

Qualitätssicherung sensibler Waren durch neue Feuchte- und Temperaturregelung

Friedhelm Meyer, Allendorf/Eder

In Kühlräumen mit unverpackter Ware wie z.B. Wurst, Käse, Äpfel oder Blumen wird oft beobachtet, dass über das ganze Jahr gesehen der Feuchtehaushalt im Kühlraum beachtlich schwankt. Ursachen hierfür können u. a. die unterschiedlichen Lastbedingungen sein. Mit Standard-Kühlstellenreglern lässt sich die Raumtemperatur sehr genau regeln, leider ohne Kontrolle der Luftfeuchte. Dies ist jedoch im Hinblick auf beste Warenqualität unverzichtbar. Nachfolgend wird ein neues Regelkonzept vorgestellt, welches ohne zusätzliche Befeuchtungseinrichtungen für genau diese Anwendungen eine optimale Lösung bietet.

Neben einer gleichmäßigen Raumtemperatur ist die Einhaltung einer konstanten, relativen Luftfeuchte für eine Vielzahl sensibler Waren von entscheidender Bedeutung. Zunächst bestimmt das Anforderungsprofil der zu kühlenden Waren die Auslegung einer Kälteanlage, gemeint ist hier – nach Feststellung der Kühllast – die Auslegung des Luftkühlers bezogen auf das **DT1** ($\Delta t_1 = t_{L1} - t_0$). Denn das sich im praktischen Betrieb einstellende DT1 bildet letztlich die Grundlage zum Werterhalt für das jeweils zu kühlende Gut in Bezug auf die sich einstellende rel. Luftfeuchte. Die Graphik macht den Einfluss des DT1 auf die rel. Luftfeuchte deutlich.

Beispiel: Gefordert ist eine Kühlstelle bei einer Raumtemperatur von 2°C und einer rel. Luftfeuchte zwischen 89 und 95%. Die rel. Luftfeuchte soll in dem zuvor genannten Bereich, mit einer Toleranz von $\pm 3\%$ bei minimalem Energieeinsatz gehalten werden, während die Abweichung der Raumtemperatur in der Lagerphase nicht mehr als $\pm 0,5$ K vom Sollwert betragen soll. Die Laufzeit der Kälteanlage wird auf ca. 16 h/Tag festgelegt. Nach erstellter Kühllastberechnung wird zunächst der Luftkühler bei einem DT1 von 6 K und einer Luft-eintrittstemperatur von 2°C ausgelegt.

Im praktischen Betrieb wird sich entsprechend der Auslegung gemäß dem vorgenannten Beispiel eine rel. Luftfeuchte von ca. 92% einstellen.

Soweit scheint alles in bester Ordnung, wäre da nicht im Verlauf eines Jahres in unseren Breiten als Folge niedriger Umgebungstemperaturen die Besonderheit der Teillastbedingung von mehr als 80 Prozent. Im Teillastbereich wird die Laufzeit einer Kältemaschine ganz erheblich reduziert; als Folge hieraus verringert sich die Entfeuchtungsleistung mit dem Ergebnis, dass die rel. Luftfeuchte innerhalb einer Kühlstelle schnell auf einen Wert $>95\%$ ansteigt. Eine Vielzahl sensibler Waren ist dann durch Taupunktunterschreitung (Feuchtigkeitsbildung) auf der Oberfläche des Kühlgutes akut gefährdet. Spätestens jetzt wird deutlich, dass aus Gründen der Qualitätssicherung, also zum Schutz und Werterhalt des Kühlgutes, eine wirtschaftliche Regelung der rel. Luftfeuchte innerhalb einer engen Toleranz notwendig ist.

