

Energieeinsparung durch Verdichter-Drehzahlregelung mittels Frequenzumformung

Leistungsregelung von Kompressions-Kälteanlagen

Andreas Ney, Dortmund

zum Autor

Prof. Dr.-Ing.
Andreas Ney,
Fachhochschule
Dortmund, Ener-
gie-, Wärme-,
Kälte-, Klima-
technik



Die energetischen Vorteile einer Leistungsregelung von Kompressions-Kälteanlagen mittels Verdichter-Drehzahlregelung durch Frequenzumformerbetrieb werden in Theorie und Praxis mittlerweile mehr und mehr erkannt [1] [2].

Zum quantitativen Nachweis dieser energetischen Vorteile wurden auf dem Klima-Kälte-Prüfstand der FH Dortmund entsprechende Versuche durchgeführt.

Im Vergleich dazu wurde auch die Leistungsregelung mittels eines Kondensator-Bypasses untersucht.

Einleitung

Kälteleistung sowie Verdichteraufnahmeleistung einer Kompressions-Kälteanlage hängen in entscheidendem Maß sowohl von dem Kondensations- als auch von dem Verdampfungsdruck der Anlage ab. Je kleiner diese Druckdifferenz ausfällt, je niedriger also der Kondensationsdruck und je höher der Verdampfungsdruck der Anlage ist, desto besser wird als das Verhältnis der beiden Leistungsgrößen, die Leistungszahl der Kälteanlage.

Kondensationsdruck sowie Verdampfungsdruck sind nun aber keine feststehende Größen, sondern werden zum einen durch die Umgebungstemperatur und zum anderen durch die Nutztemperatur des Kühlraumes sowie durch die Massenströme der Wärmesenke- bzw. Wärmequellenmedien (Wasser, Luft etc.) beeinflusst.

Die Kälteleistung selbst spielt dabei ebenfalls eine entscheidende Rolle, da sie die Temperaturveränderung der Sekundärmedien bestimmt. Kondensationstemperatur und Verdampfungstemperatur ergeben sich nämlich – mit einer gewissen Wärmeübertragertemperaturdifferenz – im wesentlichen aus den Austrittstemperaturen der Sekundärmedien.

Dies bedeutet im Falle einer Kälteleistungsreduzierung eine Verringerung der Kondensationstemperatur sowie eine Erhöhung der Verdampfungstemperatur. Als

Folge davon steigt die Leistungszahl der Kälteanlage, also ihre energetische Effizienz.

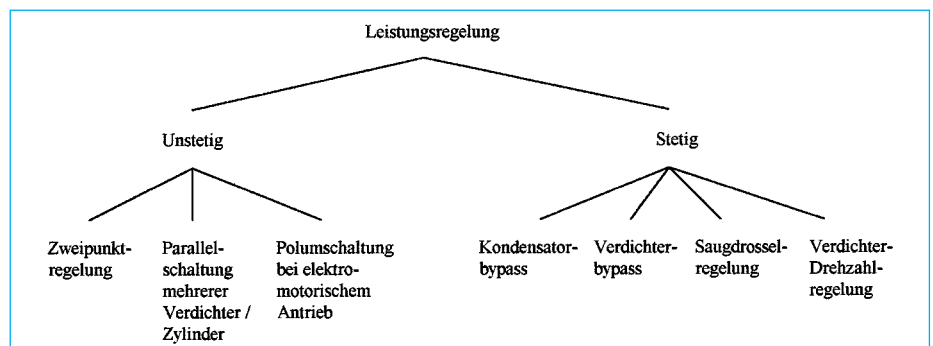
Der Kälteleistungsbedarf selbst hängt nun wiederum von der Umgebungs- bzw. Nutztemperatur der Kühlanlage ab. Mit sinkender Umgebungstemperatur bzw. steigender Nutztemperatur verringert sich der Kälteleistungsbedarf einer – auf die maximalen bzw. minimalen Temperaturwerte ausgelegten – Anlage.

Die Anpassung der abgegebenen Kälteleistung an den Kälteleistungsbedarf ergibt damit einen energetisch vorteilhaften Betrieb.

Verfahren zur Leistungsregelung von Kälteanlagen

Bei den Arten der Leistungsregelung von Kälteanlagen unterscheidet man zwischen stetigen und unstetigen Verfahren.

