

## ***Entwicklungstendenzen in der Regelungstechnik von Heizanlagen***

### ***Teil 3: Wärmeabgabe und Auslegung von thermostatischen Heizkörperventilen***

Unter dem Serientitel "Entwicklungstendenzen in der Regelungstechnik von Heizanlagen" haben sich Professor Wolff und seine MitarbeiterInnen bereits in den WÄRMETECHNIK-Ausgaben 12/95 und 4196 zu den Themen "Regelungstechnische Maßnahmen zur Verminderung der Schalthäufigkeit von Brennern" und "Hydraulik und Pumpe" geäußert. Im vorliegenden dritten Teil geht es wiederum um aktuelle Fragen auf Basis der zu erwartenden Energiesparverordnung, heute um die "Wärmeabgabe und Auslegung von thermostatischen Heizkörperventilen."

### **Das künftige Niedrigenergiehaus erfordert eine spezielle energetische Anpassung**

Alle beteiligten Partner in der Technischen Gebäudeausrüstung, speziell auch in der Heizungstechnik (Planer, ausführendes Handwerk, Hersteller), sind aufgefordert, bestehende und neue Technologien in Richtung auf maximale Ausnutzung aller Potentiale zur Energieeinsparung, zur Emissionsminderung und zur vereinfachten Bedienung durch den Endkunden zu entwickeln. Leider häufen sich die Fälle, dass sehr komplexe und schwer zu überschauende Anlagen mit integrierten Regelungen geplant und eingebaut werden, die nach den Aussagen der Komponentenhersteller optimale Energieeinsparung bei geringsten Emissionen versprechen, in der Praxis diese Ergebnisse jedoch nicht erbringen.

Wichtige Zusammenhänge zwischen den Funktionsforderungen an die Komponenten Wärmeerzeuger, Pumpe, Heizkörper und thermostatische Heizkörperventile werden dabei leider nicht gesehen. Es ist wichtig, dass alle Bausteine einer Heizungsanlage richtig aufeinander abgestimmt sind, um einen optimalen Betrieb vor allem auch im zukünftigen Niedrigenergiehaus zu ermöglichen. Niedrigenergiehäuser (NEH) sind Gebäude, die einen ca. 25-30 % geringeren Heizwärmebedarf gegenüber der Wärmeschutzverordnung (WSVO) 95 aufweisen [1] oder entsprechend der zukünftigen Energiesparverordnung (ESVO) ausgeführt werden. Die absoluten technischen Verluste und der elektrische Zusatzenergiebedarf erlangen während des Betriebes und in der Bereitschaftszeit, bezogen auf den niedrigen Heizwärmebedarf, einen bedeutenden Stellenwert. Im ungünstigen Fall erreicht der Primärenergieeinsatz für elektrische Zusatzenergien die Größenordnung des Heizwärmebedarfs.

Die Vorgehensweise der Energiesparverordnung [2] trägt den anlagenspezifischen technischen Verlusten und damit dem europäischen Normentwurf prEN 832 "Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden" mit einer quantitativen Bewertung des Anlagensystems durch die geplante begleitende DIN 4701, Teil 10 "Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen" Rechnung. Vergleicht man zwei Gebäude mit unterschiedlicher Dämmqualität, aber identischer Heiztechnik, verringert sich der Energieverlust der Anlagentechnik nicht im Verhältnis der Heizenergieverbräuche beider Varianten. Er bleibt annähernd konstant, d.h. der Nutzungsgrad kann sich bei einer

Verbesserung des Gebäudewärmeschutzes durchaus verschlechtern. Statt ein Heizsystem allein mit festgelegten Wirkungs- und Nutzungsgraden zu bewerten, wird vorgeschlagen, mit absoluten bzw. flächen- oder volumenbezogenen Verlustkennwerten zu arbeiten [3].

Es sind an kleinere Leistungen und an den Nutzer angepasste Weiterentwicklungen notwendig, um im NEH mit einer Pumpenwarmwasserheizung trotz verminderter Heizlasten und Volumenströme einen einwandfreien und sparsamen Anlagenbetrieb zu gewährleisten. In Fachkreisen wird der Einsatz unterschiedlicher Anlagentechnik und Energieträger als Anpassung an die Erfordernisse im NEH z. Z. sehr kontrovers dargestellt. Insbesondere der traditionellen Pumpenwarmwasserheizung werden hier systembedingte Nachteile und sinkende Marktanteile vorausgesagt. Die Begründung leitet sich ab aus:

- höheren Endenergieverbräuchen im Vergleich zu anderen Heizenergiebereitstellungssystemen,
- großen Mengen an unkontrolliert abgegebener Wärme über Rohrleitungsoberflächen,
- relativ hohen Investitionskosten bei Gas-/Nah- oder Fernwärme-Erschließung gegenüber der Heizwärmeverbrauchsmenge (Leistungskostenproblematik) und
- hohen Investitionskosten bei der Gebäudeausrüstung (Heizflächen) durch derzeit diskutierte Aufheizreserven von 100 bis 200 % bei zusätzlich verringerten Systemtemperaturen,
- daraus resultierenden Problemen der Regelung im Spitzen- und Teillastfall.

Im folgenden wird gezeigt, dass die Systemabhängigkeit nur bedingt zutrifft, aber mit entsprechenden Heizkonzepten und sorgfältiger Planung zu verringern ist. Aus statistischen Untersuchungen ist bei fernwärmebeheizten Gebäuden im Vergleich zu öl- oder gasbeheizten Gebäuden ein deutlich niedrigeres Heizenergieverbrauchsniveau erkennbar. Dieses lässt sich aus unterschiedlichen Randbedingungen erklären, bedarf jedoch weiterer Untersuchungen. Einerseits ist durch die technischen Vorgaben und Abnahmekontrollen der Wärmeversorgungsunternehmen eine bessere Planung, Vorkontrolle und Einregulierung (hydraulischer Abgleich) gegenüber mit Öl oder Gas beheizten Anlagen zu unterstellen. Andererseits treten bei der Fernwärmeversorgung "natürliche" Begrenzungen des Heizwärmeverbrauches durch Volumenstrom-, Rücklauf- und Leistungsbegrenzungen auf. Es ist davon auszugehen, dass ein Leistungsüberangebot vom Nutzer vielfach zu einem größeren Teil durch Unwissenheit und eingeschränkter Regelbarkeit auch abgenommen wird. Gemessene Unterschiede im Verhältnis 1:6 beim Heizenergieverbrauch identischer Wohnungen sind nicht ausschließlich auf unterschiedliche Nutzungszeiten oder auf lagebedingte Unterschiede zurückzuführen. Dazu sind folgende Lösungsansätze zu diskutieren:

