

Aus der Kälteanlagenpraxis

Verbundanlagen und ihre Regelung

Ulrich Adolph, Leipzig

zum Autor

Dr.-Ing. Ulrich Adolph,
Entwicklungs-
berater Kälte-
und Klima-
technik, Leipzig



Verbundanlagen spielen in der gewerblichen Kälte- und Klimatechnik eine herausragende Rolle. Sie bieten Vorteile bei der Installation und beim Betrieb gegenüber Einzelverdichteranlagen gleicher Gesamtleistung. Bei zweckmäßiger Gestaltung der Verbundsysteme kann man energetisch optimale und betriebstechnisch zuverlässige Anlagen errichten. Die Steuerung, Regelung und Überwachung solcher Anlagen ist eine anspruchsvolle Aufgabe, für die am Markt sehr gut geeignete Lösungen angeboten werden.

Warum wir Verbundanlagen brauchen

Verbundanlagen sind als Verdichter- oder Kältesätze in der Kälte- und Klimatechnik weit verbreitet. Sie bestehen aus mehreren Verdichtern, mindestens zwei, die parallel auf einen Kältekreislauf arbeiten und einen oder mehrere Verdampfer bedienen. Meistens werden sie als Ver-

dichtersätze geliefert und am Aufstellungsort mit dem Rest der Kälte- oder Klimaanlage verbunden. Die Regelung kann Bestandteil des Verdichtersatzes sein, sie kann aber auch in die Regelung der Anlage integriert oder gesondert dazu gekauft werden. Im Laufe der Zeit haben sich unterschiedliche Grundkonzeptionen herausgebildet, die sich technisch und kostenmäßig mehr oder weniger unterscheiden und nebeneinander existieren.

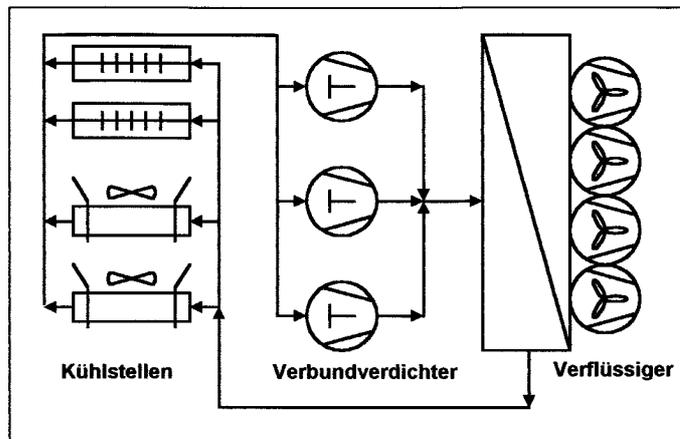


Bild 1 Schema einer Verbundanlage mit drei gleichen Verdichtern, vier Kühlstellen und einem Verflüssiger



Bild 2 Beispiel für einen Verbundverdichtersatz mit zwei Verdichtern (Robert Schiessl GmbH)

Die Verbundanlagen könnten in fast allen Fällen durch Einzelverdichteranlagen gleicher Gesamtleistung ersetzt werden, was oft zu geringeren Investitionskosten führen würde. Trotzdem gibt es neben diesen tatsächlich existierenden Einzelverdichteranlagen verhältnismäßig viele Verbundverdichteranlagen, teilweise mit extrem vielen parallelen Verdichtern gleicher oder unterschiedlicher Leistungsgröße. Bis 6 Verdichter ist nicht außergewöhnlich, aber auch bis 10 findet man vor. Die Vorteile der Verbundanlagen bestehen vor allem in der guten Anpassung der Kälteleistung an den Bedarf der Anlage, weshalb sie auch in Anlagen mit stark wechselnden Kältebedarfswerten, wie Supermärkten oder Raumklimaanlagen, besonders stark vertreten sind. Dabei wird als wesentliches Argument ins Feld geführt, daß man die Einzelverdichter immer im Punkt oder in der Nähe besten Gütegrades betreiben kann, während Einzelverdichter im Teillastbetrieb oft sehr schlechte Werte erreichen [1]. Da im Verbund bei Teillast die Temperaturdifferenzen an den Wärmeübertragern geringer werden, die Verdichter aber fast immer in der Nähe des Auslegungspunktes arbeiten, kann die Energieeffektivität der Anlage im Teillastgebiet sogar besser als bei Nennleistung werden. Die Anpassung der Leistung an den jeweiligen Bedarf erfolgt durch Verdichterabschaltung, durch Drehzahlstellung der Verdichter, durch verdichterinterne Regelungsmöglichkeiten oder durch deren Überlagerung. Die Anpassung ist um so besser, je mehr Verdichter im Rahmen der vertretbaren Gesamtbedingungen parallel arbeiten.

nen sie bei der Wartung und Reparatur viel besser zurechtkommen. Es ist möglich, bei Ausfall eines Verdichters mit den anderen in einem Notbetrieb weiter zu kühlen und die Reparatur bzw. der Austausch eines Verdichters ist möglich, ohne die Anlage außer Betrieb zu nehmen. Daraus resultiert auch eine höhere Betriebssicherheit von Verbundanlagen.

Und es gibt auch nicht wenige Fälle, bei denen die o. g. Kostenvergleiche zu Gunsten der Verbundanlagen ausfallen. Die kleinen Verdichter werden infolge der großen Herstellungsstückzahlen mit einem günstigeren spezifischen Preis hergestellt als die großen Verdichter in Kleinserien- oder Einzelproduktion. Bei den guten Gütegraden im Teillastbereich schlagen die Betriebskosten bei den Verbundanlagen weniger zu Buche, so daß bezüglich der Lebensdauerkosten die Verbundanlagen günstig abschneiden, selbst unter Berücksichtigung des Mehraufwandes an Geräten und anderen Komponenten.