Das am häufigsten angewendete Regelungsverfahren, das praktisch bei allen kleineren Anlagen (z. B. bei Haushaltskühlschränken) aus Kostengründen praktiziert wird, ist die Zweipunktregelung. In Abhängigkeit von einem Temperaturwert wird – mit einer gewissen Schaltdifferenz – der Verdichter aus- bzw. eingeschaltet. Eine Leistungsanpassung findet dabei aber nicht statt. Neben den daraus resultierenden, energetischen Nachteilen hat



Verfahren zur Leistungsregelung von Kälteanlagen

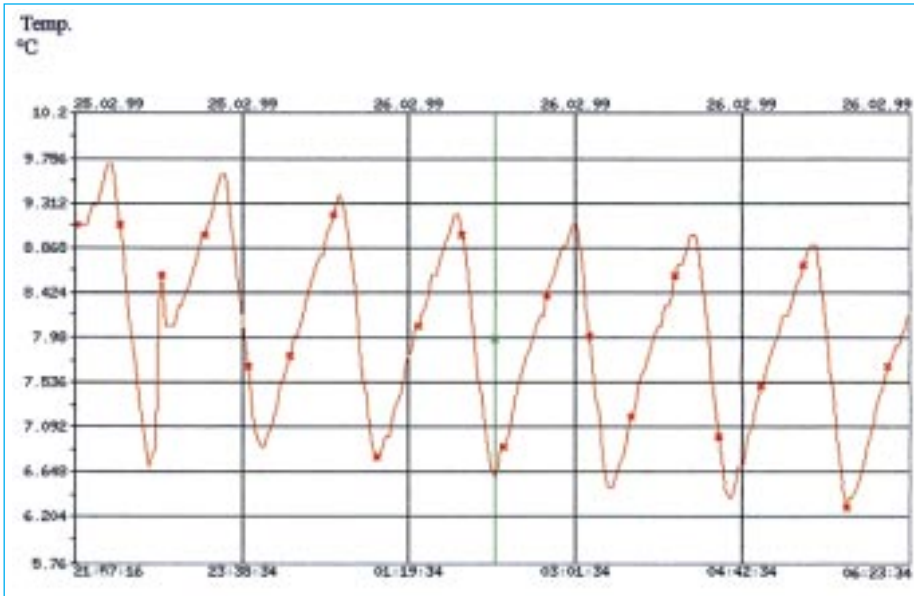


Bild 1 Temperaturverlauf in einem Haushaltskühlschrank

dieses Verfahren den weiteren Nachteil mehr oder weniger großer Temperaturschwankungen.

Eine mehrstufige, echte Leistungsanpassung ist durch die Parallelschaltung mehrerer Verdichter oder die Abschaltung einzelner Zylinder bei Mehrzylinderverdichtern – z. B. durch Ventilabhebung oder Drehrichtungsänderung des Motors – sowie durch die Realisierung mehrerer Verdichterdrehzahlen mittels Polumschaltung des elektromotorischen Antriebs möglich.

Hierdurch ergeben sich sowohl ein energetisch günstigeres Verhalten als auch geringere Temperaturschwankungen.

Ein Betrieb ohne wesentliche Temperaturschwankungen ist aber nur durch stetige Regelungsverfahren möglich.

Realisiert werden können diese durch Bypassschaltungen im Kältekreislauf, durch die Saugdrosselregelung und durch die Drehzahlregelung des Verdichterantriebs.

Die Drosselung des Kältemittelmassenstroms ist – wie alle Drosselungsverfahren – als energetisch ungünstig zu bewerten. Im Falle einer Kälteanlage ist damit eine – unnatürliche – Absenkung des Verdampfungsdruckes und eine höhere Verdichteraufnahmeleistung verbunden.

Ähnliches gilt für die Bypassschaltungen im Kältemittelkreislauf. Bereits verdichtetes Kältemittel wird im Falle des Verdichterbypasses an Kondensator und Verdampfer vorbeigeführt, im Falle des Kon-

densatorbypasses wird das Kältemittel nicht mehr im Kondensator verflüssigt, sondern direkt dem Verdampfer zugeführt.

Beide Verfahren vermindern die Kälteleistung stetig, wobei allein der Kondensatorbypass eine Leistungsregelung von 0 bis 100 % zulässt.

Die Drehzahlregelung des Verdichterantriebs war in der Vergangenheit den verbrennungsmotorischen Verdichterantrieben größerer Leistungen vorbehalten. Die Fortschritte in der Mikroelektronik erlauben heute durch Frequenzumrichtung auch eine kostengünstige Drehzahlregelung von Elektromotoren.

Vom Frequenzrichter her gesehen, wäre eine Leistungsregelung von 0 bis 100 % möglich. Besonderheiten der hauptsächlich in Kompressions-Kälteanlagen zum Einsatz kommenden Hubkolbenverdichter setzen hier aber drehzahlmäßige obere und untere Grenzen.

Die obere Drehzahlgrenze liegt in den Gesetzmäßigkeiten des Kurbeltriebs und der Ventile begründet, die untere Drehzahlgrenze wird durch die übliche, mit der Kurbelwellendrehzahl verbundene Realisierung der Schmierung bestimmt.