- Nutzerangepasste und nutzerintegrierte Heizkonzepte
- zusammenführende Konzepte Heizung und Lüftung,
- Planungsunterstützung durch Normen zur Auslegung der Wärmeverteilung, des hydraulischen Abgleichs und der energetischen Bewertung der Wärmeverteilung sowie durch Vereinfachung der Einführung von Standards,
- Weiterentwicklung und Anpassung von Komponenten,
- angemessene Dimensionierung der Wärmeabgabeeinrichtungen bei

- Bereitstellung von Aufheizreserven durch temporäre Heizlastverringern und zeitabhängige Vorlauftemperaturanhebung,
- Kombination von Heizkostenerfassung und programmierbarer Einzelraumregelung,
- ganzheitliche Lösungsansätze für die Belange der Versorgungsunternehmen und der Endkunden zur Erschließungen von Neubaugebieten.

Bild 1 gibt eine Übersicht über die Zusammenhänge der Wärmeabgabe und Regelung.

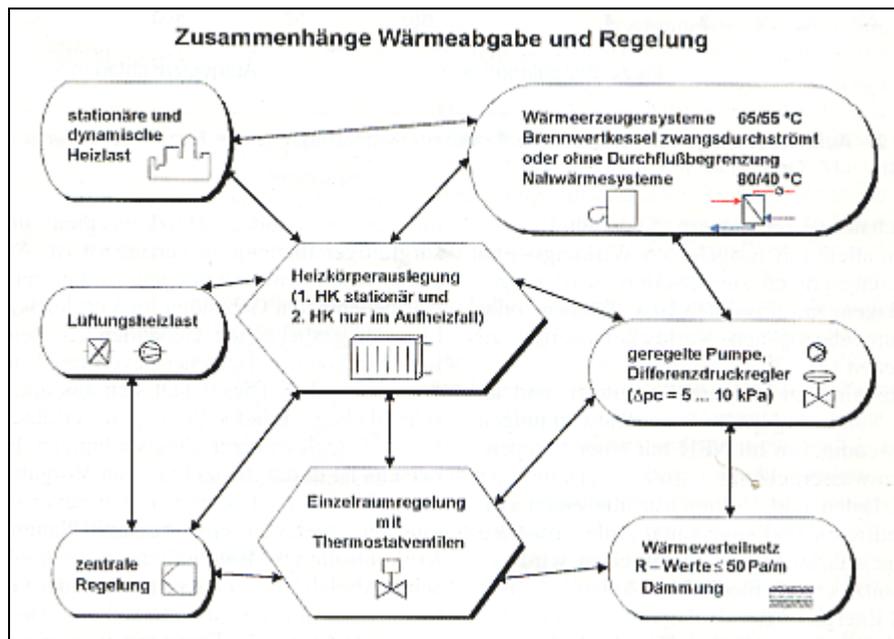


Bild 1 Zusammenhänge Wärmeabgabe und Regelung

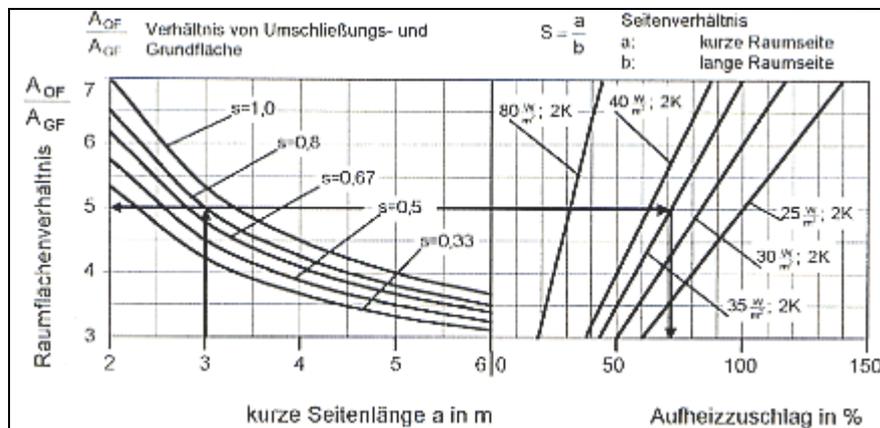
## Heizlast und Auslegungsfall

Die Schnellaufheizung nach einer Heizunterbrechung (z. B. Nachtabenkung) gilt im NEH wegen der geringen Heizlasten als problematisch. Beim NEH wird durch die äußere Wärmedämmung die Raumauskühlung von der Dauer der Heizunterbrechung und dem dabei vorliegenden Luftwechsel bestimmt. Ein erhöhter Luftwechsel durch Fensteröffnung führt zu einer deutlichen Verringerung der empfundenen Temperatur. Diese kann nach einer üblichen Heizunterbrechung 0,5 K bis 3 K ohne Fensterlüftung, bei geöffnetem Fenster bis zu 5 K betragen.

Trotz der gegenüber herkömmlicher Bauart geringen Temperaturabsenkung kann eine nach stationärer Heizlast dimensionierte Pumpenwarmwasserheizung den Anforderungen einer Schnellaufheizung nicht folgen. Zur Einschätzung, wie realistisch die Aufheizung in z. B. in [4]<sup>1</sup> geforderten kurzen Zeiträumen ist und wie das Heizsystem, besser die Heizflächen, auszulegen sind, zeigt Bild 2, abgeleitet aus [5].

<sup>1</sup> Urteil des Hamburger Amtsgerichtes v. 08.03.1996 (Aktenzeichen 41 a C 1371193 zur Raumtemperatur in Mieträumen: ...Entsprechend den heutigen Wohnbedürfnissen muss eine Heizungsanlage so ausgerichtet sein, dass eine Temperatur von mind. 20 °C jedenfalls in der Zeit von 6.00 bis 24.00 Uhr ... erreicht werden kann, und zwar bei Außentemperaturen unter 0°C und auch dann, wenn die Raumtemperatur beispielsweise in den Nachtstunden auf 16 bis 17 °C abgesenkt wird.... Die Erwärmung der Räume darf nicht mehrere Stunden dauern, . . . Das Gericht sieht als angemessen einen Zeitraum von einer halben bis längstens einer Stunde an....

