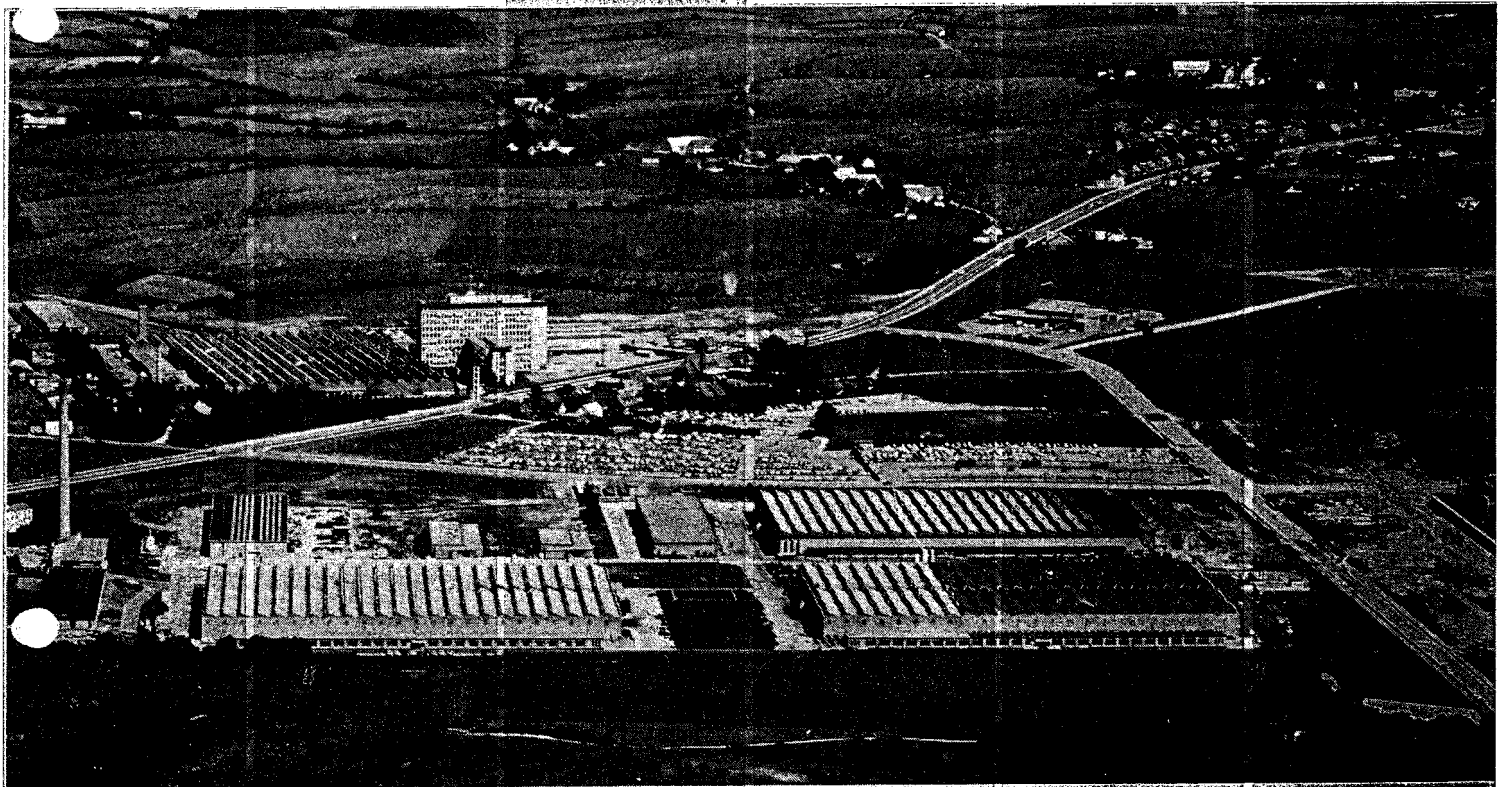


Danfoss

J. Gammelby
Dipl.-Ing.

Radiator Thermostaten



REGELAPPARATE FÜR
KALTANLAGEN

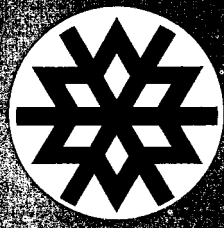
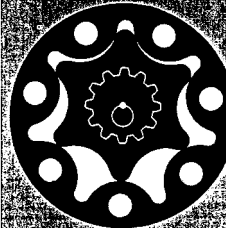
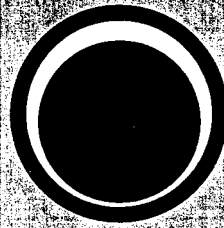
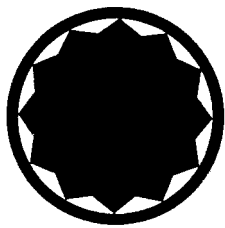
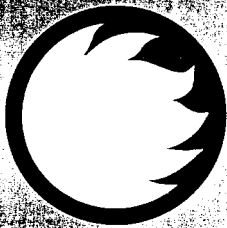
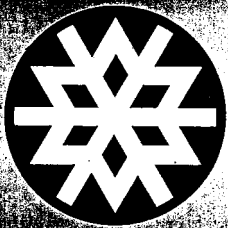
KOMPONENTEN FÜR
BRENNER UND
KESSEL

REGELAPPARATE FÜR
HEIZUNGSANLAGEN

MOTORSCHÜTZ-
SCHALTER UND
SCHÜTZE

ÖLHYDRAULISCHE
KOMPONENTEN

KOMPONENTEN FÜR
KÜHLMÖBEL



Vorwort

Eine Heizungsanlage muss so dimensioniert sein, dass sie an den kältesten Tagen des Jahres den Wärmeverlust eines Gebäudes ausgleichen kann. Dies ist und war schon immer das mindeste, was man von einer Anlage verlangt.

Heutzutage sind allerdings die Ansprüche erheblich grösser, und so erwartet man von einer modernen Heizungsanlage, dass auch die folgenden Bedingungen erfüllt werden:

- Wirtschaftlicher Betrieb, nicht zuletzt wegen der hohen und ständig steigenden Energiepreise.
- Konstante Einhaltung der gewünschten Temperatur in den einzelnen Räumen des Gebäudes.
- Vollautomatischer Betrieb bei einem Mindestmass an Regelung und Wartung.

Die derzeitige Entwicklung im Energiebereich hat die Notwendigkeit ergeben, weit mehr als bisher die für die Beheizung anfallenden Betriebskosten mit in Betracht zu ziehen. Das wiederum bedeutet, dass die Heizungsfachleute jederzeit mit den letzten Neuigkeiten auf dem Gebiet der Regeltechnik vertraut sein müssen.

Die Aufrechterhaltung einer konstanten Temperatur in den einzelnen Räumen ist deshalb so schwierig, weil die Räume ständig wechselnden Einflüssen ausgesetzt sind. Dabei ist nicht so sehr an Schwankungen der Aussentemperatur gedacht, sondern vielmehr an die durch Sonneneinstrahlung, Wärmeausstrahlung von Personen, Beleuchtungskörpern, Haushaltmaschinen, Radio- und Fernsehgeräten usw. entstehende Fremdwärme (Gratiswärme).

Das Mittel, um diesen Einflüssen begegnen und sie ausnützen zu können heisst:

Heizkörperthermostate.

Die Vorteile einer Anwendung von Heizkörperthermostaten sind:

- Heizkostensparnis um 20 % durch Ausnutzung der Fremdwärme.
- Individuelle Temperaturregelung in den einzelnen Räumen.
- Konstanthaltung einer jeweils gewünschten Raumtemperatur.
- Vollautomatischer Betrieb.
- Mindestmass an Regelung und Wartung.
- Preiswert in der Anschaffung.

Danfoss war einer der ersten Hersteller von Heizkörperthermostaten und ist seit mehr als 20 Jahren führend auf dem Markt.

Das diesem Produkt von Verbrauchern, beratenden Ingenieuren, Architekten und Installateuren entgegengebrachte Interesse hat ständig zugenommen, und letztlich hat die Energiekrise dieses Interesse noch weiter verstärkt.

Bisher wurden Heizkörperthermostate vorwiegend unter Aspekten des Komforts

konstante, individuelle Raumtemperaturen – eingesetzt. In der derzeitigen Energieversorgungslage mit steigenden Preisen hat diese Art des Komforts jedoch eine erhöhte Aktualität erlangt, weil man mit Heizkörperthermostaten durch Ausnutzung der Fremdwärme Heizkosten sparen kann.

Um weiteren Kreisen Kenntnisse über Heizkörperthermostaten zu vermitteln, sind im Laufe der Jahre im Danfoss Journal eine Reihe von Artikeln erschienen. Das neuerdings stark angewachsene Interesse für dieses Thema hat uns veranlasst, die wichtigsten dieser Aufsätze in der vorliegenden Sonderdruckschrift zusammenzufassen.

Heizkörperthermostate. - Grundsätze und Eigenschaften

EINLEITUNG

Wir haben bereits in einer früheren Journalausgabe eine Raumtemperaturregelung durch Heizkörperthermostate analysiert und dabei die für das gesamte System einschliesslich Raum, Heizfläche und Thermostat massgeblichen Erfordernisse beschrieben.

Im vorliegenden Artikel wollen wir nun die charakteristischen Eigenschaften verschiedener Thermostatelemente erörtern und dabei prüfen, wieweit die einzelnen Prinzipien die in einen guten Heizkörperthermostat gesetzten Erwartungen erfüllen können.

Thermostatische Arbeitsprinzipien

Die Aufgabe des Thermostatelements besteht darin, die Raumtemperatur zu fühlen, diese mit der gewünschten Temperatur zu vergleichen und daraufhin die Ventilstellung dem Unterschied entsprechend zu korrigieren (Abb. 1). Zur Umwandlung einer Temperaturveränderung in eine mechanische Bewegung bietet uns die Physik mehrere Möglichkeiten, von denen einige in den Abb. 2A – 2F dargestellt sind.

2A. Die Flüssigkeitsausdehnung ist von dem gewöhnlichen Quecksilberthermometer her bekannt. Für Thermostatelemente verwendet man jedoch mehr neutrale Flüssigkeiten wie z.B. Silikonöl oder Toluol. In einem Thermostatelement muss die Flüssigkeitsausdehnung in eine mechanische Bewegung umgesetzt werden können. Hierzu benutzt man ein Wellrohr (Faltenbalg) oder eine Membrane.

2B. Der über einer Flüssigkeitsoberfläche herrschende Satteldampfdruck hängt stark von der Temperatur an der Flüssigkeitsoberfläche ab. Dieser Effekt bewirkt keine direkte Volumen- oder Ausdehnungsänderung, ergibt jedoch in einem geschlossenen System eine Druckvariation. Wenn man den Dampfdruck auf ein Wellrohr oder auf eine Membrane mit konstanter Fläche einwirken lässt, entsteht eine Kraft. Wird nun diese Kraft durch eine Feder mit gegebener Federkonstante ausgeglichen, werden die Dampfdruckschwankungen in Ausdehnungsbewegungen umgeändert, die dann die Ventilschneidung beeinflussen können.

2C, 2D. Die Feststoffausdehnung bei Metallen, Gummi und Kunststoffen lässt sich direkt in eine mechanische Bewegung umsetzen und erscheint daher unmittelbar zur Ausnutzung in einem Thermostatelement geeignet. Da jedoch zur Erzeugung angemessener Kräfte und Bewegungen viel Material erforderlich ist, würden derartige Elemente zu langsam auf Temperaturänderungen ansprechen.

2E, 2F. Durch Schmelzen ergibt sich bei den meisten Stoffen eine Vergrößerung des Rauminhalts. Will man aber den

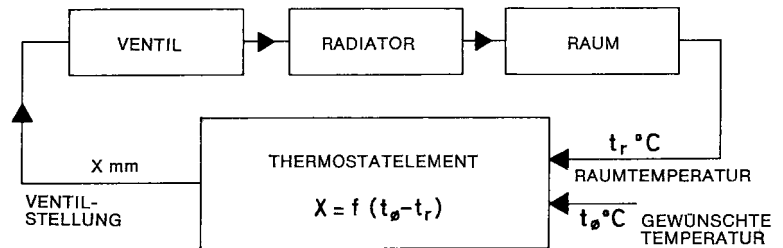


Abb. 1
Blockdiagramm über die Funktion eines Thermostatelements.

Schmelzeffekt in einem Heizkörperthermostat ausnutzen, so ist das nur bei Stoffen möglich, deren Schmelzpunkt innerhalb des normalen Raumtemperaturbereichs liegt. Am bekanntesten und am häufigsten angewandt sind einige Wachsmischungen, die sich beim Schmelzen ganz erheblich (ca. 10 %) ausdehnen. Solche Wachsmischungen haben keinen präzise festliegenden Schmelzpunkt sondern einen recht breiten, z.B. zwischen 10 und 30°C liegenden, Schmelzbereich. Diese Stoffe muss man genau wie die Flüssigkeiten eingekapselt halten. Die Ausdehnung wird durch einen flexiblen Dichtungsteil, in der Regel eine Gummimembrane oder einen Gummisack, auf die Ventilschneidung übertragen.

