



Dipl.-Ing. Gerhard Ries,
geschäftsführender
Gesellschafter
der RIES GmbH
in Nauheim.

Die Klimatisierung erfreut sich in den letzten Jahrzehnten auch in den sogenannten nördlichen Ländern Europas immer größerer Akzeptanz. Die warmen Sommer der letzten Jahre haben nach den Erfolgen im gewerblichen auch im privaten Bereich, insbesondere in Autos, zu einer allgemeinen positiven Einstellung und Akzeptanz und zu einer Verbreitung von Klimageräten und Anlagen geführt. Die Kälte- und Klimatechnik ist heute im privaten, gewerblichen und industriellen Leben ein wichtiger und lebensnotwendiger Bestandteil geworden.

Betriebskosten von Kälte und Klimaanlage

Während die Betriebskosten einer Klimaanlage im Auto nur in Form von einem leicht gestiegenen Benzinverbrauch registriert, und bei dem Klimagerät im Wohn- oder Schlafzimmer aus der Haushaltskasse bezahlbar angesehen werden, stellen die Betriebskosten im gewerblichen Bereich der Kälte- und Klimaanlage in z. B. Bürogebäuden und Kaufhäusern und den vielen gewerblichen Kälteanlagen eine ernstzunehmende Summe dar, die leicht vier- bis fünfstelligen Dimensionen annehmen kann.

Nimmt man z. B. eine Klimaanlage mit einem Verdichter mit 10 kW Leistungsaufnahme, die ca. 3000 Betriebsstunden pro Jahr aufweist, für die vom EVU nur 0,27 DM pro kWh als Gesamtkosten für ein kW pro Stunde,

Energieeinsparung in Kälte- und Klimaanlage durch Optimierung der Verdichterlaufzeiten

Gerhard Ries, Nauheim

einschließlich aller Nebenkosten, bezahlt werden müssen (der Autor hat auch schon inklusiv Leistungspreis 0,40 DM im gewerblichen Bereich feststellen müssen), ergibt sich an reinen Stromkosten für die Klimaanlage $3000 \text{ h} \times 10 \text{ kW} \times 0,27 \text{ DM/kWh} = 8100,- \text{ DM}$ pro Jahr. Ein Betrag, der sich in fünf Jahren, incl. der allgemeinen Preissteigerungen auf 45 000,- DM summiert. Ist die Anlage schlecht oder nicht gewartet, sind neben einer kürzeren Standzeit bis 20 % höhere Betriebskosten nur für den Verdichter zu erwarten. Aus diesem vereinfachten Beispiel kann man leicht hochrechnen, welche Dimensionen Betriebskosten erreichen können, wenn man in Leistungsbereiche, die weitgehend von Kaltwassersätzen abgedeckt sind, vordringt. Es sind hierbei nicht selten Anschlußleistungen über 100 kW und jährlichen Stromkosten weit über DM 100 000,- vorzufinden.

Temperatur- und Druckdifferenz

Ob Kaltwassersätze mit hoher Leistungsaufnahme oder auch Kälte- und Klimaanlage mit kleineren Leistungen, den meisten Anlagen liegen Ansteuerungen der Verdichter zugrunde, die den Verdichter bei einer festgelegten Temperatur oder eines Druckes ein- und bei einem festen Wert ausschalten. Um ein häufiges Schalten des Verdichters (Takten) zu verhindern und damit Überhitzungsschäden zu vermeiden, ist eine genügend hohe Temperatur- oder Druckdifferenz erforderlich, um einen Schutz des Verdichters sicherzustellen. Nicht zuletzt deswegen erlauben alle Verdichtshersteller in ihren Gewährleistungsbedingungen nur 6 bis 12 Anläufe pro Stunde.