Stand der Technik

In einem Fleischlager – das allerdings mit einem DT1 von 10 K ausgelegt werden sollte – wirkt sich eine zu hohe Luftfeuchtigkeit geradezu katastrophal aus. Selbst einer fachlich nicht versierten Nase wird der wenig appetitliche Essigsäuregeruch in einem Fleischlager auffallen, der durch zu hohe Luftfeuchtigkeit verbreitet wird. Ein alarmierendes Zeichen, denn gefräßige Enzyme, die unter den zuvor genannten Bedingungen trefflich gedeihen, verrichten unaufhaltsam ihr Vernichtungswerk. Hier bewahrheitet sich die Erkenntnis des Na-

zum Autor

Friedhelm Meyer,
Geschäftsführer,
Cool Expert –
Friedhelm Meyer
GmbH & Co. KG,
Allendorf/Eder

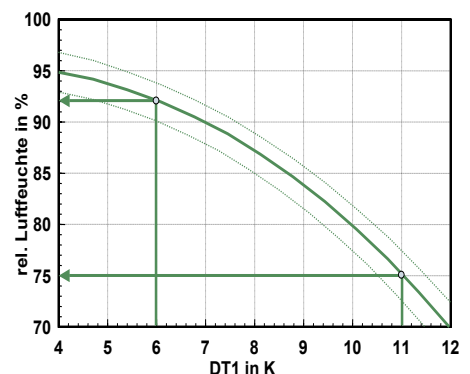


turwissenschaftlers Prof. Dr. Hans Hass, der nachweisen konnte, dass der Ursprung allen Lebens im Wasser zu finden ist.

Von verdorbenem Fleisch wird allenthalben in den Medien berichtet; dies erschreckt nicht nur die Lebensmittelprüfer und die Gesetzeshüter, sondern empört mit Recht den zahlenden Verbraucher. So manch einer ließ daher ab vom saftigen Stück Lebenskraft aus deutschen Landen und mutierte zum Vegetarier. Ursache hierfür sind unter anderem nicht gerade optimale Lagerbedingungen für Fleischwaren.

Qualitätssicherung im Fleischlager bisher?

Bekannt sind Leuchtmittel zur Entkeimung im Fleischlager, die unter Teillastbedingungen, wie zuvor dargestellt wenig



Relative Luftfeuchte in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz DT1 bei Luftkühlern

Als Vortrag gehalten anlässlich der Deutschen Kälte-Klima-Tagung des DKV am 18. November 2005 in Würzburg.



*Management
Information Control
MIC QKL RE mit
Display in Klartext-
anzeige und intuiti-
ver Menüführung*

dienlich sind. Bleibt doch auch die Frage unbeantwortet, was diese nutzlosen Stromverbraucher überhaupt bewirken, wenn die Kälteanforderung aufgrund niedriger Umgebungstemperaturen einfach ausbleibt und die rel. Luftfeuchtigkeit unaufhörlich steigt? Entkeimungslampen sind in diesem Fall Produkte, die dem Selbstzweck dienen und helfen hier mehr dem Hersteller solcher Artikel als dem leidgeprüften Fleischer, der es ansonsten versteht, Wasser schnittfest zu machen. Unter den zuvor genannten Bedingungen bleibt aber nur noch der Wunsch nach schnittfestem Fleisch übrig. Im Chargon der Fleischerbranche spricht man dann vom, Zitat Anfang, „Gammel“, Zitat Ende.

Wenig hilfreich, wenn auch vom Ansatz her richtig, sind Heizöfen, ausgerüstet mit einem Hygrostaten, die bei zu hoher Luftfeuchtigkeit den Kühlraum aufheizen und die Kälteanlage zur Entfeuchtung einschalten sollen. Eine energetisch wenig sinnvolle Lösung, die eigentlich nur die Stromkosten hochtreibt, weil eine wirtschaftliche und schnelle Entfeuchtung durch Einleiten einer tieferen Temperatur an der Oberfläche des Kühlerblocks so nicht gegeben ist.

