

Projektbeispiele Regelungen von HLK-Anlagen über KNX

Inhaltsverzeichnis	Beispiel / Titel-Nr.	Seite
Feuchteregelung in Gebäuden	Feuchte 1	2
Regelung eines Heizkreises	HEI 1	8
Regelung mehrerer Heizkreise mit Wärmeerzeuger	HEI 2	9
Regelung mehrerer Heizkreise mit Wärmeerzeuger und Warmwasserbereitung	HEI 3	10
Regelung mehrerer Heizkreise mit Wärmeerzeuger und solare Warmwasserbereitung	HEI 4	11
Regelung mehrerer Heizkreise mit Fernwärmespeisung und Warmwasserbereitung	HEI 5	12
Regelung mehrerer Heizkreise mit Pufferspeicher	HEI 6	14
Regelung unterschiedlicher Heizkreise	HEI 7	16
Regelung von kombinierten Heiz- / Kühlflächen in 10 WE	HEIZ/KÜHL 1	18
Regelung von kombinierten Heiz- / Kühlflächen in 4 Räumen	HEIZ/KÜHL 2	21
Aktive Taupunktüberwachung	KÜHL 1	24
Vorlauftemperaturregelung für Kühldecken	KÜHL 2	25
Lüftung von Aufenthaltsräumen in der kalten Jahreszeit	LÜF 1	27
Lüftung von Aufenthaltsräumen in der kalten Jahreszeit	LÜF 2	28
Freie Lüftung in Kirchen		29
Lüftungssteuerung in Wohnungen über KNX		32
Klimatisierung mit Kühldecken / Temperatur- und aktive Taupunktregelung	KD 1	34
Klimatisierung mit Kühldecken / Regelung von Strahlungsheizung und -kühlung	KD 2	39

Die zunehmende Anzahl von Feuchteschäden in Aufenthaltsräumen macht auch eine komplexere Regelung der Umgebungsbedingungen erforderlich. Die Regelung allein nach der relativen Feuchte reicht nicht aus, um Tauwasserbildung auf Außenbauteilen zu verhindern. Hierfür ist auch die absolute Feuchte bzw. die Taupunkttemperatur der Raumluft zu erfassen. Mit der Entwicklung der DGA Enthalpieregler ist die Möglichkeit gegeben, diese Prozesse wesentlich besser zu regeln. Da viele Einflüsse auf das hygrothermische Verhalten von Räumen und den Energieverbrauch für Heizen und Lüften einwirken, ist ein freier Datenaustausch in einem intelligenten Netzwerk erforderlich. Jedes moderne Auto verfügt heute über bedeutend mehr elektronische Steuerungs- und Regeltechnik als ein Wohngebäude.

Gebäude- und anlagentechnische Voraussetzungen

Eine Regeleinrichtung zur Einhaltung der Raumluftfeuchte kann nur dann effektiv wirksam sein, wenn keine wesentlichen Fehler oder Schäden am Bauwerk vorhanden und die anlagentechnischen Voraussetzungen gewährleistet sind.

Eine ausreichende Wärmedämmung und weitgehende Vermeidung von Wärmebrücken sowie eine dauerhafte Luftdichtheit der Umhüllungskonstruktion sollten vorhanden sein. Feuchteinträge durch Schäden im Dach und an der Fassade (Schlagregensicherheit), durch Leckagen in Rohrleitungen und defekte Kellerabdichtungen sollen ausgeschlossen werden können. Bei der Sanierung von Außenbauteilen muss beachtet werden, dass weder durch Raumluftströmung noch durch Wasserdampf-Diffusion Feuchte in die Baukonstruktion eingetragen wird.

Eine wichtige Voraussetzung für eine gute Regelfunktion ist die optimale Bemessung und Auslegung der Heizungs-, Lüftungs- oder Klimaanlage sowie deren richtige Einregulierung (Lastverteilung und Entlüftung). Dabei sind physiologische Behaglichkeitskriterien wie Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit und Anblasrichtung sowie Lufttemperatur und Empfindungstemperatur zu beachten.

Anwendungsgebiete der Feuchteregelung

Überall dort, wo bestimmte technologische und Lagerbedingungen eingehalten werden müssen und wo Gefahr für die Bausubstanz durch größere Feuchtelasten besteht, sollte neben der Raumtemperatur auch die Raumluftfeuchte geregelt werden. Die Anwendungsfälle sind sehr vielfältig und erfordern entsprechend den festgelegten Bedingungen einen mehr oder weniger großen apparativen Aufwand (Befeuchter, Trockner, Lüftungsgeräte).

Es muss einerseits aus physiologischer Sicht verhindert werden, dass bestimmte Grenzwerte der relativen Feuchte über- bzw. unterschritten werden und andererseits darf kein Tauwasserausfall auf kälteren Oberflächen von Außenbauteilen und Anlagenkomponenten auftreten können, die in der Folge zu Schimmelpilzwachstum führen.

In Wohnungen kann die Feuchtelast je nach Nutzerverhalten 6 ... 9 Liter pro Tag betragen. Wenn diese Feuchtemenge nicht ausreichend und kon-

trolliert „weggelüftet“ wird, kondensiert sie auf kalten Außenbauteilen und führt zu Feuchteschäden. Nach einer bundesweit durchgeführten, repräsentativen Untersuchung 2000/2001 wurden in 22 % der Wohnungen sichtbare Feuchteschäden festgestellt. Die Ursache ist hauptsächlich ein zu geringer Luftwechsel in neuerrichteten oder modernisierten Gebäuden infolge erhöhter Luftdichtheit, bei der der Luftvolumenstrom durch Infiltration nicht mehr ausreicht, um die Feuchte abzuführen. In diesen Fällen sind Lüftungstechnische Maßnahmen erforderlich.

Die „freie Lüftung“ mit unterstützender manueller Stoßlüftung in Wohnungen führt nicht zu einer energetisch befriedigenden Lösung, weil der Luftwechsel hier von nicht zu beeinflussenden klimatischen Bedingungen abhängt und in vielen Fällen die erforderliche mehrfache Stoßlüftung am Tag gar nicht möglich ist. Dagegen kann über ventilatorgestützte Lüftung der Luftwechsel immer bedarfsgerecht entsprechend den feuchterelevanten und hygienischen Anforderungen geregelt werden. Aus energetischer Sicht ist eine Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung zu empfehlen und die Umhüllungskonstruktion zwecks Vermeidung von unkontrollierter Infiltration sehr luftdicht auszuführen.

Die Feuchteregelung kommt insbesondere in folgenden Gebäuden und Anlagen zur Anwendung:

- Wohnräume und wohnähnliche Räume wie Hotelzimmer, Internate, Seniorenheime oder Büroräume
- Räume in Bildungsstätten (Schulen, Universitäten, KiTas) und Räume im Gesundheitswesen (Krankenhäuser, Arztpraxen)
- Gewerblich genutzte Räume und Lagerstätten, in denen bestimmte Feuchtwerte einzuhalten sind (z. B. Druckereien, Lebensmittellager etc.)
- Räume mit hoher Feuchtelast wie Küchen, Gaststätten, Sport- und Freizeitzentren, Sanitärräume, Schwimmbäder, Wintergärten und Gewächshäuser
- Räume mit empfindlichen Inventar in Museen, Galerien, sakralen und denkmalgeschützten Gebäuden
- Räume mit niedrigen Raumtemperaturen wie Keller- und Kühlräume,
- Anlagen zur Flächenkühlung (z. B. Kühldecken)
- Anlagen zur Bauwerkstrockenlegung

Zustandsgrößen der feuchten Luft und die anzustrebende Regelstrategie

Die uns umgebende Luft ist ein Gemisch aus verschiedenen idealen Gasen (N_2 , O_2 , Ar , CO_2) und einer variablen Menge Wasserdampf, deren Größe von der Temperatur abhängt. Entsprechend ihrem Anteil im Gemisch übt jedes Gas einen Teildruck (Partialdruck) aus, die zusammen den Luftdruck (1013,25 hPa) ergeben. Luft kann nicht beliebig viel Wasserdampf aufnehmen. Deshalb ist der Partialdruck bei einer bestimmten Temperatur durch den Wasserdampf-Sättigungsdruck begrenzt. Folgende Zustandsgrößen der feuchten Luft können gemessen oder mit Hilfe der Gasgesetze berechnet werden:

- Die gemessene Lufttemperatur in °C (ohne Einfluss von Wärmestrahlung)
- Die gemessene relative Feuchte
Die relative Feuchte ist das Verhältnis des Wasserdampf-Partialdrucks zum Sättigungsdruck oder auch das Verhältnis der bei einer bestimmten Temperatur tatsächlich aufgenommenen Wasserdampfmenge zur maximal möglichen Wasserdampfmenge. Die relative Feuchte wird entweder als Dezimalbruch oder in Prozent angegeben. Eine relative Feuchte von 50 % bedeutet, dass die Luft bei einer bestimmten Temperatur nur halb so viel Wasserdampf aufgenommen hat als sie maximal aufnehmen könnte.
- Die absolute Feuchte
Die absolute Feuchte gibt die tatsächlich in der

Luft enthaltene Wasserdampfmenge an und kann aus der Lufttemperatur und der relativen Feuchte berechnet werden. Sie wird in g/(kg trockene Luft) oder in g/(m³ trockene Luft) angegeben. Ein m³ Luft wiegt bei 20 °C und Normal-Luftdruck 1,20 kg.

- Die Taupunkttemperatur
Die Taupunkttemperatur kann aus der gemessenen Lufttemperatur und der relativen Feuchte errechnet werden. Sie wird in °C angegeben. Wenn Luft abgekühlt wird, steigt die relative Feuchte und bleibt die absolute Feuchte solange konstant bis der Sättigungsdruck (100 % rF) erreicht wird. Die Temperatur, bei der das geschieht, wird Taupunkttemperatur genannt. Bei weiterer Abkühlung muss Tauwasser austreten.
- Die Enthalpie
Die Enthalpie ist der spezifische Wärmeinhalt der feuchten Luft und wird in kJ/kg angegeben. Sie setzt sich aus der fühlbaren (sensiblen) Wärme aufgrund der Temperaturdifferenz des Gasgemisches und der verborgenen (latenten) Wärme aufgrund der Verdampfungswärme des Wassers zusammen.

Die Wirkungen und Zusammenhänge dieser fünf Zustandsgrößen wurden durch Mollier übersichtlich im h-x-Diagramm dargestellt (siehe Abbildung 1). Auf der senkrechten Achse ist die Lufttemperatur und auf der waagerechten Achse der Feuchtegehalt (absolute Feuchte) aufgetragen. Die relative Feuchte wird durch die Exponentialkurven von links unten nach rechts oben dargestellt. Die unterste Kurve wird

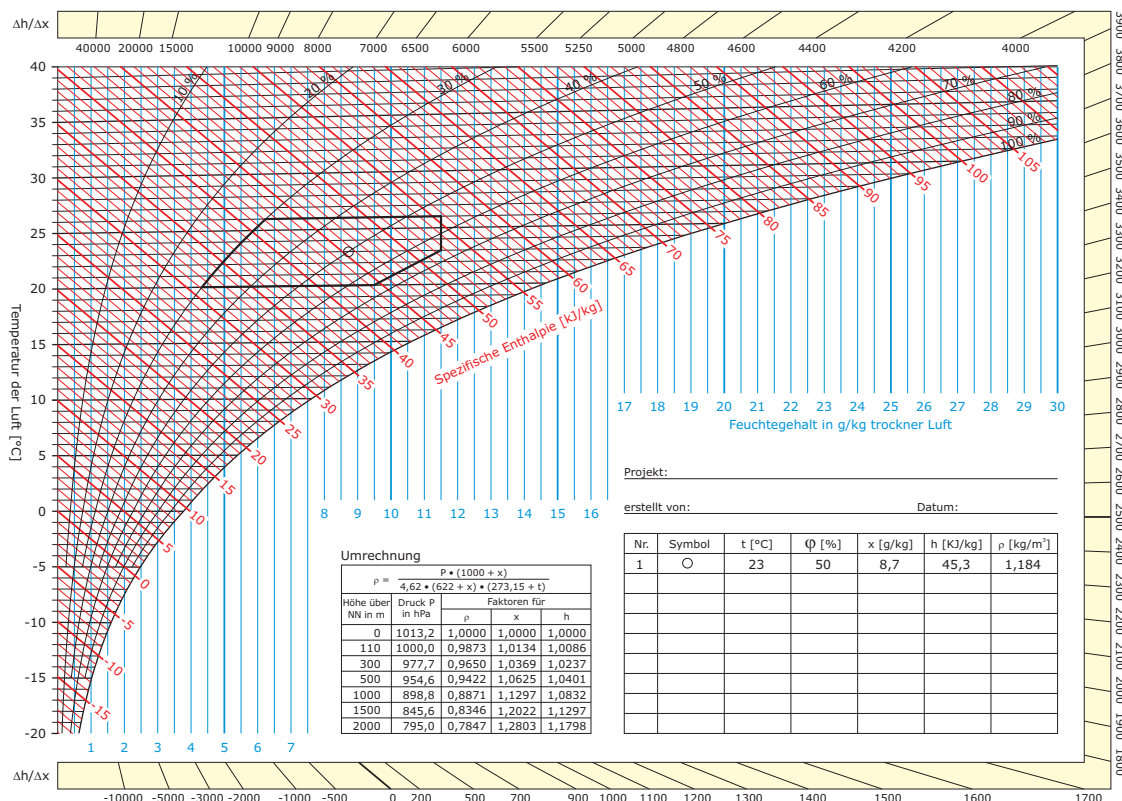


Abbildung 1: h-x-Diagramm für feuchte Luft (Mollier-Diagramm)

auch als Sättigungslinie (100 %) bezeichnet. Die roten Linien (von links oben nach rechts unten) geben die spezifische Enthalpie (Wärmeinhalt) wieder. Die Taupunkttemperatur kann rechts im Schnittpunkt der absoluten Feuchte mit der Sättigungslinie abgelesen werden. Bei dem als Beispiel eingetragenen Punkt von 23 °C und 50 % relative Feuchte hat die Luft einen Wassergehalt von 8,7 g/kg und eine Taupunkttemperatur von 12 °C. Da das Diagramm für Normal-Luftdruck gezeichnet worden ist, müssen die Werte für andere Höhenlagen korrigiert werden (siehe Umrechnungstabelle in Abbildung 1).

Im h-x-Diagramm können alle Zustandsänderungen des hygrothermischen Verhaltens eines Raumes oder für die Bemessungen von Anlagenkomponenten quantifizierbar abgelesen werden. Beim Heizen oder Kühlen verläuft die Zustandsänderung auf einer senkrechten (bei konstantem Wassergehalt), beim Befeuchten oder Entfeuchten auf einer waagerechten (Isotherme) Linie. Das im Diagramm eingezeichnete Polygon ist ein Behaglichkeitsfeld für Aufenthaltsräume. Wertepaare außerhalb der Feldbegrenzungen werden als unbehaglich empfunden und beeinflussen das körperliche Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit.

Während der Mensch über ein gut ausgeprägtes Temperaturempfinden verfügt, kann er die Luftfeuchte in der Regel nur an Sekundärwirkungen erkennen. Relative Luftfeuchten unter 30 %, wie sie bei tiefen Außentemperaturen und geringer Feuchtelast im Raum auftreten können, führen zu übermäßiger Beanspruchung der Haut und der Schleimhäute. Dagegen werden relative Feuchten über 65 % (und absoluter Feuchten über 11,5 g/kg) bei normalen Innentemperaturen bereits als Schwüle empfunden.

Aber nicht nur die Temperatur und relative Feuchte müssen in vorgegeben Grenzen entsprechend den Aufenthalts-, Prozess- und Lagerbedingungen eingehalten werden, sondern auch die Bausubstanz ist gegen Feuchteeinwirkungen zu schützen. Wenn beispielsweise die Werte für die relative Feuchte innerhalb des Behaglichkeitsfeldes eingehalten werden, kann trotzdem die absolute Feuchte zwischen 4,3 g/kg und 11,5 g/kg und die Taupunkttemperatur zwischen 1,9 °C und 16,2 °C schwanken.

Tauwasser tritt aus, wenn die Luft an kälteren Bauteilen unter ihre Taupunkttemperatur abgekühlt wird. Die raumseitige Oberflächentemperatur eines Außenbauteils hängt maßgeblich von der Höhe der Raum- und Außentemperatur, von den Wärmeübergangsbedingungen, vom Wärmestrahlungseinfluss, und von der Wärmedämmung ab. Besonders in kühleren Räumen (z. B. Schlafzimmer), hinter Einrichtungsgegenständen, wo die Konvektion und Wärmestrahlung behindert werden und im Bereich von Wärmebrücken sowie in Räumen mit hoher Feuchtelast treten vermehrt Feuchteschäden auf. Es

ist deshalb sinnvoll, auch die Oberflächentemperatur entweder punktuell oder kontinuierlich zu erfassen.

Jede Temperatur- und Feuchteregelung sollte so konzipiert sein, dass die Sollbedingungen automatisch an den Bedarf angepasst werden und so (bei Wahrung der Schadesfreiheit) eine Minimierung des Energieeinsatzes ermöglicht wird. In Räumen, wo es auf die punktgenaue Einhaltung der Sollwerte für Temperatur und Feuchte ankommt sowie in Kühlräumen müssen Klimaanlage eingesetzt werden, die mit Befeuchtungs- und Trocknungseinrichtungen ausgerüstet sind.

In Wohn- und wohnähnlichen Räumen genügen unter mitteleuropäischen Klimabedingungen auch reine Lüftungseinrichtungen zur Einhaltung der hygienischen Anforderungen und zur Abführung der vorhandenen Feuchtelasten. Allerdings kann durch Lüftung nur dann Feuchte abgeführt werden, solange die absolute Feuchte außen kleiner als die innen ist. Das trifft in der Regel in den Wintermonaten zu. Damit einerseits die Luft nicht zu trocken wird und andererseits kein Tauwasser ausfallen darf, sollte die Größe des Luftwechsels über die Taupunkttemperatur und die absolute Außenfeuchte geregelt werden.

Im Sommer besteht in Wohngebäuden aufgrund der hohen Bauteiltemperaturen im Allgemeinen keine Gefahr für eine Taupunktunterschreitung. Deshalb kann hier die Größe des Luftwechsels auf die hygienischen Anforderungen beschränkt bleiben. Das gilt allerdings nicht für Kellerräume, die eine wesentlich geringere Raumtemperatur und damit auch eine geringere absolute Feuchte haben. Wenn nämlich an warmen Tagen Außenluft (z. B. 30 °C und 50 % rF) einströmt, werden große Feuchtemengen eingetragen, die an den kalten Kellerwänden und Fußböden kondensieren.

Aufgrund ihrer günstigen wärmephysiologischen Eigenschaften werden immer häufiger Kühldecken oder Kapillarrohrmatten zur Klimatisierung von Räumen eingesetzt. Der Wärmetransport bei der Kühldecke geschieht überwiegend über Wärmestrahlung und ermöglicht dadurch ein zugfreies Raumklima. Darüber hinaus muss nicht das gesamte Luftvolumen des Raumes abgekühlt werden, wodurch die Klimatisierung mit Kühldecken gegenüber der konvektiven Kühlung besonders energiesparend wird. Beim Betrieb der Kühldecken ist aber besonders zu beachten, dass an keiner Stelle die Taupunkttemperatur unterschritten wird.

Die HVAC Enthalpie-Regelgeräte

Auf das thermohygrische Verhalten von Räumen wirken viele Einflussgrößen. Um sie so weit wie möglich zu erfassen und in den Regelprozess zu integrieren, ist ein freier Datenaustausch in einem intelligenten und sicheren Netzwerk notwendig. Proprietäre oder analoge Regelsysteme führen zu keiner befriedigenden



Abbildung 2: Enthaltpieregler AP HVAC



Abbildung 3: Enthaltpieregler Feuchtraum/Außen

energieeffizienten Lösung. Sie sind in der Regel nach Gewerken getrennt oder auf spezielle Anwendungsfälle beschränkt.

