



In ähnlicher Form erschienen in KI Kälte Luft Klimatechnik 18.07.2012

## Saugdruck-Optimierung E\*COP+ für Bestandskälteanlagen mit thermostatischen Expansionsventilen (TEV)

Die neue E\*LDS Firmware E\*COP+ von Eckelmann zur Saugdruckoptimierung sorgt für eine bedarfsorientierte autoadaptive Anpassung des Saugdrucks. Die neue Funktion eignet sich besonders für ein Update von Bestandsanlagen mit thermostatischen Expansionsventilen (TEV). Durch das Update können Supermarktbetreiber mit geringem Aufwand circa 10 % Energie einsparen.

Messungen in Märkten großer deutscher Lebensmitteleinzelhändler haben gezeigt, dass durch die neuen Regelalgorithmen E\*COP+ die Verdampfungstemperatur  $t_0$  in der Normalkühlung im Schnitt von  $-8,8$  auf  $-3,1$  °C angehoben werden konnte (im direkten Vergleich zweier Zeiträume mit vergleichbaren Außentemperaturen). Gemäß der Regel „3 % Energieeinsparung pro 1 K höherer Verdampfungstemperatur“ sind damit theoretisch Effizienzsteigerungen von ca. 15 % denkbar.

Auf Basis der bisher vorliegenden Daten sind bei 10 °C Außentemperatur Energieeinsparungen von 10 bis 12 % belegt, bei einer gleichzeitig um 19 % reduzierten Auslastung der Verdichter. Anhand der Daten zeigt sich als deutlicher Trend, dass die Energieeinsparungen mit steigenden Außentemperaturen noch größer ausfallen werden. Diese Erkenntnis deckt sich mit der Erfahrung aus vergangenen Messungen; die Testanlagen werden zusätzlich über einen kompletten Jahresgang weiter beobachtet. Die Tests wurden von Carrier Kältetechnik Deutschland GmbH und Eckelmann AG gemeinsam durchgeführt.

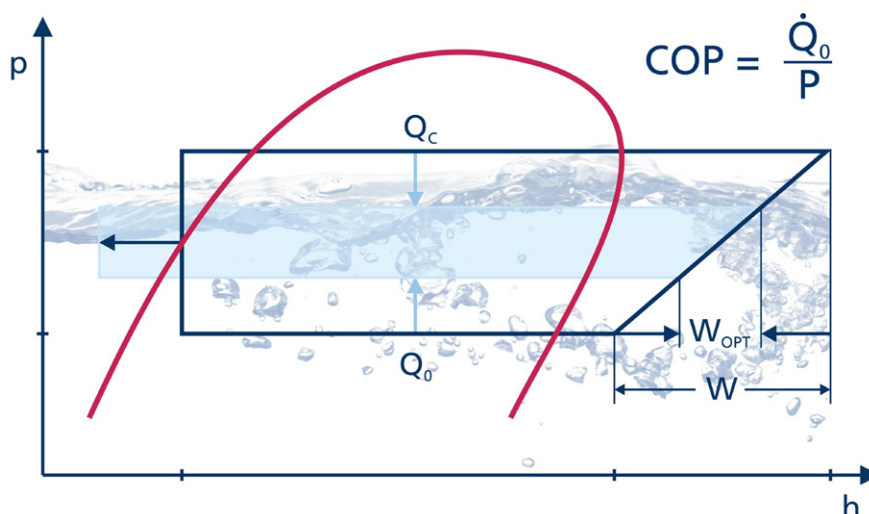
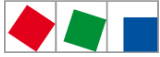


Abb. 1: Die autoadaptive Regelung des Saugdrucks verbessert den COP der Anlage indem der Saugdruck  $p_0$  und damit die Verdampfungstemperatur  $t_0$  bedarfsgerecht optimiert werden.