Qualität anderer Kühlgüter

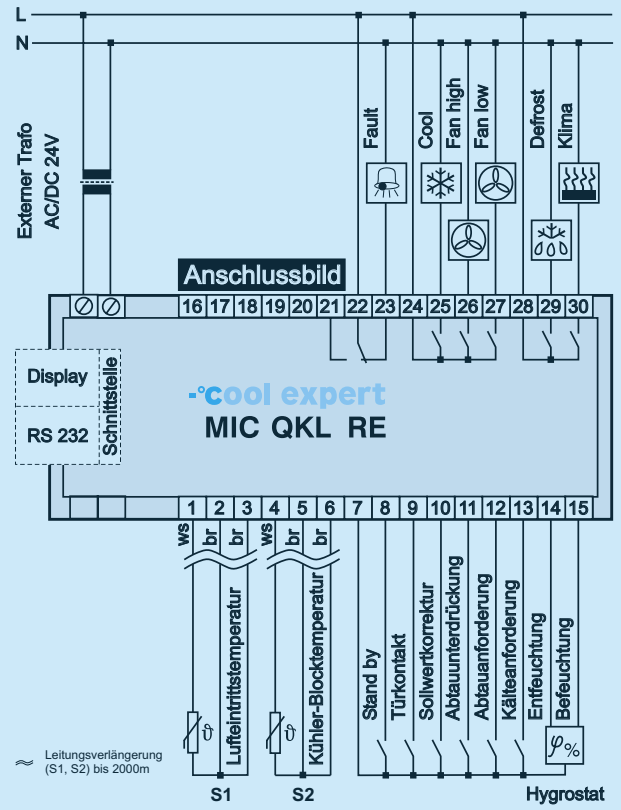
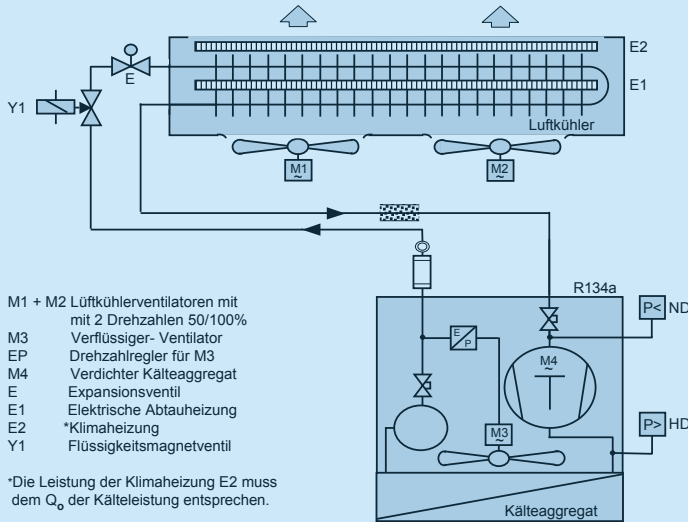
Die Liste, wo die richtige rel. Luftfeuchte den Werterhalt der zu kühlenden Ware entscheidend mit beeinflusst und die Qualität der Ware sichert – angefangen vom Schinkenlager, Wurstreiferaum bis hin zum Käsereiferaum oder gar die Lagerung von Zwiebeln, die zu allem Überfluss bei geringster Marge sorgfältig belüftet und durchgängig bei einer rel. Luftfeuchte von 75% gelagert werden müssen – ließe sich an dieser Stelle noch beliebig erweitern.

Ganz abgesehen von der Quadratur des Kreises, die ein Kälteanlagenbauer in einer Konditorei vollbringen muss, wenn ein Sahne Klimalager erstellt werden soll, bei dem von der Aufgabenstellung her einerseits die Sahne nicht verhauten und andererseits der Schokoladenguss auf der gleichen Torte durch Taupunktunterschreitung nicht fleckig werden darf.

Die Lösung

So einfach wie möglich, mit soviel Automatisierung wie nötig, bei größtmöglicher Betriebssicherheit waren die Zielvorgaben. Getreu dem Motto „konfigurieren statt parametrieren“ entstand ein wissensbasierter Regler, der Betriebszustandsänderungen er-

Feuchte- und Temperaturregelung MIC QKL RE
Anlagenschema und Anschlussbild



kennt und selbstoptimierend eine Kälteanlage unter Berücksichtigung der jeweiligen Konfiguration auf den Werterhalt sensibler Waren ausrichtet. Eine Lösung, die nicht dem Selbstzweck dient, sondern vielmehr der Qualitätssicherung zu kühlender Waren durch autoadaptive Feuchte- und Temperaturregelung bei minimalem Energieeinsatz. So kam letztlich ein weiteres Mitglied zur QKL-Familie hinzu: MIC QKL RE.

Die kältetechnischen Voraussetzungen zur Feuchte- und Temperaturregelung

Die Vorgehensweise zur Auslegung einer Kälteanlage bleibt nach wie vor gleich. Zuerst die Kälteleistung nach erstellter Kühllastberechnung festlegen, danach den Luftkühler entsprechend der benötigten Kälteleistung mit dem erforderlichen DT1 auslegen.