Aus diesem Grunde wurde von der DGA Gebäudeautomation Deutschland eine umfangreiche und komplexe Feuchte- und Temperatur-Reglerreihe für das offene Feldbussystem KNX entwickelt. Über die Registrierung und Zertifizierung durch die KNX Association können die Regelgeräte mit allen Geräten anderer Hersteller kommunizieren. Die Einstellungen werden über eine einheitliche Toolsoftware (ETS) in Parameterfenstern vorgenommen. Der Datenaustausch findet über eine Zweidraht-Busleitung (twisted pair) durch definierte Kommunikationsobjekte statt.

Die Reglerreihe umfasst die Enthalpie- und Temperaturregler in den drei Ausstattungen BASIC, STANDARD und HVAC-Premium. Sie unterscheiden sich im Umfang ihrer Funktionalität. Die Temperaturregler verfügen über zahlreiche Ausführungsarten zur Messung im Raum, im Außenbereich, an Rohrleitungen, in Luftkanälen und an Oberflächen.

Mit dem Enthaltpieregler wird die Temperatur und die relative Feuchte erfasst. Da in ihm das gesamte h-x-Diagramm integriert ist, können auch alle anderen Zustandgrößen berechnet werden und ergeben sich viele Möglichkeiten für Regel- und Steuerungsfunktionen. Der Enthaltpieregler besteht in den Ausführungsarten Raum auf Putz (Abbildung 2), Raum unter Putz, Feuchtraum/Außen (Abbildung 3) und Kanal.

Je nach Anwendung können folgende Regelfunktionen und Eigenschaften ausgewählt werden:

- Ausgabe der Messgrößen für Temperatur und relative Feuchte bei Änderung oder zyklisch
- Berechnung und Ausgabe der Luftzustandsgrößen Temperatur, relative Feuchte, absolute Feuchte (in g/kg und g/m³), Taupunkttemperatur, Enthalpie und Luftdichte
- Parametrierbare obere und untere Grenzwerte zur Überwachung von Temperatur und relativer Feuchte sowie einstellbarer Frostschutzalarm
- Abgleichmöglichkeit für die Temperatur- und Feuchtemessung und Korrektur der Luftdruckab-

hängigkeit durch einstellbare Standort-Höhenlage

- Ausgabe von Statistikwerten wie Minimum/Maximum und zeitlicher Mittelwert der Temperatur sowie Änderungsgeschwindigkeit der Messwerte für Temperatur und relative Feuchte. Berechnung eines räumlichen Mittelwertes (Zonenmittelwert) und Bestimmung der Heiz- und Kühlgrenze
- Temperatur-Regler mit invertierbaren Ausgängen (Heizen oder Kühlen bzw. Heizen und Kühlen), stetiger PI-Ausgang mit parametrierbarer zyklischer Stellgrößenausgabe, PWM- und Zweipunktausgang Proportionalbereich, Totzone, Nachstellzeit bzw. Schaltdifferenz sind einstellbar
- Feuchte-Regler mit invertierbaren Ausgängen (Be- oder Entfeuchten bzw. Be- und Entfeuchten), stetiger PI-Ausgang mit parametrierbarer zyklischer Stellgrößenausgabe und Zweipunktausgang für Regelungen nach der relativen oder der absoluten Feuchte Proportionalbereich, Totzone, Nachstellzeit bzw. Schaltdifferenz sind einstellbar
- Interne (Parameter) und externe Sollwerteinstellung (Bus) sowie über den Bus abrufbare Sollwertabsenkung und -anhebung für Temperatur- und Feuchteregler
- Störgrößenaufschaltung über eine einstellbare Führungsgröße und Zuordnung zu ausgewählten Funktionen (z.B. Nachführung des Sollwertes von Temperatur- und Feuchtereglungen und der Temperatur- und Feuchtegrenzwerte)
- Taupunktregler zur Regelung nach der Taupunkttemperatur der Luft oder zur Ausgabe eines definierten Taupunktalarms
- Differenzregler für Temperatur oder absolute Feuchte
- Regelung des Raum-Luftwechsels durch Berechnung der feuchterelevanten Lüftungskurve mit Vorgabe von zwei Feuchte-Laststufen und zwei Minimumpositionen (Anwesenheit bzw. Abwesenheit) unter Nutzung der freien Enthalpie der Außenluft und Berücksichtigung der Luftqualität. Der Ausgang kann pulsweitenmoduliert ausgegeben werden.

- Regler für „freie Kühlung“ während der nutzungs-freien Betriebszeit
- Ausgabe eines Texttelegramms bei Abweichungen außerhalb eines parametrierbaren Behaglichkeitsfeldes
- Raum-Zuluftkaskade zur Begrenzung der Zulufttemperatur

Anwendungsbeispiele

Aus der Vielzahl der möglichen Anwendungsfälle für den HVAC Enthalpieregler sollen zwei Beispiele erläutert werden.

1. Die feuchterelevante Lüftungskurve

Die feuchterelevante Lüftungskurve ist eine Funktion des Enthalpiereglers HVAC-Premium. Bei der Steuerung des Luftwechsels nach einer Lüftungskurve kann einerseits zu trockene Raumluft bei tiefen Außentemperaturen und andererseits die Überschreitung einer einstellbaren maximalen Taupunkttemperatur im Raum und so Tauwasserbildung an Außenbauteilen verhindert werden. Gleichzeitig ermöglicht die Steuerung eine wesentliche Einsparung von Heizwärme und elektrischer Antriebsenergie.

Der Luftvolumenstrom wird nach der absoluten Außenfeuchte gesteuert. Je geringer der Wasserinhalt der Außenluft ist, um so geringer kann bei einer bestimmten mittleren Feuchtelast der Außenluftwechsel werden (siehe Abbildung 4). Im Verlauf der Lüftungskurve bleibt sowohl die absolute als auch die relative Raumluftfeuchte konstant. Die Lüftungskurve ist nach unten hin durch zwei wählbare Minimumpositionen (minimaler Luftwechsel bei Anwesenheit bzw. Abwesenheit von Personen) und nach oben durch den Bemessungsluftvolumenstrom der Lüftungseinrichtung begrenzt. Weiterhin können zwei verschiedene Feuchtelaststufen (normale und geringe Feuchtelast z. B. bei Urlaub oder zeitweiligem Leerstand) vorgegeben werden.

Die einzustellende maximale Taupunkttemperatur sollte sich an der zu erwartenden minimalen Oberflächentemperatur der Außenbauteile orientieren. Die maximale Taupunkttemperatur kann auch über eine

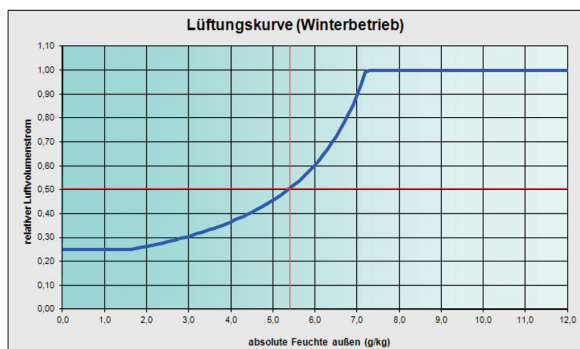


Abbildung 4: Feuchterelevante Lüftungskurve

andere Größe (z.B. die an einer kritischen Stelle gemessene Oberflächentemperatur) automatisch nachgeführt werden.

Das 1-Byte-Ausgangssignal dieser Lüftungsfunktion gibt den Anteil des Bemessungsvolumenstroms der Lüftungseinrichtung an. Mit Hilfe von Dimmaktoren oder Frequenzumformer kann die Drehzahl der Ventilatoren direkt geregelt werden. Für Ventilatoren mit Analogeingang ist ein KNX-Analogaktor erforderlich. Weiterhin ist auch ein zyklisches Schalten der Ventilatoren bzw. von Zweipunkt-Luftklappen über ein pulsweitenmoduliertes EIN/AUS-Signal möglich. Die Einstellung der Lüftungskurve erfolgt in einem Parameterfenster der Toolsoftware.

Die feuchterelevante Lüftungskurve kann auch mit einem Luftqualitätssensor und einer Enthalpie-Differenzregelung verknüpft werden. Der Enthalpieregler wählt dann automatisch das größte Signal aus. Bei der Enthalpie-Differenzregelung wird die freie Enthalpie der Außenluft genutzt, um den Raum zu heizen oder zu kühlen noch bevor konventionelle Heiz- oder Kühlenergie zugeführt werden muss. Dadurch erhält man einen sehr sparsamen Heizungs- und Kühlbetrieb.

2. Die aktive Taupunktüberwachung von Kühldecken

Kühldecken können nur sensible und keine latente Wärme aus dem Raum abführen. Dadurch ist ihre Leistungsfähigkeit begrenzt. Wenn nämlich die Oberflächentemperatur der Kühldecke unter der Taupunkttemperatur der Raumluft liegt, bildet sich großflächig Tauwasser. Deshalb müssen Taupunktunterschreitungen durch den Regelprozess sicher ausgeschlossen werden können. In der Abbildung 5 wird das prinzipielle Regelschema dazu dargestellt.

Es bedeuten:

T_a Außen-Enthalpieregler zur Messung von Temperatur, absoluter Feuchte und Enthalpie der Außenluft

T_R Raum-Enthalpieregler mit Regler für die Raumtemperatur und zur Messung von Temperatur, absoluter Feuchte, Taupunkttemperatur und Enthalpie der Raumluft

T_v: Temperaturregler zur Regelung und Messung der Kaltwasser-Vorlauftemperatur

V₁: Dreiwege-Stellventil zur Mischung von Vorlauf- und Rücklaufwasser

V₂: Durchgangs-Stellventil im Zweipunkt- oder PWM-Betrieb

P: Umwälzpumpe

Um Tauwasserbildung an der Kühldecke und den Armaturen zu verhindern, wird in der vorliegenden Regelung die Kaltwasser-Vorlauftemperatur in dem selben Maße angehoben, wie die Taupunkttemperatur

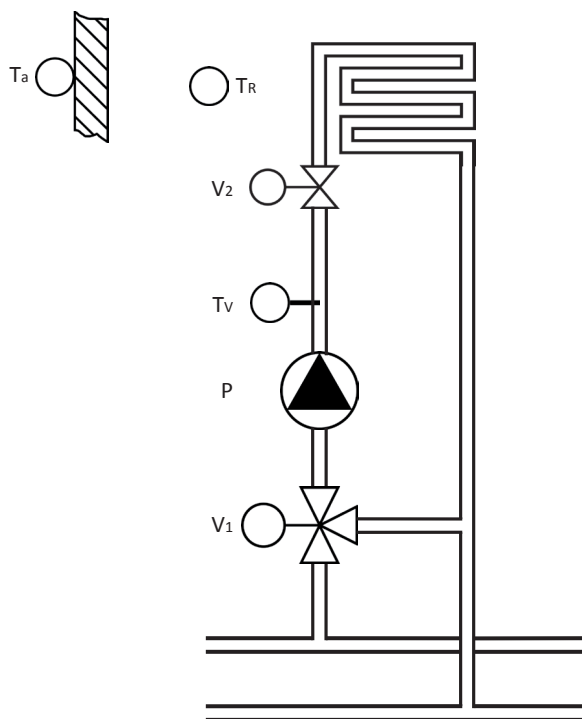


Abbildung 5: Prinzipschema Kühldeckenregelung

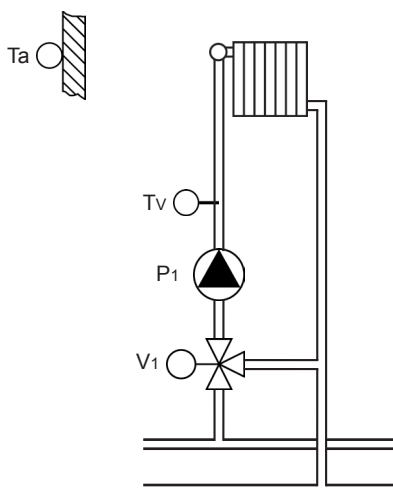
der Raumluft steigt. Das heißt, bei Steigung der Taupunkttemperatur um 1 K wird auch die Kühlwasser-Temperatur um 1 K erhöht. Dafür wird die durch den Enthalpie-Raumregler (T_R) berechnete Taupunkttemperatur dem Vorlauf-Temperaturregler T_V aufgeschaltet und dessen Sollwert stetig nachgeführt. Unterhalb der eingestellten Systemtemperatur bleibt der Sollwert konstant.

Diese aktive Taupunktüberwachung ist wesentlich effektiver als eine passive, bei der die Kühleinrichtung gerade dann gänzlich weggeschaltet wird, wenn die größte Kühlleistung (bei warmen schwülen Wetter) erforderlich ist. Als zusätzliche Sicherheit kann auf dem Vorlauf-Temperaturregler (T_V) ein unterer Grenzwert aktiviert werden, bei dessen Auslösung die Pumpe (P) gestoppt, das Dreiwege-Stellventil (V_1) zugefahren und ein Alarm abgesetzt wird.

Die Raumtemperatur und damit die Kühlleistung wird durch den Enthalpie-Raumregler (T_R) geregelt, der das Zonenventil (V_2) entweder im Zweipunktbetrieb oder pulsweitenmoduliert (PWM) ansteuert. Aus wärme-physiologischen und energetischen Gründen sollte ab einem bestimmten einstellbaren Schwellwert die Differenz zwischen Außen- und Raumtemperatur auf 6 K begrenzt werden. Das kann durch gleitende Anhebung des Raumtemperatur-Sollwertes (T_R) über die Außentemperatur (T_a) erreicht werden.

Wenn die im Außen-Enthalpieregler (T_a) berechnete absolute Feuchte oder Enthalpie größer als die in dem zu kühlenden Raum sind, wird zusätzlich Feuchte bzw. Wärme in den Raum von außen eingetragen und die Kühldecke stärker belastet. In diesem Fall sollte der Luftwechsel auf das hygienisch erforderliche Minimum reduziert werden, die Fenster überwacht und bei Öffnung ein Alarm auslöst werden.

Die gesamte Kühleinrichtung wird erst dann automatisch aktiviert, wenn der im Außen-Enthalpieregler (T_a) berechnete Wert für die Kühlgrenztemperatur den eingestellten Wert überschreitet. Unterhalb der Kühlgrenze werden die Regler (T_V und T_R) gesperrt und die Stellventile (V_1 und V_2) geschlossen sowie die Pumpe (P) gestoppt.



Beschreibung der Steuerung

Die Vorlauftemperatur (TV) des Heizkreises wird in Abhängigkeit von der Außentemperatur (Ta - gemischte Außentemperatur) entsprechend einer Heizkurve geregelt. Die Heizkurve kann auf der Grundlage der Auslegungsparameter und Heizflächenart des Heizkreises über Parameter des Vorlaufreglers festgelegt und über Kommunikationsobjekte stufig (Absenkung und Anhebung) oder gleitend (aus einem Führungsraum oder bedarfsabhängig) parallel verschoben werden. Für eine bedarfsabhängige Beeinflussung der Heizkurve ist ein zusätzlicher Logikbaustein notwendig.

In Abhängigkeit von der Art des verwendeten Stellgliedes V1 (EIB-fähiger, analoger oder reversierbarer Stellmotor) ergeben sich drei Anwendungsvarianten. Gemischte Außentemperatur und Heizgrenze sind Funktionen des HVAC-Außenreglers.

Die Heizkreispumpe (P1) läuft standardmäßig während der gesamten Heizperiode. Bei Überschreitung der eingestellten Heizgrenztemperatur wird sie gestoppt. Unter Verwendung eines zusätzlichen Logikbausteins kann die Pumpe auch gestoppt werden, wenn der Istwert der Vorlauftemperatur größer als der Sollwert ist (kann kurzzeitig auftreten) oder wenn von den Verbrauchern des Heizkreises keine Wärme mehr nachgefragt wird. Mit einem weiteren Logikbaustein kann während der Sommerperiode ein Blockierschutz eingerichtet werden, der das Festsetzen von Pumpen und Ventilen verhindert.

Verwendete Geräte

Ta Enthalpieregler Feuchtraum/Außen HVAC-Premium B12 323 02 oder
Temperaturregler Feuchtraum/Außen HVAC-Premium B03 323 02

Tv Temperaturregler HVAC-Premium B03 34x xx

optional Logikbaustein für bedarfsabhängiges Heizen
Logikbaustein für optimale Pumpensteuerung
Logikbaustein für den Pumpen- und Ventilblockierschutz

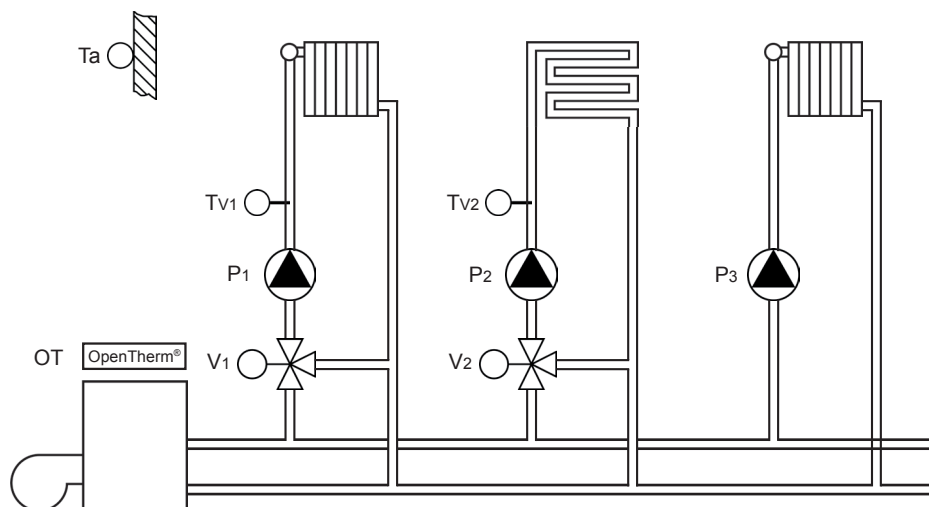
bauseits 1 Schaltaktor-Kanal für die Ansteuerung der Pumpe

sowie bauseits in Abhängigkeit von der Art des Ventilantriebs:

EIB-fähiger Stellantrieb: keine zusätzlichen Geräte

Analoger Stellantrieb (0 ... 10V): 1 Analog-Aktorkanal

Reversierbarer Stellmotor: 1 Dreipunkt-Schrittregelkanal und 2 Schaltaktorkanäle



Beschreibung der Steuerung

In der vorliegenden Steuerung werden mehrere unterschiedliche Heizkreise (geregelte oder ungeregelte) durch einen Wärmeerzeuger mit Heizwasser versorgt. Die Vorlauftemperatur der geregelten Heizkreise (Mischregelung) wird über individuelle Heizkurven entsprechend der Art der Heizflächen (Radiatoren, Konvektoren oder Flächenheizungen) und den dazugehörigen Auslegeparametern geregelt. Die Ansteuerung der Mischventile (V1, V2) und Heizkreispumpen (P1, P2, P3) wird im Arbeitsblatt HEI1 beschrieben.

Der Wärmeerzeuger wird über ein KNX OpenTherm®-Gateway angesteuert. Für alle ungeregelten Heizkreise wird die Heizkurve gemeinsam auf der Gateway-Applikation vorgegeben. Danach wird die höchste Vorlauftemperatur aller Heizkreise (maximal 6 geregelte Heizkreise) ermittelt und dem Wärmeerzeuger zur Leistungsregelung zugeführt. OpenTherm® ist ein hersteller-unabhängiger Standard (Protokoll) zur bidirektionellen Point-to-Point-Kommunikation zwischen Regler (Master) und Wärmeerzeuger (Slave).

Sicherheitseinrichtungen werden in der vorliegenden Steuerung nicht berücksichtigt. Sie sind Bestandteil des Wärmeerzeugers und der Heizungsinstallation. Die Druckhaltung, der hydraulische Abgleich, die Anlagentlüftung sowie eine vorschriftsmäßige Wärmeisolation der Anlagenteile sind eine notwendige Voraussetzung für die einwandfreie Funktion der Regelung.