Nicht zu unterschätzen ist der geringere Anfahrstrom von Einzelverdichtermotoren gegenüber einem großen Motor, da man diesen selbst beim Betrieb aller Verdichter durch zeitlich gestaffeltes Einschalten auf den Wert nur eines Motors begrenzen kann. Und zusätzlich kann man einen Sanftanlauf vorsehen.

Verbundanlagen richtig regeln

Die Kühlstellen von Verbundanlagen werden in der Regel thermostatisch geregelt, woraus ein bestimmter Bedarf an Kühlleistung folgt. Daraus ergeben sich zu

lichst hoch bleibt und wenig schwankt, d. h. daß die von der Verbundanlage angebotene Leistung der erforderlichen Leistung entspricht. Wenn die angebotene Leistung größer ist, stellt sich das jeweils neue Gleichgewicht bei entsprechend niedrigerem Saugdruck ein, und alle damit verbundenen negativen Folgen stellen sich ein, vor allem wird ein größerer Energieverbrauch eintreten. Deshalb muß der Regler dafür sorgen, daß die Leistung auf den Bedarfswert abgestimmt angeboten wird und der vorgesehene Saugdruck erhalten bleibt, oder – was bei elektronischen Reglern zusätzlich möglich ist – daß der Saugdruck den für die jeweilige Leistung optimalen Wert annimmt. Dann erhält man den effektivsten Betrieb. In Tabelle 1 sind die in der gegenwärtigen Praxis wichtigsten Konzeptionen von Verbundanlagen und die Regelungsverfahren zusammengestellt, wobei nicht jede Verbundkonzeption mit jedem Regelverfahren kombinierbar ist. Dabei sind solche energetisch ungünstigen Konzeptionen wie z. B. Heißgasbypaßregelung oder Drosselregelung nicht mit betrachtet. Bei den Regelungen darf dabei nicht nur der quasistatische Vorgang des Betriebes bei einem sich eingestellten Betriebspunkt betrachtet werden, sondern es muß vor allem bei den modernen elektronischen Regelungen die Dynamik der Übergangsprozesse von einem zum anderen Zustand berücksichtigt werden.

Ein-Aus-Betrieb

Der einfachste Fall liegt vor, wenn ein Zweierverbund von zwei benachbarten Druckdifferenzen mit einem Duostat geregelt wird. Wenn die angebotene Leistung größer als der Bedarf ist, sinkt der Saugdruck und beim Unterschreiten der eingestellten Druckdifferenz wird der erste Verdichter abgeschaltet. Steigt der Saugdruck weiter, wird beim Erreichen der zweiten Differenz auch der zweite Verdichter stillgesetzt. Dann steigt der Druck natürlich wieder an, und die Verdichter gehen mit einer gewissen Hysterese nacheinander wieder in Betrieb. Dabei kann bei entsprechend geringer Leistungsanforderung schon ein Verdichter für die Abdeckung des Bedarfes genügen und im Ein-Aus-Betrieb pendelnd laufen, bis der zweite Verdichter wieder benötigt wird und durch den steigenden Saugdruck wieder zugeschaltet wird.

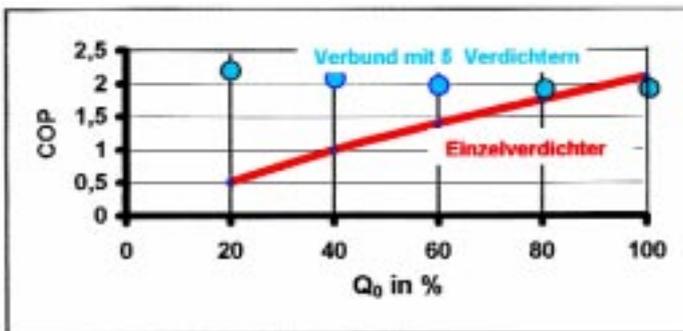


Bild 3 Leistungsverhalten einer Verbundanlage mit 5 Verdichtern im Verhältnis zu einer Einzelverdichteranlage

Ein weiterer wesentlicher Anwendungsgrund für Verbundanlagen ist die Handhabungsmöglichkeit durch die kälte-technischen Handwerksbetriebe, die natürlich mit den kleineren Einheiten besser umgehen können, als mit einzelnen Großaggregaten, diese auch räumlich oft besser unterbringen können und mit de-

jedem Leistungswert eine Temperaturdifferenz am Verdampfer und eine am Verflüssiger und damit ein Verdampfungsdruck und ein Verflüssigungsdruck. Im weiteren wird nur die Verdampferseite betrachtet, da diese, außer bei Wärmepumpen, Ausgangspunkt für die Verdichterregelung ist. Die Regelung ist so zu konzipieren, daß der Verdampfungsdruck mög-

Verbundkonzeption	Regelimpuls
<ul style="list-style-type: none"> • Verdichter Ein-Aus, • Verdichter Ein-Aus und verdichterinterne Regelung überlagert • Verdichter an gemeinsamem FU • Je Verdichter ein FU • Verdichter mit FU und Verdichter ein-aus parallel • Getaktete Verdichter und Flüssigkeitsventile • FU bzw. getaktet und verdichterinterne Regelung überlagert 	<ul style="list-style-type: none"> • Differenzdruckschalter für zwei oder mehrere statische Differenzdruckbereiche, elektro-mechanisch oder elektronisch • Druckdifferenzoptimierung • Druckänderungsgeschwindigkeit • Temperaturdifferenz Soll-Ist

Tabelle 1 Mögliche technische Optionen bei der Steuerung von Verbundanlagen

schnittlich länger ist, weil die Kälteleistung mit abnehmendem Saugdruck immer geringer wird. Wenn die Schalthäufigkeitsbedingung zulässt, die letzten Laufminuten abzukürzen, dann wird der Betrieb energetisch effektiver. Das entspricht zwar nicht einer Anhebung des Saugdrucksollwertes entsprechend der erforderlichen geringeren Leistung, aber der mittlere Saugdruck liegt höher als bei konstanter Schaltdifferenz.

