

1. Aufgabenstellung:

Ein repräsentativer Raum ist mit einer Kühldecke ausgestattet. Die Kühldecke soll nur oberhalb der *Kühlgrenze* und während der normalen Nutzungszeit des Raumes betrieben werden. Bis zu einer Außentemperatur von 28 °C soll die Raumtemperatur auf 22 °C konstant gehalten werden. Aus wärmephysiologischen Gründen und zur Energieeinsparung soll oberhalb einer Außentemperatur von 28 °C die Raumtemperatur so angehoben werden, dass die Differenz zwischen Außen- und Raumtemperatur nicht größer als 6 K wird.

Die Kühldecke wird mit Kaltwasser von 15 °C im Vorlauf betrieben. Als Stellglieder für die Temperaturregelung sind stromlos geschlossene *elektrothermische Ventile* vorhanden. Um Kondensatbildung an der Kühldecke zu verhindern, soll eine aktive Taupunktüberwachung angewendet werden.

Taupunktunterschreitungen an Kühldecken führen früher oder später zu Schimmelpilzbildung mit allen gesundheitlichen Folgen. Die vielfach angewendete passive Taupunktüberwachung kann eine Taupunktunterschreitung nicht sicher verhindern und führt zeitweise zur Totalabschaltung der Kühldecke. Bei der aktiven Taupunktregelung wird die Kaltwasser-Vorlauftemperatur so geregelt, dass sie immer unterhalb der Taupunkttemperatur der Raumluft bleibt und somit Kondensatbildung ausgeschlossen wird. Als Stellglied für die Taupunktregelung ist ein Dreiwegeventil mit analogem Stellmotor (0 ... 10 V) vorgesehen.

Darüber hinaus soll ein Signal zur Verfügung gestellt werden, mit dem der Außenluftwechsel minimiert (bei einer Lüftungsanlage), die Fenster geschlossen (bei automatischen Fensterschließsystemen) oder ein Warnsignal ausgegeben werden kann, wenn der Wärme- oder Wasserinhalt der Außenluft größer als die der Raumluft werden. Auf diese Weise wird keine zusätzliche Wärme oder Feuchte mit der Außenluft auf den Raum übertragen.

2. Verwendete Geräte und Kommunikationsobjekte:

In der nachfolgenden Abbildung 1 sind die prinzipiellen hydraulischen und regeltechnischen Zusammenhänge dargestellt. Die hydraulische Schaltung kann im konkreten Fall von dieser Darstellung abweichen.

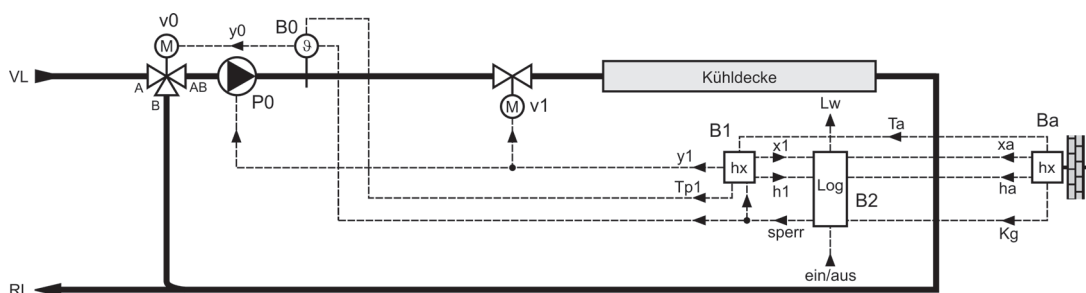


Abbildung 1: Prinzipschema Kühldecken-Regelung

Hydraulische Komponenten und Stellglieder (bauseits):

- v0: Dreiwege-Mischventil mit analogem Stellmotor, 0 ... 10 V
- v1: thermoelektrisches Durchgangsventil, stromlos geschlossen
- P0: Umwälzpumpe

Regel- und steuerungstechnische KNX-Geräte:

- Ba: Enthalpie-Regler HVAC (B12 323 02)
Parameterauswahl für Regleranwendung: Enthalpieregler Außen
- B0: Temperatur-Regler Duplex (B04 346 xx oder B04 347 40 oder B04 347 xx)

B1: Enthalpie-Regler HVAC (B12 321 02 oder B12 331 xx)
 Parameterauswahl für Regleranwendung: Enthalpieregler Raum
 B2: Logik-Baustein (bauseits)

Zusätzliche KNX-Komponenten (bauseits):