In ähnlicher Form erschienen in KI Kälte Luft Klimatechnik 18.07.2012

Eine Saugdruckoptimierung hat primär folgenden Effekt: Die Verdampfungs-Temperatur  $t_o$  kann bei den meisten Kälteanlagen bedarfsangepasst über weite Strecken erhöht werden, wodurch sich auch der Verdampfungsdruck  $p_o$  erhöht und weniger Verdichtungsarbeit geleistet werden muss. Kurz:  $\Delta(p_c - p_o)$  bzw.  $\Delta(t_c - t_o)$  werden kleiner. Die Anhebung von  $t_o$  und damit die Erhöhung des Saugdrucks verbessern direkt den Wirkungsgrad des Verdichters und damit die Energieeffizienz der Kälteanlage.

Über die Raumtemperatur  $t_R$  geschobene Sollwerte für  $t_o$  in konventionellen Anlagen sind in der Regel auf Extrem-Lasten ausgelegt, die je nach Anlage über das Jahr verteilt nur selten eintreten. Diese Sicherheitszuschläge sorgen für einen energetisch ungünstigen Betriebspunkt innerhalb eines Hauptteils der Betriebszeit.

Das neue Regelungsverfahren E\*COP+ von Eckelmann bedingt neben der thermodynamisch günstigen  $t_o$ -Anhebung Sekundär-Effekte, die für zusätzliche Einsparungen und eine Verbesserung der Regelgüte sowohl auf Verdichterseite als auch aufseiten der Kühlstellen sorgen. Dies sind u.a.:

- Geringere Vereisung durch die geringere Differenz  $\Delta(t_{\text{Luft}} - t_o)$  und eine dadurch bedingte verkürzte Abtaudauer
- Temperaturschwankungen an den Kühlstellen deutlich geringer
- Konstantere Luftfeuchtigkeit im Kühlmöbel
- Steigerung der Warenqualität
- Gleichmäßigerer Massestrom des Kältemittels
- Verringerung der Einschaltimpulse (Verdichter und Magnet-/ Expansionsventile)

Für ein Anlagen-Update mit dem Regelalgorithmus E\*COP+ für Anlagen mit TEV sind nur wenige Schritte erforderlich: 1. Update aller Kühlstellenregler durch Austausch des EPROM-Bausteins (UA 300) oder Einspielen der passenden Firmware per USB-Kabel (UA 400/ UA 410); 2. Update der Firmware für die Verbundsteuerung per Firmware-Download. Das Update ist verfügbar für die VS 3010, VS 3010 BS (Booster Satellit) sowie die Kompakt-Verbundsteuerung VS 300. Ein Anlagen-Update lässt sich je nach Anlagengröße von einem Kältemonteur schätzungsweise an einem bis zwei Tagen realisieren.



In ähnlicher Form erschienen in KI Kälte Luft Klimatechnik 18.07.2012

## Das Funktionsprinzip

Zur Ermittlung des optimalen Saugdrucks werden die Betriebsdaten aller Kühlstellenregler einbezogen. Die Berechnungen dafür werden von einem Algorithmus in der Verbundsteuerung vorgenommen. Den aktuellen Saugdruck bestimmt dabei das sogenannte „kritische“ Kühlmöbel. Anders als bei konventionellen Anlagen mit starrer Saugdruckregelung kann jedes Kühlmöbel je nach Betriebszustand zum kritischen Möbel werden, da  $t_0$  regelungstechnisch keine feste, sondern eine dynamische Größe ist, die von vorgegebenen Soll-Werten für die Temperaturen von Zu- oder Rückluft, der eingestellten Hysterese und einem schwankenden Kältebedarf der Kühlstellen abhängt. Kurz: Der Soll-Wert von  $t_0$  wird bedarfsgerecht „geschoben“.

