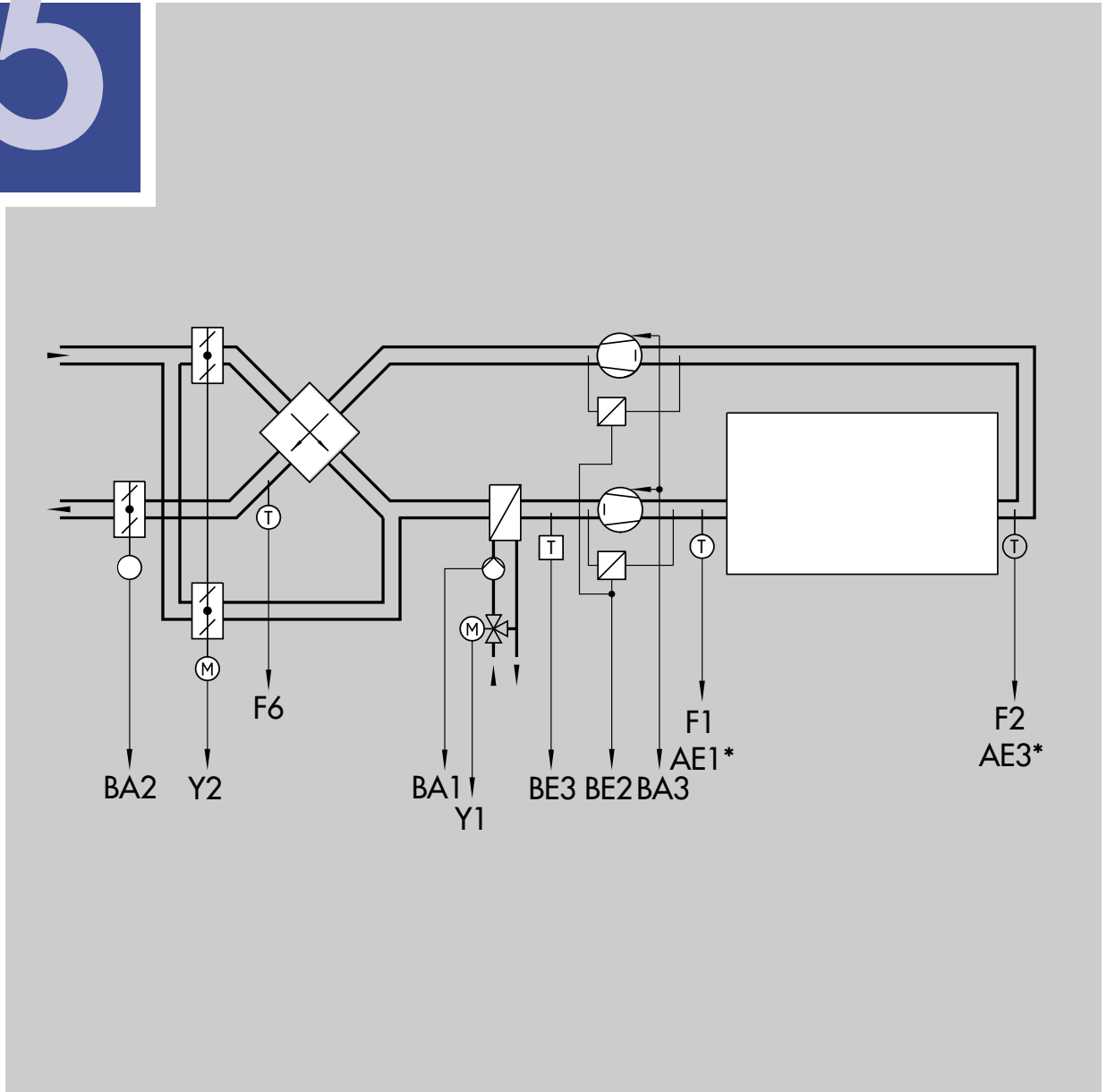


Lüftungs- und Klimaregelung



Teil 5 Gebäudeautomation





Technische Informationen

Teil 1: Grundlagen

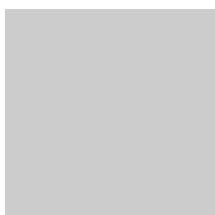
Teil 2: Regler ohne Hilfsenergie

Teil 3: Stellventile

Teil 4: Kommunikation

Teil 5: Gebäudeautomation

Teil 6: Prozessautomation



Bitte richten Sie Rückfragen und Anregungen an:

SAMSON AG
V74 / Schulung
Weismüllerstraße 3
60314 Frankfurt

Telefon (069) 4 00 94 67
Telefax (069) 4 00 97 16
E-Mail: schulung@samson.de
Internet: <http://www.samson.de>

Lüftungs- und Klimatechnik

Lüftungsregelung	5
Zulufttemperaturregelung.	5
Ablufttemperaturregelung	6
Ablufttemperatur-Kaskadenregelung	8
Lüftungsanlagen mit eingebundener Energierückgewinnung	9
Rekuperative Wärmerückgewinnung	9
Regenerative Wärmerückgewinnung	13
Direkte Umluftbeimischung.	14
Luftqualitätseinfluss	19
Sommeranhebung	20
Klimaregelung	21
Enthalpie-Feuchte-Diagramm.	21
Taupunktregelung	25
Direkte Feuchteregelung	29
Anhang A1: Ergänzende Literatur	31

Lüftungsregelung

In Lüftungsanlagen wird die Zuluft-, Abluft- oder Raumtemperatur unmittelbar geregelt. Sie arbeiten damit wesentlich exakter und komfortabler als Heizungsanlagen, die mit einer witterungsgeführten Vorlauftemperaturregelung arbeiten. Man unterscheidet Lüftungsanlagen in Abhängigkeit von ihrer Instrumentierung und der Art ihrer Regelung.

Zulufttemperaturregelung

Bild 1 zeigt die Instrumentierung einer Lüftungsanlage für eine Zulufttemperaturregelung (Regelgröße: F1/AE1), die als Stellglied mit einem Lufterhitzer arbeitet. Die Regelung erfolgt über das Stellsignal Y1, das das Mischventil am Lufterhitzer betätigt. Zusätzlich kann der Regler über binäre Schaltausgänge (BAx) die Umwälzpumpe, Luftklappen und Ventilatoren ansteuern.

Temperaturregelung des Zuluftstromes

Die hydraulische Anbindung des Lufterhitzers sollte, wie dargestellt, mit einem Dreiwegeventil als Mischregelung realisiert werden. Gegenüber der Mengenregelung mit einem Durchgangsventil vermeidet diese Anbindung unterschiedliche Temperaturprofile, da die Lufterwärmung gleichmäßig über

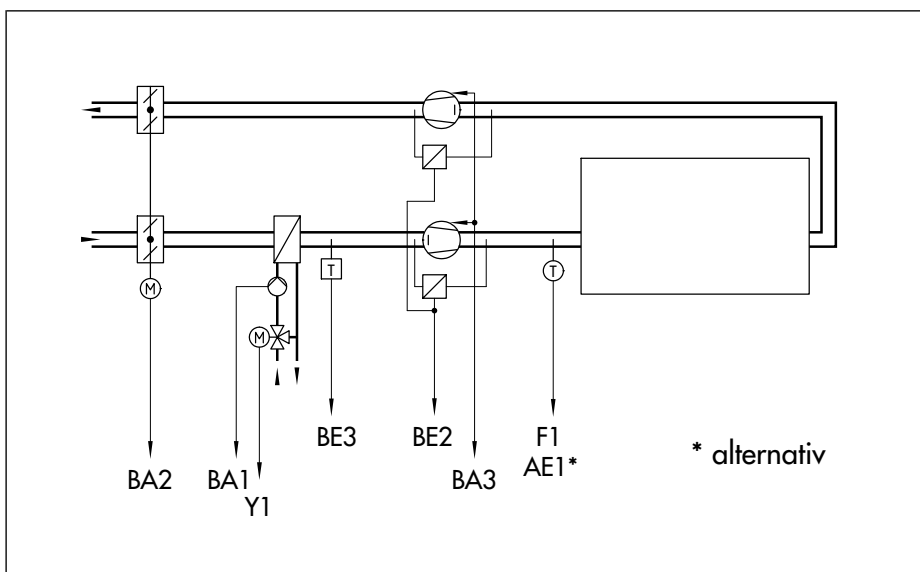


Bild 1: Zulufttemperaturregelung

**gleichmäßige
Lufterwärmung**

die gesamte Erhitzeroberfläche erfolgt. Bei frostgefährdeten Lufterhitzern bietet sich die Einspritzschaltung an. Eine zusätzliche Bypassleitung stellt hier sicher, dass das Heizmedium auch bei geschlossenem Regelventil nicht auskühlt. Dadurch steht, sobald das Stellventil öffnet, das richtig temperierte Heizmedium verzögerungsfrei zur Verfügung.

**Anfahren der
Zulufttemperatur-
regelung**

Zum Anfahren einer Anlage mit Zulufttemperaturregelung wird zunächst nur das Mischventil geöffnet (Y1) und die Umwälzpumpe aktiviert (BA1), so dass der Lufterhitzer aufgeheizt wird. Zeitverzögert werden dann die Luftklappen geöffnet (BA2) und die Ventilatoren eingeschaltet (BA3). Mit dieser so genannten Anfahrschaltung wird ausgeschlossen, dass kalte Außenluft den Wasserkreislauf des Lufterhitzers zum Einfrieren und in letzter Konsequenz zum Bersten bringen kann.

Sicherheit vor Vereisung

Während des Betriebes erfolgt die Rückmeldung über die Zustände der Ventilatoren sowie des Frostschutzthermostates über binäre Eingangssignale (BEx). Um das Heizregister auch bei defektem Regler sicher vor Frostschäden zu bewahren, muss der Frostschutzthermostat über Schütze so verschaltet werden, dass er die Ventilatoren und den Lufterhitzer unmittelbar ansteuern kann. Bei Vereisungsgefahr wird dann der Ventilator ausgeschaltet, das Mischventil geöffnet, die Umwälzpumpe eingeschaltet und die Luftklappen geschlossen.

Ablufttemperaturregelung**Störgrößen aufgrund
der Raumnutzung**

Bei der zuvor dargestellten Zulufttemperaturregelung wird – wie die Bezeichnung ausdrückt – die Zuluft auf einen vorgegebenen Temperaturwert geregelt. Im Raum auftretende Temperaturschwankungen, die durch unterschiedliche Nutzung verursacht werden (Anzahl der Personen im Raum, Abwärme erzeugende Geräte u. Ä.), bleiben jedoch vom Regler unberücksichtigt.