Bild 2 Klima-Kälteprüfstand der Fachhochschule Dortmund

Die Leistungsregelung einer Kälteanlage durch Drehzahlregelung des Verdichters bietet gegenüber den anderen Regelungsverfahren noch einen weiteren energetischen Vorteil, der im Verdichter selbst begründet liegt: Bei einer Reduzierung der Drehzahl des Verdichters sinkt der Antriebsleistungsbedarf überproportional zur Drehzahl, und zwar deshalb, weil zum einen der mechanische Wirkungsgrad des Verdichters – infolge geringerer Reibverluste – mit sinkender Drehzahl steigt und weil zum anderen die Drosselverluste in den Ventilen des Verdichters abnehmen. [3]

Klima-Kälteprüfstand der Fachhochschule Dortmund

Der Klima-Kälteprüfstand der Fachhochschule Dortmund beinhaltet neben verschiedenen klimatechnischen Komponenten (unterschiedliche Ventilatorensysteme, Wärmerückgewinnungssystem, „adiabate“ Kühlung, Dampfbefeuchtung) eine Kälteanlage zur Luftkühlung.

Es handelt sich hierbei um eine Anlage mit einem Vollhermetik-Hubkolbenverdichter mit polumschaltbarem Antriebsmotor, luftbeaufschlagtem Direktverdampfer und luftgekühltem Kondensator sowie einem thermostatisch gesteuerten Expansionsventil. Als Kältemittel wird (noch) R 22 eingesetzt.

Zur Untersuchung des Heißgas-Kondensatorbypasses wurde der Kältekreis mit einem speziellen, stetigen Dreiwegeventil mit Magnetantrieb, eingebaut zwischen Verdichter und Kondensator, ausgerüstet.

Zwischen Netz und Verdichter wurde ein Frequenzumrichter für konstanten Drehmomentverlauf geschaltet. Der mögliche Drehzahlbereich des Verdichters ergibt sich aus der Polumschaltbarkeit und der Freigabe des Verdichters für den 60-Hz-Betrieb mit 1500 bis 3600 U/min Nominaldrehzahl (25–60 Hz).

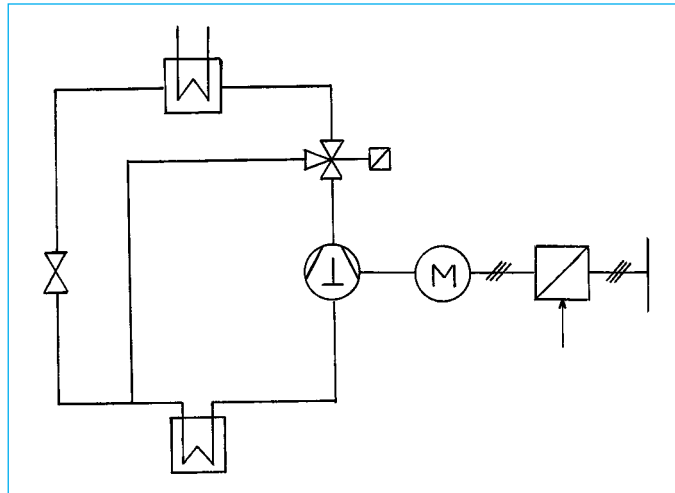


Bild 3 Kälteschema

Zur Klärung des energetischen Verhaltens der Drehzahlregelung und zur Bestimmung des tatsächlichen Regelbereiches wurden zunächst Meßreihen mit konstanten Lufteintrittstemperaturen und -massenströmen unter Variation der Verdichterdrehzahl gefahren.

Zur Bestimmung des energetischen Einflusses des Verdichters selbst wurden dann Meßreihen mit Drehzahlvariation aber konstantem Verdampfungs- und Kondensationsdruck durchgeführt. Die Kältemitteldrücke wurden hierbei durch Variation der Luftmassenströme konstant gehalten.

Als dritte Versuchsreihe wurde schließlich bei Verdichter-Nenn-drehzahl die Kälteleistung durch den Kondensatorbypass von 100 bis 0 % variiert.

Verdichter-Drehzahlvariation

Tabelle 1 zeigt die Kälteleistung, die Verdichteraufnahmeleistung¹⁾, die Leistungszahl sowie den Kondensations- und Verdampfungsdruck der Kälteanlage bei unterschiedlichen Drehzahlen des Verdichters bzw. Frequenzen für den Antriebsmotor.

Anhand der Kälteleistungszahl oder ihrem Kehrwert, der spezifischen Aufnahmeleistung, kann die energetische Verbesserung einer Drehzahlreduzierung eindeutig nachgewiesen werden.

