

Energieeinsparung im Gebäudebestand ist eine der bedeutendsten Zukunftsaufgaben. Dabei kommt der TGA/SHK-Branche eine gewichtige Rolle zu. Wird im Zuge einer Sanierung der Gebäudehülle an der Heiztechnik nichts verändert, können sich die möglichen und somit auch erwarteten Energieeinsparungen nicht einstellen.

Zur Optimierung der Anlagentechnik muss diese als Gesamtsystem betrachtet werden. Nur wenn berücksichtigt wird, dass jede „Einzelkomponente“ weitreichende und manchmal zunächst nicht offensichtliche Auswirkungen auf das Gesamtsystem hat, lassen sich Energieeinsparpotenziale bestmöglich nutzen. Dazu soll hier das Zusammenspiel der Anlagenbestandteile beleuchtet werden und in den folgenden Teilen die zeit- und kostensparende Umsetzung durch Einsatz von Softwarelösungen im Fokus stehen.

Notwendigkeit der Optimierung

Der erste Teil dieser Artikelserie zeigte auf, warum im Zuge einer baulichen Modernisierung eine anlagentechnische Optimierung folgen muss. Kurz zusammengefasst: Durch die Sanierung sinken die Raumheizlasten und die Gebäudeheizlast. Wird die Anlagentechnik nicht an die neuen Bedingungen angepasst, hat sie weiterhin die volle (bisherige) Leistung und kann auch nach der Modernisierung die gleiche Wärmemenge wie vorher abgeben. Es besteht die Gefahr einer – ggf. unbemerkten – Energieverschwendung durch den Nutzer. In einer Pumpenwarmwasserheizung verändern sich durch energetische Verbesserungen der Gebäudehülle die Soll-Volumenströme, die zum Erreichen der notwendigen Wärmeabgabe der Heizflächen nötig sind. Daher existiert auch kein hydraulischer Abgleich mehr, sofern die Heizungsanlage vorher überhaupt hydraulisch abgeglichen war. Bei der Optimierung einer Heizungsanlage muss aber auf den hydraulischen Abgleich ein Hauptaugenmerk gerichtet werden.

Teil 2: Einfluss der Anlagentechnik

Optimierung von Heizungsanlagen

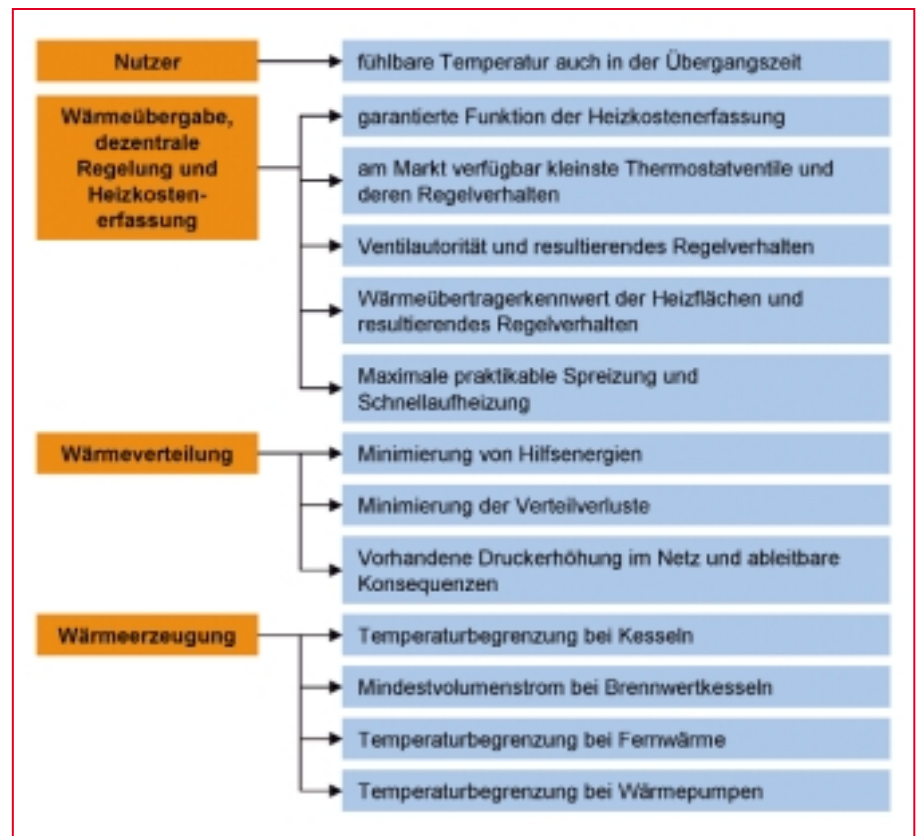


Bild 1 Einflüsse auf die Wahl des neuen Temperaturniveaus

Randbedingungen für das Temperaturniveau

Bleibt nach einer baulichen Modernisierung die alte Vorlauftemperatur (-regelung) bestehen, sind die Heizflächen ohne die Neueinstellung der Soll-Volumenströme überdimensioniert. Für die Festlegung der neuen Volumenströme müssen die Vor- und Rücklauftemperaturen ermittelt werden. Um die Heizkörperleistung an die neuen Verhältnisse anzupassen, muss die Über-temperatur des Systems (mittlere Temperatur über der Raumtemperatur) herabgesetzt werden. Dieses ist nicht durch eine Anpassung der Heizkurve möglich, sondern erfordert die Betrachtung der gesamten An-

lage, aller Heizkörper und die Festlegung des „thermisch ungünstigsten Heizkörpers“ (vgl. Teil 1) und schließlich, als Basis für die neue Einregulierung, die Wahl eines neuen Temperaturniveaus.

