltemperaturgrenzen

Mehr Beachtung verdienen dagegen die Temperaturgrenzen.

Die **Linie 2** beschreibt die höchste zulässige **Verdichtungstemperatur**, die einerseits von den für Öl und Kältemittel zulässigen Temperaturbeanspruchungen, andererseits von den durch diese Temperatur beeinflussten Bauteilen des Verdichters abhängig ist. Die Ursache für die Verdichtungsendtemperatur ist vorrangig das Druckverhältnis in Verbindung mit den thermodynamischen Eigenschaften des jeweiligen Kältemittels sowie der an das Kältemittel bei der Verdichtung übertragene Verlustleistungsanteil des Verdichters. Je nach Messort werden von den verschie-



Bild 1 Ausgefallene Lager und Pleuellager eines Kältemittelverdichters



Bild 2 Zerstörtes Triebwerk und Pleuellagergehäuse eines Verdichters nach vorausgegangenem Lagerschaden



Bild 3 Durchgebrannter Wickelkopf eines Einbaumotors

denen Herstellern Grenzwerte zwischen 130 °C (gemessen am Druckrohr nach dem Druckabsperrenteil) und 180 °C (gemessen unmittelbar über dem Druckventil im Inneren des Zylinderkopfes) festgelegt. Es werden in Einzelfällen auch höhere Werte zugelassen, wenn die Bauteile durch Zusatzkühlung auf einem niedrigen Temperaturniveau gehalten werden können oder wenn der Massestrom des Kältemittels bei Betrieb in der Nähe der Grenze 1 so gering ist, dass die Aufheizung der kritischen Bauteile die zulässigen Werte nicht übersteigt.

Allerdings kann die Zusatzkühlung auch zu einer Täuschung über das Temperaturniveau im Inneren des Verdichters führen, wenn die Kühlung nicht ausreichend „tief“ in den Verdichter hineinwirkt.

Andererseits wird bei abnehmendem Massestrom der Einfluss der Verlustleistung von Triebwerk und Einbaumotor auf die Verdichtungsendtemperatur größer, so dass diese Temperatur im Teillastbetrieb durchaus auch zunehmen kann. Zu den kritischen Bauteilen zählen

- das Druckventil, das durch verkokendes Öl in seiner Funktion gehemmt und in der Lebensdauer eingeschränkt werden kann,
- die Kolben-Zylinderlaufbuchsen-Paarung bei Leichtmetallkolben im Graugusszylinder, die durch Spielverkleinerung mit steigender Temperatur bis zum Kolbenklemmen führen kann,
- das Aluminiumpleuel, das durch zu stark vergrößertes Lagerspiel in Verbindung mit abnehmender Ölviskosität seine Tragfähigkeit verlieren kann, was zum Verschleiß führt.

Die **Linie 3** wird durch die **zulässige Öltemperatur** bestimmt. Normalerweise liegen die Grenzwerte zwischen 70 °C und 90 °C, bei einigen Hermetikverdichtertypen mit thermisch besonders belastbaren Spezialölen auch darüber. Die Grenztemperatur wird bei guten Ölen allerdings kaum durch die thermische Stabilität des Öles bestimmt, sondern vorwiegend durch die für die Schmierung der Lager erforderliche Mindestviskosität, die im Bereich von 6 bis 8 cSt liegt [2].

Die Verdichtungsend- und die Öltemperatur lassen sich durch Sicherheitsschaltungen von Temperatursensor und Schaltgerät überwachen. Man kann die Überschreitung der Werte verhindern, indem das Temperatursignal in die Sicherheitskette eingebunden wird. Temperatursensoren stehen beispielsweise in 5-10K-Stufungen dafür zur Verfügung.

Der Ölvorrat und der Öldruck

Die Öltemperatur ist bezüglich der gesamten Ölüberwachung aber nur ein Teil des Problems. Das Öl bedarf weiterer Aufmerksamkeit über die in den Einsatzgrenzen nach Bild 4 zum Ausdruck kommenden Temperaturwerten hinaus. Das sind die beiden Punkte:

- ausreichender Ölvorrat, und
- ausreichender Öldruck.

Konventionell werden diese beiden Zustände mit elektromechanischen oder elektronischen Öldruckschaltern überwacht, die den Öldruck als Differenz zum Saugdruck erfassen. Die neueste Lösung für diese Aufgabe stellt der Dp-Sensor der Fa. KRIWAN dar, der in das Pumpengehäuse eingeschraubt wird und die notwendige Elektronik für die Einbindung in die Sicherheitskette des Verdichterantriebes integriert hat. Durch interne Kanäle ist der Schalter mit dem Saug- und Hochdruck der Pumpe verbunden. Kapillaranschlüsse entfallen. Der elektrische Teil des Schalters kann ausgebaut werden, ohne dass der Kältekreislauf geöffnet wird.