Dynamische Saugdruckberücksichtigung

Die vorausschauende Berücksichtigung des Saugdruckes zur besseren Kompen-

Bei dieser einfachen Regelung pendelt der Saugdruck zwischen den fest eingestellten Werten und man kann die Möglichkeit seiner Anhebung infolge der geringeren Temperaturdifferenzen bei geringerem Massestrom nicht nutzen. Die eingestellte Schaltdifferenz am Pressostaten ergibt sich aus der technisch möglichen sicheren Schalthäufigkeit der Verdichter. Bei kleiner eingestellter Differenz und geringer Leistungsanforderung schalten die Verdichter öfters als bei großer Schaltdifferenz und Leistungen nahe der Auslegung. In der Praxis muß man bei Normal- und Tiefkühlung mit Temperaturdifferenzen von mindestens +/- 5 K rechnen, was sich sowohl leistungsmäßig als auch für die Kühlgutlagerung nachteilig auswirkt. Diese Lösung wird deshalb vorwiegend für kleine Anlagen in Betracht kommen, bei denen die Einfachheit und die geringen Installationskosten im Mittelpunkt stehen.

Eine bessere Anpassung zwischen Leistungsbedarf und Angebot ergibt sich bei Verwendung von Verdichtern mit einer zusätzlichen verdichterinternen Regelung, z. B. Saugventilabhebung bei Hubkolbenverdichtern oder Schieberregelung bei Schraubenverdichtern. Dann benötigt man aber entsprechend der Stufenzahl eine größere Anzahl von Schaltimpulsen, so daß zwar die Stabilität des Betriebes und der Energieverbrauch besser werden können, die Zulufttemperaturdifferenz jedoch kaum geringer wird.

Eine Verbesserung kann man mit dem als Energiesparmodul bekannt gewordenem System erreichen [2]. Dabei optimiert ein elektronischer Regler die Schaltdifferenz in Abhängigkeit vom Lastzustand. Dem liegt folgender Gedanke zu Grunde: Bei Auslegungslast gibt es einen konstanten Saugdruck und der Verdichter läuft im Dauerbetrieb. Je geringer die Last wird, desto häufiger schaltet bei konstanter Schaltdifferenz der oder die Verdichter. Die Schaltdifferenz sollte dabei so eingestellt sein, daß bei geringster zu erwartender Last die zulässige Schalthäufigkeit

eingehalten wird. Bei den Betriebspunkten zwischen Minimal- und Maximallast fährt der Verdichter dann immer den geringen Saugdruck an, der sich aus der eingestellten Differenz ergibt, obwohl er aus Gründen der Schalthäufigkeit schon

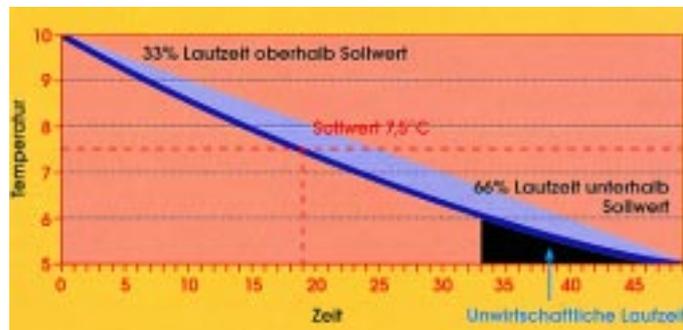


Bild 4 Verdampfungstemperaturverlauf bei einer festen Schaltdifferenz (nach Ries[2])

bei einer geringeren Schaltdifferenz, also bei einem höheren und damit energetisch günstigeren Saugdruck abschalten könnte. Diese geringere Schaltdifferenz errechnet das Energiesparmodul und der Sollwert des Abschaltdruckes wird entsprechend angehoben, so daß der Verdichter im neuen Regime mit einem besseren COP-Wert arbeitet. Aus Bild 4 kann man ersehen, daß bei fester Schaltdifferenz die Laufzeit unterhalb des Mittelwertes überdurch-

sation seiner Schwankungen und die reglerinterne Berechnung des Sollwertes in Abhängigkeit von der Enthalpiedifferenz der Zuluft durch eine Temperatur- und Feuchteberücksichtigung führt zur optimalen Ansteuerung von Verdichterreglern, sowohl für den Ein-Aus-Betrieb als auch für die Frequenzsteuerungen. Anhand des Bildes 5 soll die Funktion näher erläutert werden [3]:

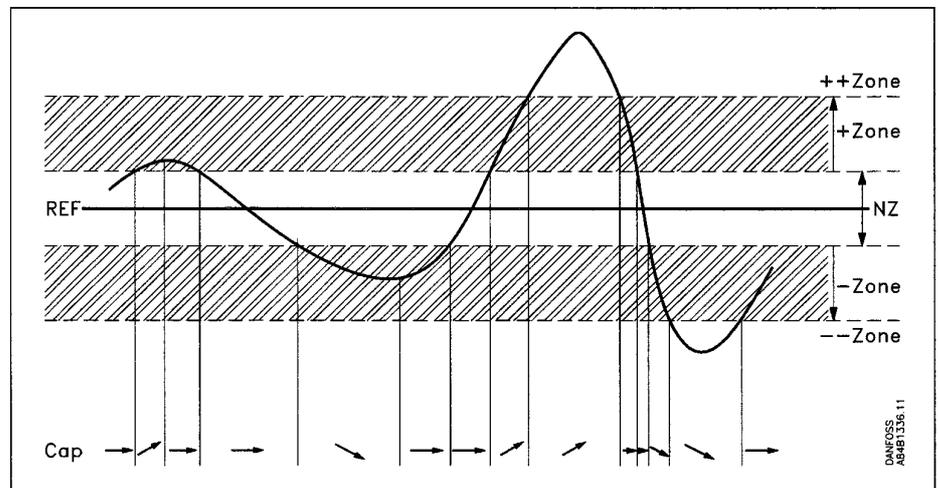


Bild 5 Saugdruckverlauf und Reglerverhalten bei der adaptiven Saugdruckregelung

Der Regler soll auf der Basis von analogen Meßsignalen eines Druckmeßumformers den Saugdruck möglichst konstant und auf dem richtigen Wert halten. Der Regler reagiert nicht auf die Druckdifferenz, sondern auf den Druckgradienten. Er wirkt als I-Regler für Ein-Aus-Betrieb und PI-Regler für Drehzahlregelung. In der Neutralzone stimmen Leistungsangebot und Leistungsbedarf so gut überein, daß keine Schaltungen erfolgen. In den +/-Zonen wird verzögert ein- oder ausgeschaltet, je nachdem ob der Druck steigend oder fallend ist. In den ++/--Zonen erfolgt die Schaltung mit den größten Verzögerungszeiten. Bei Saugdrücken unterhalb einer festgelegten Grenze wird dann die Kühlung ganz ausgeschaltet.

Bei stufiger Verdichterschaltung können bis zu 9 Stufen angesteuert werden, wobei kleine Stufen früher als größere geschaltet werden. Im Verbund erfolgt eine Umstellung der Stufen an der Grenze zwischen zwei Verdichtern. Diese Funktion bewirkt, daß der zuletzt gestartete Verdichter nicht ausschaltet, bevor die Regelung die letzte Stufe des zuvor gestarteten Verdichters ausgeschaltet hat.

Bei der Drehzahlregelung wird die stufige Schaltung der Grundleistungsstufen mit der variablen Leistung des geregelten Verdichters abgestimmt angesteuert. Innerhalb des Leistungsbereiches der Drehzahlstellung erfolgt eine stufenlose Regelung. Über- oder unterschreitet der Leistungsbedarf die Möglichkeit der stufenlosen Regelung, wird die nächste Stufe nach einem festgelegten Regime ein- oder ausgeschaltet.

Regler mit einer derartigen Konfiguration liefern optimale Ergebnisse und liegen auch den im folgenden beschriebenen Verfahren für die saugdruckabhängige Regelung zu Grunde.

Frequenzumrichterantriebe

Die Nutzung von Frequenzumrichtern zur Leistungsanpassung der Verdichter an den wechselnden Bedarf der Anlage erfolgt in der Kälte- und Klimatechnik in zunehmendem Maße, auch in Verbindung mit Verbundanlagen. Primäres Ziel ist dabei die Reduzierung des Energieaufwandes gegenüber konventionellen Leistungsanpassungsverfahren.

Bei der Anwendung von Frequenzumrichtern für den Verdichterbetrieb sind die von den Herstellern der Verdichter vorgegebenen zulässigen Stellbereiche zu beachten. In Tabelle 2 sind die Werte für einige Produkte nach Firmeninformationen zusammengestellt.

Hersteller	Verdichtertyp	Frequenzbereich (Hz)
Bitzer	Hubkolbenverdichter Schraubenverdichter	30 bis 60, Sonderbereiche 25 bis 70 25 bis 60, Sonderbereiche 20 bis 87
Bock	Hubkolbenverdichter AM 4 und 5 Hubkolbenverdichter HG 3 Hubkolbenverdichter HG 4 bis 7	25 bis 75 30 bis 60 25 bis 60
Copeland	halbhermetische Hubkolbenverdichter hermetische Hubkolbenverdichter Compliant Scroll	25 bis 65 [DLL-401 (40X) DL5G-401 (40X) – nur bis 50 Hz] 50 bis 60 45 bis 65
Dorin	Hubkolbenverdichter	25 bis 60
Frigopol	Hubkolbenverdichter 7-DL-1 bis 46-DL-13 Hubkolbenverdichter 60-DL-1 bis 80-DL-30	35 bis 75 Hz 25 bis 60 Hz
Maneurop	hermetische Hubkolbenverdichter Performer Scroll	45 bis 65 45 bis 65 [zukünftig vielleicht bis 80]
L'Unite	hermetische Hubkolbenverdichter Rollkolbenverdichter	35 bis 60 35 bis 60

Tabelle 2 Zulässige Bereiche für die Antriebsfrequenz von Verdichtern (nach Schiessl-Unterlage)

Die Bedingungen des richtigen und sinnvollen Einsatzes von Frequenzumrichtern für Verdichterantriebe hat Wurm ausführlich untersucht und die physikalischen Zusammenhänge dargestellt, die bei Verbundanlagen zu beachten sind, um den Einspareffekt gegenüber Ein-Aus-Regelung einzelner Verdichter wirklich zu erreichen. Schon stufig geschaltete Verdichter ohne Frequenzumrichter mit Sollwertführung des Saugdruckes, der vorzugsweise nach der Raumluftenthalpie gesteuert wird, erreichen nämlich im Teillastbereich bemerkenswerte Energieeinsparungen gegenüber konventionellen thermostatischen Regelungen.

