

Betreiber stellen höhere Anforderungen an Kälteanlagen

# Bessere Energieperformance durch intelligente Regler

André Meyer, Zug (Schweiz)

Die Entwicklungen in der Kältetechnik werden zunehmend von internationalen Klimaschutzprogrammen bzw. von Direktiven der Europäischen Union beeinflusst. Hinzu kommen nationale gesetzgeberische Auflagen über die Verwendung von Kältemitteln sowie eine Nachweispflicht über die Entsorgung nicht mehr zugelassener Kältemittelgase. Dies führt bei Nutzern und Betreibern zu einer stärkeren Sensibilisierung hinsichtlich der Ökoeffizienz von kältetechnischen Maschinen und Anlagen, aber auch ganzer Liegenschaften und Produktionseinrichtungen. Neben grundsätzlichen Entscheidungen, wie die Wahl bestimmter Kältemittel und Verdichterbauarten, spielen Fragen der Regelung und Steuerung sowie der Überwachung und der Anbindung an ein Gebäudemanagementsystem künftig eine zunehmend wichtigere Rolle.

Die Kältebranche und mit ihr die Anwender von kältetechnischen Maschinen, Anlagen und Prozessen geraten durch die Umsetzung internationaler Klimaschutzprogramme wie das Montreal- oder das Kyoto-Protokoll sowie EU- bzw. nationale Verordnungen, wie

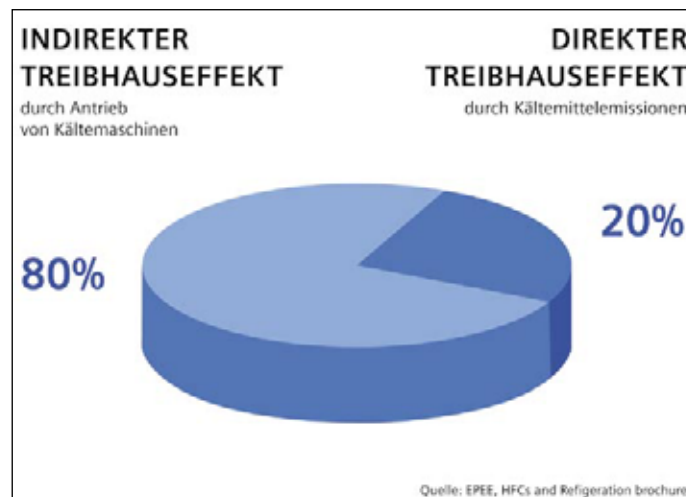
- EU-VO 2037/2000,
- F-Gase-Verordnung oder
- EN 378

zunehmend unter Druck. Hinzu kommen EU-Direktiven wie die Euro-EnEV „Energy Performance of Buildings“, die ab 1. Januar 2006 in allen EU-Staaten verbindlich eingeführt sein muss. Auch die Verteuerung von elektrischer Energie, die hohen Preise für synthetisch hergestellte Kältemittel, Entsorgungskosten für die laut FCKW-Halon-Verbotsverordnung nicht mehr zugelassenen Kältemittel sowie die allgemein steigenden Kosten für die Entsorgung von Altanlagen haben zu einem teilweise sehr sensiblen, manchmal auch bereits zu einem restriktiven Nutzerverhalten geführt. Da viele Kälteanwender im Rahmen ihrer Zertifizierung nach ISO 9001 auch ein Umweltmanagement nach EG-Verordnung 1836/93 bzw. nach ISO 14001 betreiben, sind die ökologischen wie auch die ökonomischen Anforderungen an kältetechnische Anlagen sprunghaft angestiegen.

Eine Studie<sup>1</sup> des Forschungszentrums für Kältetechnik und Wärmepumpen,

Hannover, und des Instituts für Luft- und Kältetechnik, Dresden, über direkte und indirekte Treibhauseffekte von Kälteanlagen kommt zu dem Ergebnis, dass rund 89 Prozent der Kohlendioxid-äquivalenten Emissionen von Kälteanlagen auf den Antrieb von Kältemaschinen zurückzuführen sind und nur 11 Prozent von den verwendeten Kältemitteln verursacht werden. Auf