Das eingezeichnete Ablesebeispiel macht folgendes deutlich: Legt man einen Raum mit einer Grundfläche von 3 m x 3,75 m mit einer spezifischen Heizlast von 35 W/m<sup>2</sup> zugrunde, ergibt sich für die Heizflächen, zur Kompensation einer um 2 K abgesunkenen Raumtemperatur innerhalb einer Stunde, ein Aufheizzuschlag von 72 %.



**Bild 2** Aufheizzuschläge für verschiedene Raumseitenverhältnisse (siehe Einzelheiten hierzu im Text)

Bild 2 zeigt Aufheizzuschläge für verschiedene Raumseitenverhältnisse bei einer lichten Raumhöhe von 2,5 m und verschiedene spezifische stationäre Heizleistungen (gleichmäßige Beheizung) nach [5]. Die angenommene Raumtemperaturabsenkung beträgt 2 K, die Aufheizdauer beträgt eine Stunde. Die Aufheizzuschläge gelten gleichermaßen für 3 K und zweistündige Aufheizung bzw. 4 K und vierstündige Aufheizung. Bei 2 K und zweistündiger Aufheizung halbieren sich die Zuschläge. Nach [5, Anhang D] sollte auch die wärmespeichernde Oberfläche der Möblierung pauschal berücksichtigt werden. Dieses führt zu größeren Aufheizzuschlägen. Da die zusätzlichen Oberflächen die Auskühlung reduzieren, blieben diese hier unberücksichtigt. Fenster- und andere nicht wärmespeichernde Oberflächen wurden als Kompensation nicht abgezogen.

Im Ein- und Zweifamilienhausbereich mit Gas- oder Ölkesseln bestimmt die (verbundene) Warmwasserbereitung die Kesselnennleistung. Die Wärmeerzeugungsanlage enthält somit eine hohe Leistungsreserve. Diese könnte durch eine Vorlauftemperaturanhebung während bekannter Aufheizzeiten zeitlich begrenzt zur Verfügung gestellt werden.

Nach einer Untersuchung in [6] wird erst ab einer Anschlussgröße von etwa 20 Wohneinheiten (nach WSV0'95) die Wärmeleistung einer konventionellen Wärmeerzeugungsanlage durch die erforderliche Leistung nicht mehr durch die Trinkwassererwärmung, sondern durch die Raumheizung bestimmt, so dass vergleichbare Reserven nicht vorhanden sind.

In verschiedenen Fachbeiträgen wird die Kesselüberdimensionierung als unkritisch und sogar vorteilhaft angesehen. Dabei ist jedoch grundsätzlich die Problematik der Schalthäufigkeit zu beachten [7]. Bei mit Fern- oder Nahwärme versorgten Gebäuden ist eine Überdimensionierung des Anschlusswertes aufgrund der erhöhten Leistungskosten unzweckmäßig. Eine Überdimensionierung der Wärmeabgabeeinrichtungen (Heizflächen) kann aufgrund der Nutzung des bereitgestellten Überangebots erhöhte Heizkosten durch Mehrverbrauch zur Folge haben.

Um den erforderlichen Flächenzuschlag für den Aufheizfall zu vermeiden, sollte eine zentral gesteuerte Nachtabenkung unterhalb einer bestimmten Außentemperatur zur Vermeidung von morgendlichen Aufheizspitzen nicht vorgenommen werden. Aufheizzuschläge sollten höchstens in Räumen vorgenommen werden, in denen durch die Nutzung (z.B. Nichtwohngebäude, kombinierter Wohn-/Schlafraum) regelmäßiges Aufheizen zu erwarten ist. Eine weitere Möglichkeit wäre ein zweiter Heizkörper, der im Aufheizfall die Heizleistung vergrößert.

Die erläuterte Problematik einer Schnellaufheizung über eine entsprechend dimensionierte Anlagentechnik kann durch eine angepasste Nutzung umgangen werden. In der Regel stellt sich nach einer entsprechenden Nutzereinweisung eine hohe Akzeptanz ein. Durch die dichte Bauweise bei NEH kommen vermehrt mechanische Lüftungsanlagen, in der Regel Abluftanlagen, zur Anwendung, die einen hygienisch erforderlichen Mindestluftwechsel während der Heizperiode gewährleisten.

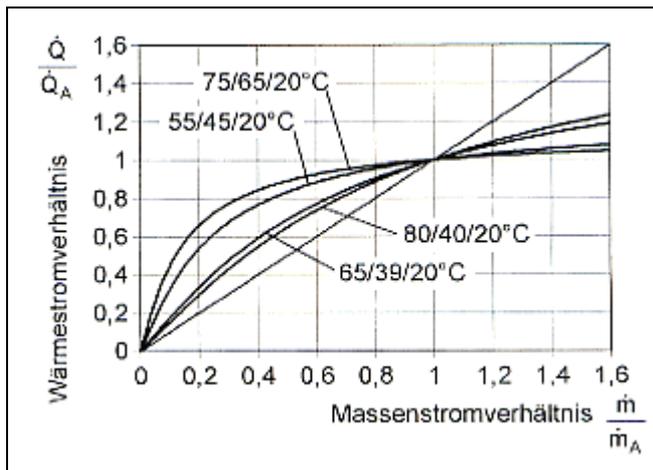
In Zukunft werden auch für Lüftungsanlagen zusätzliche Kriterien für die Regelung zur temporären Heizlastverringering sinnvoll sein. Eine verringerte Lüftungsstufe (Schwachlüftung) mit automatischer Rückstellung in den Nennbetrieb bietet sich z. B. als Lösung an, um während der Aufheizzeit die Lüftungsheizlast zu reduzieren.

Bei der Heizlastberechnung ist zu beachten, dass bei Abluftanlagen mit Außenluftdurchlässen (Zulufträume i. a. Schlafzimmer, Wohnzimmer) die projizierten Außenluftvolumenströme angesetzt werden müssen. In Ablufträumen (Funktionsräume, wie Bad, WC, Küche) tritt lediglich bei unterschiedlicher Raumtemperatur ein Lüftungswärmebedarf auf. Luftwechselzahlen aus der WSVO oder anderen Berechnungsverfahren beziehen sich auf eine ganze Wohnung oder ein Gebäude und dürfen zur Auslegung von Wärmeabgabeeinrichtungen nicht herangezogen werden.

