

Zuverlässigkeitssteigerung für mobile Kälte- und Klimaanlage

Ein neues selbsttätiges Absperrventil für Kältemittelverdichter*

Dr. Ulrich Adolph, Leipzig

Bei Kältemittelverdichtern besteht gewöhnlich die Gefahr von Ölverdünnung durch Kältemittel, die zur unzulässigen Viskositätsabsenkung führen und beim Start Lagerschäden und Flüssigkeitsschläge mit Ventilschäden verursachen kann. Gewöhnlich wird diesen Erscheinungen durch die üblichen Schutzmaßnahmen Ölheizung oder Abpumpschaltung begegnet. Für beide Maßnahmen ist die Voraussetzung eine anliegende elektrische Spannung in der Stillstandszeit des Verdichters. Bei Fahrzeugverdichtern, z. B. in Bahnklimageräten, ist diese Voraussetzung nicht immer gegeben, so daß Verdichterschäden die Folge sind.

Zur Vermeidung derartiger Schädigungen wurde in Zusammenarbeit mit der ITEG mbH, Leipzig, ein Absperrventil entwickelt, das den Verdichter von der Anlage automatisch trennt, sobald der Verdichter abgeschaltet wird.

Ölproblematik bei Verdichtern von mobilen Kälte- und Klimaanlage

In vielen Kälte- oder Klimaanlage besteht das Problem, daß in Betriebspausen während der Stillstandszeit des Verdichters Kältemittel in das Verdichteröl diffundiert und damit die Schmierfähigkeit des daraus

entstehenden Kältemittel-Öl-Gemisches vermindert. Dadurch kommt es beim Start des Verdichters wegen der Verringerung der Schmierfähigkeit des Öles zu Schäden an den Lagern und in der Folge wird oft der gesamte Verdichter zerstört. Auch Flüssigkeitsschläge mit ihren negativen Folgen können auftreten.

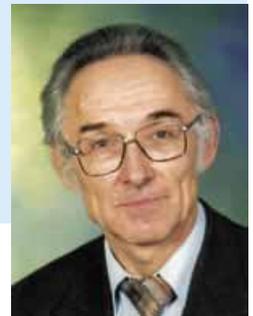
Neben der Diffusion kann auch Kondensation des Kältemittels in das Öl auftreten, wenn der Verdichter während der Standzeit der kälteste Teil der Anlage ist, z. B. bei Außenaufstellung.

Für stationäre Kälte- oder Klimaanlage, bei denen auch in den Betriebspausen elektrische Spannung verfügbar ist, werden als wirksame Schutzmaßnahmen gegen diese Erscheinungen in den Betriebspausen entweder eine Ölbeheizung vorgesehen oder die Abpumpschaltung wird angewandt.

Bei mobilen Anlagen, wie z. B. Klimaanlage in Schienenfahrzeugen, ist das Vorhandensein der elektrischen Betriebsspannung im Abstellzustand des Wagens nicht immer gewährleistet, so daß die genannten Schutzmaßnahmen nicht angewendet werden können. Deshalb werden immer wieder Fälle bekannt, bei denen die Schädigung der Verdichtertlager, der

zum Autor

Dr.-Ing.
Ulrich Adolph,
Entwicklungs-
berater, u. a.
für ITEG mbH,
Leipzig



Arbeitsventile oder gar der Pleuel, Kolben und Zylinderköpfe bei der Wiederinbetriebnahme der Klimaanlage eintreten. Oft wird die Ursache in der Qualität des Verdichters gesucht. Tatsächlich ist die Ursache in der genannten Anlagenproblematik begründet.

