

Neue Produkte

Ein Diagnosesystem zur Früherkennung von Kältemittelverlusten

Max Karsch und Bernd Zeitvogel, Karlsruhe

Die Umweltbelastung durch unkontrolliert aus Kälte- und Klimaanlage austretendes Kältemittel bleibt ein bedauerlicher Fakt, solange es nicht gelingt, über die gesamte Lebensdauer der Anlagen ihre Dichtheit nach dem Stand der Technik zu gewährleisten. Es kommt in allen diesen Fällen darauf an, die Undichtigkeit zu einem möglichst frühen Zeitpunkt zu erkennen, um sie zu beseitigen. Ein neuartiges Diagnosesystem, das im TWK getestet wurde, ist ein Beitrag dazu.

Beschreibung des Systems

Üblicherweise erkennt man die Lecks an einer Kälteanlage durch das Absinken des Saugdruckes unter den normalen Wert. Das wird signalisiert durch den Saugdruckwächter, falls nicht schon vorher ein Signal von der Leistungssteuerung kommt, weil der Kältebedarf nicht mehr gedeckt werden kann. Diese Überwachung spricht gewöhnlich erst an, wenn schon das meiste Kältemittel unkontrolliert entwichen ist.

In größeren Anlagen und vor allem in Anlagen mit giftigen oder brennbaren Kältemitteln müssen Lecks durch Kältemitteldetektoren erkannt werden, um Schäden vorbeugend zu vermeiden. Dieses Verfahren erfordert eine definierte

Raumluftsituation, so daß es nur in Maschinenräumen und nur dann angewendet wird, wenn es die gesetzlichen Vorschriften erfordern.

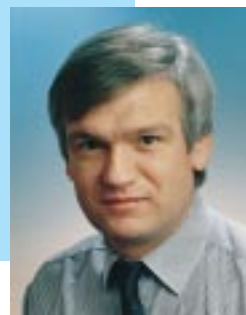
Bei der Suche nach einem Verfahren, das möglichst früh anspricht und möglichst einfach zu handhaben ist, wurde von der Überlegung ausgegangen, daß bei eintretendem Kältemittelmangel in einer Anlage zunächst nur geringe Änderungen der Sauggasttemperatur und des Sauggasdruckes auftreten, die durch die normale Überwachung noch nicht als fehlerhaft erkannt werden und erst recht noch nicht zum Ansprechen des Saugdruckwächters führen. Dafür wurde als geeigneter Ausgangswert die Differenz der auf Sollwerte bezogenen Änderungen dieser beiden Größen Sauggasttemperatur und Saugdruck als Signalwert erkannt, weil dieser Wert bei eintretendem Kältemittelmangel schnell zu großen Änderungen führt.

Dazu messen Druck- und Temperatursensoren kontinuierlich den Betriebszustand des Kältemittels am Verdichtereintritt. Druck und Temperatur werden in relative Größen umgewandelt und daraus der relative Sauggaszustand in % gebildet. Dieser Istwert wird mit einem, auf die jeweilige Kälteanlage bezogenen Sollwert, verglichen. Bei Störungen im Kreislauf ändert sich der relative Sauggaszustand mit der Zeit und eine Alarmmeldung kann frühzeitig ausgegeben werden.

Ein Beispiel soll dies deutlich machen: Bei einer intakten Kälteanlage beträgt der Verdampfungsdruck $p_o = 6$ bar und die Sauggasttemperatur $t_{o2h} = 12$ °C. Bei einem Meßbereich des Sensors von 10 bar beträgt dann die Relativgröße des Druckes 60 % und bei einem Temperaturbereich von 100°C die Relativgröße für die Sauggasttemperatur 12 %. Die Sollwertdifferenz Δx_s der Relativgrößen beträgt dann $60 \% - 12 \% = 48 \%$. Dieser Sollwert soll als Referenz zur Erkennung von Lecks dienen. Ändert sich z. B. der Druck um 0,1 bar und die Temperatur um 1 °C, dann wird der Wert nur noch 46 %. Diese Abweichung

zu den Autoren

Dipl.-Ing. Max Karsch,
Geschäftsführer
des Test- und
Weiterbildungszentrums
Wärmepumpen und
Kältetechnik,
Karlsruhe



Dipl.-Ing. Bernd Zeitvogel,
Ingenieur am
Test- und Weiterbildungszentrum
Wärmepumpen und
Kältetechnik,
Karlsruhe



kann ein elektronisches Überwachungsgerät erkennen und auswerten. Bei kleineren Werten für die Bezugsgrößen wird die Empfindlichkeit entsprechend größer.

