

Energieoptimale Einzelraumregelung bei Heiz- und Klimaanlageanlagen

Regelungsstrategien für Anlagen mit DDC-Technik



An den Beispielen der Einzelraumregelung im Bereich der Heiz- und Klimatechnik wird die mögliche Verringerung der Transport- und Mischungsverluste durch Einsatz einer speziellen Regelungsstrategie vorgestellt, die jedoch nur mit DDC-Systemen realisiert werden kann, bei denen eine sogenannte freie Programmierbarkeit möglich ist. Aus dem Bereich der Klimatechnik werden die Regelungsstrategien für die Einkanal-VVS-Anlage, für eine Zweikanalanlage und eine Induktionsanlage vorgestellt. Beruhend auf dieser Strategie lassen sich auch andere Anlagen optimieren.

Prof. Dr.-Ing. Siegfried Baumgarth, Braunschweig

Prof. Dr.-Ing. Siegfried Baumgarth, Braunschweig

Die Anwendung heutiger DDC-Technik bedeutet nicht eine einfache Umsetzung der bekannten Analogtechnik in ein Vielfachregelgerät eines DDC-Systems, sondern ermöglicht es, kostengünstige und funktional optimierte Lösungen von Regelungen einzusetzen. Hierzu trägt die Übertragung sämtlicher auch entfernter Daten über den Datenbus ebenso bei wie die wirkliche Nutzung des Rechners im DDC-System.

Die in [1] vorgestellte optimierte Einzelraum-Heizregelung wird auch auf die Einzelraumregelung in der Klimatechnik angewandt. Nach einer wiederholten Betrachtung der energieoptimierten Einzelraumregelung einer Heizanlage wird die Strategie auf die Verteilung der Heizenergie in Mehrzonenanlagen erweitert. Die Regelungsstrategie wird dann auf Klimaanlageanlagen übertragen, und zwar auf Niedergeschwindigkeitsanlagen (bei Einzelraumregelung) einschließlich VVS-Betrieb, auf Zweikanalanlagen und Anlagen mit Induktionsgeräten.

Optimierte Regelung der zentralen Heizenergieaufbereitung bei Einzelraumregelung

Die bisher übliche Regelung von Heizanlagen über eine witterungsgeführte Vorlauftemperatur-Regelung und Einzelraumregelung über Thermostatventile hat den Nachteil, daß die Heizkurven meistens nur sehr ungenau eingestellt sind. Außerdem werden keine inneren Lasten erfaßt, so daß häufig eine viel zu hohe Vorlauftemperatur ansteht.

Für eine energieoptimierte Regelungsstrategie einer Heizungszentrale ist der Einsatz von Einzelraumreglern vorauszusetzen,

deren Daten auch in der Zentrale über den Bus zur Verfügung stehen. Das Heizkörperventil muß vom Regler aus angesteuert werden (kein Thermostatventil), und seine Stellung Y muß im Regler als stetiges Signal vorliegen. Auch eine Dreipunktsteuerung des Ventils ohne Kenntnis der Ventilstellung würde nicht ausreichen, um diese Regelungsstrategie zu verwirklichen.

Optimierte Vorlauftemperatur-Regelung

Die tatsächlich in einem Raum benötigte Heizleistung läßt sich aus der jeweiligen Ventilstellung erkennen. Wenn die Ventile sämtlicher Räume teilweise geschlossen sind, so ist das vom Heizungsvorlauf in Form der geregelten Vorlauftemperatur zur Verfügung gestellte Energieangebot zu

hoch. Die Vorlauftemperatur der Heizanlage kann so weit heruntergefahren werden, bis der Raum mit maximaler Last eine Ventilstellung von z.B. 90% aufweist. Bild 1 zeigt die Verschiebung der Vorlauftemperatur durch die ausgewählte maximale Ventilstellung, wobei ein Sollwert von 80 bis 90% gewählt werden sollte, um auch eine Erhöhung des Energiebedarfs und damit einen Anstieg der Vorlauftemperatur erfassen zu können.