Funktionsansprüche

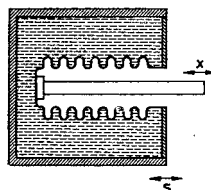
Mit sämtlichen vorgenannten Arbeitsprinzipien kann man bei vernünftiger Dimensionierung die Hauptfunktion, nämlich eine Bewegung der Ventilschneidung als Funktion der Raumtemperatur, erreichen. Unterschiede der einzelnen Prinzipien stellen sich erst dann heraus, wenn man beurteilen will, wie präzise diese Funktion jeweils ausgeführt wird.

Hysteresis. Wenn wir die von einem Thermostatelement ausgeführte Spindelbewegung erst bei ansteigender und danach bei zurückgehender Temperatur messen, werden wir zwischen den Punkten, in denen das Ventil gerade schliesst und wieder öffnet einen Temperaturunter-

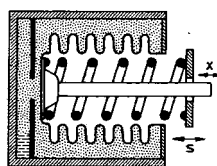
Abb. 2
In Heizkörperthermostaten angewandte thermostatische Arbeitsprinzipien.
x = Spindelwanderung.

s = Grundsätzl. Einstellmöglichkeit f. Regelpunkt.

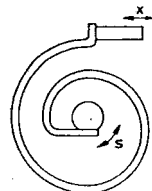
A. Flüssigkeitsausdehnung und Wellrohr



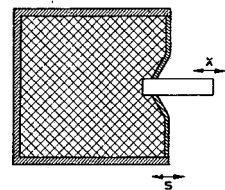
B. Dampfdruckanstieg und Wellrohereinstellung d. gewünscht. Temperatur (Regelpunkt) durch Einstellung der Gegendruckfeder



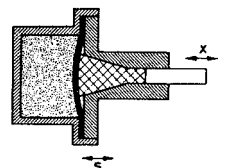
C. Feststoffausdehnung mit Bimetall



D. Feststoffausdehnung mit Gummiblock



E. Schmelzausdehnung mit Wachsfüllung und Gummimembrane



F. Schmelzausdehnung mit Wachsfüllung und Gummisack

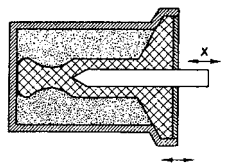


Abb. 3

Das Thermostatelement muss innerhalb eines passenden P-Bandes die Ventilspindel aus geöffnet in die geschlossene Stellung bewegen. In einem Thermostatelement ergibt sich durch Reibung ein Hystereseffekt. Diese Hysterese darf nicht zu gross sein; andernfalls wird die Regelung ungenau.

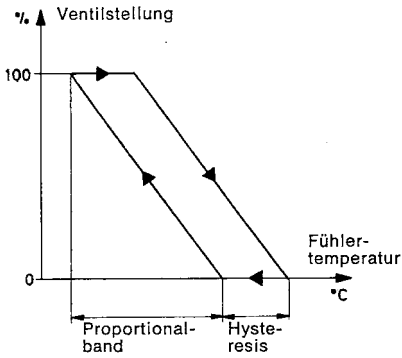


Abb. 4

Die Schliesscharakteristik eines Thermostatventils hängt von den Druckverhältnissen ab. Kurve 1 gilt für ein Thermostatelement ohne Gegendruck. Kurve 2 zeigt die Verschiebung, wenn der Gegendruck proportional mit dem Schliessen des Ventils ansteigt. Dieser Effekt rührt von der Elastizität des Thermostatelemente her, die daher nicht zu gross sein sollte.

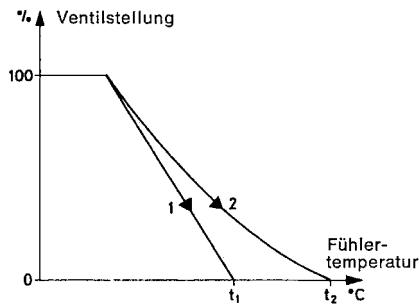
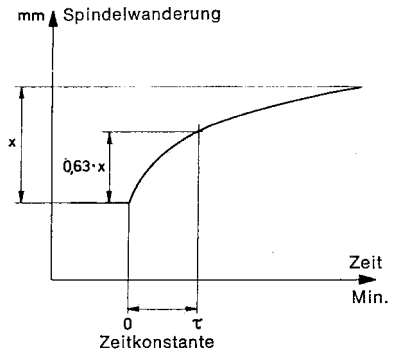


Abb. 5

Bei einer plötzlichen Änderung der Raumtemperatur zur Zeit 0 wird der Thermostat wie dargestellt reagieren. Die Zeitkonstante ist die Zeitspanne, die die Spindel für 63% ihres vollen Hubes benötigt. Dampfgefüllte Elemente (Abb. 2, Typ B) ergeben die kleinsten Zeitkonstanten.



schied feststellen, siehe Abb. 3. Dieser Unterschied, Hysterese genannt, ergibt sich aus Reibungswiderständen im Thermostatelement. Für eine gute Regelung sollte die Hysterese möglichst klein gehalten werden. Beim Vorhandensein dieser Eigenschaft wären die Arbeitsprinzipien nach Abb. 2A und 2B zu wählen, da diese eine sehr niedrige Reibung aufweisen.

Elastizität. Das Thermostatelement muss die Ventilspindel gegen unterschiedliche Drücke gegen den Ventilegel bewegen. Da die angewandten physikalischen Systeme alle elastisch sind, ergibt sich eine Rückwirkung, durch die sich der Schliesspunkt des Heizkörperthermostats verschiebt, – oder anders ausgedrückt: Durch die erwähnte Rückwirkung ergeben sich bei gleicher Einstellung unterschiedliche Raumtemperaturen (Abb. 4). Bei den Arbeitsprinzipien 2A, 2B und 2C kann man bei der Konstruktion und Bemessung diesen Umstand voll berücksichtigen, während es bei den Systemen 2D, 2E und 2F schon schwieriger ist, die Elastizität der Gummiteile zu beherrschen.

Zeitkonstante. Zum Zwecke einer angemessen schnellen und stabilen Regelung darf ein Heizkörperthermostat nicht zu langsam auf Temperaturschwankungen ansprechen. Die Zeitkonstante (siehe Abb. 5) ist von der Oberfläche und der spezifischen Wärme des Fühlers abhängig, sodass sich bei Arbeitsprinzipien mit Feststoff- bzw. Schmelzfüllungen zu lange Zeitkonstanten ergeben können.

Ausführungen. Jeweils von den Radiatoren und Einbauverhältnissen abhängig besteht ein Bedarf an Heizkörperthermostaten in verschiedenen Ausführungen, siehe Abb. 6. Die Ausführung 6B ist am vorteilhaftesten mit Dampfzuführung, wobei sich zugleich der kleinste Fühler ergibt. Die Ausführung 6C mit Feineinstellung ist am besten mit Flüssigkeitsfüllung herzustellen, da dabei die Flüssigkeit direkt als hydraulisches Übertragungselement dienen kann.

Zwar kann man für andere Thermostatelemente mechanische oder hydraulische Übertragungseinheiten einsetzen, jedoch

würden sich dabei praktisch zu grosse Reibungswiderstände und somit Hysterese ergeben.

Eine **Vorlauf temperaturabhängigkeit** kommt besonders bei Thermostatelementen mit eingebautem Fühler vor, da bei diesen eine Wärmeübertragung zwischen dem Ventilgehäuse und dem Fühler des Elements stattfindet, siehe Abb. 7. Diese Abhängigkeit sucht man vorwiegend durch Verwendung isolierender Kunststoff für den Sockel des Thermostaten zu mindern. Trotzdem ist es bei Feststoff- bzw. Schmelzfüllungen schwierig, die Abhängigkeit auf ein unbedeutendes Mass zu reduzieren. In den dampfgefüllten Danfoss-Elementen ist die Abhängigkeit

dadurch stark gemindert, da sich die dampfdruckbestimmende Flüssigkeitsoberfläche im äussersten Ende des Thermostatelements befindet (siehe Abb. 6A), nämlich dort, wo die Temperatur am ehesten der Raumtemperatur entspricht. Bei Elementen mit Fernfühler ist dieses Problem allgemein geringer, aber auch bei diesen Ausführungen bietet das dampfgefüllte Element (Abb. 6B) einen Vorteil, weil sich die temperaturempfindliche Flüssigkeitsoberfläche stets im Fühler befindet. Die Abhängigkeit von der Temperatur des Ventilgehäuses ist somit ganz beseitigt. Daher sind auch die meisten der auf dem Markt befindlichen Thermostate mit Fernfühler mit Dampfzuführung ausgeführt.

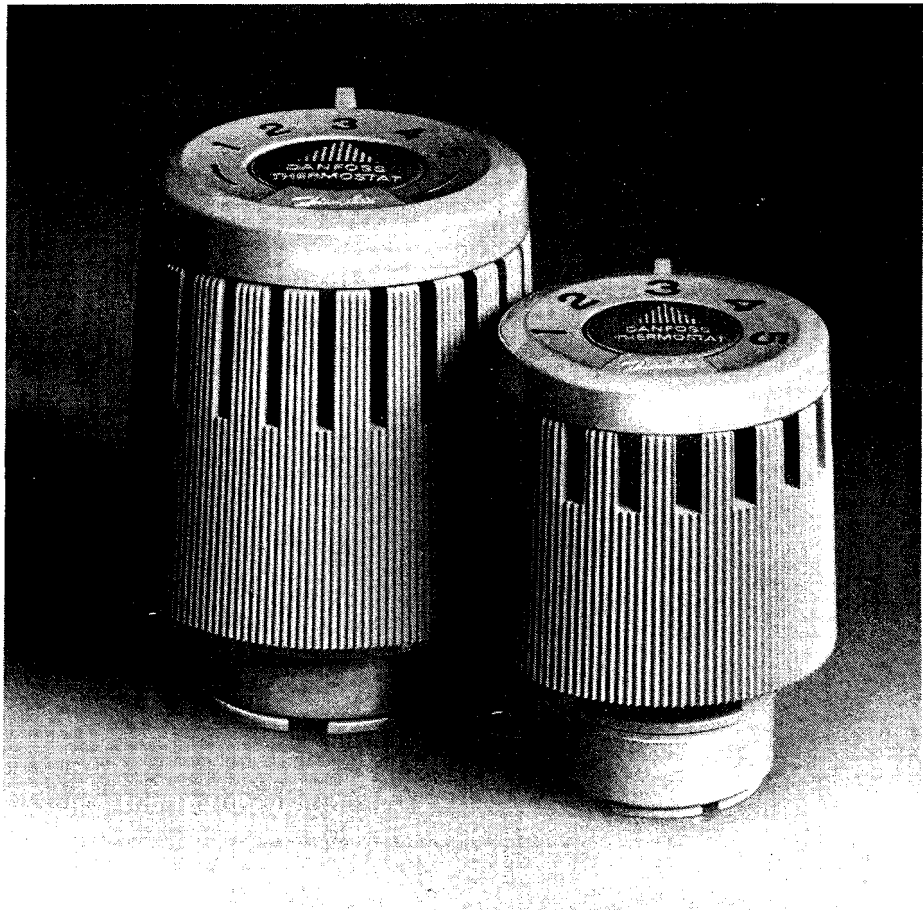
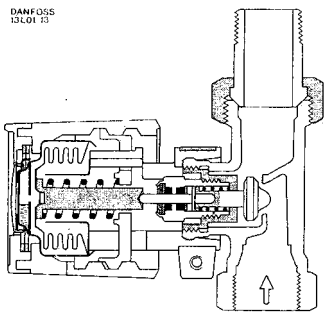
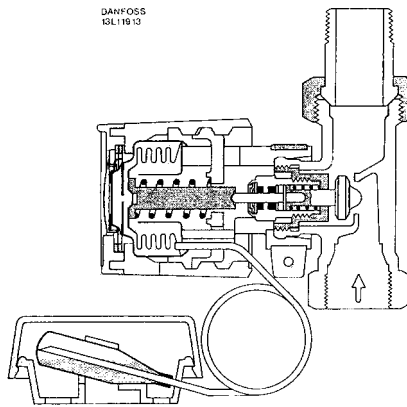


Abb. 6
Heizkörperthermostate in verschiedenen
Ausführungen:
A. Mit Einbaufühler und Einstellung direkt
am Ventil



B. Mit Fernfühler und Einstellung direkt am
Ventil



C. Mit Fernfühler und Ferneinstellung

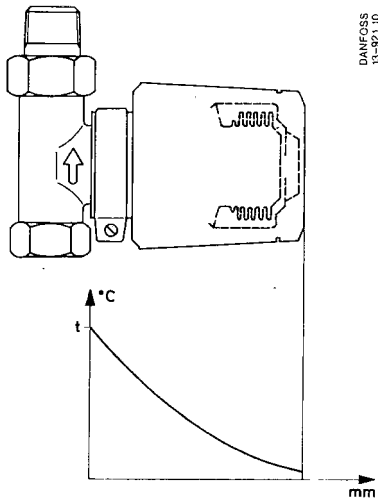
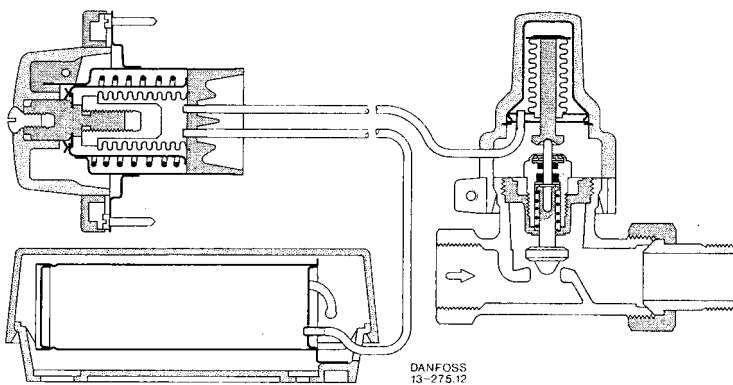


Abb. 7
Vorlauftemperaturabhängigkeit. Ein direkt
am Ventilgehäuse montiertes Thermostatele-
ment wird von dessen Temperatur beeinflusst.
Dieser Einfluss ist am äussersten Ende
des Thermostats am geringsten, daher sollte
hier die temperaturempfindliche Füllung ange-
ordnet sein, siehe Abb. 6A.