Um diesen Schadensfall zu verhindern, wurde vor ca. 30 Jahren ein Automatisches Absperrventil entwickelt, das den Verdichter hermetisch von der Anlage trennt, wenn der Betrieb unterbrochen wird, und ihn wieder zur Anlage hin öffnet, wenn erneut eingeschaltet wird. Das Ventil mußte ohne elektrische Hilfsenergie arbeiten,

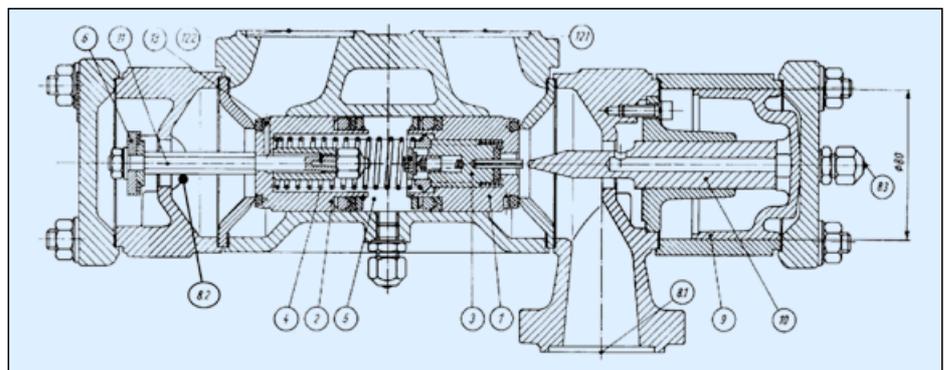


Bild 1 Automatisches Absperrventil für Kältemittelverdichter mit Druckölschmierung (Maschinen- und Apparatebau Schkeuditz)

6 Bypassventil, 8.1 Sauganschluß des Verdichters, 8.2 Druckanschluß des Verdichters, 8.3 Öldruckanschluß, 12.1 Anschluß vom Verdampfer, 12.2 Anschluß zum Verflüssiger.
Der Bypasskanal liegt vor der Schnittebene und ist nicht dargestellt.

* Als Vortrag gehalten am 20. November 2003 anlässlich der Deutschen Kälte-Klima-Tagung des DKV in Bonn

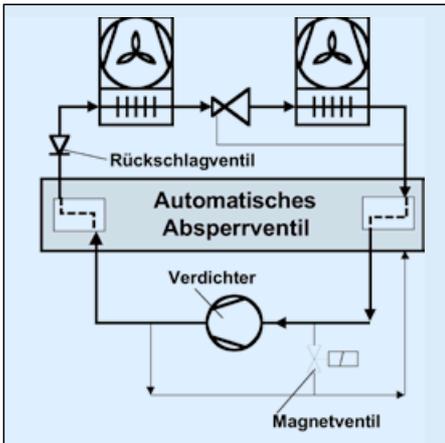


Bild 2 Anordnung des Automatischen Absperrventils in der Anlage

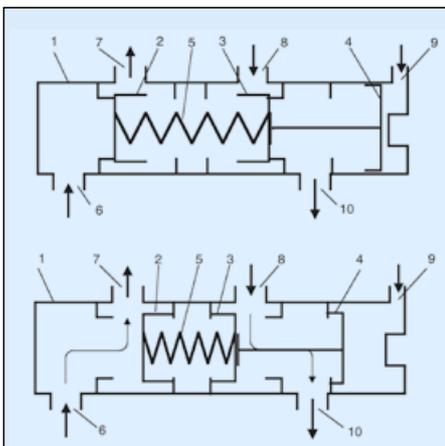


Bild 3 Schematische Darstellung des Automatischen Absperrventils in geschlossenem und geöffnetem Zustand

da im Fehlen der elektrischen Energie in Betriebspausen die Fehlerproblematik begründet war. Die Entwicklung resultierte aus Schadensfällen in Kältesätzen für Schienenfahrzeuge, die in großer Stückzahl in die UdSSR geliefert wurden und deren Betriebsregime durch lange Betriebspausen gekennzeichnet war. Übliche Schutzmaßnahmen, wie z. B. Öldruckwächter, waren nicht zugelassen, um die transportierten Waren bei Öldruckmangel nicht verderben zu lassen. Der Verdichter sollte so lange wie möglich arbeiten, auch wenn er dadurch der Schädigung preisgegeben wurde. Ein nahezu 100%iger Verdichterausfall durch festgefressene Lager war die Folge.

Die Lösung zur Verhinderung der Verdichterausfälle wurde mittels eines Automatischen Absperrventils gefunden [2, 3, 4].