Da kleine Schwankungen im Raum maximaler Last über diese Verknüpfung sofort auf die Zentrale eingreifen und damit die Vorlauftemperatur verändern würden, was zu Instabilitäten sämtlicher Regelkreise führen würde, kann die Einwirkung auf die Zentrale nur in sehr gedämpfter Form erfolgen, d.h., es muß das maximale Stellsignal der Räume entweder sehr verzögert weitergegeben werden, z.B. durch Zwischenschalten eines $P-T_1$ -Gliedes oder über eine längere zeitliche Mittelwertbildung des maximalen Stellsignals Y_{\max} .

Es gibt DDC-Systeme, in denen die $P-T_1$ -Funktion enthalten ist, so daß diese in den Signalfluß eingebunden werden kann. Andernfalls muß die Lösung in Form der Gleichung

$$Y_{\max, \text{gedämpft}} = Y_{\max} (1 - \exp(-t/T_1))$$

in das DDC-Programm eingebunden werden.

Die zeitliche Mittelwertbildung läßt sich über ein Schieberegister realisieren, bei

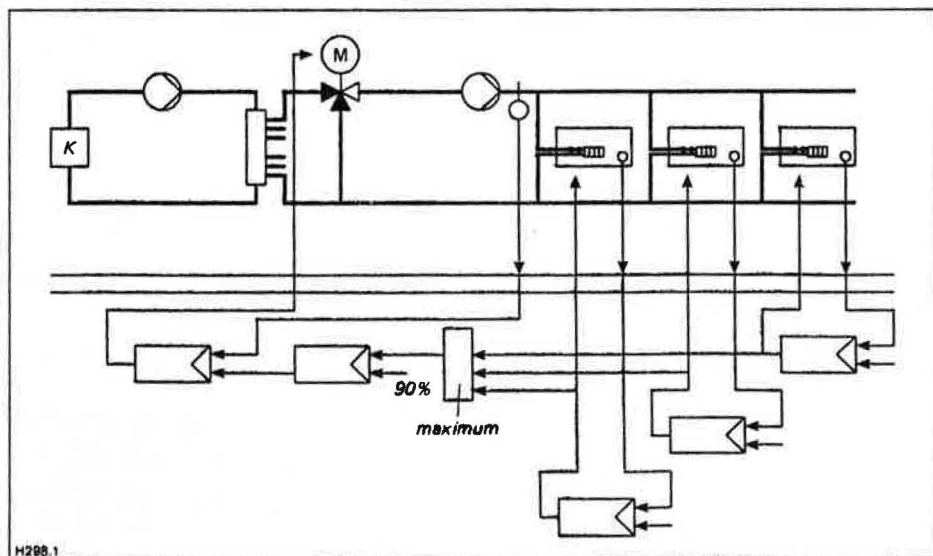


Bild 1: Ermittlung der Vorlauftemperatur aus den Raumlasten über eine Maximalauswahl der Ventilstellungen

welchem der älteste Wert jeweils durch den jüngsten Wert ersetzt werden muß.

Aus diesen Forderungen heraus ist bereits zu erkennen, daß ein DDC-System mit vorgegebenen Reglerstrukturen, bei denen nur die Reglerparameter einzugeben sind, für derartige Strategien nicht geeignet ist.

Als weitere Forderung an die Planer bzw. Ersteller der Anlagen ist jedoch eine saubere Ventilauslegung zu nennen. Liegt nämlich eine hochgradig entartete Ventilkennlinie in den einzelnen Räumen vor, so kann man nicht auf den Sollwert 90% einregeln, da in diesem Bereich dann praktisch keine Änderung des Volumenstromes bei einer Ventiländerung mehr zu verzeichnen wäre. Hier müssen entweder andere Ventile ausgewählt werden, oder aber der Sollwert für die maximale Ventilstellung muß auf wesentlich niedrigere Werte verschoben werden.

Der Vorteil dieser Regelung liegt

1. in der exakt an den Bedarf angepaßten Vorlauftemperatur (innere Lasten werden mit erfaßt und Verluste auf den Versorgungsleitungen werden minimiert, da stets minimale Vorlauftemperatur eingestellt wird),
2. in der Einsparung der witterungsgeführten Vorlauftemperatur-Regelung (der Außentemperaturfühler entfällt und vor allen Dingen muß keine Heizkurve mehr eingestellt werden!).