Schlussfolgerung

Bei Danfoss hat man im Laufe der Jahre
alle vorgenannten Thermostatprinzipien
erprobt und dabei festgestellt, dass
für Heizkörperthermostaten mit Einstellung
direkt am Ventil das dampfgefüllte
Element die meisten Vorteile bietet.
Für Ausführungen mit Ferneinstellung ver-
wendet man flüssigkeitsgefüllte Thermo-
state mit 2 Wellrohren.
Diese beiden Prinzipien mit präzisions-
gefertigten Metallwellrohren sind zwar
nicht am preiswertesten, aber sie besitzen
die besten Thermostateigenschaften
und ergeben die längste Lebensdauer,
da es sich um Systeme ohne Reibungs-
widerstand und somit ohne Abnutzung
der beweglichen Teile handelt.

Danfoss Heizkörperthermostate

Konstruktion und Wirkungsweise

Danfoss Heizkörperthermostate sind selbsttätige Proportionalregler, d.h. sie arbeiten modulierend ohne Anwendung von Hilfsenergie. Jeder Heizkörperthermostat besteht aus einem thermostatischen Element und einem Ventilgehäuse.

Die thermostatischen Elemente

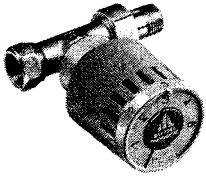


Abb. 1. Heizkörperthermostat mit Element mit eingebautem Fühler.

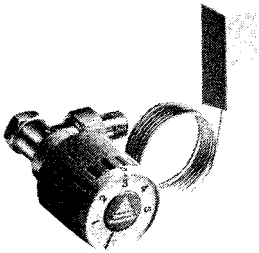


Abb. 2. Heizkörperthermostat mit Element mit kapillarrohrverbundenem Fühler (Fernfühler).

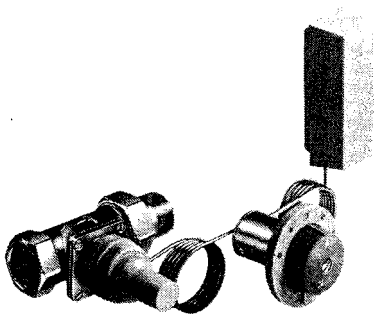


Abb. 3. Heizkörperthermostat mit Element mit kapillarrohrverbundenem Fühler und kapillarrohrverbundenem Einstellteil (Zentraleinstellelement).

Danfoss bietet drei verschiedene Elemente an:

- Element mit eingebautem Fühler, Abb. 1.
- Element mit Fernfühler, Abb. 2.
- Zentraleinstellelement, Abb. 3.

Die thermostatischen Elemente sind von der Bauweise her unterschiedlich, weil nur dadurch unter jeweils wechselnden Montageverhältnissen eine optimale Regelfähigkeit gewährleistet ist.

Wirkungsweise

Das thermostatische Element besteht im Prinzip aus einem Fühler, einem Wellrohrsystem und einer Einstellfeder. Fühler und Wellrohr sind entweder durch eine Bohrung (Abb. 4) oder durch ein Kapillarrohr (Abb. 5 und 6) miteinander verbunden und bilden ein geschlossenes System. Das System enthält eine »thermostatische« Füllung, die die Raumtemperatur in eine Kraft umzusetzen vermag.

Einer gegebenen Fühlertemperatur entspricht ein bestimmter Druck im Wellrohrsystem. Dieser Druck wird in eine Kraft umgewandelt, die über einen Druckstift auf den Ventilkegel übertragen wird.

Die Kraft ist durch die Einstellfeder ausgeglichen, so dass einer gegebenen Fühlertemperatur eine gegebene Öffnung zwischen Ventilkegel und Ventilsitz entspricht.

Durch Drehen des Handgriffs am Element lässt sich die Kraft der Einstellfeder ändern. Bei einer Änderung der Federkraft wird der »Gleichgewichtspunkt« zwischen Federkraft und Wellrohrkraft verschoben. Ein neuer Gleichgewichtszustand ergibt sich, sobald die Raumtemperatur sich der neuen Einstellung entsprechend geändert hat.

Danfoss verwendet zwei verschiedene Füllungen:

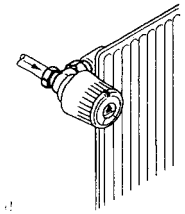
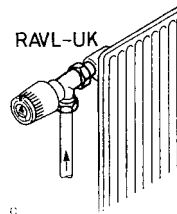
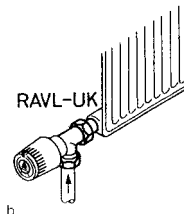
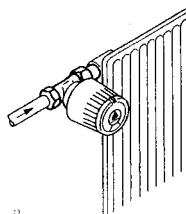
Dampffüllung und Flüssigkeitsfüllung. Die thermostatischen Elemente mit eingebautem Fühler und Fernfühler haben Dampffüllung.

Zentraleinstellelemente haben Flüssigkeitsfüllung.

Eine Dampffüllung besteht aus etwas Flüssigkeit und dem gesättigten Dampf dieser Flüssigkeit. Bei einer Erwärmung des Fühlers wird ein Teil der Flüssigkeit verdampfen und dadurch der Druck im System ansteigen. Dieser Druckanstieg beeinflusst die Ventilspindel und somit die durch das Ventil strömende Wassermenge. Bei einer Abkühlung des Fühlers fällt der Druck im System, weil sich ein Teil des Dampfes wieder verdichtet, und somit ändert sich auch die Durchflussmenge entsprechend.

Bei Verwendung einer Flüssigkeitsfüllung ist das gesamte Fühlersystem mit Flüssigkeit gefüllt. Dabei wird die einer Flüssigkeit eigenen Fähigkeit, ihr Volumen jeweils nach ihrer Temperatur zu ändern, ausgenutzt. Fühlersysteme mit Flüssigkeitsfüllung haben verhältnismässig grosse Fühler. In einem ganz mit Flüssigkeit gefüllten System kann jeder Teil desselben als Fühler wirken. Daher ist es notwendig, den Rauminhalt des eigentlichen Fühlers gegenüber dem übrigen System so gross wie möglich zu gestalten.

Abb. 7. Elemente mit eingebautem Fühler müssen stets mit waagrecht orientierter Achse eingebaut werden, was wiederum besagen will, dass das Ventilgehäuse mit waagrecht liegender Spindel zu montieren ist.



Das thermostatische Element wird jeweils nach der Fühleranordnung und dem gewählten Ventilgehäuse bestimmt.

Element mit eingebautem Fühler, Abb. 4. Das einfachste und am häufigsten eingesetzte Element hat einen in den Einstellteil eingebauten Fühler. Um die Wärmeübertragung zwischen dem warmen Ventilgehäuse und dem Element möglichst zu begrenzen ist die Verbindung aus Kunststoff hergestellt. Als Voraussetzung für die Anwendung dieses Elements gilt, dass es ungehindert von der Raumluft bestrichen werden kann.

Elemente mit eingebautem Fühler müssen stets mit waagrecht orientierter Achse eingebaut werden, das bedeutet, dass das Ventilgehäuse mit waagrecht liegender Spindel zu montieren ist. Siehe Abb. 7a, b, c und d.

Durch die waagrechte Montage des Elements wird verhindert, dass die aufsteigende Wärme des Zulaufrohres den Fühler beeinflussen kann. Bei einer Anordnung des Elements gemäss Abb. 7e wird nicht, wie gewünscht, die Raumtemperatur, sondern die Wärme vom Ventilgehäuse den Regelungsverlauf bestimmen.

Element mit Fernfühler, Abb. 5. Wenn die Möglichkeit gegeben ist, dass das Ventil z.B. von einer Gardine oder einem Möbel verdeckt, dicht unter einem Fensterbrett oder sonst in einem Wärmestau montiert wird, so ist ein Element mit Fernfühler zu verwenden. Der Fühler kann entweder neben der Gardine in 1,5 m Höhe oder unter dem Heizkörper ca. 8 cm über dem Fussboden an der Wand befestigt werden, sodass auf jeden Fall die unbewälzte Raumluft »gefühl« wird. Da sich die Flüssigkeit im Fühler befindet, ist die Einbaulage der Ventilspindel von untergeordneter Bedeutung. Dagegen ist es nicht unwichtig wie der Fühler angeordnet wird. Bei einer Fühleranordnung niedriger als das Element, kann der Fühler sowohl waagrecht als senkrecht gerichtet sein. Wenn aber der Montageort höher als das Element gewählt ist, so muss der Fühler senkrecht mit nach unten gerichteten Kapillarrohr angebracht werden. Siehe Abb. 7f. Thermostatische Elemente mit eingebautem Fühler oder Fernfühler können nicht in Verbindung mit Induktions-Units oder anderen Geräten mit Kaltwasserdurchfluss verwendet werden.

- A. Fühler
- B. Wellrohrelement
- C. Einstellfeder

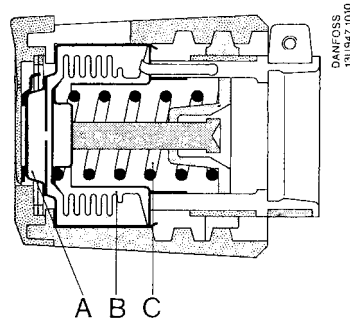
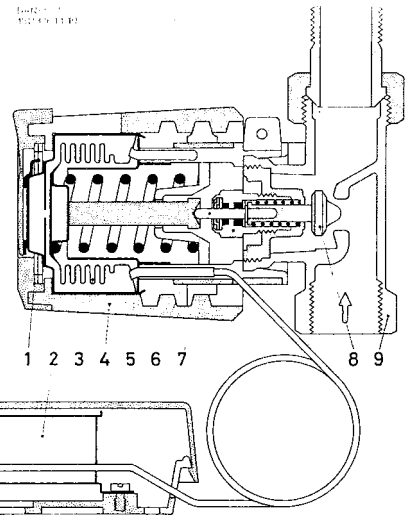


Abb. 4. Element mit eingebautem Fühler Typ RAV und RAVL.



1. Thermostatisches Element
2. Fühler
3. Wellrohr
4. Handgriff
5. Einstellfeder
6. Druckstift
7. O-Ringstopfbüchse
8. Ventilkegel
9. Ventilgehäuse

Abb. 5. Heizkörperthermostat mit Fernfühler, Typ RAV und RAVL.

- A. Einstellteil
- B. Fühler
- C. Regelteil
- D. Ventilgehäuse

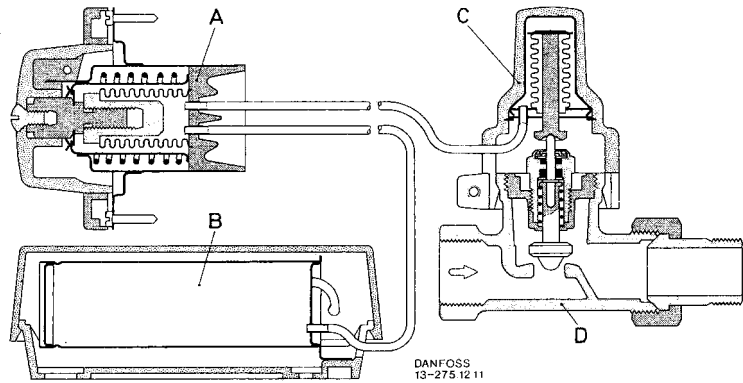
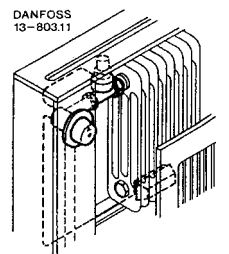
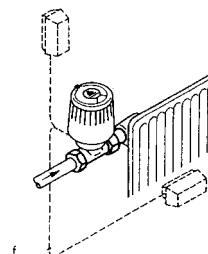
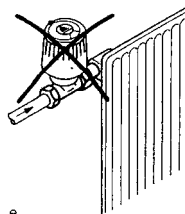


Abb. 6. Heizkörperthermostat mit Zentraleinstellelement, Typ CEE.

Zentraleinstellelement, Abb. 6. Zentraleinstellelemente sind für Ventilgehäuse vorgesehen, die an Induktions-Units oder Fan-Coil-Units montiert sind. Sie können aber auch mit grossem Vorteil in Verbindung mit verkleidet oder abgeschirmt angeordneten Radiatoren herrkömmlicher Bauart Verwendung finden, – siehe Abb. 7g.