Falls es sich um druckölgeschmierte Verdichter handelt, bedeutet in den meisten Fällen vorhandener Öldruck auch vorhandenes Öl. Dann ist dieser Schutz sicher. Leider gibt es aber auch Druckzustände, insbesondere bei in das Öl bzw. unter das Öl kondensiertem Kältemittel während der Stillstandsphase der Verdichter, in denen ausreichender Druck detektiert wird, dieser Druck aber durch gefördertes flüssiges Kältemittel entsteht. Dann ist der Sollwert des Druckes zwar eingehalten, aber das flüssige Kältemittel mit seiner geringen Viskosität und der guten Auswaschwirkung gegenüber dem Restöl im Lager kann zum Lagerschaden im Zeitraum von wenigen Sekunden nach dem Start führen.

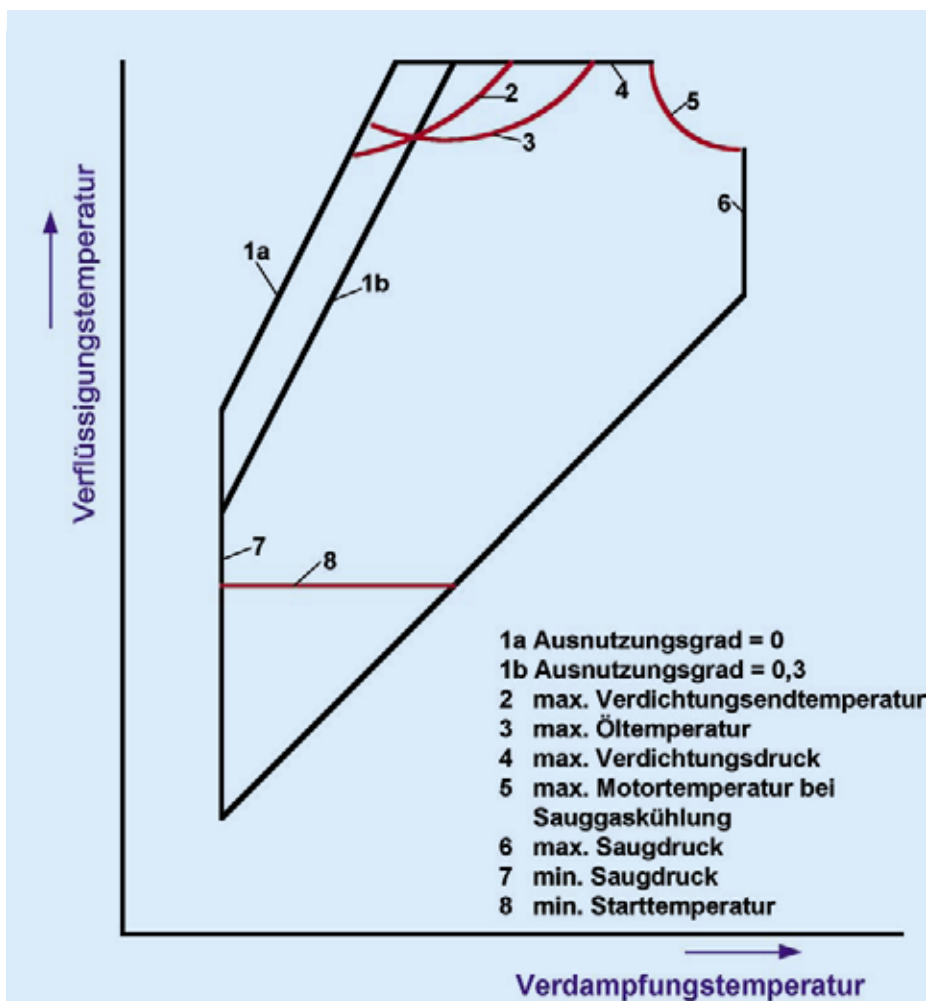


Bild 4 Einsatzgrenzendiagramm eines Verdichters in allgemeiner Form

[2] Adolph, U.: Bedingungen für einen langlebigen Verdichterbetrieb, KK Die Kälte & Klimatechnik, 11/99, S. 36-47