Optimierte Regelung der Warmwasserverteilung bei Mehrzonenanlagen

Bild 2 zeigt den druckarmen Verteiler, an dem mehrere Verbraucher über jeweils eine getrennte Vorlauftemperatur-Regelung angeschlossen sind. Der Verteiler soll z.B. in einem von der Heizzentrale entfernten Gebäude angeordnet sein. Die versorgende Pumpe P_{z1} würde bei Vollastbetrieb über die gesamte Heizperiode unnötig viel Wasser umwälzen und damit zu hohen Betriebskosten führen. Wenn nun die Stellung der einzelnen Zonenventile der Vorlauftemperatur-Regelungen zur Anpassung des Massenstromes in der bereits beschriebenen Form herangezogen werden, indem die Drehzahl der Pumpe P_{z1} z.B. über Phasenanschnitt oder einen Frequenzumrichter so lange verstellt wird, bis das Ventil mit maximaler Stellung z.B. den Sollwert 90% erreicht hat, so wird eine minimale aber trotzdem ausreichende Wassermenge umgewälzt.

Hiermit ist auch das früher oft diskutierte Problem der Verhinderung des Rücklaufs im druckarmen Verteiler gelöst, denn um das Ventil maximaler Last auf 90% stellen zu können, ist eine zusätzliche Rücklaufbeimischung im druckarmen Verteiler erforderlich, die sich aber automatisch einstellt.

Auf den Kesselkreis sollte dies Verfahren jedoch nicht angewandt werden, da hier

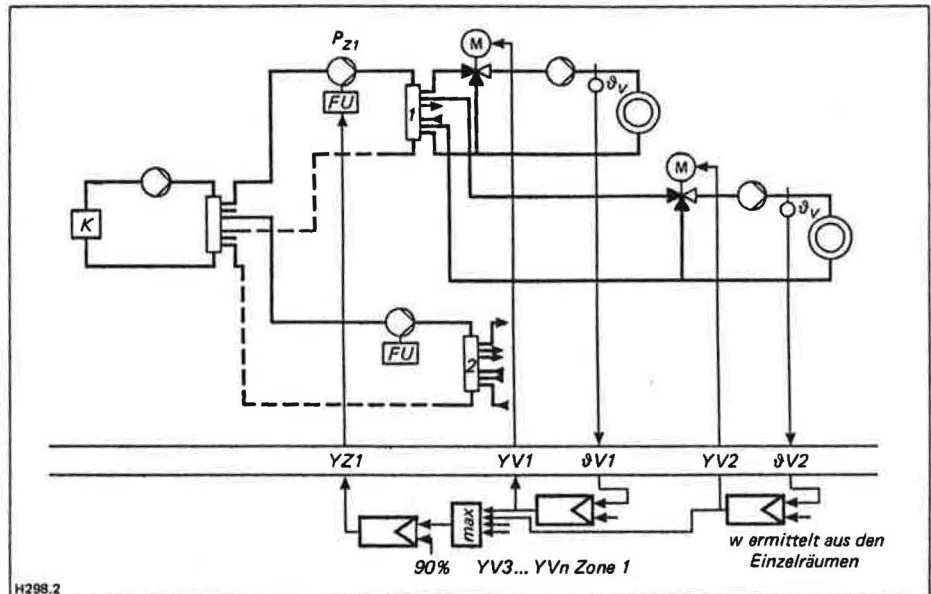


Bild 2: Bedarfsabhängige Regelung der Versorgungspumpe einer Mehrzonen-Heizanlage