Im Bild 6 ist die Betriebsführung eines Zweiverdichterverbundes mit einem frequenzgestellten und einem Ein-Aus-Verdichter gezeigt.

stetig bis 50 % arbeitet, dann wieder auf Null schaltet, während der Ein-Aus-Verdichter startet und mit konstantem Leistungsangebot bis 75 % arbeitet. Danach schaltet der frequenzgestellte Verdichter wieder zu.

Das Regelergebnis ist wegen der Unstetigkeiten und dem geringen P-Anteil nach nicht sehr befriedigend. Bedeutend bessere Ergebnisse erzielt man mit zwei getrennt frequenzgestellten Verdichtern. Man nähert sich mit Schwankungswerten der Verdampfungstemperatur von +/- 2 K mit den Frequenzumrichterantrieben offensichtlich einem Grenzwert an Gleichmäßigkeit, der vor allem deshalb energetisch vorteilhaft ist, weil der enthalpiegeführte Sollwert des Saugdruckes das wesentliche Einsparpotential in sich birgt [4] [5]. Im Bild 7 ist zu erkennen, daß die verbleibende Saugdruckschwan-

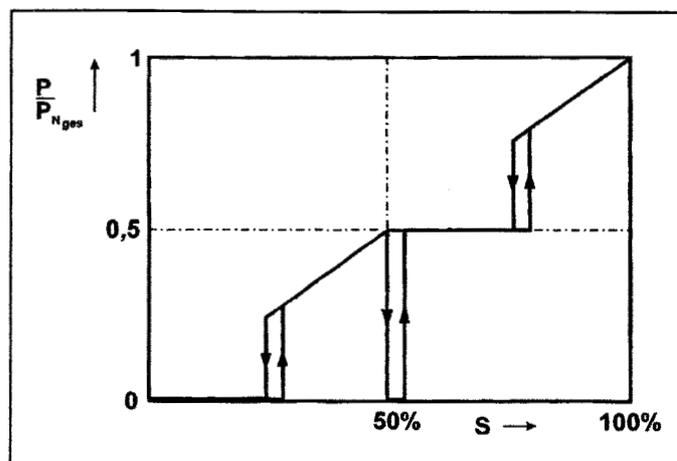


Bild 6 Steuerkennlinie einer Verbundanlage mit einem geschalteten und einem zwischen 0,5 und 1 frequenzgestellten Verdichter (nach[4])

Der auf 50 % eingeschränkte Stellbereich bedeutet, daß der erste Verdichter erst bei 25 % Lastanforderung anläuft,

bei Regelung auf konstanten Saugdruck noch bis ca. +/- 0,2 bar und entsprechend +/- 2,5 K beträgt. Die Kühllufttemperatur schwankt dabei nur um wenige zehntel K.

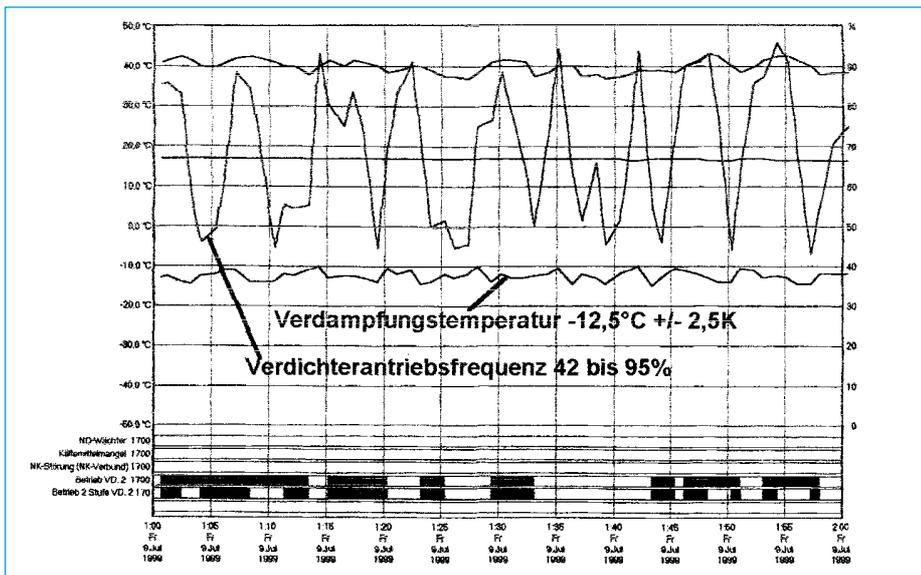


Bild 7 Verlauf von Saugdruck und Verdichterdrehzahl bei einer Verbundanlage mit Konstansaugdruckregelung (weiterhin sind oben die Verflüssigungstemperatur und in der Mitte die Umgebungstemperatur mitgeschrieben)

Energetisch muß man aber beachten, daß der Betrieb nur eines Verdichters am Frequenzumrichter durchaus nicht ausgeschlossen werden sollte, z. B. nimmt der nichtarbeitende Verdichter bei stufiger Schaltung gar keine Energie auf, die zusätzlichen Verluste durch den Frequenzumrichterantrieb infolge Eigen Erwärmung, durch Netz- und Motorfilter und der erforderlichen Schaltschrankbelüftung entfallen. Deshalb soll man die Entscheidung von der wirklichen Notwendigkeit einer extremen Saugdruckkonstanz ökonomisch sinnvoll treffen.