Bild 5 Differenzdrucksensor für den Öldruck von KRIWAN

Technisch wird diesem Problem anlagenseitig mit Ölheizung oder Abpumpschaltung weitgehend begegnet, aber es gibt auch Fälle, ohne die Möglichkeit dieser Schutzmaßnahmen. Das kann bei mobilen Kälte- und Klimaanlage der Fall sein, ebenso bei saisonal genutzten Anlagen mit langen spannungsfreien Betriebspausen.[3]

Für Verdichter ohne Druckölschmierung, das sind die meisten Hermetikverdichter und ein zunehmender Anteil von Halbhermetik- und offenen Verdichtern, scheidet die Öldrucküberwachung zur Feststellung von ausreichendem Ölstand aus[4]. Bisher waren diese Verdichter weitgehend ungeschützt. Nun gibt es einen optischen Sensor und eine Variante mit Widerstandssensor, der diesem Mangel abhilft. Die Firma KRIWAN ist auch hier neue Wege gegangen.

Dabei dient ein Einschraubteil mit Glaskegel zur optischen Niveaubtastung, sowie ein aufgeschraubtes, elektronisches Auswerteteil zur Signalverarbeitung. Das Einschraubteil wird fest im Flüssigkeitsbehälter eingebaut. Das Auswerteteil kann abgenommen werden ohne den Behälter zu öffnen. Über einen potenzialfreien Wechslerkontakt kann je nach Geräteversion der Niveaustand (genug/zu wenig) direkt oder verzögert gemeldet werden. Eine eingebaute LED zeigt den Niveaustand unverzögert an. Die gleichen Funktionen realisiert der Widerstandssensor. Da dieser Ölschutz umfassender ist als die Öldrucküberwachung, weil die zulässige Öltemperatur mit überwacht wird, kann er auch vorteilhaft für Anwendungen eingesetzt werden, die bisher mit Druckschaltern überwacht wurden.

Damit hat man für Öltemperatur, Öldruck und Ölstand zuverlässig arbeitende Sensorik zur Verfügung, es bleibt lediglich die Meldung der ausreichenden Ölviskosität offen. Es bleibt zu hoffen, dass der optische Ölstandssensor oder ein anderes System das Entwicklungspotenzial bieten, zukünftig auch diese Aufgabe zu lösen.

Eine weitere auf das Öl bezogene Einsatzgrenze setzende Betriebsweise ist der Antrieb des Verdichters mittels Frequenzumformer. Mit geringer werdender Drehzahl nimmt die Ölförderung ab, bei Zentrifugalschmierung auch die Förderhöhe, bis die unterste mögliche Drehzahl erreicht wird, bei der gerade noch die Lager ausreichend versorgt werden.

Die **Startgrenze 8** gibt an, bei welcher minimalen Umgebungstemperatur der Verdichter noch gestartet werden darf. Sie wird von der Förderfähigkeit des Öles, die mit sinkender Temperatur abnimmt, sowie von den zulässigen Kleinstspielen bei Werkstoffpaarungen unterschiedlicher Wärmedehnung bestimmt.

Die Motortemperaturgrenze

Die **Grenze 5** im Einsatzgrenzen-Diagramm wird durch die maximal **zulässige Motortemperatur** bestimmt. Sie trifft für halbhermetische und hermetische Verdichter zu, bei denen der Motor integrierter Bestandteil des Verdichters ist. Je nach Isolationsystem liegen die zulässigen Werte zwischen 90 °C und 120 °C, wobei dieser Wert wesentlich von chemisch-thermischen Reaktionsverhalten des Kältemittels, des Kältemaschinenöles und der Qualität der Isolierstoffe abhängt. Während bei sauggasgekühlten Verdichtern, wie sie meist bei Verdampfungstemperaturen über -10 °C und damit bei Klimaanwendungen immer und im Normalkühlbereich teilweise eingesetzt werden, die Motortemperaturgrenze im Allgemeinen nicht relevant ist, tritt sie bei nicht sauggasgekühlten (auch fremd- oder außengekühlt genannt) Motoren im Normalkühl- und vor allem im Klimaeinsatz oft einschränkend in Erscheinung [5].