Da es sich um einen Verdichter mit Ölpumpe handelte, war das Ventil so

konzipiert, daß es bei ausbleibendem Öldruck, also bei betriebstechnischem Öldruckmangel als auch in der Standzeit der Anlage, den Verdichter von der Anlage vollständig trennte, und ihn über einen Bypasskanal beim Start vor Überverdichtung schützte, bis der sich aufbauende Öldruck die Dichtkolben verschob und die normale Verbindung zwischen Verdichter und Anlage herstellte, s. Bild 1.

Das Ventil ist im geschlossenen Zustand dargestellt, mit Zuführung des Hochdruckes in den Raum zwischen den beiden Dichtkolben und einem Vorsteuerventil im saugseitigen Dichtkolben für die Erleichterung des Öffnungsvorganges. Die axialen Kolbendichtungen waren wegen der hohen Temperaturen auf der Druckseite PTFE-Dichtungen, die innere Leckströme völlig verhinderten.

Mit diesem Ventil wurden mehrere tausend Kältesätze und Klimaanlage für Schienenfahrzeuge ausgerüstet und Verdichterschäden infolge der Kältemittelleinwirkungen auf das Öl des Verdichters konnten damit auch bei ungünstigsten Betriebsbedingungen völlig ausgeschaltet werden. Nach Beendigung der Lieferungen in die UdSSR bzw. nach Rußland Anfang der 90er Jahre wurde auch das Automatische Absperrventil nicht mehr produziert.

Die neue Lösung des Automatischen Absperrventils

In den letzten Jahren kam es wiederholt zu Schadensfällen von Verdichtern in Bahnklimageräten, die auf die zuvor genannten Ölprobleme im Zusammenhang mit der Kältemittellöslichkeit zurückgeführt werden konnten. Es wurde deshalb über die Wiederbelebung des Ventils nachgedacht. Im Ergebnis konnte eine vereinfachte Lösung entwickelt werden, die mit weniger Bauteilen, geringeren Abmessungen und günstigeren Werkstoffen eine wesentliche konstruktive Vereinfachung brachte und damit kostengünstig deutlich günstiger produziert werden kann als die frühere Ausführung [5].

- Auf den Hochdruckaufbau zwischen den beiden Kolben wurde verzichtet, da im Zustand des Druckausgleiches entsprechend der Umgebungstemperatur ohnehin in allen Teilen der Anlage gleicher Druck vorhanden ist. Die Federkraft sorgt für zuverlässige Abdichtung.
- Damit kann auf die Vorsteuerung verzichtet werden, da keine erhöhte Öffnungskraft gegen den Druck im Zwischenraum erforderlich ist.

- Die Öffnung des Dichtkolbens auf der Druckseite erfolgt direkt durch den sich verdichterseitig aufbauenden Hochdruck.
- Die Ansteuerung des Dichtkolbens der Saugseite erfolgt mittels des sich aufbauenden Hochdruckes von einem Steuerkolben aus.
- Damit ist das Ventil auch für Verdichter mit Schleuder- bzw. Zentrifugalschmierung geeignet und ein Bypass für das druckfreie Anfahren des Verdichters kann entfallen.
- Es wurden Lötanschlüsse statt Flanschen und die Fertigung aus Halbzeugen statt aus Gußteilen vorgesehen.

Die Funktionsweise des neuen Automatischen Absperrventils

Wenn der Verdichter stillgesetzt wird, schließt zunächst ein Rückschlagventil in der Druckleitung zwischen dem Ventil und dem Verflüssiger der Anlage und gleichzeitig oder gering verzögert wird ein Entlastungsventil zwischen Druck- und Saugseite geöffnet, wodurch der Steuerkolben druckentlastet wird und dadurch das Schließen des Ventils durch Wirkung der Federkraft einleitet, s. Bild 2.

Verdichtungsdruck, der sich nach dem Einschalten des Verdichters auf der Hochdruckseite aufbaut, wirkt über die Verbindungsleitung zwischen Druckseite und Steuerkolben des Ventils direkt auf diesen Steuerkolben. Dadurch wird die Öffnungsfunktion im Ventilblock ausgelöst.

