

Kältemaschinen sind komplexe Anlagen mit einer Reihe ineinander verzahnter Regelkreise. Eine gute Regelung sichert den reibungslosen Betrieb und optimiert zudem die Energieeffizienz. Der folgende Beitrag zeigt am Beispiel des Bayreuther Kunstmuseums, wie eine dezentrale Kälteanlage mit Direktverdampfer energieeffizient geregelt werden kann.

# Leicht überhitzte Kälte kühlt besser

Regelung einer dezentralen Kälteanlage für gutes Museumsklima – von Dr.-Ing. Dieter Pfannstiel

Ein weiterer Bereich im Kunstmuseum Bayreuth musste zum Schutz der wertvollen Ausstellungsstücke klimatisiert werden. Dafür wurde eine konstante Raumtemperatur von 20 °C gefordert. Um Temperaturschwankungen im Raum zu vermeiden, durfte die Zulufttemperatur im Bereich zwischen 12 und 20 °C maximal um 1 K abweichen, was normalerweise nur mit einem Wasserkühlsatz erreicht werden kann. Zur Diskussion standen die Erweiterung eines vorhandenen Wasserkühlsatzes aus einem anderen Teilbereich des Museums, ein separater Wasserkühlsatz oder ein Direktverdampfer mit elektronischem Expansionsventil (EEV). Ein Direktverdampfer mit thermostatischem Expansionsventil schied von vornherein aus, da mit diesem die Toleranz in der Zulufttemperatur nicht einzuhalten ist. Die Toleranz liegt bei diesem System typischerweise zwischen 4 und 8 K.

sollten wasserführende Leitungen in den Ausstellungsräumen aus Sicherheitsgründen vermieden werden. Da die Rohrleitungen durch einen nicht isolierten Dachraum geführt hätten, wäre eine Wasser-Glykol-Füllung nötig gewesen. Gegen den Einsatz eines neuen separaten Wasserkühlsatz sprach das hohe Gewicht und die große Abmessung sowie die unrentable kleine Anlagengröße. Der gewählte Direktverdampfer mit EEV hat den Vorteil des genauen Regelverhaltens, der kleineren Abmessung gegenüber einem Wasserkühlsatz und dem geringen Gewicht sowie den einfach zu verlegenden Leitungen mit kleineren Querschnitten. Dagegen standen die etwas höheren Kosten für die Komponenten.

### Effizient regeln

Um den vorgegebenen Toleranzbereich von +/- 1 K der Zulufttemperatur



Ein Teilbereich im Kunstmuseum Bayreuth musste klimatisiert werden. (Abb. Stadt Bayreuth)

einzuhalten, musste der eingesetzte Regler („novaCool“/ Sauter) nicht nur das elektronische Expansionsventil regeln, sondern auch die Verdichter- und Verflüssigerdrehzahl. Das Zusammenspiel der drei Komponenten ist für das genaue Regelverhalten dabei entscheidend (siehe Abb. 2). Der Sollwert der Zulufttemperatur wird durch die übergeordnete Klimaregelung mittels 0 bis 10 Volt-Signal als Leistungsanforderung an den Kälteregele weitergegeben. Der Regler berechnet aus der Leistungsanforderung die erforderliche Kälteleistung und fährt die Kälteanlage in den entsprechenden Leistungsbereich. Mit der Überhitzungsregelung in

Verbindung mit dem EEV wird der Verdampfer stets optimal mit Kältemittel befüllt. Selbst bei starken Leistungsänderungen kann die einzuspritzende Menge an Kältemittel genau dosiert werden. Dazu wird die Überhitzungstemperatur und der Verdampfungsdruck nach dem Verdampfer gemessen. Aus dem Verdampfungsdruck wird in Abhängigkeit des eingesetzten Kältemittels die Verdampfungstemperatur berechnet. Anhand der berechneten Temperaturdifferenz zwischen Überhitzungs- und Verdampfungstemperatur und dem vorgegebenen Überhitzungs-Sollwert von 4 K wird das EEV verstellt. Diese permanente Überprüfung und Regelung der Überhitzung ist der entscheidende Vorteil eines elektronischen gegenüber einem thermostatischen Expansionsventil. Die Regelung der Kältemittelspritzung in Verbindung mit einer minimalen Überhitzung von 4 K führt zu höchstmöglichen Verdampfungsdrücken. Eine höhere Überhitzungstemperatur beeinflusst die energetische Seite negativ, denn pro 1 K höherer Überhitzung sinkt die Verdampfungstemperatur durchschnittlich um 1 K und die Kälteleistung nimmt um ca. 3,1 % ab. Eine optimale Verdampferleistung erfordert daher eine minimale Überhitzung, die

### Projektbeteiligte

Die Klimaanlage wurde vom Ingenieurbüro IHP Klaus Hohlweg, Bayreuth, geplant und von der Pöhlmann Kälte- und Klimatechnik GmbH aus Marktrechwitz installiert. Zur Regelung der Kälteanlage wurde der „novaCool“-Regler mit Touch-Panel der Sauter-Cumulus GmbH, Freiburg, ausgewählt. Sauter ist bisher als Regelungs- und Komponentenhersteller für heizungs- und lüftungstechnische Anwendungen bekannt.