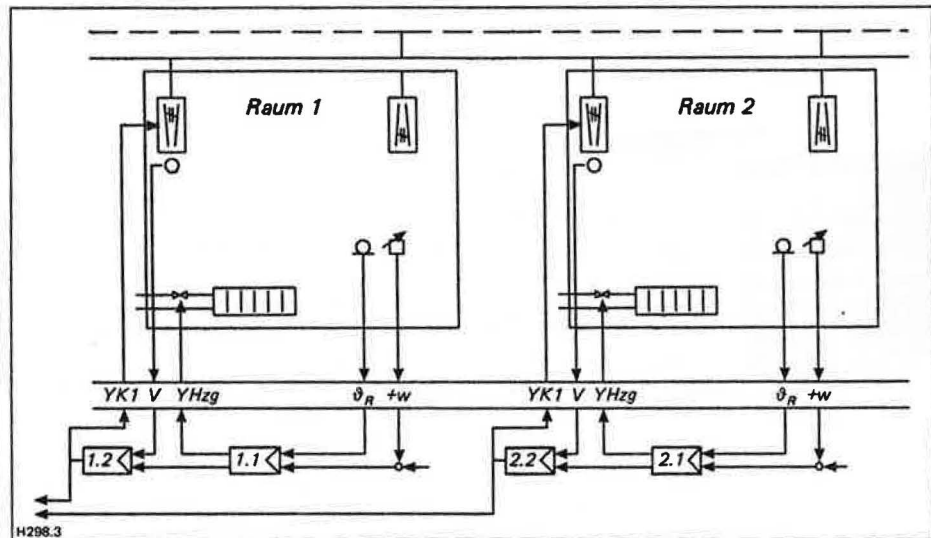


Bild 3: Einzelraumregelung für zwei Räume mit zusätzlichem Volumenstromregler

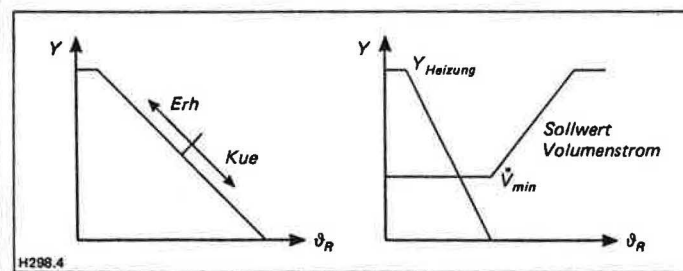


Bild 4: Sequenzen des Raumtemperaturreglers 1.1 bzw. 2.1

ein Mindestkesselvolumenstrom gefordert wird, der dazu führt, daß die Einsparungen nur sehr gering sein werden.

Energieoptimierte Regelung der Klimazentrale bei Klimaanlagen mit Einzelraumregelung

Das bei Heizanlagen beschriebene Verfahren der Anpassung der Energieaufbereitung an den tatsächlichen Bedarf im Gebäude über die Information der Ventil- oder

Klappenstellungen der einzelnen Räume läßt sich in gleicher Weise auf die Klimaanlagen übertragen. An den drei Beispielen Einkanalanlage, Zweikanalanlage und Anlage mit Induktionsgeräten soll dies aufgezeigt werden.

Einzelraumregelung einer Klimaanlage mit Nachheizregister und VVS-System

Das Bild 3 zeigt die Regelung eines Einzelraumes mit einer Einkanalanlage und

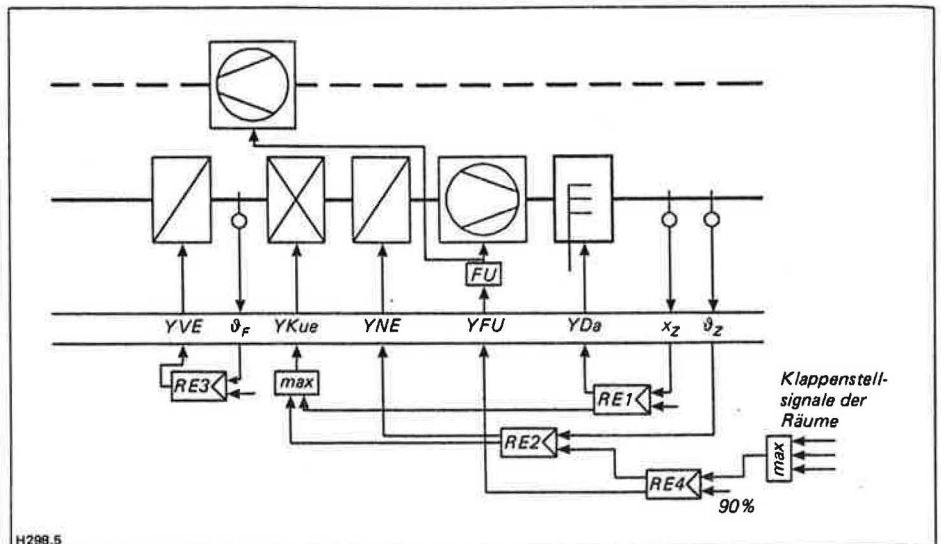
zusätzlichem Heizregister in jedem Raum. Von der Regelungsstrategie her ist es gleichgültig, ob es sich dabei um einen getrennten Heizkörper im Raum oder um ein Heizregister im jeweiligen Raumluftkanal handelt.