Unkompliziert bleibt es auch, wenn wir die nachträgliche Ausrüstung einer Problemanlage mit instabiler Luftfeuchtigkeit betrachten:

Die Ventilatoren des bestehenden Kühlers müssen nicht erneuert, sondern um einen Drehzahlsteller, der zwei Drehzahlen ($n=100\%$ und $n=50\%$) zulässt, ergänzt werden. Bei 230 V Ventilatormotoren verändert man die Drehzahl am einfachsten und kostengünstigsten durch einen Spartrafo – die Drehzahl $n=50\%$ ergibt sich bei einer am Spartrafo abgegriffenen Spannung von 120 Volt.

Dagegen sollte bei 400 Volt Motoren die Drehzahlabsenkung von $n=50\%$ durch einen Frequenzumformer erfolgen. Auf keinen Fall sollten Stern-Dreieck-Motoren Anwendung finden; sie sind in unserem Fall wenig hilfreich da sie bekanntermaßen nicht die Drehzahl reduzieren.

Darüber hinaus ist der Kühler mit einer Klimaheizung nachzurüsten. Um es vorweg zu nehmen: Der Einsatz einer Abtauheizung als Ersatz für eine Klimaheizung bewirkt genau das Gegenteil und führt nicht zur gewünschten Entfeuchtung sondern zur Erhöhung der relativen Luftfeuchte.

Warum? Die Abtauheizung erhöht im eingeschalteten Zustand während des Kälteprozesses die Temperatur des Kühlerblocks und verkleinert das DT1 was letzt-

lich bewirkt, dass die Luftfeuchtigkeit innerhalb einer Kühlstelle weiter ansteigt; die gewünschte Entfeuchtung jedenfalls bleibt aus! Genauso wenig sinnvoll ist der Versuch, die Abtauheizung und den Ventilator zum Zweck der Kühlraumbelastung einzuschalten, um durch die laufende Kältemaschine zu entfeuchten; erwiesenermaßen werden dadurch nur die Feuchtigkeitspartikel gebunden die zuvor abgeschmolzen wurden.

Die Leistung einer unbedingt notwendigen Klimaheizung muss in etwa der Kälteleistung entsprechen. Für den Fall möglicher Atmungswärme kann diese jedoch bei der Auslegung der Klimaheizung berücksichtigt, also in Abzug gebracht werden.

Beispiel: Die erforderliche Kälteleistung beträgt 10 kW und die Atmungswärme des Kühlgutes im Mittel 3 kW; somit sollte man eine Klimaheizung mit einer Leistung von ca. 7 kW einsetzen.

Die Klimaheizung ist grundsätzlich so einzubauen, dass der Kühlerventilator zuerst die Raumluft über den Kühler und danach über das Klimaheizregister führt – siehe hierzu das Anlagenschema Feuchteregelung.

Letztendlich benötigen wir als Signalgeber zur Erfassung der rel. Luftfeuchte noch einen Hygrostaten mit Neutralzone, der im Lufteintritt des Luftkühlers installiert werden muss sowie einen Lufteintrittstemperatursensor und einen Kühlerblocksensor – und schon ist die nachträgliche Ausrüstung einer ehemaligen Problemanlage abgeschlossen. Sie können jetzt nachweisen, dass die moderne Kältetechnik nichts dem Zufall überlässt und geben ihrem Kunden den entscheidenden Wettbewerbsvorteil.

Der physikalische Hintergrund

Im Fall der Entfeuchtung wird während des Kälteprozesses die Kühlerventilator-drehzahl, von $n=100\%$ auf $n=50\%$ abgesenkt. Die Verdampfungstemperatur fällt als Folge der kleineren Ventilator-drehzahl in unserem Beispiel von zuvor $t_0=-4^\circ\text{C}$ auf $t_0=-9^\circ\text{C}$. Das ermittelte DT1 von ursprünglich 6 K im Normalbetrieb vergrößert sich im Entfeuchtungsbetrieb bei zu hoher Luftfeuchtigkeit auf ca. 11 K. Durch die tiefere Verdampfungstemperatur fällt die Temperatur der Kühloberfläche. Als Folge daraus erhöht sich die Entfeuchtungsleistung um mehr als das Doppelte. Mit anderen Worten, den Enzymen wird durch die verminderte Feuchtebelastung die Lebensgrundlage genommen und unsere Waren können länger und sicher gelagert werden. Die Klimaheizung hält während

der Entfeuchtungsphase innerhalb der Kühlstelle das Temperaturgleichgewicht.