### **Heizflächen und Temperaturspreizung**

Die gewählte Vorlauftemperatur und Auslegungsspreizung bei einer Heizungsanlage hat Einfluss auf die Regelbarkeit der Wärmeabgabe. Je größer die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf und zwischen Vorlauf und Raum gewählt wird, desto günstiger ist das Regelverhalten. Bei geforderten niedriger Auslegungsrücklauftemperatur (Brennwert, Fernwärme) steigen bei kleinerer Spreizung zudem die Massenströme und die Investitionskosten für die Heizflächen.

Bild 3 zeigt, dass z. B. bei Normauslegungsbedingungen 75/65/20 °C nach [8] eine Verringerung des Massenstromes nur eine geringfügige Leistungsreduzierung bewirkt.



**Bild 3 Wärmeübertragerkennlinien bei unterschiedlichen Auslegungstemperaturen**

Eine Leistungssteigerung durch eine Massenstromanhebung ist praktisch nicht erreichbar. Die Eigenart, dass für einen weiten Bereich um den Auslegungspunkt die Leistungsabgabe weitgehend unabhängig vom Massenstrom ist, was genauso für die frühere Normauslegung 90/70/20 °C und heute üblichen Auslegungstemperaturpaarungen 70/55/20 °C und 55/45/20 °C gilt, wird auch als "Wunder der Warmwasserheizung" [9] beschrieben. Dieses ist der Grund, warum Anlagen mit fehlerhafter Rohrnetzauslegung und ungenügender hydraulischer Einregulierung trotzdem, aber mit einem erhöhten Heizwärmeverbrauch, funktionieren; Probleme können sich aber während einer Aufheizphase nach einer Vorlauftemperaturabsenkung ergeben.

Bei Systemen mit kleinen Auslegungsspreizungen ist außerdem eine optimale Nutzung anfallender Fremdwärme nicht möglich. Bei kleiner Differenz zwischen Vorlauf- und Raumtemperatur führen kleine Vorlauftemperaturabweichungen zu relativ großen Leistungsschwankungen. Diese resultieren aus den Rohrleitungsverlusten und den Regelungsgenauigkeiten der zentralen Vorregelung sowie aus einer nicht angepassten Heizkurve. Große Differenzen zwischen Vorlauf- und Raumtemperatur stabilisieren die Leistungsabgabe. Die nachteiligen erhöhten Rohrleitungsverluste der Vorlaufleitung werden weitgehend durch niedrige Verluste im Rücklauf kompensiert. Die Anlagenkomponenten müssen für große Spreizungen geeignet sein. Z. B. stoßen zur Zeit verfügbare thermostatische Heizkörperventile durch die immer geringer werdenden Heizlasten, auch bei zur Reduzierung der Volumenströme begrenzten Strangdifferenzdrücken von z.B. 50 mbar, an ihre Einsatzgrenzen.

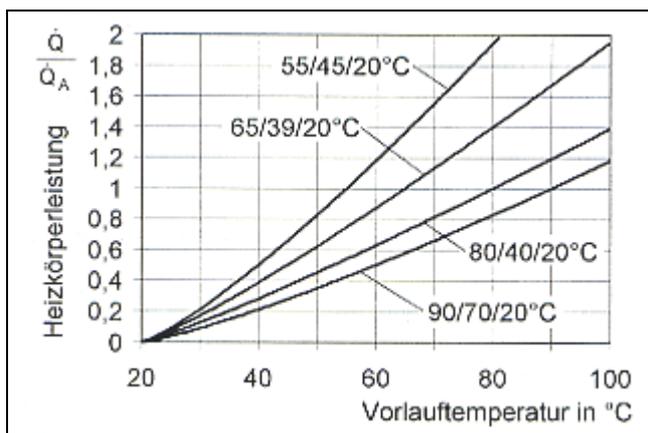
Problematisch ist die Kombination von Brennwert-Wandkessel und integrierter Umwälzpumpe. Die meist überdimensionierten Pumpen liefern hohe Volumenströme, die keine große Spreizung ermöglichen. Werden die Heizflächen planmäßig mit kleinen Spreizungen, z. B. 55/45 °, ausgelegt, führt die entartete Wärmeübertragerkennlinie (Funktionaler Zusammenhang zwischen Wärmeabgabe und Massenstrom) nicht zur gesteigerten Leistungsabgabe und somit auch nicht zur regelungstechnisch bedingten Kompensation durch schließende thermostatische Heizkörperventile.

Die Brennwertnutzung wird durch diesen Effekt ohne eine Absenkung der Auslegungsvorlauftemperatur negativ beeinflusst, so dass ein erwarteter geringerer Gesamtenergieverbrauch ausbleiben kann. Für die Gewährleistung eines Mindestvolumenstromes werden im Gerät Überströmventile eingesetzt, oder der Hersteller schreibt für einen ordnungsgemäßen Kesselbetrieb den Anschluss an eine hydraulische

sche Weiche vor. Beide Komponenten vermindern die Brennwertnutzung und führen zu einer Erhöhung des elektrischen Zusatzenergiebedarfs.

Bei der hydraulischen Entkopplung mit einer hydraulischen Weiche kann es zur Anhebung der Kesselrücklauf­temperatur kommen, wenn der Volumenstrom auf der Verbraucherseite kleiner als auf der Kesselseite ist. Durch die integrierte, überdimensionierte Pumpe lässt sich dieser Fall nur in seltenen Fällen ausschließen. Der Einsatz der hydraulischen Weiche erfordert für den Sekundärkreis eine zusätzliche Pumpe. Der Einbau eines Überströmventils zwischen Kesselvor- und -rücklauf bewirkt gleichfalls eine Anhebung der Kesselrücklauf­temperatur.

Ein weiterer Punkt, der zur Verminderung von Regelgüte, Brennwertnutzung und sparsamem Energieeinsatz führen kann, ist die nicht durchgeführte bzw. unangepasste Heizkurven­einstellung (vgl. Bild 4). Bei der Inbetriebnahme des Wärme­erzeugers wird die werkseitige Heizkurven­einstellung (meist 70 bis 75 °C Vorlauf­temperatur) selten den vorliegenden, individuellen Bedingungen angepasst oder nachträglich aufgrund von Versorgungsschwierigkeiten angehoben. Der dadurch bedingte Anstieg der Rücklauf­temperatur (Überströmung) verringert die Nutzung der Kondensationswärme des Abgases.