Die Druck- oder Temperaturdifferenz wird ohne weitere Beeinflussung durch die Regelung durchfahren und ist nicht variabel. Wie jedem Kältetechniker aus



Abb. 1 Bildliche Darstellung der wesentlichen Kriterien, die bei einer Temperaturregelung zu berücksichtigen sind.

dem „eff eff“ bekannt ist, hat jeder Verdichter bei einem höheren Verdampfungsdruck auch eine höhere Kälteleistung, die kontinuierlich absinkt, wenn Druck oder Temperatur absinken.

Auslegung der Kälte- und Klimaanlage

Die Auslegung der Komponenten ist ebenso wichtig für die energetische Bewertung und die Betriebskosten einer Kälte bzw. Klimaanlage.

Die Dimensionierung von Anlagen wird immer unter Zugrundelegung der maximalen Umgebungsbedingungen vorgenommen, um sicherzustellen, daß ein Betrieb, gerade dann, wenn die Anlage ihre Leistungsfähigkeit beweisen soll, auch sichergestellt ist.

D.h. die Komponenten werden, ob Verdichter, Verdampfer, Verflüssiger und auch Expansionsventil, nach dieser maximalen Belastung ausgelegt.

Dies ist richtig und bedarf keiner Korrektur, nur muß man sich vor Augen führen, daß diese hohen Bedingungen nur an einigen wenigen Tagen pro Jahr auftreten und damit die Anlage nahezu das gesamte Jahr „überdimensioniert“ ist. Dies ergibt einerseits, daß die Temperaturdifferenz zur Vermeidung des Taktens u. U. noch größer sein muß und andererseits, daß die ausgelegten Komponenten nicht unbedingt optimal aufeinander abgestimmt sind und damit ihr Wirkungsgrad schlechter ausfallen kann. Im schlimmsten Fall, der leider recht häufig anzutreffen ist, wird die überschüssige Energie über eine Heißgas-Bypass-Regelung vernichtet, um ein häufiges Takten des Verdichters zu vermeiden.

Einsparung der Betriebskosten in Kälte- und Klimaanlage

Wie können noch weiter Energie- und Betriebskosten eingespart werden, trotz jährlicher Wartung, der Auswahl eines effizienten Verdichters und einer optimalen Abstimmung im System?

Hier gilt es, zwei Wege aufzuzeigen, die beide alleine oder auch gemeinsam angegangen werden können.

1. weniger für die kWh Strom bezahlen
2. die Laufzeit des Verdichters reduzieren

Zu dem ersten Punkt ist anzuführen, daß es dem gewerblichen Betreiber der Anlage unterstellt werden kann,

Verdampfungs-temperatur °C	Kälteleistung KW	Leistungs-Aufnahme KW	Zeitdauer in Minuten pro °C	Leistungs-aufnahme KW pro °C
10	56	16,6	0,00	0,00
9	54	16,4	6,60	1,84
7,5°C	51,8	16,2	7,56	2,05
7	49,7	16,0	9,18	2,45
6	47,9	15,8	11,03	2,91
5	45,5	15,3	14,40	3,57
Gesamt			48,77	12,82

Tabelle 1 Anlageverhalten eines 40 kW Kaltwassersatzes bei einer ± 2,5 K Saugtemperaturdifferenz.

Analyse: Die Reduzierung von $t_0 = 10\text{ °C}$ auf 9 °C erfordert nur 6,6 Minuten und 1,84 kWh. Die Reduzierung von $t_0 = 6\text{ °C}$ auf 5 °C benötigt 14,4 Minuten und 3,57 kWh. Das bedeutet: Mehr als die doppelte Laufzeit und den doppelten Energieverbrauch.

daß er mit seinem Energieversorgungsunternehmen bereits bestmögliche Konditionen vereinbart hat und damit dieser Bereich weitgehend ausgeschöpft ist.

Zum zweiten Punkt ist festzustellen, daß diese Aufgabe schwieriger ist, aber dennoch, durch die Entwicklungen bei Mikroprozessoren, Lösungsmöglichkeiten vorhanden sind, über die hier berichtet werden soll.