[1] Horst Kruse, Eberhard Wobst; „Aktuelle TEWI-Betrachtung von Kälteanlagen mit HFKW- und PFKW-Kältemitteln unter Berücksichtigung unterschiedlicher Rahmenbedingungen für verschiedene Anwendungsgebiete“; Bezug über Forschungsrat Kältetechnik im VDMA, Frankfurt/Main



## zum Autor

**Dipl.-Ing.  
André Meyer**  
Product Manager  
Refrigeration,  
Siemens HVAC  
Products,  
Zug/Schweiz



der Kältemittelseite sei das Verbesserungspotenzial begrenzt, da die Kältetechnik auch künftig nicht ohne halogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW) bzw. perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFKW) auskomme. Kältemittelverluste ließen sich zwar reduzieren, aber nicht vollständig vermeiden. Es sei deshalb sinnvoll, so die Autoren, das Hauptaugenmerk auf die Steigerung der energetischen Effizienz von Kältemaschinen zu legen, zumal dort noch ein Verbesserungspotenzial vorhanden sei, das rund 73 Prozent der Gesamtemission von Kälteanlagen entspreche. Der Herstellerverband European Partnership für

Die direkten Treibhausemissionen von Kälteanlagen liegen unter 20 Prozent, der durch den Antrieb hervorgerufene CO<sub>2</sub>-äquivalente Treibhauseffekt ist um den Faktor 4 höher

Energy and the Environment (EPEE) kommt zu ähnlichen Ergebnissen und geht von einem indirektem Treibhauseffekt von 80% und einem direkten Treibhauseffekt in Höhe von 20% aus.

Haaf und Heinbokel, Linde AG, Köln,<sup>2</sup> berichten, dass es in den letzten Jahren gelungen sei, die Leckrate in Kälteanlagen von Supermärkten von 10 auf 5% zu reduzieren. Künftig seien sogar Werte von 2% erreichbar. Als Maßnahmen zur Kältemittelminimierung bzw. -Verlustreduzierung empfehlen die Autoren:

- Reduzierung der Füllmengen um 15% (durch Verwendung von Verdampfern und Verflüssigern mit Hochleistungsrippenrohren), Option auf weitere 15% Kältemittelreduzierung
- Verringerung von Vibrationen
- Löt- und Schweißverbindungen statt Verschraubungen

[2] Siegfried Haaf und Bernd Heinbokel, Kälteanlagen für Supermärkte mit alternativen Kältemitteln, KI Luft- und Kältetechnik, S. 508–512, 2003

- Verbesserte Dichtheitstests bei der Fertigung von Komponenten im Werk bzw. bei der Inbetriebnahme von Kälteanlagen
- Automatisierte Füllmengenüberwachung
- Regelmäßiger Service

### **Regelkomponenten intelligent verknüpfen**

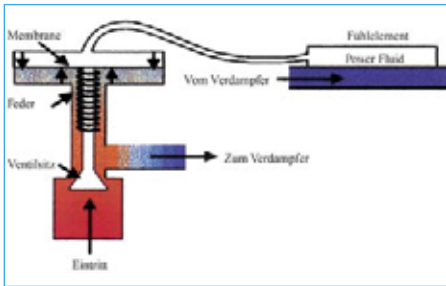
Auch andere Untersuchungen kommen zum Ergebnis, dass eine weitere Verschärfung der Kältemitteldiskussion wenig zur Minderung des Treibhauseffektes beiträgt. Vielmehr müsse in den nächsten Jahren die Effizienzverbesserung von kältetechnischen Komponenten sowie eine intelligente Verknüpfung von Regelkomponenten zu einem Gesamtsystem Vorrang haben. Im einzelnen bedeutet dies:

- Einsatz präziser elektronischer Regelungen
- Schnelle Regelkomponenten mit intelligenten, auf das jeweilige Kältemittel abgestimmten Regelalgorithmen

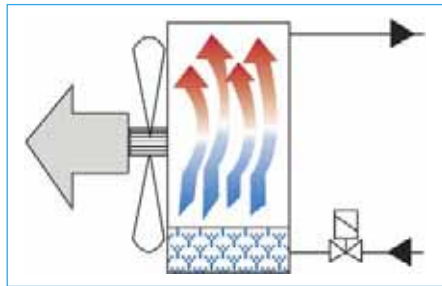
- Verbesserung des Teillastverhaltens von Kälteanlagen durch den Einsatz von Frequenzumformern
- Speziell auf die Druckklassen neuer Kältemittel abgestimmte Komponenten
- Einbindung von MSR-Komponenten über offene Kommunikations-Schnittstellen in Gebäudeautomationssysteme
- Benutzerfreundliche Gebäudemanagementsysteme mit der Option zur Aufschaltung von Fremdgeräten