Ergänzt man die Anlage in Bild 1 entsprechend Bild 2 um einen Abluft- oder auch Raumtemperaturfühler, so kann als Regelgröße die tatsächliche Raum- bzw. Ablufttemperatur gewählt werden (Regelgröße F2/AE3). Der Regler kann somit die Störgrößen erfassen und ist bestrebt, diese auszuregeln. Bezüglich des Anfahrverhaltens und der Funktion des Frostschutzthermostaten gleicht die Anlage der zuvor beschriebenen.

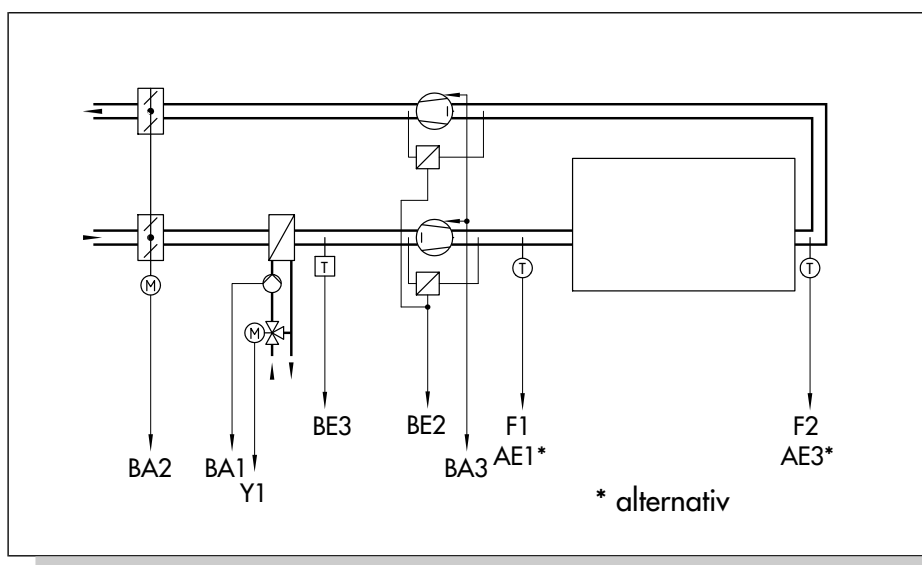


Bild 2: Ablufttemperaturregelung / Kaskadenregelung

Eine Ablufttemperatur- bzw. Raumtemperaturregelung ist aus Komfortgründen nur in Verbindung mit einer Zulufttemperatur-Minimalbegrenzung sinnvoll. Ohne diese Begrenzung und einer Überwachung der Zulufttemperatur treten bei der Regelung extreme Unterschiede zwischen Raumtemperatur und zugeführter Lufttemperatur auf:

- ▶ Bei Wärmebedarf würde der Regler das Mischventil öffnen und der Luftheizer so lange mit maximal möglicher Zulufttemperatur heizen, bis der Abluffühler eine Temperaturerhöhung registriert.
- ▶ Bei Kältebedarf würde die Zulufttemperatur vom Regler bis auf Außentemperaturniveau abgesenkt.

Am Regler sind deshalb sowohl der Sollwert der Abluft-/Raumtemperatur als auch die minimal zulässige Zulufttemperatur einzustellen.

Die Regelung der Ablufttemperatur kann – besonders bei großen Räumen – zu weiteren Problemen führen. Der als Temperaturspeicher dienende Raum führt innerhalb der Regelstrecke zu Totzeiten. Stellgrößenänderungen wirken sich deshalb nur zeitverzögert auf die Regelgröße aus. Dadurch besteht die Gefahr, dass der Regler das Stellglied (Mischventil) abwechselnd ganz auf und zu fährt und die Zulufttemperatur zwischen Minimalbegrenzung- und Maximaltemperatur schwingt.

Vorgabe der minimalen Zulufttemperatur

große Räume bewirken Totzeiten

Ablufttemperatur-Kaskadenregelung

Folgeregelung

Eine verbesserte Regelbarkeit erreicht man mit Hilfe der Abluft- bzw. Raumtemperatur-Kaskadenregelung (Bild 3). Diese verbindet die Vorteile der zuvor erwähnten Regelverfahren. Durch die Regelung der Zulufttemperatur erreicht man stabile Regelverhältnisse, während die überlagerte Abluft- bzw. Raumtemperaturregelung darüber hinaus in der Lage ist, Störgrößen zuverlässig auszuregulieren.

Funktion

Am Regler werden für die Kaskadenregelung zwei Sollwerte eingestellt. Dementsprechend müssen zwei Regelgrößen – Zulufttemperatur (F1/AE1) und Ablufttemperatur (F2/AE3) – im Regelkreis zurückgeführt werden. Der überlagerte Abluftregelkreis passt die Führungsgröße des unterlagerten Zuluftregelkreises an. Dabei wird der eingestellte Sollwert der Zulufttemperatur in Abhängigkeit von der Regeldifferenz e des Abluftregelkreises korrigiert. Die einstellbaren Minimal- und Maximaltemperaturen der Zuluft begrenzen auch bei diesem Regelverfahren den verfügbaren Stellbereich. Während der Abluftregler proportionales Regelverhalten hat, arbeitet der Temperaturregelkreis der Zuluft mit einem PI-Regler.

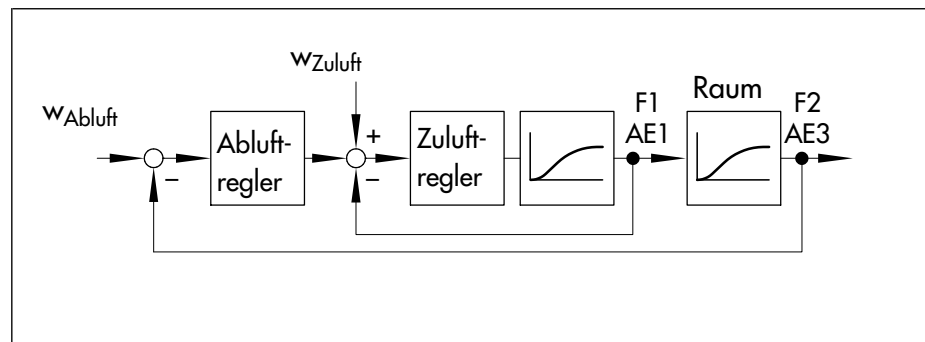


Bild 3: Regelprinzip der Ablufttemperatur-Kaskadenregelung

Lüftungsanlagen mit eingebundener Energierückgewinnung

Eine Lüftungsanlage lässt sich wesentlich wirtschaftlicher betreiben, wenn die Anlage mit einer Energierückgewinnung arbeitet. Grundsätzlich unterscheidet man drei verschiedene Verfahren der Energierückgewinnung:

- ▶ Rekuperative Wärmerückgewinnung,
- ▶ regenerative Wärmerückgewinnung und
- ▶ direkte Umluftbeimischung.

**drei Verfahren zur
Energierückgewinnung**

- **Rekuperative Wärmerückgewinnung**

Bei rekuperativen Systemen wird die Wärme des Abluftstroms über Wärmetauscher auf den Zuluftstrom übertragen. Dies kann entweder direkt, z. B. mit einem Plattenwärmetauscher, erfolgen (Lüftungsanlage nach Bild 4) oder es kommen kreislaufverbundene Wärmetauscher zum Einsatz, bei denen ein Zwischenmedium als konvektiver Wärmeträger dient (Lüftungsanlage nach Bild 5).

**Energieübertragung mit
Wärmetauschern**

Der wesentliche Unterschied gegenüber den zuvor beschriebenen Anlagen besteht darin, dass der Regler zwei Stellsignale generiert. Eines wirkt auf das Mischventil des Lufterhitzers, während das Zweite den Wärmestrom zwischen der Ab- und Zuluft regelt. Der Wärmestrom wird entweder, entspre-

**Stellsignale für
Lufterhitzer und
Wärmetauscher**

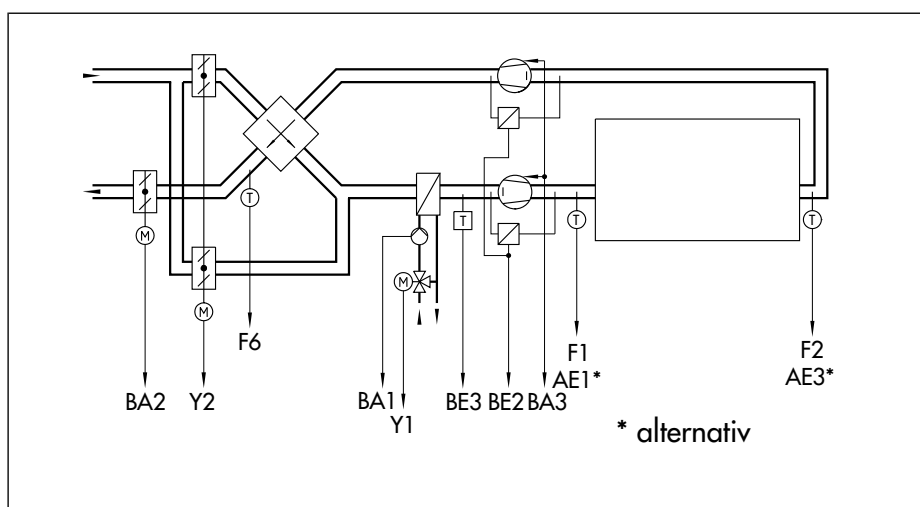


Bild 4: Rekuperative Wärmerückgewinnung, Kreuzstromwärmetauscher

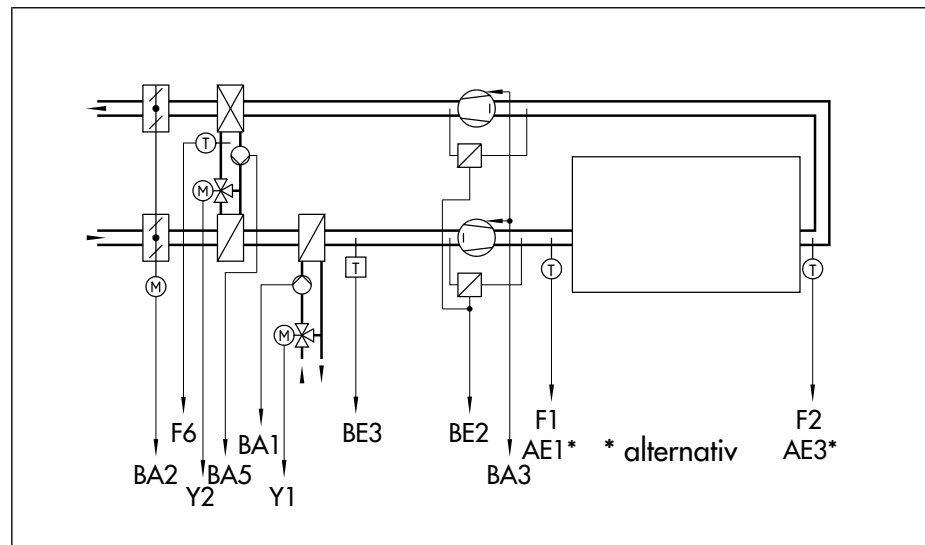


Bild 5: Rekuperative Wärmerückgewinnung, kreislaufverbundene Wärmetauscher

chend Bild 4, über Klappen beeinflusst oder beim kreislaufverbundenen Wärmetauscher über das Mischventil eingestellt.