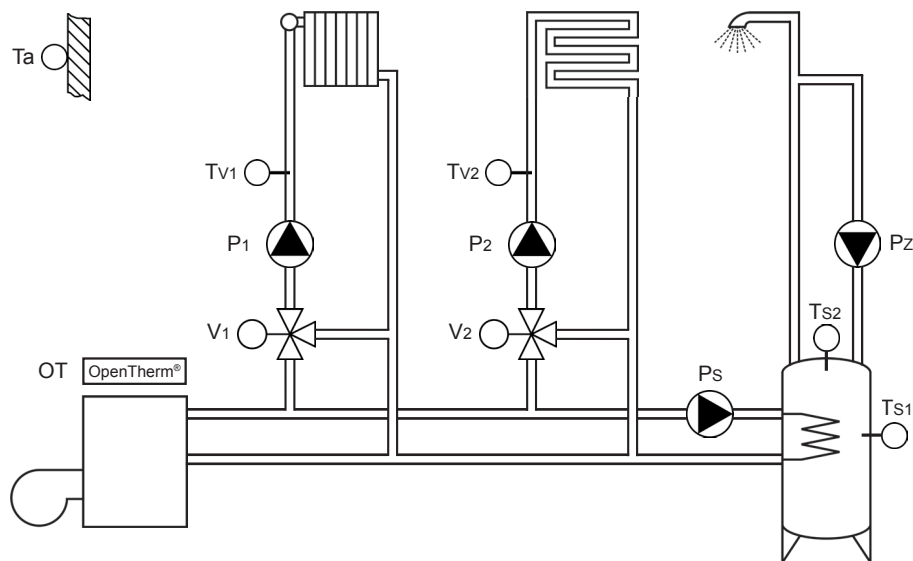
Verwendete Geräte

- Ta** Enthalpieregler Feuchtraum/Außen HVAC-Premium B12 323 02 oder
Temperaturregler Feuchtraum/Außen HVAC-Premium B03 323 02
- Tv** Temperaturregler HVAC-Premium B03 34x xx pro geregeltem Heizkreis
- OT** KNX OpenTherm®-Gateway zur Ansteuerung des Wärmeerzeugers
- optional** Logikbaustein für bedarfsabhängiges Heizen
- Logikbaustein für optimale Pumpensteuerung
- Logikbaustein für den Pumpen- und Ventilblockierschutz

bauseits Schaltaktor-Kanäle für die Ansteuerung der Pumpen

sowie bauseits in Abhängigkeit von der Art des Ventiltriebes pro geregeltem Heizkreis:

- EIB-fähiger Stellantrieb: keine zusätzlichen Geräte
- Analoger Stellantrieb (0 ... 10V): 1 Analog-Aktorkanal
- Reversierbarer Stellmotor: 1 Dreipunkt-Schrittregelkanal und 2 Schaltaktorkanäle



Beschreibung der Steuerung

Zur Steuerung der Brauchwassererwärmung wird der Solarregler (TS1) verwendet. Bei Brauchwasserspeichern mit einer ausgeprägten Temperaturschichtung ist ein weiterer Temperaturregler notwendig (TS2). Die Speicherladepumpe (PS) und die Zirkulationspumpe (PZ) werden durch die Nachheizfunktion des Solarreglers angesteuert. Dafür sind 4 parametrierbare Zeitfenster sowie eine manuelle Bedarfsanforderung vorgesehen. Der Solarregler verfügt auch über alle Funktionen zur thermischen Desinfektion. Der Parameter auf dem Solarregler „Wartezeit für solare Erhitzung“ ist auf „0“ zu setzen. Alle Funktionen für die Steuerung des Solarkreises werden ignoriert.

Während der Speicherladung werden zeitweilig (Vorrangschaltung) die Pumpen der Heizkreise (P1, P2) gestoppt, die Mischventile (V1, V2) geschlossen (Regler sperren) und über das OpenTherm®-Gateway der Wärmeerzeuger aktiviert, um die maximale Wärmeleistung für die Brauchwassererwärmung zur Verfügung zu haben. Die Ansteuerung der Mischventile und Heizkreispumpen sowie die des Wärmeerzeugers werden in den Arbeitsblättern HEI1 und HEI2 beschrieben.

Sicherheitseinrichtungen werden in der vorliegenden Steuerung nicht berücksichtigt. Sie sind Bestandteil des Wärmeerzeugers und der Heizungsinstallation. Die Druckhaltung, der hydraulische Abgleich, die Anlagenentlüftung, Rückflussverhinderer und Schwerkraftbremsen sowie eine vorschriftsmäßige Wärmeisolation der Anlagenteile sind eine notwendige Voraussetzung für die einwandfreie Funktion der Regelung.

Verwendete Geräte

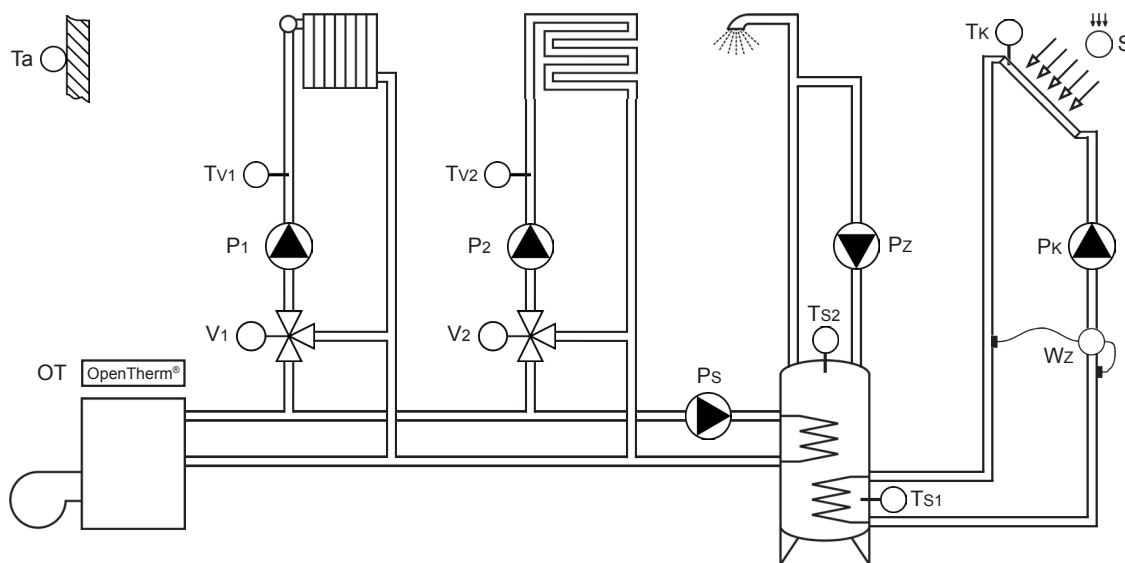
- Ta** Enthalieregler Feuchtraum/Außen HVAC-Premium B12 323 02 oder Temperaturregler Feuchtraum/Außen HVAC-Premium B03 323 02
- Tv** Temperaturregler HVAC-Premium B03 34x xx pro geregelter Heizkreis
- OT** KNX OpenTherm®-Gateway zur Ansteuerung des Wärmeerzeugers
- TS1** Solarregler B07 344 xx zur Temperaturregelung des Warmwasserspeichers
- TS2** Temperaturregler BASIC B01 346 xx zur Erfassung der oberen Speichertemperatur
- optional** Logikbaustein für bedarfsabhängiges Heizen
- Logikbaustein für optimale Pumpensteuerung
- Logikbaustein für den Pumpen- und Ventilblockierschutz
- bauseits** Schaltaktor-Kanäle für die Ansteuerung der Pumpen

sowie bauseits in Abhängigkeit von der Art des Ventilantriebes pro geregelter Heizkreis:

EIB-fähiger Stellantrieb: keine zusätzlichen Geräte

Analoger Stellantrieb (0 ... 10V): 1 Analog-Aktorkanal

Reversierbarer Stellmotor: 1 Dreipunkt-Schrittregelkanal und 2 Schaltaktorkanäle



Beschreibung der Steuerung

Die Ansteuerung der Mischventile (V1, V2), der Heizkreispumpen (P1, P2), der Speicherlade- und Zirkulationspumpe (PS, PZ) sowie die des Wärmeerzeugers werden in den Arbeitsblättern HEI1, HEI2 und HEI3 erläutert.

Der Solarregler (TS1) verfügt in Verbindung mit dem Kollektor-Temperaturregler (TK) über alle Funktionen zum optimalen Betrieb eines thermischen Solarkollektors (Speicher-Differenzregler für drehzahlgeregelte oder konventionelle Kollektorpumpen (PK), Kollektorkühlung und -verschattung, Frostschutz, Signalüberwachung, Plausibilitätstests u.a.). Eine flexible Funktion zur thermischen Desinfektion stellt die Legionellenbekämpfung sicher. Es wird vorrangig Solarenergie zur Brauchwassererwärmung genutzt und erst wenn diese nicht mehr ausreicht, über die Nachheizfunktion konventionelle Energie zugeführt.

Durch den Einsatz eines Wärmemengenzählers (WZ) und eines Globalstrahlungssensors (S) kann die Ausbeute und der Wirkungsgrad kontinuierlich dargestellt bzw. über Datenlogging ausgewertet werden.

Sicherheitseinrichtungen werden in der vorliegenden Steuerung nicht berücksichtigt. Sie sind Bestandteil des Wärmeerzeugers und der Heizungsinstallation. Die Druckhaltung, der hydraulische Abgleich, die Anlagenentlüftung, Rückflussverhinderer und Schwerkraftbremsen sowie eine vorschriftsmäßige Wärmeisolation der Anlagenteile sind eine notwendige Voraussetzung für die einwandfreie Funktion der Regelung.

Verwendete Geräte

Ta	Enthalpieregler Feuchtraum/Außen HVAC-Premium B12 323 02 oder Temperaturregler Feuchtraum/Außen HVAC-Premium B03 323 02
Tv	Temperaturregler HVAC-Premium B03 34x xx pro geregelter Heizkreis
OT	KNX OpenTherm®-Gateway zur Ansteuerung des Wärmeerzeugers
Tk	Temperaturregler BASIC B01 34x xx zur Messung der Kollektortemperatur
Ts1	Solarregler B07 344 xx zur Speicher-Differenzreglung
Ts2	Temperaturregler BASIC B01 346 xx zur Erfassung der oberen Speichertemperatur
Wz	Wärmemengenzähler mit KNX-Interface zur Erfassung der Energieausbeute (optional)
S	Globalstrahlungssensor zur Erfassung der solaren Einstrahlung (optional)
optional	Logikbaustein für bedarfsabhängiges Heizen
	Logikbaustein für optimale Pumpensteuerung
	Logikbaustein für den Pumpen- und Ventilblockierschutz
bauseits	Schaltaktor-Kanäle für die Ansteuerung der Pumpen

sowie bauseits in Abhängigkeit von der Art des Ventilantriebes pro geregelter Heizkreis:

EIB-fähiger Stellantrieb: keine zusätzlichen Geräte

Analoger Stellantrieb (0 ... 10V): 1 Analog-Aktorkanal

Reversierbarer Stellmotor: 1 Dreipunkt-Schrittregelkanal und 2 Schaltaktorkanäle

1. Aufgabenstellung

In einem Laborgebäude soll die Regelung der Wärmeversorgung für die statische Heizung, für die Lüftungsanlagen und für das Brauchwasser realisiert werden. Die erforderliche Wärmeenergie wird über eine Fernwärmeeinspeisung mittels Wärmetauscher bereitgestellt. Der regeltechnische Aufbau ist aus Abbildung 1 ersichtlich.

Folgende Regelkomponenten werden bauseits vorgehalten:
Duchgangsregelventil Y1 mit Dreipunkt-Stellmotor 230 VAC
Dreiwege-Mischventil Y2 mit Dreipunkt-Stellmotor 230 VAC
Dreiwege-Mischventil Y3 mit Dreipunkt-Stellmotor 230 VAC
Sicherheitstemperaturbegrenzer F1

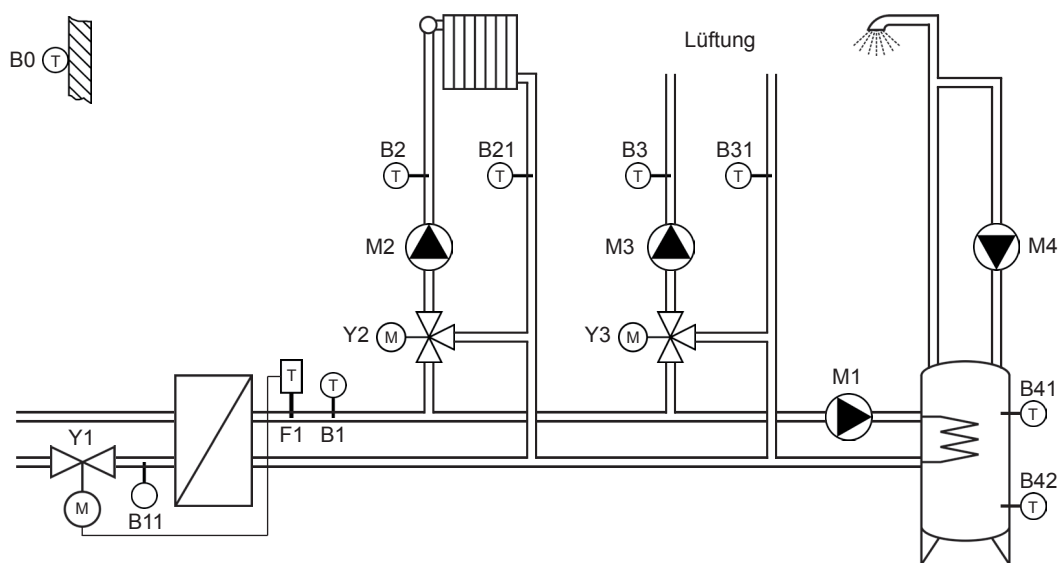


Abbildung 1: Prinzipschema Regelung

2. Verwendete Regelkomponenten

Position	Anzahl	Type	Fabrikat
B0	1	Enthalpieregler HVAC B12 323 02 oder Temperaturregler HVAC B03 323 02	DGA
B1	1	Temperaturregler HVAC B03 34x xx	DGA
B11	1	Temperaturregler BASIC B01 347 xx	DGA
B2	1	Temperaturregler HVAC B03 34x xx	DGA
B21	1	Temperaturregler BASIC B01 34x xx	DGA
B3	1	Temperaturregler HVAC B03 34x xx	DGA
B31	1	Temperaturregler BASIC B01 34x xx	DGA
B41	1	Temperaturregler BASIC B01 346 xx	DGA
B42	1	Solarregler B07 344 xx zur Speicher-Differenzregelung	DGA
	3	Dreipunkt-Schrittregelkanal	bauseits
	1	Logikbaustein Vorrangschaltung	bauseits
	x	Logikbaustein für bedarfsabhängiges Heizen (optional)	bauseits
	x	Logikbaustein für optimale Pumpensteuerung (optional)	bauseits
	x	Logikbaustein für Pumpen- und Ventilblockierschutz (optional)	bauseits
	6	Schalt-Aktorkanal zur Ansteuerung der Stellantriebe	bauseits
	4	Schalt-Aktorkanal zur Ansteuerung der Pumpen	bauseits

3. Beschreibung der Steuerung

Sicherheitseinrichtungen werden in der vorliegenden Steuerung nicht berücksichtigt. Sie sind Bestandteil des Wärmeerzeugers und der Heizungsinstallation. Die Druckhaltung, der hydraulische Abgleich, die Anlagentlüftung, Rückflussverhinderer und Schwerkraftbremsen sowie eine vorschriftsmäßige Wärmeisolation der Anlagenteile sind eine notwendige Voraussetzung für die einwandfreie Funktion der Regelung.

Heizkreis statische Heizung

Die Vorlauftemperatur (B2) des Heizkreises für die statische Heizung des Gebäudes wird nach einer gekrümmten Heizkurve entsprechend der Auslegung der Heizungsanlage geregelt. Als Führungsgröße wird die gemischte Temperatur des Außenreglers (B0) verwendet. Die Heizkurve kann über vordefinierte Festbeträge parallel verschoben werden (Absenkung oder Anhebung durch 1 Bit-Schaltuhrbefehl). Die Stellgröße des PI-Reglers im Vorlaufregler (B2) wird durch einen Dreipunkt-Schrittregelbaustein in laufzeitabhängige Schaltschritte umgesetzt.

Darüber hinaus ist es auch möglich, die Heizkurve bedarfsabhängig entsprechend der in den Einzelraum-Reglern eingestellten Sollwerte zu verschieben. Dafür ist zusätzlich ein Logikbaustein erforderlich.

Die Heizungspumpe (M2) wird bei Überschreitung der Heizgrenze (Funktion des Außenreglers B0) gestoppt. Unter Verwendung des zusätzlichen Logikbausteins kann der Lauf der Pumpe auch von der Differenz zwischen Ist- und Sollwert der Vorlauftemperatur sowie von der Ventilstellung der Heizkörperventile in den Räumen abhängig gemacht werden. Um ein Festsetzen der Ventile und Pumpen während der heizfreien Zeit zu verhindern (Kalkablagerung), kann mit einem zusätzlichen Logikbaustein ein regelmäßiger kurzzeitiger Steuerimpuls gesendet werden.

Heizkreis Lüftung

Die Vorlauftemperatur (B3) des Heizkreises für die Lüftung wird linear durch die aktuelle Außentemperatur (B0) geführt. Die Steilheit der Kurve kann abhängig von den Anforderungen der Lüftungsanlage über Parameter verändert werden. Die Kurve kann über vordefinierte Festbeträge parallel verschoben werden (Absenkung oder Anhebung durch 1 Bit-Schaltuhrbefehl). Die Stellgröße des PI-Reglers im Vorlaufregler (B3) wird durch einen Dreipunkt-Schrittregelbaustein in laufzeitabhängige Schaltschritte umgesetzt.

Der Lauf der Pumpe (M3) wird vom Betriebsmanagement der Lüftungsanlagen gesteuert.

Brauchwassererwärmung

Zur Steuerung der Brauchwassererwärmung wird der Solarregler (B42) verwendet. Bei Brauchwasserspeichern mit einer ausgeprägten Temperaturschichtung ist ein weiterer Temperaturregler notwendig (B41). Die Speicherladepumpe (M1) und die Zirkulationspumpe (M4) werden durch die Nachheizfunktion des Solarreglers angesteuert. Dafür sind 4 parametrierbare Zeitfenster sowie eine manuelle Bedarfsanforderung vorgesehen. Der Solarregler verfügt auch über alle Funktionen zur thermischen Desinfektion. Der Parameter auf dem Solarregler „Wartezeit für solare Erhitzung“ ist auf „0“ zu setzen. Alle Funktionen für die Steuerung des Solarkreises werden ignoriert.

Während der Speicherladung werden zeitweilig (Vorrangschaltung) die Pumpe des Heizkreises (M2) gestoppt, das Mischventil (Y2) geschlossen (Regler sperren) und mithilfe eines Logikbausteins der Sollwert der Wärmetauscherregelung auf einen maximalen Festwert gesetzt. Mit dem Logikbaustein werden auch alle weiteren Verknüpfungen für die Pumpen und Sollwertwertauswahl realisiert.

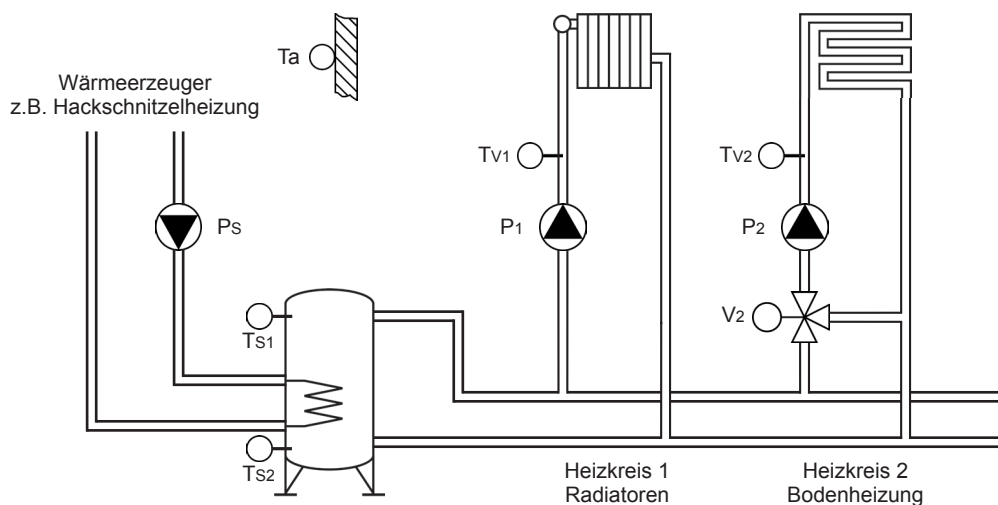
Regelung des Wärmetauschers

Die Vorlauftemperatur des Wärmetauschers wird mit dem PI-Regler (B1) auf der Sekundärseite und dem Durchgangsventil im Rücklauf der Primärseite (Y1) geregelt. Der Regler ist an die Dynamik des Regelkreises anzupassen. Die Stellgröße des PI-Reglers (B1) wird durch einen Dreipunkt-Schrittregelbaustein in laufzeitabhängige Schaltschritte umgesetzt. Der Sicherheitstemperaturbegrenzer (F1) hat immer Vorrang gegenüber allen anderen Regelungen und wirkt direkt auf den Stellmotor (Y1) ein.

