



Dipl.-Ing. Michael Trauer,
Technischer Leiter und
Prokurist der Firma Erba-
Kälte in Magstadt.

**Aufgrund immer neuerer Technolo-
gien, Komponenten und Arbeits-
stoffe auf dem Gebiet der Kälte-
technik sowie im Zuge der CO₂-Re-
duzierung kommt der Frage der
Steuer- und Regelung von Kältean-
lagen eine immer größere Bedeu-
tung zu. Dazu gehört auch die Lei-
stungsregelung von Hubkolbenver-
dichtern.**

**In diesem Zusammenhang soll an
dieser Stelle ein kurzer Überblick
über einige mechanische und elek-
tronische Verfahren der Leistungs-
regelung und deren Auswirkung
auf das Gesamtsystem gegeben
werden.**

**Dabei werden auch ausgeführte
und erprobte Anlagen aus dem Be-
reich der Gewerbekälte vorgestellt.**

Einleitung

Die Frage der Leistungsregelung von Kälteanlagen ist fast so alt wie die Geschichte der Kältetechnik selbst.

Immer wieder taucht das Problem auf, daß die installierte Kälteleistung nur für einen bestimmten Zeitraum erforderlich ist. Während der verbleibenden Zeit reicht, je nach Lastkennlinie der Anlage, eine Leistung von beispielsweise 50 % der Gesamtkälteleistung aus. Aufgabe der Leistungsregelung ist es nun, den Verdampfungsdruck möglichst zu jedem Zeitpunkt der Betriebszeit konstant zu halten.

Reduziert man die Kälteleistung zu den Teillastzeiten nicht, verschiebt sich die Anlagenkennlinie und die Auslegungsbedingungen können nicht mehr eingehalten werden. Dabei ergeben sich

DORIN-Verdichter – Der Dreh mit der Drehzahl

Elektronische Drehzahlregelung von halb- hermetischen Hubkolben-Verdichtern

Michael Trauer, Magstadt

für das System Kälteanlage-Kühlware immer ungünstige Betriebsbedingungen, welche zur Verschlechterung der Produktqualität und unnötigen Energiekosten führen.

Beim Einsatz von Kolbenverdichtern beschränkt sich die Leistungsregelung auf folgende drei Möglichkeiten [1]:

1. Eingriff in die Anlage,
2. Eingriff in den Verdichter,
3. Eingriff in den Antrieb.

Im folgenden sollen diese drei Varianten kurz beschrieben werden.

Eingriff in die Anlage

Schließen oder Drosseln in der Saugleitung kommt meist nur bei mehrstufigen Verdichtern zum Einsatz, da die untere Grenze des Verstellbereiches stark von der zulässigen Austrittstemperatur abhängig ist. Freies Überströmen von der Druck- zur

Saugseite dient meist nur der Entlastung im Anfahrmoment. Gedrosseltes Überströmen (Bypass) dient oft nur als Ergänzung zu anderen Regelungsarten, da die Bandbreite relativ gering und der Wirkungsgrad sehr schlecht ist.

Eingriff in den Verdichter

Volles oder teilweises Offenhalten des Saugventiles, Zusatzschadraum oder vom Kolben oder einem Magnetventil gesteuertes Überströmen sind Möglichkeiten des Stelleingriffes im Verdichter. Häufigste Anwendung findet hierbei sicher das von einem Magnetventil gesteuerte Überströmen vom Druck- zum Saugraum, welches bei Verdichtern mit mehreren Zylinderköpfen eingesetzt wird. Dabei ergeben sich jedoch Einschränkungen im Verdampfungstemperaturbereich.



Café „Im Speicher“, Schleswig, innen und außen eine saubere Sache.





Hotel Berlin, Heide. Ein übersichtlicher Maschinenraum mit Blick auf Steuerschaltschränke, Maschinenrahmen und Entlüftung.



Maschinenrahmen mit NK- und TK-Verdichter sowie übersichtlicher Armatureninstallation.