Anfahren der Anlage Zum Anfahren der Anlage wird zunächst das Luftherhitzer-Mischventil aufgeföhren, zeitverzögert werden die Luftklappen geöffnet und schließlich die Ventilatoren eingeschaltet.

Während dieses Startbetriebes zirkuliert das Wärmeträgermedium im Kreislaufsystem 'Abluftwärmetauscher und Mischventil'. Dadurch findet zwischen Abluft- und Außenluftwärmetauscher kein Energieaustausch statt. Erst im Anschluss an die Inbetriebnahme der Ventilatoren wird mit der Regelung der Wärmerückgewinnung (WRG) begonnen. Dabei wird abhängig vom Wärmebedarf der Durchfluss des Wärmeträgermediums zwischen den Austauschern geregelt.

Betrieb der Anlage Mit der Freigabe der WRG nimmt der Regler den Sequenzregelbetrieb auf (Bild 6). Hierbei wird der Raum nicht mehr nur über den Luftherhitzer beheizt. Im Gegenteil, den bestehenden Wärmebedarf deckt soweit wie möglich der Wärmetauscher der WRG (Stellsignal Y2). Erst wenn zusätzliche Wärmeleistung gefordert ist ($Y2 = 100\%$), wird diese über den Luftherhitzer (Stellsignal Y1) bereitgestellt.

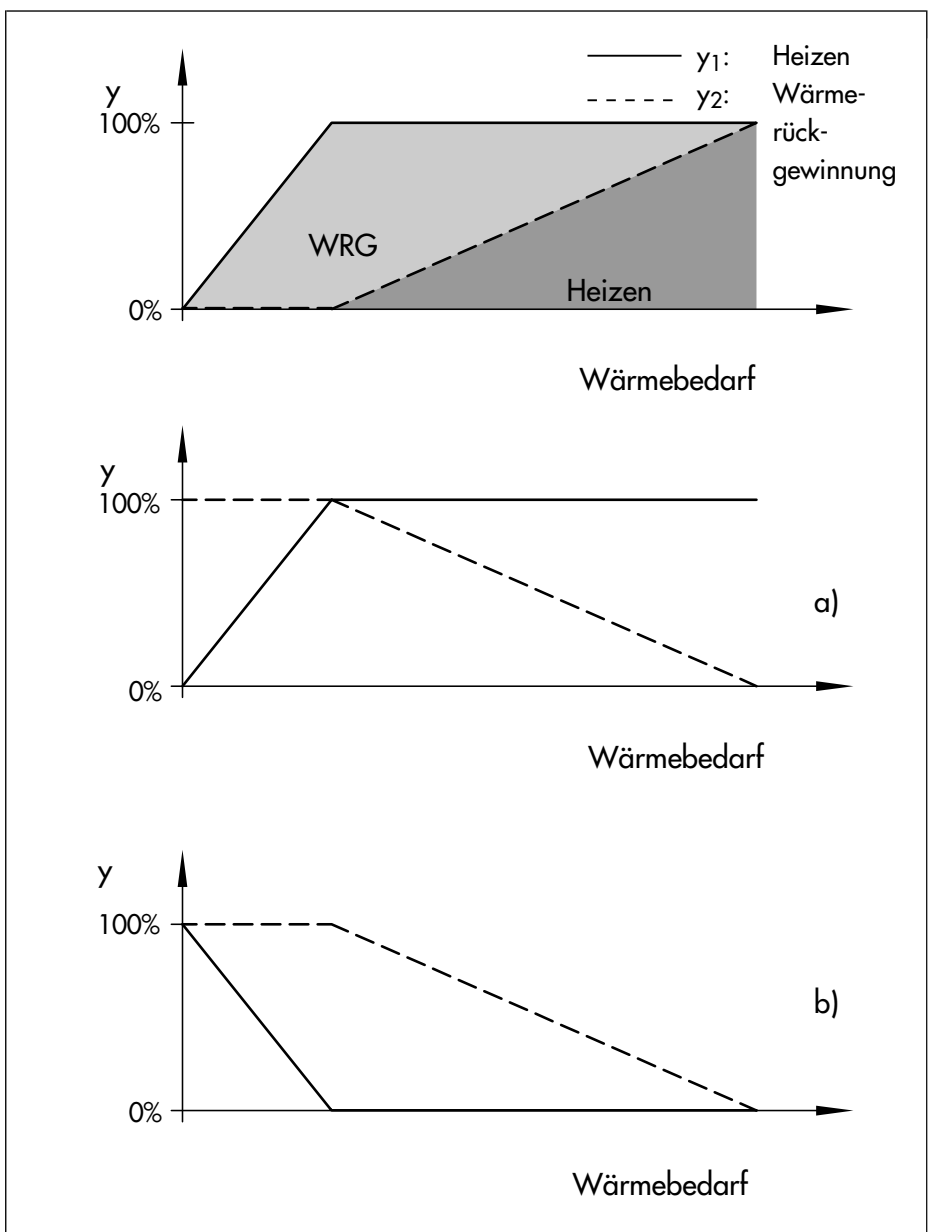
Wärmebedarf wird aus WRG gedeckt

Bei sinkendem Wärmebedarf verringert der Regler zunächst das Stellsignal des Luftherhitzers. Erst wenn dieser ganz heruntergeföhren ist, wird der Wär-

mestrom reduziert, den die WRG liefert. Wie das Sequenzschema aus Bild 6 zeigt, werden die beiden Stellsignale des Reglers stets aufeinander folgend betätigt.

Bei der Auslegung der Hydraulik des kreislaufverbundenen Wärmetauschers (Bild 4, 5) muss dem Frostschutz besondere Beachtung geschenkt werden. Bei Kältebedarf wird die Wärmerückgewinnung immer auf 0 %

Frostschutz beim kreislaufverbundenen Wärmetauscher



- a) mit Wirkrichtungs-
umkehr für y_1
- b) mit Wirkrichtungs-
umkehr für y_1
und y_2

Bild 6: Rekuperative Wärmerückgewinnung, Sequenzschema

gedrosselt. Weil in diesem Fall keine Zirkulation des Wärmeträgermediums stattfindet, muss der Flüssigkeitskreislauf gegen Einfrieren geschützt werden. Als Wärmeträgermedium wird deshalb zumeist kein Wasser, sondern Glykol eingesetzt.

**kondensiertes Wasser
friert auf dem
Wärmetauscher**

Unter ungünstigen Bedingungen kann der Abluftwärmetauscher aber auch luftseitig vereisen. Dies geschieht dann, wenn bei niedrigen Außentemperaturen das Wärmeträgermedium und damit der Abluftwärmetauscher zu kühl wird. Wasserpartikel, die aus der Abluft an den Lamellen des Tauschers kondensieren, können dann gefrieren. Als Folge verkleinert sich die nutzbare Oberfläche des Abluftwärmetauschers, wodurch die Temperatur des Wärmeträgermediums noch weiter absinkt. Diese fortschreitende luftseitige Vereisung kann schließlich zur Zerstörung des Abluftwärmetauschers führen.

**Überwachung der
Temperatur**

Vor dieser Betriebssituation schützt der Fühler F6 und/oder ein Frostschutzthermostat im Vorlauf des Wärmetauschers. Der Frostschutzthermostat wirkt unmittelbar auf das Mischventil der Wärmerückgewinnung. Beim Unterschreiten einer kritischen Temperatur unterbricht das Mischventil die Zirkulation der kreislaufverbundenen Wärmetauscher. Über eine geeignete Ansteuerung des Mischventils ist es dem Regler möglich, die Vereisung der WRG zu vermeiden. Dabei wird die WRG jedoch nicht abgeschaltet, sondern nur so weit gedrosselt, wie es aus Gründen des Frostschutzes erforderlich ist.

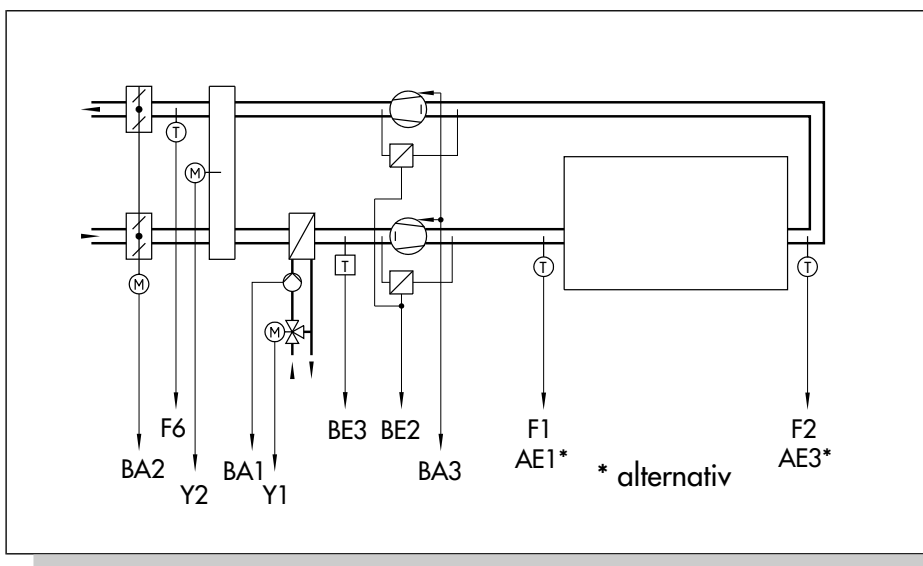


Bild 7: Regenerative Wärmerückgewinnung

- Regenerative Wärmerückgewinnung

Ein regeneratives System zur Wärmerückgewinnung arbeitet mit einer rotierenden Speichermasse, die auf der einen Seite vom Abluftstrom und auf der anderen vom Zuluftstrom umströmt wird. Die Masse wirkt als Wärmetauscher, bei dem nicht nur die Wärme der Abluft, sondern zusätzlich der in ihr enthaltene Wasseranteil (Abluftfeuchte) übertragen wird. Bild 7 zeigt das Schema einer Lüftungsanlage, die mit regenerativer Wärmerückgewinnung arbeitet.