**Bild 4 Wärmeabgabe von Heizkörpern bei veränderter Vorlauf­temperatur, bei konstantem Massenstrom und konstanter Raumtemperatur für Auslegungen:**

90/70/20 °C und  $n = 1,3$ ; 80/40/20 °C und  $n = 1,3$ ;

55/45/20 °C und  $n = 1,3$ ; 65/39/20 °C und  $n = 1,3$ ;

**Sekundärauslegungstemperaturen im Nahwärmenetz Kronsberg, Hannover**

Das Einstellen der Heizkurve und die korrekte Auslegung der Heizflächen sind nur zwei von vielen Punkten, die für einen ordnungsgemäßen Anlagenbetrieb erforderlich sind. Für die hydraulische Auslegung und Gestaltung der Wärmeverteilung existiert derzeit für den Fachplaner und Fachhandwerker keine technische Regel oder Norm. Ein entsprechendes Normenwerk ist zur Erfüllung der Forderungen nach VOB/C DIN 18 380 (hydraulischer Abgleich) und einer energieoptimierten Dimensionierung der Wärmeverteilung in zukünftigen Gebäuden mit niedriger Heizlast dringend erforderlich.

### **Thermostatische Heizkörperventile und hydraulischer Abgleich**

Ein Heizkörper kann nicht ohne das Regelsystem umfassend betrachtet werden. Die einfachste und verbreitetste Kombination besteht aus der wärmeübertragenden Fläche (= Heizkörper) und dem thermostatischen Heizkörperventil als proportionaler

Regler ohne Hilfsenergie. Ventilheizkörper fassen beide Komponenten mit steigender Marktbedeutung zusammen. Richtige Planung und Auslegung von thermostatischen Heizkörperventilen ist die Grundlage für eine gleichmäßige Versorgung aller Verbraucher und die damit eng in Verbindung stehende Einhaltung einer maximalen, wenn geforderten Rücklauftemperatur, z. B. in Nah- und Fernwärmesystemen. Dadurch kann ebenfalls eine optimale Ausnutzung anfallender Fremdwärme und somit ein niedriger Heizwärmeverbrauch ermöglicht werden.

Zur Zeit konkurrieren zwei Auslegungsphilosophien für thermostatische Heizkörperventile:

1. Auswahl von thermostatischen Heizkörperventilen mit angepasstem Durchflußkennwert  $k_v$ , durch Variation der Ventilkegel mit Beachtung einer angemessenen Ventilautorität und eines ausreichenden Proportionalbereichs; eine hydraulische Einregulierung erfolgt über eine zusätzliche Drosselstelle, z. B. Rücklaufverschraubung,
2. Auswahl von thermostatischen Heizkörperventilen mit Voreinstellmöglichkeit mit relativ überdimensioniertem Regelkegel und Anpassung des Gesamtdurchflußkennwertes über eine interne Drossel bei gleichzeitiger hydraulischer Einregulierung, meistens durch eine überzogene Voreinstellung nur mit geringer Ventilautorität und/oder kleinem Proportionalbereich. Im Auslegungsbereich einer angemessenen Ventilautorität und mit ausreichendem Proportionalbereich entspricht dieses der Variante 1.

Die Ventilautorität  $a_v$  gibt an, mit welcher Qualität eine Hubänderung am Ventil eine Veränderung des Massenstromes bewirkt. Sie definiert das Verhältnis der Druckverluste über dem Regelorgan im Auslegungszustand zum Gesamtdruckverlust bei Auslegung. Für THKV gilt der Druckabfall über dem Regelorgan bei gewähltem  $X_{PA}$  ohne den Druckverlust der internen Drossel (= Voreinstellung). Der Gesamtdruckverlust entspricht dem Auslegungsdruckverlust des Netzteils, in dem eine Veränderung des Ventilhubes eine Volumenstromänderung bewirkt (= volumenstromvariabler Kreis).

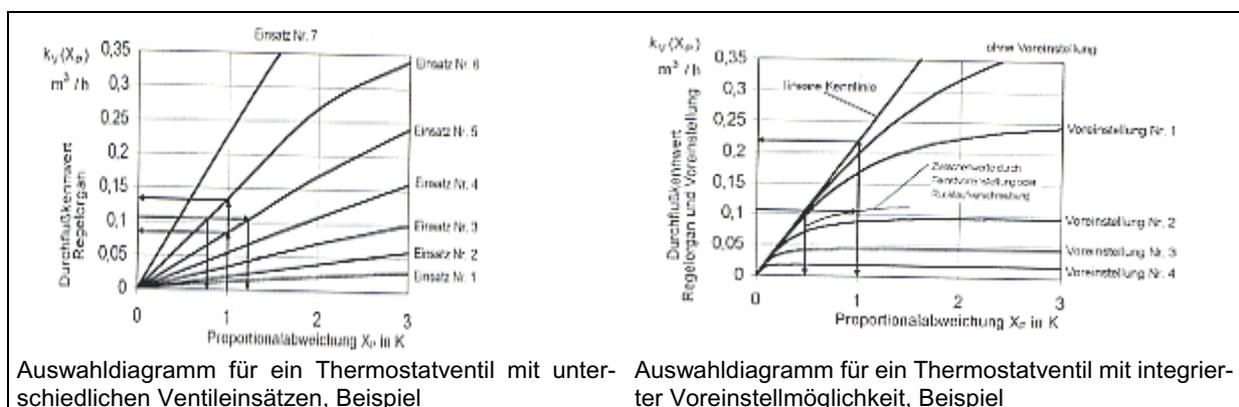
Der Proportionalbereich  $X_P$  definiert den gesamten Stellbereich eines Ventils. Bei thermostatischen Heizkörperventilen (THKV) gibt er an, um wieviel Kelvin sich die Raumlufttemperatur ändern muss, um den gesamten Ventilhub zu durchlaufen. Der bei der Dimensionierung von THKV zu wählende Auslegungsproportionalbereich  $X_{P,A}$  gibt die notwendige Temperaturerhöhung der Raumluft an, um das Ventil aus der projektierten Zwischenstellung vollständig zu schließen. [10] schlägt ein  $X_{P,A}$  von 1 bis 2 K vor. Die Tendenz geht aufgrund der kleiner werdenden Heizlasten und nicht angepassten THKV hin zu  $X_{P,A} = 1$  bis 1,5 K. Einige Hersteller regen 0,5 ... 2 (3) K an, um mit einem einzigen voreinstellbaren THKV ein breites Leistungsspektrum abzudecken.