### **Elektronisches Einspritzventil spart 10 bis 15% Energie ein**

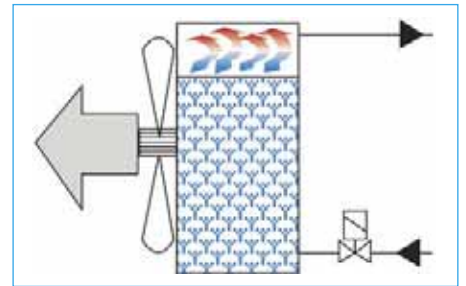
Mit dem Trend zu kleineren Füllmengen bei gleichzeitigem Anspruch an eine höhere energetische Effizienz von Kälteanlagen kommt das klassische thermostatisch arbeitende Expansionsventil schnell an seine Grenzen. Sein Bauart-typisches Regelverhalten – Vollast mit 100 Prozent Öffnung und große Überhitzung, Kleinlast mit kleiner Öffnung und kleiner Überhitzung – erfüllt in den meisten Fällen nicht mehr den heutigen Anspruch an Regelgenauig-



Arbeitsweise eines thermostatischen Einspritzventils. Nachteil: Für den P-Regler gibt es nur einen optimalen Betriebspunkt (alle weiteren Abb. Siemens HVAC Products)



Regelung eines Verdampfers durch Vergrößerung oder Verkleinerung der Überhitzung. Links: große Überhitzung = kleine Leistung. Rechts: kleine Überhitzung = große Leistung



Rund 10 Prozent Energieeinsparung sind durch den Einbau eines elektronischen Expansionsventils mit Überhitzungsregelung möglich

### Indirekte Kühlung mit Kälte­träger

Bei gewerblichen Kälteanlagen mit Direktverdampfung im Tiefkühlbereich mit angeschlossener Pluskühlung über einen Kälte­trägerkreislauf lässt sich die Kälte­mittelfüllmenge je nach Kältemittel um 80–95% reduzieren. Durch die Überhitzungsregelung mit Druckerfassung kann die Verdampferleistung stetig durch Vergrößerung oder Verkleinerung der Überhitzung in Abhängigkeit der gemessenen Rücklauftemperatur angepasst werden. Mit dem Öffnungsgrad des elektronischen Expansionsventils wird gleichzeitig ein Signal generiert, mit dem über einen weiteren Regler der Stufenschalter oder der Frequenzumformer eines Verflüssigers angesteuert werden kann. Damit wird die Kondensatorleistung der Verdampferleistung optimal angepasst.

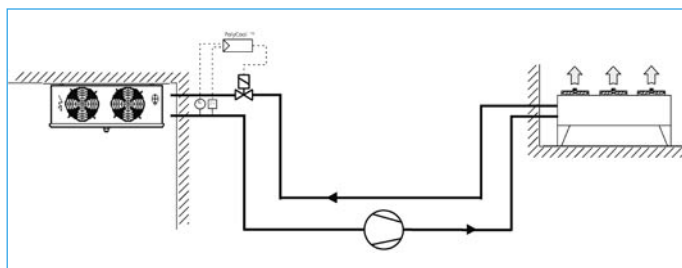
keit und Effizienz. Hinzu kommt, dass thermostatische Einspritzventile immer nur auf ein spezielles Kältemittel bei einem bestimmten Betriebspunkt ausgelegt werden können.

Wer einen Kälte­kreis schnell, präzise und zudem energiesparend auch im Teillastbereich regeln muss, kommt heute nicht mehr umhin, elektronische Einspritzventile einzusetzen. Nur Ventil-Regler-Kombinationen, wie beispielsweise Polycool von Siemens HVAC Products, sind in der Lage, die Überhitzung des Kälte­mittels im Verdampfer stetig zu verändern, um so die Leistung dem tatsächlichen Bedarf anzupassen. Dazu wird dem Verdampfer nur so viel flüssiges Kälte­mittel zugeführt, wie er in Abhängigkeit der Last in der Lage ist, zu verdampfen bzw. vom Kälte­mittelverdichter abgesaugt wird. Bei Vollast bedeutet dies viel flüssiges Kälte­mittel im Verdampfer und damit kleine Überhitzung. Mit dem hohen Füllgrad sind auch höhere Verdampfungstemperaturen und damit ein besserer COP-Wert (Coefficient of Performance/Leistungszahl) der Gesamtanlage möglich.