Beim Betrieb des Verdichters ist das Ventil sowohl saug- als druckseitig zur Anlage hin geöffnet und das Magnetventil ist geschlossen. Nach dem Ausschalten des Verdichters schließt das Rückschlagventil und das Magnetventil in NO-Ausführung öffnet. Damit sinkt innerhalb des Ventils der Druck. Zur Druckentlastung der Steuerleitung beim Ausschalten des Verdichters ist diese über ein Magnetventil mit der Verdichtersaugleitung verbunden.

Druck an allen Stellen auf den niedrigen Saugdruck und das Ventil wird durch die Wirkung einer Feder in die Schließstellung gebracht, s. Bild 3.

Das Bild 3 zeigt das Ventil schematisch im geschlossenen und im geöffnetem Zustand. Im Gehäuse 1 befinden sich die Kolben 2 und 3, zwischen denen eine Feder 5 angeordnet ist, welche beide Kolben auf die im Gehäuse 1 angeordneten Dichtflächen preßt. Das Ventil ist mit den Stützen 6 an die Druckseite des Verdichters und 10 an die Saugseite des Verdichters ange-

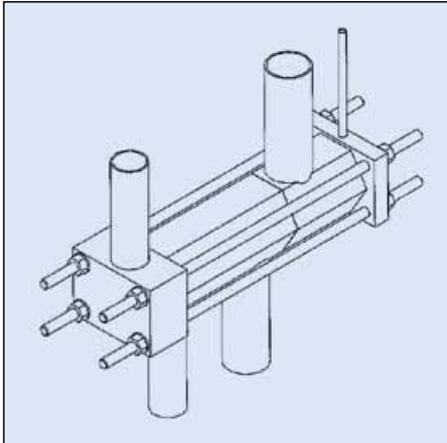


Bild 4 Ansicht des neuen Automatischen Absperrventils

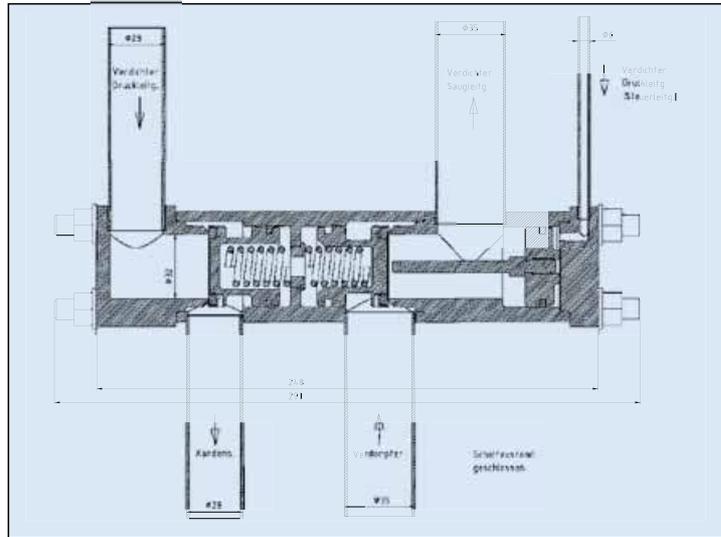


Bild 5 Schnittbild des neuen Automatischen Absperrventils

geschlossen und die Stutzen 7 und 8 stellen die Verbindung zum Verflüssiger und zum Verdampfer der Anlage her. Der Raum 9 wird mit der Druckseite des Verdichters verbunden und ist wie diese durch die Wirkung der in Bild 2 dargestellten Komponenten Rückschlagventil 4, Verbindungsleitung 9 und Magnetventil 10 auf ausgeglichem Druckniveau.