Voreinstellung bedeutet das Einregulieren eines Nennvolumenstromes an einer zentralen oder dezentralen Drosselvorrichtung. Im Teillastfall ist die Voreinstellung einer Drosselvorrichtung, die mehrere Verbraucher berücksichtigt (Strangreguliertventile), unwirksam. Direkt am Verbraucher wirkt die Voreinstellung volumenstrombegrenzend. Eine starke Voreinstellung zur Drosselung des überschüssigen Strangdruckes verringert die Ventilautorität und beeinflusst das Regelverhalten nachteilig. Hier ist eine Anpassung des Ventilkegels notwendig. Bei kleinen Anlagen, z. B. bis ca. 1

m<sup>3</sup>/h Auslegungsvolumenstrom, ist die Voreinstellung mit dem hydraulischen Abgleich gleichzusetzen.

Seit längerer Zeit ist erkennbar, dass die weiter verminderten Heizlasten angepasste thermostatische Heizkörperventile erfordern. Es sind also Ventile mit kleinen  $k_{VS}$ -Werten notwendig. Der Trend am Markt folgt dieser Forderung jedoch nicht. Zur Zeit werden von den meisten Herstellern einige wenige Heizkörperventil- $k_{VS}$ -Werte angeboten. Fein abgestufte Ventileinsätze existieren fast gar nicht.

Um das Erfordernis kleinerer thermostatischer Heizkörperventile zu verdeutlichen, wird anhand eines Beispiels ein Vergleich vorgenommen. Die Anpassung des Durchflusskennwertes mit gestuften Ventileinsätzen wird einer starken Voreinstellung gegenüber gestellt. Die Bilder 5a und 5b veranschaulichen die unterschiedlichen Ventilkennlinien.



**Bild 5 Ventilkennlinien thermostatischer Heizkörperventile mit Ventileinsätzen und integrierter Voreinstellmöglichkeit**

**Beispiel:**

$\Delta t = 65/40 \text{ }^\circ\text{C}$

$\dot{Q}_{HK} = 480 \text{ W}$

$\Delta p_{vol.var.} = 50 \text{ mbar}$

$a_V = 0,5$

$X_{P,A} = 1 \text{ K}$

Wärmeleistung Heizkörper

Druckverlust des volumenstromvariablen Anlagenteils

Ventilautorität

Auslegungs-Proportionalbereich

Für den Heizkörper berechnet sich für dieses Beispiel der erforderliche Volumenstrom zu:

$$\dot{V}_{HK} = \frac{\dot{Q}_{HK}}{\rho_{H2O} \cdot c_{P,H2O} \cdot \Delta t_{HK}} = 0,0168 \text{ m}^3/\text{h}$$

$\dot{Q}_{HK}$  Heizkörper-Volumenstrom

$\rho_{H2O}$  Dichte, Wasser

$c_{P,H2O}$  spez. Wärmekapazität, Wasser

Der erforderliche Druckabfall über dem thermostatischen Heizkörperventil beträgt:  
 $\Delta p_{\text{THKV,A}} = a_V \cdot \Delta p_{\text{vol.var.}} = 0,5 \cdot 50 \text{ mbar} = \underline{25 \text{ mbar}}$ , und der Durchflußkennwert ergibt sich zu:

$$k_{V,A} = \dot{V}_{\text{HK}} \cdot \sqrt{\frac{1 \text{ bar}}{\Delta p_{\text{THKV,A}}}} = 0,106 \text{ m}^3/\text{h}$$

$\Delta p_{\text{THKV,A}}$  Druckabfall über THKV im Auslegungszustand  
 $k_{V,A}$  Durchflußkennwert THKV im Auslegungszustand

Der Einfluß der Dichte ist vernachlässigbar. Dieser Auslegungsdurchflusskennwert wurde in die Diagramme 5a und 5b eingetragen.

### Auswertung

#### a) Unterschiedliche Ventileinsätze (Bild 5a)

Durch die vorhandene Stufung wird Ventileinsatz Nr. 5 gewählt. Der fehlende Differenzdruck wird mit Hilfe einer regulierbaren Rücklaufverschraubung gedrosselt. Eine angemessene Voreinstellung unmittelbar am Verbraucher ist vorteilhaft, denn sie wirkt bei großer Sollwertabweichung, z. B. durch eine Nachtabsenkung, mengenbegrenzend. Der Auslegungsproportionalbereich beträgt akzeptable 1,25 K.

#### b) Integrierte Voreinstellung (Bild 5b)

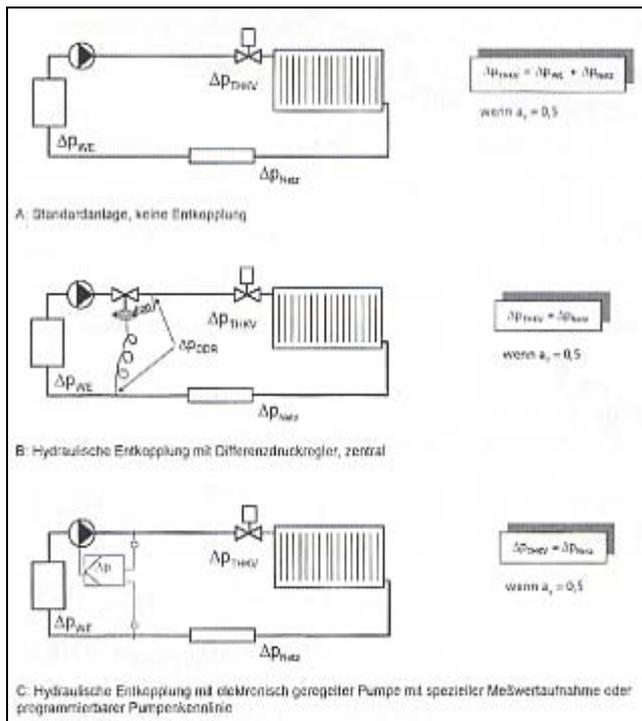
Hier besteht nur die Möglichkeit, die Voreinstellung zu variieren, da lediglich größere Ventileinsätze zur Verfügung stehen. Für eine Proportionalabweichung von 1 K ist eine starke Voreinstellung bei entsprechender Entartung der Kennlinie notwendig. Die Voreinstellung muss durch Voreinstellung Nr. 1 und die Drosselung einer zusätzlichen Rücklaufverschraubung erfolgen bzw. bei THKV mit Feinstvoreinstellung direkt über der VE-Drossel. Der Druckverlust über dem Regelorgan ergibt sich dann bei einem Ablesewert an der linearen Kennlinie mit  $k_{V,A}$  0,22 m<sup>3</sup>/h zu:

$$\Delta p_{\text{THKV,A}} = \left( \frac{\dot{V}}{k_{V,A}} \right)^2 \cdot 1 \text{ bar} = \left( \frac{0,0168}{0,22} \right)^2 \cdot 1000 \text{ mbar} = \underline{5,8 \text{ mbar}}$$