Bezüglich der Funktionsweise gibt es keine nennenswerten Unterschiede zu den zuvor dargestellten Anlagen. Der Stellausgang Y2 des Reglers steuert hier jedoch nicht ein Mischventil, sondern die Drehzahl der rotierenden Speichermasse. Dabei erhöht sich der Wärmetransport mit steigender Drehzahl.

Wärme- und Feuchteübertragung

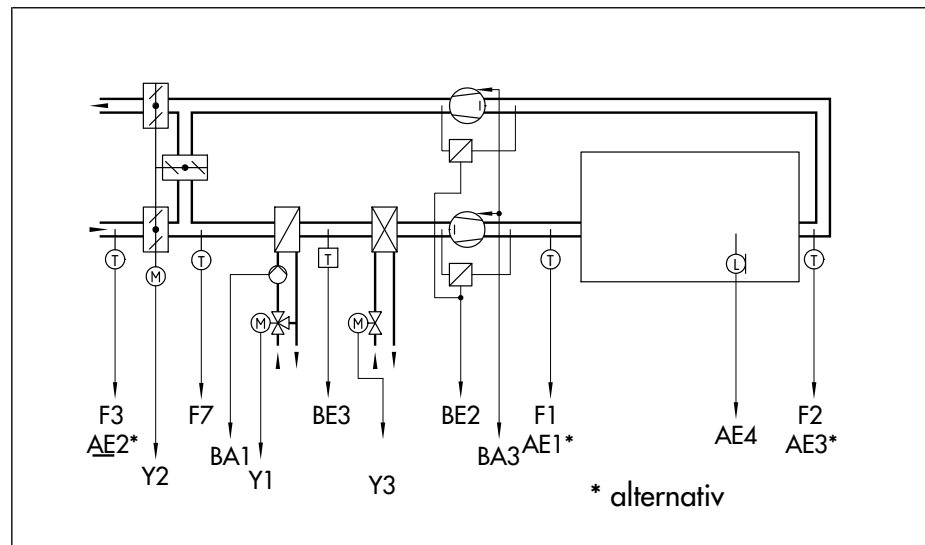


Bild 8: Wärmerückgewinnung durch direkte Umluftbeimischung

- Direkte Umluftbeimischung

wenig Aufwand,
großer Nutzen: die
Umluftbeimischung

Das einfachste und sehr häufig verwendete Verfahren zur Energierückgewinnung stellt die direkte Umluftbeimischung dar. Bei diesem wird dem Zuluftstrom in der Mischluftkammer über motorbetriebene Luftklappen abhängig vom Wärmebedarf Abluft beigemischt.

Das Bild 8 stellt eine Lüftungsanlage mit direkter Umluftbeimischung dar, welche zusätzlich mit einem Kühlregister ausgestattet ist. Bei hohen Außentemperaturen kann über das Kühlregister die Temperatur des Zuluftstromes gesenkt werden.

Regelung
des Kühlregisters

Die hydraulische Anbindung des Kühlregisters kann wie dargestellt als Mengenregelung mit einem Durchgangsventil realisiert werden oder, wie beim Luftherhitzer skizziert, als Mischregelung mit einem Dreiwegeventil. Um das Ansprechverhalten des Kühlregisters zu optimieren, kann eine Einspritzschaltung installiert werden. Diese stellt mit Hilfe einer zusätzlichen Bypassleitung sicher, dass das Kühlmedium auch bei geschlossenem Regelventil seine Temperatur beibehält.

Wird eine Kältemaschine eingesetzt, die mit konstantem Umlaufvolumen (100 %) arbeiten muss, so ist eine Mischregelung erforderlich. Ein alternatives Regelverfahren stellt der getaktete Betrieb der Kältemaschine dar. Durch

eine Impuls-Pausen-Ansteuerung eines Binärausganges variiert der Regler die im zeitlichen Mittel bereitgestellte Kühlleistung der Kühlmaschine.

Die Regelung einer Lüftungsanlage erfolgt über Heiz- und Kühlregister sowie die Klappenstellung in der Mischluftkammer. Das Regelverhalten lässt sich dabei besser an die äußeren Gegebenheiten anpassen, wenn zusätzlich ein Fühler für die Außenlufttemperatur installiert ist.

Die Ansteuerung des Heiz- und Kühlregisters ist abhängig davon, wie die Mischluftkammer arbeitet. Bei deren Betrieb unterscheidet man drei verschiedene Verfahren:

- ▶ Mischluftkammer im Sequenzbetrieb,
- ▶ unabhängige Mischlufttemperaturregelung und
- ▶ außentemperaturgesteuerte Mischluftkammer.

Heutzutage wird zumeist der Sequenzbetrieb gewählt, der entsprechend des Sequenzschemas aus Bild 9 arbeitet. Durch die zeitlich versetzte Ansteuerung der Stellsignale kann der erforderliche Wärmebedarf energetisch günstig bereitgestellt werden.

Während des Anfahrens wird, ähnlich wie bei den zuvor erläuterten Anlagen, zunächst das Lufterhitzer-Mischventil aufgefahren. Anschließend werden die Luftklappen zeitverzögert geöffnet und die Ventilatoren eingeschaltet. Erst dann beginnt die Regelung der Mischluftkammer und des Kühlregisters.

Während des Betriebes ist der Regler bestrebt, den Wärmebedarf über den Umluftanteil zu regeln:

- ▶ Für einen gesteigerten Wärmebedarf wird der Außenluftanteil abgesenkt, indem der Regler die Stellgröße Y2 des Luftklappensystems verringert (siehe Sequenzschema Bild 9). Eine einstellbare Mindestaußenluftfrate verhindert, dass die Lüftungsanlage in dieser Betriebssituation zu 100 % im Umluftbetrieb arbeitet. Nur wenn die gewünschte Temperatur auch bei minimalem Außenluftanteil nicht erreicht werden kann, wird der fehlende Wärmestrom mit Hilfe des Lufterhitzers erzeugt.

**Lüftungsregelung
mit Heiz-, Kühlregister
und Mischluftkammer**

**Lüftungsregelung im
Sequenzbetrieb**

Anfahren der Anlage

Betrieb der Anlage

**Mindestaußenluftfrate
stellt Luftqualität sicher**

a) ohne Außen- und Ablufttemperaturaufschaltung

b) mit Außentemperaturaufschaltung

c) mit Außen- und Ablufttemperaturaufschaltung

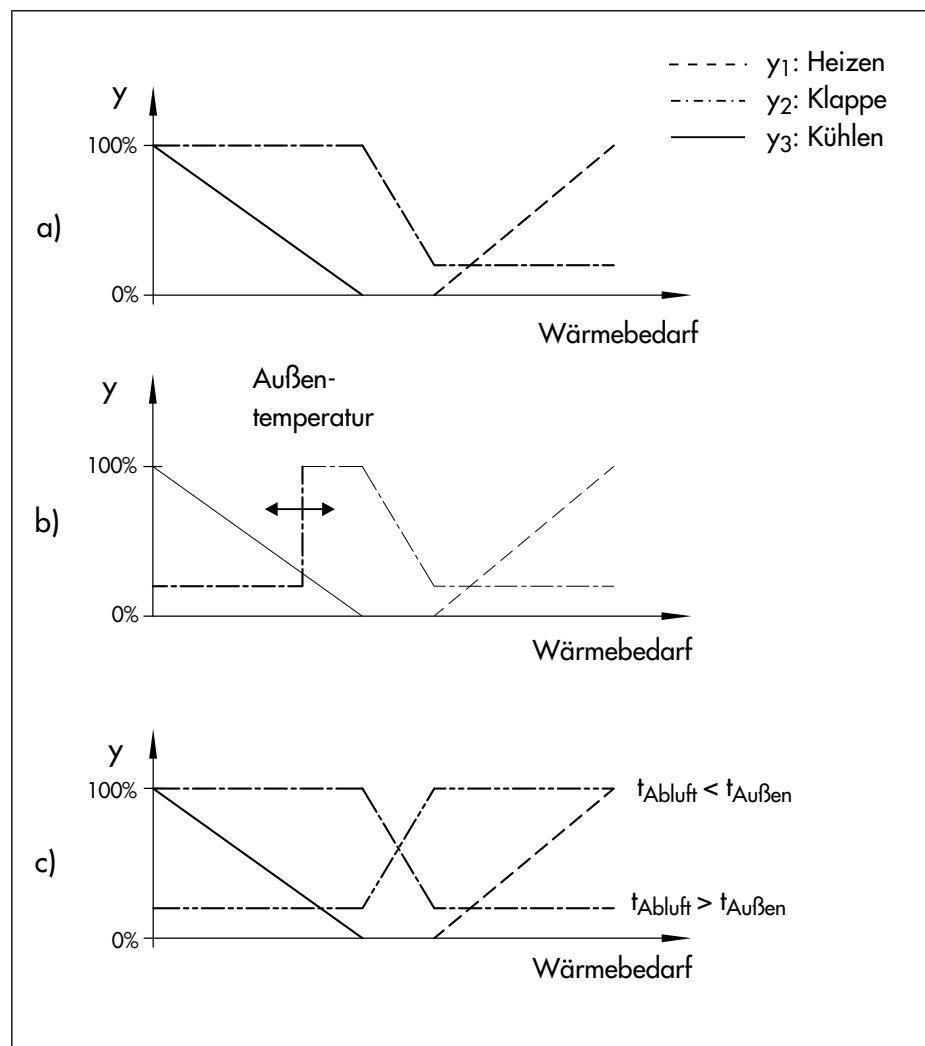


Bild 9: Mischluftkammer in Sequenz

- Bei Kältebedarf versucht der Regler die Temperatur zu senken, indem er den Außenluftanteil erhöht. Dies führt nur dann zum Erfolg, wenn die Temperatur der Außenluft niedrig genug ist. Erst wenn diese Maßnahme keine ausreichende Wirkung zeigt, wird – sofern vorhanden – der Luftkühler über Y3 aktiviert. Steigt die Außenlufttemperatur über die gewünschte Raumtemperatur (Sommerbetrieb), arbeitet die Anlage – analog wie beim Wärmebedarf – mit Mindestaußenluftfrate.

im Kühlbetrieb
wird Außenluft genutzt

Die in Bild 9a und 9b dargestellte Ansteuerung der Mischluftkammer (Y2) unterscheidet nicht, ob die Außentemperatur größer oder kleiner als die Raum-/Ablufttemperatur ist. Bei Verwendung von Temperaturfühlern für Außenluft (F3/AE2) und Abluft (F2/AE3) ist es möglich, diese Bedingungen

mit inversem Stellsignal – per Wirkrichtungsumkehr – zu berücksichtigen. Besteht Wärmebedarf und ist die Außentemperatur größer als die Ablufttemperatur, wird der Regler folglich nicht den Umluftanteil, sondern den Außenluftanteil erhöhen.