Zunächst hat das Erreichen der Solltemperatur mit hoher Ventilator-drehzahl Vorrang. Nähert sich die Isttemperatur (Lufteintrittstemperatur) der Solltemperatur bis auf 1,5 K und die Luftfeuchtigkeit ist zu hoch, beginnt der Entfeuchtungsprozess, in dem QKL RE den Kühlerventilator von der hohen Drehzahl mit einer Zeitverzögerung von 5 Sekunden, auf die niedrige Drehzahl schaltet. Unterschreitet der Istwert im Verlauf des Entfeuchtungsprozesses den Sollwert, schaltet QKL RE die Klimaheizung ein und oberhalb der Solltemperatur die Klimaheizung wieder aus. Bei „Feuchte gut“ schaltet der Regler zeitverzögert den Kühlerventilator von der niedrigen Drehzahl zurück in die hohe Drehzahl, um die Abschalttemperatur $<$ Solltemperatur zu erreichen. Bei „Kälte gut“ und „Feuchte gut“ schaltet der Regler den Kühlerventilator und die Kälteanforderung aus.

Ist die Kälteleistung größer als die Leistung der Klimaheizung, wird der Kälteprozess zum Schutz des Kühlgutes gegen Untertemperatur bei einer Unterschreitung der Solltemperatur um 0,5 K ausgesetzt. Kühlerventilator und Klimaheizung bleiben jedoch eingeschaltet, um den Entfeuchtungsprozess nach Anheben der Isttemperatur (\geq Solltemperatur) fortzusetzen.

Ist die gewünschte Entfeuchtung innerhalb von zwei fortlaufenden Stunden nicht erreicht, erfolgt eine Störmeldung im Klartext.

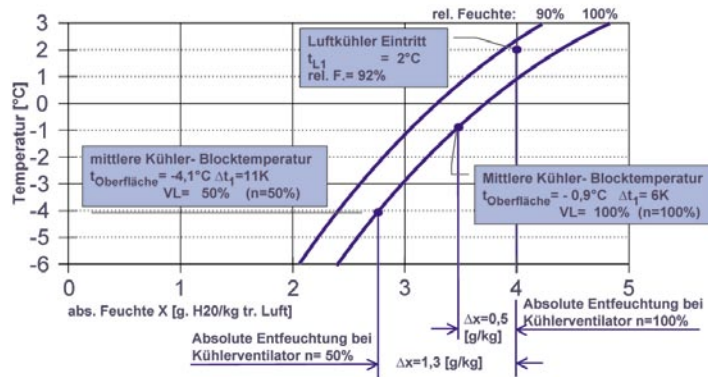
Um den Verdichter vor Flüssigkeitsschlägen zu schützen, ist das Expansionsventil so auszulegen, dass genügend Reserven während der Entfeuchtungsphase vorhanden sind. Im Ausnahmefall sind aus Gründen der Betriebssicherheit zwei Expansionsventile einzusetzen.

Um ein stetiges Eindringen feuchter Luft zu verhindern, ist selbstverständlich ein Tauwasser-Siphon zwingend vorzusehen.

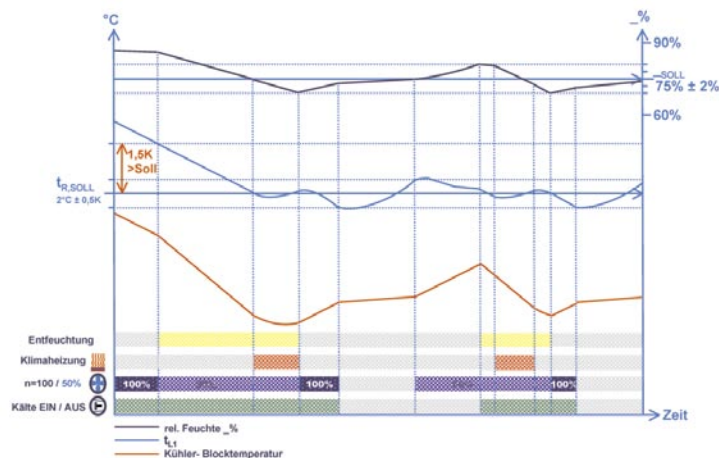
Befeuchtungseffekt durch patentiertes Kühlerventilator-Management