Schaltaktor dreifach (Ansteuerung für v1, P0, Lw)
 Analog-Aktor einfach (Ansteuerung v0)

KNX Regel- und Steuersignale:

Signal/Telegramm			Sendendes Gerät			Zielgerät		
Nr.	Name	Typ	Nr.	Name	Objekt	Nr.	Name	Objekt
y0	Stellsignal 0 ... 255	1 Byte	B0	Duplex-Regler Kaltwasser Vorlauf	34		Analog-Aktor 0 ...255 / 0 ... 10 V	
y1	Stellsignal (PWM)	1 Bit	B1	Enthalpie-Regler Raum	22		Schaltaktor für v1 Schaltaktor für P0	
Tp1	Taupunkttemperatur Raumluf	4 Byte	B1	Enthalpie-Regler Raum	40	B0	Temperatur-Regler Kaltwasser Vorlauf	37
Ta	Außentemperatur	4 Byte	Ba	Enthalpie-Regler Außen	0	B1	Enthalpie-Regler Raum	37
x1	Absolute Feuchte Raumluf	4 Byte	B1	Enthalpie-Regler Raum	38	B2	Logik-Baustein	
h1	Enthalpie Raumluf	4 Byte	B1	Enthalpie-Regler Raum	41	B2	Logik-Baustein	
xa	Absolute Feuchte Außenluf	4 Byte	Ba	Enthalpie-Regler Außen	38	B2	Logik-Baustein	
ha	Enthalpie Außenluf	4 Byte	Ba	Enthalpie-Regler Außen	41	B2	Logik-Baustein	
Lw	Luftwechsel	1 Bit	B2	Logik-Baustein	0		Schaltaktor für Lüftung	
Kg	Kühlgrenze	1 Bit	Ba	Enthalpie-Regler Außen	16	B2	Logik-Baustein	
ein/aus	Einschaltbefehl z. B. Schaltuhr	1 Bit				B2	Logik-Baustein	
sperr	Regler sperren	1 Bit	B2	Logik-Baustein		B1	Enthalpie-Regler Raum	24
						B0	Duplex-Regler Kaltwasser Vorlauf	36

3. Beschreibung der Steuerung

Raumtemperatur-Regelung

Die Raumtemperatur wird durch den pulsweitenmodulierten Ausgang des PI-Reglers des Enthalpie-Raumreglers (B1) geregelt. Dazu werden das Durchgangsventil (v1) und die Pumpe (P0) mit von der Regelabweichung abhängigen Einschaltimpulsen (y1) angesteuert.

Der Sollwert des Reglers wird über die aktuelle Außentemperatur (Ta) so geführt, dass er bis 28 °C Außentemperatur konstant auf 22 °C bleibt und bei höheren Außentemperaturen jeweils um 1 K pro 1 K Außentemperatursteigerung erhöht wird. Auf diese Weise wird zwischen Außen und Innen immer ein Temperaturunterschied von 6 K gehalten. Abbildung 2a erläutert diesen Zusammenhang. Der obere Punkt der Führungskurve sollte so gelegt werden, dass er im Bereich der maximal zu erwartenden Außentemperatur liegt.

Aktive Taupunkt-Regelung

Wenn Luft an kälteren Flächen unter ihre Taupunkttemperatur abgekühlt wird, kommt es zur Kondensatbildung. Wenn man nicht die Taupunkttemperatur der Raumluft beeinflussen kann (weil z. B: keine Lufttrockner vorhanden sind), muss die Oberflächentemperatur der Kühldecke so geregelt werden, dass sie immer unter der Taupunkttemperatur bleibt und somit Tauwasserbildung ausgeschlossen ist. Das heißt, Kühldecken dürfen nur sensible Wärme abführen. Die Zusammenhänge zwischen den Luftzustandsgrößen Temperatur, Wasserinhalt, Taupunkttemperatur und Wärmehalt sind aus dem hx-Diagramm ersichtlich. Vertiefende Erläuterungen dazu können in unserer HLK-Broschüre nachgelesen werden.

Die Kühlwasser-Temperatur wird unter Kontrolle des stetigen PI-Reglers im Temperatur-Regler (B0) über das Dreiwegeventil (v0) durch Mischung von kälterem Vorlauf-Wasser (VL) mit wärmeren Rücklauf-Wasser (RL) geregelt. Dabei wird der Sollwert des PI-Reglers über die Taupunkttemperatur so geführt, dass die Kühlwasser-Temperatur in der Kühldecke nicht die Taupunkttemperatur unterschreitet. Die Taupunkttemperatur der Raumluft (Tp1) wird mit dem Raum-Enthalpie-Regler (B1) gemessen.