Die Nutzung der Frequenzen oberhalb der Nennfrequenz erfordert die Beachtung des Drehmomentangebotes. Im allgemeinen wird das konstante Moment, das ein Verdichterantrieb erfordert, nur bis zur Nennfrequenz angeboten, danach nimmt es mit steigender Frequenz ab. Wenn man den Verdichter trotzdem darüber arbeiten lassen möchte, und es wird ja bis 150 % und teilweise darüber angeboten (siehe Tabelle 1), dann muß man den Frequenzumrichter für das erforderliche Drehmoment bei Höchstdrehzahl auslegen, wodurch er für den Bereich unterhalb dieses Wertes überdimensioniert ist, siehe vereinfachte Darstellung im Bild 8. Man erkauf sich die hohe mögliche Drehzahl und den Vorteil des dadurch kleineren Verdichters mit allen Nachteilen der Überdimensionierung.

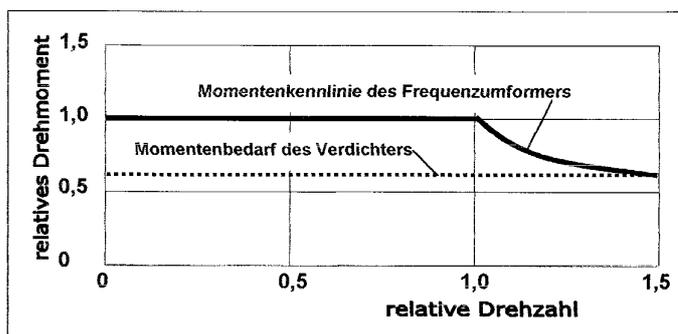


Bild 8 Erforderliches Drehmomentangebot und Drehmomentbedarf eines Verdichters für die Höchstdrehzahl 75 Hz

Es existiert allerdings eine Lösung, die durch entsprechende Modulation der Ausgangsspannung bis zu 1,15 das konstante Drehmoment bietet, wodurch sich bei der Dimensionierung ein Vorteil zumindest bis nahe 60 Hz ergibt [6].

Die weiterhin gegebenen Vorteile des Frequenzumrichters liegen in den günstigen Bedingungen für die Expansionsventile mit gleichmäßiger Verdampferfüllung, im optimalen Verdampferdruck und in der gleichmäßigeren Temperatur- und Feuchteführung im Raum. Dafür muß man dann auch die zusätzlichen Anschaffungskosten bezahlen.

Der Nutzeffekt von Frequenzumrichtern bei der optimalen Steuerung von Verbundanlagen ist nicht „a priori“ gegeben, sondern erfordert eine genaue Analyse der Anlagen- und Betriebsbedingungen. In Zukunft sind Automatisierungslösungen zu erwarten, die sowohl Verdichter als auch Verflüssigerlüfter regelungstechnisch in ein Gesamtkonzept einbinden, wie es nach dem in Literatur [3] beschriebenen System schon machbar ist.

Pulsweitenmodulierte Verdampferfüllung

Neue Potentiale für eine optimale Regelung können erschlossen werden, wenn die Frequenzumrichter nur als Stellglieder benutzt werden und die Regelung in einem übergeordneten System erfolgt, das die Einschaltdauer, die Temperaturen und die Schaltzeitpunkte der Kühlstellen kennt. Auf diese Weise kann der Betrieb des Verdichters bei möglichst hohem Saugdruck erfolgen und die Magnetventile der Kühlstellen können nach einem optimierten Zeitplan angesteuert werden, wie es bei dem von E. Holzhäuser [7] beschriebenen System verwirklicht ist.

Diese Anlagenkonfiguration kommt ohne Frequenzumformer aus, liefert aber immer nur so viel Kältemittelmassenstrom zu den Verdampfern, wie es der Kälteleistung entspricht. Die Einschalthäufigkeit der Verdichter wird im Rahmen der

zulässigen Werte vorgegeben, z. B. viermal je Stunde, und die Laufzeit richtet sich nach dem Leistungsbedarf. Bei maximaler Leistung laufen die Verdichter im Dauerbetrieb. Die Verbundverdichter werden entsprechend sinnvoll versetzt geschaltet, und die Zuteilung des Kältemittels erfolgt durch Öffnen von Magnetventilen vor dem Verdampfer nach einem ebenfalls zwischen den einzelnen Kühlstellen abgestimmten Zeitplan in Abhängigkeit vom Kältemittelbedarf des Verdampfers. Auf diese Weise können Verdichterverlaufzeiten und Magnetventilöffnungszeiten so aufeinander abgestimmt werden, daß ein möglichst konstanter Kältemittelmassenstrom entsteht. Je mehr Verdichter im Verbund arbeiten und je mehr Kühlstellen angeschlossen sind, desto besser läßt sich diese Zielstellung erfüllen. Der Sollwert des Saugdruckes wird auch hierbei von der Enthalpiedifferenz bestimmt, so daß er mit sinkendem Leistungsbedarf ansteigt. Es ergeben sich bei günstiger Konstellation des Verdichterverlaufes und der

Magnetventilansteuerung ähnliche Saugdruckverläufe wie bei den frequenzgeregelten Verbundanlagen entsprechend Beispiel Bild 7. Damit hat man eine Lösung mit geringeren Kosten als bei Frequenzumrichterbetrieb, wenn auch der kälte-technische Effekt wegen des teilweise doch unkontinuierlichen Kältemittel-massestroms nicht ganz so optimal ausfällt wie bei den Frequenzumformerantrieben. Auch in diesem Falle muß man in Abhängigkeit von den realen Erfordernissen an der Kühlstelle und dem dafür erforderlichen Aufwand entscheiden.