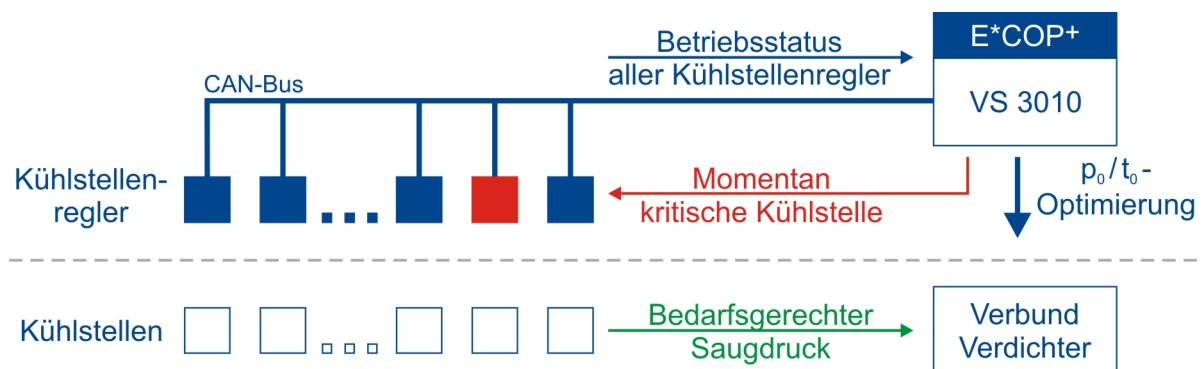
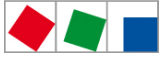


Abb. 2: Funktionsprinzip der Saugdruckoptimierung E\*COP<sup>+</sup>.

Stellt das System fest, dass alle Kühlstellen mit geringer Auslastung arbeiten, wird  $t_0$  angehoben. Durch eine Anhebung von  $t_0$  nähern sich zunehmend mehr Kühlmöbel ihrem kritischen Betriebsstatus an. Das Magnetventil des kritischen Kühlmöbels ist permanent geöffnet, d.h. es befindet sich dauerhaft im Kühlbetrieb. Die beste aller möglichen Kälteanlagen wäre eine solche, bei der alle Kühlstellen permanent als kritisch zu bezeichnen sind, weil sie nur das an Kälteleistung „verbrauchen“, was sie tatsächlich zum Kühlen der Waren benötigen. Diesem Ziel kommt man mit dem Regelungsverfahren E\*COP<sup>+</sup> von Eckelmann schon recht nahe. Es hat sich gezeigt, dass nach der Umstellung mehr Ventile permanent geöffnet sind und das jeweils kritische Möbel erwartungsgemäß häufiger wechselt. Mithilfe der PC-Software LDSWin kann in der Historie untersucht werden, welches Kühlmöbel wann kritisch war. Diese Daten können wertvolle Informationen zur weiteren Optimierung einer Anlage liefern.

In konventionellen Anlagen mit thermostatischen Expansionsventilen ist eine bedarfsgerechte Steuerung der Kälteleistung nicht gegeben, denn hier wird meist auf den Anstieg der Raumtemperatur im Markt mit einer globalen Absenkung von  $t_0$  reagiert. Der Parameter Raumtemperatur steht aber nicht in direktem physikalischen Zusammenhang mit dem tatsächlichen momentanen Kühlbedarf. Die Einbeziehung der Raumtemperatur im Markt führt damit letztlich zu einer energetisch nicht optimalen Führung des gesamten Systems. Ein solches Betriebsverhalten ist zwar grob bedarfsorientiert unter der Annahme, dass bei höheren Raumtemperaturen auch ein erhöhter Kühlbedarf zu erwarten ist und umgekehrt. Aber es ist nicht intelligent, denn es berücksichtigt nicht die momentanen Bedarfe der einzelnen Kühlstellen.



In ähnlicher Form erschienen in KI Kälte Luft Klimatechnik 18.07.2012

Befürchtungen, dass eine Saugdruckregelung durch das häufigere Zu- und Abschalten der Verdichter zu ständig schwankenden Betriebsbedingungen führt, bestätigten sich beim E\*COP<sup>+</sup> Verfahren von Eckelmann nicht. Ganz im Gegenteil: Die Dynamisierung des  $t_o$ -Sollwertes hat gerade zur Folge, dass sich die Schaltimpulse am Verdichter reduzieren, und die Anlage dadurch ruhiger läuft. Die im folgenden Abschnitt dargestellten Messungen bestätigen diese Aussagen.