Im Gegensatz zu den nachfolgend skizzierten Betriebsweisen erfordert der Sequenzbetrieb keinen Mischlufttemperaturfühler. Arbeitet die Anlage mit einer unabhängiger Mischlufttemperaturregelung, so ist zur Erfassung der Mischlufttemperatur dennoch ein Fühler erforderlich (Bild 8: F7). Am Regler ist für die Mischlufttemperatur ein separater Sollwert einzustellen, der über das Stellsignal Y2 ausgeregelt wird. Wie bei den Anlagen zuvor wird die Luftqualität durch die Vergabe und Einstellung einer Mindestaußenluftfrate sichergestellt.

unabhängige Regelung der Mischlufttemperatur

Die Stellsignale in Bild 10 zeigen, dass die Mischlufttemperaturregelung eigenständig in einem separaten Regelkreis erfolgt. Sie ist daher unabhängig vom Wärme- oder Kältebedarf. Dieser Bedarf wird ausschließlich über die in Sequenz arbeitenden Stellsignale Y1 (Lufterhitzer) und Y3 (Luftkühler) geregelt.

Wird über Fühler die Außen- und Ablufttemperatur erfasst, kann der Regler – wie oben beschrieben – die Wirkrichtung abhängig von den jeweiligen Temperaturen selbsttätig anpassen.

Anstatt der zuvor erläuterten Regelung der Mischluftkammer kann die Klappenstellung auch per Steuerung vorgegeben werden. Bei diesem außentem-

außentemperaturgeführte Steuerung der Mischluftkammer

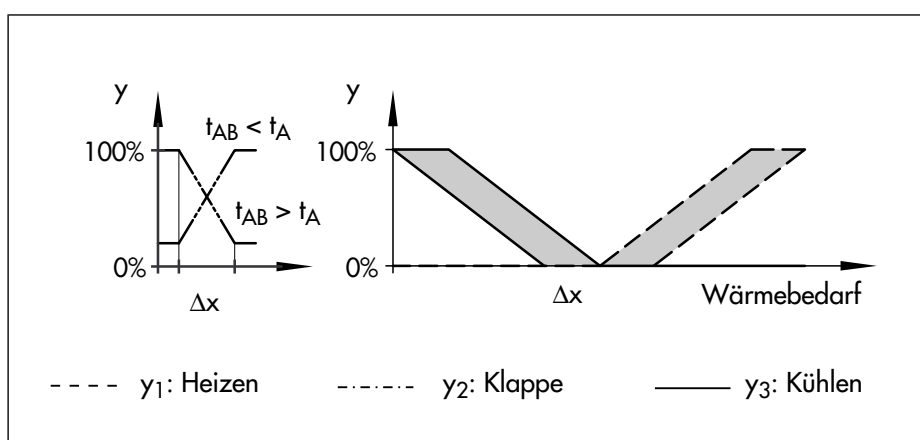


Bild 10: Unabhängige Mischlufttemperaturregelung

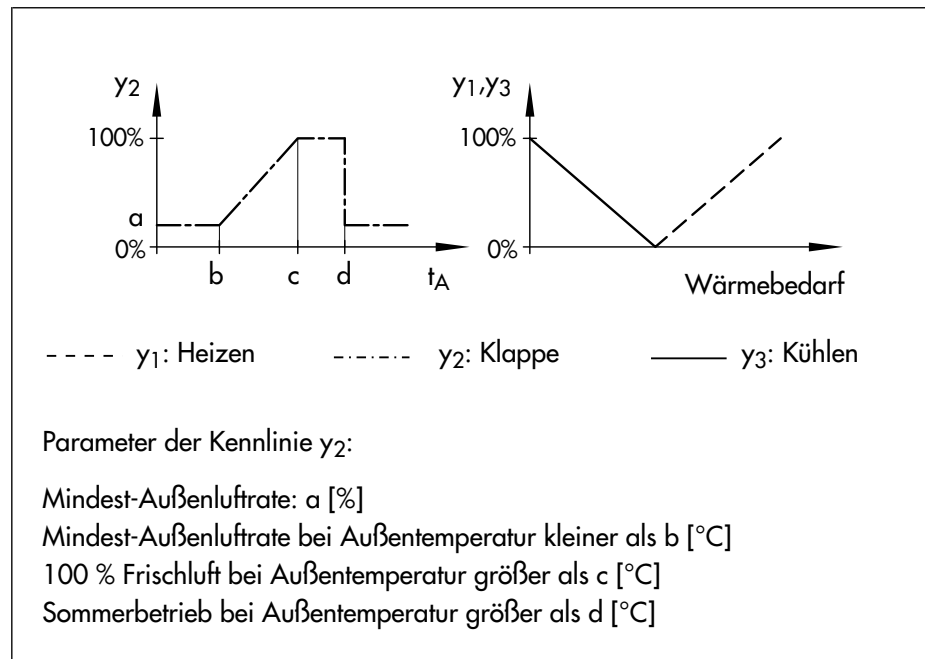


Bild 11: Außentemperaturgesteuerte Mischluftkammer

peraturgesteuerten Betrieb wird das Stellsignal Y_2 in Abhängigkeit von der Außentemperatur eingestellt. Äußere Störgrößen werden bei dieser Betriebsweise nicht berücksichtigt. Wie zuvor bei der Mischlufttemperaturregelung wird der Wärmebedarf ausschließlich über das Heiz- und Kühlregister geregelt.

Der Verlauf der Stellkennlinie y_2 wird mit Hilfe der Parameter 'a' bis 'd' definiert und muss direkt am Gerät eingestellt werden (siehe Sequenzschema Bild 11).

Luftqualitätseinfluss

Die Erfassung der Luftqualität ist nicht einfach, da die Geruchswirkung der in einem Raum vorkommenden Gase zum Teil sehr subjektiv ist. Bei der Regelung der Luftqualität muss man sich deshalb auf die physikalisch erfassbaren Größen beschränken.

Die Schadstoffe, die in der Raumlufte auftreten können, sind vielfältig: Der Mensch erzeugt Kohlendioxid (CO_2), Wasserdampf (H_2O) und andere Gerüche. Raucher erzeugen zudem giftige Stickstoffdioxid (NO_2), Kohlenmonoxid (CO) sowie komplizierte Mischungen chemischer Dämpfe. Aus der technischen Umwelt strömen Kohlenmonoxid, Stickstoffoxide (NO_x), CO_2 oder H_2O in den Raum.

Wenn ein Luftqualitätsfühler installiert ist (Bild 7: L an AE4), lässt sich die Luftqualität über den Außenluftanteil mit Hilfe der Klappen regeln. Bei schlechter Luftqualität wird die Mindestaußenluftfrate solange erhöht, bis die Raumlufte wieder die gewünschte Qualität aufweist. Eine solche bedarfsabhängige Regelung minimiert die Kosten der Luftaufbereitung und verringert die Transportverluste.

Als Sensor kann entweder ein Mischgas-Sensor aus Halbleitermaterial oder ein wesentlich teurerer Kohlendioxid-Sensor eingesetzt werden. Während der Mischgas-Sensor mit unterschiedlicher Empfindlichkeit auf verschiedene Gase reagiert (Wasserstoff, CO , Kohlenwasserstoff (CH), Alkohole, Benzole, Wasserdampf etc.), misst der Kohlendioxid-Sensor selektiv den CO_2 -Gehalt der Luft.

In Räumen, in denen mit großem Raucheranteil zu rechnen ist (hoher CO -Gehalt) oder die Luftverunreinigung durch Rauch und Qualm im Vordergrund steht, eignet sich die Mischgasfassung. Da der CO_2 -Gehalt der Luft mit der Anzahl der Personen im Raum steigt, liefert ein Kohlendioxid-Sensor wichtige Daten, wenn es gilt, eine hohe Luftqualität zu gewährleisten. Zumeist empfiehlt sich die CO_2 -Messung in Verbindung mit der Erfassung des Mischgasgehaltes.

eine komplizierte Mischung: die Raumlufte

**Raumlufte
regulierung
senkt Kosten**

Sommeranhebung

verschieden Sollwerte für den Normal- und den Sommerbetrieb

Wird eine Lüftungsanlage mit Kälteerzeugung im Sommer wie im Winter mit demselben Sollwert betrieben, entstehen hohe, vermeidbare Energiekosten. Wesentlich wirtschaftlicher ist es, wenn bei Lüftungsanlagen mit Kälteerzeugung im Sommer der Temperatursollwert angehoben und dadurch der Kühlbedarf verringert wird. Diese Sommeranhebung empfiehlt sich auch deshalb, weil sich ein zu hohes Temperaturgefälle, beispielsweise Raumtemperatur von 22 °C bei Außentemperaturen von über 30 °C, negativ auf das menschliche Wohlbefinden auswirkt. Bild 12 zeigt die Funktion 'Sommeranhebung', welche mit zunehmender Außentemperatur den Temperatursollwert der Zuluft, Abluft bzw. des Raumes entsprechend anhebt.