Als Sollwert wird dem PI-Regler der größte der drei nachgeordneten Reglersollwerte (Heizkreis, Lüfterkreis, Brauchwassererwärmung) über eine MAX/MIN-Funktion eines Logikbausteins zugeordnet.

Rücklauf-Temperaturregler

Die Temperaturregler im Rücklauf des Heizkreises (B21), des Lüfterkreises (B31) und auf der Primärseite des Wärmetauschers (B11) liefern Informationen über den Wärmeverbrauch und sind wichtig zur optimalen Einregulierung der Heizungsanlage. Sie sollten zumindestens während der Inbetriebnahme in der ersten Heizperiode zur Visualisierung und Langzeitaufzeichnung genutzt werden.



Beschreibung der Steuerung

Regelung Pufferspeicher:

Die Temperatur des Pufferspeichers wird mit dem oberen Speicherregler (TS1) geregelt, der mit seinem Zweipunktausgang die Speicherladepumpe (Ps) schaltet. Der Regler-Sollwert des oberen Speicherreglers wird über eine Heizkurve geführt, die nach den Anforderungen des Heizkreises 1 parametrisiert ist (höchste Vorlauftemperatur auf den Heizkreisverteiler). Als Führungsgröße wird die gemischte Temperatur des Außenreglers (Ta) verwendet. Mit dem unteren Speicherregler (TS2) wird die Temperaturschichtung im Speicher kontrolliert. Die Grenzwertfunktionen beider Regler werden zur Überwachung des Speicherbetriebs genutzt. Wenn der obere Grenzwert des oberen Speicherreglers überschritten wird, wird die Speicherladepumpe ausgeschaltet (höhere Priorität).

Regelung Heizkreis 1:

Als Heizkreis mit der höchsten Vorlauftemperatur auf dem Heizkreisverteiler bleibt der Heizkreis 1 ungeregt, da die Speichertemperatur bereits nach der dafür erforderlichen Heizkurve gefahren wird. Die Vorlauftemperatur wird mit dem Regler TV1 erfasst. Wegen des Taktens der Speicherladung (eingestellte Schaltdifferenz auf TS1) wird die Vorlauftemperatur etwas schwanken.

Regelung Heizkreis 2:

Die Vorlauftemperatur (TV2) des Heizkreises wird in Abhängigkeit von der Außentemperatur (Ta - gemischte Außentemperatur) entsprechend einer Heizkurve über ein Dreiwege-Mischventil (V2) geregelt. Die Heizkurve kann auf der Grundlage der Auslegungsparameter und Heizflächenart des Heizkreises über Parameter des Vorlaufreglers festgelegt und über Kommunikationsobjekte stufig (Absenkung und Anhebung) oder gleitend (aus einem Führungsraum oder bedarfsabhängig) parallel verschoben werden. In Abhängigkeit von der Art des verwendeten Stellgliedes (EIB-fähiger, analoger oder reversierbarer Stellmotor) ergeben sich drei Anwendungsvarianten.

Zentrale Funktionen:

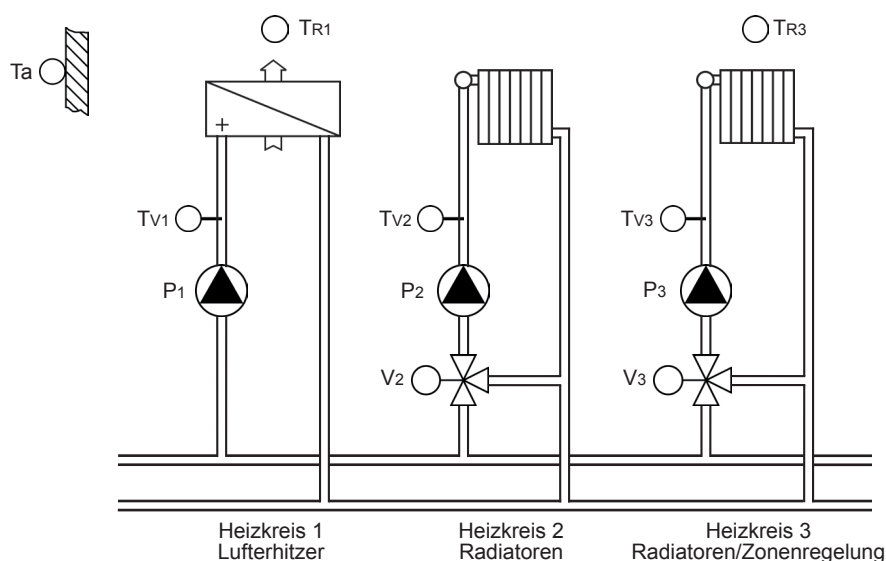
Die Heizkreispumpen (P1, P2) laufen standardmäßig während der gesamten Heizperiode. Bei Überschreitung der eingestellten Heizgrenztemperatur (auf Ta) werden sie sowie die Speicherladepumpe gestoppt. Unter Verwendung eines zusätzlichen Logikbausteins können die Pumpen auch gestoppt werden, wenn der Istwert der Vorlauftemperatur größer als der Sollwert ist (kann kurzzeitig auftreten) oder wenn von den Verbrauchern des Heizkreises keine Wärme mehr nachgefragt wird. Mit einem weiteren Logikbaustein kann während der Sommerperiode ein Blockierschutz eingerichtet werden, der das Festsetzen von Pumpen und Ventilen verhindert.

Bemerkung:

Sicherheitseinrichtungen werden in der vorliegenden Steuerung nicht berücksichtigt. Sie sind Bestandteil des Wärmeerzeugers und der Heizungsinstallation. Die Druckhaltung, der hydraulische Abgleich, die Anlagenentlüftung, Rückflussverhinderer und Schwerkraftbremsen sowie eine vorschriftsmäßige Wärmeisolation der Anlagenteile sind eine notwendige Voraussetzung für die einwandfreie Funktion der Regelung.

Verwendete Geräte

- Ta** Enthaltpieregler Feuchtraum/Außen HVAC-Premium B12 323 02 oder
Temperaturregler Feuchtraum/Außen HVAC-Premium B03 323 02
- TS1** Temperaturregler HVAC-Premium B03 346 xx zur Regelung der Speicher-Betriebs-
temperatur
- TS2** Temperaturregler BASIC B01 346 xx zur Erfassung der unteren Speichertemperatur
- TV1** Temperaturregler BASIC B01 34x xx zur Erfassung der Vorlauftemperatur HK 1
- TV2** Temperaturregler HVAC-Premium B03 34x xx zur Regelung der Vorlauftemperatur HK 2
- optional** Logikbaustein für optimale Pumpensteuerung
Logikbaustein für den Pumpen- und Ventilblockierschutz
- bauseits** Schaltaktor-Kanäle für die Ansteuerung der Pumpen
- sowie** bauseits in Abhängigkeit von der Art des Ventiltriebes pro geregeltem Heizkreis:
- EIB-fähiger Stellantrieb: keine zusätzlichen Geräte
- Analoger Stellantrieb (0 ... 10V): 1 Analog-Aktorkanal
- Reversierbarer Stellmotor: 1 Dreipunkt-Schrittregelkanal und 2 Schaltaktorkanäle



Beschreibung der Steuerung

Zentrale Funktionen:

Die einzelnen Heizkreise können alle über einen gemeinsamen Außenregler geführt werden. Liegen allerdings größere Unterschiede in der Lage, Bauart oder Nutzung des Gebäudes oder der Gebäudeteile vor, ist zu erwägen, ob ein weiterer separater Außenregler verwendet werden soll.

Die Heizkreispumpe P1 wird eingeschaltet, wenn die Außentemperatur einen vorgegebenen Wert (z. B. + 3 °C) unterschreitet. Die Schaltdifferenz ist einstellbar. Für diese Funktion und weitere Verknüpfungen ist ein zusätzlicher Logikbaustein erforderlich.

Die Heizkreispumpen P2, und P3 laufen standardmäßig während der gesamten Heizperiode. Bei Überschreitung der eingestellten Heizgrenztemperatur (auf Ta) werden sie gestoppt. Unter Verwendung eines zusätzlichen Logikbausteins können die Pumpen auch gestoppt werden, wenn der Istwert der Vorlauftemperatur größer als der Sollwert ist (kann kurzzeitig auftreten) oder wenn von den Verbrauchern des Heizkreises keine Wärme mehr nachgefragt wird. Mit einem weiteren Logikbaustein kann während der Sommerperiode ein Blockierschutz eingerichtet werden, der das Festsetzen von Pumpen und Ventilen verhindert.

Vorlauftemperaturregelung:

Die Vorlauftemperatur des Heizkreises 1 (Lufterhitzer) wird mit dem Regler TV1 erfasst. Sie wird nicht geregelt und hat immer den am Heizkreisverteiler anliegenden Wert. Auf dem Temperaturregler können zu Meldezwecken ein oberer und ein unterer Grenzwert eingestellt werden.

Die Vorlauftemperatur der Heizkreise „Radiatoren“ (TV2, TV3) werden in Abhängigkeit von der gemischten Außentemperatur (Ta) entsprechend einer Heizkurve über ein Dreiwege-Mischventil (V2, V3) geregelt. Die Heizkurve wird auf der Grundlage der Auslegungsparameter und Heizflächenart des Heizkreises über Parameter des Vorlaufreglers festgelegt und kann über Kommunikationsobjekte stufig (Absenkung und Anhebung) oder gleitend (aus einem Führungsraum oder bedarfsabhängig) parallel verschoben werden. In Abhängigkeit von der Art des verwendeten Stellgliedes (EIB-fähiger, analoger oder reversierbarer Stellmotor) ergeben sich drei Anwendungsvarianten.

Zonenregelung:

Pro zu regelndem Raum bzw. Zone wird ein Raumregler eingesetzt, der wahlweise EIB-fähige oder elektrothermische Stellventile auf den Heizflächen ansteuert. Der eingestellte Sollwert des PI-Reglers kann über den Bus von zentraler Stelle aus beliebig geändert und über ein Schaltsignal um einen vorgewählten Betrag abgesenkt (Nachtabsenkung) oder angehoben werden. Ist- und Solltemperatur werden wahlweise bei Änderung oder zyklisch auf den Bus gesendet.

Bemerkung:

Sicherheitseinrichtungen werden in der vorliegenden Steuerung nicht berücksichtigt. Sie sind Bestandteil des Wärmeerzeugers und der Heizungsinstallation. Die Druckhaltung, der hydraulische Abgleich, die Anlagentlüftung sowie eine vorschriftsmäßige Wärmeisolation der Anlagenteile sind eine notwendige Voraussetzung für die einwandfreie Funktion der Regelung.

Verwendete Geräte

- Ta** Enthaltpieregler Feuchtraum/Außen HVAC-Premium B12 323 02 oder
Temperaturregler Feuchtraum/Außen HVAC-Premium B03 323 02
- Tv1** Temperaturregler BASIC B01 34x xx zur Erfassung der Vorlauftemperatur HK 1
- Tv2** Temperaturregler HVAC B03 34x xx zur Regelung der Vorlauftemperatur HK 2
- Tv3** Temperaturregler HVAC B03 34x xx zur Regelung der Vorlauftemperatur HK 3
- TR1** Raumregler HVAC: Enthaltpieregler B12 3xx xx (AP, UP, Feuchtraum) oder
Temperaturregler B03 3xx xx (AP, UP, Feuchtraum)
- TR3** Raumregler HVAC: Enthaltpieregler B12 3xx xx (AP, UP, Feuchtraum) oder
Temperaturregler B03 3xx xx (AP, UP, Feuchtraum)
- optional** Logikbaustein für optimale Pumpensteuerung
Logikbaustein für den Pumpen- und Ventilblockierschutz
- bauseits** Schaltaktor-Kanäle für Verknüpfungen und Ansteuerung der Pumpen

sowie bauseits in Abhängigkeit von der Art des Ventilantriebes pro geregeltem Heizkreis:

EIB-fähiger Stellantrieb: keine zusätzlichen Geräte

Analoger Stellantrieb (0 ... 10V): 1 Analog-Aktorkanal

Reversierbarer Stellmotor: 1 Dreipunkt-Schrittregelkanal und 2 Schaltaktorkanäle

1. Aufgabenstellung

In 10 Wohneinheiten (WE) sollen die Räume über kombinierte Heiz-/Kühlfußböden klimatisiert werden. Die Temperatur wird pro Raum mit einem Enthalpieregler (TR1 ... x) erfasst und mittels elektrothermischer Stellventile (V1 ... x) auf einem Verteiler für die Heiz- /Kühlflächen pulsweitenmoduliert (PWM) geregelt (siehe Abbildung 1). Aus wärmephysiologischen und energetischen Gründen soll die Raumtemperatur im Sommer stetig angehoben werden.

Die Vorlauftemperatur wird im Winter außentemperaturabhängig nach einer Heizkurve und im Sommer nach der Taupunkttemperatur geregelt. Dafür sind pro WE ein Dreiwegemischventil (V0) mit analogem Stellmotor und ein Vorlauf-Temperaturregler (TVL) vorgesehen. Zur Vermeidung von Überhitzung oder Unterkühlung des Fußbodens wird ein Temperaturregler (TRL) im Fußboden oder im Rücklauf eingesetzt.

Die Umschaltung des Systems zwischen Heiz- und Kühlbetrieb soll automatisch für alle WE zentral über die Funktionen des Außenreglers erfolgen. Für die Betriebsumschaltung zur Absenkung der Temperaturen im Heizbetrieb bzw. Anhebung im Kühlbetrieb soll ein Zeitmanagement aufgebaut werden.

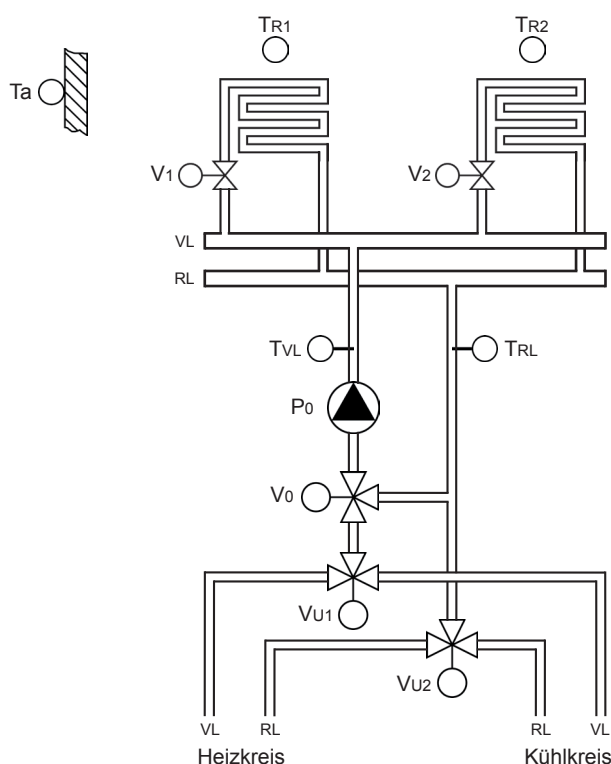


Abbildung 1: Prinzipschema Regelung

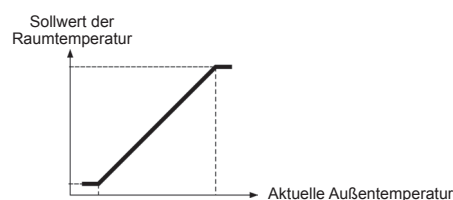


Abbildung 2: Sollwertanhebung der Raumtemperatur im Sommer

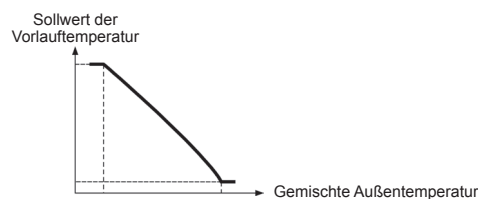


Abbildung 3: Heizkennlinie

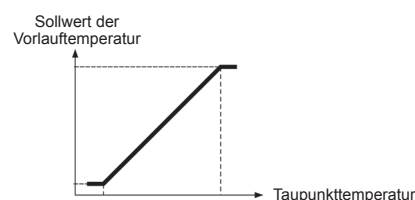


Abbildung 4: Sollwertanhebung der Kühlwassertemperatur zu aktiven Taupunktüberwachung

2. Verwendete Regelkomponenten pro Gebäude (Geb), Wohnung (WE), Raum (R)

Position	Anzahl	Type	Fabrikat
Ta	Geb	Außen-Enthalpieregler HVAC B12 323 02	DGA
TR1...x	R	Raum-Enthalpieregler HVAC B12 321 02 (AP) oder B12 331 xx	DGA
V1...x	R	Thermoelektrische Stellventile	bauseits
	WE	Schaltaktor (EIB-Regelverteiler mit Pumpen-Leistungsmodul)	bauseits
TVL	WE	Temperaturregler Duplex B04 346 xx oder B04 347 xx oder B04 347 40	DGA
TRL	WE	Temperaturregler BASIC B01 346 xx oder B01 347 xx oder B01 347 40	DGA
V0	WE	Dreiwege-Mischventil mit analogem Stellmotor (0 ... 10 V)	bauseits
	WE	Analog-Aktorkanal	bauseits
P0	WE	Zirkulationspumpe	bauseits
VU1 ...2	2xWE	Dreiwege-Umschaltventil	bauseits
		Logikbaustein	bauseits

3. Beschreibung der Regelung

Raumtemperatur-Regelung

Die Raumtemperatur wird über den PI-Regler des Enthalpie-Raumreglers (TR1...x) geregelt. Dieser Regler hat zwei pulsweitenmodulierte Ausgänge (einen für Heizen und einen für Kühlen), die durch einen Totzonenbereich voneinander getrennt sind. Im Heizbetrieb wird der Ausgang 1 und im Kühlbetrieb der Ausgang 2 auf das jeweilige elektrothermische Stellventil (V1...x) geschaltet. Wenn weder Heiz- noch Kühlbetrieb stattfindet, wird der Regler gesperrt. Beide Ausgänge gehen dann auf Null. Der Temperatur-PI-Regler ist über die Nachstellzeit, Proportionalbereich und Totzone an die Regelstrecke anzupassen.

Der Sollwert des Reglers wird im Kühlbetrieb über die aktuelle Außentemperatur (T_a) so geführt, dass er bis zu einer wählbaren Außentemperatur konstant bleibt (z.B. 28 °C) und bei weiterer Steigung der Außentemperatur jeweils um 1 K pro 1 K Außentemperatursteigerung erhöht wird. Auf diese Weise wird zwischen Außen und Innen immer ein konstanter Temperaturunterschied (z.B. 6 K) gehalten. Abbildung 2 erläutert diesen Zusammenhang. Der obere Punkt der Führungskurve sollte so gelegt werden, dass er im Bereich der maximal zu erwartenden Außentemperatur liegt.

Im Heizbetrieb wird außerhalb der normalen Betriebszeit der Sollwert des Reglers über einen Schalthuhrbefehl um einen wählbaren Wert abgesenkt, im Kühlbetrieb angehoben.

Vorlauftemperatur-Regelung

Als Stellglied zur Regelung der Wassertemperatur wird ein stetiges Dreiwegeventil verwendet, das Vorlaufwasser (VL) mit Rücklaufwasser (RL) mischt. Der Stellantrieb des Dreiwegeventils wird vom Vorlauf-Temperaturregler (TVL) unter Zwischenschaltung eines Analogaktors zur Umsetzung des 1 Byte-Reglersignals in ein Analogsignal 0 ... 10 V angesteuert.