Bis zu einer Taupunkttemperatur von 15 °C wird die Kühlwassertemperatur konstant auf 15 °C gehalten. Bei Steigung der Taupunkttemperatur über 15 °C wird sie um den gleichen Betrag angehoben, so dass der Abstand zwischen Taupunkttemperatur und Kühlwassertemperatur immer gleich bleibt (siehe Abbildung 2b). Der obere Punkt der Führungskurve sollte so gelegt werden, dass er oberhalb der maximal zu erwartenden Taupunkttemperatur liegt.

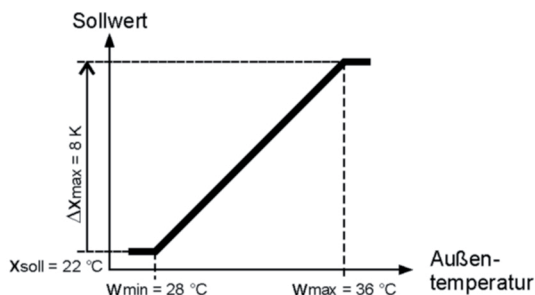


Abbildung 2a: Sollwertanhebung Raumtemperatur

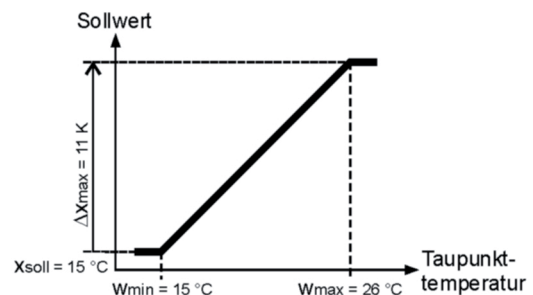


Abbildung 2b: Sollwertanhebung Kühlwassertemperatur

Steuerungslogik:

Zur Realisierung der Steuerung sind folgende logische Verknüfungen notwendig:

1. Wenn das Einschaltsignal (ein/aus) gegeben und die Kühlgrenztemperatur (Kg) überschritten wurde, wird die Regelung der Kühldecke freigegeben. Anderenfalls werden die Regler des Raum-Enthalpieregler (B1) und des Temperatur-Reglers (B0) gesperrt (sperr) und somit die Ventile v1 und v0 geschlossen sowie die Pumpe P0 gestoppt.
2. Wenn die absolute Feuchte xa größer als x1 oder die Enthalpie ha größer als h1 werden, wird ein Signal zur Minimierung des Luftwechsels (Lw) ausgegeben.

4. Parametereinstellungen:

In der nachfolgenden Tabelle werden nur Parameter-Einstellungen erwähnt, die zur Durchführung des beschriebenen Projektes erforderlich sind. Parameter, die für andere Funktionen der Enthalpie- oder Temperaturreglern benötigt werden, bleiben unberücksichtigt.

Die konkreten Sollwerte für die Raum- und Kühlwassertemperatur hängen von den Planungsvorgaben und von der Bemessung ab und sind hier nur beispielhaft zu betrachten.

Aufgrund der vielen unterschiedlichen Einflussfaktoren auf die Dynamik von Regelstrecken sind die genannten Einstellwerte für die PI-Regler (Proportionalbereich, Nachstellzeit) nur als Anfangswerte zu betrachten. Eine Qualifizierung der Einstellwerte bezüglich Regelgenauigkeit und Stabilität ist in der Anfangsphase des Normal-Betriebs (z. B. über ein Datenlogging) sehr zu empfehlen.

Die Einstellungen für die automatische, witterungsabhängige Umschaltung auf Kühlbetrieb (Kühlgrenze) sind für ein mittelschweres Gebäude angegeben. Da die örtlichen Bedingungen (thermisch aktive Masse, innere und äußere Wärmegewinne, Verschattung u. a.) stark abweichen können sind die Parameter in Übereinstimmung mit dem Betreiber entsprechend zu korrigieren.