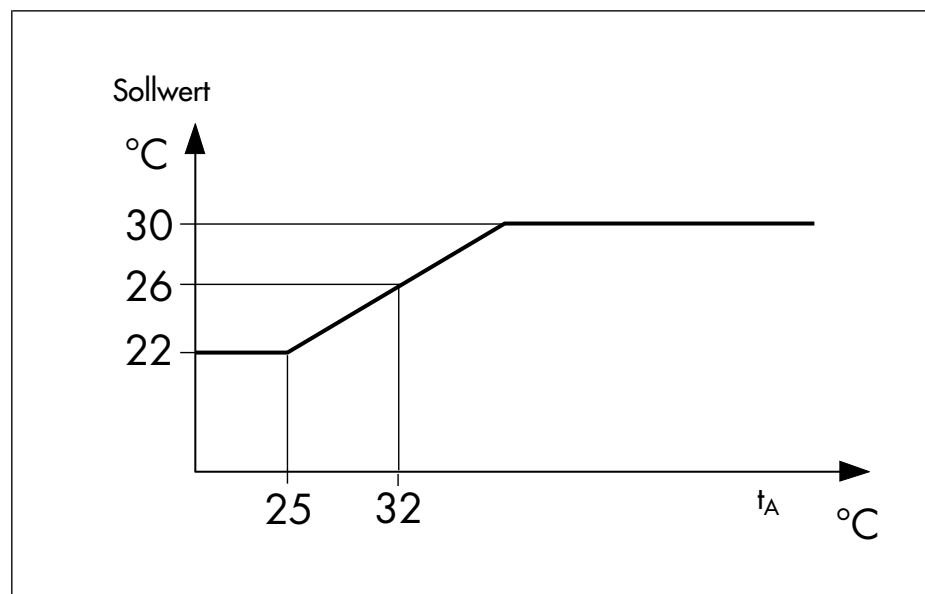


Bild 12: Sommeranhebung

Klimaregelung

Absolut trockene Luft kommt in der freien Atmosphäre nahezu nicht vor. Ein gewisser Anteil an Wasserdampf, der jedoch zeitlich und örtlich schwankt, befindet sich stets in der Atmosphäre. Feuchte Luft ist also ein Gemisch aus trockener Luft und Wasserdampf. Wird in einem Raum die Temperatur und die Luftfeuchte geregelt, so spricht man von einer Klimaanlage.

Zum besseren Verständnis der Funktionsweise von Klimaanlage werden auf den folgenden Seiten das hx-(Enthalpie-Feuchte-)Diagramm sowie mögliche Regelverfahren erläutert.

Enthalpie-Feuchte-Diagramm

Das hx-Diagramm (Bild 13) von R. Mollier (1904) stellt in einem schiefwinkligen Koordinatensystem graphisch den Zusammenhang der verschiedenen Luftzustandsgrößen von absoluter Feuchte x , Temperatur t , relativer Feuchte φ und Enthalpie h dar.

Unter absoluter Feuchte x , die auf der waagerechten Achse (Abzisse) aufgetragen ist, versteht man diejenige Wassermenge in g, die pro kg trockener Luft vorhanden ist. Die Linien gleichen Wassergehaltes verlaufen parallel von oben nach unten.

$$x = \frac{\text{Masse des in der Luft enthaltenen Wassers}}{\text{Masse der feuchten Luft}}$$

Auf der senkrechten Achse (Ordinate) ist die Lufttemperatur in °C eingetragen. Während die Isotherme (Linie gleicher Temperatur) für 0 °C parallel zur Abzisse verläuft, weisen die über 0 °C liegenden Isothermen eine geringe Steigung auf.

Unter der relativen Feuchte φ versteht man das Verhältnis der tatsächlich enthaltenen zur maximal möglichen Masse des Wasserdampfes in der Luft. Alle

Zustandsgrößen im hx-Diagramm

Punkte gleicher relativer Feuchte (r. F.) sind miteinander verbunden und ergeben die Kurvenschar r. F. = 0 % bis r. F. = 100 %.

$$\varphi = \frac{\text{absolute Feuchte}}{\text{maximale Feuchte}}$$

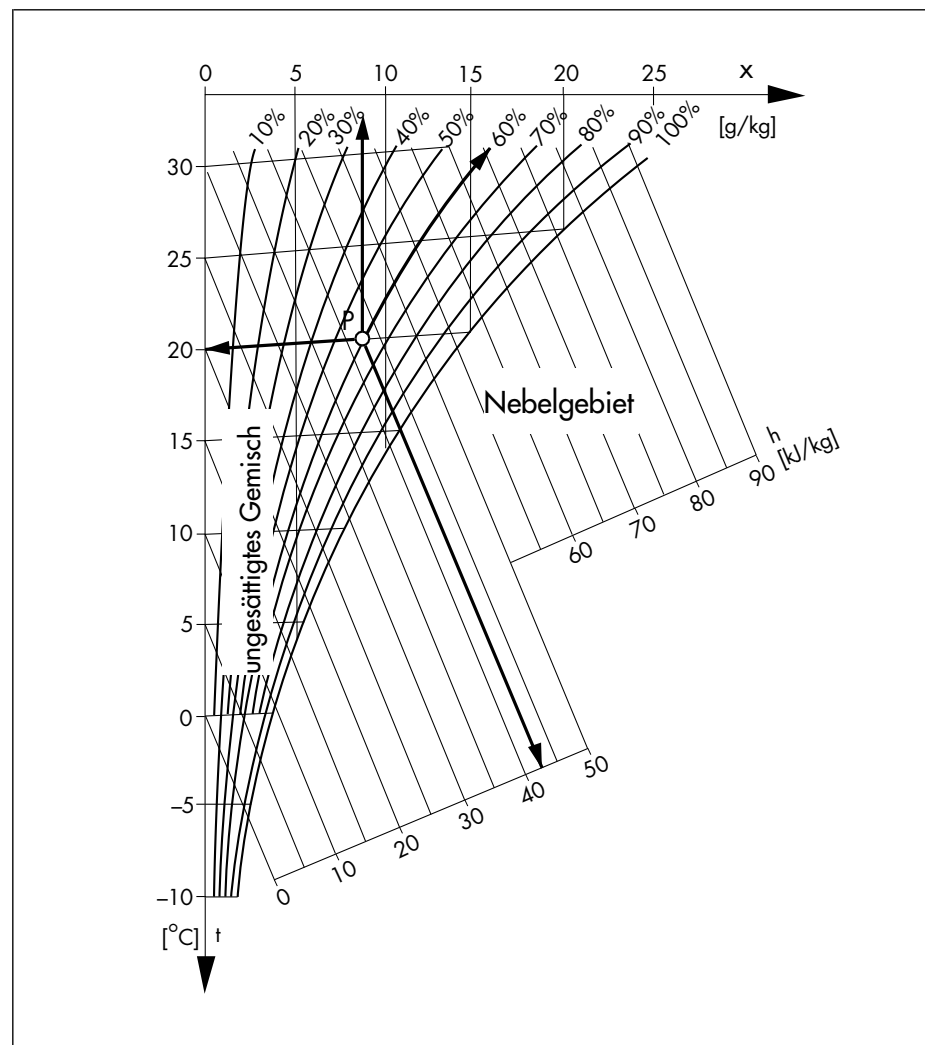


Bild 13: hx-Diagramm

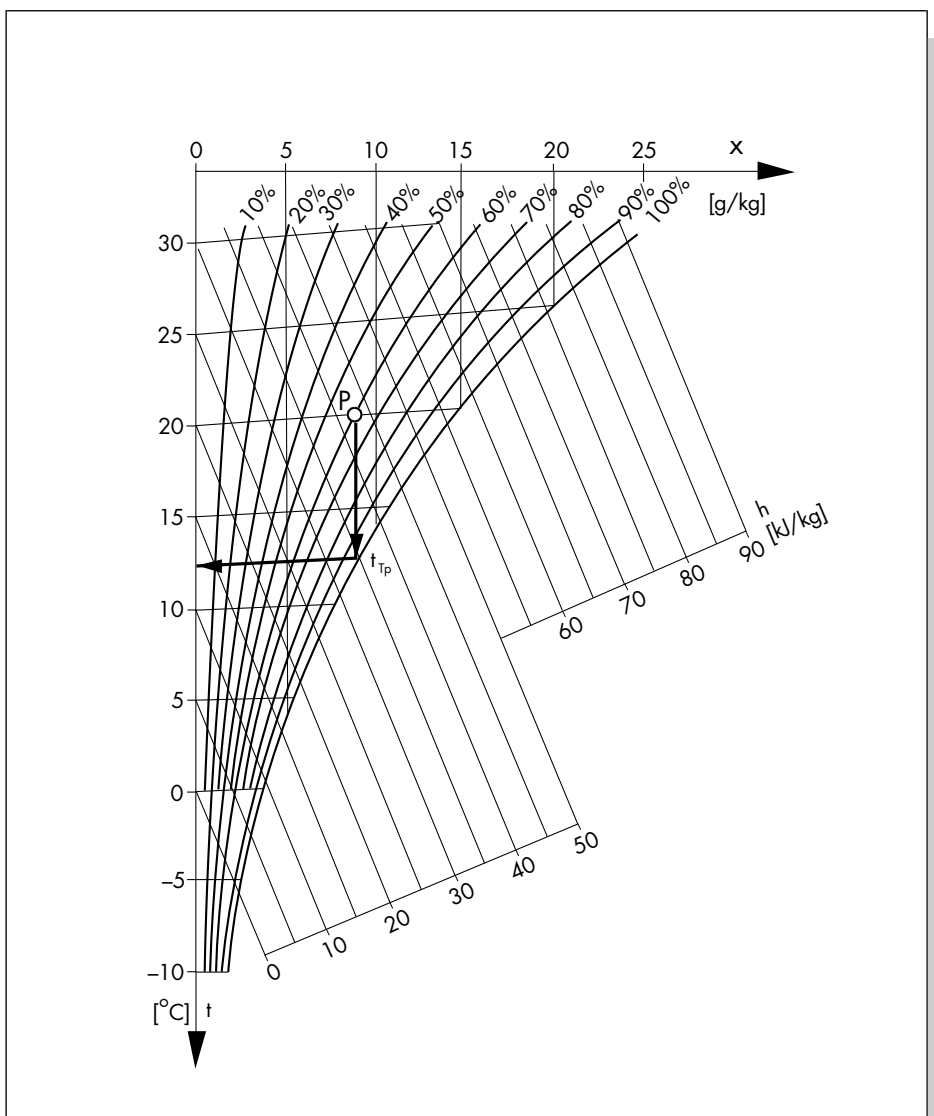


Bild 14: Bestimmung des Taupunktes im hx-Diagramm

Der spezifische Wärmehalt der Luft wird in kJ/kg gemessen. Linien gleichen Wärmehaltes (gleicher spezifischer Enthalpie h) werden Adiabaten genannt. Sie verlaufen von links oben nach rechts unten. Für einen beliebigen Luftzustand P lassen sich im hx-Diagramm alle vier Zustandsgrößen (Wassergehalt x , Lufttemperatur t , relative Feuchte φ und Enthalpie h) ablesen. Die exakte Lage des Punktes P ist schon eindeutig definiert, wenn nur zwei dieser Größen bekannt sind.

graphische Ermittlung der Zustandsgrößen

Führt man der Luft mehr Feuchte zu, als sie aufnehmen kann, so schlägt sich das überschüssige Wasser in Form von Nebel nieder, der an einem kühleren

Sättigung der Luft

Körper kondensieren kann. Die Grenztemperatur, bei der die vorhandene Wassermenge gerade noch in Dampfform vorliegt, nennt man Sättigungstemperatur oder Taupunkttemperatur. Die Linie, die alle Sättigungstemperaturen verbindet, heißt Sättigungslinie und entspricht der Linie $r. F. = 100 \%$.