Der Vorlauf-Temperaturregler (TVL) verfügt über zwei voneinander unabhängige PI-Temperatur-Regler (Heizungsregler und Kühlregler) mit eigener Sollwertvorgabe und Sollwertführung. Unterhalb der Kühlgrenze ist das Ausgangssignal des Heizungsreglers auf das Dreiwegeventil V0 geschaltet. Bei Überschreitung der Kühlgrenztemperatur wird das Dreiwegeventil vom Ausgang des Kühlreglers angesteuert. Wenn weder die Heizgrenztemperatur unterschritten noch die Kühlgrenztemperatur überschritten wird (kein Heizbetrieb und kein Kühlbetrieb), werden beide Temperatur-Regler gesperrt und das Dreiwegeventil geschlossen.

Der Sollwert des Heizungsreglers wird über eine Heizkennlinie geführt (siehe Abbildung 3), die aus den Auslegedaten der Fußbodenheizung (Vor- und Rücklauftemperatur, Norm-Außen- und -Innentemperatur und Heizflächenexponent) gebildet wird. Als Führungsgröße wird die gemischte Außentemperatur des Außen-Enthalpieregler (T_a) verwendet. Zur Anpassung der Heizkennlinie (Parallelverschiebung) an die geforderte Raumtemperatur wird der Sollwert des Raum-Enthalpieregler im Führungsraum auf den Heizungsregler aufgeschaltet.

Aktive Taupunktüberwachung

Wenn die Taupunkttemperatur der Luft höher ist als die Oberflächentemperatur von umgebenden Bauteilen tritt Tauwasser aus. Das kann im Sommer an Kühlflächen und auch im Winter an kalten Außenflächen auftreten. Dieser Prozess muss kontrolliert werden, wenn Schimmelpilzbildung verhindert werden soll. Deshalb wird der Sollwert des Kühlreglers von der Taupunkttemperatur in den Räumen so geführt, dass die Kühlwasser-Temperatur nie die Taupunkttemperatur unterschreitet. Die Taupunkttemperaturen der Raumluft wird mit den Raum-Enthalpie-Regler (TR1...x) gemessen.

Solange die Taupunkttemperatur in den Räumen kleiner als die Norm-Kühlwasser-Vorlauftemperatur ist, wird der Sollwert der Vorlauftemperatur konstant gehalten. Bei weiterer Steigung der Taupunkttemperatur wird der Sollwert so angehoben, dass bei 1 K Taupunkttemperaturerhöhung auch die Kühlwassertemperatur um 1 K steigt (siehe Abbildung 4). Der obere Punkt der Führungskurve sollte so gelegt werden, dass er oberhalb der maximal zu erwartenden Taupunkttemperatur liegt. Für die Sollwertführung wird die größte Taupunkttemperatur der einzelnen Räume der Wohnung ausgewählt.

Umschaltung Heiz- /Kühlbetrieb

Die Umschaltung des Systems wird auf der Grundlage der gedämpften Temperatur vorgenommen, die durch den Enthalpie-Außenregler (T_a) ermittelt wird und mit einer Zeitkonstanten an das Gebäudes angepasst werden kann. Wenn die gedämpfte Temperatur kleiner als die eingestellte Heizgrenztemperatur wird, wird der Heizbetrieb eingeschaltet. Übersteigt die gedämpfte Temperatur die eingestellte Kühlgrenze, wird das System auf Kühlbetrieb umgeschaltet. Zwischen Heiz- und Kühlgrenze findet aus energetischen Gründen kein geregelter Betrieb statt.

Lüftung

Da im Sommer die Außenluft in der Regel einen wesentlich höheren Feuchte- und Wärmeinhalt hat, sollte im Kühlbetrieb sollte darauf geachtet werden, dass durch den Außenluftwechsel so wenig wie möglich Feuchte und Wärme in die Räume eingetragen wird.

Wenn während des Kühlbetriebs die absolute Feuchte (Wasserinhalt der Luft) außen größer ist als die des Führungsraumes oder die Enthalpie (Wärmeinhalt der Luft) außen größer ist als die des Führungsraumes, wird ein Signal zur Minimierung des Luftwechsels auf den hygienisch notwendigen Wert ausgegeben. Enthalpie und absolute Feuchte werden durch die Enthalpieregler ermittelt und ausgegeben.

Im Heizbetrieb sollte der Luftwechsel nach einer Lüftungskurve gesteuert werden. Dadurch kann zu trockene Raumluft vermieden und Heizenergie gespart werden. Die Voraussetzung ist eine vorhandene Lüftungsanlage mit Einzelventilatoren oder motorisierten Lüftungsventilen. Zur Realisierung der Lüftungsteuerung im Heizbetrieb ist pro WE ein zusätzlicher Logikbaustein erforderlich.

1. Aufgabenstellung

Vier Räume sollen mit kombinierten Heiz-/Kühldecken klimatisiert werden. Die Temperatur wird pro Raum mit einem Enthalpieregler (TR1 ... 4) erfasst und mittels elektrothermischem Stellventil (V1 ... 4) auf einem Verteiler für die Heiz- /Kühlflächen pulsweitenmoduliert (PWM) geregelt (siehe Abbildung 1). Aus wärmephysiologischen und energetischen Gründen soll die Raumtemperatur im Sommer stetig angehoben werden.

Die Vorlauftemperatur wird im Winter außentemperaturabhängig nach einer Heizkurve und im Sommer nach der Taupunkttemperatur geregelt. Dafür sind ein Dreiwegemischventil (V0) mit analogem Stellmotor und ein Vorlauf-Temperaturregler (TVL) vorgesehen. Zur Vermeidung von Überhitzung oder Unterkühlung der Strahlungsdecke wird ein Temperaturregler (TRL) in der Decke oder im Rücklauf eingesetzt.

Die Umschaltung des Systems zwischen Heiz- und Kühlbetrieb soll automatisch für alle Räume zentral über die Funktionen des Außenreglers erfolgen. Für die Betriebsumschaltung zur Absenkung der Temperaturen im Heizbetrieb bzw. Anhebung im Kühlbetrieb soll ein Zeitmanagement aufgebaut werden.

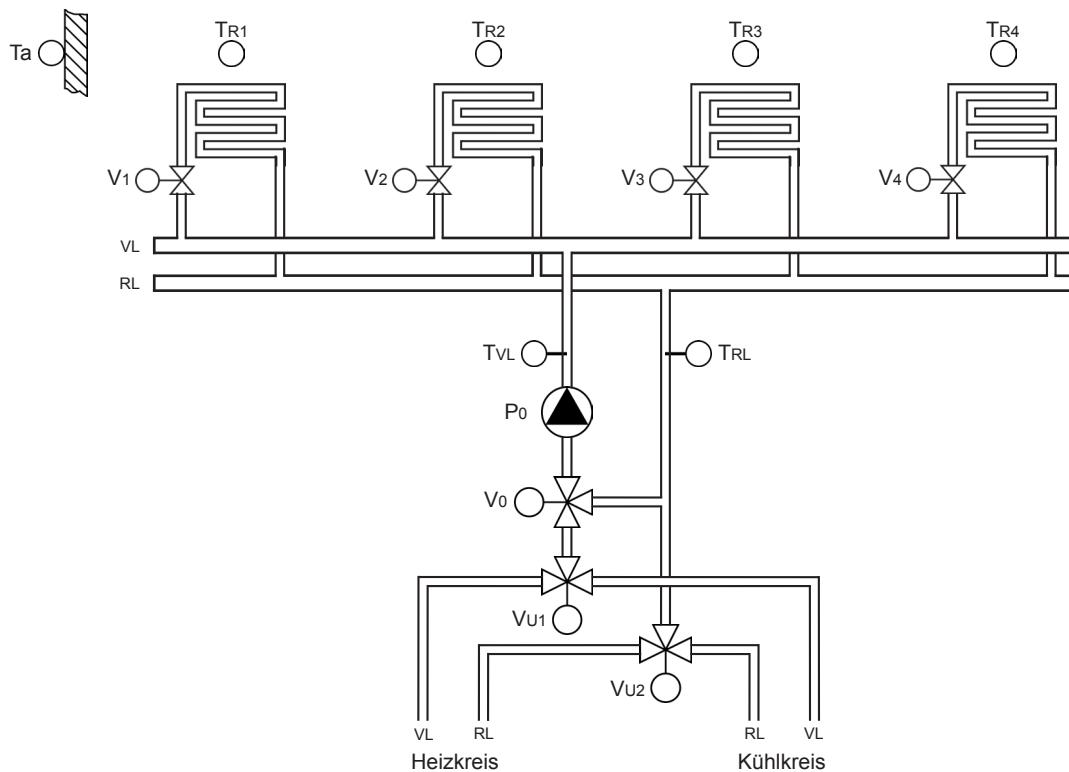


Abbildung 1: Prinzipschema Regelung

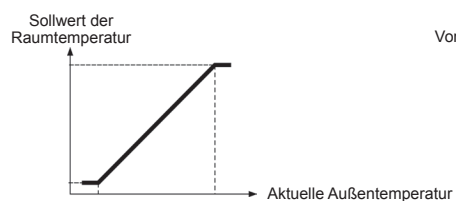


Abbildung 2: Sollwertanhebung der Raumtemperatur im Sommer

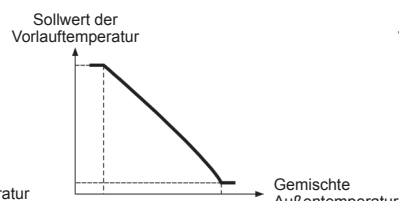


Abbildung 3: Heizkennlinie

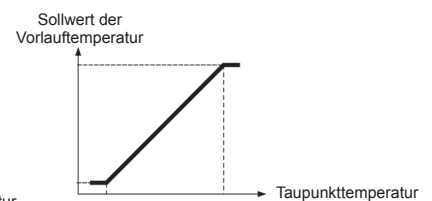


Abbildung 4: Sollwertanhebung der Kühlwassertemperatur

2. Verwendete Regelkomponenten

Position	Anzahl	Type	Fabrikat
Ta	1	Außen-Enthalpieregler HVAC B12 323 02	DGA
TR1...4	4	Raum-Enthalpieregler HVAC B12 321 02 oder B12 331 xx	DGA
V1...4	4	Thermoelektrische Stellventile	bauseits
TvL	1	Temperaturregler Duplex B04 346 xx oder B04 347 xx oder B04 347 40	DGA
TRL	1	Temperaturregler BASIC B01 346 xx oder B01 347 xx oder B01 347 40	DGA
V0	1	Dreiwege-Mischventil mit analogen Stellmotor 0 ... 10 V	bauseits
V0	1	Analog-Aktorkanal zur Ansteuerung des Mischventils	bauseits
P0	1	Zirkulationspumpe	bauseits
Vu1 ...2	2	Dreiwege-Umschaltventil	bauseits
	9	Schaltaktorkanal zur Ansteuerung der Ventile und der Pumpe	bauseits
	1	Logikbaustein	bauseits

3. Beschreibung der Regelung

Raumtemperatur-Regelung

Die Raumtemperatur wird über den PI-Regler des Enthalpie-Raumreglers (TR1...4) geregelt. Dieser Regler hat zwei pulsweitenmodulierte Ausgänge (einen für Heizen und einen für Kühlen), die durch einen Totzonenbereich voneinander getrennt sind. Im Heizbetrieb wird der Ausgang 1 und im Kühlbetrieb der Ausgang 2 auf das jeweilige elektrothermische Stellventil (V1...4) geschaltet. Diese Umschaltung wird mit einer Logikfunktion realisiert. Wenn weder Heiz- noch Kühlbetrieb stattfindet, wird der Regler gesperrt. Beide Ausgänge gehen dann auf Null. Der Temperatur-PI-Regler ist über die Nachstellzeit, Proportionalbereich und Totzone an die Regelstrecke anzupassen.

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

Außerhalb der normalen Betriebszeit wird der Sollwert des Reglers über einen Schaltuhrbefehl im Heizbetrieb um einen wählbaren Wert abgesenkt, im Kühlbetrieb angehoben.

Vorlauftemperatur-Regelung

Als Stellglied zur Regelung der Wassertemperatur wird ein Dreiwege-Regelventil verwendet, das Vorlaufwasser (VL) mit Rücklaufwasser (RL) mischt. Der Stellantrieb des Dreiwegeventils wird vom Vorlauf-Temperaturregler (TvL) unter Zwischenschaltung eines Analog-Aktorkanals zur Umsetzung des 1 Byte-Reglersignals in 0 ... 10 V angesteuert.

Der Vorlauf-Temperaturregler verfügt über zwei voneinander unabhängige PI-Temperatur-Regler (Heizungsregler und Kühlregler) mit eigener Sollwertvorgabe und Sollwertführung. Unterhalb der Kühlgrenze ist das Ausgangssignal des Heizungsreglers auf das Dreiwegeventil V0 geschaltet. Bei Überschreitung der Kühlgrenztemperatur wird das Dreiwegeventil vom Ausgang des Kühlreglers angesteuert. Wenn weder die Heizgrenztemperatur unterschritten noch die Kühlgrenztemperatur überschritten wird (kein Heizbetrieb und kein Kühlbetrieb), werden beide Temperatur-Regler gesperrt und das Dreiwegeventil geschlossen.

Der Sollwert des Heizungsreglers wird über eine Heizkennlinie geführt (siehe Abbildung 3), die aus den Auslegedaten der Deckenheizung (Vor- und Rücklauftemperatur, Norm-Außen- und -Innentemperatur und Heizflächenexponent) gebildet wird. Als Führungsgröße wird die gemischte Außentemperatur des Außen-Enthalpiereglers (Ta) verwendet. Zur Anpassung der Heizkennlinie (Parallelverschiebung) an die geforderte Raumtemperatur kann der Sollwert des Raum-Enthalpiereglers in einem Führungsraum auf den Heizungsregler aufgeschaltet werden.

Wenn keines der vier Stellventile (V1...4) geöffnet ist und wenn weder Heiz- noch Kühlbetrieb ist, wird die Pumpe P0 abgeschaltet.

Aktive Taupunktüberwachung

Wenn die Taupunkttemperatur der Luft höher ist als die Oberflächentemperatur von umgebenden Bauteilen tritt Tauwasser aus. Das kann im Sommer an Kühlflächen und auch im Winter an kalten Außenflächen auftreten. Dieser Prozess muss kontrolliert werden, wenn Schimmelpilzbildung verhindert werden soll. Deshalb wird der Sollwert des Kühlreglers von der Taupunkttemperatur in den Räumen so geführt, dass die Kühlwasser-Temperatur nie die Taupunkttemperatur der Luft unterschreitet. Die Taupunkttemperaturen der Raumluft wird mit den Raum-Enthalpie-Regler (TR1...4) gemessen.

Solange die Taupunkttemperatur in den Räumen kleiner als die Norm-Kühlwasser-Vorlauftemperatur ist, wird der Sollwert der Vorlauftemperatur konstant gehalten. Bei weiterer Steigung der Taupunkttemperatur wird der Sollwert so angehoben, dass bei 1 K Taupunkttemperaturerhöhung auch die Kühlwassertemperatur um 1 K steigt (siehe Abbildung 4). Der obere Punkt der Führungskurve sollte so gelegt werden, dass er oberhalb der maximal zu erwartenden Taupunkttemperatur liegt. Für die Sollwertführung wird die größte Taupunkttemperatur der einzelnen Räume ausgewählt. Hierfür wird ein Logikbaustein benötigt.

Umschaltung Heiz- /Kühlbetrieb

Die Umschaltung des Systems wird auf der Grundlage der gedämpften Außentemperatur vorgenommen, die durch den Enthalpie-Außenregler (Ta) ermittelt wird und mit einer Zeitkonstanten an das Gebäudes angepasst werden kann. Wenn die gedämpfte Temperatur kleiner als die eingestellte Heizgrenztemperatur wird, wird der Heizbetrieb eingeschaltet. Übersteigt die gedämpfte Temperatur die eingestellte Kühlgrenze, wird das System auf Kühlbetrieb umgeschaltet. Zwischen Heiz- und Kühlgrenze findet aus energetischen Gründen kein geregelter Betrieb statt.

Lüftung

Da im Sommer die Außenluft in der Regel einen wesentlich höheren Feuchte- und Wärmeinhalt als die Raumluft hat, sollte im Kühlbetrieb sollte darauf geachtet werden, dass durch den Außenluftwechsel so wenig wie möglich Feuchte und Wärme in die Räume eingetragen wird.

Wenn während des Kühlbetriebs die absolute Feuchte (Wasserinhalt der Luft) außen größer ist als die des Führungsraumes oder die Enthalpie (Wärmeinhalt der Luft) außen größer ist als die des Führungsraumes, wird ein Signal zur Minimierung des Luftwechsels auf den hygienisch notwendigen Wert ausgegeben. Dazu wird eine Logikfunktion benötigt. Enthalpie und absolute Feuchte werden durch die Enthalpieregler ermittelt und ausgegeben.

Im Heizbetrieb sollte der Luftwechsel nach einer Lüftungskurve gesteuert werden. Dadurch kann zu trockene Raumluft vermieden und Heizenergie gespart werden. Die Voraussetzung ist eine vorhandene Lüftungsanlage mit Einzelventilatoren oder motorisierten Lüftungsventilen. Zur Realisierung der Lüftungsteuerung im Heizbetrieb ist ein zusätzlicher Logikbaustein erforderlich.

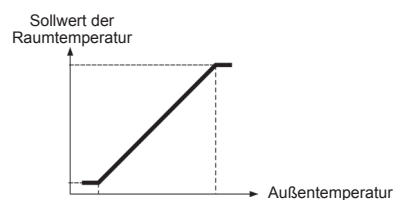
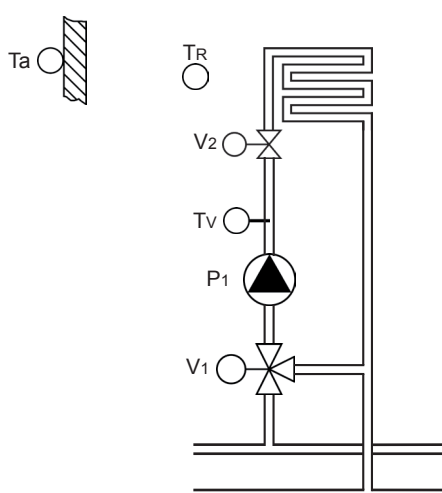


Abbildung 1: Sollwertanhebung Raumtemperatur

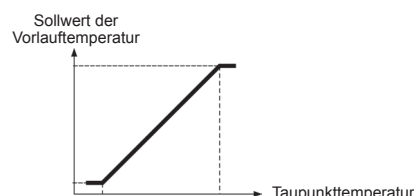


Abbildung 2: Sollwertanhebung Kühlwassertemperatur

Beschreibung der Steuerung

Wenn die Taupunkttemperatur der Luft höher ist als die Oberflächentemperatur von umgebenden Bauteilen tritt Tauwasser aus. Das kann im Sommer an Kühlflächen und auch im Winter an kalten Außenflächen auftreten. Dieser Prozess muss kontrolliert werden, wenn Schimmelbildung verhindert werden soll. Mit der vorliegenden Steuerung werden zwei grundlegende Funktionen zum Betrieb von Kühldecken oder Kühlfußboden bereitgestellt:

Aktive Taupunktüberwachung

Die Taupunkttemperatur wird vom Raum-Enthalpieregler (TR) erfasst und als Führungsgröße dem Vorlauf-Temperaturregler (TV) aufgeschaltet. Die Nachführung des Vorlauftemperatur-Sollwertes wird so parametrisiert, dass bei einer Steigung der Taupunkttemperatur von 1 K auch die Kühlwasser-Vorlauftemperatur um den gleichen Wert erhöht wird (Abb. 2). Ein konstanter Taupunkt-Abstand kann realisiert werden.

Wenn der Wasser- oder der Wärmeinhalt der Außenluft (T_a) größer wird als der der Raumluft, sollte der Außenluftwechsel minimiert werden. Für die Realisierung dieser Funktion ist ein Aktorkanal mit Logikeingang erforderlich.