Laufzeitreduzierung und Optimierung der Kälteleistung

Eine sehr interessante Lösung liegt in der Laufzeitreduzierung der Verdichter. Nur wenn der Verdichter steht, spart er wirklich Energie. Die Reduzierung der Laufzeit ist jedoch nur bei einer gleichzeitigen Erhöhung der Kälteleistung eben dieses Verdichters sinnvoll. Nur dadurch ist eine Sicher-

stellung der Betriebsbedingungen der Anlage, der Raumtemperatur, der Kühlguttemperatur, der Kaltwasservorlauftemperatur und aller anderen für den Kunden wichtigen Parameter möglich.

Zunächst einige bekannte aber grundlegende Ausführungen:

Sinn und Zweck der Kälte- und Klimaanlage ist es, die gewünschte Temperatur aufrechtzuerhalten. Um die gewünschte Temperatur aufrechtzuerhalten, müssen zwei wesentliche Kriterien berücksichtigt werden:

- Die Wärmelast des zu kühlenden Raumes muß über das Kühlsystem in einem meßbaren Zeitraum entzogen werden. Das heißt:
- Die tatsächliche Durchschnittstemperatur (mittlere Temperatur) muß gleich der gewünschten Sollwert-Temperatur sein.



Abb. 2 Verdichterleistung Kaltwassersatz 40 kW in Abhängigkeit zu t_0 . Die Verdichterleistung wird reduziert, wenn die Saugtemperatur reduziert wird. Die Saugtemperatur ist direkt abhängig von der Raumtemperatur.

Wie können die Verdichter veranlaßt werden weniger zu laufen und doch eine höhere Kälteleistung erbringen?

Die Verfügbarkeit von neuen leistungsstarken Mikroprozessoren hat die Entwicklung eines herausragenden Verfahrens in der Regelung zur Verdichter-Optimierung ermöglicht. Diese neue Methode in der Verdichter-Regelung, die in den Energie-Spar-Modulen verwendet wird, kann die Verdichterauslaufzeit zwischen 10 und 30 % reduzieren, die Kälteleistung erhöhen und dadurch die geforderten Betriebsbedingungen aufrechterhalten.

Optimierung der Verdichter-Regelung?

Die Kälteleistung von Verdichtern steht direkt im Verhältnis zur Saug- d. h. Verdampfungstemperatur und umgekehrt proportional zur Druckgas- d. h. Verflüssigungstemperatur. Durch Veränderung der Saug- und der Verflüssigungstemperatur, auch in einem nur kleinen Bereich, lassen sich die Verdichterleistungen optimieren und bis zu 30 % steigern.

Können neue und bestehende Anlagen mit traditionellen Regelungen optimiert werden?

Der Kältekreislauf ist ein dynamischer wechselnder Prozeß. In der Zeit, in der der Verdichter in Betrieb ist, verändern sich fortlaufend der Saugdruck, die Verdampfungstemperatur, die Kälteleistung, die Kältemittelmenge und viele andere Faktoren. Die Effektivität des gesamten Systems ändert sich somit ständig während des ganzen Zyklus. Kein konventionelles Überwachungssystem zeigt diese Veränderung. Unabhängig von Art, Typ und Ausstattung des Regelsystems arbeitet jedes Kältesystem mit Verdichtern innerhalb eines Regelbereiches oder eines Differentials aus Druck oder Temperatur des zu regelnden Raumes. Handelsübliche thermostatische oder druckabhängige Regler haben keine Optimierungsfunktion. Gebräuchliche elektronische und mikroprozessorgesteuerte Regelungen bieten einen besseren Grad der Regelung als die mechanische thermoelektrische Steuerung, sie liefern aber dennoch keine Leistungsoptimierung. Die Mehrheit der modernen Regelungseinrichtungen konzentrieren sich auf die Raumtemperatur, die gewünschte Wassertemperatur (Kaltwassersatz) oder auf