Eingriff in den Antrieb

EIN/AUS-Betrieb des Verdichters ist das wohl am häufigsten angewendete, weil preiswerteste Verfahren zur Leistungsregelung. Der Energiebedarf sinkt jedoch nicht proportional, da ein zusätzlicher Aufwand zum Anfahren notwendig ist. Außerdem muß die Zahl der Starts begrenzt werden, da der Verdichter beim Starten einer erheblichen Belastung unterworfen ist, Mindestlaufzeiten für eine gleichmäßige Ölverteilung notwendig sind und das häufige Takten die Lebensdauer negativ beeinflusst.

Drehzahlverstellung des Antriebs ermöglicht eine energetisch günstige und kontinuierliche Förderstromveränderung. Dieser verhält sich nahezu proportional zur Drehzahl. Weiterhin erlaubt die Drehzahlregelung einen sanften Verdichterstart, was sich positiv auf die Lebensdauer auswirkt und das Problem der Anlaufstrombegrenzung sehr einfach löst. Da mechanische Verfahren der Drehzahländerung zu aufwendig und teuer sind, soll hier nur auf die elektronischen Verfahren eingegangen werden.

Möglichkeiten der elektronischen Drehzahlregelung

Asynchronmotoren (wie sie in Verdichtern zum Einsatz kommen) haben die Eigenschaft, daß die Rotordrehzahl (damit Verdichterdrehzahl) geringer ist als die Drehzahl des rotierenden Magnetfeldes im Stator [2]. Die Beziehung beider Drehzahlen zueinander wird außerdem noch von der Frequenz und der Polpaarzahl des Motors bestimmt und kann mit folgender Gleichung dargestellt werden:

$$n = \left(f \cdot \frac{60}{p} \right) - n_s$$

Damit ergeben sich drei Möglichkeiten der Drehzahländerung bei Asynchronmotoren:

1. Änderung der Polpaarzahl p ,
2. Änderung des Schlupfes n_s ,
3. Änderung der Frequenz f .

Änderung der Polpaarzahl

Hierzu sind konstruktiv veränderte Motoren nötig, wie sie von einigen Herstellern angeboten werden. Der Stator benötigt zwei oder mehr getrennte Wicklungen, womit durch entsprechende Umschaltungen stufenweise verschiedene Drehzahlen erreicht werden. Eine individuelle, stufenlose Anpassung an den aktuellen Leistungsbedarf ist aber nicht möglich.

Änderung des Schlupfes

Prinzipiell wird eine Veränderung des Schlupfes durch eine Änderung der Spannung am Stator oder zusätzliche, ohmsche Widerstände am Rotor erreicht.

In der Praxis findet man am häufigsten die Phasenanschnittsteuerung, bei der nur ein Teil der Spannungshalbwelle zum Motor geführt wird. Dieses Verfahren wird auch für den sogenannten Sanftanlauf verwendet, der zur Anlaufstromreduzierung bei Verdichtern bereits verstärkt eingesetzt wird.

Ein Nachteil dieser Regelung sind die zusätzlichen Verluste am Motor (Erwärmung), die den Aufheizungsgrad des Verdichters erhöhen und damit diese Regelung nur für kleine Motoren zulassen.

Änderung der Frequenz

Als dritte Möglichkeit der Drehzahlregelung bleibt die Veränderung der Frequenz mit Hilfe eines Frequenzumformers. Hier wird über die Bauteile Gleichrichter, Zwischenkreis und Wechselrichter der Verdichtermotor mit einer variablen Frequenz und variabler Spannung versorgt. Ein Steuerkreis regelt die Kommunikation dieser drei Komponenten und stellt gleichzeitig die Schnittstelle zur Umgebung dar. Ein eingebauter Computer ermöglicht die PI-Regelung nach einem variablen (4–20 mA, 0–10V) Eingangssignal. Vor allem durch den stark wachsenden Einsatz dieser Frequenzumformer im Bereich Heizung/Lüftung/Klimatechnik sind die Preise in den letzten Jahren gesunken. Somit wird diese Regelungsart auch für den Bereich der Gewerbekälte immer interessanter.