¹⁾ Die Verdichteraufnahmeleistung wurde netzseitig vor dem Frequenzumrichter gemessen, sodaß alle durch den Frequenzumformer verursachten Verluste mitenthalten sind.

| f | Q ₀ | P _{el} ¹⁾ | ε | p _C | p ₀ | f/f _N | Q ₀ /Q _{0N} |
|------|----------------|-------------------------------|------|----------------|----------------|------------------|---------------------------------|
| Hz | kW | kW | - | bar | bar | % | % |
| 60 | 7,70 | 2,49 | 3,09 | 14,6 | 4,5 | 120 | 106 |
| 57,5 | 7,62 | 2,34 | 3,26 | 14,4 | 4,5 | 115 | 105 |
| 55 | 7,36 | 2,24 | 3,29 | 14,2 | 4,6 | 110 | 102 |
| 52,5 | 7,34 | 2,19 | 3,35 | 14,1 | 4,6 | 105 | 101 |
| 50 | 7,28 | 2,03 | 3,59 | 14,0 | 4,7 | 100 | 100 |
| 47,5 | 7,03 | 1,99 | 3,53 | 13,7 | 4,7 | 95 | 96 |
| 45 | 6,75 | 1,89 | 3,57 | 13,5 | 4,8 | 90 | 93 |
| 42,5 | 6,64 | 1,76 | 3,77 | 13,2 | 4,8 | 85 | 91 |
| 40 | 6,61 | 1,67 | 3,96 | 13,0 | 4,8 | 80 | 90 |
| 37,5 | 6,39 | 1,62 | 3,94 | 12,9 | 4,9 | 75 | 88 |
| 35 | 6,21 | 1,61 | 3,86 | 12,9 | 5,0 | 70 | 85 |
| 32,5 | 6,10 | 1,52 | 4,01 | 12,7 | 5,1 | 65 | 84 |
| 30 | 5,46 | 1,31 | 4,17 | 12,3 | 5,2 | 60 | 75 |
| 27,5 | 5,22 | 1,12 | 4,66 | 12,0 | 5,4 | 55 | 72 |
| 25 | 4,56 | 1,00 | 4,65 | 11,8 | 5,5 | 50 | 63 |

| | | | |
|-------------------------------|--|-----------------|--------------------------------|
| mit: | | | |
| f | Frequenz | f _N | Nenn-Frequenz |
| Q ₀ | Kälteleistung | Q _{0N} | Kälteleistung bei Nennfrequenz |
| P _{el} ¹⁾ | Verdichteraufnahmeleistung, elektrisch | ε | Leistungszahl |
| p _C | Kondensationsdruck | p ₀ | Verdampfungsdruck |

Tabelle 1 Kälteleistung, Verdichteraufnahmeleistung, Leistungszahl, Kondensationsdruck, und Verdampfungsdruck der Kälteanlage sowie prozentuale Kälteleistung bei Verdichterdrehzahlvariation

Bild 5 Kondensations- und Verdampfungsdruckverlauf der Kälteanlage bei 25-Hz-Betrieb

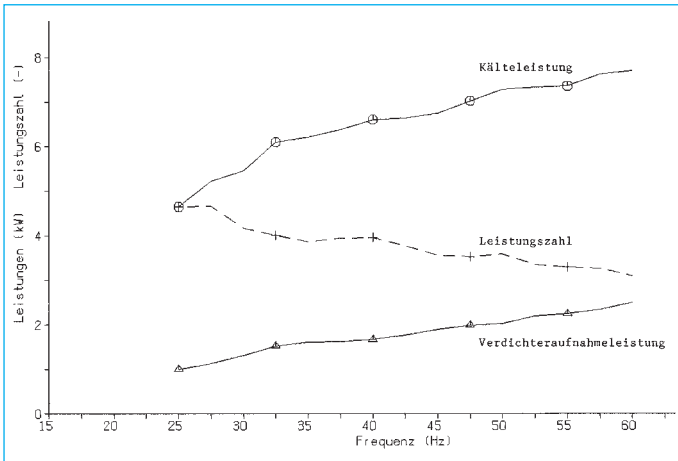
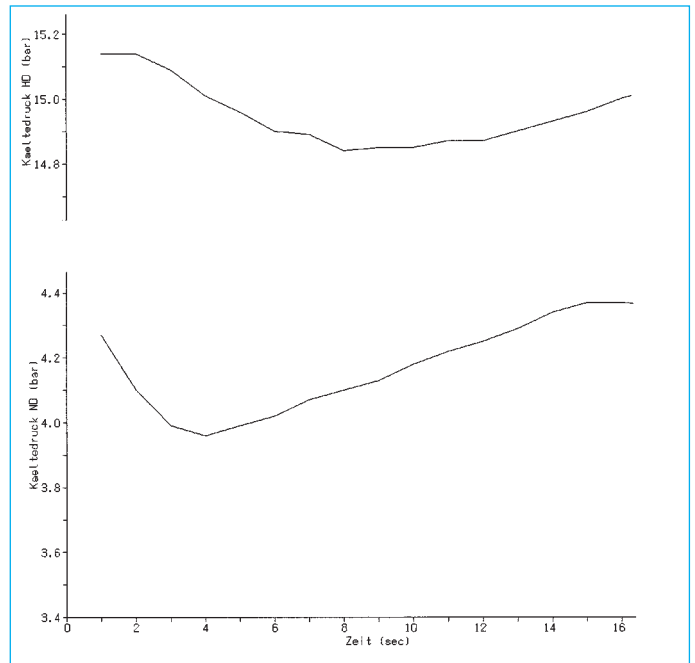