Im geöffneten Zustand sind die Kolben 2 und 3 gegen die Kraft der Feder 5 geöffnet und die Verbindung zwischen dem Stutzen 6 an der Druckseite des Verdichters und dem Stutzen 7 zum Verflüssiger hin ist hergestellt, ebenso die Verbindung vom Verdampfer über den Stutzen 8 zum Stutzen 10 auf der Saugseite des Verdichters. Das Magnetventil 10 nach Bild 2 wird mit dem Einschalten des Verdichters oder unmittelbar danach geschlossen. Der Kolben 2 wird dadurch geöffnet, daß auf der Druckseite 6 die Druckkraft größer als die Kraft der Feder 5 wird und die Verbindung 6–7 frei gibt. Der Kolben 3 wird dadurch geöffnet, daß sich im Raum 9 der Druck der Druckseite aufbaut und damit die Kraft des Kolbens 4 ebenfalls die Kraft der Feder 5 übersteigt und den Kolben 3 in die Öffnungsstellung schieben kann. Die Verbindung 8–10 wird hergestellt und der Verdichter ist mit der Anlage verbunden.

Bild 4 zeigt die Ansicht des automatischen Absperrventils und Bild 5 das dazugehörige Schnittbild.

Anwendungsbereich des neuen Automatischen Absperrventils

Das Ventil in der vorliegenden Ausführung ist für die Kältemittel R 134a und R 407C für Kälteleistungen bis 40 kW erprobt. Für

größere Leistungen ist ein Ventil mit größerer Nennweite erforderlich.

Die Richtung der Anschlußleitungen kann an das jeweilige Projekt angepaßt werden. Die Masse des Ventils kann von den Rohrleitungen aufgenommen werden, so daß spezielle Festpunkte nicht erforderlich sind. Es ist aber auch möglich, unter die Muttern der Spannschrauben projektbezogenen Füße zu montieren.

Für die Projektierung kann man sich den jeweiligen Druckverlust auf der Saug- und Druckseite des Ventils über die Widerstandszahl z folgendermaßen ermitteln:

$$\Delta p = \left(\frac{z}{2A^2}\right) \cdot v_0 \cdot \left(\frac{\dot{Q}_0}{\Delta h_0}\right)^2$$

In der folgenden Tabelle sind die zutreffenden Werte auf der Saugseite beispielhaft dargestellt. Man erkennt, daß die Druckverluste in der Größenordnung von üblichen Handabsperrentilen liegen. Das Ventil ist so ausgelegt, dass bei den üblichen Klimaanwendungen der Druckverlust auf der Druckseite mit dem auf der Saugseite nahezu identisch ist.

Das Schließ- und Dichtverhalten des Ventils

Für den Fall, daß das Ventil entsprechend Bild 2 mit Rückschlag- und Magnetventil eingebaut ist, schließt es sofort nach Ausschalten der Anlage durch Wirkung der Federkraft und auf der Anlagenseite stellt sich nach längerer Zeit der Ausgleichsdruck ein, der dem Sättigungsdruck des Kältemittels bei Umgebungstemperatur entspricht. Im Verdichter bleibt ein gerin-

gerer Druck erhalten, da der Sättigungsdruck im allgemeinen nicht erreicht wird. Damit wirken die Federkraft und die Kraft aus dem verbleibenden Druckunterschied in gleicher Richtung und pressen die Dichtung auf ihren Sitz, so daß Verdichter und Anlage völlig voneinander getrennt sind. Die Leckrate ist technisch Null und auch über mehrere Monate bzw. Jahre kann kein Kältemittel aus der Anlage in das Öl des Verdichters gelangen.

Kältemittel R 134a		Kältemittel R 407C	
\dot{Q}_0 in kW	Δp in Pa	\dot{Q}_0 in kW	Δp in Pa
10	4 000	10	2 000
20	10 000	20	5 000
30	20 000	30	10 000
		40	20 000

Tabelle 1 Druckverluste des neuen Automatischen Absperrventils

Die Anwendung des Ventils kann weiter vereinfacht werden, indem man auf Rückschlag- und Magnetventil nach Bild 2 verzichtet. Dadurch kommt es zum verzögerten Schließen des Absperrventils. Dabei muß man zwei Fälle unterscheiden:

- Der Verdichter wird abgeschaltet, das Magnetventil in der Flüssigkeitsleitung bleibt offen und die Lüfter laufen noch einige Minuten nach. Das sollte die bevorzugte Schaltung bei planmäßiger Außerbetriebnahme bzw. bei der Leistungsregelung mit Ein-Aus-Schaltungen sein.
- Es tritt eine Unterbrechung der Spannungsversorgung ein, d. h. alles wird stillgesetzt und das Magnetventil in der Flüssigkeitsleitung schließt.