Die Ventilautorität beträgt nun

$$a_V = \frac{5,8 \text{ mbar}}{50 \text{ mbar}} = \underline{0,12}.$$

Eine wirksame Drosselung des Volumenstromes erfolgt erst, wenn das Ventil fast geschlossen ist. Durch die minimale Ventilautorität verkleinert sich der effektiv nutzbare Proportionalbereich erheblich, was zu einer instabilen Regelung (Zweipunktverhalten) führen kann. Weiterhin liegt der Differenzdruck über dem Regelquerschnitt deutlich unterhalb der Einsatzgrenze von 15 mbar. Mit einer weiteren Verschlechterung der Regelung ist dadurch zu rechnen. Hält man die geforderte Ventilautorität von  $a_V$  0,5 ein, ergibt sich ein  $X_{P,A} = 0,5$  K, so dass ebenfalls die Gefahr einer instabilen Regelung besteht. Dieses thermostatische Heizkörperventil ist für das gewählte Beispiel entsprechend den Empfehlungen aus [10] ungeeignet.



**Bild 6 Optimierung der Auslegungsdruckverluste über dem thermostatischen Heizkörperventil ohne Einschränkung der Ventilautorität, Fall B und C**

Bild 6 zeigt auf, mit welchen Möglichkeiten bei Anlagen mit kleinen Volumenströmen die Druckverluste über dem thermostatischen Heizkörperventil und damit die Stärke der Voreinstellung reduziert sowie die Einsatzbedingungen für Ventile mit größeren  $k_{vs}$ -Werten verbessert werden können, ohne die Ventilautorität einzuschränken.

Darstellung A zeigt die heute am meisten vorzufindende Anlagenform im Bestand, aber auch im Neubau. Bei niedrigen Volumenströme sind sehr kleine, unter Umständen am Markt nicht verfügbare thermostatische Heizkörperventile erforderlich. Der kleine Auslegungsproportionalbereich durch starke Voreinstellung führt tendenziell zum Zweipunktverhalten. Die hier mögliche Teillastproblematik ist ebenfalls eine negative Begleiterscheinung: Reduziert sich der Volumenstrom aufgrund von Fremdwärmeeinwirkungen, steigt der Druckverlust über dem Ventil erheblich, unter Umständen bis zur Nullförderhöhe oder dem Differenzdruck-Einstellwert der Pumpe an.

Als Möglichkeit der Optimierung bietet sich eine Anlagenkonzeption nach Darstellung B an, wenn der Wärmeerzeuger- bzw. Wärmeübertragerkreis einen Druckverlust aufweist, der ca. 30 % des Netzdruckverlustes (Druckverlust aus: Rohrleitungen, Einbauten, Umlenkungen, Voreinstellungen) entspricht. Bei Netzdruckverlusten größer als 1 mWS begrenzen dezentrale Strangdifferenzdruckregler den Auslegungsdruckverlust des THKV.

Durch die Integration eines Differenzdruckreglers reduziert sich der Druckverlust über dem thermostatischen Heizkörperventil. Alle Komponenten, die vor den Druckmessstellen des in Reihe geschalteten Differenzdruckreglers liegen, sind für die Berechnung der Ventilautorität nicht maßgeblich. Diese "hydraulische Entkopplung" bewirkt somit einen geringeren Auslegungsdruckabfall über dem THKV und verbessert die angedeutete Teillastproblematik erheblich. Einschränkend ist bei dieser Schaltung die bleibende Regelabweichung des Differenzdruckreglers ohne Hilfsenergie aufzu-

führen, die bei marktüblichen Ausführungen und kleinen Sollwerten rund 20 % betragen kann.

Eine zweite Variante der hydraulischen Entkopplung zeigt die Darstellung C. Der Differenzdruckregler wird hier durch eine elektronisch geregelte Pumpe ersetzt. Die Vorteile dieser Schaltung sind identisch mit der Darstellung B. Als Nachteil ist die externe Differenzdruckerfassung oder die zusätzliche Parametereingabe (Widerstand des Wärmeerzeugers) für die Pumpenelektronik zu nennen. Beide Vorschläge sind Möglichkeiten, derzeit verfügbare thermostatische Heizkörperventile optimiert in Neuanlagen einzusetzen. Die Aufforderung an die Thermostatventilhersteller, Ventile mit kleineren Durchflusskennwerten dem Markt zur Verfügung zu stellen, bleibt in gleicher Weise bestehen.

Das thermostatische Heizkörperventil ist ein Proportionalregler ohne Hilfsenergie, der zu regelnde Raum eine proportionale Regelstrecke. Für die Kombination des Reglers mit der Regelstrecke ergibt sich hinsichtlich des dynamischen Verhaltens vereinfacht nach Ziegler/Nichols eine optimale Einstellung gemäß:

$$X_{P,opt.} = S \cdot X_{hs}$$

$X_{hs}$  bezeichnet den Regelbereich, der bevorzugt mit 10 K angenommen wird [11]. Der Schwierigkeitsgrad  $S$  ist der Quotient aus der Verzugszeit und der Ausgleichszeit und trifft somit eine Aussage über das Speicher- und Totzeitverhalten der Regelstrecke. Er beträgt bei Wohnräumen mit Radiatorheizung typisch 0,1 ... 0,2. Der optimale Auslegungsproportionalbereich sollte somit Werte zwischen 1 ... 2 K annehmen.

Ein möglicher Beginn einer Regelkreisschwingung wird anhand von folgendem Zusammenhang beurteilt:

$$X_{P,krit.} = \frac{1}{2} \cdot X_{P,opt.}$$

Nach den üblichen Randbedingungen würde je nach Schwierigkeitsgrad der Anlage der Regelkreis bei einem  $X_P$  von 0,5 ... 1,0 K beginnen zu schwingen, wobei diese Werte durch verschiedene Einflüsse verstärkt werden können, z. B. durch den Wärmeleiteinfluss (Vorlauftemperatureinfluss), der zum Schließen der THKV führt, oder durch Schwankungen der Außenluftzufuhr über Durchlasselemente von Lüftungsanlagen in Nähe der Heizkörper.