Natürlich müssen normale Betriebszustandsänderungen davon ausgeschlossen bleiben, damit sie nicht zum Abschalten führen. Das läßt sich mit einem Zeitverzögerungsglied lösen. Der Betriebszustand wird durch eine grüne LED angezeigt. Wenn eine anlagenspezifische Zeitkonstante (muß für jede Anlage ermittelt werden) abgelaufen ist, und sich der Istwert dem Sollwert noch nicht angeglichen hat,

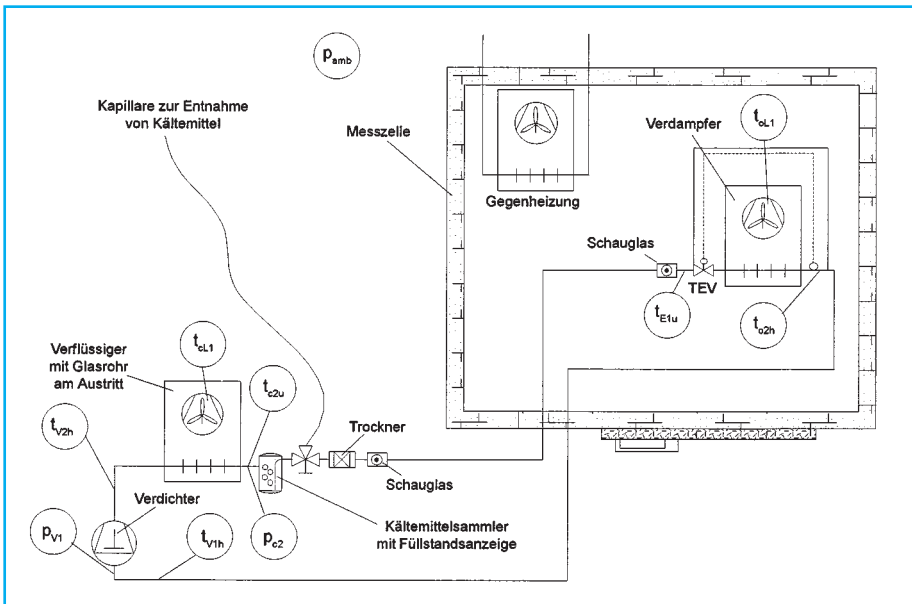


Bild 1 Funktions- und Meßschema der Versuchsanlage

wird dies zunächst mit einer blinkenden LED angezeigt. Eine weitere Schaltstufe ermöglicht dem Anlagenbetreiber nach einem weiteren, frei wählbaren Zeitintervall, die gesamte Anlage außer Betrieb zu setzen.

Die Konfiguration eines solchen Lecksuchsystems ist in [1] beschrieben. Im TWK stand die Aufgabe, seine Funktion zu überprüfen und die Grenzen seiner sinnvollen Nutzung zu bewerten.

Versuchsdurchführung

An einer Kälteanlage nach Bild 1 mit hermetischem Verdichter, Flüssigkeitssammler, luftbeaufschlagtem Verdampfer und Verflüssiger wurde nach Inbetriebnahme die optimale Kältemittelfüllmenge bestimmt und nach Erreichen eines Nennbetriebszustandes eine kleine Kältemittelleckage simuliert.

Abschließend wurden noch praxisnahe Last- und Betriebszustandsänderungen eingestellt, um das zeitliche Alarmverhalten des Frühwarn-Diagnosegerätes zu untersuchen.

Das zu untersuchende Frühwarn-Diagnosegerät wurde mit Temperaturfühler und Druckaufnehmer am Kreislauf (Verdichtereintritt) angeschlossen.

Der ausgelöste Alarm wurde optisch und akustisch ausgegeben.