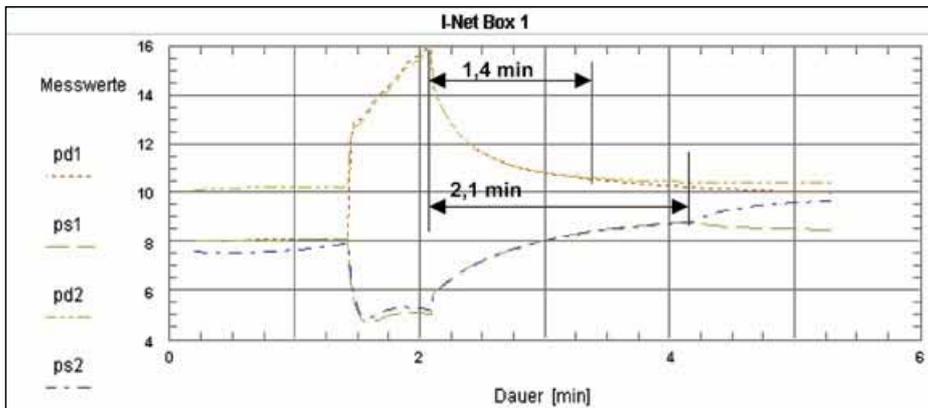


Bild 6 Druckverlauf vor und nach dem AAV zur Ermittlung der Schließzeit nach Abschalten des Verdichters ohne Druckentlastung und mit Lüfternachlauf

(Die angegebenen Drücke bedeuten: p_{DA} druckseitiger Anlagendruck, p_{SA} saugseitiger Anlagendruck, p_{SV} saugseitiger Verdichterdruck, p_{DV} druckseitiger Verdichterdruck)

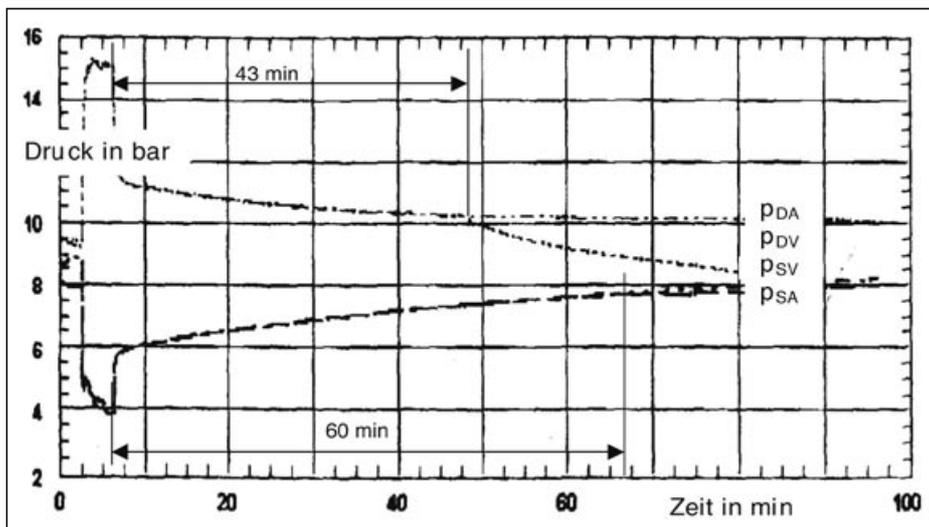


Bild 7 Druckverlauf vor und nach dem AAV zur Ermittlung der Schließzeit nach dem Abschalten der Anlage ohne Druckentlastung und ohne Nachlauf des Verflüssigerlüfters