Heute angebotene Heizkörper mit Ventilintegration sind, trotz ihrer Vorteile bei der Ausführung, bei geringen Volumenströmen nur in seltenen Fällen empfehlenswert. Die eingesetzten Ventile verfügen über zu große  $k_{vs}$ -Werte; dieses gilt auch bei den von einigen Herstellern gesondert angebotenen Ventileinsätzen für große Spreizungen und Fernwärmeanwendungen.

Eine extreme Drosselung mittels der integrierten Voreinstellung wäre aufgrund der kleinen Volumenströme eine erforderliche Maßnahme, die sich auf das Regelverhalten, den Energieverbrauch und den Nutzerkomfort nachteilig auswirken würde. Auch die Ventile kombinierter Ventilheizkörper sind der bereits angesprochenen, heutigen Marktforderung an kleine  $k_{vs}$ -Werte anzupassen. Zur Zeit wird bei diesen Heizkörpern mit einem Ventil eine Heizkörperleistung von z. B. ca. 800 W bis über 3700 W

durch die integrierte Voreinstellung realisiert. Denkbar und wünschenswert für die Zukunft wäre folgende Vereinfachung der zur Zeit vorhandenen Vielfalt an Spreizungen und Auslegungsphilosophien.

Die Ventilheizkörper könnten zukünftig z. B. auf 500, 750 und 1000 Watt genormt werden und z. B. für zwei Spreizungen von 80/40 °C und 70/55 °C zur Verfügung stehen. Dafür müsste dann eine Anpassung der erforderlichen thermostatischen Heizkörperventile durchgeführt werden. Bei Anlagen mit kleinen Heizlasten und damit kleinen Volumenströmen sollte für eine ausreichende THKV-Dimensionierung der Hauptwiderstand im Verbraucher (= THKV) liegen. Ansonsten wären nur THKV mit starker, sich nachteilig auswirkender Voreinstellung einsetzbar. Rohrreibungsdrukverluste  $\leq 50$  Pa/m für das Wärmeverteilstück liefern dafür eine gute Grundlage.

Aufgrund der kleinen Auslegungsdruckdifferenzen ist bei großen Anlagenspreizungen der Schwerkrafteinfluss von Steigleitungen bei der Rohrnetzberechnung zukünftig wieder zu berücksichtigen. Der hydraulische Abgleich ist eine Grundvoraussetzung für eine funktionierende Heizungsanlage und sollte auf folgender Grundlage basieren:

Nach Festlegung der einzelnen Rohrleitungsnennweiten und der Ventildimensionierung ist die noch "nicht verbrauchte" Druckdifferenz für jeden Verbraucher zu berechnen, die Voreinstellung zu ermitteln und in den Planungsunterlagen zu dokumentieren. Die tatsächliche Umsetzung ist dann vom Installationsbetrieb durchzuführen und vom Fachplaner zumindest stichprobenartig vor Ort zu kontrollieren. Eine Erklärung darüber sollte bereits im Leistungsverzeichnis als pflichtgemäße Forderung aufgenommen werden. Die Einregulierung sollte in Zukunft, auch beim Einsatz dezentraler Differenzdruckregler, am einzelnen Heizkörper erfolgen.

## **Fazit**

Der Auslegung eines Heizsystems für ein Niedrigenergiehaus muss in Zukunft mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden, um Einbußen bei den Behaglichkeitskriterien und den Einsparmöglichkeiten zu vermeiden. Durch die immer geringer werdenden Heizlasten und relativ dazu ansteigenden Fremdwärmegewinne und elektrischen Zusatzenergien ist mehr Sorgfalt bei der Planung der Gebäude- und Anlagentechnik erforderlich, um die durch den NEH-Standard vorhandenen Energieeinsparpotentiale auszunutzen.

Eine integrierte Planung könnte dafür eine wichtige Grundlage liefern. Veränderte Schwerpunkte bei der Heizlastberechnung ebenso wie neue Gesichtspunkte bei der Heizkörperauslegung werden in Zukunft ein Umdenken erforderlich machen, allerdings gehen die Fachmeinungen hier leider noch sehr weit auseinander.

---

## Literatur

- [1] Schrode, Ansgar: Niedrigenergiehäuser: Fehlerfrei planen, kostengünstig bauen. Rudolf Müller Verlag, Köln, 1996
- [2] Wolff, Dieter: Normung zur Energiesparverordnung DIN V 4701-10. Bundes Bau Blatt (IBBauB1) Nr. 1/1998
- [3] Wolff, Dieter u. a.: Eindeutige Bewertungsmaßstäbe für Planer und das ausführende Handwerk entwickeln. Wärmetechnik Nr. 6/1997
- [4] Info-Recht 8 v. 8/97. Fachverband Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik Bayern, 1997
- [5] DIN EN 12 831, Entwurf August 1997, Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast. Deutsche Fassung prEN 12 831, 1997. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1997
- [6] Böhm, Gerd: Auswahl und Einsatz von Kesseln und Warmwasserspeichern. Karl Krämer Verlag, Stuttgart, 1997
- [7] Stock, H., Wolff, D.: Entwicklungstendenzen in der Regelungstechnik von Heizanlagen, Teil 1. Wärmetechnik Nr. 12/1995
- [8] DIN EN 442 Radiatoren und Konvektoren. Berlin, Mai 1996
- [9] Esdorn, H.: "Erfordern hochwärmegedämmte Gebäude neue Auslegungsmethoden für Heizsysteme?". HLH Bd. 6/1997
- [10] VDMA Fachgemeinschaft Armaturen (Hrsg.): Merkblatt über Planung und hydraulischen Abgleich von Heizungsanlagen und thermostatischen Heizkörperventilen
- [11] Arbeitskreis der Dozenten für Regelungstechnik: Regelung in der Versorgungstechnik. 4. Auflage, Verlag C. F. Müller, Karlsruhe, 1995

Quelle: Manuskript für Wärme + Versorgungstechnik

---

\* Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff ist geschäftsführender Leiter des Instituts für Heizungs- und Klimatechnik im Fachbereich Versorgungstechnik der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; Dipl.-Ing. (FH) Jochen Vorländer und Dipl.-Ing. (FH) Stephanie Hahn sind Mitarbeiter ebendort.