Das Zentraleinstellelement kann u.a. in Verbindung mit den Danfoss Ventilgehäusen Typ RAV-8 und RAV-2 eingesetzt werden. Die Anordnung des Fühlers kann beliebig erfolgen. Für den Typ RAVL gibt es kein Zentraleinstellelement.

Elemente mit Fernfühler können in beliebiger Lage eingebaut werden. Die Anordnung/Orientierung des Fernfühlers geht aus den Abbildungen f, g hervor.



Ventilgehäuse

Die Auswahl an unterschiedlichen Ventiltypen ist bei Danfoss so gross, dass alle einschlägig bekannten Warmwasser-radiatoren und -konvektoren mit Heizkörperthermostaten ausgerüstet werden können.

Das Ventilgehäuse besteht aus vernickeltem Messing. Der aus Chromstahl gefertigte Druckstift arbeitet in einer dauergeschmierten O-Ringstopfbüchse. Der O-Ring besteht aus EPDM-Gummi, der Ventilkegel aus Nitrilgummi. Bei der Lieferung ist das Ventilgehäuse mit einer Schutzkappe mit Schlitzschraube versehen. Diese Kappe schützt den Druckstift und die Stopfbüchse und muss bis zum Einbau des Elements am Ventilgehäuse belassen werden. Während der Bauperiode kann die Heizung mit Hilfe der Schlitzschraube geregelt werden.

Die Typen RAV-/8 und RAVL-/6 (Abb. 9 und 10) finden an folgenden Anlagen Verwendung:
Zweirohr-Zentralheizungen mit Zwangsumlauf (Pumpenumwälzung).
Fernheizungsanlagen mit Wärmeaustauscher.

Fernheizungsanlagen mit direktem Anschluss, deren Differenzdruck durch Differenzdruckregler reduziert und geregelt wird.

Typ RAVL-/6 UK (Abb. 11) ist eine ursprünglich für Montage unten am Heizkörper vorgesehene Eckausführung, die aber jetzt vorteilhaft beliebig für Montage seitlich oder unten am Radiator eingesetzt werden kann, – siehe Abb. 7b, c. Ein Vorteil dieser Eckventilausführung besteht darin, dass man sie jederzeit mit einem Element mit eingebautem Fühler ausrüsten kann, falls die Raumluft ungehindert am Element vorbeistreichen kann.

Typ RAV-/2 (Abb. 12) findet an folgenden Anlagen Verwendung:
Einrohr-Zentralheizungen
Zweirohr-Zentralheizungen mit natürlicher Umwälzung
Typ RAVL15/6T (Abb. 13 und 14) ist für Einrohranlagen mit Kupferrohren oder Präzisionsstahlrohren vorgesehen.

Zum Zwecke eines einfachen Seitenanschlusses des Typ RAVL 15/6T ist das durch den Verschraubungsrippe geführte Verteilerrohr – die Lanze – geteilt.

Mit den praktischen und montagefreundlichen Heizkörper-Vorschaltgeräten Typ RAK (Abb. 15) und RAKE (Abb. 16) ist eine schnelle und einfache Installation möglich. RAK ist für Zweirohranlagen, RAKE für Einrohranlagen vorgesehen.

Der Typ RAVL ist in Ausführungen mit Kombinations-Ventilgehäusen lieferbar, – das sind Gehäuse, die man nach Belieben an Gewinde-, Kupfer- und Präzisionsstahlrohre anschliessen kann, – siehe Abb. 17.

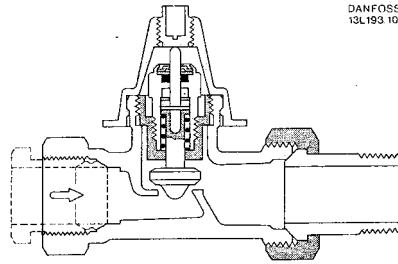


Abb. 8. Heizkörperthermostatventil im Schnitt.

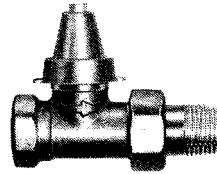


Abb. 9. Heizkörperthermostatventil in Durchgangsausführung Typ RAV-/8 und RAVL-/6.

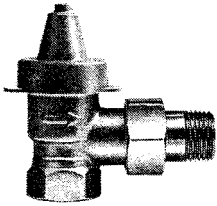


Abb. 10. Heizkörperthermostatventil in Eckausführung Typ RAV-/8 und RAVL-/6.

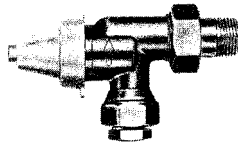


Abb. 11. Heizkörperthermostatventil Typ RAVL-/6 UK.

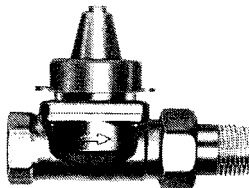


Abb. 12. Heizkörperthermostatventil in Durchgangsausführung Typ RAV-/2. Auch als Eckventil lieferbar.

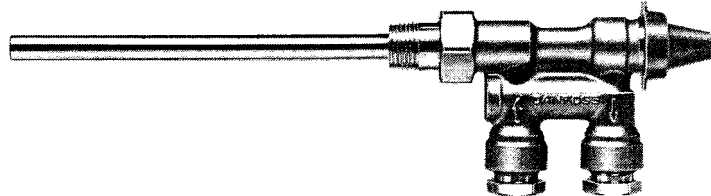


Abb. 13. Heizkörperthermostatventil mit Umlauf Typ RAVL 15/6T für Seitenanschluss.

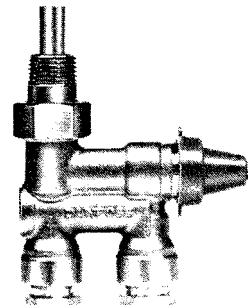


Abb. 14. Heizkörperthermostatventil mit Umlauf Typ RAVL 15/6T für Bodenanschluss.

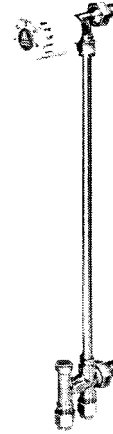


Abb. 15. Heizkörper-Vorschaltgerät Typ RAK für Zweirohranlagen mit Bodenanschluss. Auch mit Seitenanschluss lieferbar. (Das Gerät ist mit montiertem thermostatischem Element dargestellt).

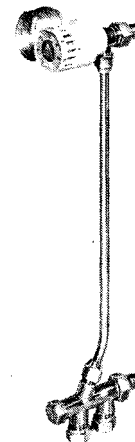


Abb. 16. Heizkörper-Vorschaltgerät Typ RAKE für Einrohranlagen mit Bodenanschluss. (Das Gerät ist mit montiertem thermostatischem Element dargestellt).

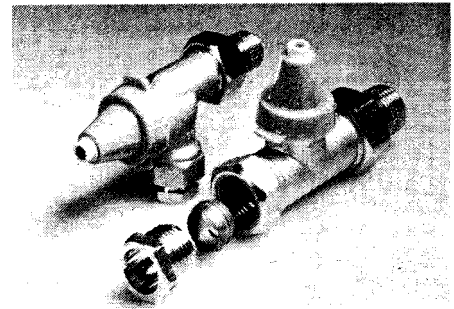


Abb. 17. Heizkörperthermostatventile mit Kombinationsgehäusen und Klemmringfittings für Kupfer- und Stahlrohre.

Wärmeregulierung in Heizkörpererwärmten Räumen

Einleitung

Eine Heizanlage sollte so dimensioniert werden, dass sie unter allen Bedingungen den Wärmeverlust des Gebäudes decken und die erwünschte Temperatur in den einzelnen Räumen des Gebäudes aufrechterhalten kann. Ferner müssen die einzelnen Wärmespender der Anlage, Heizkörper, Konvektoren u.ä. so gewählt und angeordnet werden, dass sie kalten Luftströmen z.B. von Wänden und Fenstern möglichst gut entgegenwirken.

Durch eine gewöhnliche Wärmeverlustberechnung wird der maximale Wärmeverlust je Raum für gegebene Umgebungstemperaturen (z.B. -15°C Aussen-temperatur) und gewünschte Raumtemperatur (normalerweise 20°C) berechnet. Danach wird die für diese Wärmeleistung notwendige Heizkörpergrösse errechnet.

Wenn diese Berechnung richtig ist, hat man erreicht, dass die Wärmebilanz des Raumes unter maximalen Belastungsverhältnissen (niedrigste Aussen-temperatur) in Ordnung ist. Allgemein bekannt ist, dass die maximale Belastung nur äusserst selten vorkommt; eine Heizanlage ist die längste Zeit des Jahres weniger als bis zur Hälfte belastet (siehe Abb. 8). Unter diesen niedrigeren Belastungen ist eine Herabregelung der Leistung der Heizanlage notwendig, um eine unerwünscht hohe Raumtemperatur zu vermeiden. In der Praxis wird diese Regelung erreicht, indem man die Vorlauf-temperatur herabsetzt oder den Wasserfluss durch den Heizkörper drosselt, oft durch eine Kombination beider Teile. Bei der verbreiteten Handregelung nimmt der Benutzer die Regelung vor, teils durch Umstellen der Kesseltemperatur nach der Jahreszeit, teils durch Einstellen

des Heizkörperventils, wenn er es zu kalt oder zu heiss empfindet. Bei der automatischen Regelung muss das Regelorgan die Anpassung zwischen der Wärmeabgabe des Heizkörpers und dem Wärmebedarf des Raumes besorgen. Um für diesen Zweck das rechte Regelorgan zu entwickeln, muss die Wärmebilanz des Raumes unter auftretenden Belastungsverhältnissen sowohl statischer als dynamischer Art analysiert werden. In diesem Artikel behandeln wir in erster Linie die statischen Verhältnisse, die der Raumtemperaturregelung durch thermostatische Heizkörperventile zugrunde liegen.

Das statische Gleichgewicht

Abb. 1 zeigt einen Schnitt durch einen heizkörpererwärmten Raum mit Angabe der Bezeichnungen, die in den folgenden Berechnungen benutzt werden. Wir wollen hier nur die statischen Verhältnisse betrachten, d.h. die Verhältnisse, die vorherrschen, wenn zwischen der Wärmeabgabe des Heizkörpers und dem Wärmebedarf des Raumes Gleichgewicht besteht.

Die Wärmemenge, die dem Heizkörper vom Wasser zugeführt wird, muss der Wärmemenge entsprechen, die der Heizkörper an den Raum abgibt, was durch die folgende Gleichung ausgedrückt wird:

$$g c_v (t_f - t_r) = k_r F_r \Delta t_m \quad (1)$$

c_v ist die spezifische Wärme des Wassers je Liter, die gleich 1 gesetzt und deshalb in den folgenden Gleichungen ausgelassen werden kann. Δt_m ist die mittlere Temperaturdifferenz zwischen der Oberfläche des Heizkörpers und der Raumtemperatur. Bei einer Regelung der

Wassermenge erhält man eine grosse Abkühlung durch den Heizkörper, weshalb Δt_m als der logarithmische Mittelwert nach der folgenden Formel berechnet wird:

$$\Delta t_m = \frac{(t_f - t_s) - (t_r - t_s)}{\log_e \frac{t_f - t_s}{t_r - t_s}} \quad (2)$$

Der k-Wert des Heizkörpers, k_r , ist nicht konstant, sondern annähernd proportional der 3. Wurzel der mittleren Temperaturdifferenz. Da wir aber bei diesen Berechnungen darauf abzielen, die Anlage bei kleineren Schwankungen von gegebenen Zuständen aus zu untersuchen, können wir mit einer gewissen Annäherung k_r als konstant betrachten, wenn wir bei der Zahlenrechnung nur nicht vergessen, den richtigen k_r -Wert einzusetzen.