Die autoadaptive Saugdruckoptimierung E\*COP<sup>+</sup> von Eckelmann ist besonders im Bereich der Supermarkt-Kälte vorteilhaft einsetzbar, denn hier treten in der Regel sowohl im Tages- wie im Jahresverlauf starke Schwankungen im Kältebedarf auf.

## Energieeffizienz von E\*COP+ im Test

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Analyse eines Supermarktes mit E\*COP+ Update genauer beschrieben. Bei dem Markt handelt es sich um eine Filiale mit 750 m<sup>2</sup> Verkaufsfläche mit einer Kälteanlage mit drei Verbunden:

- Ein Verbund für die Normalkühlung mit drei Verdichtern, 10 NK-Möbel und 1 NK-Raum mit dem Kältemittel R134a
- Ein Verbund für die Fleischkühlung mit zwei zweistufigen Verdichtern, 5 FK-Möbeln und einem Fleischkühlraum mit dem Kältemittel R134a
- Ein Verbund für die Tiefkühlung mit zwei zweistufigen Verdichtern, 3 TK-Schränken und einem TK-Raum mit dem Kältemittel R404a

In Abb. 3 ist der Energiebedarf der Anlage über der Außentemperatur dargestellt. Für den Energiebedarf vor dem Update wurden die Daten eines ganzen Jahres herangezogen. Für den Markt mit E\*COP+, ohne andere Systemänderungen, liegen bislang Daten für den Zeitraum vom 9.3.2012 bis zum 15.5.2012 vor. Bei  $t_a = 10\text{ °C}$  konnte demnach 10 bis 12 % Energie eingespart werden. Eine weitere wichtige Kennzahl zur Beurteilung der Wirksamkeit von E\*COP+ ist die Einschaltquote der Verdichter (vgl. Abb. 4), die nach dem Update um 19 % gesunken ist (bei  $t_a = 10\text{ °C}$ ). Die Schaltimpulse je Verdichter wurden um rund 40 % reduziert.

Wie vermutet führte der E\*COP+ Algorithmus dazu, dass mehr Ventile über längere Intervalle geöffnet waren und der Massestrom dadurch konstanter wurde. Die Anlage läuft seit der Umstellung insgesamt deutlich ruhiger. Die Einschaltdauer der Mopropregale, die einen Großteil des NK-Bereichs ausmachen, lag nach der Einführung von E\*COP+ bei 95 bis 100 %. Dieser Betriebszustand, bei dem mehrere Kühlstellen nahezu ununterbrochen im Kühlbetrieb sind, weist auf einen besonders energieeffizienten Betrieb der Anlage hin. Durch die  $t_o$ -Sollwertschiebung wurde damit ein für diese Möbel gerade noch ausreichend tiefer – und damit optimaler –  $t_o$ -Sollwert gefunden.



In ähnlicher Form erschienen in KI Kälte Luft Klimatechnik 18.07.2012

Durch die autoadaptive Anhebung von  $t_o$  konnte im Beobachtungszeitraum bei dem jeweils kritischen Kühlmöbel (Dauerkühlung) typischerweise die in Tab. 1 dargestellten Temperaturdifferenzen zwischen und Zuluft- bzw. Rückluft-Temperatur und  $t_o$  erzielt werden. Diese Zahlen dokumentieren eine besonders effiziente Kühlung. Im NK-Bereich bspw. können damit Spitzenwerte für die Verdampfungstemperatur  $t_o$  von um die  $-3\text{ °C}$  erreicht werden. Das Problem der Vereisung spielt bei diesen Kühlmöbeln quasi keine Rolle mehr.

	Tag (offenes Kühlmöbel)	Nacht (geschlossen mit Nachrollo oder Abdeckung)
$\Delta T=(t_{\text{Zuluft}}-t_o)$	4-6 K	1-3 K
$\Delta T=(t_{\text{Rückluft}}-t_o)$	8-11 K	4-6 K

Tab. 1: Temperaturdifferenzen im kritischen Kühlmöbel im Tag- und Nachtbetrieb.