Bild 4 Kälteleistung, Verdichteraufnahmeleistung und Leistungszahl der Kälteanlage bei Verdichterdrehzahlvariation gemäß Tabelle 1

Bei maximaler Drehzahl liegt die spezifische Verdichteraufnahmeleistung bei 0,323 kW pro kW Kälteleistung, bei kleinster Drehzahl beträgt sie jedoch nur noch 0,215 kW pro kW.

Die Gründe für die energetische Verbesserung liegen hauptsächlich – wie bereits theoretisch beschrieben – eindeutig in den mit sinkenden Drehzahlen kleineren Druckdifferenzen des Kälteprozesses. Beträgt die Druckdifferenz zwischen Kondensationsdruck und Verdampfungsdruck bei maximaler Drehzahl in dem vorliegenden Beispiel rund 10 bar, so liegt sie bei kleinster Drehzahl nur noch bei rund 6 bar.

Durch die energetischen Vorteile der Drehzahlreduzierung verbessert sich jedoch auch die spezifische Kälteleistung und dadurch wird unter den vorliegenden Bedingungen der Regelbereich der Kälteleistung weiter eingeschränkt. Umfaßt nämlich der theoretische Regelbereich von der Drehzahl her gesehen bei einem 25–60 Hz-Betrieb den Leistungsbereich von 40–100 %, so liegt der tatsächliche Regelbereich der Kälteleistung jedoch nur zwischen 60 und 100 %. Hierbei wird – im Gegensatz zur Darstellung in Tabelle 1 – zur Ausnutzung der maximalen Regelbreite für die Nennleistung nicht die Nominale Drehzahl von 50 Hz, sondern die maximale Drehzahl von 60 Hz angesetzt.

Eine andere Erscheinung ist mit dem Frequenzumrichterbetrieb bei den üblichen Kälteanlagenkonfigurationen verbunden: Die Pendelungen des Hoch- und Niederdruckes bei kleinen Drehzahlen bzw. kleinen Kälteleistungen (Bild 5) zeigen, daß das herkömmliche thermostatische Expansionsventil von seinem Regelbereich

her gesehen den Leistungsbereich des Kältekreis nicht mehr schwingungsfrei ausregeln kann – was bereits in [3] modelltheoretisch vorausgesagt worden ist. Bei Einsatz eines Frequenzumrichters wäre daher die Ausrüstung des Kältekreis mit einem elektronischen Expansionsventil günstiger. Allerdings bewegen sich die hier beobachteten Druckpendelungen noch in einem Rahmen, in dem funktionelle oder energetische Nachteile nicht zu befürchten sind.

Verdichtereinfluß

Ein gewisser Anteil der energetischen Verbesserung der Leistungsanpassung durch Drehzahlreduzierung liegt, wie bereits erwähnt, im Verdichterverhalten selbst. Leistungswerte gemäß Tabelle 2 zeigen anhand der Leistungszahl diesen Einfluß auf.

| f Hz | Q_0 kW | P_{el} kW | ϵ – |
|-----------|-------------|----------------|-----------------|
| 55 | 7,86 | 2,28 | 3,44 |
| 50 | 7,46 | 2,16 | 3,45 |
| 40 | 6,07 | 1,74 | 3,48 |
| 35 | 5,67 | 1,62 | 3,49 |
| 30 | 4,95 | 1,39 | 3,56 |
| 25 | 4,06 | 1,11 | 3,66 |

Tabelle 2 Kälteleistung, Verdichteraufnahmeleistung und Leistungszahl der Kälteanlage bei Verdichterdrehzahlvariation – mit konstantem Kondensationsdruck sowie konstantem Verdampfungsdruck

Tabelle 2 und Bild 6 zeigen eine – wenn auch nur geringfügige – energetische Verbesserung der spezifischen Verdichteraufnahmeleistung mit sinkender Drehzahl. Die Gründe hierfür, die insbesondere im mechanischen Wirkungsgrad des Verdichters sowie in den Drosselverlusten der Ventile zu suchen sind, wurden modelltheoretisch in [3] beschrieben.