Für den Raum kann gesagt werden, dass die Wärmemenge, die vom Heizkörper und evtl. anderen Wärmequellen (Personen, Lichtquellen u.a.m.) zugeführt wird, gleich dem Wärmeverlust ist, den der Raum an die Umgebung hat, was die folgende Gleichung ergibt:

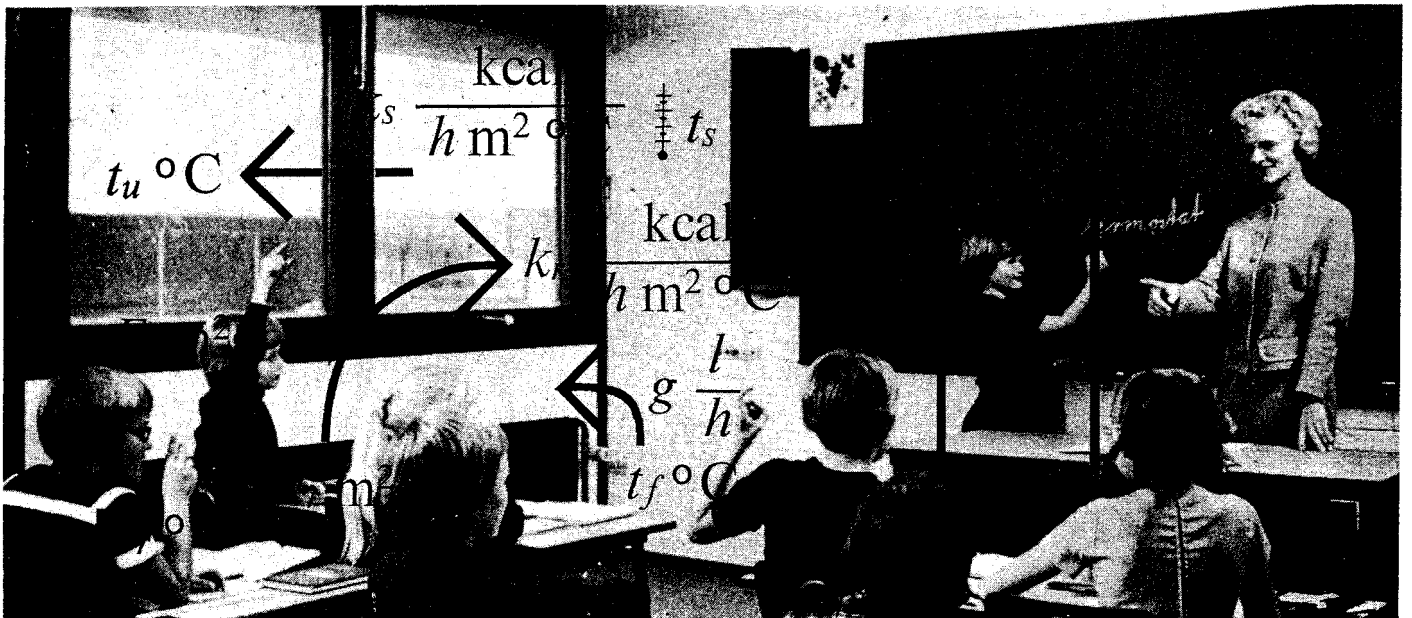
$$k_r F_r \Delta t_m + Q_o = k_s F_s (t - t_u) \quad (3)$$

Der Einfachheit halber haben wir hier für alle Begrenzungsflächen des Raumes die gleiche Umgebungstemperatur und den gleichen k-Wert angenommen. Wo dies nicht der Fall ist, lässt sich der Wärmeverlust des Raumes finden:

$$Q_s = \sum k_i F_i (t_s - t_i) \quad (4)$$

wo k_i und F_i sich auf Teile mit gemeinsamer Umgebungstemperatur und gemeinsamen k-Wert beziehen. Dies hat auf die folgenden Berechnungen

Abb. 1



keinen grundsätzlichen Einfluss, wo wir nur t_u als eine der möglichen veränderlichen Umgebungstemperaturen auffassen können.

Aus den Gleichungen (1), (2) und (3) können wir Δt_m und t_r eliminieren, und nach einigen Zwischenrechnungen erhalten wir für die Raumtemperatur die folgende Gleichung:

$$t_s = \frac{k_s F_s t_u + Q_o + g t_f \left[1 - \exp\left(-\frac{k_r F_r}{g}\right) \right]}{k_s F_s + g \left[1 - \exp\left(-\frac{k_r F_r}{g}\right) \right]} \quad (5)$$

Aus dieser Gleichung lässt sich die Raumtemperatur für eine Anlage mit bekannten Konstanten: k_s , F_s , k_r , F_r als Funktion der vier Veränderlichen: t_f , g , Q_o und t_u berechnen.

Für die Regelung ist es besonders von Interesse, den Einfluss der einzelnen Veränderlichen auf die Raumtemperatur zu kennen. Da die Gleichung (5) in den Veränderlichen nicht linear ist, lässt sich deren Einfluss nur als Funktion des Belastungszustandes bestimmen. Diese Funktionen werden aus der Gleichung (5) durch partielle Differentiationen bestimmt:

$$A_1 = \frac{\delta t_s}{\delta t_f} = \frac{g \left[1 - \exp\left(-\frac{k_r F_r}{g}\right) \right]}{k_s F_s + g \left[1 - \exp\left(-\frac{k_r F_r}{g}\right) \right]} \quad (6)$$

$$A_2 = \frac{\delta t_s}{\delta g} = \frac{(t_f - t_s) \left[1 - \exp\left(-\frac{k_r F_r}{g}\right) - \frac{k_r F_r}{g} \exp\left(-\frac{k_r F_r}{g}\right) \right]}{k_s F_s + g \left[1 - \exp\left(-\frac{k_r F_r}{g}\right) \right]} \quad (7)$$

$$A_3 = \frac{\delta t_s}{\delta Q_o} = \frac{k_s F_s}{k_s F_s + g \left[1 - \exp\left(-\frac{k_r F_r}{g}\right) \right]} \quad (8)$$

$$A_4 = \frac{\delta t_s}{\delta t_u} = \frac{1}{k_s F_s + g \left[1 - \exp\left(-\frac{k_r F_r}{g}\right) \right]} \quad (9)$$

Für kleinere Variationen aus einem gegebenen Zustand heraus lässt sich demnächst die Variation der Raumtemperatur aus der folgenden Gleichung berechnen:

$$\Delta t_s = A_1 \Delta t_f + A_2 \Delta g + A_3 \Delta Q_o + A_4 \Delta t_u \quad (10)$$

Hier werden die Werte A_1 , A_2 , A_3 und A_4 aus dem gegebenen Zustand heraus berechnet und hinsichtlich kleinerer Variationen von t_f , g , t_u und Q_o als konstant betrachtet.

Beispiel

Für einen Raum mit einer erwünschten Temperatur von 20°C und einem maximalen Wärmeverlust von 1800 kcal/h

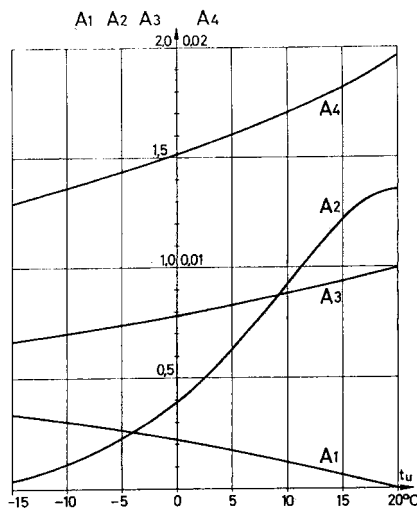


Abb. 2. Die Koeffizienten der Gleichung (10) als Funktion der Aussentemperatur für das im Text gegebene Zahlenbeispiel. Es wird vorausgesetzt, dass die Wassermenge auf eine konstante Raumtemperatur abgestimmt ist (20°C), während die Vorlauftemperatur konstant gehalten wird (90°C). Zu beachten ist, dass A_4 eigene Skala hat.

bei einer Aussentemperatur von -15°C ergeben sich bei Erwärmung mittels eines für $90^\circ/70^\circ\text{C}$ dimensionierten Heizkörpers die Konstanten:

$$k_s F_s = 52 \text{ kcal/h}^\circ\text{C} \text{ und } k_r F_r = 30 \text{ kcal/h}^\circ\text{C}$$

Aus den Gleichungen (6) bis (9) lassen sich die Abhängigkeitsfaktoren A_1 , A_2 , A_3 und A_4 als Funktion der Belastung errechnen, beispielsweise durch die Aussentemperatur ausgedrückt. Diese Funktionen sind in Abb. 2 eingezeichnet. Man erkennt besonders, dass die Einwirkung der Vorlauftemperatur auf die Raumtemperatur bei niedrigen Belastungen (hohe Aussentemperaturen) verhältnismässig klein ist, während der Einfluss der Wassermenge verhältnismässig gross ist.

Werden die berechneten Werte für $t_u = 0^\circ\text{C}$ in die Gleichung (10) eingesetzt, erhält man:

$$\Delta t_s = 0,22 \Delta t_f + 0,37 \Delta g + 0,78 \Delta t_u + 0,015 \Delta Q_o \quad (11)$$

Aus dieser Gleichung ist z.B. zu ersehen, dass ein Ansteigen der Aussentemperatur um 5°C eine um $3,9^\circ\text{C}$ höhere Raumtemperatur ergibt, wenn keine Regelung vorgenommen wird, und eine Wärmeentwicklung von 200 kcal/h , entsprechend 2 Personen im Raum, ergibt eine Raumtemperatursteigerung um 3°C , immer unter der Voraussetzung, dass die übrigen Veränderlichen konstant bleiben.

Regelungsformen

In regelungstechnischer Hinsicht werden Raum und Heizkörper als »Anlage« bezeichnet und sind in Abb. 3a als ein

Kasten dargestellt. Auf die Anlage wirken die Belastungsfaktoren t_u und Q_o . Die Grössen, die geregelt werden können, sind als regelbare Grössen bezeichnet, in der Abbildung also t_f und g . Alle diese Grössen beeinflussen den Zustand der Anlage und sind in der Abbildung deshalb mit nach innen gerichteten Pfeilen gezeigt. Diese Einwirkungen ergeben eine gewisse Raumtemperatur, mathematisch aus der Gleichung (5) bestimmt und in der Abbildung durch einen nach aussen gerichteten Pfeil dargestellt. Wenn eine Regelung der Anlage vorgenommen wird, wird die Raumtemperatur als die Regelgrösse bezeichnet, d.h. die Grösse, die geregelt werden soll.

Die Regelung kann auf zwei grundsätzlich verschiedene Weisen ausgeübt werden, wie in Abb. 3b und 3c veranschaulicht.

Kompensation

Durch Kompensation registriert man eine oder mehrere der belastenden Grössen und beeinflusst mit Hilfe eines Kompensators eine der regelbaren Grössen im richtigen Aussen-Innen-Steuerung, bei welcher der Kompensator die Aussentemperatur misst und mit Hilfe eines Mischventils die Vorlauftemperatur in einem im voraus festgelegten Verhältnis zur Aussentemperatur steuert. Das richtige Verhältnis wird durch die Gleichung (10) bestimmt, woraus zu ersehen ist, dass

$$\Delta t_f = -\frac{A_3}{A_1} \Delta t_u$$

sein muss, wenn die Raumtemperatur bei Schwankungen der Aussentemperatur konstant gehalten werden soll. Durch Einsetzen der Ausdrücke für A_1 und A_3 erhält man:

$$\Delta t_f = -\frac{k_s F_s}{g \left[1 - \exp\left(-\frac{k_r F_r}{g}\right) \right]} \Delta t_u \quad (12)$$

Wenn der Steuerungskompensator in Übereinstimmung hiermit eingestellt ist, so ist ein Auskompensieren der Einwirkungen durch die Aussentemperatur erreicht worden. Zu bemerken ist indessen, dass das richtige Kompensationsverhältnis von der Wassermenge g abhängt. Das bedeutet in der Praxis, dass die Kompensation nur richtig ist, wenn mit der Soll-Wassermenge im Heizkörper gefahren wird. Beispielsweise zeigt Abb. 4 die berechnete Raumtemperatur bei einer Kompensationsregelung des Raumes im oben genannten Zahlenbeispiel. Es ist vorgesehen, dass der Kompensator für 20°C Raumtemperatur eingestellt ist, und in Abb. 4a ist gezeigt, dass sich die Raumtemperatur bei voller Wassermenge (90 l/h) bei einer Schwankung der

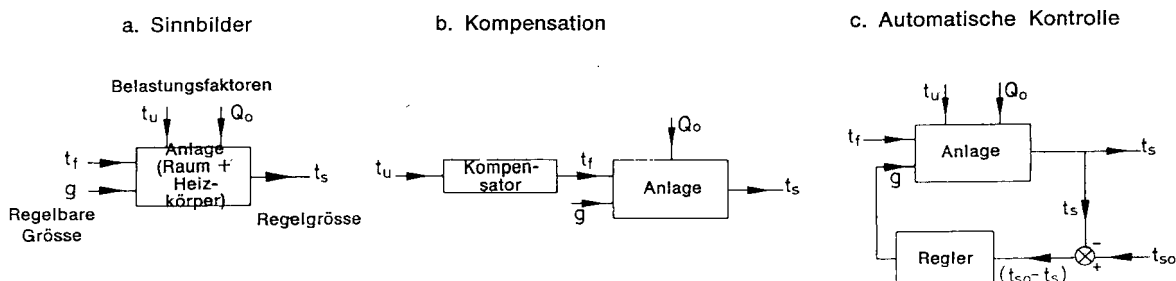


Abb. 3

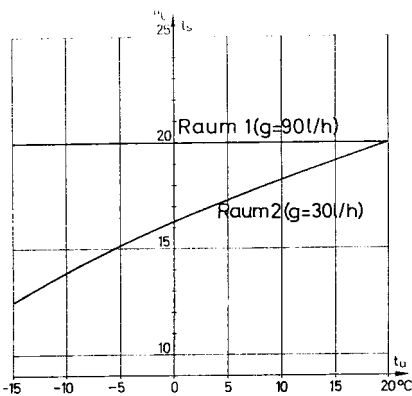


Abb. 4a. Die Raumtemperatur bei richtiger Kompensatorsteuerung, bezogen auf eine Raumtemperatur von 20°C (siehe Abb. 5). In Raum 1 ist das Heizkörperventil ganz geöffnet, und die Kompensation wirkt richtig. In Raum 2 hat man versucht, eine niedrigere Raumtemperatur durch Drosseln des Heizkörperventils aufrechtzuerhalten (vgl. Abb. 4b).