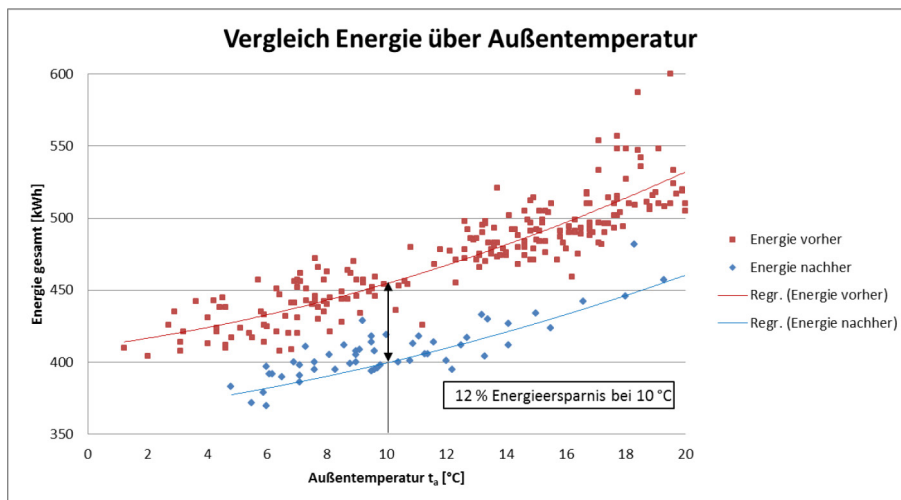


Abb. 3: Vergleich des täglichen Energiebedarfs der gesamten Kälteanlage über der Außentemperatur.



In ähnlicher Form erschienen in KI Kälte Luft Klimatechnik 18.07.2012

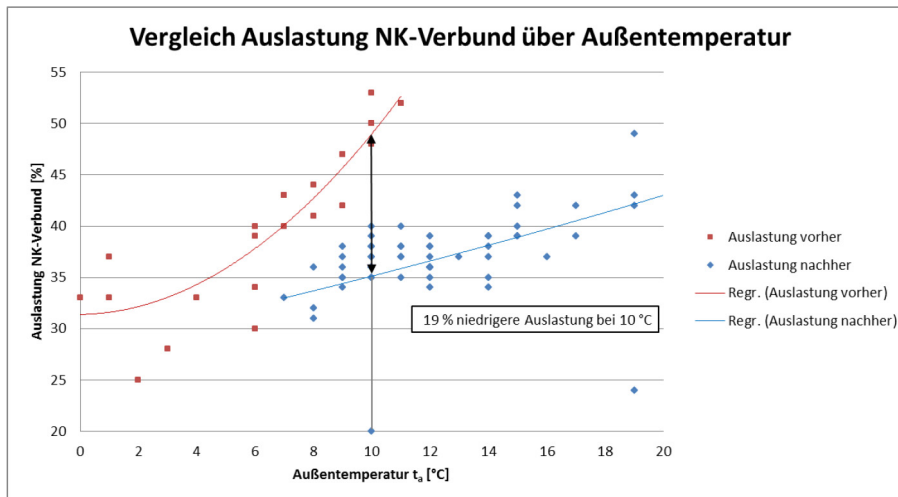


Abb. 4: Vergleich der Auslastung des NK-Verbunds über der Außentemperatur.

## Fazit

Die Eckelmann AG hat mit dem Firmware-Update E\*COP+ ein hochpraktikables Verfahren zur Saugdruckoptimierung für Bestandsanlagen mit TEV vorgestellt. Das E\*LDS Update ist für die Verbundsteuerungen VS 3010, VS 3010 BS und VS 300 und die Kühlstellenregler der UA 300/UA410-Reihe verfügbar. Durch die dynamische Anhebung der Verdampfungstemperatur können nach ersten Erprobungen in Testmärkten circa 10 % Energie gespart werden.

### Autoren:

Dipl.-Ing. Philipp Berg und Dipl.-Ing. Markus Müller, Eckelmann AG

### Kontakt:

Eckelmann AG

Berliner Straße 161

65205 Wiesbaden

Deutschland

Telefon + 49 611 7103-0

E-Mail [info@eckelmann.de](mailto:info@eckelmann.de)