Raumtemperatur-Regelung

Die Raumtemperatur wird über das thermoelektrische Ventil V2 geregelt (PWM). Aus wärme-physiologischen und energetischen Gründen sollte ab einem bestimmten Schwellwert die Differenz zwischen Außen- und Raumtemperatur auf 6 K begrenzt werden. Das wird durch die Führung des Raumtemperatur-Sollwertes (Abb.1) erreicht. Die Kühleinrichtung wird abgeschaltet, wenn die gedämpfte Temperatur des Außenreglers die Kühlgrenztemperatur unterschreitet. In der konkreten hydraulischen Schaltung ist auf das Freilaufen der Pumpe zu achten.

Verwendete Geräte

Ta Enthalpieregler Feuchtraum/Außen HVAC-Premium B12 323 02

TR Enthalpieregler Raum HVAC-Premium B12 321 02 oder B12 331 xx

Tv Temperaturregler HVAC-Premium B03 34x xx

bauseits: 2 Schaltaktor-Kanäle mit Eingangslogik für die Ansteuerung von Pumpe und Kühldeckenventil

sowie bauseis in Abhängigkeit von der Art des Mischventil-Antriebs V1:

EIB-fähiger Stellantrieb: keine zusätzlichen Geräte

Analoger Stellantrieb (0 ... 10V): 1 Analog-Aktorkanal

Reversierbarer Stellmotor: 1 Dreipunkt-Schrittregelbaustein und 2 Schaltaktorkanäle

1. Beschreibung der Regelung

Kühldecken nehmen den größten Teil ihrer Kühlleistung über Wärmestrahlung auf. Deshalb sind sie aus wärmephysiologischen und auch energetischen Gründen besonders günstig für die Raumkühlung. Sie können aber nur sensible Wärme und keine latente Wärme abführen. Wenn nämlich die Taupunkttemperatur der Luft höher ist (im Sommer) als die Oberflächentemperatur der Kühlflächen tritt Tauwasser aus, das zu Schimmelpilzbefall und anderen negativen Erscheinungen führen kann. Deshalb müssen Taupunktunterschreitungen durch den Regelprozess ausgeschlossen werden. In der Abbildung 1 wird das prinzipielle Regelschema dargestellt.

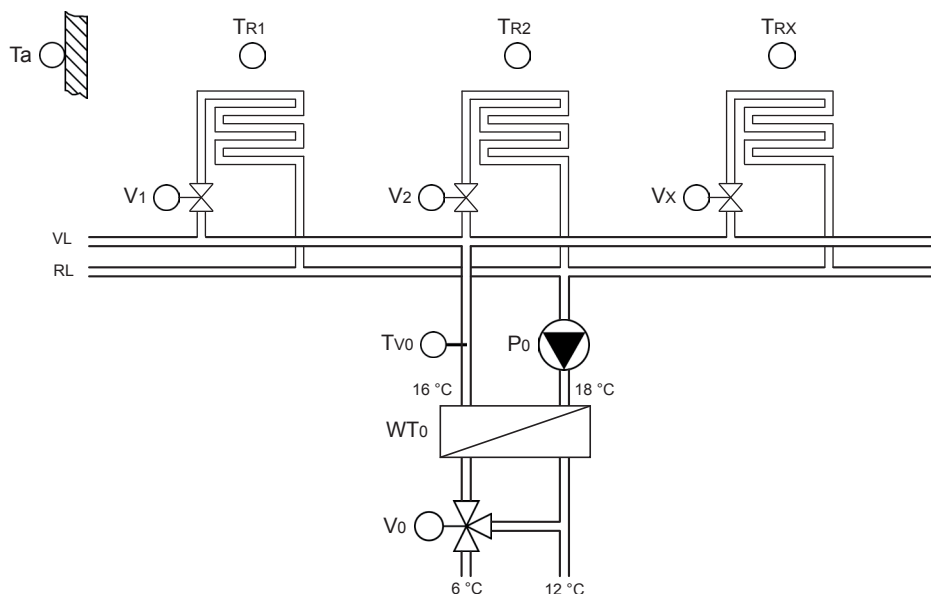


Abbildung 1: Prinzipschema Regelung

Tabelle 1: Verwendete Regelkomponenten

Position	Anzahl	Type	Fabrikat
Ta	1	Enthalpieregler Feuchtraum/Außen HVAC-Premium B12 323 02	DGA
TR1...x	x	Enthalpieregler Raum HVAC-Premium B12 321 02 oder B12 331 xx	DGA
	1	Logikbaustein	bauseits
Tv0	1	Temperaturregler HVAC-Premium B03 34x xx	DGA
V0	1	Dreiwege-Mischventil mit Stellmotor	bauseits
	1	Analog-Aktorkanal bei analogem Stellantrieb (0 ... 10 V)	bauseits
	1	Dreipunkt-Schrittregelbaustein bei reversierbarem Stellantrieb	bauseits
V1...x	x	Thermoelektrischer Stellantrieb mit Schalt-Aktorkanal	bauseits
WT0	1	Wärmetauscher	bauseits
P0	1	Zirkulationspumpe mit Schalt-Aktorkanal	bauseits

1.1 Konstante Vorlauftemperaturregelung

Der stetige PI-Kühlregler im Temperaturregler (Tv0) regelt die Vorlauftemperatur über das Stellventil (V0) auf einen konstanten Wert. Abhängig von der Art des Stellmotors gibt es zwei Möglichkeiten für die Ansteuerung: Bei einem analogen Stellantrieb ist ein zusätzlicher Analog-Aktorkanal erforderlich, der das 1 Byte-Reglersignal in ein Analogsignal (0 ... 10 V) umsetzt. Bei einem reversierbaren Stellantrieb (auf/zurück) wird ein Dreipunkt-Schrittregelbaustein benötigt, der das 1 Byte-Signal in zeitabhängige Schaltschritte auflöst. Der Temperatur-PI-Regler (Tv0) ist über Nachstellzeit und Proportionalbereich an die Regelstrecke anzupassen.

Über ein Kommunikationsobjekt kann der PI-Regler gesperrt und somit das Stellventil zugefahren werden (z.B. wenn kein Kühlbetrieb ist). Unabhängig von der Regelfunktion können für die Vorlauftemperatur auch noch ein unterer und ein oberer Grenzwert vorgegeben werden, der für Meldezwecke oder Schaltaktionen (Pumpe stoppen) verwendet werden kann.

1.2 Passive Taupunktüberwachung mittels Feuchtefühler

Die Taupunktüberwachung muss an jeder einzelnen Kühldecke über spezielle Feuchtefühler (in Abbildung 1 nicht eingezeichnet) durchgeführt werden. Sobald sich Tauwasser bildet, wird die jeweilige Kühldecke über die Zonenventile V1...x abgeschaltet. Der Nachteil dieser passiven Taupunktüberwachung ist, dass die Kühlleistung gerade in dem Moment gänzlich weggeschaltet wird, wenn die größten Kühllasten vorliegen (z.B. schwüles Wetter). Erst wenn die Messstelle wieder trocken geworden ist, wird die Zonen-Regelung erneut freigegeben.

1.3. Aktive Taupunktüberwachung durch Führung der Vorlauftemperatur

Durch die stetige Anhebung des Kühlregler-Sollwertes (T_{v0}) wird die Vorlauftemperatur so geführt, dass die Kühlwasser-Temperatur nie die Taupunkttemperaturen in den Räumen unterschreiten kann. Die Kühldecke muss nicht abgeschaltet, sondern kann mit etwas verminderter Leistung weiter betrieben werden. Als Führungsgröße sind dafür die Taupunkttemperaturen der Räume erforderlich. Diese werden durch die Enthalpie-Raumregler ($TR1...x$) erfasst und ausgegeben. Die größte Taupunkttemperatur wird als Führungsgröße ausgewählt. Dafür ist ein zusätzlicher Logikbaustein erforderlich.

Solange die Taupunkttemperatur in den Räumen kleiner als die Norm-Kühlwasser-Vorlauftemperatur ist, wird der Sollwert der Vorlauftemperatur konstant gehalten. Bei weiterer Steigung der Taupunkttemperatur wird der Sollwert so angehoben, dass bei 1 K Taupunkttemperaturerhöhung auch die Kühlwassertemperatur um 1 K steigt. Der obere Punkt der Führungskurve sollte so gelegt werden, dass er oberhalb der maximal zu erwartenden Taupunkttemperatur liegt. In Abbildung 2 ist die Führungskurve so eingestellt, dass immer ein Taupunktstand von 1 K vorhanden ist. So beträgt bei einer Taupunkttemperatur von 17 °C die Vorlauftemperatur 18 °C.

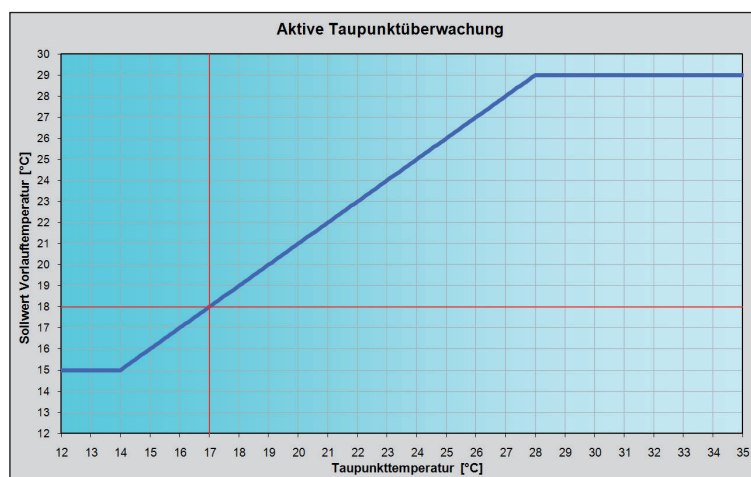


Abbildung 2: Führung der Vorlauftemperatur

1.4. Regelung der Kühldeckenleistung

Die Enthalpie-Raumregler ($TR1...x$) sind neben vielen anderen Regelkomponenten mit Temperaturreglern ausgerüstet, die die Zonenventile der Kühldecken ansteuern können. Dabei kann zwischen Zweipunktausgang mit einstellbarer Schaltdifferenz, stetiger PI-Regelung und schaltender PI-Regelung (PWM) ausgewählt werden. Alle Stellgrößenausgänge sind invertierbar.

In Verbindung mit einem Enthalpie-Außenregler (T_a) pro Gebäude können auch die Raumtemperatursollwerte so geführt werden, dass oberhalb einer vorgegebenen Außentemperatur die Raumtemperatur stetig angehoben wird. Dadurch wird eine bessere wärmephysiologische Verträglichkeit erreicht und können wesentliche Energieeinsparungen erzielt werden.

Durch den Vergleich der absoluten Feuchten zwischen Außen (T_a) und Innen ($TR1...x$) kann verhindert werden, dass ein ungewünschter Feuchteintrag von außen in die Räume auftritt. Wenn der Wasserinhalt der Außenluft größer wird als der der Raumluft, kann bei lufttechnischen Einrichtungen der Außenluftwechsel auf den hygienisch erforderlichen Wert reduziert werden.

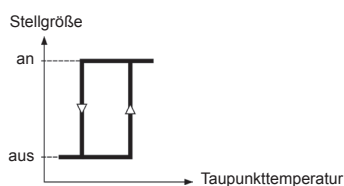
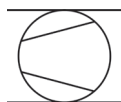


Abbildung 1: Taupunktregler

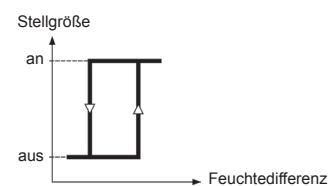


Abbildung 2: Feuchtedifferenzregler

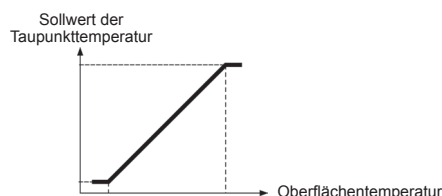


Abbildung 3: Sollwertnachführung Taupunktregler

Beschreibung der Steuerung

Ein Luftwechsel in Aufenthaltsräumen ist hauptsächlich aus zwei Gründen notwendig:

1. Lufterneuerung zur Einhaltung der zulässigen Schadstoffkonzentration, die durch die Anwesenheit und Tätigkeit von Personen oder durch Ausdünstungen von Baustoffen oder Einrichtungsgegenständen sowie durch Prozesse im Raum verursacht werden. Hierfür werden CO₂-Sensoren oder Mischgassensoren eingesetzt.
2. Abfuhr von im Raum freigesetzter Feuchte zur Verhinderung von Tauwasserbildung (Schimmelpilzgefahr). Allerdings funktioniert die Feuchteabfuhr durch Lüftung nur solange, wie der Wasserinhalt (absolute Feuchte) der Außenluft kleiner ist als der der Raumluft (d. h. hauptsächlich in der kalten Jahreszeit). Anderenfalls würde zusätzliche Feuchte in den Raum eingetragen werden.

Wenn die Taupunkttemperatur der Luft höher ist als die Oberflächentemperatur von umgebenden Bauteilen, bildet sich Tauwasser (siehe auch hx-Diagramm). Um das zu verhindern, wird ein Taupunktregler (Abbildung 1) eingesetzt, der bei Steigung der Taupunkttemperatur einen Ventilator einschaltet bzw. ein Lüftungsventil öffnet (bei zentralen Anlagen) und so durch die Zufuhr von trockenerer Außenluft (geringere Absolutfeuchte) die Taupunkttemperatur der Raumluft immer unterhalb der Oberflächentemperatur hält.

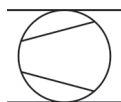
Wenn die Absolutfeuchte der Außenluft größer wird als die der Raumluft, wird der Ventilator durch einen Feuchtedifferenzregler ausgeschaltet (Abbildung 2). Bei variabler Oberflächentemperatur kann der Sollwert des Taupunktreglers nachgeführt werden (Abbildung 3). Taupunktregler, Feuchtedifferenzregler und Sollwertnachführung sind Funktionen des HVAC Enthalpieregler.

Bei einem Raumverbund (mehrere Räume mit einem Ventilator) ist u. U. ein zusätzlicher Logikbaustein zur Verknüpfung der Funktionen erforderlich.

Die vorliegende Steuerung ist vorwiegend auf die Verhinderung von Tauwasserschäden ausgerichtet. Wenn sehr unterschiedliche Oberflächentemperaturen durch mangelhafte Wärmedämmung vorliegen (Wärmebrücken), ist sie in Hinsicht auf Behaglichkeit und Energieeffizienz nicht optimal. Bei reinen Abluftanlagen ist auf ein freies Nachströmen der Außenluft zu achten.

Verwendete Geräte

- Ta** HVAC Außen-Enthalpieregler B12 323 xx
- TR** HVAC Raum-Enthalpieregler B12 321 xx (AP) oder B12 331 xx (UP)
- optional** Temperaturregler BASIC B01 345 xx zur Messung der Oberflächentemperatur
Logikbaustein für logische Verknüpfungen
- bauseits** 1 Schaltaktor-Kanal für die Ansteuerung des Ventilators oder Lüftungsventils
CO₂- oder Mischgassensor



T_R

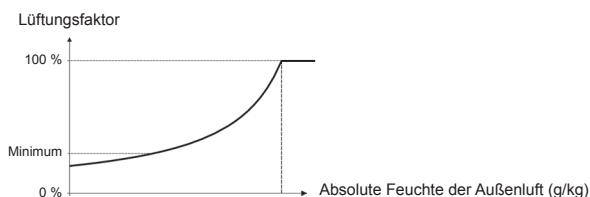


Abbildung 1: Lüftungskurve

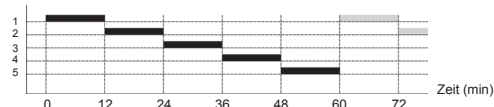


Abbildung 2: Schaltintervalle

Beschreibung der Steuerung

Bei einer gleichmäßigen Wärmedämmung der Umfassungskonstruktion (keine ausgesprochene Wärmebrücken) kann der Außenluftwechsel nach einer Lüftungskurve gesteuert werden. Diese Steuerung ist in Hinsicht auf thermische Behaglichkeit und Energieeffizienz besonders optimal und ermöglicht eine beträchtliche Energieeinsparung gegenüber dem traditionellen Lüftungsbetrieb bei Einhaltung aller hygienischen und feuchterelevanten Anforderungen. Bei reinen Abluftanlagen ist auf ein freies Nachströmen der Außenluft zu achten.

Die bedarfsgerechte Lüftungskurve (Abbildung 1) gibt den Anteil des Bemessungsluftwechsels an und ist eine Funktion der absoluten Feuchte der Außenluft bei einer vorgegebenen Taupunkttemperatur der Raumluft (siehe auch hx-Diagramm). Solange der Luftwechsel nach der Lüftungskurve geregelt wird, bleibt die Taupunkttemperatur der Raumluft konstant und wird Tauwasserbildung (Schimmelpilzgefahr) vermieden. Die Lüftungskurve ist in jedem HVAC Raum-Enthalpieregler integriert.

Im unteren Bereich der Lüftungskurve sind zwei Minimumpositionen einstell- und abrufbar, eine z.B. bei Abwesenheit und eine bei Anwesenheit von Personen. Wenn Luftqualitätssensoren eingesetzt werden, kann die Minimumposition auf Null gesetzt werden. Sobald die absolute Feuchte der Außenluft größer wird als die der Raumluft, sowie bei einer einstellbaren Außentemperatur, bei der keine Gefahr für Taupunktunterschreitung mehr besteht, wird der Luftwechsel auf Minimum gesetzt.

Der maßgebende Lüftungsfaktor für die Lüftungssteuerung wird aus den Werten der Lüftungskurve, aus einem Enthalpievergleich zwischen Außen- und Innenluft (Nutzung der freien Enthalpie) und einem eventuell vorhandenen Luftqualitätssensor gebildet. Zur Zweipunktsteuerung der Einzelventilatoren oder Lüftungsventile wird dieser Lüftungsfaktor in veränderliche Öffnungs- und Schließzeiten (bzw. An- und Auszeiten) innerhalb einer einstellbaren Zykluszeit umgesetzt. Dabei können die Einzelventilatoren oder Lüftungsventile in Gruppen im Gebäude durchgetaktet werden (Abbildung 2).

Die Lüftungssteuerung integriert auch die Funktion „Freie Kühlung“, bei der im Sommer die kältere Nachluft zur Kühlung der Räume verwendet wird und die Sollwertbildung für die Volumenstromregelung eines zentralen Ventilators.

Verwendete Geräte

- Ta** HVAC Außen-Enthalpieregler B12 323 02
- TR** HVAC Raum-Enthalpieregler B12 321 02 (AP) oder B12 331 xx (UP)
- optional** Logikbaustein für Intervallkaskade
- bauseits** Schaltaktor-Kanäle für die Ansteuerung von Ventilatoren oder Lüftungsventilen
- Luftqualitätssensor (CO₂- oder Mischgassensor)

Freie Lüftung in Kirchen

Grundsätzliches

Aufgrund der großen thermisch aktiven Masse und des großen Luftvolumens sind Regelungen in älteren sakralen Bauwerken sehr träge. Es hat sich im Laufe der Jahre ein gewisses hygrothermisches Gleichgewicht eingestellt. Sanierungen, die dieses Gleichgewicht verändern (z.B. Beheizung), sollten daher sorgfältig geplant und betrieben werden.

Für den Feuchtehaushalt des Bauwerkes kommt der Belüftung eine besondere Bedeutung zu. Es muss einerseits verhindert werden, dass die Raumluft zu trocken wird und dadurch das Interieur zu sehr beansprucht wird bzw. Schaden erleidet, und andererseits zu große Feuchtemengen eingetragen werden, die sich auf kalten Außenflächen als Tauwasser absetzen. In der Heizperiode hat die Außenluft i. d. R. einen geringeren Wasserinhalt (absolute Feuchte) als die Raumluft, während das in der Sommerzeit gerade umgekehrt ist. Eine Regelung der Raumluftfeuchte nur mit dem Lüftungsbetrieb lässt sich nicht realisieren, weil die zugeführte Luft (Außenluft) nur sehr selten die feuchterelevanten Eigenschaften besitzt, die zeitgleich zur Konditionierung des Raumklimas erforderlich sind. Hierfür wären Klimageräte mit Be- und Entfeuchtungskomponenten erforderlich.