Kondensatorbypass

Als andere Möglichkeit der stetigen Leistungsregelung wurde versuchstechnisch auch der Kondensatorbypass untersucht. Leistungswerte gemäß Tabelle 3 wurden hierbei ermittelt.

Tabelle 3 und Bild 7 zeigen, daß es mittels der Kondensator-Bypassschaltung möglich ist, die Kälteleistung stetig von 100 bis 0 % zu regeln. Allerdings zeigen sie auch, daß die Verdichteraufnahmeleistung – trotz kleiner werdender Druckdifferenz – im Verhältnis zur Kälteleistung nur unterproportional abnimmt, woraus eine rapide Verschlechterung der Kälteleistungszahl resultiert.

Die Erklärung des energetischen Verhaltens ist einfach: es wird stets der gesamte Kältemittelmassenstrom verdichtet, aber nur ein Teilmassenstrom leistet Nutzen.

Damit hat sich an dieser Stelle die übliche Ansicht bezüglich der Kondensatorbypassregelung als eine Art „Energievernichtung“ also bestätigt.

Gegenüber der unstetigen „Ein-Aus“-Regelung bringen die stetigen Bypassregelungen also einen Energiemehrverbrauch mit sich. Ihr einziger Vorteil liegt in den möglichen konstanten Kühltemperaturen.

Energieeinsparung durch Frequenzumformerbetrieb

Am Beispiel einer Klimaanlage soll nachstehend die mögliche Energieeinsparung durch den Frequenzumformerbetrieb rechnerisch ermittelt werden (Tab. 4). Als Basis für die Berechnung dient eine Luftleistung von $30\,000\text{ m}^3/\text{h} = 10\text{ kg/s}$. Der Kälteleistungsbedarf setze sich aus einem konstanten Wert für die innere Last und einem temperatur- und feuchteabhängigen

| Stellungsgeber % | Q_0 kW | P_{el} kW | ϵ - | p_c bar | p_0 bar | Q_0/Q_{0N} % |
|---------------------|-------------|----------------|-----------------|--------------|--------------|-------------------|
| 0-30 | 7,8 | 2,03 | 3,8 | 14,8 | 5,1 | 100 |
| 35 | 5,3 | 1,90 | 2,8 | 13,0 | 5,7 | 68 |
| 40 | 4,1 | 1,80 | 2,3 | 12,0 | 6,1 | 53 |
| 45 | 2,9 | 1,68 | 1,7 | 11,0 | 6,6 | 37 |
| 50 | 1,6 | 1,50 | 1,1 | 10,2 | 6,9 | 20 |
| 60 | 0,5 | 1,43 | 0,3 | 9,6 | 7,2 | 6 |

Tabelle 3 Kälteleistung, Verdichteraufnahmeleistung, Leistungszahl sowie Kondensationsdruck und Verdampfungsdruck und prozentuale Kälteleistung in Abhängigkeit des Kondensatorbypasses bei Verdichternendrehzahl (50 Hz)

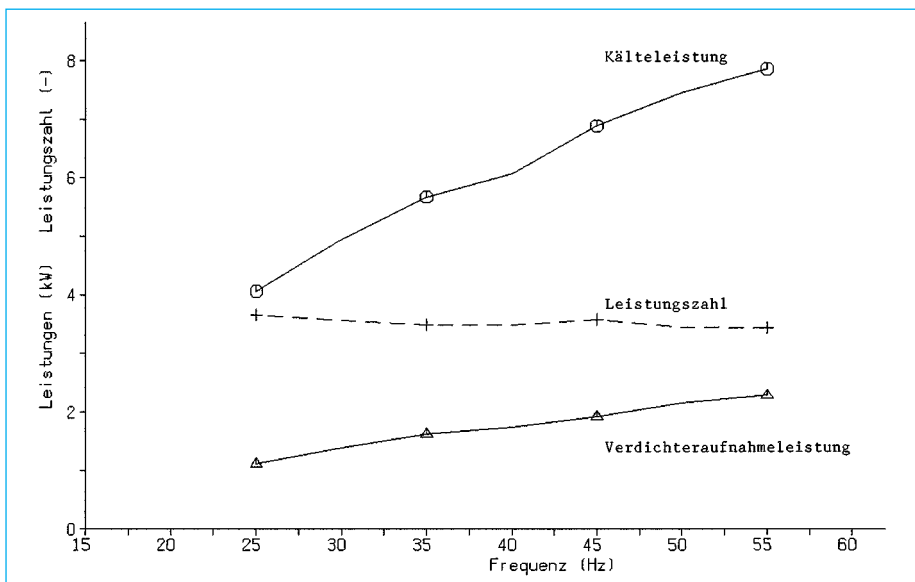


Bild 6 Kälteleistung, Verdichteraufnahmeleistung und Leistungszahl der Kälteanlage bei Verdichterdrehzahlvariation – mit konstantem Kondensationsdruck sowie konstantem Verdampfungsdruck gemäß Tabelle 2

Wert für die Außenluftkühllast zusammen. Daraus ergäbe sich eine Zulufttemperatur von 18 °C bzw. eine Zuluftenthalpie von 38 kJ/kg .