Füllmengenbestimmung

Zunächst ist die optimale Füllmenge unter dem Gesichtspunkt zu bestimmen, das einerseits ausreichend gefüllt ist, andererseits aber nicht zu viel Kältemittel in der Anlage ist, um das Ergebnis nicht zu verfälschen. Wichtige Kriterien zur optimalen

Füllmenge bei Anlagen mit thermostatischem Expansionsventil und Flüssigkeitssammler sind:

- Die gesamte Füllmenge sollte (z. B. bei verstopftem Expansionsventil und hohen Umgebungstemperaturen) von der Hochdruckseite, (Verflüssiger und Flüssigkeitssammler), aufgenommen werden können.
- Ermittelt wird die maximal notwendige Kältemittelfüllmenge bei kleiner Leistung. Das heißt, am Verdampfer wird mit der Gegenheizung nur wenig Wärmeleistung zugeführt. Thermostatische Expansionsventile arbeiten bei kleinen Kälteleistungen mit kleinsten Überhitzungen. Da das Überhitzungssignal des Kältemittels am Verdampferaustritt den Öffnungsgrad der Ventildüse regelt, werden bei hohen Leistungen (großer KM-Massenstrom) auch große Überhitzungssignale benötigt. Der jeweilige Kältemittel-Füllungsgrad des Verdampfers verhält sich umgekehrt proportional zum Überhitzungssignal. Bei kleiner Leistung und Überhitzung befindet sich also das meiste Kältemittel im Verdampfer. In diesem Betriebspunkt muß sich auf der Hochdruckseite immer noch genügend Kältemittelflüssigkeit befinden.

Ein weiteres Kriterium ist der Verflüssigungsdruck, der beim Betrieb der Anlage nicht unzulässig hoch ansteigen darf. Bei Überfüllung würde der HD-Pressostat schon bei normalen Bedingungen die Anlage außer Betrieb setzen, weil sich Kälte-

mittel in den Verflüssiger zurückstaut und somit die wirksame Verflüssigeroberfläche reduziert würde. Auch bei Extrembedingungen sollte der zulässige Betriebsüberdruck der Anlage mit optimaler Füllmenge immer noch unterschritten werden.

Simulation einer Kältemittelleckage

Dazu wurde eine Kältemittelflasche in einer Kühltruhe bei $t = -25\text{ °C}$ gekühlt und über ein Kapillarrohr ($l = 6\text{ m}$, $d_i = 0,8\text{ mm}$) mit einem verschließbaren Service-Ventil am Kältemittelsammler der Versuchsanlage verbunden. Mit Hilfe des Serviceventiles konnte nun ein definierter Kältemittelmassenstrom von der Anlage in den Behälter realisiert werden. Das entnommene Kältemittel kondensierte auf Grund der niedrigen Temperatur kontinuierlich in den Behälter, dessen Gewicht über die Meßzeit aufgenommen wurde. Die entnommene Kältemittelmenge wurde bei Alarmgebung des Diagnosegerätes festgehalten. Die Testanlage wurde umgebaut und mit zwei unterschiedlichen Flüssigkeitssammlern versehen, was unterschiedliche Betriebsfüllungen zur Folge hatte.

Betriebszustandsänderungen, Laständerungen

Nach Abschluß der Füllmengenbestimmungen und der Leckagesimulationen wurden, um das Zeitverhalten des Frühwarn-Diagnosegerätes zu untersuchen, einige praxisnahe Betriebs- und Laständerungszyklen gefahren. Simuliert wurden:

- Fühlerfüllungsverlagerung oder -bruch am Expansionsventil
- Anfahren der Anlage unter hoher Last
- Laständerungen am Verdampfer
- Laständerungen am Verflüssiger
- Anlage mit MOP-Ventil
- Verbundkälteanlage
- Anlage mit „pump down“

Bei sämtlichen durchgeführten Messungen mußte auf Grund der Fühlerausstattung des Frühwarn-Diagnosegerätes (Vorgängermodell) die Verdampfungstemperatur bei ca. 0 °C liegen, also Klimaanlagebedingungen.

Meßergebnisse

Füllmengenbestimmung

Bei einer Füllmenge von 12 kg mit Sammler 1 und 6,3 kg mit Sammler 2 wurden für R 22 alle genannten Kriterien erfüllt.

Simulation einer Kältemittelleckage

Bei diesen Messungen wurde, wie zu erwarten war, nachgewiesen, daß eine Überwachung der Kältemittelfüllmenge mit einem Niederdruckpressostaten sich als

schwierig erweist. Wenn, dann kann diese Variante nur funktionieren, wenn nahezu die gesamte Kältemittelfüllmenge entwichen ist, und die Anlage in den Niederdruckbereich fährt.