Die Kühllast wird in diesem Fall von der Luftzufuhr und die Heizlast vom Heizregister abgedeckt. Der Raumtemperaturregler muß in Sequenz die Kühlung und die Heizung ansprechen entsprechend dem Bild 4.

Die Luftauslässe sind häufig gleich mit einem analogen integrierten Regler versehen. Dieser besitzt teilweise einen analogen Ausgang, der den Istwert des Volumenstroms anzeigt. Dieser Wert kann jedoch nicht für eine Anpassung der Ventilator-drehzahl in der Zentrale benutzt werden. Hierfür benötigt man das Stellsignal der Klappe des Volumenstromreglers. Dies läßt sich entweder erfassen über ein Stellpotentiometer an der Stellklappe, dessen Wert mit in den DDC-Raumregler aufgenommen werden muß, oder der Volumenstromregler wird durch einen zusätzlichen Regelkreis im DDC-System in Form einer Kaskade (wie in Bild 3 dargestellt) übernommen. In diesem Fall muß der Volumenstrom als Istwert mit erfaßt werden.

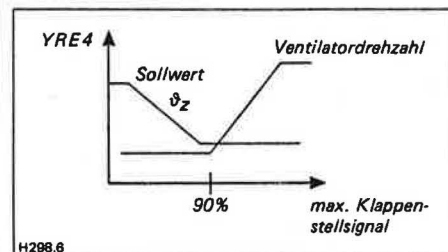
Der Raumtemperaturregler liefert den Sollwert für den Zuluftvolumenstrom. In diesem Fall wird das Klappenstellsignal vom Raum-DDC-System geliefert und kann in der Zentrale über den Bus erfaßt werden.

Das maximale Stellsignal der Zuluftklappen in den Räumen kann nun für die Luftaufbereitung in der Zentrale verwendet werden. Wieder wird die Klappe maximaler Öffnung $Y_{Kl, max}$, d.h. der Raum maxi-



H298.5

Bild 5: Energieoptimierung in der Klimazentrale bei Einzelraumregelung mit VVS-Betrieb



H298.6

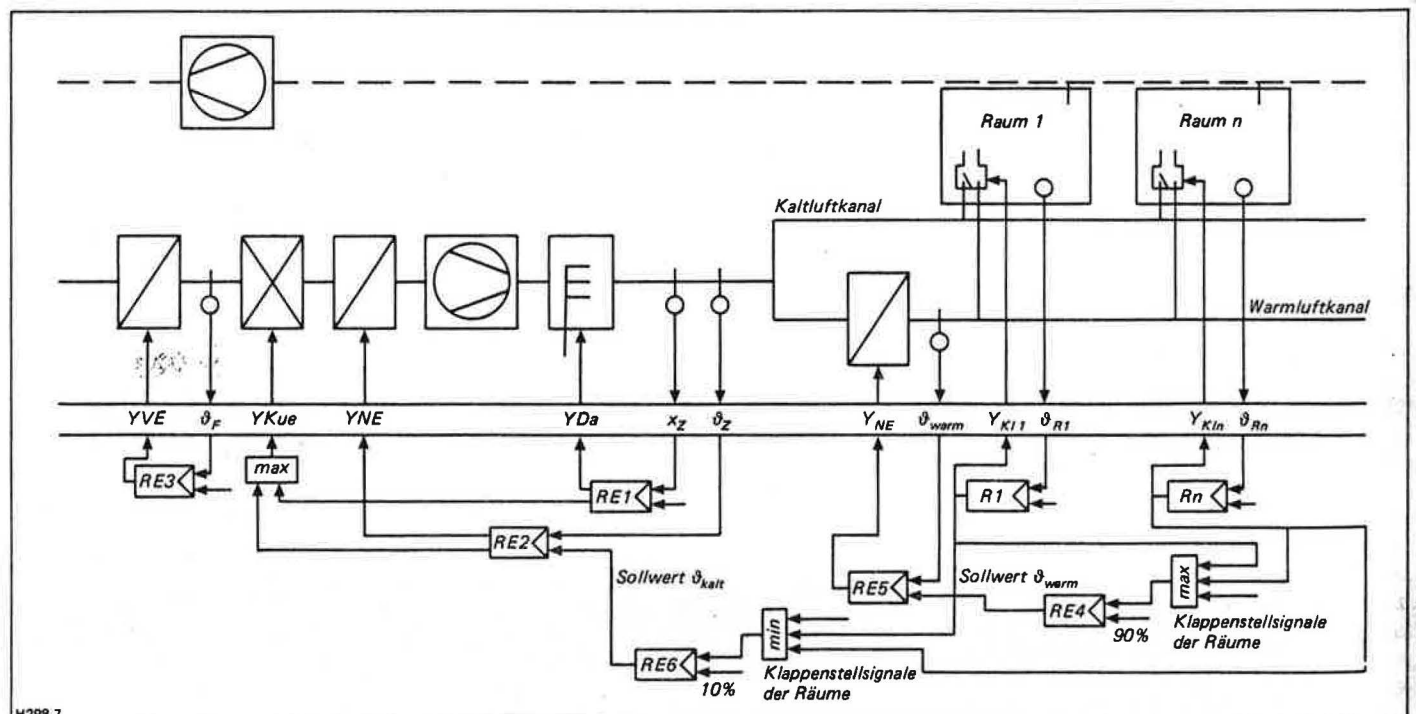
Bild 6: Sequenzausgänge des 90%-Reglers (für max. Klappenstellsignal)