Auswirkungen der Frequenzregelung auf den Verdichter und Antrieb

Energetisch gesehen ist die Frequenzregelung die günstigste Art der Leistungsregelung. Die Verringerung der Drehzahl führt bei Hubkolbenverdichtern im Gegensatz zu Umlaufkolbenverdichtern zur Erhöhung des Ausnutzungs- und Wirkungsgrades. Diese Erhöhung hat ihre Hauptursache in den kleineren Druckverlusten aufgrund reduzierter Gasgeschwindigkeiten im Druckgasraum.

Der Wirkungsgrad des Antriebsmotors (Verhältnis von Wirk- zu Blindstromanteil) sinkt zwar leicht, jedoch überwiegt der positive Anteil des Verdichters und somit steigt der COP-Wert. Dabei sollte auch berücksichtigt werden, daß mit der Leistungsanpassung des Verdichters

ters instabile Anlagenzustände (wie eine zu tiefe Verdampfungstemperatur) wegfallen und sich damit auch positiv auf die Gesamtbilanz auswirken.

DORIN-Verdichter drehzahlregelbar

Die Firma Officine M. DORIN hat die halbhermetischen Verdichter der K-Serie in bestimmten Frequenzbereichen (siehe Tabelle 1) zur Drehzahlregelung freigegeben. Damit ergibt sich hier die wirksame Möglichkeit, Frequenzumformer zur Leistungsregelung im Bereich von 40 (50) bis 120 % der Kälteleistung einzusetzen. Als weitere Vorteile dieser Regelung seien hier genannt:

- keine Beschränkung des Verdampfungstemperaturbereiches für alle Kältemittel,
- Vermeidung instabiler Anlagenzustände, konstanter Verdampfungsdruck,
- Verringerung der Start/Stop-Schaltungen, damit Erhöhung der Lebensdauer,
- Sanftanlauf des Verdichters, Vermeidung von Anlaufstromspitzen,
- Geräuschreduzierung durch Drehzahlsenkung,
- Leistungsreserve durch 60 Hz-Betrieb,
- wirksame Motorschutzfunktionen.

Firma Gastrotec regelt die Kälte exakt nach dem Bedarf

Seit ca. 2 Jahren bietet die Firma Erba Kälte als Vertretung der Firma DORIN in Deutschland Verflüssiger- und Verbundsätze sowie maßgeschneider-

Tabelle 1
Halbhermetische DORIN-Verdichter zur Drehzahlregelung freigegeben.

Ölschleuderschmierung	K 40 CC bis K 1500 CC	20 bis 60 Hz	Kälteleistung 40 bis 120 %
Ölpumpe	K 1500 CS bis K 7500 CC	25 bis 60 Hz	Kälteleistung 50 bis 120 %

te Sonderanlagen zur Drehzahlregelung mit Frequenzumformern an. Dabei wird sowohl die Verdichter-, als auch die komplette Regelungstechnik einschließlich des Frequenzumformers betriebsfertig angeboten.

Gerade im Bereich kleinerer und mittlerer Gastronomie sowie im Handel beim Betrieb mehrerer kleiner Kühlstellen ergibt sich durch den Einsatz der Drehzahlregelung ein erhebliches Energiesparpotential.

So entschied sich auch ein innovatives Unternehmen aus Husum, die Firma Gastrotec mit ihrem Inhaber Olaf Steuer, bei mehreren Neuinstallationen im Januar 1996 den Schritt in eine neue Richtung mit der Invertertechnik zu gehen.

Für das Projekt „Café Im Speicher, Schleswig“ waren folgende Leistungsanforderungen zu erfüllen:

Normalkühlung $t_0 = -10^\circ\text{C}$	
Kühltisch Küche	445 W
Fleischkühlraum	1000 W
Faßvorkühler mit Bierbegleitkühlung	1000 W
Kühltesen 1. OG	400 W
Kühltesen 3. OG	400 W
Summe:	3245 W

Tiefkühlung $t_0 = -30^\circ\text{C}$	
Tiefkühlraum	800 W

Weiterhin sollte die Möglichkeit bestehen, einen Gemüse Kühlraum mit 1000 Watt nachrüsten zu können. Die Anlage wurde deshalb so projektiert, daß sie ohne große Umbauten mit einem größeren Verdichter erweitert werden kann.