Was der Regler noch alles kann

Die Regler, die die zuvor genannten Aufgaben erfüllen, sind hochwertige und integrierte Schaltungen. Die Entwicklungstendenz geht dabei in die Richtung, ihm weitere Aufgaben zu übertragen, anstatt dafür weitere Einzelregler oder Überwachungsschaltungen zu installieren. Es ist also zweckmäßig, daß man möglichst alle derartigen Aufgaben von ihm mit erledigen, d. h. das gesamte Anlagenmanagement ausführen läßt. Dazu gehören neben der Ansteuerung aller Leistungsstufen die Ansteuerung der elektronischen Einspritzventile, die vor allem in Verbindung mit hochwertigen Verbundanlagenreglern ihre Vorteile ausspielen können, sowie

- Überwachung der sicherheitsrelevanten Anlagenwerte, wie zulässiger Hochdruck, Motorwicklungstemperatur, Druckstützentemperatur u. ä.,
- Steuerung der Verflüssigerlüfter, ggf. auch mit Drehzahlstellung,
- Steuerung der Flüssigkeitseinspritzung in die Saugleitung zur Einhaltung bestimmter Temperaturregimes,
- Ausblendung von Sperrfrequenzen bei Frequenzumformerantrieben, um Resonanzstellen zu umgehen,
- optimale Steuerung der evtl. vorhandenen Wärmerückgewinnung,
- Steuerung der Ölheizung oder der Abpumpschaltung,
- Steuerung der Nachtabsenkung bei der Supermarktkühlung oder Büroklimatisierung,
- Überwachung anderer Automatik und Meldung von Fühlerausfällen,
- Steuerung der Kühlregaljalousien und der Beleuchtung in Supermärkten,
- Fernmonitoring der Betriebswerte zum Anlagenmanager und zur Wartungsfirma,
- automatische Erstellung des Anlagenprotokolls,

und weiterer Funktionen, die für die jeweilige Anlage wichtig oder interessant sind. Mit dieser komplexen Funktion neuzeitlicher Verbundanlagensteuerungen und -regelungen kann neben dem optimalen Energieverbrauch die Zuverlässigkeit der Anlagen erhöht und die Kühlgutqualität bzw. das Raumklima verbessert werden. Für solche Regelungen erübrigt sich im allgemeinen die Frage nach Einsatz elektronisch gesteuerter Einspritzventile, sie sind hierbei immer am richtigen Fleck.

Die Planer und Projektanten von neuzeitlichen Verbundanlagen und ihrer Steuerungen sollten sich die erforderlichen Kenntnisse zu den beschriebenen Verfahren aneignen, wenn die erwarteten Effekte auch eintreten sollen. Ihnen sei ans Herz gelegt, sich mit der Thematik intensiv zu befassen. Es gibt eine Reihe von Anbietern mit durchaus vergleichbarer Technologie. Zahlenmäßig bewertbare Vergleiche der unterschiedlichen Produkte sind leider ein unerfüllter Wunschtraum. Man muß sich seinen Anwendungsfall selbst durchrechnen oder zumindest abschätzen können. Und um aus Vergleichen die richtige Entscheidung abzuleiten, braucht man das erforderliche Wissen. Viel zu wenig wird vor der Entscheidung wirklich alles hinterfragt. Noch zu oft wird das Produkt verwendet, das den niedrigsten Preis hat oder dessen Anbieter die „besten Angebotsargumente“ hat. Die Praxis zeigt, daß das Potential dieser hochwertigen Technik viel größer ist, als meist ausgeschöpft wird. Es ist schade um manche Entscheidung, die sich später als falsch erweist, oder um manche ungenutzte Option, die dem Kälte- und Klimatechniker aus Wissensmangel entgeht.

Verbundanlagen richtig projektieren

Die aufgezeigten Vorzüge der Verbundverdichteranlagen sind für viele Anwendungsfälle aber vertaner Aufwand, weil die Anlagenkonzeption fehlerhaft ist. Der sichere Betrieb der Verdichter erfordert eine deutlich erhöhte Aufmerksamkeit hinsichtlich der die Betriebssicherheit bestimmenden Fakten gegenüber dem Einzelverdichterbetrieb. Als Tribut an die günstige Verfahrensweise bei der Verwendung von Verbundanlagen mit teilweise bis zu 10 Verdichtern muß man sich mit den Installations- und Betriebsproblemen des Parallelbetriebes in einem Kältekreislauf auseinandersetzen. Bei Serienerzeugnissen der traditionellen Anbieter ist das meist keine Frage, aber bei den vielen Einzelprodukten kleiner Kältetechnikfirmen hapert es oft damit.

Die Ölräume und die gaseitigen Ansaugräume der parallelen Verdichter sind mit ausreichenden Querschnitten zu verbinden oder Ölspiegelregulatoren sind zu verwenden, um den Ölstand in den stehenden und in den laufenden bzw. in den unterschiedlich laufenden Verdichtern immer auf sicherem Niveau zu halten. Bei Betriebszustandsänderungen gibt es dann keine unzulässigen Ölverlagerungen. Wenn die Strömungsgeschwindigkeiten in der gemeinsamen Saugleitung bei Teillastbetrieb zu gering werden, führt man zwei oder mehr parallele Leitungen, mit unterschiedlichen Durchmessern und mit Syphons zur stufenweisen Sperrung von Querschnitten durch die sich bei geringer Geschwindigkeit bildenden Ölsäcke aus. Auch Ölabscheider zur Erhöhung der Zuverlässigkeit sind durchaus gebräuchlich, auch wenn sie in Einzelverdichteranlagen außer bei Ammoniak kaum noch verwendet werden müssen. Eine besondere Rolle spielt das bei nach oben führenden Saugleitungen.