Taupunkttemperatur Erreicht die Lufttemperatur bei der Abkühlung den Schnittpunkt mit der Sättigungslinie, so kann auf der Temperaturskala die Taupunkttemperatur abgelesen werden (Bild 14). Eine weitere Absenkung unterhalb der Taupunkttemperatur führt zur Wasserausscheidung (Kondensation, Nebelbildung).

Taupunktregelung

Klimaanlagen können verschiedene Regelverfahren nutzen. Die in Bild 15 dargestellte Anlage arbeitet nach dem Prinzip der Taupunktregelung. Sie enthält zwei Temperaturregelkreise:

- ▶ Taupunktregelkreis (RK 1) und
- ▶ Nacherhitzer-Regelkreis (RK 2).

Die Instrumentierung des Taupunktregelkreises entspricht der des zuvor erläuterten Lüftungsregelkreises, der zusätzlich um einen Sprühbefeuchter erweitert ist. Der Nacherhitzer-Regelkreis beinhaltet neben dem Nacherhitzer einen Hygrostaten. Dieser misst die relative Feuchte der Luft und löst die Abschaltung des Sprühbefeuchters bei Ausfall des Nacherhitzers aus.

Die Aufbereitung der Luft in der Klimaanlage kann durch folgende Zustandsänderungen durchgeführt werden:

- ▶ Erwärmung \Leftrightarrow Kühlung
- ▶ Befeuchtung \Leftrightarrow Entfeuchtung

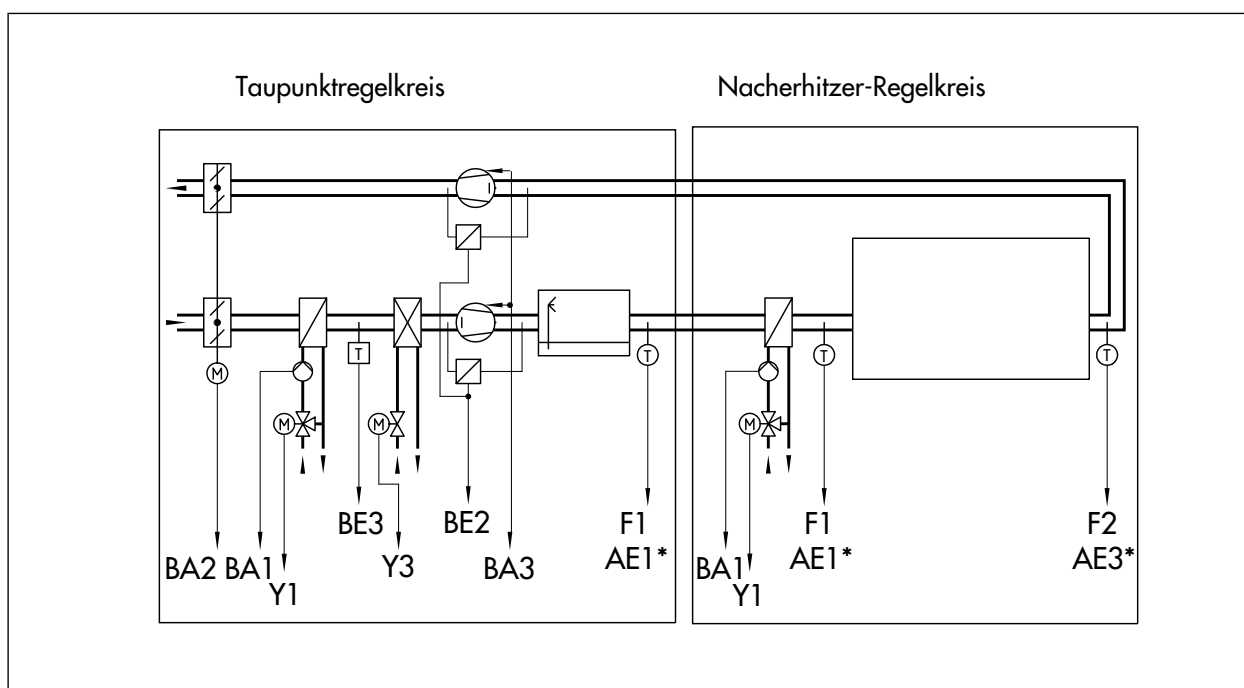


Bild 15: Klimaanlage mit Taupunktregelung

Die Erläuterung der Klimaregelung mit Taupunktregelung (entsprechend Anlage Bild 15), erfolgt unter Anwendung des hx-Diagrammes:

Ziel der Klimaregelung ist es, sowohl eine bestimmte Raumtemperatur (bzw. Ablufttemperatur) als auch eine bestimmte relative Feuchte im Raum (bzw. in der Abluft) auszuregeln.

Erwärmung und Kühlung

Die einfachste Zustandsänderung in der Klimaanlage ist die Temperaturänderung durch Erwärmung oder Kühlung. Da der Luft währenddessen weder Wasser noch Dampf entzogen oder zugeführt wird, verläuft der Vorgang entlang der senkrechten x-Linie (konstante absolute Feuchte). Die Geschwindigkeit der Temperaturänderung ist abhängig von der jeweiligen Leistungszufuhr im Kühl- oder Heizregister. Bei Erwärmung wandert der Zustandspunkt im hx-Diagramm auf der Senkrechten nach oben, bei Abkühlung nach unten. Wird die Taupunkttemperatur unterschritten, verläuft die

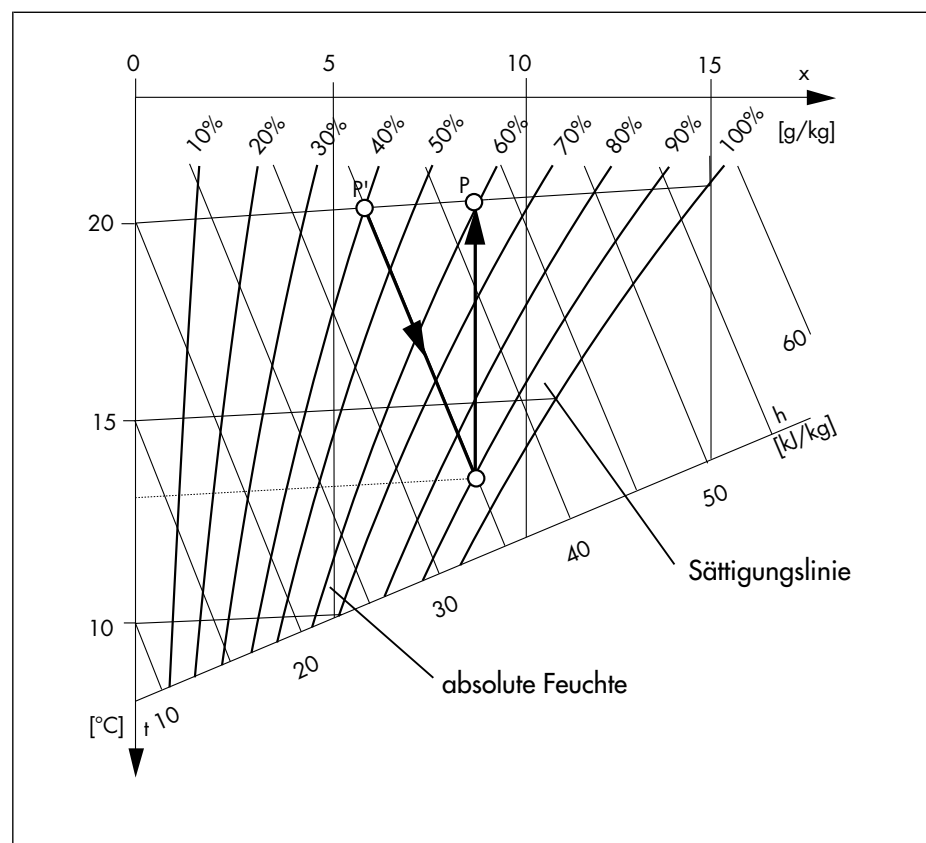


Bild 16: Befeuchtung und Temperaturerhöhung im hx-Diagramm

weitere Abkühlung – bei einhergehender Wasserausscheidung – entlang der Sättigungslinie.

Wesentlich komplexer sind die Regelvorgänge bei der Be- und Entfeuchtung.

Zur Befeuchtung nimmt die Luft im Sprühbefeuchter Wasser in Form von Dampf auf, bis der Sättigungszustand erreicht ist (Bild 16). Da der Luft währenddessen keine Wärme zu- oder abgeführt wird (Umlaufwasser: gleiche Luft- und Wassertemperatur), bleibt die Enthalpie h konstant. Ausgehend vom Anfangswert verläuft die Zustandsänderung des Befeuchtungsvorganges im hx -Diagramm entlang der h -Linie (Linie konstanter Enthalpie h). Die mit der Befeuchtung einhergehende Temperaturabsenkung wird im Nacherhitzer entsprechend der Sollwertvorgabe ausgeglichen.

Luftbefeuchtung

Zur Lufttrocknung nutzt man die Wasserausscheidung, die einsetzt, wenn feuchte Luft bis unter die Taupunkttemperatur abgekühlt wird (Sättigungskennlinie). Dazu strömt die Luft über Kühlrippen, deren Temperatur