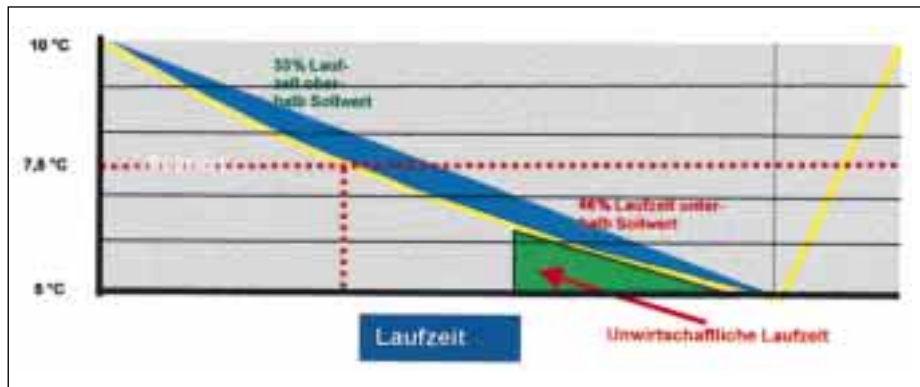


Abb. 3 Traditionelle Regelung – mittlere Wärmelast.

den Saugdruck. Die Verdichter werden eingeschaltet aufgrund einer Anforderung zur Kühlung und werden betrieben, bis diese Forderung zufriedengestellt ist.

Das nachstehend ausgewählte Beispiel eines Kaltwassersatzes (Tab. 1) mit einer Nennleistung von 40 kW beschreibt das Anlageverhalten für einen Sollwert von 7,5 °C mit einer Temperaturdifferenz ± 2,5 K. Selbst bei dieser geringen Regeldifferenz ist ein nennenswerter Unterschied im Energieverbrauch und der Kälteleistung des Verdichters zwischen dem ersten und letzten Grad der Temperaturabsenkung festzustellen.

Die traditionelle Regelung wird den Verdichter immer über dem vollen eingestellten Regelbereich arbeiten lassen, den Verdichter am oberen Schalterpunkt starten und, bis der untere Schalterpunkt erreicht ist, laufen lassen. Eine Veränderung in der abzuführenden Wärmelast beeinflusst nur die Laufzeit des Verdichters, der Regelbereich bleibt jedoch für alle Belastungen unverändert.

Abbildung 3 zeigt die Kurve der Tem-

peraturreduzierung unter den Bedingungen des Beispiels in Tabelle 1. Mit traditioneller Regelung, wenn sich nur die Wärmelast verändert, wird nur eine Änderung in der Laufzeit des Verdichters eintreten, jedoch alle anderen Parameter unverändert bleiben. Wie die Abbildung 3 weiter zeigt, benötigt der Verdichter zum Erreichen des Sollwertes ca. 1/3 der gesamten Laufzeit. Aufgrund der sich weiter reduzierenden Kälteleistung des Verdichters unterhalb des Sollwertes benötigt er dann fast das doppelte an Zeit und Energie, um den Ausschaltzeitpunkt zu erreichen.

Wie die Verdichter-Optimierung die Leistung beeinflusst

Die neue Micro-Computer-Regelungstechnologie erzielt eine belastungsabhängige Verdichter-Optimierung. Die Technologie der Energie-Spar-Module verändert selbsttätig den Regelbereich und damit den Ein- und Ausschaltzeitpunkt in Abhängigkeit von den wechselnden Belastungen. Durch Veränderung der ursprünglich festen Differenz in variable Werte optimiert der Mikrocomputer den Verdichter auf eine durchschnitt-