Gerät		Parameter		
Nr.	Name	Fenster	Name	Wert
B1	Enthalpie-Regler Raum	Allgemein	Regleranwendung	Enthalpieregler Raum
B1	Enthalpie-Regler Raum	Allgemein	Dateityp für Fließkommawerte	4 Byte
B1	Enthalpie-Regler Raum	Allgemein	Temperatur-Messwert senden bei Änderung von (K)	0,3
B1	Enthalpie-Regler Raum	Temperatur Soll/Ist	Auswahl Reglersequenz	Heizen oder Kühlen
B1	Enthalpie-Regler Raum	Temperatur Soll/Ist	Sollwert (°C)	22
B1	Enthalpie-Regler Raum	Temperatur-Regler	Regler Ausgang	PI-Reglung, PWM
B1	Enthalpie-Regler Raum	Temperatur-Regler	Betriebsart (bei steigender Temperatur)	steigende Stellgröße (Kühlen normal)
B1	Enthalpie-Regler Raum	Temperatur-Regler	Proportionalbereich (K)	3
B1	Enthalpie-Regler Raum	Temperatur-Regler	Nachstellzeit (min)	120
B1	Enthalpie-Regler Raum	Temperatur-Regler	Zykluszeit für PWM (min)	15
B1	Enthalpie-Regler Raum	Werte-Nachführung und Frostschutz	Führungsgröße Minimum	28
B1	Enthalpie-Regler Raum	Werte-Nachführung und Frostschutz	Führungsgröße Maximum	36
B1	Enthalpie-Regler Raum	Werte-Nachführung und Frostschutz	Werteänderung bei maximaler Führungsgröße	8
B1	Enthalpie-Regler Raum	Werte-Nachführung und Frostschutz	Parameterauswahl für Nachführung	Temperatur Sollwert
B1	Enthalpie-Regler Raum	Rechenwerte	Absolute Feuchte in g/kg	senden
B1	Enthalpie-Regler Raum	Rechenwerte	Taupunkttemperatur	senden
B1	Enthalpie-Regler Raum	Rechenwerte	Enthalpie	senden
Ba	Enthalpie-Regler Außen	Allgemeines	Regleranwendung	Enthalpieregler Außen
Ba	Enthalpie-Regler Außen	Allgemein	Dateityp für Fließkommawerte	4 Byte
Ba	Enthalpie-Regler Außen	Allgemein	Mess- und Rechenwerte zyklisch senden (min)	10
Ba	Enthalpie-Regler Außen	Allgemein	Temperatur-Messwert senden bei Änderung von (K)	0,3
Ba	Enthalpie-Regler Außen	Auswahl Zusatzfunktionen	Statistik	ja

Gerät		Parameter		
Nr.	Name	Fenster	Name	Wert
Ba	Enthalpie-Regler Außen	Rechenwerte	Absolute Feuchte in g/kg	senden
Ba	Enthalpie-Regler Außen	Rechenwerte	Enthalpie	senden
Ba	Enthalpie-Regler Außen	Statistik	gedämpfte und gemischte Temperatur senden	senden
Ba	Enthalpie-Regler Außen	Statistik	Zeitkonstante Temperaturdämpfung (h)	20
Ba	Enthalpie-Regler Außen	Statistik	Wichtungsfaktor Temperaturmischung	0,80
Ba	Enthalpie-Regler Außen	Statistik	Kühlgrenztemperatur (°C)	24
B0	Temperatur-Regler Kaltwasser Vorlauf	Allgemein	Dateityp für Fließkommawerte	4 Byte
B0	Temperatur-Regler Kaltwasser Vorlauf	Allgemein	Temperatur-Messwert senden bei Änderung von (K)	0,3
B0	Temperatur-Regler Kaltwasser Vorlauf	Regler Kühlen	Sollwert (°C)	15
B0	Temperatur-Regler Kaltwasser Vorlauf	Regler Kühlen	Regler Ausgang	PI-Regelung, stetig
B0	Temperatur-Regler Kaltwasser Vorlauf	Regler Kühlen	Betriebsart (bei steigender Temperatur)	steigende Stellgröße (Kühlen normal)
B0	Temperatur-Regler Kaltwasser Vorlauf	Regler Kühlen	Proportionalbereich (K)	2
B0	Temperatur-Regler Kaltwasser Vorlauf	Regler Kühlen	Nachstellzeit (min)	15
B0	Temperatur-Regler Kaltwasser Vorlauf	Werte-Nachführung Standard	Führungsgröße Minimum	15
B0	Temperatur-Regler Kaltwasser Vorlauf	Werte-Nachführung Standard	Führungsgröße Maximum	26
B0	Temperatur-Regler Kaltwasser Vorlauf	Werte-Nachführung Standard	Werteänderung bei maximaler Führungsgröße	11
B0	Temperatur-Regler Kaltwasser Vorlauf	Werte-Nachführung Standard	Parameterauswahl für Nachführung	Sollwert Regler Kühlen