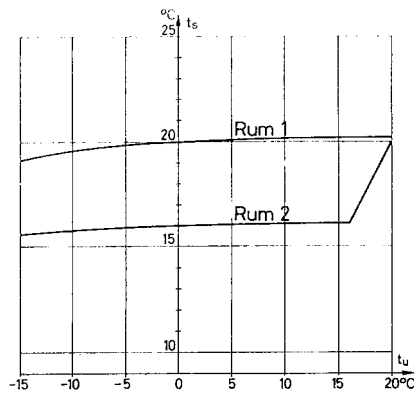


Abb. 4b. Die Abhängigkeit der Raumtemperatur von der Aussentemperatur durch Steuerung mit RAV. Zahlenbeispiel im Text. In Raum 1 ist das thermostatische Heizkörperventil auf 20°C bei 0°C Aussentemperatur eingestellt. In Raum 2 ist eine Herabregelung auf 16°C bei 0°C Aussentemperatur vorgenommen worden (vgl. Abb. 4a).

Aussentemperatur unverändert hält. Ist dagegen die Wassermenge herabgeregelt (z.B. um an einem Tag, an dem die Aussentemperatur 0°C beträgt, eine Raumtemperatur von 16°C zu erreichen), so wird die Kompensation nicht mehr für diesen Raum richtig sein. Übrigens sei erwähnt, dass der Bruch in der Gleichung (12) von k_r abhängt, die, wie früher erwähnt, nicht konstant ist. Ein guter Kompensator muss deshalb eine nichtlineare Charakteristik haben, wie in Abb. 5 gezeigt, die aufgrund des früheren Zahlenbeispiels berechnet ist. Als eine weitere bedeutende Begrenzung bei der Kompensatorregelung ist aus Abb. 3b oder Gleichung (10) ersichtlich, dass der Kompensator Schwankungen der Raumtemperatur infolge Änderungen der inneren Wärmeentwicklung oder der Wassermenge (Differenzdruck) nicht verhindern kann, siehe auch Abb. 7. Wenn die Kompensatormethode trotz dieser Mängel in der Praxis Verbreitung gefunden hat, so ist das auf folgendes zurückzuführen: Erstens ist sie eine wirtschaftlich erschwingliche Regelungsform bei grösseren Anlagen, bei denen nur ein Kompensator die Vorlauftemperatur nach vielen Räumen steuern kann. Zweitens ist die Regelung dort verwendbar, wo in der inneren Belastung der Räume keine grossen Schwankungen vorherrschen und wo die Anforderungen an die Konstanz der Raumtemperaturen nicht gross sind.

Automatische Regelung

Bei der von der Kompensation grundsätzlich verschiedenen Regelungsform, in Abb. 3c dargestellt, wird die Regelgrösse t_s registriert und mit dem erwünschten Wert t_{s0} verglichen, wonach der Regler eine regelbare Grösse in Übereinstimmung mit der Abweichung zwischen Sollwert und Istwert beeinflusst. In regelungstechnischer Hinsicht wird dies als geschlossener Regelkreis (siehe Abb. 3c im Vergleich mit 3b) oder im strengen Sinn als Regelung bezeichnet. Der grundsätzliche Unterschied gegenüber der Kompensation ist, dass der Regler jeglicher Beeinflussung der Anlage, die die Regelgrösse ändern würde, entgegenwirkt. Die in Abb. 3c erläuterte

Regelung, bei der die Wassermenge geregelt wird, entspricht einer Heizkörperthermostatsteuerung, die im folgenden Abschnitt eingehender behandelt werden wird. In der Praxis wird auch eine automatische Regelung durch Steuerung der Vorlauftemperatur verwendet, was einer Raumthermostatregelung der Ölheizung entspricht. Bemerkte sei jedoch, dass dabei nur von einer automatischen Regelung die Rede ist in dem Raum, in dem der Raumthermostat angeordnet ist. Was die übrigen Räume des Hauses betrifft, so wirkt diese Regelung als Kompensation.

Regelung durch thermostatisches Heizkörperventil

Das Diagramm Abb. 3c ist rein sinnbildlich, da es in der Praxis nicht möglich ist, 2 Temperaturen direkt zu vergleichen. Man muss zuerst die Temperaturen in physikalische Grössen umsetzen, die sich direkt vergleichen lassen. Im RAV-Thermostat wird so die Raumtemperatur durch das Wellroherelement in eine Kraft umgesetzt, die die Hauptfeder zusammendrückt, bis zwischen der Federkraft und den übrigen Kräften, die

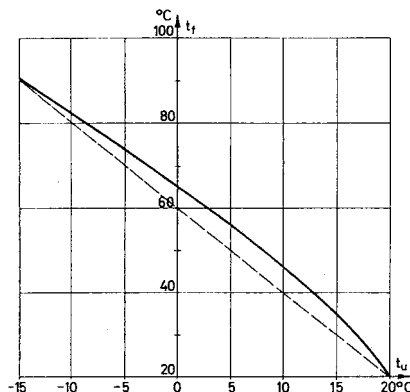


Abb. 5. Richtige Charakteristik für einen Kompensator für das im Text enthaltene Zahlenbeispiel, bezogen auf eine Raumtemperatur von 20°C. Die Abweichung von der linearen Charakteristik ist darauf zurückzuführen, dass der k -Wert des Heizkörpers mit der mittleren Temperaturdifferenz abnimmt.

auf die Spindel einwirken, ein Gleichgewicht erreicht wird. Die Lage des Gleichgewichtspunktes ist primär vom Gegenhaltepunkt der Hauptfeder bestimmt, der wiederum durch Einstellen der gewünschten Temperatur an der Skala bestimmt ist. Im Ergebnis bewirkt eine Änderung der Raumtemperatur eine proportionale Änderung der Lage der Spindel und damit der Öffnung des Ventils. Die Charakteristik des Heizkörperthermostats wird in Abb. 6 veranschaulicht. Was die Heizkörperthermostate von Danfoss betrifft, werden die Auslegungskurven immer entsprechend einer Abweichung von 2°C zwischen Fühlertemperatur und Einstelltemperatur angegeben. Wie aus Abb. 6 hervorgeht, können wir mit einer guten Annäherung innerhalb der 2°C mit einer Proportionalität zwischen Temperaturabweichung und Wassermenge rechnen. Die Wirkung des Heizkörperthermostats lässt sich mathematisch ausdrücken:

$$\Delta g = -A_0 \sqrt{\Delta t_s} \quad (13)$$

p wird hier in m WS gerechnet. Die Grösse A_0 , die durch die Konstruktion des Thermostats bestimmt ist, hat die Einheit Liter je Stunde und 0°C bei 1 m WS. Für den Typ RAV 10/8 beispielsweise, vgl. Abb. 6: $A_0 = 115 \text{ l/h}^\circ\text{C}$ bei 1 m WS.

Da wir bei der Regelung durch Heizkörperthermostat die Regelung ausschliesslich auf die Wassermenge g beziehen, müssen wir alle anderen Einwirkungen auf die Anlage als Belastungen betrachten. Werden diese Belastungsgrössen generell durch das Zeichen b bezeichnet, lässt sich die Gleichung (10) für die Anlage kürzer schreiben:

$$\Delta t_s = A_2 \Delta g + \sum A_b \Delta b \quad (14)$$

Durch Einsetzen von (13) in (14) erhält man für die Raumtemperatur bei Regelung mit thermostatischem Heizkörperventil:

$$\Delta t_s = \frac{\sum A_b \Delta b}{1 + A_0 A_2 \sqrt{\Delta t_s}}$$

oder, wenn der Regelungsfaktor

$$R = \frac{1}{1 + A_0 A_2 \sqrt{\Delta t_s}} \quad (15)$$

eingesetzt wird:

$$\Delta t_s = R \sum A_b \Delta b \quad (16)$$

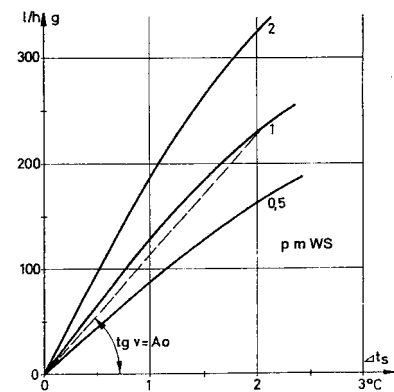


Abb. 6. Regelungscharakteristiken für thermostatisches Heizkörperventil Typ RAV 10/8.

Diese letztere Gleichung besagt, dass die Änderung: $\sum \Delta t_b$, die durch gegebene Belastungsschwankungen ohne Regelung verursacht würde, bei der Regelung mit Heizkörperthermostat um den Faktor R reduziert wird.

Der Regelungsfaktor R ist somit ein Ausdruck für die Güte der Regelung und sollte diesen statischen Betrachtungen zufolge so klein wie möglich sein, d.h. A_0 und A_2 sollten möglichst gross sein, wie auch ein grosser Differenzdruck p eine kleine Regelabweichung ergibt. Im übrigen wird R nicht nur von der Charakteristik des Thermostaten bestimmt, die ausschliesslich von der Grösse A_0 abhängt, sondern in genau so hohem Grad von der Dimensionierung der Anlage, also von den Grössen A_2 und p. Aus dem früher behandelten Zahlenbeispiel (Gleichung 11) ging hervor, dass eine Änderung der Aussentemperatur um 5°C eine Änderung der Raumtemperatur um $3,9^\circ\text{C}$ bewirkt, und eine zusätzliche Wärmezufuhr zum Raum von 200 kcal/h einen Anstieg der Raumtemperatur in einer Anlage ohne Regelung um 3°C mit sich führt.

Wird dieser Heizkörper mit einem RAV 10/8 geregelt, und beträgt der Differenzdruck 0,5 m WS über dem Ventil bei dem betrachteten Belastungsfall (0°C Aussentemperatur), so lässt sich der Regelungsfaktor aus der Gleichung (15) errechnen:

$$R = \frac{1}{1 + 115 \cdot 0,37 \cdot \sqrt{0,5}} = 0,032$$

Die Abweichungen bei einer Regelung ergeben somit für eine Änderung von 5°C in der Aussentemperatur: $3,9 \cdot 0,032 = 0,13^\circ\text{C}$ Änderung der Raumtemperatur, und die zusätzliche Wärmezufuhr von 200 kcal/h ergibt $3 \cdot 0,032 = 0,1^\circ\text{C}$ Anstieg der Raumtemperatur. Die Abweichungen werden im übrigen bei einer Einstellung auf niedrigere Regelungstemperatur kleiner, siehe Abb. 4b.

Besonders der zusätzlichen Wärmezufuhr gegenüber sei hervorgehoben, dass die Regelung natürlich ihre Begrenzung hat. Wenn der Heizkörperthermostat die Wasserzufuhr ganz abgestellt hat, und wenn dem Raum auch weiterhin durch Personen, Lichtquellen u.a.m. mehr Wärme zugeführt wird als die, die dem Wärmeverlust bei der gewünschten Raumtemperatur entspricht, so steigt die Raumtemperatur wie bei Anlagen ohne Regelung an.

Dies ist in Abb. 7 dargestellt. Bemerkte sei, dass der ziemlich starke Anstieg – bei der Kurve »ohne Regelung« gezeigt – auch dann gilt, wenn die Anlage durch Aussen-Kompensator geregelt wird.

Dimensionierung in der Praxis

Die vorerwähnten Berechnungen zielen in erster Linie auf die Beurteilung verschiedener Regelungsarten und auf die Entwicklung geeigneter Regelorgane hierfür. In der Praxis wäre eine weit einfachere Beurteilung der erreichbaren Regelgenauigkeit wünschenswert.

Die Auslegungskurven für thermostatische Danfoss-Heizkörperventile sind, wie früher erwähnt, für eine Abweichung von 2°C zwischen Fühlertemperatur und Einstelltemperatur angegeben.

Für eine erste Abschätzung kann also gesagt werden, dass die Regelabweichung

selbst bei maximaler Belastung nicht grösser als 2°C sein kann. In der Praxis wird dies nur bei einem Ventil vorkommen, das für eine maximale Ausnutzung dimensioniert ist, und nur während der kurzen Perioden des Jahres, in denen eine maximale Ausnutzung vorkommt. Während 80 % der Heizsaison ist die Heizungsanlage, wie aus Abb. 8 hervorgeht, weniger als 56 % belastet. Da dieser Belastung eine Wassermenge von ca. 22 % der maximalen Wassermenge bei der ausgelegten Vorlauftemperatur entspricht, wird sich die Regelabweichung während 80 % der Zeit auf entsprechend weniger als $0,5^\circ\text{C}$ reduzieren.

In der Regel wird das Ventil in der Anlage nicht voll ausgenutzt, was ausserdem die maximale Regelabweichung herabsetzt. In dem früheren Zahlenbeispiel haben wir z.B. ein RAV 10/8 Ventil verwendet, das bei dem angegebenen Differenzdruck von 0,5 m WS gemäss der Auslegungskurve 160 l/h leisten kann. Da der Thermostat sich an einem Heizkörper befindet, der maximale 90 l/h erfordert, ermässigt sich die maximale Regelabweichung auf $2^\circ\text{C} \cdot \frac{90}{160} = 1,1^\circ\text{C}$, da wir,

wie erwähnt, mit einer linearen Charakteristik des Thermostaten rechnen können (vgl. Abb. 6).