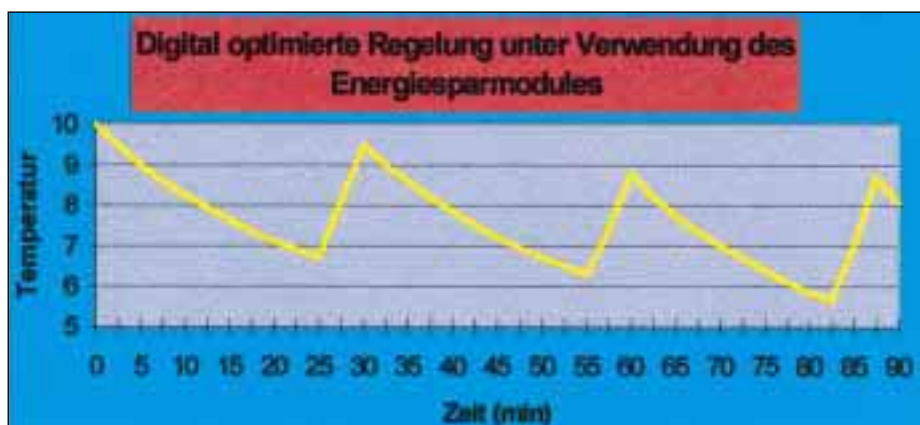


Abb. 4 illustriert wie sich die Optimierung auf den Verdichter mit mittlere Belastung auswirkt. (Beispiel aus Tabelle 1).



Abb. 5 Energie-Spar-Modul



lich höhere Verdampfungstemperatur, eine variable Differenz, die sich dicht am Sollwert bewegt, und schneidet damit einen Teil der unwirtschaftlichen Laufzeit unterhalb des Sollwertes ab. Somit wird eine höhere Kälteleistung von dem Verdichter produziert, die bei gleicher Wärmelast eine Reduzierung der Laufzeit um 15 bis 35 % bewirkt und einer Verringerung des Energieverbrauches zwischen 10 und 30 % entspre-

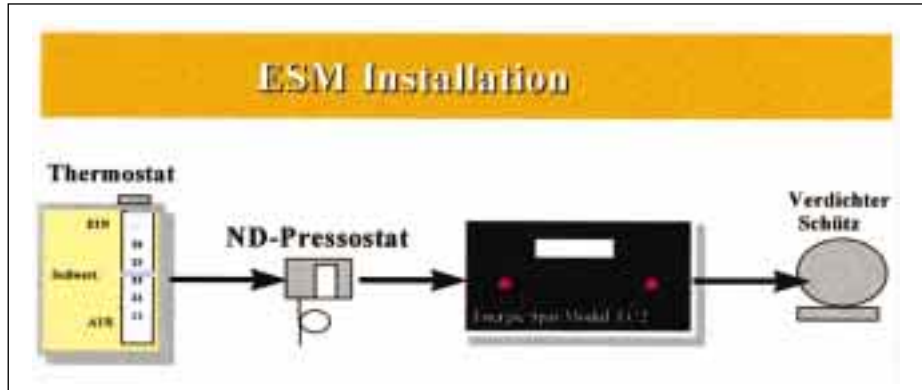


Abb. 6 Das ESM wird in Reihe nach der existierenden Regelung installiert.

chen kann. Durch die höhere Kälteleistung ist die Einhaltung der geforderten Betriebsbedingungen sichergestellt. Um häufige Anläufe der Verdichter zu vermeiden, die durch anlagenbedingte Forderungen oder aufgrund der Optimierungsfunktionen des Energie-Spar-Modules ausgelöst werden, ist in der Software der Module eine Schaltbegrenzung von maximal 6 Anläufen pro h programmiert.

Ist die Optimierung eine neue Technologie?