Soll-Ist-Vergleichs korrigiert der Regler die Verdichterdrehzahl. Die gleiche Regelungsstrategie wird auf der Hochdruckseite zur Steuerung des Verflüssigers verwendet. Hier wird der Druck vor dem Verflüssiger gemessen, in Abhängigkeit vom Kältemittel in eine Temperatur umgerechnet und mit dem Temperatursollwert verglichen. Liegt eine Regelabweichung vor, korrigiert der Regler entsprechend die Ansteuerung des Verflüssigers.

### Informationsaustausch

Bisher wurden von Kälteanlagen üblicherweise nur wenige Informationen an die Gebäudeautomation (GA) weitergeleitet. Störungen führten meist zu einer Sammelstörungsmeldung. Aufgeschlüsselte Wartungs-, Alarm-, Fehler- oder Störungsmeldungen wurden der GA nicht zur Verfügung gestellt. Der eingesetzte Kälteregele lässt sich dagegen in die GA integrieren, beispielsweise über das BACnet-Protokoll. Durch den implementierten Regelalgorithmus muss der Kälteregele nicht mehr zeitintensiv parametrisiert und programmiert werden. Kältemittelmangel, Fühlerabweichungen und Nieder- oder Hochdruckstörungen werden automatisch erkannt und weitergeleitet und führen dadurch zu einer hohen Anlagensicherheit. Durch die Aufzeichnung der Aggregatlaufzeiten und Temperaturverläufe in einer Datenbank kann eine Anlagenanalyse durchgeführt werden, um den Betrieb zu optimieren.

### ANZEIGE



nur mit einem EEV und einer entsprechenden Regelung erreicht werden kann.

### Nieder- und Hochdruckregelung

Die Ansteuerung des FU-gesteuerten Verdichters erfolgt in Abhängigkeit von der Niederdruckregelung und der Leistungsanforderung der Klimaregelung. Die berechnete Verdampfungstemperatur wird mit einem vorgegebenen Sollwert verglichen. Anhand eines



Dieter Pfannstiel ist Dr.-Ing. im Bereich Automatisierungstechnik und Inhaber der Ingenieurpraxis DIW/Tech aus Breitenbach am Herzberg. Kontakt zum Autor: Dieter.Pfannstiel@cci-promator.de

Der Planer entschied sich letztendlich für ein Direktverdampfersystem mit elektronischem Expansionsventil (EEV) und FU-gesteuertem Verdichter und Verflüssiger nach folgendem Entscheidungsprozess.

Die Anbindung an die vorhandene Wasserkühlanlage hätte einen zusätzlichen Pufferspeicher und Leitungsquerschnitte bis DN 50 erfordert, die im Bereich des Altbaus schwierig zu verlegen sind. Zudem

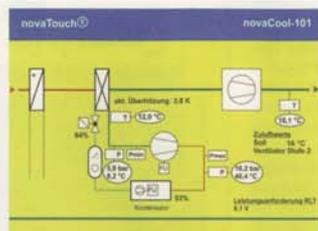


Abb. 1: Der Kältebereich des Anlagenschemas wird auf dem Touchpanel abgebildet. Die Ist- und Sollwerte werden direkt angezeigt. Die Bedienung erfolgt intuitiv über die Anzeige. Eine Neuerung für Kälteanlagen. (Abb. Sauter)

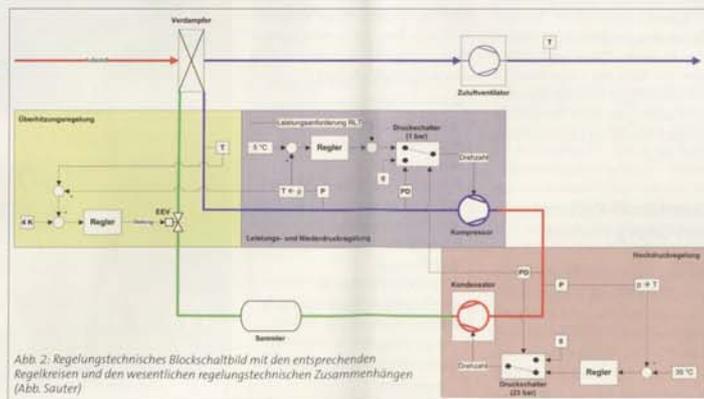


Abb. 2: Regelungstechnisches Blockschaltbild mit den entsprechenden Regelkreisen und den wesentlichen regelungstechnischen Zusammenhängen (Abb. Sauter)

### Fazit

Der Einsatz des Direktverdampfers mit EEV sowie FU-Regelung von Verdichter und Verflüssiger zeigt, dass mit einer guten Regelung im Zusammenspiel mit geeigneten Komponenten zuverlässig konstante Zulufttemperaturen erreicht werden. Die geforderte Toleranz von +/- 1 K wurde im Betrieb sogar unterschritten, sie liegt bei 0,2 K. Durch die Überhitzungsregelung konnte zudem die relative Kälteleistung auf über 90 % gesteigert werden. Damit sind kompakte energieeffiziente Direktverdampfersysteme als Alternative zu Wasserkühlsätzen möglich.