Die Entlüftung im oberen Bereich des Bauwerkes und Nachströmen von Außenluft im unteren Bereich ist eine sogenannte freie Lüftung. Die sich einstellende Größe des Luftvolumenstroms hängt von nicht beeinflussbaren Faktoren ab (Temperaturdifferenz zwischen innen und außen, Höhe zwischen Abluftöffnungen und Zuluftöffnungen, Strömungswiderstände der Zu- und Abluftöffnungen).

Da das hygrothermische Verhalten des Bauwerkes und dessen Nutzung sowie die Außenklimawerte zunächst unbekannt sind, sollten die Daten der Sensoren mit einem **Datenlogger** aufgezeichnet werden, um sie auszuwerten und die Steuerung nachjustieren zu können. Die Grenzwerte, die unbedingt eingehalten werden müssen, sind beim Bauherren bzw. dessen Bauphysiker und Konservator (bei wertvollen historischen Interieur) zu erfragen.

Vorschlag für die Realisierung einer Lüftungssteuerung

Feuchterelevante Lüftungskurve

Die Abluftlufterklappen und Zuluft-Fensterantriebe werden im Winterbetrieb nach einer Lüftungskurve in Abhängigkeit von der absoluten Feuchte außen gefahren. Bei Absinken der absoluten Außenfeuchte wird der Lüftungsfaktor so verringert, dass dadurch die absolute Feuchte innen (und bei konstanter Temperatur auch die relative Feuchte) sowie die Taupunkttemperatur konstant gehalten werden. Solange die Oberflächentemperatur der Außenwände höher als die gewählte maximale Taupunkttemperatur bleibt, kann kein Tauwasser austreten. Für die Wahl der maximalen Taupunkttemperatur sollten Punktmessungen der Oberflächentemperatur bei kaltem Außentemperaturen durchgeführt werden. Besser geeignet ist der Einsatz eines Temperatursensors (B01 345 xx), dessen Hülse eingeputzt wird. Diese Temperaturwerte können aufgezeichnet werden.

Die Funktion „Lüftungskurve“ ist im Parameterfenster „Auswahl Zusatzfunktionen“ des Enthalpiereglers B12 321 02 auszuwählen und danach zu parametrieren. Als Anfangswerte könnten die Parameter in Abbildung 1 eingestellt werden. Die Lüftungskurve, die sich daraus ableitet, ist in Abbildung 2 dargestellt (siehe auch Excel-Simulation „Lüftungskurve freieLüftung“). Der Lüftungsfaktor wird am Objekt 56 als 1 Byte-Wert ausgegeben.

Zyklische Lüftung

Die Lüftungsklappen und Fensterantriebe arbeiten im Zweipunktbetrieb (auf/zu). Deshalb wird der Lüftungsfaktor mit der Zusatzfunktion „Zyklische Lüftung“ in veränderliche Öffnungszeiten umgesetzt. Auf diese Weise ist eine quasi stetige Regelung möglich.

So werden die Klappen und Antriebe zum Beispiel für eine festgelegte Zykluszeit von 60 min bei einem Lüftungsfaktor von 20 % für 12 min geöffnet und 48 min geschlossen, bei einem Lüftungsfaktor von 60 % für 36 min geöffnet und 24 min geschlossen.

Allgemein Auswahl Zusatzfunktionen Temperatur Soll/Ist Temperatur-Regler Feuchte Soll/Ist Feuchte-Regler Werte-Nachführung und Frostsch. Rechenwerte Lüftungskurve	Bemessungsvolumenstrom (m³/h)	500
	Mittlere Feuchtelast (g/h)	400
	Verminderte Feuchtelast (g/h)	200
	Maximale Taupunkttemperatur (°C)	7,5
	Minimaler Lüftungsfaktor bei Anwesenheit (%)	15
	Minimaler Lüftungsfaktor bei Abwesenheit (%)	10
	Abschaltung der Lüftungskurve bei Außentemperatur größer (°C)	20

Abbildung 1: Parameterfenster „Lüftungskurve“

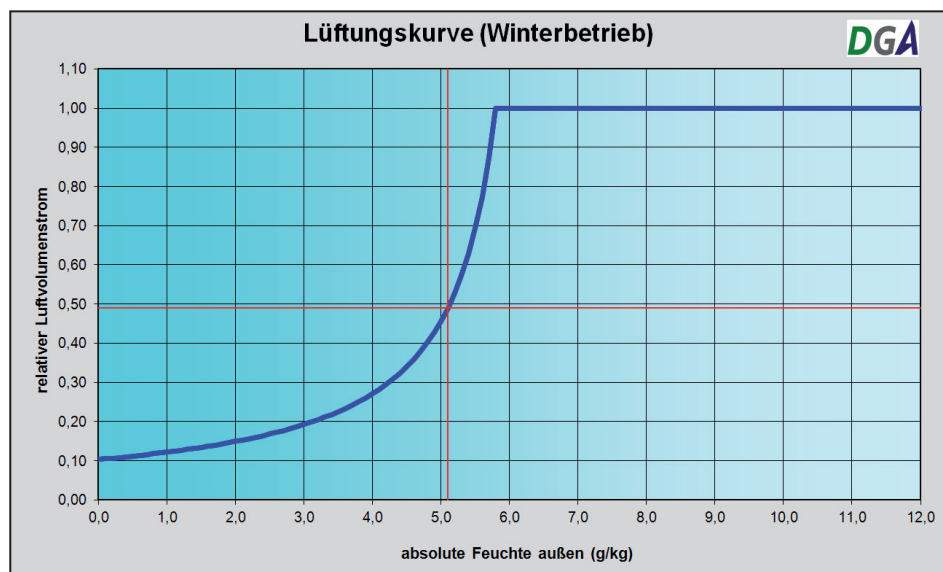


Abbildung 2: feuchterelevante Lüftungskurve

Kontrolle der Feuchtedifferenz zwischen innen und außen

In der warmen Jahreszeit ist der Wasserinhalt der Außenluft regelmäßig größer als der der Raumluft. Deshalb ist in dieser Periode der Luftwechsel auf ein Minimum zu beschränken, weil sonst zu viel Wasserdampf eingetragen wird, der auf kälteren Bauteilen kondensieren kann.

Die Differenz der absoluten Feuchte zwischen innen und außen und die entsprechenden Schaltfunktionen können mit der Zusatzfunktion „Differenzregelung“ realisiert werden. In der Abbildung 3 ist hierfür ein Beispiel parametrisiert.

Allgemein Auswahl Zusatzfunktionen Temperatur Soll/Ist Temperatur-Regler Feuchte Soll/Ist Feuchte-Regler Werte-Nachführung und Frostsch. Rechenwerte Differenzregler	Auswahl Differenzregler	Feuchtedifferenzregler
	Sollwert Feuchtedifferenz (g/kg)	0,0
	Betriebsart (bei steigender Differenz)	1 senden
	Schaltdifferenz (g/kg)	0,4

Abbildung 3: Parameterfenster „Differenzregler“

Bei dieser Einstellung wird am Objekt 47 eine „0“ (Klappen und Fenster zu) ausgegeben, wenn die absolute Außenluftfeuchte die Raumluftfeuchte um 0,2 g/kg übersteigt und eine „1“ (automatisch nach der Lüftungskurve), wenn sie um 0,2 g/kg unterschreitet.

Nachtauskühlung

Die Funktion „Freie Kühlung“ zum Abbau von thermischen Lastspitzen im Sommer mit kühler Nachtluft kann verwendet werden. Eine manuelle Freigabe ist unbedingt erforderlich. Allerdings wird in Bauwerken mit großer thermisch aktiver Masse und begrenzten Luftvolumenströmen ein geringer Effekt erzielt werden können, weil vielfach selbst in den Nachtstunden der Wasserinhalt der Außenluft größer sein dürfte, als der der Raumluft.

Grenzwertmeldungen

Zur Kontrolle der relativen Feuchte sollten Grenzwerte definiert werden, die über längere Zeit nicht über- bzw. unterschritten werden dürfen. Kurzzeitige Über- bzw. Unterschreitungen aufgrund von besonderen Witterungsverhältnissen oder Nutzungsprozessen können toleriert werden, wenn sie danach durch die automatische Steuerung wieder abgebaut werden können. Die Grenzwertmeldungen für die relative Feuchte werden an den Objekten 27 (oberer Grenzwert) und 29 (unterer Grenzwert) ausgegeben. Sie können auch zu Steuerungszwecke verwendet werden.

Mit dem Frostschutzalarm am Objekt 17 wird eine „1“ ausgegeben, wenn eine eingestellte minimale Raumtemperatur unterschritten wird. In diesem Fall sind unbedingt alle Lüftungsöffnungen zu schließen.

Bedienung und Anzeige

Zur Bedienung der Lüftungseinrichtung sollte eine Umschaltung von Automatik auf manuelle Bedienung möglich sein, um auch auf besondere Situationen reagieren zu können.

Außer der Anzeige von

Temperatur und relativer Feuchte innen und außen

absoluter Feuchte und Taupunkttemperatur innen und außen

sollten auch die Grenzwertmeldungen sowie der Lüftungsfaktor und/oder der Klappenstand signalisiert werden.

Verwendete Regelgeräte

1 Stück Enthalpieregler HVAC Premium Raum auf Putz B12 321 02

1 Stück Enthalpieregler BASIC Außen IP 65 B10 323 02

1 Stück Temperaturregler BASIC mit Hülsenfühler B01 345 xx (empfohlen)

Schaltaktoren, erforderliche Logikfunktionen (UND, ODER) und Anzeigegeräte sowie Klappen- und Fensterantriebe sind bauseits zu stellen.

Lüftungssteuerung in Wohnungen über KNX

Abhängig von der Systemkonfiguration der Lüftungsanlage und den hygienischen und feuchterelevanten Anforderungen sind mehrere Steuerungsvarianten möglich.

Zur Grundausstattung der Steuerung gehören (wenn noch nicht vorhanden) mindestens eine KNX-Spannungsversorgung, freie KNX-Aktorkanäle zur Ansteuerung der Lüfter sowie diverse KNX-Tastsensoren und KNX-Zeitglieder zum manuellen bzw. automatischen Eingriff auf die Steuerung.

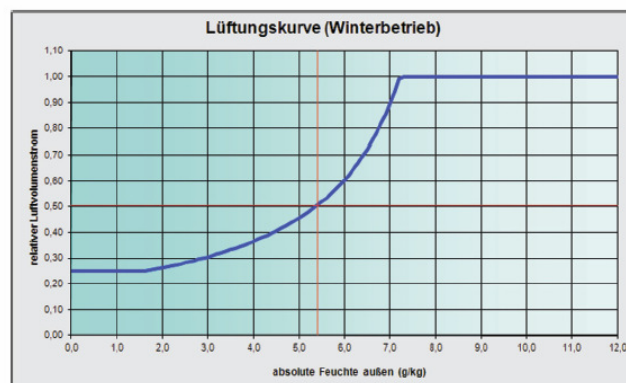
1. Grundlüftung der Wohnung

Die Grundlüftung wird nach drei Kriterien geregelt. Die höchste Anforderung ist maßgebend.

- **Einhaltung der hygienischen Forderungen.** Die luftqualitätsgeführte Grundlüftung erfordert einen externen Luftqualitätssensor (CO_2 - oder Mischgassensor), der dem KNX-Enthalpieregler aufgeschaltet werden muss. Ist dieser nicht vorhanden, muss der minimale Lüftungsfaktor entsprechend hoch eingestellt werden.
- **Kontrolle der Feuchtebedingungen** zur Verhinderung von Tauwasserbildung über eine feuchtegeführte Lüftungskurve.
- **Ausnutzung der freien Enthalpie** der Außenluft zur Klimatisierung des Raumes. Die enthalpiegeführte Grundlüftung ist eine Funktion des KNX-Enthalpiereglers. Je nach dem, ob die Raumluft erwärmt oder abgekühlt werden muss, kann über den Vergleich der beiden Enthalpien entschieden werden, ob der Zuluftvolumenstrom vergrößert oder verkleinert werden soll. Dadurch wird die freie Enthalpie der Außenluft genutzt noch bevor konventionelle Heiz- oder Kühlenergie zugeführt wird.

1.1 Feuchtegeführte Lüftungskurve

Durch einen KNX-Enthalpieregler werden in einem Führungsraum der Wohnung Temperatur und Feuchte erfasst und spezielle Funktionen zur Wohnungslüftung bereitgestellt. Der „Enthalpieregler Raum AP HVAC-Premium“ (Bestellnummer B12 321 02) stellt eine feuchterelevante Lüftungskurve zur Verfügung, über die der Luftwechsel in der Wohnung in Abhängigkeit von der absoluten Feuchte außen geregelt werden kann. Die absolute Außenfeuchte wird mit einem „Enthalpieregler Feuchtraum/Außen HVAC-Premium“ (Bestellnummer B12 323 02) erfasst. Er ist nur einmal pro Liegenschaft erforderlich.



Der durch die Lüftungskurve ermittelte relative Luftvolumenstrom (Lüftungsfaktor) stellt den Anteil des Bemessungsvolumenstroms der Lüftungsanlage dar. Wenn der Luftwechsel nach der Lüftungskurve gefahren wird, bleibt die absolute Feuchte im Rauminneren konstant. Nach unten wird der Luftwechsel durch einen einstellbaren Mindest-Lüftungsfaktor begrenzt. Für die Definition der Lüftungskurve sind folgende Parametervorgaben erforderlich:

- **Bemessungsvolumenstrom** der Lüftungsanlage
- **Mittlere Feuchtelast** und verminderte Feuchtelast bei z. B. längerer Abwesenheit (Urlaub oder Nichtvermietung). Zwischen beiden Werten kann extern umgeschaltet werden.

- **Maximale Taupunkttemperatur**, die sich an der zu erwartenden minimalen Oberflächentemperatur von Bauteilen orientieren sollte. Der Sollwert der maximalen Taupunkttemperatur kann über eine beliebige andere Größe (z. B. die Raumtemperatur oder die Oberflächentemperatur) geführt werden. Bei der Führung über die Oberflächentemperatur ist ein weiterer KNX-Temperaturregler (z.B. B01 348 40) erforderlich.
- **Minimaler Lüftungsfaktor**. Es können zwei Parameterwerte angegeben werden (z.B. bei Anwesenheit und bei Abwesenheit), die extern umgeschaltet werden können.
- **Außentemperatur**, bei der die Lüftungskurve abgeschaltet werden kann, weil durch die höheren Bauteiltemperaturen keine Taupunktunterschreitung mehr auftreten.

1.2 Ansteuerung der Ventilatoren

Für die Ansteuerung der Ventilatoren gibt es zwei Möglichkeiten:

- **Zyklische Lüftung** über ein pulsweitenmoduliertes Schaltsignal (PWM). Dazu wird eine Zykluszeit vorgegeben, in deren Ablauf der Lüftungsfaktor in veränderliche EIN- und AUS-Zeiten umgerechnet wird. Hierfür ist ein freier KNX-Schaltaktorkanal pro Lüfter erforderlich.
- **Stetige Drehzahlregelung** über KNX-Dimmaktoren (bei kleinen Leistungen) oder Frequenzumformer (größere Leistungen). Bei EC-Motoren ist ein KNX-Analogaktor erforderlich.

1.3 Weitere Funktionen des Enthalpieregler zur Lüftungssteuerung

- **Funktion „Freie Kühlung“**
In den Sommermonaten nehmen die Raumtemperaturen oft sehr hohe Werte an. Aufgrund der zu meist großen Unterschiede im Tagesgang der Außentemperatur kann die Raumtemperatur durch Luftaustausch mit kühler Außenluft während der Nachtstunden wesentlich gesenkt werden.
- **Funktion „Feuchte-Differenzregler“**
Durch die Anwendung der Funktion „Feuchte-Differenzregler“ ist es z.B. möglich, den Feuchteeintrag über die Außenluft in kältere Räume zu überwachen und durch Ansteuerung der Lüftungseinrichtung (minimaler Frischluftwechsel) zu minimieren.

2. Individuelle Intensivlüftung in hochbelasteten Räumen

Zeitlich und örtlich auftretende Spitzen von erhöhtem Schadstoffanfall oder Feuchtelast (z.B. in Bad oder Küche) sollen schnell am Entstehungsort abgeführt werden. Deshalb sollten dort KNX-Taster montiert werden, um die Lüftung auch manuell auslösen zu können. Die manuell ausgelöste Lüfungszeit ist automatisch zu begrenzen.

Darüber hinaus kann die Intensivlüftung in diesen Räumen auch automatisiert werden. Hierfür können je nach Anforderung KNX-Präsenzmelder, optische KNX-Sensoren (bei fensterlosen Räumen) oder KNX-Enthalpieregler (zur Verhinderung von Feuchteschäden) verwendet werden.

Mit Präsenzmeldern oder optischen Sensoren kann nur das Betreten eines Raumes festgestellt werden. Sie geben keine Information über die wirkliche hygienische Belastung. Deshalb sollten solche Steuerungen mit parametrierbarer Verzögerungszeit (um die Lüftung nicht bei kurzzeitigem Betreten auszulösen), Aussetzzeit (um z. B. Zuglufterscheinungen beim Baden zu verhindern) und Nachlaufzeit ausgerüstet sein.

Bei Verwendung von Enthalpieregler (Bestellnummer B12 321 02) kann zwischen der Regelung der absoluten Feuchte oder der Taupunkttemperatur gewählt werden.

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.

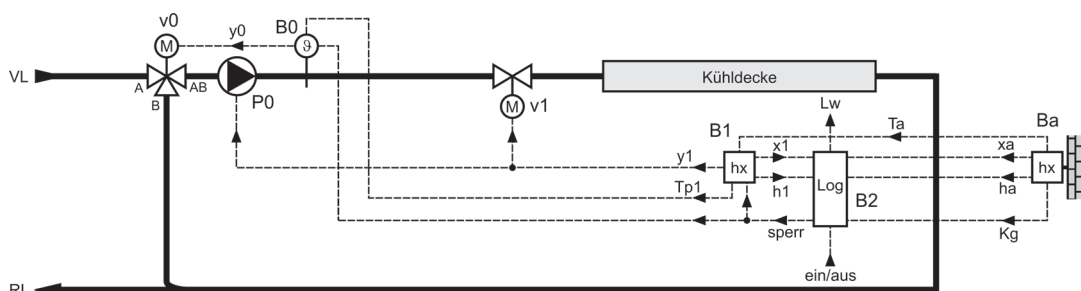


Abbildung 1: Prinzipschema Kühldecken-Regelung

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 Raumluft	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 Raumluft	4 Byte	B1	Enthalpie-Regler Raum	38	B2	Logik-Baustein	
h1	Enthalpie Raumluft	4 Byte	B1	Enthalpie-Regler Raum	41	B2	Logik-Baustein	
xa	Absolute Feuchte Außenluft	4 Byte	Ba	Enthalpie-Regler Außen	38	B2	Logik-Baustein	
ha	Enthalpie Außenluft	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 Wärmeinhalt 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.

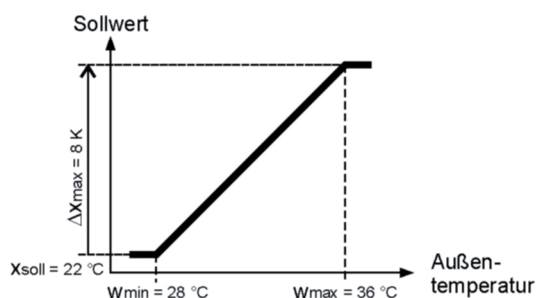


Abbildung 2a: Sollwertanhebung
Raumtemperatur

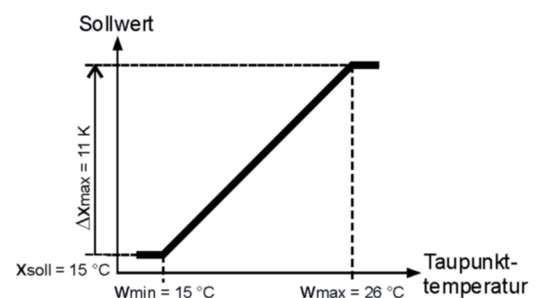


Abbildung 2b: Sollwertanhebung
Kühlwassertemperatur

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-Enthalpiereglers (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

 www.dga-automation.eu	Thema:	Klimatisierung mit Kühldecken	Arbeitsblatt KD 2
	Aufgabe:	Regelung von Strahlungsheizung und -kühlung	Seite 1 / 8

1. Aufgabenstellung:

Ein repräsentativer Raum soll mit einer Fußbodenheizung und einer Kühldecke klimatisiert werden. Beide Systeme haben einen gemeinsamen Wasserkreislauf mit geregelter Vorlauftemperatur. Als Stellglied für die Vorlauf-Temperaturregelung ist ein Dreiwegeventil mit analogem Stellmotor (0 ... 10 V) vorgesehen. Die Fußbodenheizung wird unterhalb der *Heizgrenze* und die Kühldecke oberhalb der *Kühlgrenze* betrieben. Zwischen Heiz- und Kühlgrenze findet kein geregelter Betrieb statt.