Druckbedingte Grenzen

Die zur Abszisse parallele **Belastungsgrenze 4** wird durch den der zulässigen Verflüssigungstemperatur entsprechenden



Bild 6 Optischer Sensor für die Ölstandsüberwachung in Kältemittelverdichtern von KRIWAN

Verflüssigungsdruck bestimmt, der vom Verdichter aus Festigkeitsgründen auf der Hochdruckseite noch ertragen wird. Bei den meisten Verdichterbauarten sind das 23 bis 25 bar Überdruck, was bisher für das Kältemittel R22 bzw. R407C bei luftgekühlten Anlagen gerade ausreichend war und bei R134a nicht ausgeschöpft wird. Beim Kältemittel R410A müssen die Verdichterhersteller den Wert für Einsatzfälle mit luftgekühlter Verflüssigung bis auf 40 bar anheben. Die nicht vom Hochdruck belasteten Verdichterteile, wie der Saugraum des Kurbelgehäuses, werden im Allgemeinen für den niedriger liegenden höchstmöglichen Ausgleichsdruck im Stillstand ausgelegt. Es gibt aber auch Konstruktionen, bei denen alle Gehäuseteile den Bedingungen des maximalen Hochdrucks entsprechen. Im Bereich der Grenzen 2, 3 und 4 ist auch die durch die maximal zulässige Druckdifferenz zwischen Saugdruck und Verdichtungsenddruck bedingte Grenze angesiedelt. Sie ergibt sich aus der Festigkeits- und Belastungsauslegung für das Triebwerk, da sich aus diesem Wert die maximale Kolbenkraft berechnet, die für die Kräfte auf die Triebwerksbauteile, wie Kolben, Kolbenbolzen, Pleuel, Kurbelwelle, Lager und für das Drehmoment verantwortlich ist. In Verbindung mit der niedrigsten Ölviskosität verbirgt sich dahinter auch die Grenze, bis zu der die Lager aus der Sicht des Verschleißes belastbar sind.

Die **Grenze 6** für den höchsten zulässigen Saugdruck ergibt sich aus den von den Saugventilen ertragenen Massestrom des angesaugten Kältemittels und aus dem verfügbaren Motordrehmoment.

[3] Adolph, U.: Zuverlässigkeitssteigerung für mobile Kälte- und Klimaanlage, KK Die Kälte & Klimatechnik, 12/2003, S. 36-42

[4] Sandkötter, W.: Ein verbessertes Zentrifugal-Schmiersystem für Kältemittelverdichter, KK Die Kälte & Klimatechnik, 9/2004, S. 58-63

[5] Über die motorbedingten Einsatzgrenzen- und Schutzprobleme wird in einem zweiten Beitrag im nächsten Heft ausführlicher berichtet werden.

Die **Saugdruckgrenze 7** für die minimale Verdampfungstemperatur spielt nur für ausgesprochene Tieftemperaturverdichter eine Rolle. Sie ist durch konstruktive Bedingungen des eingesetzten Verdichters verursacht, z. B. durch das Saugvermögen einer Ölpumpe, durch den Einsatzbereich der Saugventilbefederung oder die Unterdruckfestigkeit der Gleitringdichtung bei offenen Verdichtern. Im Allgemeinen soll der Saugdruck in einem Kältekreislauf durch entsprechende Wahl des Kältemittels den Umgebungsdruck nicht unterschreiten, um bei Undichtheiten auf der Saugseite das Eindringen von Luft zu verhindern. In der Regel muss nur beim Kältemittel Ammoniak bei Tieftemperaturanwendung dagegen verstoßen werden.

Einsatzgrenzenüberwachung

Ein vorgegebener Einsatzbereich entsprechend der Darstellung nach Bild 4 für einen Mehrzylinderverdichter mit Leistungsregelung gilt nicht in gleicher Weise für Voll- und Teillastbetrieb. Für jeden Teillastzustand gilt ein neues und meist eingeschränktes Diagramm, dessen Grenzparameter umso weiter zusammenrücken, je geringer der Kältemittelmassenstrom ist. Die Ursache dafür liegt hauptsächlich im steigenden Temperaturniveau des Verdichters, ausgedrückt in Druckgas-, Öl- und Bauteiltemperaturen, da mit sinkendem Massenstrom der Anteil der Verlustenergie des Verdichters je Masseinheit verhältnismäßig immer größer wird. Ähnliche Gesichtspunkte sind bei

drehzahlstellbaren Antrieben zu beachten, die durch die Anwendung von elektronischen Frequenzwandlern zwar die Leistungsanpassung mit geringen Verlusten ermöglichen, bei denen jedoch innere Undichten und verfügbares Drehmoment mit sinkender Drehzahl zu Einschränkungen führen können.

Die von den Verdichterherstellern vorgegebenen Einsatzgrenzen beziehen sich in der Regel auf den Volllastpunkt bei vorgegebenen äußeren Randbedingungen. Erst in letzter Zeit gibt es die ersten Teillasteinsatzgrenzen für die schiebergeregelten Schraubenverdichter der Fa. Bitzer, s. Bild 9. Die unterbrochenen Linienzüge für 75, 50 und 25% Leistung machen die Einschränkungen sehr deutlich.