Für die Tiefkühlung ist ein separater Verdichter auf dem Maschinenrahmen integriert. Dieser wird ohne Drehzahlregelung betrieben.

Zum Einsatz in der Normalkühlung kam ein Verdichter DORIN K100CC mit 2730 Watt Nennleistung bei -10°C VT. Im 60 Hz-Betrieb wird eine Leistung von 3270 Watt erreicht. Läuft der Verdichter dagegen nur mit 20 Hz, hat er eine Leistung von 1090 Watt. Somit ergaben sich bereits bei der Projektierung Einsparungen, da bei normalem 50 Hz-Betrieb ein größerer Verdichter notwendig gewesen wäre.

Im Bereich von ca. 1000 bis 3300 Watt erfolgt somit eine ständige, fließende Anpassung an den realen Leistungsbedarf. Dies gewährleistet bei minimalem Energieeinsatz eine für das Kühlgut optimale Verdampfungstemperatur mit entsprechend hohen Luftfeuchtwerten und wesentlichen Energieeinsparungen.

In nun gut 14 Monaten Betriebszeit wurde festgestellt, daß der Verdichter hauptsächlich im Bereich von 40 Hz läuft. Damit ergibt sich eine Leistung



Vor der Auslieferung. Erba Kälte Tandem-Verbundsatz im Supermarkt in Donauwörth mit DORIN-Tandem-Verdichtern TK3000CS-E und TK3000CB-E mit Kopflüfern. Leistung Normalkühlung 58,8 kW, Leistung Tiefkühlung 19,6 kW. Gut zu sehen ist die angebaute Unterkühler-Einheit mit einer Leistung von 5,9 kW.



Detailansicht auf die großzügigen Saugleitungsfilter mit Absperrventilen. Am Verdichtergehäuse fällt der externe Druckgassammler auf, der die Zylinderköpfe extern verbindet und so die Wärme aus diesen wegführt und damit die Motortemperatur senkt.

von ca. 2460 Watt bei einer Leistungsaufnahme von ca. 985 Watt. Im normalen 50 Hz-Betrieb würde die Verdampfungstemperatur für die gleiche Leistung auf $-12,5\text{ °C}$ absinken. In diesem Punkt hat der Verdichter eine Leistungsaufnahme von 1060 Watt.

Supermarkt mit drehzahlgeregeltem Tandem-Verdichtersatz

Ebenfalls im Frühjahr 1996 wurden zwei „Krone“-Supermärkte in Donauwörth und Neustadt bei Dresden sowohl in der Tief-, als auch in der Normalkühlung mit frequenzgeregelten Verdichtern in Betrieb genommen.

Technische Daten für beide Objekte:

Normalkühlung:
DORIN Tandem TK 3000 CS-E
Kälteleistung: 58,8 kW bei $-12/+42\text{ °C}$
Tiefkühlung:

DORIN Tandem TK 3000 CB-E
Kälteleistung: 19,6 kW bei $-37/+42\text{ °C}$
Eine technische Besonderheit dieser Anlagen ist der Fakt, daß alle 4 Verdichter über einen gemeinsamen Frequenzumformer betrieben werden. Die bisherigen Erfahrungen dieser Anlagen zeigen einen äußerst zufriedenstellenden Betrieb bei Energieeinsparungen von ca. 25 % im Gegensatz zu herkömmlichen Verbundanlagen.