Das Prinzip der Optimierung ist nicht neu. Kälte- und Klimafachleute wissen, daß es effizienter ist, die Kälteanlage mit einem möglichst hohen Saugdruck und einer eher niedrigen Kondensationstemperatur arbeiten zu lassen. Das Problem, dem die Ingenieure gegenüberstanden, war, ein belastungsabhängiges Optimierungssystem zu entwickeln, welches kosteneffektiv und zuverlässig arbeitet. Die bisher angebotenen Systeme waren zu komplex, durch einen hohen Verdrahtungsaufwand, vielen Sensoren und der er-

forderlichen kundenspezifischen Programmierung. Diese Systeme waren nur bei sehr großen Anlagen in der Verwendung wirtschaftlich. Fortlaufende Untersuchung und die Möglichkeit, Computersimulationsmodelle herzustellen, die realistische Angaben über die Auswirkung von Veränderungen innerhalb des Kältekreislaufes ergaben, haben zu dieser ausgereifen Entwicklung von Abbotly Technologies geführt, exklusive, auf Mikrocomputer basierende Optimierungsprodukte, die schon wirtschaftlich für Installationen mit einem 5 kW-Verdichter sind. Diese neuen Produkte, die **Energie-Spar-Module**, benutzen eine vorausschauende Logik, basierend auf einer historischen „Anzahl von Veränderungen“ innerhalb des Regelbereiches. Sie sind werksprogrammiert und erfordern damit keine Programmierung vor Ort und nur ein Minimum an Verdrahtung. Einmal installiert benötigen sie keine weiteren Interventionen. Sie sind entwickelt, um mit und in dem bestehenden Regelsystem eingesetzt

Energie-Spar-Modul Typ EC 4, eingebaut in einem Sainsbury Supermarkt in Farnham (UK).



zu werden und nicht um es zu ersetzen.

Installation des ESM

Alle Energie-Spar-Module sind relativ leicht zu installieren. Erfahrene Elektro- oder Kältefachleute können in ein bis zwei Stunden die Module installieren.

Die Module werden in dem Regel- und Sicherheitskreislauf in Reihe nach den existierenden Regelgeräten verdrahtet.

Die Primärregelung – für die Temperatur oder den Saugdruck – behält weiterhin direkte Kontrolle über den Betrieb des Verdichters.

Die Energie-Spar-Module optimieren den Verdichterbetrieb nur innerhalb dieser von der Primärregelung vorgegebenen Parameter.

Verwendung der Energie-Spar-Module

Die Module können sowohl in Einzel- wie Verbundanlagen verwendet werden.

Regelung mit ESM im Vergleich zu konventioneller Regelung- Aus Beispiel Tab. 1

	Normal	mit ESM
Verdichter Laufzeit in Minuten	82	73
Gesamte Kälteleistung in kW	66,5	66,3
Kälteleistung in kW pro min	0,81	0,91
Energieverbrauch in kWh	23,8	19,8

kWh Reduzierung durch Energie Spar Modul 16,8 %

Tabelle 2 Vergleich der ESM-Regelung mit konventioneller Regelung im Bereich des Energieverbrauchs.

den. Bei Verdichtern mit Leistungsregelung über Zylinder erfolgt die Ansteuerung über die Magnetventile.

Die Energie-Spar-Module sind für alle Kälte- und Klimaanlageanlagen, die mit Hubkolben-, Scroll- oder auch in Teilbereichen mit Schraubenverdichtern ausgestattet sind, verwendbar.

Die Installation ist problemlos in existierende Anlagen möglich, wo die vorgenannten wesentlichen Energieeinsparungen durch praktische Erfahrung sich sehr schnell darstellen lassen.

Energieeinsparung und Umwelt

Die erheblichen Energieeinsparungen, die durch die Energie-Spar-Module erzielt werden, haben einen nicht unerheblichen Einfluß auf unsere Umwelt. So hat z. B. ein 5-kW-Verdichter bei einer Einsparung von 15 % durch das Energie-Spar-Module eine Emissionsreduzierung von ca. 1500 kg CO₂ (Kohlendioxid) zur Folge. Gesparte Energie ist die beste Energie. Weitere Informationen werden gerne vom Autor übersandt.