Lufttrocknung

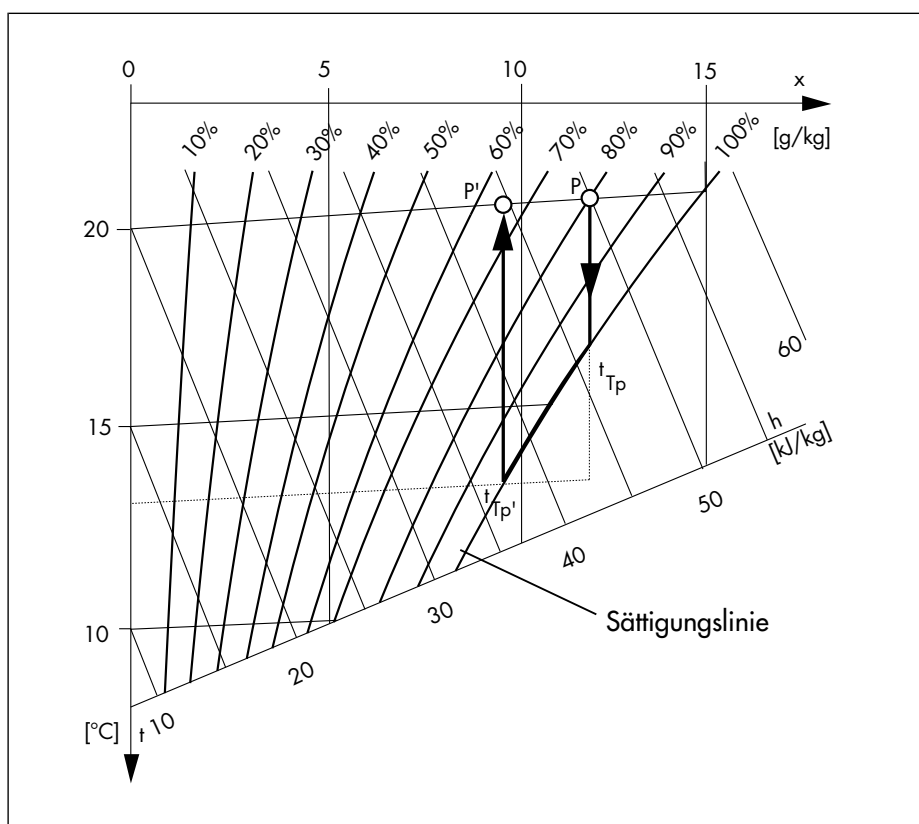


Bild 17: Lufttrocknung im hx -Diagramm

unterhalb des Taupunktes liegt. Die Abkühlung der Luft entspricht im h_x -Diagramm einer Zustandsänderung entlang der senkrechten x -Linie. Bei einer Absenkung bis unter die Taupunkttemperatur kondensiert ein Teil des Wasserdampfes an den Rippen, so dass die Zustandsänderung entlang der Sättigungslinie bei 100 % relativer Feuchte verläuft (Bild 17). Um den zum Luftzustand P' passenden Feuchtegehalt (x in Gramm Wasser pro kg Luft) zu erreichen, muss der Taupunktregelkreis auf den zugehörigen Temperatursollwert eingestellt werden (h_x -Diagramm: t_{Tp}').

Diese Form der Lufttrocknung hat zur Folge, dass im Anschluss an die Entfeuchtung eine Erwärmung im Nacherhitzer erforderlich wird, um somit den geforderten Feuchte- und Temperatursollwert zu erreichen (Bild 17).

Ein wesentlicher Nachteil der Lufttrocknung liegt im hohen Energieaufwand. Anders als im Winterbetrieb, wenn eine Befeuchtung der trockenen Raumluft das Wohlbefinden erheblich steigert, verzichtet man im Sommer – soweit vertretbar – auf den Entfeuchtungsbetrieb. Die Energiekosten für die Feuchteabsenkung im Sommer stehen häufig in einem unrealistischen Verhältnis zur Steigerung des Behaglichkeitsgefühl.

Direkte Feuchteregelung

Die Mess- und Stellelemente einer Klimaanlage, die mit direkter Feuchte- und Temperaturregelung arbeitet, verdeutlicht Bild 18. Abhängig von den Möglichkeiten des Temperaturregelkreises kann die Feuchteregelung unterschiedlich realisiert werden. Mögliche Varianten sind

- ▶ der Zuluftfeuchteregelkreis,
- ▶ der Abluft- oder Raumlufffeuchteregelkreis mit Maximalbegrenzung der Zuluftfeuchte und
- ▶ die Kaskadenregelung mit überlagertem Abluft- bzw. Raumlufffeuchteregelkreis.

Bei der direkten Feuchteregelung erfolgt die Trocknung – wie bei dem Taupunktregelverfahren – mittels Kühlregister durch Unterschreiten der Taupunkttemperatur. Zur Befeuchtung wird jedoch kein Sprüh-, sondern ein Dampfbofefeuchter verwendet. Dieser arbeitet mit Wasserdampf, der in den Luftkanal eingegeben wird. Gegenüber dem Sprühbofefeuchter lässt sich bei der Befeuchtung mittels Dampf die Luftfeuchte sehr gut direkt und stetig regeln.

Trocknung und Befeuchtung

Eine direkte Feuchte- und Temperaturregelung erfordert die in Bild 19 dargestellten Stellsignale für Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten. Bei Verwen-

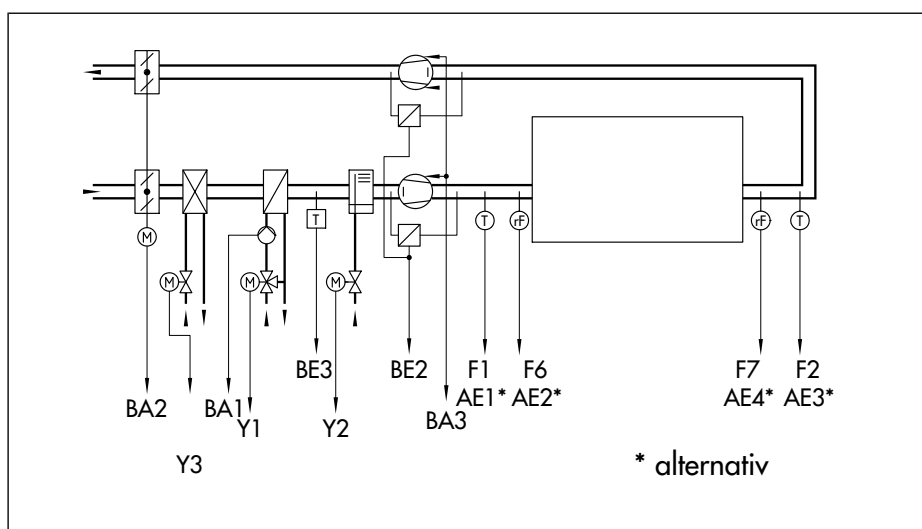


Bild 18: Klimaanlage mit direkter Feuchteregelung

- y_1 : Heizen
- y_2 : Befeuchten
- y_{3a} : Kühlen
- y_{3b} : Entfeuchten

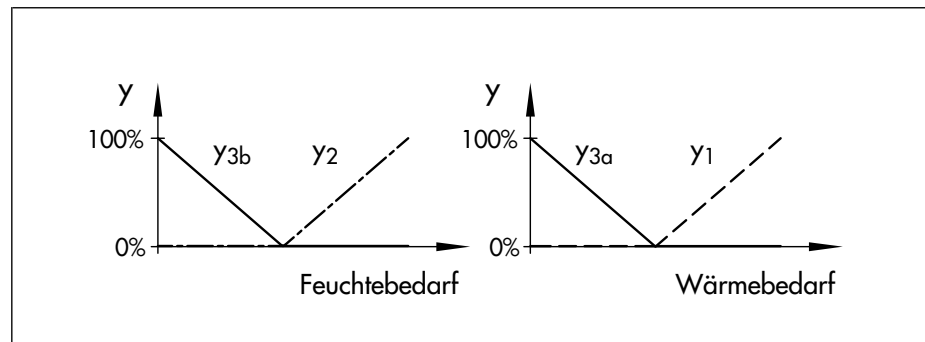


Bild 19: Feuchte- und Wärmebedarf bei direkter Feuchteregelung

dung von Niederdruck-Sattdampf wird der Luft während der Befeuchtung keine Verdampfungsenergie entzogen. Die Befeuchtung verläuft deshalb nahezu isotherm und der Temperaturregelkreis wird kaum vom Feuchteregelkreis beeinflusst. Es ist deshalb möglich, die Stellsignale des Feuchte- und Temperaturregelkreises intern zusammenzufassen ($y_3=y_{3a}=y_{3b}$) und mit diesem Signal das Kühlregister anzusteuern.

Da die Sollwertverschiebung des Temperaturregelkreises die Feuchteregelung nicht beeinflusst, lässt sich mit direkter Feuchteregelung das Prinzip der Sommeranhebung (Bild 12) leichter realisieren als mit dem Taupunktregelverfahren. Um diese energetisch sehr günstige Möglichkeit nutzen zu können, muss – wie schon erwähnt – ein Außenluftfühler vorgesehen werden.

Bei einer Klimaanlage mit direkter Feuchteregelung lässt sich die Mischluftkammer sehr vorteilhaft nutzen. Diese ermöglicht eine beachtliche Energieeinsparung, da aufgrund des Umluftanteiles ein Großteil der schon einmal aufbereiteten Luft zurückgewonnen wird.

Diesen Vorteilen der direkten Feuchteregelung steht gegenüber, dass die Taupunktregelung eine höhere Genauigkeit bei der Feuchte- und Temperaturregelung bietet. Bei erhöhten Anforderungen wird deshalb bevorzugt das Taupunktregelverfahren zum Einsatz kommen.

Anhang A1: Ergänzende Literatur

- [1] Begriffe und Symbole der Regelungstechnik
Technische Information L101; SAMSON AG
- [2] Regler und Regelstrecken
Technische Information L102; SAMSON AG

Bildverzeichnis

Bild 1: Zulufttemperaturregelung	5
Bild 2: Ablufttemperaturregelung / Kaskadenregelung	7
Bild 3: Regelprinzip der Ablufttemperatur-Kaskadenregelung	8
Bild 4: Rekuperative Wärmerückgewinnung, Kreuzstromwärmetauscher	9
Bild 5: Rekuperative Wärmerückgewinnung, kreislaufverbundene Wärmetauscher	10
Bild 6: Rekuperative Wärmerückgewinnung, Sequenzschema	11
Bild 7: Regenerative Wärmerückgewinnung.	13
Bild 8: Wärmerückgewinnung durch direkte Umluftbeimischung	14
Bild 9: Mischluftkammer in Sequenz	16
Bild 10: Unabhängige Mischlufttemperaturregelung	17
Bild 11: Außentemperaturgesteuerte Mischluftkammer	18
Bild 12: Sommeranhebung	20
Bild 13: hx-Diagramm	22
Bild 14: Bestimmung des Taupunktes im hx-Diagramm	23
Bild 15: Klimaanlage mit Taupunktregelung	25
Bild 16: Befeuchtung und Temperaturerhöhung im hx-Diagramm	26
Bild 17: Lufttrocknung im hx-Diagramm	27
Bild 18: Klimaanlage mit direkter Feuchteregelung	29
Bild 19: Feuchte- und Wärmebedarf bei direkter Feuchteregelung	30

NOTIZEN

NOTIZEN

SAMSON voll auf Qualitätskurs



Bvbi

ISO 9001

**Die Auszeichnung unseres Qualitäts-
sicherungsystems garantiert hohe
Produkt- und Dienstleistungsqualität.**



SAMSON AG · MESS- UND REGELTECHNIK · Weismüllerstraße 3 · D-60314 Frankfurt am Main
Telefon (069) 4 00 90 · Telefax (069) 4 00 95 07 · Internet: <http://www.samson.de>