Mit der Meldung „Feuchte gut“ wird bei einer Kälteanforderung zuerst der Kühlerventilator eingeschaltet. Fällt die Raumtemperatur durch die Schmelzwärme, die dem Reif bzw. Eis an der Kühloberfläche entzogen wird, schaltet der Regler den Kühlerventilator aus. Steigt die Raumtemperatur, wird nach dem Ventilatorlauf der Kälteprozess gestartet. Dies bedeutet, dass die rela-

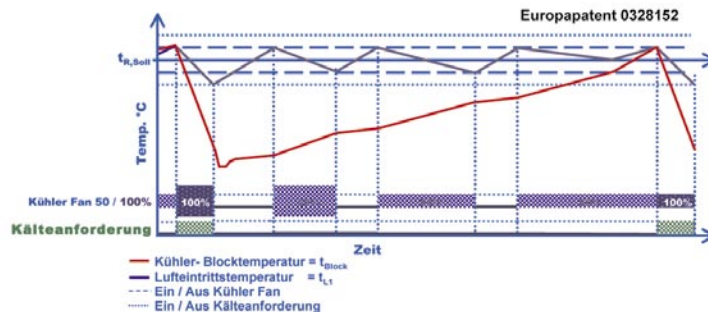
Quelle: KÜBA Kältetechnik



Rel. Luftfeuchte bei hoher ($n=100\%$) und niedriger ($n=50\%$) Kühlerventilator-drehzahl – Ausschnitt h-x-Diagramm bei 1013,25 mbar



Feuchte- und Temperaturverlauf



Befeuchtungseffekt durch Ventilatorvorlauf

relative Luftfeuchtigkeit um mindestens 10 % steigt. Reif bzw. Eis an den Lamellen des Luftkühlers wird durch Sublimation abgebaut. Abtauvorgänge werden gegenüber dem Stand der Technik durch dieses Verfahren um Faktor drei reduziert. Die Freigabe des Maschinenlaufs erfolgt erst dann, wenn die Oberflächentemperatur des Kühlers und die Raumtemperatur gleich sind. Der Luftkühler arbeitet stets mit optimalem Wirkungsgrad. Die Taupunktunterschreitung erfolgt nach dem Einschalten der Kältemaschine zeitverzögert mit dem Ergebnis, dass im Kühlbetrieb weniger entfeuchtet wird. Die Kälteanforderung wird durch die Nutzung des Energiespeichers (Luftkühler) um mehr als 20% reduziert.

Während der Entfeuchtungsphase bleibt das Kühlerventilatormanagement, wie zuvor geschildert, aufgehoben. Nach der Entfeuchtungsphase wird das Kühlerventilator-

management zum Zweck der Befeuchtung bei Kälteanforderung wieder zugelassen.

Nach 15 Minuten „Kälte gut“ und „Feuchte gut“ wird für die Dauer von fünf Minuten eine zyklische Luftumspülung durchgeführt.

Schlussbemerkung

MIC QKL RE ist ein selbstoptimierender, wissensbasierender Feuchte- und Temperaturregler mit autoadaptiver Abtauerkennung. Die Abtauerkennung erfolgt zum energetisch besten Zeitpunkt nach dem Prinzip der Leistungsmessung. Bei einem Leistungsverlust des Luftkühlers von $\geq 5\%$ durch Reif-Eisbildung wird automatisch ein Abtauvorgang eingeleitet.

Die Adaption der Raumtemperaturdifferenz erfolgt selbstoptimierend unter Berücksichtigung der Wärmelast der jeweiligen Kühlstelle.