Als Wärme- bzw. Kälteerzeuger können getrennte Systeme (Heizkessel und Kaltwassersatz) oder eine Wärmepumpe im reversiblen Betrieb (Heizen und Kühlen) angewendet werden. Um den Erzeugerkreis (Primärkreis) und Verbraucherkreis (Sekundärkreis) druckmäßig voneinander zu trennen sollte eine hydraulische Weiche oder ein Pufferspeicher eingesetzt werden. Ein Pufferspeicher hat den Vorteil, dass die Betriebsunterbrechung der Wärmepumpe durch das EVU überbrückt werden kann.

Heizbetrieb:

Für den Heizbetrieb wird die Vorlauftemperatur nach einer Heizkennlinie geregelt. Die maximale Vorlauftemperatur wird auf 45 °C bei -14 °C Außentemperatur festgelegt. Die Spreizung unter Auslegebedingungen soll 10 K betragen.

Während der normalen Nutzungsdauer (Tag) soll die Raumtemperatur auf 22 °C konstant geregelt werden. Außerhalb der normalen Nutzungsdauer (Nacht) wird die Raumtemperatur um 4 K abgesenkt. Als Stellglieder für die Temperaturregelung sind stromlos geschlossene *elektrothermische Ventile* vorhanden.

Kühlbetrieb:

Die Kühldecke soll nur 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.

Darüber hinaus soll im Kühlbetrieb 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 der der Raumluft wird. 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 (z. B. beim Einsatz einer hydraulischen Weiche).

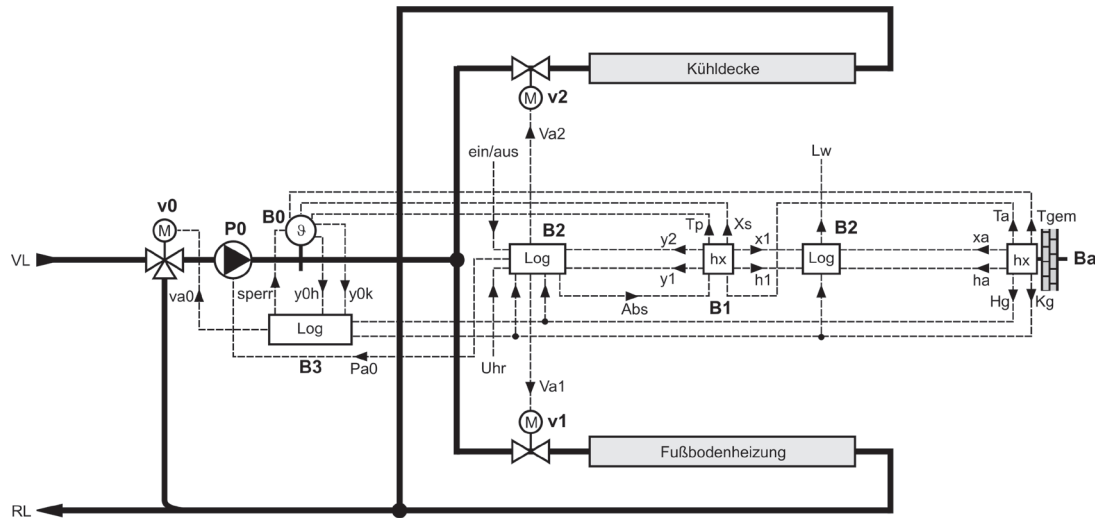


Abbildung 1: Prinzipschema Regelung

Hydraulische Komponenten und Stellglieder (bauseits):

- v1: thermoelektrisches Durchgangsventil, stromlos geschlossen
- v2: thermoelektrisches Durchgangsventil, stromlos geschlossen
- P0: Umwälzpumpe
- v0: Dreiwege-Mischventil mit analogem Stellmotor, 0 ... 10 V

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)
- B3: Logik-Baustein (bauseits)

Zusätzliche KNX-Komponenten (bauseits):

- Schaltaktor vierfach (Ansteuerung für v1, v2, 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
y1	Stellgröße (PWM) Heizen	1 Bit	B1	Enthalpie-Regler Raum	22	B2	Logik-Baustein	
y2	Stellgröße (PWM) Kühlen	1 Bit	B1	Enthalpie-Regler Raum	23	B2	Logik-Baustein	
Va1	Ansteuerung Ventil v1	1 Bit	B2	Logik-Baustein			Schaltaktor-Kanal für v1	
Va2	Ansteuerung Ventil v2	1 Bit	B2	Logik-Baustein			Schaltaktor-Kanal für v2	

Signal/Telegramm			Sendendes Gerät			Zielgerät		
Nr.	Name	Typ	Nr.	Name	Objekt	Nr.	Name	Objekt
Pa0	Ansteuerung Pumpe P0	1 Bit	B2	Logik-Baustein	32		Schaltaktor-Kanal für P0	
ein/aus	Einschaltbefehl	1 Bit				B2	Logik-Baustein	
Hg	Heizgrenze	1 Bit	Ba	Enthalpie-Regler Außen	15	B2	Logik-Baustein	
						B3	Logik-Baustein	
Kg	Kühlgrenze	1 Bit	Ba	Enthalpie-Regler Außen	16	B2	Logik-Baustein LA 2	
						B3	Logik-Baustein LA 1	
Uhr	Schaltuhr	1 Bit				B2	Logik-Baustein	
Abs	Sollwert-Absenkung	1 Bit	B2	Logik-Baustein		B1	Enthalpie-Regler Raum	21
xa	Absolute Feuchte Außenluft	4 Byte	Ba	Enthalpie-Regler Außen	38	B2	Logik-Baustein	
x1	Absolute Feuchte Raumluf	4 Byte	B1	Enthalpie-Regler Raum	38	B2	Logik-Baustein	
ha	Enthalpie Außenluft	4 Byte	Ba	Enthalpie-Regler Außen	41	B2	Logik-Baustein	
h1	Enthalpie Raumluf	4 Byte	B1	Enthalpie-Regler Raum	41	B2	Logik-Baustein	
Lw	Luftwechsel	1 Bit	B2	Logik-Baustein			Schaltaktor für Lüftung	
Ta	Außentemperatur aktuell	4 Byte	Ba	Enthalpie-Regler Außen	0	B1	Enthalpie-Regler Raum	37
Tgem	Außentemperatur gemischt	4 Byte	Ba	Enthalpie-Regler Außen	48	B0	Temperatur-Regler Vorlauf	65
Tp	Taupunkttemperatur Raumluf	4 Byte	B1	Enthalpie-Regler Raum	40	B0	Temperatur-Regler Vorlauf	37
Xs	Sollwert-Temperatur Raum	4 Byte	B1	Enthalpie-Regler Raum	19	B0	Temperatur-Regler Vorlauf	66
y0h	Stellgröße Heizen Vorlauf	1 Byte	B0	Temperatur-Regler Vorlauf	22	B3	Logik-Baustein	
y0k	Stellgröße Kühlen Vorlauf	1 Byte	B0	Temperatur-Regler Vorlauf	34	B3	Logik-Baustein	
Va0	Stellsignal 0 ... 255	1 Byte	B3	Logik-Baustein			Analog-Aktor 0 ...255 / 0 ... 10 V	
sperr	Regler Heizen und Kühlen sperren	1 Bit	B3	Logik-Baustein		B1	Temperatur-Regler Raum	24
						B0	Temperatur-Regler Vorlauf	24
							Temperatur-Regler Vorlauf	36

3. Beschreibung der Steuerung

Raumtemperatur-Regelung

Die Raumtemperatur wird über den PI-Reglers des Enthalpie-Raumreglers (B1) geregelt. Dieser Regler hat zwei pulsweitenmodulierte Ausgänge (einen für Heizen und einen für Kühlen), die durch einen Totzonenbereich voneinander getrennt sind. Wenn die Ausgänge durch den Einschaltbefehl (ein/aus) und die Heiz- bzw. Kühlgrenze freigegeben wurden, steuert der Ausgang y1 das Durchgangsventil v1 und der Ausgang y2 das Durchgangsventil v2 an. Die

DGA Gebäudeautomation www.dga-automation.eu	Thema:	Klimatisierung mit Kühldecken	Arbeitsblatt KD 2
	Aufgabe:	Regelung von Strahlungsheizung und -kühlung	Seite 4 / 8

Pumpe P0 läuft, wenn einer der beiden Ausgänge geschaltet ist.

Der Sollwert des Reglers wird über die aktuelle Außentemperatur (T_a) 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 2 erläutert diesen Zusammenhang. Der obere Punkt der Führungskurve sollte so gelegt werden, dass er im Bereich der maximal zu erwartenden Außentemperatur liegt.

Im Heizbetrieb (Hg) wird außerhalb der normalen Betriebszeit der Sollwert des Reglers über den Schaltuhrbefehl (Uhr) um 4 K abgesenkt.

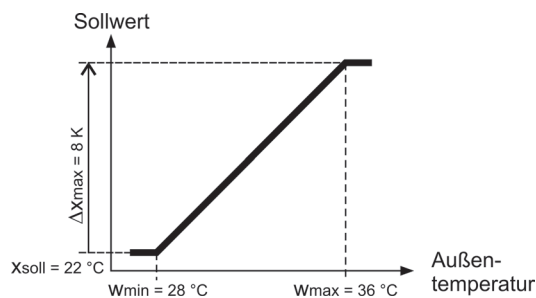


Abbildung 2: Sollwertanhebung Raumtemperatur

Vorlauftemperatur-Regelung

Als Stellglied zur Regelung der Wassertemperatur wird ein stetiges Dreiwegeventil verwendet, das Vorlaufwasser (VL) mit Rücklaufwasser (RL) mischt. Der Stellantrieb des Dreiwegeventils wird vom Vorlauf-Temperaturregler (B0) unter Zwischenschaltung eines Analogaktors zur Umsetzung des 1 Byte-Reglersignals in ein Analogsignal (0 ... 10 V) angesteuert.

Der Vorlauf-Temperaturregler verfügt über zwei voneinander unabhängige PI-Temperatur-Regler (Heizungsregler und Kühlregler) mit eigener Sollwertvorgabe und Sollwertführung. Unterhalb der Kühlgrenze ist das Ausgangssignal des Heizungsreglers (y_{0h}) auf das Dreiwegeventil v_0 geschaltet. Bei Überschreitung der Kühlgrenztemperatur (K_g) wird das Dreiwegeventil vom Ausgang des Kühlreglers (y_{0k}) angesteuert. Wenn weder die Heizgrenztemperatur unterschritten noch die Kühlgrenztemperatur überschritten wird (kein Heizbetrieb und kein Kühlbetrieb), werden beide Temperatur-Regler gesperrt und das Dreiwegeventil geschlossen.

Der Sollwert des Heizungsreglers wird über eine Heizkennlinie geführt, die aus den Auslegedaten der Fußbodenheizung (Vor- und Rücklauftemperatur, Norm-Außen- und -Innentemperatur und Heizflächenexponent) gebildet wird. Als Führungsgröße wird die gemischte Außentemperatur (T_{gem}) des Außen-Enthalpiereglers (Ba) verwendet (siehe Abbildung 3a). Zur Anpassung der Heizkennlinie (Parallelverschiebung) an die geforderte Raumtemperatur wird der Sollwert (X_s) des Raum-Enthalpiereglers (B1) auf den Heizungsregler aufgeschaltet.

Der Sollwert des PI-Kühlreglers wird von der Taupunkttemperatur so geführt, dass die Kühlwasser-Temperatur in der Kühldecke nie die Taupunkttemperatur unterschreitet. Die Taupunkttemperatur der Raumluft (T_p) 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 3b). Der obere Punkt der Führungskurve sollte so gelegt werden, dass er oberhalb der maximal zu erwartenden Taupunkttemperatur liegt.

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, Wassergehalt, Taupunkttemperatur und Wärmehalt sind aus dem hx-Diagramm ersichtlich. Vertiefende Erläuterungen dazu können in unserer HLK-Broschüre nachgelesen werden.

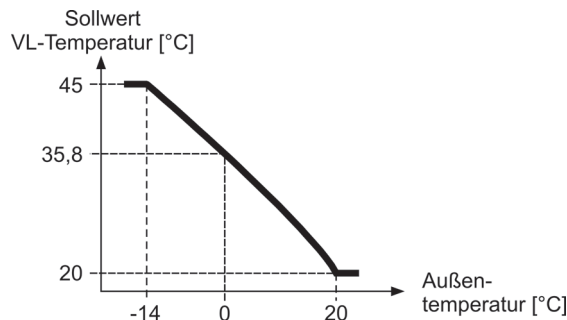


Abbildung 3a: Heizkennlinie

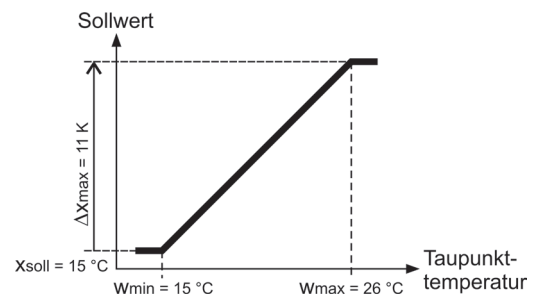


Abbildung 3b: Sollwertanhebung Kühlwassertemperatur

Steuerungslogik:

Zur Realisierung der Steuerung sind folgende logische Verknüpfungen notwendig:

1. Wenn das Einschaltsignal (ein/aus) gegeben, die Heizgrenztemperatur (H_g) unterschritten wurde und das Ausgangssignal y_1 geschaltet hat, wird das Ventil v_1 über das Signal Va_1 (1 Bit) geöffnet.
2. Wenn das Einschaltsignal (ein/aus) gegeben, die Kühlgrenztemperatur (K_g) überschritten wurde und das Ausgangssignal y_2 geschaltet hat, wird das Ventil v_2 über das Signal Va_2 (1 Bit) geöffnet.
3. Wenn Va_1 oder Va_2 eingeschaltet hat, wird die Pumpe P_0 mit dem Signal Pa_0 angesteuert.
4. Das Signal Abs (Sollwert-Absenkung) wird ausgegeben, wenn die Heizgrenze unterschritten wurde und das Schaltuhr-Signal eine 1 gesendet hat.
5. Wenn während des Kühlbetriebs (K_g) die absolute Feuchte x_a größer als x_1 oder die Enthalpie h_a größer als h_1 werden, wird ein Signal zur Minimierung des Luftwechsels (L_w) ausgegeben.
6. Wenn die Kühlgrenze (K_g) überschritten wurde, wird das 1 Byte-Regler-Ausgangssignal y_{0k} auf das Signal V_0a und damit auf das stetige Dreiwege-Stellventil v_0 geschaltet. Anderenfalls wird das Dreiwegeventil vom Regler-Ausgang y_{0h} angesteuert.
7. Wenn weder H_g noch K_g eine 1 sendet, wird über das 1 Bit-Signal $sperr$ an beide Sperrobjekte der Regler eine 0 gesendet.

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 Temperaturregler benötigt werden, bleiben unberücksichtigt.

Die konkreten Sollwerte für die Raum- und Vorlauf-Temperatur 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 Heiz- bzw. Kühlbetrieb 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 und Kühlen
B1	Enthalpie-Regler Raum	Temperatur Soll/Ist	Totzone zwischen Heizen und Kühlen (K)	1
B1	Enthalpie-Regler Raum	Temperatur Soll/Ist	Sollwert (°C)	22
B1	Enthalpie-Regler Raum	Temperatur Soll/Ist	Sollwertabsenkung (K)	4
B1	Enthalpie-Regler Raum	Temperatur-Regler	Regler Ausgang Heizen	PI-Reglung, PWM
B1	Enthalpie-Regler Raum	Temperatur-Regler	Betriebsart (bei steigender Temperatur)	sinkende Stellgröße (Heizen 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	Temperatur-Regler	Regler Ausgang Kühlen	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	Sollwertänderung bei maximaler Führungsgröße	8
B1	Enthalpie-Regler Raum	Werte-Nachführung und Frostschutz	Objektauswahl für Nachführung	Temperatur Sollwert
B1	Enthalpie-Regler Raum	Rechenwerte	Absolute Feuchte in g/kg	senden

Gerät		Parameter		
Nr.	Name	Fenster	Name	Wert
B1	Enthalpie-Regler Raum	Rechenwerte	Taupunkttemperatur	senden
B1	Enthalpie-Regler Raum	Rechenwerte	Enthalpie	senden
Ba	Enthalpie-Regler Außen	Allgemein	Regleranwendung	Enthalpieregler Außen
Ba	Enthalpie-Regler Außen	Allgemein	Dateityp für Fließkommawerte	4 Byte
Ba	Enthalpie-Regler Außen	Allgemein	Alle Messwerte 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
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	Heizgrenztemperatur (°C)	15
Ba	Enthalpie-Regler Außen	Statistik	Kühlgrenztemperatur (°C)	24
B0	Temperatur-Regler Vorlauf	Allgemein	Dateityp für Fließkommawerte	4 Byte
B0	Temperatur-Regler Vorlauf	Allgemein	Temperatur-Messwert senden bei Änderung von (K)	0,3
B0	Temperatur-Regler Vorlauf	Auswahl Zusatzfunktionen	Heizkurve	ja
B0	Temperatur-Regler Vorlauf	Regler Heizen	Sollwert (°C)	45
B0	Temperatur-Regler Vorlauf	Regler Heizen	Regler Ausgang	PI-Reglung, stetig
B0	Temperatur-Regler Vorlauf	Regler Heizen	Betriebsart (bei steigender Temperatur)	sinkende Stellgröße (Heizen normal)
B0	Temperatur-Regler Vorlauf	Regler Heizen	Proportionalbereich (K)	2
B0	Temperatur-Regler Vorlauf	Regler Heizen	Nachstellzeit /min)	15
B0	Temperatur-Regler Vorlauf	Regler Kühlen	Sollwert (°C)	15
B0	Temperatur-Regler Vorlauf	Regler Kühlen	Regler Ausgang	PI-Reglung, stetig
B0	Temperatur-Regler Vorlauf	Regler Kühlen	Betriebsart (bei steigender Temperatur)	steigende Stellgröße (Kühlen normal)
B0	Temperatur-Regler Vorlauf	Regler Kühlen	Proportionalbereich (K)	2
B0	Temperatur-Regler Vorlauf	Regler Kühlen	Nachstellzeit (min)	15
B0	Temperatur-Regler Vorlauf	Werte-Nachführung und Frostschutz	Führungsgröße Minimum	15

Gerät		Parameter		
Nr.	Name	Fenster	Name	Wert
B0	Temperatur-Regler Vorlauf	Werte-Nachführung und Frostschutz	Führungsgröße Maximum	26
B0	Temperatur-Regler Vorlauf	Werte-Nachführung und Frostschutz	Sollwertänderung bei maximaler Führungsgröße	11
B0	Temperatur-Regler Vorlauf	Werte-Nachführung und Frostschutz	Parameterauswahl für Nachführung	Sollwert Regler Kühlen
B0	Temperatur-Regler Vorlauf	Heizkurve	Norm-Innentemperatur (°C)	20
B0	Temperatur-Regler Vorlauf	Heizkurve	Norm-Außentemperatur (°C)	-14
B0	Temperatur-Regler Vorlauf	Heizkurve	Norm-Vorlauftemperatur (°C)	45
B0	Temperatur-Regler Vorlauf	Heizkurve	Norm-Rücklauftemperatur (°C)	35
B0	Temperatur-Regler Vorlauf	Heizkurve	Heizflächenexponent	1,15
B0	Temperatur-Regler Vorlauf	Heizkurve	Raumaufschaltung	Führungsraum