Die Häufigkeitswerte für den Aussenluftzustand sind der DIN 4710 [4] für den Standort „Essen“ entnommen.

Die Berechnung ist vereinfacht und soll lediglich einer überschlägigen Abschätzung der möglichen Energieeinsparung dienen.

Für eine wirtschaftliche Betrachtung stellt das Beispiel darüber hinaus – aufgrund der relativ geringen Betriebszeiten einer Klima-Kälteanlage – einen ungünstigen Anwendungsfall dar.

Andere Kälteanwendungen erreichen größere Betriebszeiten, was den Frequenzumformerbetrieb entsprechend wirtschaftlicher gestaltet.

Für den Idealfall einer 100%igen Drehzahl-Leistungsregelung weist das vorliegende Rechenbeispiel eine Energieeinsparung von fast 40% gegenüber der herkömmlichen, einstufigen Zweipunkt-Betriebsweise auf.

Im Realfall heute verfügbarer Kompressoren, bei denen die Drehzahlen nach unten hin begrenzt sind, ergibt sich aber immer noch eine Energieeinsparung von 30%.

Praxismessungen an einer Gewerbekälteanlage bestätigen mit einer realen Energieeinsparung von 25% die hier ermittelten theoretischen Werte [1] [2].

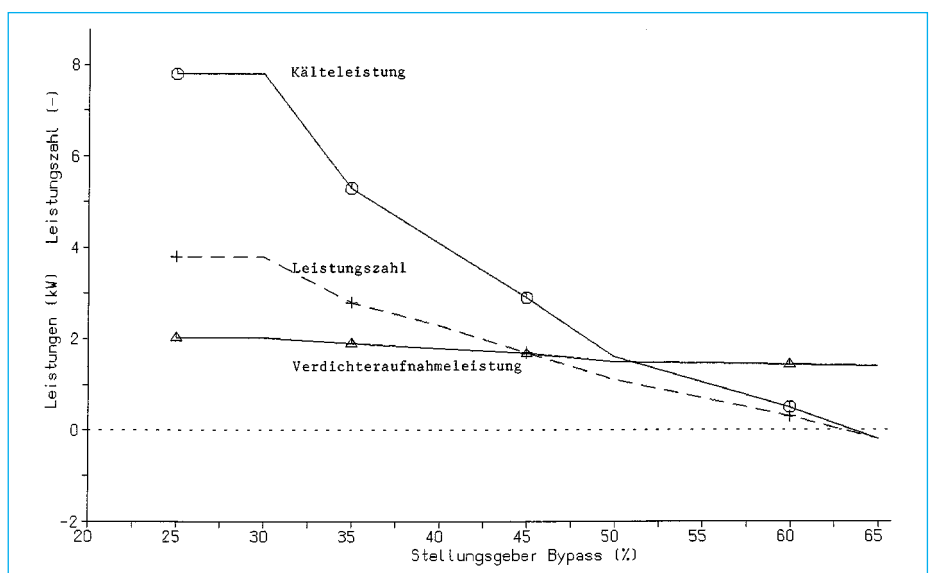


Bild 7 Kälteleistung, Verdichteraufnahmeleistung und Leistungszahl in Abhängigkeit des Kondensatorbypasses – bei Verdichternendrehzahl (50 Hz) gemäß Tabelle 3