Auch für die Vierzylinder-Octagonverdichter von Bitzer gibt es in den Technischen Informationen Teillasteinsatzgrenzen für Zylinderabschaltung auf 50%.

In diesem Beispieldiagramm ist die Einschränkung für die Abschaltung einer Zylinderreihe im linken Bereich wirksam. Das ist der Bereich der Temperaturgrenzen. Der eingezeichnete Betriebspunkt einer Klimaanlage bei +5/+55 °C ist davon nicht betroffen. Wollte man den Verdichter für -15/+55 °C verwenden, wäre er unbelüftet lediglich gerade noch bei 100%-Betrieb einsetzbar, belüftet auch bei 50%. Für die unbelüftete Ausführung wäre bei 50% schon bei -7 °C die Grenze erreicht.

Die Berücksichtigung der die Einsatzgrenzen wesentlich beeinflussenden Kältemittel ist dagegen bei den meisten Herstellern von Verdichtern dadurch gegeben, dass jeder Verdichter für die vorgesehenen Kältemittel jeweils ein eigenes Einsatzgrenzendiagramm erhält und ggf. eine eigene Technische Dokumentation mitbekommt.

Projektant und Betreiber von Verdichtern in Kälte- und Klimaanlageanlagen nehmen mit der Einhaltung der vom Hersteller vorgegebenen Einsatzbereiche wesentlichen Einfluss auf Zuverlässigkeit und Lebensdauer der Verdichter und Anlagen.

Die begrenzenden Parameter sollten überwacht werden. Im Markt gibt es hierzu bereits schon einige Geräte, die die besprochenen Parameter unter Nutzung der beschriebenen Sensortechnik überwachen. Da derartige Geräte Kosten verursachen und nicht zum Nulltarif zu haben sind, erfolgt ihr Einsatz vorrangig und noch zögerlich vor allem bei den größeren Verdichtern. Diese Zurückhaltung ist in vielen Fällen nur eine temporäre Einsparung. Oft wird dann bei einem nicht verhinderten Schaden viel draufgezahlt.

Bezüglich der Entwicklung von Überwachungsgeräten mit eingepflegten Einsatzgrenzen für die möglichen Teillast-Betriebszustände besteht noch Entwicklungsbedarf. Der heutige Stand der Sensor- und Informationstechnik würde eine perfekte Überwachung und Diagnose erlauben. Dafür müssen aber die Anwender vor allem größerer Anlagen noch gewonnen werden. ■

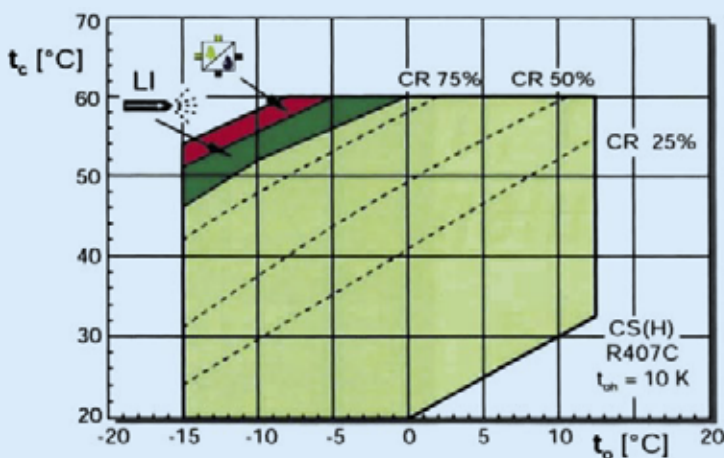


Bild 7 Einsatzgrenzendiagramm eines Schraubenverdichters mit Schieberregelung (Bitzer)

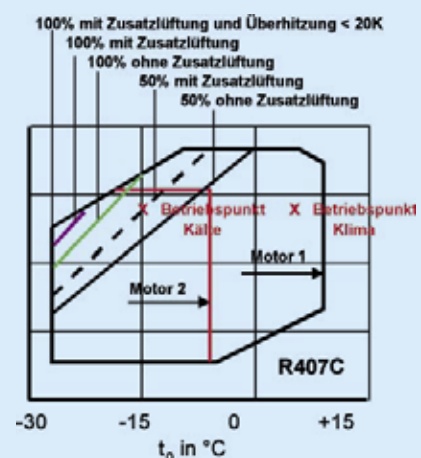


Bild 8 Einsatzgrenzenvergleich für Zylinderabschaltung bei Octagonverdichtern (Bitzer)