maler Kühllast, zur Bestimmung des Sollwertes der Zulufttemperatur und zur Festlegung der Drehzahl des Ventilators verwendet. Bild 5 zeigt die Klimazentrale, in der der Regler 4 über die Maximalauswahl der Klappenstellung dafür sorgt, daß

eine maximale Klappenöffnung von 90% erreicht wird. Bei steigender Kühllast muß dieser Regler 4 zunächst den Sollwert der Zulufttemperatur bis auf den Minimalwert herunterfahren. So lange wird die Anlage mit minimalem Volumenstrom gefahren. Bei weiterem Kühlbedarf muß dann die Drehzahl des Ventilators heraufgefahren werden. Bild 6 zeigt die Sequenzausgänge des Reglers 4.

Selbstverständlich muß auch hier wie im oben beschriebenen Fall der Heizungsregelung die Weitergabe des maximalen Klappenstellsignals in die Zentrale über eine zeitliche Verzögerung erfolgen, um Schwingungen im System zu vermeiden.

Die Vorlauftemperatur für die Heizregister kann über eine Maximalauswahl der



H298.7

22 Bild 7: Regelung einer Zweikanal-Klimaanlage mit optimierten Sollwerten der Kanalktemperaturen ermittelt aus den Einzelräumen

Ventilstellungen (2. Sequenz des Raumtemperaturreglers) entsprechend der weiter oben beschriebenen Form optimiert werden.

Damit ist sowohl die Klimazentrale als auch die Heizzentrale auf minimalen Energieverbrauch optimiert, ohne daß ein Komfortverlust in einem Raum auftritt. Die Gesamtanlage stellt sich auf den Raum maximaler Kühllast als Randbedingung für die Klimazentrale und auf den Raum maximaler Heizlast als Randbedingung für die Vorlauftemperatur der Heizanlage ein.

Einzelraumregelung einer Zweikanal-Klimaanlage und deren Einbindung in die zentrale Luftaufbereitung

Bei einer Zweikanal-Klimaanlage wird der Zuluftvolumenstrom in jedem Raum entsprechend der Heiz- oder Kühllast aus Warm- und Kaltluft gemischt. Jeder Raum hat einen Anschluß an den Warm- und den Kaltluftkanal. Der Raumtemperaturregler stellt je nach Energiebedarf die Klappen im Mischkasten, der zum Luftauslaß führt, so, daß bei Kühlbedarf der Anteil an Kaltluft dem an Warmluft überwiegt und umkehrt bei Heizlast.

Das bisherige energetische Problem dieser Anlagen liegt in der Festlegung der Sollwerte für Kalt- und Warmluftkanaltemperaturen. Sie werden immer wesentlich niedriger (Kaltluft) oder höher (Warmluft) ausgelegt, als es erforderlich ist. Zwar wird der Sollwert außentemperaturabhängig gleitend gefahren, aber trotzdem noch mit so hohen Sicherheiten, daß es im Bereich geringer Lasten zu sehr hohen Mischungsverlusten kommt.