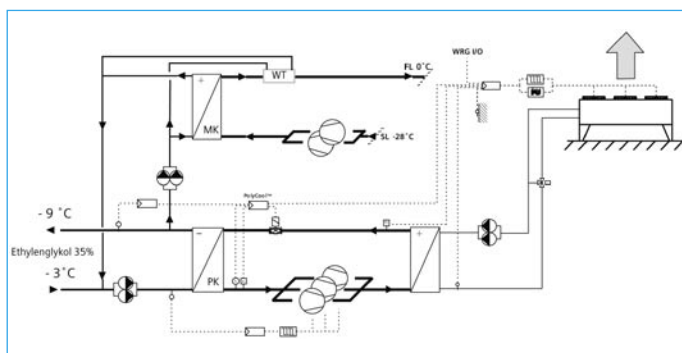
Durch entsprechende Reglereinstellungen bzw. Regelalgorithmen lassen sich mit Polycool ganz spezielle Problemlösungen realisieren. Hierzu einige Beispiele:

### Obst- und Gemüse­kühlung

Langzeitkühlprogramme für leicht wasserabgebende Waren wie Gemüse, Obst, Fleisch, Schnittblumen usw. (höhere Füllgrade = höhere Verdampfungstemperaturen = geringe Entfeuchtung = hohe Luftfeuchtigkeit).



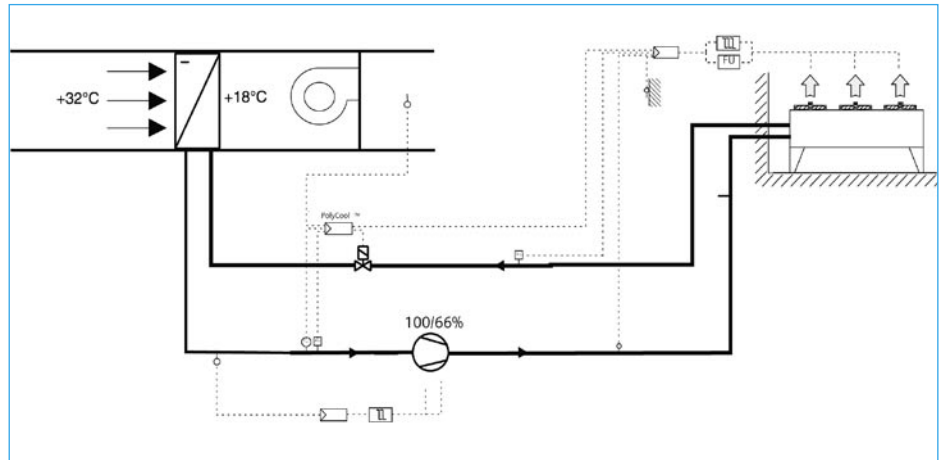
Bei der Obst- und Gemüse­kühlung sollte der Unterschied zwischen Raumtemperatur und Verdampfungstemperatur gering gehalten werden



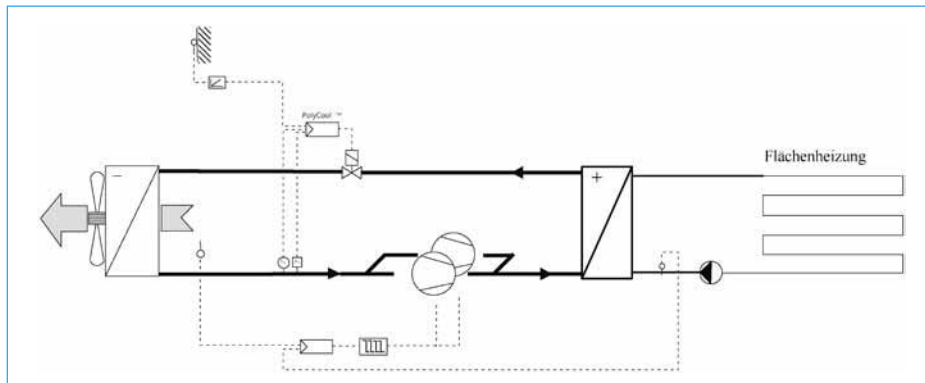
Beispiel einer Kaskade für Tiefkühlanlage und Pluskühlung über Kälte­träger in einem Supermarkt. Mit herkömmlichen Expansionsventilen sind solche Kälte­mittelreduzierten, hoch­effizienten Anlagen kaum möglich