Im ersten Fall sinkt zunächst durch weitere Kühlung des Verflüssigers der Verflüssigungsdruck und durch weitere Wärmezufuhr zum Verdampfer steigt der Verdampfungsdruck. Nach kurzer Zeit, ca. 1 bis 4 min, ist die Druckdifferenz so gering, daß zuerst der Druckkolben des Ventils und etwas später der Saugkolben des Ventils schließen. Die beiden verdichterseitigen Drücke (Saug- und Hochdruck) nähern sich dann entsprechend der Umgebungstemperatur dem entsprechenden Druck unterhalb des Sättigungsdruckes an, während sich der Anlagendruck wesentlich langsamer dem der Umgebungstemperatur entsprechenden Sättigungsdruck nähert und in allen Teilen der Anlage ausgleicht. Zunächst bleibt bei gut dichten Magnet- und Expansionsventil der saugseitige Anlagendruck unter dem

Verdichterdruck und der druckseitige Anlagendruck über dem Verdichterdruck. Im Bild 6 ist der gemessene Druckverlauf bei einem Bahnklimagerät mit dem Kältemittel R 407C dargestellt.

Man erkennt das beschriebene Verhalten des Ventils mit ca. 1,4 und 2,1 min Schließzeit. In solch einem Fall kann ohne nachteilige Langzeitwirkung auf die Abdichtfunktion des Ventils auf Rückschlag- und Magnetventil verzichtet werden.

Den Fall bei Spannungsausfall ohne planmäßige Außerbetriebnahme der Anlage zeigt Bild 7. Das ist der Extremfall, der auftreten kann. Allerdings darf man voraussetzen, daß nach einem Spannungsausfall mit anschließender Langzeitaußerbetriebnahme noch eine planmäßige Stillsetzung nach dem beschriebenen Modus erfolgt. Aber auch ohne diese Maßnahme

gibt es keine Gefahr, da die lange Zeit für den Druckabfall ein Zeichen für gut dichte Verdichterdruckventile und für dichtes Magnetventil in der Flüssigkeitsleitung ist, so daß bis zum Schließzeitpunkt nur wenig Kältemittel in das Öl gelangen kann.

In diesem Fall schließt die Druckseite nach 43 min und die Saugseite nach 60 min. Da nach längerer Standzeit dabei wie in den beiden anderen Fällen ein bleibender Druckunterschied zwischen dem Hochdruck auf der Anlagenseite und dem Verdichter festgestellt werden kann, wird auf der Saugseite der Sättigungsdruck ebenfalls nicht erreicht. Die Kältemittelanreicherung im Öl ist damit ausreichend gering, so daß diese selten auftretende plötzliche Außerbetriebnahme ebenso ohne nachteilige Folgen für den Verdichter ist. Eine Beobachtung des Flüssigkeitsstandes im Verdichterölschauglas nach mehrtägiger Standzeit hat keine Ölstandserhöhung ergeben. Das ist ein weiterer Beleg für die erreichte Dichtheit.

Zusammenfassung

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß mit dem neuen Automatischen Absperrventil eine Lösung zur Vermeidung von Verdichterschäden infolge des Eindringens von Kältemittel in das Öl geschaffen worden ist. Die Lösung ist kostengünstig im Verhältnis zu den Kosten, die ein Verdichterausfall in der Anlage verursacht.

Für die Zusammenarbeit bei der Entwicklung dieses Ventils danke ich der Firma ITEG mbH Leipzig, die die Konstruktion und Fertigung der Prototypen und die Erprobung durchgeführt hat. Im Ergebnis der Erprobung wurde die Überarbeitung zur Serienfertigung durchgeführt.

Literatur

- [1] Adolph, U. u. a., Ein neues selbsttätiges Absperrventil für Kältemittelverdichter. DIE KÄLTE und Klimatechnik (1976), 10, S. 434-440
- [2] Adolph, U., Ölversorgung, in Pohlentz: Bauteile für Pumpen, Verlag Technik, Berlin 1983, S. 98-104
- [3] Patentschrift DE 4219499, Gebrauchsmuster GM 202 12 275
- [4] Gebrauchsmuster DM 203 11 980

Beilagenhinweis

Dieser Ausgabe liegen Beilagen der Firma Vydra + Herr GmbH, Stuttgart, bei. Wir bitten unsere Leser um freundliche Beachtung.