Anwendungsgebiete

In der Bäckerei:

Sahne- Klimalager
Gärunterbrecher
Lagerfroster

Molkereiprodukte:

Käsefereraum
Joghurtkulturen
Käselager

Medizin:

Blutplasmalager
Medikamentenlager
Pathologie

In der Fleischerei:

Im Fleischlager
Wurstwarenlager
Wurstfereraum
Schinkenfereraum

Im Gartenbau:

Rosenlager
Pflanzenlager
Gewächsholzlager
Blumenlager

In der Landwirtschaft:

Apfellager
Kartoffellager
Gemüselager
Zwiebellager
Champignonzucht

Tabakindustrie:

Tabaklager

Im Weinlager

Ein patentiertes, autoadaptives Abtau-
management regelt die elektrische Abtau-
heizung, die Umluftabtauung sowie die
Heißgasabtauung. Die Abtauendtempera-
tur wird autoadaptiv berechnet. Der Wär-
meinhalt des jeweiligen Abtaumediums
bildet die Berechnungsgrundlage zur Be-
stimmung der Abtauendtemperatur. Verei-
sungen am Luftkühler und im Umfeld des
Kühlers sind ausgeschlossen.

Der Start des Luftkühlerventilators wird,
ausgehend von der Solltemperatur, nach
jedem Abtauvorgang berechnet und lastab-
hängig durch Selbstoptimierung korrigiert.
Ein autoadaptives Frühwarnsystem über-
wacht die Leistung des Kühlers und prüft
ständig die Kälteanlagenverfügbarkeit; im
Nichtregelfall erfolgt eine Warmmeldung.

Auf Wunsch kann ein Warenschutzpro-
gramm aktiviert werden, das Untertempe-
raturen innerhalb einer Kühlstelle im
Trend erkennt (Bedingung hier: Istwert <
Sollwert -0,5 K). Erkennt der Regler durch

seinen Lufteintrittstemperatursensor eine
tendenzielle Untertemperatur, wird zuerst
der Kühlerventilator und im weiteren Ver-
lauf, sofern die Raumtemperatur nicht
angehoben werden konnte, zusätzlich zum
Ventilatorbetrieb die Abtauheizung bzw.
die Klimaheizung eingeschaltet. Kann die
Raumtemperatur innerhalb von max. 2
Stunden nicht erhöht werden, erfolgt eine
Störmeldung.

Notprogramme schützen im Nichtregel-
fall vor Warenschaden. Sogar bei Totalver-
lust der beiden Sensoren S1 und S2 wird
über die im Programmspeicher hinterlegte
Verdichterlaufzeit – abhängig von der Soll-
temperatur – die Ein- und Ausschaltfunk-

tion des Verdichters überwacht. Ein regler-
internes Reparatur-Management trifft im
Servicefall z. B. bei defekter Abtauheizung,
bei Kühlerventilatorausfall usw. vorsorg-
lich Maßnahmen zur Vermeidung von Wa-
renschäden. Bis zu 16 Störfälle werden im
Diagnosesystem im Klartext dokumentiert
und helfen im Servicefall Zeit und Kosten
einzusparen.

Ein Test und Prüfprogramm ermöglicht
eine schnelle Diagnose und Inbetriebnah-
me. Durch Dreileitermesstechnik erfolgt
eine automatische Kalibrierung der Tem-
peratursensoren bei Leitungsverlängerung
ohne zusätzliche und zeitintensive Ein-
stell- und Justierarbeiten.

Je nach Aufgabenstellung können wei-
tere Signaleingänge für verschiedene Auf-
gaben konfiguriert werden:

- Standby Schaltung z. B. bei Lastabwurf
- Türkontakterkennung mit einstellbarer
Abschaltdauer für Kühlerventilator und
Verdichter einschließlich optionaler
Temperaturüberwachung während der
Türöffnungsdauer mit Wiedereinschalt-
funktion der Kälteanlage bei Überschrei-
ten der hinterlegten Sicherheitstempla-
tur – inkl. Dokumentation von Anzahl
und Dauer der Türöffnungen. Alle reg-
lerinternen Aufzeichnungen können,
durch ein Passwort geschützt, auf Null
gesetzt werden.
- Sollwertkorrektur bis ± 10 K einstellbar
- Abtauunterdrückung
- Abtauanforderung
- Kälteanforderung
- Entfeuchtung
- Befeuchtung