Vorher jedoch ändert sich die Überhitzung des Kältemitteldampfes am Verdichtereintritt dahingehend, daß die Temperatur $t_{V_{th}}$ am Verdichtereintritt mit sinkender Füllmenge ansteigt und der Druck sich zunächst kaum verändert.



Bild 2 Ansicht des Überwachungsgerätes

Die sich daraus ergebende Ansaugüberhitzung ändert aber erst ihren Wert, wenn sich im Kältemittelsammler kein flüssiges Kältemittel mehr befindet. Die Leistung der Kälteanlage geht bis zu diesem Zeitpunkt nur gering zurück, so daß genügend Zeit bliebe, die Leckage zu finden und zu beheben, ohne das Kühlgut zu gefährden. Solange das Expansionsventil mit flüssigem Kältemittel versorgt wird, kann es auch die in den Verdampfer eingespritzte Kältemittelmenge den jeweiligen Betriebsbedingungen anpassen. Sobald sich jedoch aufgrund des zu niedrigen Füllstandes im Kältemittelsammler (Leckage, Unterfüllung, ...) Gasblasen bilden, führt das zu einer Unterfüllung des Verdampfers. Erst jetzt ändert sich die Überhitzung am Verdampferaustritt und somit auch die Überhitzung am Verdichtereintritt, mit der das Frühwarn-Diagnosegerät arbeitet.

Die durchgeführten Messungen haben ergeben, daß bei der Testanlage mit der Füllmenge 12 kg ein Alarm bei 6 kg Verlust ausgelöst wurde, und bei der Füllmenge 6,3 kg löste das Testgerät bei 0,75 kg Verlust einen Alarm aus. In beiden Fällen hat sich der Verdampfungsdruck nur gering verändert.

Fühlerfüllungsverlagerung oder -bruch am Expansionsventil

Thermostatische Expansionsventile sind häufig mit einer sogenannten Gasfüllung versehen. Dabei handelt es sich um einige mg Flüssigkeit, die auf Grund von Wärmezufuhr mehr oder weniger verdampft und somit den Öffnungsquerschnitt des Ventils reguliert. Bei Einbau dieser Ventile sollte genau auf die Montageanleitung geachtet werden; denn die Fühlerfüllung kann durch zu kalten Ventilkopf in das Membranhäuschen kondensieren. Die Folge davon ist, daß das Ventil nicht mehr weit genug öffnen kann und die Überhitzung immer weiter ansteigt.

Dies ist eine „schleichende“ Anlagenstörung und wird nach Ablauf der am Frühwarn-Diagnosegerät eingestellten Zeit durch einen Alarm angezeigt.

Fühlerbruch hingegen entsteht durch unsachgemäße Fühlermontage. Die Fühlerkapillare bricht durch Schwingungen ab. Sobald die Fühlerfüllung entwichen ist, kann das Ventil nicht mehr öffnen und es kommt ebenfalls zur Alarmmeldung.

Bei Anlagen mit Heißgasbypass kann es in diesen Fällen zum Überhitzen des Verdichters kommen, was mit dem Frühwarn-Diagnosegerät unterbunden würde.

Anfahren der Anlage unter hoher Last

Bei Tiefkühlanlagen, die regelmäßig abgetaut werden, kommt es beim Anfahren nach erfolgter Abtaugung zu relativ hohen Ansaugüberhitzungen am Verdichtereintritt. In diesem Fall muß am Frühwarn-Diagnosegerät die Wartezeit so eingestellt werden, daß erst bei Erreichen der normalen Betriebsbedingungen die Meßdaten aufgenommen werden.

Laständerungen am Verdampfer oder Verflüssiger

Bei allen durchgeführten Messungen wurde bei Laständerungen am Verdampfer, (z. B. Beschickung des Raumes mit Kühlgut) oder Verflüssiger (z. B. veränderte Außentemperaturen bei Luftkühlung), ein Alarm ausgegeben, jedoch nur, wenn die Wartezeit des Gerätes auf „Null“ gesetzt war.

Im praktischen Betrieb muß für jede Kälteanlage eine anlagenspezifische Wartezeit ermittelt werden, nach der das Frühwarn-Diagnosegerät den Zustand des Kältemittels am Verdichtereintritt auswertet.