Ergebnisse in der Praxis

Die oben angeführten Berechnungen können einfach oder kompliziert erscheinen, je nachdem man, ob mit mathematischen Methoden vertraut ist oder nicht. In Wirklichkeit sind die Verhältnisse aber weit komplizierter, als aus den Gleichungen hervorgeht. Dies ist nicht zuletzt darauf zurückzuführen, dass die Temperatur t_s in einem heizkörpererwärmten Raum keine eindeutig bestimmte Grösse ist, da in einem Raum ohne künstliche Ventilation mit sehr grossen Temperaturunterschieden zu rechnen ist. Beispielsweise wird in den Vorschriften des DIF (Verein dänischer Diplomingenieure) über die Berechnung des Wärmeverlusts ein Temperaturunterschied zwischen Fussboden und Decke in

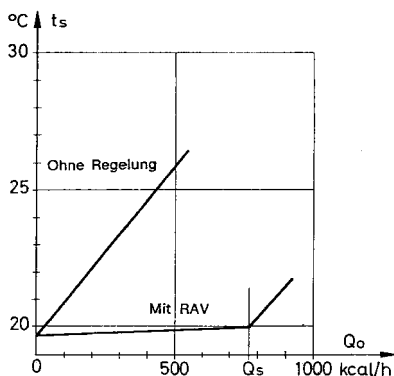


Abb. 7. Einwirkung durch zusätzliche Wärmezufuhr von Personen, Lichtquellen u.s.w. auf die Raumtemperatur mit und ohne Heizkörperregelung. Wenn die zusätzliche Wärmezufuhr den Wärmeverlust Q_s des Raumes übersteigt, hat der Heizkörperthermostat das Ventil ganz geschlossen und kann einen Temperaturanstieg nicht mehr verhindern.

einem normalen Wohnzimmer von 4°C angegeben. Hinzu kommen noch Fragen wie die der relativen Bedeutung von Lufttemperatur und Strahlungstemperatur in Bezug auf die Behaglichkeit. Um eine ideale Regelung zu erreichen, sollte der Fühler des Thermostats im Grunde genommen in der Mitte der Aufenthaltszone angeordnet werden und ausserdem eine Empfindlichkeit gegenüber der Luft- und Strahlungstemperatur haben, die der des menschlichen Körpers entspricht.

In der Praxis ist es selbstverständlich nicht möglich, einen Thermostadfühler in Kopfhöhe mitten im Raum anzubringen. Im Gegenteil, man wünscht mit Rücksicht auf den Preis und den Einbau eine Kombination von Fühler und Ventil, wodurch der Fühlerpunkt in die Nähe des Heizkörpers und der Zuleitung zu diesem gelegt wird. Es hat sich zum Glück herausgestellt, dass eine derartige Fühleranordnung in der Praxis gute Ergebnisse zeigt, sie hat jedoch auch ihre Begrenzung. Ist ein Heizkörperthermostat mit eingebautem Fühler in tiefen Nischen oder Ecken oder hinter Vorhängen angebracht, so ist die Abhängigkeit der Fühlertemperatur von der Raumtemperatur in der Aufenthaltszone zu gering. In solchen Fällen ist ein Heizkörperthermostat mit Kapillarrohrfühler zu verwenden, damit der Fühler an einem Ort mit einer angemessenen Luftzirkulation angeordnet werden kann. Um diese Umstände in Bezug auf den Zusammenhang zwischen der Raumtemperatur mitten im Raum und der Fühlertemperatur sowie die dynamischen Verhältnisse, d.h. die Schwankung der Raumtemperatur bei Belastungsänderungen, zu untersuchen, müssen die Berechnungen durch umfassende Versuche ergänzt werden. In einem folgenden Artikel werden wir einige Ergebnisse dieser Versuche bekanntgeben.

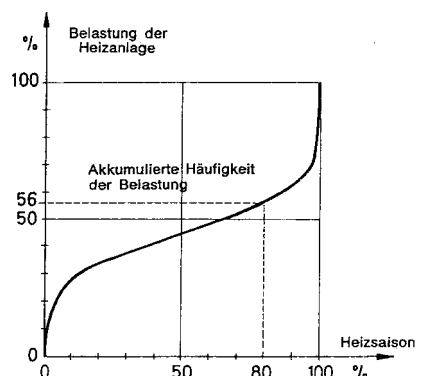


Abb. 8. Klimabedingte Belastung einer Heizanlage. Beispiel: Während 80 % der Heizsaison beträgt die Belastung weniger als 56 %. Die Kurve gilt für Dänemark.

Versuche mit Radiator Thermostaten

In Fortsetzung des Artikels über die Regelung mit thermostatischen Heizkörperventilen werden hier einige Versuchsergebnisse aus unserem Wärmeversuchsraum wiedergegeben.

Temperaturmessung

Um ein Bild von der Temperaturverteilung im Raum und der Reaktion verschiedener Temperatur-Messgeräte zu bekommen, ist der Versuchsraum mit Messpunkten versehen, wie in Abb. 1 gezeigt.

Die Messpunkte a, b, c und f sind Thermolemente, an 1 mm dicke Kupferplatten mit einer Fläche von ca. 2 cm² verlötet. Hiermit wird hauptsächlich die Lufttemperatur an den angegebenen Stellen gemessen. Die Kupferplatten gleichen kleine Schwankungen der Lufttemperatur aus.

Der Messpunkt d ist eine schwarz gestrichene Kupferkugelschale mit einem Durchmesser von 100 mm; in der Kugel ist ein Thermolement angeordnet. Mit dieser Ausrüstung wird erfahrungsgemäss eine Kombination von Luft- und Strahlungstemperatur gemessen, etwa so, wie ein Mensch die Temperaturverhältnisse empfindet.

Der Messpunkt e ist ein Quecksilberthermometer, das an der Innenwand aufgehängt ist. Auch diese Messart wurde verwendet, weil sie für die Messung der Raumtemperatur in der Praxis die gebräuchlichste ist. Zum Unterschied von der allgemeinen Praxis wurde hier jedoch ein geeichtes Thermometer benutzt.

Die genaue Lage der Messpunkte ist wie folgt:

- a: 5 cm unter der Decke, in der Raummitte.
- b: 5 cm über dem Fussboden, mitten unter dem Heizkörper.
- c, d: 150 cm über dem Fussboden, in der Raummitte.
- e: 150 cm über dem Fussboden, an der Innenwand.
- f: 5 cm über dem Fussboden, in der Raummitte.

Im übrigen werden Temperaturmessungen am Ein- und Austritt des Heizkörpers sowie in der Umgebung vorgenommen. Alle diese Messungen werden mit Thermolementen durchgeführt und zusammen mit den angeführten von einem Kurvenschreiber registriert. Jeder Messpunkt wird zweimal die Minute abgetastet.

Temperaturverteilung

Mit den angeführten Messpunkten wird die Temperaturverteilung im Versuchsraum aufgezeichnet. In Abb. 2 und 3 sind die Ergebnisse als Funktion der Belastung bei zwei verschiedenen Regelungsformen der Wärmezufuhr angegeben.

Bei diesen Versuchen wurde ein Heizkörper von 2,5 m Länge und 400 mm Höhe verwendet, der unter dem Fenster ange-

bracht war, wie in Abb. 1 gezeigt. Die Heizkörpergrösse ist dem Wärmebedarf des Raumes angepasst, so dass bei der niedrigsten Umgebungstemperatur bei einer Vorlauftemperatur von 90°C und einer Abkühlung von 20°C über dem Heizkörper eine Raumtemperatur von 20°C erreicht wird.

Die Belastung des Raumes wird durch Änderung der Umgebungstemperatur variiert, wonach die Wärmeabgabe des Heizkörpers bei den verschiedenen Belastungen eingestellt wird unter Berücksichtigung einer gleichbleibenden Temperatur der schwarzen Kugel, da diese als der beste Ausdruck der Raumtemperatur gewählt wird.

Ohne Belastung haben sämtliche Begrenzungsflächen des Raumes dieselbe Temperatur wie die Raumluft, und überall im Raum wird die gleiche Temperatur gemessen, ungeachtet der grösseren oder kleineren Strahlungsempfindlichkeit des Temperaturmessers. Bei ansteigender Belastung (fallender Umgebungstemperatur) werden die Wände kälter und die Heizkörperfläche wärmer als die Raumluft, weshalb an den verschiedenen Punkten verschiedene Temperaturen gemessen werden, wie auch die Luft- und Strahlungstemperatur an einer gegebenen Stelle verschieden ist.

Die Temperaturverteilung über die Heizkörperfläche ist wesentlich verschieden, je nachdem ob die Wassermenge bei gleichbleibender Vorlauftemperatur oder die Vorlauftemperatur bei gleichbleibender Wassermenge geregelt wird.

Es wäre zu erwarten, dass dies die Temperaturverteilung im Raum beeinflussen würde, wie aber aus Abb. 2 und 3 hervorgeht, ist diese Einwirkung nicht besonders ausgeprägt. Nur die Temperatur unter dem Heizkörper ist, wie zu erwarten war, in den beiden Fällen wesentlich verschieden.

Anordnung des Thermostaffühlers

Es geht aus den angeführten Messungen der Temperaturverteilung hervor, dass, wenn man die Raumtemperatur mit einem thermostatischen Heizkörperventil regeln will, die Anordnung des Thermostaffühlers für das erzielte Resultat entscheidend ist.

Stellt man sich die Anordnung des Thermostaffühlers in der schwarzen Kugel vor und wählt man seine Anzeige im übrigen als Ausdruck der Raumtemperatur, so ergibt sich eine Regelung als Funktion der Belastung wie bei Kurve A in Abb. 4. Die Abweichung der Raumtemperatur ist hier ausschliesslich durch die Eigenschaften der Anlage und des Thermostaten bestimmt, wie im vorigen Artikel berechnet.

Fast das gleiche Ergebnis lässt sich in der Praxis erreichen, wenn der Fühler des Thermostaten an einer Wand in 150 cm Höhe angebracht wird. Die Regelungskurve mit dieser Fühleranordnung ist als Kurve B in Abb. 4 dargestellt.

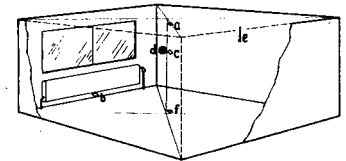


Abb. 1. Messpunkte im Versuchsraum.

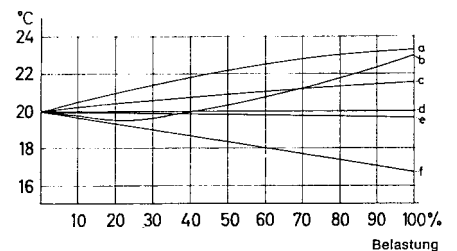


Abb. 2. Temperaturverteilung bei der Regelung der Wassermenge. Konstante Vorlauftemperatur.

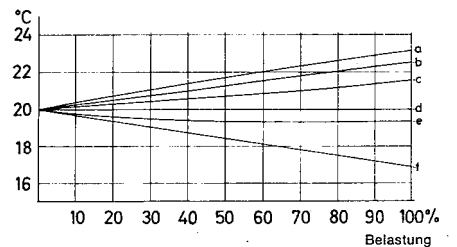


Abb. 3. Temperaturverteilung bei der Regelung der Vorlauftemperatur. Konstante Wassermenge.

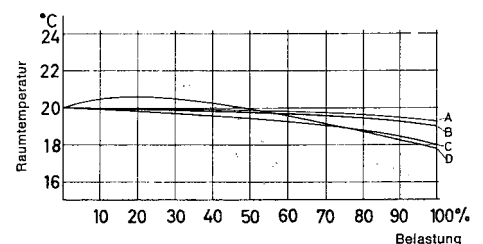


Abb. 4. Regelungscharakteristiken bei verschiedener Lage des Fühlers.
A: Fühler in der Raummitte in 1,5 m Höhe
B: Fühler an der Wand in 1,5 m Höhe
C: Fühler im Ventilhandgriff eingebaut
D: Fühler an der Fussleiste unter dem Heizkörper

Am billigsten und deshalb am meisten verbreitet ist der Zusammenbau des Thermostaffühlers mit dem Ventil. Das Ergebnis dieser Anbringung ist auch

ganz ausgezeichnet, wie in Kurve C, Abb. 4, gezeigt.

Wird der Fühler unter dem Heizkörper angebracht, so ergibt sich das bei Kurve D gezeigte Ergebnis. Bemerkenswert sei, dass die Abweichung bei grossen Belastungen ziemlich gross wird; dies ist auf die direkte Temperatureinwirkung vom Heizkörper zurückzuführen, vgl. Kurve B, Abb. 2. Wenn mit dieser Fühlerposition in der Praxis im allgemeinen gute Ergebnisse erreicht werden, so beruht das darauf, dass die Belastung der Heizanlage selten 50–60 % übersteigt. Im übrigen sei hervorgehoben, dass man nicht aufgrund der hier wiedergegebenen Versuchsergebnisse unkritisch verallgemeinern kann.