Die parallelen Verdichter sind mit einem Rückschlagventil in der Druckleitung auszurüsten, um Kältemittelkondensation in den stehenden Verdichter zu verhindern bzw. auf ein Mindestmaß zu begrenzen. Das Rückschlagventil muß wegen der an dieser Stelle unvermeidlichen Druckschwankungen speziell für Verdichterparallelbetrieb ausgelegt sein, d. h. es benötigt eine stärkere Feder, als die in der Kältetechnik sonst üblichen Ventile. Andererseits darf die Feder bei den am Frequenzumformer betriebenen oder mit interner Leistungsregelung versehenen Verdichter nicht so stark sein, daß der Ventilkegel bei verringertem Durchflußstrom schwingt bzw. schlägt.

Infolge der Verwendung von Rückschlagventilen ist auch zu überprüfen, ob der stehende Verdichter mit dem momentreduzierten Antrieb des Starters am Frequenzumformer oder Sanftstarter überhaupt anlaufen kann. Andernfalls ist der stehende Verdichter mit Direkteinschaltung oder Druckentlastung zu starten.

Alle parallelen Verdichter sind möglichst gleichmäßig lange bei den jeweiligen Konditionen zu betreiben, um sie gleichmäßig verschleifen zu lassen. Dazu ist die Startfolge durch die Software des Reglers in bestimmten Abständen zu wechseln.

Bei getrennter Ansteuerung der einzelnen Verdichter genügt ein Frequenzumformer für den Pilotverdichter und ein billigerer Sanftanlasser für den Folgever-

dichter, wenn man auf die gleichmäßige Benutzung verzichtet und die dabei auftretenden genannten Regelungsprobleme beherrscht werden bzw. wenn diese nicht relevant sind.

Es wird auf Grund von Betriebserfahrungen auch empfohlen, die sicherheitsbedingten Ausschaltfunktionen nur von Hand zurücksetzen zu lassen, um zur Beseitigung der Ausschaltursache gezwungen zu werden. Natürlich sind davon solche Fälle ausgenommen, bei denen von vornherein zunächst eine bestimmte Anzahl von automatischen Rückschaltungen zugelassen sind, z. B. drei bei der Motorwicklungstemperatur.

Teilweise übliche Leistungsregelungen von Einzelverdichtern, wie Heißgasbypaß, Saugdrosselung oder Saugdruck-Konstantdruckregler, sind bei den neuzeitlichen Verbundreglern nicht mehr angebracht. Sie beeinflussen nicht nur die Regelungsstabilität negativ, sondern widersprechen völlig dem Ziel des energetisch optimierten Anlagenbetriebes.

Es soll noch auf die „unechten“ Verbundanlagen hingewiesen werden. Darunter wird der ganz gewöhnliche Parallelbetrieb von zwei oder mehreren Verdichtern auf einen, zwei oder mehrere gleichartige Verdampfer an einer gemeinsamen oder an getrennten, aber gleichartigen Kühlstellen verstanden, wie es z. B. bei manchen Kälte- oder Klimaanlageanlagen vorkommt. Alles läuft parallel. Das ist nicht optimal. In diesen Fällen ist der Betrieb jedes Verdichters auf einen eigenen kältetechnisch vom anderen getrennten Kreislauf die bevorzugte Schaltung. Dann gibt es kaum zusätzliche Anforderungen gegenüber denen des Einzelverdichters. Man erreicht einen komplikationslosen Betrieb, hat kaum höhere Installationskosten, da man auf die Maßnahmen zur Gewährleistung der Zuverlässigkeit von Verbundanlagen verzichten kann, und weil die über die Lebensdauer anfallenden Gesamtkosten meist günstiger werden [8]. □

Literatur

- [1] Helmke, Th.: NH₃-Verbundanlagen mit Schraubenverdichtern kleiner Leistung, KK Die Kälte & Klimatechnik, 5/2000, S. 42–52.
- [2] Ries, G.: Energieeinsparung in Kälte- und Klimaanlageanlagen durch Optimierung der Verdichterlaufzeiten, KK Die Kälte & Klimatechnik, 10/1997, S. 794–801.
- [3] Funktionsbeschreibung: Regler zur Leistungsregelung AKC 25H5, Danfoss RC.1J53.03, 6/2000.
- [4] Wurm, P.: Frequenzumrichter mit Feldbusanschluß, KK Die Kälte & Klimatechnik, 6/2000, S. 46–58.
- [5] Schuster, B.: Frequenzumrichter in der industriellen Kältetechnik, CCI 3/2000, S. 116.
- [6] Adolph, U.: Optimale Verdichterantriebe – Vorteile durch Frequenzstellung und Softstart, KK Die Kälte & Klimatechnik (1999)10, S. 90–97.
- [7] Holzhäuser, E.: Discpack 2 (nutzt Einsparpotentiale), KK Die Kälte & Klimatechnik10/1999, S. 131–138.
- [8] Adolph, U.: Bedingungen für einen langlebigen Verdichterbetrieb, KK Die Kälte & Klimatechnik 11/1999, S. 36–47.