Anlage mit MOP-Ventil

Manche Kälteanlagen werden, um den Verdichter vor Überlast zu schützen, mit einem MOP-Ventil ausgerüstet, das den Verdampfungsdruck nach oben begrenzt. Bei hoher Last am Verdampfer würde zu viel Kältemittel eingespritzt und der Verdichter würde überlastet. Da der Druck nach oben begrenzt wird, steigt im MOP-Bereich die Ansaugüberhitzung am Verdichter. Eine genau auf die jeweilige Kälteanlage abgestimmte Wartezeit kann einen Fehlalarm des Frühwarn-Diagnosegerätes ausschließen.



Bild 3 Montage des Überwachungsgerätes an der Kälteanlage

Verbundkälteanlage

Bei Verbundkälteanlagen (Parallelbetrieb von Verdichtern) kommt es auf die Abstimmung des Expansionsventiles an. Im Vollastbetrieb arbeitet das Ventil mit relativ hohen Überhitzungen. Das Frühwarn-Diagnosegerät muß folglich bei voller Last auf die Anlage abgestimmt werden. Die Wartezeit zur Alarmmeldung muß auch

etwas länger eingestellt werden, damit es bei längerem Vollastbetrieb nicht zu ungewollten Alarmmeldungen kommt.

Anlage mit „pump-down“-Schaltung

Kälteanlagen, bei denen die Gefahr besteht, daß im Stillstand ein großer Teil der Kältemittelfüllmenge in den Verdampfer strömt, werden mit einer sogenannten pump-down-Schaltung versehen. Das heißt, daß bei Erreichen der Solltemperatur des Kühlgutes ein Magnetventil die Flüssigkeitsleitung verschließt und der Verdichter den größten Teil der Kältemittelfüllmenge in den Sammler fördert. Dabei vergrößert sich natürlich die Ansaugüberhitzung des Verdichters, bis er über ein Niederdruckpressostat abgeschaltet wird.

Diese Anlagenvariante schützt den Verdichter vor Flüssigkeitsschlägen beim erneuten Anfahren. In der Praxis muß bei Verwendung eines Frühwarn-Diagnosegerätes die Wartezeit auf die jeweilige Absaugzeit abgestimmt werden. Somit wird ein Fehlalarm im pump-down-Betrieb vermieden.

Zusammenfassung

Nachdem chlorhaltige Kältemittel durch die FCKW-Halon-Verbots-Verordnung bzw. auf europäischer Ebene durch die EU-Verordnung 3093/94 reglementiert worden sind, tritt der Umwelteinfluß der Kältemittel immer mehr in den Vordergrund. Besonders im Zusammenhang mit den Ersatzkältemitteln wird nunmehr auch der GWP bzw. der TEWI diskutiert. Die Dichtigkeit der Kälteanlage ist von wesentlichem Einfluß auf den TEWI-Wert.

Nationale Ansätze, die Dichtigkeit der Kälteanlagen in bestimmten Zeitintervallen von sachkundigem Personal bescheinigen zu lassen, sind momentan in Deutschland leider kein Thema mehr.

Das frühzeitige Erkennen von Leckagen würde in vielen Fällen helfen, Produktionsausfall bzw. Verderb von empfindlichem Kühlgut zu verhindern, sowie Umweltbelastungen zu reduzieren.

Das Detektieren von Kältemittel in der Umgebungsluft ist nur in geschlossenen Betriebsräumen eine zuverlässige Metho-

de. Die vorliegenden Messungen haben gezeigt, daß eine Überwachung der Kältemittelfüllmenge durch ein Niederdruckpressostat erst bei hohem Kältemittelverlust das entsprechende Signal liefert. Das untersuchte Frühwarn-Diagnosegerät meldet Alarm, sobald der Flüssigkeitssammler keine Kältemittelflüssigkeit enthält. Zu diesem Zeitpunkt ist in den meisten Fällen die maximale Kälteleistung der Anlage noch verfügbar. Eventuelle Fehlalarme durch MOP-Ventile, Anfahrzustände, Laständerungen usw. können durch Anpassung einer Zeitkonstante am Gerät verhindert werden. Eine nahezu gleichwertige Überwachungsmethode wäre die Füllstandskontrolle des Sammlers.

Da das Alarmsignal von einem relativen Sauggaszustand am Verdampferaustritt abgeleitet wird, ist das Gerät für alle Kältemittel bzw. Kältemittelgemische geeignet. □

Literatur

- [1] Hemm, G.: Verfahren zum Erkennen von Leckstellen im Kältemittelkreislauf einer Kälteanlage Patentschrift DE 39 13521 C2