### Monovalente Luft-Wasser-WP

Gegenüber einem thermostatischen Expansionsventil kann die Verdampfungstemperatur bei Einsatz eines elektronischen Expansionsventils von ca.  $-4^{\circ}\text{C}$  um etwa 4K angehoben werden. Der Beginn der Verdampfervereisung kann damit von  $+6^{\circ}\text{C}$  Außentemperatur auf etwa  $+2^{\circ}\text{C}$  abgesenkt werden. Das heißt, der Verdampfer vereist weniger und somit sind auch weniger Abtauzyklen notwendig. Laut Summenhäufigkeitskurve lässt sich eine Luft-Wasser-Wärmepumpe mit elektronischem Expansionsventil durch die höhere Verdampfungstemperatur pro Heizsaison rund 1400 Stunden länger ohne Abtauzyklus betreiben als eine baugleiche Wärmepumpe mit P-Regler.



Mehr Komfort bei geringerem Energieeinsatz durch COP-optimierte Klimaanlage mit Direktkühlung bzw. von Flüssigkeitskühlsätzen



Weniger Abtauzyklen durch höhere Verdampfungstemperaturen verbessern die Leistungszahl einer Luft-Wasser-Wärmepumpe ganz erheblich

### Direkte Kühlung für kleine Komfort-Klimaanlagen

Bei konventionell geregelten Anlagen entstehen durch die Zwei-Punkt-Regelung Abweichungen in der Zulufttemperatur, die bei  $\pm 1,5\text{K}$  liegen und damit als unbehaglich gelten. Mit dem elektro-

nischen Einspritzventil wird die Kälteleistung im Verdampfer dem jeweiligen Bedarf an Kühlleistung stetig angepasst (Vergrößerung/Verkleinerung des Überhitzungsanteils im Verdampfer). Damit liegt die Schwankungsbreite der Zulufttemperatur innerhalb definierter Komfortgrenzen.

### Flüssigkeitskühlsätze mit COP-Optimierung „COptimat“

Bei dieser Art von Kälteerzeugung kann durch den Einsatz eines elektronischen Expansionsventils der COP durch optimale Füllmengen im Verdampfer bzw. eine angepasste Kondensatorleistung wesentlich verbessert werden. Dazu wird die über  $P_0$  errechnete Verdampfungstemperatur laufend mit der Sauggasttemperatur  $t_s$  verglichen. Der Überhitzungsregler mit PID-

Regelverhalten steuert das Einspritzventil und sorgt so für eine dem jeweiligen Bedarf entsprechende Sauggastüberhitzung. Anhand des Öffnungsgrads des elektronischen Expansionsventils wird mit einem weiteren Regler ein Signal generiert, mit dem der Stufenschalter oder der Frequenzumformer des Verflüssigers angesteuert wird. Durch das Rückmeldesignal werden die Leistungen von Kondensator und Verdampfer somit optimal aufeinander abgestimmt. Im Vergleich zu konventionell geregelten Flüssigkeitskühlsätzen kann durch die von Siemens Building Technologies entwickelte COP-Optimierungsfunktion (COptimat) der Energieverbrauch im Teillastbereich um 10 bis 15% gesenkt werden.

### Kleine Maßnahme, große Wirkung

Kälteanlagen bieten ein hohes Potenzial an Energieeinsparmöglichkeiten. Bereits vergleichsweise kleine Maßnahmen, wie der Einbau eines elektronischen Expansionsventils, wirken sich positiv auf den TEWI-Wert (Total Equivalent Warming Impact – gesamter  $\text{CO}_2$ -äquivalenter Treibhaus-effekt) aus.

Da der Gesetzgeber künftig die direkten und indirekten Emissionen von Kälteanlagen einer Protokollpflicht unterwerfen will, ist es naheliegend, zunächst die am einfachsten zu realisierenden Reduktionspotenziale wie die Verbesserung der Effizienz von Kälteanlagen auszuschöpfen. ■