Zusammenfassung

In den vergangenen zwei Jahren konn-

ten verschiedenste Anlagen in Zusammenarbeit von Erba Kälte und dem Kältehandwerk mit DORIN-Verdichtern und Frequenzumformern ausgerüstet werden. Neben den bereits erwähnten Vorteilen bezüglich der Energieeinsparung konnten folgende Verbesserungen für den Kältekreislauf festgestellt werden:

1. Durch den sehr konstanten Saugdruck regeln „herkömmliche“ Expansionsventile wesentlich besser die Überhitzung am Verdampferaustritt. Somit wurde eine bessere Ausnutzung der Verdampferfläche erreicht. In einigen Fällen konnte die ursprünglich ausgelegte Verdampfungstemperatur sogar leicht angehoben werden, weil der Regelkreis „Verdampfer-Expansionsventil“ sehr konstante Verhältnisse vorfindet.

2. Durch die langen Laufzeiten des Verdichters wird das Kältemittel im Kreislauf immer in Bewegung gehalten. Die Erfahrungen zeigen, daß damit Abwanderung von Kältemittel zum Verflüssiger während der kalten Jahreszeit verhindert wird, wie es beim EIN/AUS-Betrieb von herkömmlichen Anlagen üblich ist.

3. Besonders interessant und kostengünstig ist die Möglichkeit, die Regelgröße (Druck, Temperatur, Feuchte) direkt in den Frequenzumformer zu geben, da dessen Software einen PID-Regler integriert hat und somit selbst

die Steuerung übernimmt. Das kann soweit gehen, daß ein einzelner Frequenzumformer einen aus Redundanzgründen installierten Tandem-Verdichtersatz komplett und stufenlos von 17 bis 100 % Kälteleistung regelt.

Die überaus positiven Erfahrungen beim Einsatz von Frequenzumformern zur Leistungsregelung von Pumpen und Lüftern konnten sich auch beim Betrieb mit halbhermetischen DORIN-Verdichtern belegen lassen. Die Vorteile gegenüber herkömmlichen Arten der Leistungsregelung oder Verbundanlagen werden vor allem durch die Qualität des Kühlgutes sowie der nachweislichen Energie- und Investitionskosten einsparung dokumentiert.

Techniken zur Energieeinsparung sowie zur Senkung der Treibhausbelastung werden immer gefragter und finden in allen Bereichen der Kältetechnik ihre Anerkennung. Die Firma Erba Kälte zeigt mit diesem Programm Innovationsgeist und das Geschick, mit der hier beschriebenen Technologie auf dem Markt ein paar Schritte voraus zu sein.

Literatur

[1] H.-J. Kleinert: Taschenbuch Maschinenbau, Band 5: Kolbenmaschinen, Strömungsmaschinen, Verlag Technik Berlin, 1989

[2] M. Gawol: Drehzahlregelung von Pumpen und Lüftern mit Frequenzrichter, IKZ-Haustechnik, Heft 1 u. 2/1994, Strobel Verlag

NOWEA INTERNATIONAL vertritt IGLOO-EXPO Warschau

Mit sofortiger Wirkung hat die NOWEA International (Düsseldorf) die exklusive, weltweite Vertretung der neugegründeten 1. Internationalen Fachmesse für Kälte- und Klimatechnik in Polen IGLOO-EXPO (Warschau) übernommen. Messeveranstalter ist die Gentner Verlag-Tochterfirma Euro-Media Warschau, in der seit 1996 auch die einzige praxisorientierte Kälte- und Kli-

mafachzeitschrift in Polen CHLONICTWO & KLIMATYZACJA erscheint.

Die IGLOO-EXPO '97 findet erstmals vom 22. bis 24. Mai 1997 auf dem NOWEA-Messegelände in Warschau-Mokotów statt. Parallel zur Messe wird der 1. polnische Kälte- und Klima-Fachkongreß veranstaltet.

Mit dieser weiteren Kooperation – NOWEA International vertritt seit kurzem auch die SHK-Messe INSTALEXPO Warschau weltweit – rundet die internationale Tochter der Messe Düsseldorf ihr Programm haustechnischer Fachmessen in Osteuropa weiter ab und festigt ihre Marktposition am aufstrebenden Messeplatz Warschau.