Faktoren wie die Grösse und Form des Raumes, Möblierung, Ausbildung und Anbringung von Fenstern und Heizkörpern werden für die Temperaturverteilung im Raum und damit für die zweckmässigste Lage des Fühlers von grosser Bedeutung sein.

Die Versuche im Versuchsraum wurden jedoch durch Erfahrungen aus der Praxis bestätigt, bei denen sich ein Heizkörperthermostat mit eingebautem Fühler in allen normalen Fällen ganz ausgezeichnet bewährt, während sich die Regelung in Fällen mit extrem oder verdeckt angeordnetem Heizkörper durch Verwendung eines Thermostaten mit separatem Fühler an der Wand oder unter dem Heizkörper bewältigen lässt.

Fremdwärme

Im Anschluss an die vorstehend wiedergegebenen Ergebnisse einer Thermostatregelung zum Ausgleich äusserer Belastungsänderungen soll hier noch über einen Versuch berichtet werden, bei welchem dem Versuchsraum Fremdwärme zugeführt wurde.

In der Praxis ergeben sich Fremdwärmeinflüsse durch Sonneneinstrahlung sowie durch Wärmeabstrahlung von Personen, Beleuchtungskörpern und verschiedenen anderen Wärmespendern wie z.B. Haushalt-, Fernsehgeräte u.dergl. Im Versuchsraum können entsprechende Einflüsse durch das Einschalten elektrischer Heizöfen erzeugt werden. Während des Versuchs werden der Wasserdurchfluss durch den Radiator sowie die Vorlauf- und Rücklauftemperaturen gemessen. Auf der Grundlage der so ermittelten Daten kann man die Wärmeleistung des Radiators und folglich auch den nach dem Einschalten der zusätzlichen Heizung eintretenden Leistungsrückgang berechnen.

Die Ergebnisse bei zwei unterschiedlichen äusseren Belastungen gehen aus der nachstehenden Tabelle hervor.

Grundbelastung	25 %		50 %	
Zusätzl. Wärmezufuhr kcal/h	0	340	0	340
Raumtemperatur t_s °C	20,7	21,2	20,3	21,2
Vorlauftemperatur t_f °C	68	68	68	68
Rücklauftemperatur t_r °C	35	27	46	42
Wasserdurchfluss g l/h	17	8	47	30
Radiatorleistung $g(t_f - t_r)$ kcal/h	560	330	1030	780
Rückgang der Radiatorleistung	kcal/h	230	250	
	%	41	24	

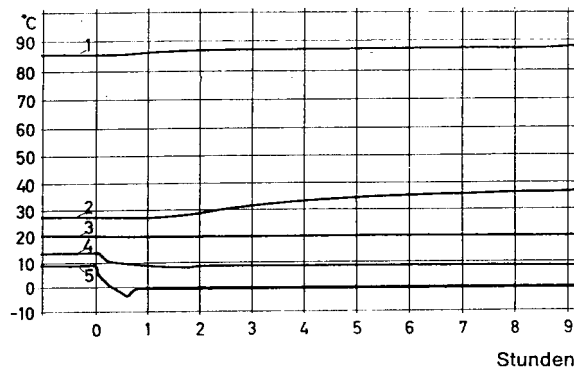


Abb. 5. Regelungsverlauf bei Änderung der Umgebungstemperatur. Die Änderung entspricht einer Belastungserhöhung von 30 % auf 60 %. Die einzelnen Kurven zeigen:

1. Vorlauftemperatur
2. Rücklauftemperatur
3. Raumtemperatur (schwarze Kugel)
4. Nebenraumtemperatur
5. Aussentemperatur

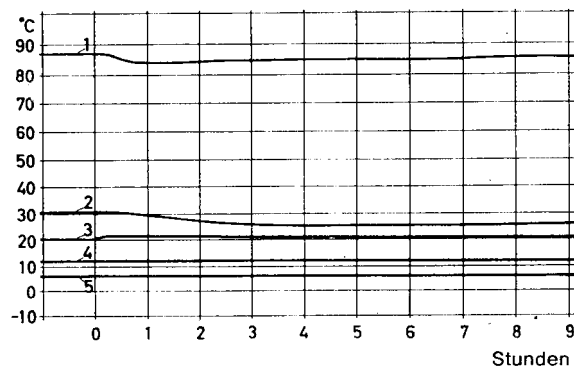


Abb. 6. Regelungsverlauf bei innerer Wärmezufuhr. Zum Zeitpunkt 0 werden 3 im Raum aufgestellte elektrische Wärmespender mit einer gesamten Wärmeabgabe von 300 kcal/h entsprechend 3–4 Personen im Raum eingeschaltet. (Bedeutung der einzelnen Kurven wie in Abb. 5).

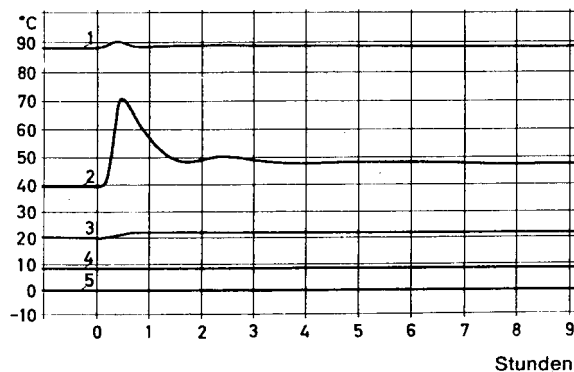


Abb. 7. Regelungsverlauf bei Änderung der Thermostateinstellung. Zum Zeitpunkt 0 ist die Skaleneinstellung des Heizkörperthermostaten um etwa 1,5°C erhöht worden. (Bedeutung der einzelnen Kurven wie in Abb. 5).

Dynamische Verhältnisse

Im oben erwähnten wurden ausschliesslich die stationären Verhältnisse betrachtet, d.h. die Wärmebilanzen in Gleichgewichtszuständen bei verschiedenen Belastungen. Dies gibt im grossen ganzen eine gute Beschreibung der Regelung in einem heizkörperwärmermten Raum. Zu einem vollständigen Bild gehört aber eine Beurteilung des Übergangs von einem Gleichgewichtszustand in einen anderen.

Theorie: In der Sprache der Regelungstechnik ausgedrückt, handelt es sich bei der Regelung mittels Heizkörperthermostat um ein Proportionalregelsystem mit mehreren Zeitkonstanten. Für ein solches System gilt allgemein, dass die Regelung genügend stabil ist, wenn das System eine vorherrschende Zeit-

konstante hat und die übrigen Zeitkonstanten mindestens um das Zehnfache kleiner als diese sind. In diesem Fall ist die Zeitkonstante des Raumes die vorherrschende. Eigentlich kann man nicht von einer bestimmten Zeitkonstante für den Raum sprechen, da dieser ein inhomogener Körper mit ungleicher Temperatur ist. Wenn wir aber die Raumtemperatur wie früher definieren, also an der schwarzen Kugel gemessen, so können wir versuchs-mässig z.B. eine Abkühlungskurve für den Raum aufzeichnen. Es wird sich dann mit einer guten Annäherung eine Exponentialkurve ergeben, deren Anfangsneigung nach bekannter Methode eine Zeitkonstante bestimmt, die wir dann als die Zeitkonstante des Raumes bezeichnen können.

Diese liegt - was normale Räume betrifft - in der Grössenordnung von 5 Stunden oder mehr, weshalb die Zeitkonstante des Thermostaten kleiner als etwa 30 Minuten sein sollte. Andererseits sollte ein Heizkörperthermostat bei zufälligen Schwankungen der Lufttemperatur, z.B. bei einem kurzen Öffnen einer Tür oder eines Fensters, nicht zu schnell reagieren, da sich der Heizkörper in diesem Fall schnell mit warmem Wasser füllen und dadurch dem Raum eine unerwünschte Wärmemenge zuführen würde.

Als ein passendes Kompromis sollte die Zeitkonstante des Heizkörperthermostaten von der Grösse 10-30 Minuten sein.

Im folgenden werden einige Versuchsergebnisse über dynamische Regelungsverläufe wiedergegeben, vorerst sei aber darauf hingewiesen, dass man nicht aufgrund dieser Messungen verallgemeinern darf, da die verschiedenen Dimensionierungen und Anordnungen in der Praxis auch sehr verschiedene dynamische Charakteristiken mit sich führen.

Von Bedeutung für den dynamischen Regelungsablauf sind die Dimensionierung der Heizkörperanlage, die Formgebung und Möblierung des Raumes, der Aufbau und die Isolierung der Mauern sowie die Zeitkonstante und die Empfindlichkeit des Thermostaten. Eine nähere Analyse dieser Faktoren ist äusserst kompliziert und ohne grösseres praktisches Interesse, da bei Heizkörperanlagen selten ernste dynamische Regelungsprobleme entstehen.

Versuche: Eine Änderung in der Aussen-temperatur setzt sich in der Regel so langsam durch, dass die Regelung in diesem Fall ganz problemlos ist. Abb. 5 zeigt einen Versuch in dem Versuchsraum, bei dem die Umgebungstemperaturen innerhalb weniger als einer halben Stunde entsprechend einer Belastungserhöhung von 30 auf 60 % herabgesetzt wurden. Wie sich zeigt, regelt sich diese Belastungsänderung ohne irgendwelche Über- oder Unterschwingungen der Raumtemperatur gleichmässig aus. Man erkennt, dass die Vorlauftemperatur während der Belastungserhöhung ein wenig ansteigt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Vorlauftemperatur am Heizkörpereintritt gemessen wurde, da der grössere Wasserdurchfluss bei der höheren Belastung einen kleineren Temperaturabfall im Eintrittsrohr zum Heizkörper ergibt. Übrigens wurde die Kesseltemperatur während des Versuchs konstant gehalten (90°C).

Eine Änderung der inneren Wärmezufuhr (Personen im Raum oder Sonnenstrahlen durch Fenster) ist in der Temperatur der Raumluft schneller zu erkennen und verursacht meistens eine kleinere Über- oder Unterschwingung. Am ungünstigsten ist ein Anstieg der inneren Wärmezufuhr, da die Nachwärme des Heizkörpers in diesem Fall das ungünstige Element ist. Ein Versuch zur Darstellung ist in Abb. 6 gezeigt, wo dem Versuchsraum eine zusätzliche Wärmemenge von 300 kcal/h (3 Personen) bei einer Grundbelastung von 40 % zugeführt wurde. Die Wärmezufuhr erfolgte mittels 3 elektrischer Öfen, die im Raum verteilt waren.

der ersten Stunde eine kleine Überschwingung der Raumtemperatur zu verzeichnen. Dies wird kein Regelsystem verhindern können, da die Überschwingung den Eigenschaften der Anlage (Wärmeinhalt des Heizkörpers) zuzuschreiben ist. Die Überschwingung lässt sich begrenzen, wenn die Anlage mit Leichtgewichtsheizkörpern mit minimalem Wärmeinhalt versehen wird.

Eine starke Beeinflussung des Anlagenzustands entsteht durch ein Verstellen des Thermostaten auf eine höhere Regelungstemperatur, wobei selbst durch eine kleine Verstellung das Ventil fast ganz öffnet und sich der Heizkörper ganz mit heissem Wasser anfüllt. Das Beispiel zeigt Abb. 7, wo die Einstellung des Thermostaten von einer Ausgangsposition mit einer Raumtemperatur von ca. 20°C um 1,5°C gehoben wurde. Man erkennt, dass der Übergang auf die neue Raumtemperatur gleichmässig und ohne spürbare Überschwingung in weniger als 40 Minuten erfolgt. Dieser günstige Verlauf wurde durch die Anwendung eines Heizkörpers mit verhältnismässig kleinem Wasserinhalt (3 Liter je m² Heizfläche) erzielt. Bei Heizkörpern mit grösserem Wasserinhalt oder bei niedrigeren Belastungen können Überschwingungen vorkommen, aber unter allen untersuchten Verhältnissen ist die kleinste Überschwingung kleiner als 1°C und von verhältnismässig kurzer Dauer, so dass sie in der Praxis kaum spürbar ist.

Schlussbemerkung

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass diese und mehrere ähnliche Versuche sowie unsere Erfahrungen in der Praxis alle bestätigen, dass sich mit einem thermostatischen Ventil am Heizkörper eine volle Regelung der Raumtemperatur und damit eine bestmögliche Ausnützung des Komforts, den eine Heizkörperanlage bieten kann, erreichen lässt.

Versuche und Praxis haben ferner zur Entwicklung eines Heizkörperthermostaten mit eingebautem Fühler geführt, der normalerweise die Regelung ohne Schwierigkeiten bewältigt.

Unter besonderen Verhältnissen oder bei besonderen Anforderungen mag es jedoch ein Vorteil sein, einen Thermostaten mit Kapillarrohrfühler zu verwenden, wodurch sich eine zweckmässigere Fühleranordnung erreichen lässt.

Danfoss Handelsgesellschaft mbH
6050 Offenbach/Main
Carl-Legien-Str. 8 - 10
Ruf 0611/8902-1
2000 Hamburg 26 - Ruf 040/259074
1000 Berlin 33 - Ruf 030/8261590
4300 Essen - Ruf 0201/717112
8000 München 70 - Ruf 089/746197
7000 Stuttgart - Ruf 0711/227001