Wird das Verfahren der Auswahl maximaler Klappenstellung auch hier ange-

wandt, so lassen sich die Mischungsverluste auf ein Minimum reduzieren. Bild 7 zeigt die Einzelraumregelung bei Einsatz einer Zweikanal-Klimaanlage. Der Raumtemperaturregler gibt ein Stellsignal Y ab, das je nach Heiz- oder Kühlfall die Warm- oder Kaltluftkanalklappe im Mischkasten weiter öffnet. Aus den Stellsignalen (Y_{Kl}) müssen das Maximum und das Minimum ermittelt werden. Da mit Werten $Y_{Kl} > 50\%$ die Warmluftklappe weiter geöffnet wird, kann das Maximalsignal $Y_{Kl, max}$ in einen Regler mit dem Sollwert 90% gegeben werden, der bei Abweichung den Sollwert der Kanaltemperatur des Warmluftkanals verschiebt. Das Minimum der Klappenstellgröße $Y_{Kl, min}$ wird in einem Regler mit Sollwert 10% geführt, der bei Abweichung den Sollwert der Kanaltemperatur des Kaltluftkanals verschiebt.

Auf diese Weise werden die Kanaltemperaturen der Zweikanal-Klimaanlage immer an den extremen Lastfall angepaßt und es kommt zu minimalen Mischungsverlusten. Sämtliche innere Lasten werden mit in die Regelung integriert.

Auch hier gelten die oben aufgezeigten Randbedingungen:

1. Nur eine verzögerte Weitergabe des maximalen bzw. minimalen Stellsignals,
2. Reaktion der Mischklappen auch im Bereich von 10%- bzw. 90%-Klappenstellung (keine zu hohe Entartung der Klappenkennlinien).

Einzelraumregelung einer Induktions-Klimaanlage und deren Einbindung in die zentrale Energieaufbereitung

Bei Klimaanlagen mit Induktionsgeräten wird die Raumtemperatur über die wasser-

seitige Energiezufuhr bzw. Energieabfuhr (Kühlung) über Klappen luftseitig oder über Ventile wasserseitig im Induktionsgerät geregelt. Bei klappenseitiger Regelung gibt der Raumtemperaturregler ein Stellsignal an das Induktionsgerät ab, das entsprechend obigem Abschnitt bei Stellgrößen $Y_{Kl} > 50\%$ den Sekundärluftstrom durch den Warmwasser-Wärmeübertrager leitet, bei Stellgrößen $Y_{Kl} < 50\%$ durch den Kaltwasser-Wärmeübertrager. Zur Festlegung der Sollwerte für die Warm- und Kaltwasservorlauftemperatur kann wieder das maximale Stellsignal $Y_{Kl, max}$ über einen 90%-Regler zur Verschiebung der Warmwasservorlauftemperatur und das minimale Stellsignal $Y_{Kl, min}$ über einen 10%-Regler zur Verschiebung der Kaltwasservorlauftemperatur benutzt werden.

Der Sollwert der Primärlufttemperatur müßte zur Vermeidung von Energieverlusten bei Außentemperaturen unter minimal zulässiger Zulufttemperatur auf diesen Wert geregelt werden. Bei Außentemperaturen oberhalb der maximalen Zulufttemperatur sollte dieser Maximalwert als Sollwert für die Kühlung der Außenluft dienen. Im Zwischenbereich sollte keine Temperaturänderung der Außenluft vorgenommen werden, da dies evtl. in einigen Räumen zu Energieverlusten führen könnte. [H 298]

Literaturangaben

- [1] Baumgarth, S.: Strategien zur energieoptimalen Heizungsregelung. HLH Bd. 42 (1991) Nr. 5, S. 315/18.
- [2] Arbeitskreis der Dozenten für Klimatechnik: Handbuch der Klimatechnik. Bd. 2, C. F. Müller-Verlag, 2. Aufl. 1988.

WOLF Heizkessel
Klimatechnik
 5 Jahre Gewährleistung
 2 Jahre auf elektrische und bewegliche Teile