| t_{AU} °C | x_{AU} g/kg | z h/a | Q_0 kW | Q_0/Q_{ON} % | einstufig „Ein-Aus“ | | FU-Betrieb real | | FU-Betrieb „ideal“ | | |
|----------------|-----------------------------------|------------|-------------|-------------------|------------------------------|--------------|--------------------|--------------|-----------------------|--------------|--|
| | | | | | ϵ – | W kWh/a | ϵ – | W kWh/a | ϵ – | W kWh/a | |
| 32 | 10 | 1,8 | 196 | 100 | 3,0 | 118 | 3,0 | 118 | 3,0 | 118 | |
| 31 | 10 | 2,4 | 186 | 95 | 3,0 | 149 | 3,2 | 140 | 3,2 | 140 | |
| 30 | 10 | 4,0 | 176 | 90 | 3,0 | 235 | 3,4 | 207 | 3,4 | 207 | |
| 29 | 10 | 6,6 | 166 | 85 | 3,0 | 365 | 3,6 | 304 | 3,6 | 304 | |
| 28 | 10 | 11,8 | 155 | 79 | 3,0 | 610 | 3,84 | 476 | 3,84 | 476 | |
| 27 | 10 | 17,6 | 145 | 74 | 3,0 | 851 | 4,04 | 632 | 4,04 | 632 | |
| 26 | 10 | 23,0 | 135 | 69 | 3,0 | 1035 | 4,24 | 732 | 4,24 | 732 | |
| 25 | 10 | 36,5 | 125 | 64 | 3,0 | 1521 | 4,44 | 1028 | 4,44 | 1028 | |
| 24 | 10 | 45,3 | 115 | 58 | 3,0 | 1737 | 4,6 | 1133 | 4,6 | 1133 | |
| 23 | 10 | 52,6 | 104 | 53 | 3,0 | 1823 | 4,6 | 1189 | 4,88 | 1121 | |
| 22 | 9 | 71,1 | 69 | 36 | 3,0 | 1635 | 4,6 | 1067 | 5,56 | 882 | |
| 21 | 8 | 84,4 | 33 | 17 | 3,0 | 928 | 4,6 | 606 | 6,32 | 440 | |
| 20 | 8 | 112,4 | 23 | 12 | 3,0 | 862 | 4,6 | 562 | 6,52 | 396 | |
| 19 | 8 | 125,2 | 13 | 7 | 3,0 | 543 | 4,6 | 354 | 6,72 | 242 | |
| | | | | | | 12 412 | | 8548 | | 7851 | |
| t_{AU} | Außenlufttemperatur | | | x_{AU} | Außenluftwassergehalt | | | | | | |
| z | Häufigkeit des Außenluftzustandes | | | Q_{ON} | Nennkälteleistung | | | | | | |
| Q_0 | Kälteleistungsbedarf | | | W | Verdichterarbeit, elektrisch | | | | | | |
| ϵ | Leistungszahl | | | | | | | | | | |

Tabelle 4 Leistungs- und Energiebedarf einer Kälte-Klimaanlage in Abhängigkeit von der Außentemperatur

Zusammenfassung

Mittels Leistungsmessungen an einer Kompressionskälteanlage konnten die theoretisch begründeten, energetischen Vorteile der Leistungsregelung durch Drehzahlveränderung im Frequenzumformerbetrieb bestätigt werden.

Allerdings zeigte sich auch, daß durch die Verbesserung der spezifischen Kälteleistung der tatsächliche Regelbereich der Anlage kleiner ausfällt, als es der Drehzahl-Regelbereich vorgibt.

Wünschenswert wäre daher eine Neuentwicklung (Hubkolben) oder die Erprobung (Scroll, Schraube) von Verdichtern, die einen größeren Drehzahlbereich zulassen.

Der Einsatz der Leistungsregelung durch Frequenzumformerbetrieb ist energetisch überall dort sinnvoll, wo aufgrund stark schwankender (Umgebungs)Temperaturen der Kälteleistungsbedarf größeren Veränderungen unterworfen ist.

Um Druckpendelungen im unteren Leistungsbereich zu vermeiden, ist es sinnvoll, anstelle des herkömmlichen thermostatischen Expansionsventils ein elektronisch gesteuertes Expansionsventil einzusetzen.

Neben den energetischen Vorteilen bietet die Leistungsregelung durch Frequenzumformerbetrieb aber auch noch andere Vorzüge. Zum einen tritt durch die reduzierte Starthäufigkeit ein geringerer mechanischer Verschleiß auf, was die Ver-

dichterlebensdauer positiv beeinflusst. Durch den Sanftanlauf des Frequenzumformerbetriebs findet zum anderen eine Reduzierung der Anlaufströme statt. Schließlich ist zu erwähnen, daß die stetige Leistungsanpassung zu konstanten Kühltemperaturen führt. □

Literatur

- [1] Trauer, M.: DORIN-Verdichter – Der Dreh mit der Drehzahl; KK Die Kälte und Klimatechnik, 4/1997
- [2] Trauer, M.: Supermarktkette „dreht“ an der Kostenschraube ; KK Die Kälte und Klimatechnik, 5/1998
- [3] Ney, A.: Mathematische Modellierung und numerische Simulation des stationären und instationären Betriebsverhaltens von Kompressions-Wärmepumpen und -Kälteanlagen, VDI-Fortschrittbericht Nr. 45, Reihe 19, VDI-Verlag 1990
- [4] DIN 4710: Meteorologische Daten zur Berechnung des Energieverbrauchs von heiz- und raumlufttechnischen Anlagen, Beuth-Verlag, 1982