Die schon aufgezeigte, zunächst sehr groß erscheinende Anzahl der möglichen Temperaturniveaus wird durch die Randbedingungen der Nutzung, aber vor allem durch die vorhandenen Anlagenkomponenten und -systeme begrenzt (Bild 1).

Einfluss des Nutzers

Die Wahl einer bestimmten Vorlauftemperatur wird im Mehrfamilienhaus durch das Nutzerempfinden beeinflusst. Auch bei höheren Außentemperaturen in der Über-

Heizung

gangszeit sollte für den Nutzer „fühlfbar“ sein, dass die Heizung in Betrieb ist. Dazu müssen gewisse Mindestvorlauftemperaturen vorhanden sein. Setzt man bei einer Außentemperatur von etwa 12 °C voraus, dass die Vorlauftemperatur bei 30 °C liegt, damit ein „Wärmeeindruck“ entsteht, muss die Auslegungsvorlauftemperatur 65 °C und mehr betragen. Im Einfamilienhausbereich findet dieses Kriterium weniger Anwendung, da die Nutzer in der Regel besser über ihre Heizungsanlage informiert sind.

Heizkostenerfassung

Auch können Heizkostenerfassungsgeräte Anforderungen an die Mindestvorlauftemperatur stellen. So sollte bei Verdunstern die mittlere Heizkörpertemperatur bei der Auslegung über 55 ... 60 °C (herstellerabhängig) liegen. Welche Toleranzen noch akzeptabel sind, wenn einzelne Heizkörper auf Grund ihrer Überdimensionierung niedrigere mittlere Heizkörpertemperaturen aufweisen, muss im Einzelfall bewertet werden. Für elektronische Ein- und Zweifühlergeräte ist ein Einsatz ab ca. 30 ... 35 °C mittlerer Heizkörpertemperatur bei Auslegungsbedingungen möglich. Die neue mittlere Heizkörpertemperatur wird von den ursprünglichen Auslegungstemperaturen und dem Grad der Überdimensionierung der Heizkörper nach der Modernisierung bestimmt. War die Heizung früher auf 70/50 °C ausgelegt (mittlere Heizkörpertemperatur bei der Auslegung in erster Näherung 60 °C), konnten Verdunster eingesetzt werden. Wenn die Raumheizlasten nach der Modernisierung aber auf etwa die Hälfte sinken, dann sind mittlere Heizkörpertemperaturen von etwa 40 °C am Auslegungstag zu erwarten. Dieser Wert stellt sich unabhängig von der Wahl der Vor- und Rücklauftemperatur ein, denn es handelt sich um den Mittelwert aus beiden (vgl. Bild 6). Es muss in diesem Fall die Art der Heizkostenerfassung angepasst werden, z. B. durch die Umrüstung auf elektronische Ein- oder Zweifühlergeräte. Die Heizkostenerfassung mit Wärmemengenzählern ist in der Regel unproblematisch, wenn die Geräte vorher richtig ausgelegt waren und sich die Volumenströme nicht deutlich ändern.

Ventilautorität

Die Ventilautorität a_V eines Thermostatventils ist ein Maß für das Regelverhalten des Ventils im Zusammenspiel mit dem hydraulischen Netz. In Gl. 1 ist die Definition in zwei unterschiedlichen Schreibweisen wiedergegeben.

$$a_V \frac{\Delta p_{\text{THKV}}}{\Delta p_{\text{Verfügbar}}} = \frac{\Delta p_{\text{THKV}}}{\Delta p_{\text{THKV}} + \Delta p_{\text{Netz}}} \quad [\text{Gl. 1}]$$

Δp_{THKV} Druckabfall über dem Thermostatventil im Auslegungsfall
 Δp_{Netz} Druckabfall über Rohrleitungen, Umlenkungen etc.

Die Ventilautorität ist das Verhältnis von Druckabfall über dem Thermostatventil zum maximal verfügbaren Druck. Der verfügbare Druck kann auch ausgedrückt werden als Summe des Druckabfalls über dem Ventil und im restlichen Netz. Fließt im Netz kein Wasser, d. h. es sind alle Thermostatventile geschlossen, liegt am Ventil der maximal verfügbare Druck an. Dieser wird durch die Pumpe vorgegeben, ggf. auch durch Differenzdruckregler oder ein Überströmventil. Insbesondere (Strang-) Differenzdruckregler entkoppeln Netze in kleinere Unternetze, so dass dann z. B. der verfügbare Druck mit dem eingestellten Differenzdrucksollwert gleichgesetzt werden kann.

Das Regelverhalten ist um so besser, je höher die Ventilautorität a_V ist. Sie kann maximal 1,0 werden, wenn der Druckabfall im restlichen Netz vernachlässigbar klein ist. In diesem idealen Fall verhalten sich Ventilhub und der durch das Thermostatventil fließende Volumenstrom proportional zueinander. Bei 50 % geschlossenem

Ventil fließen nur noch 50 % des maximalen Volumenstroms.

Je kleiner die Ventilautorität a_V wird, desto mehr weicht das Betriebsverhalten des Ventils von der Linearität ab. Deutlich zu erkennen sind die Zusammenhänge im 1. Quadranten von Bild 2. Bei einem zu 50 % geschlossenen Ventil fließen bei der gezeichneten Ventilautorität immer noch 75 % des maximalen Volumenstroms. Die merkliche Volumenstromreduzierung wird in den unteren Hubbereich verschoben.

In der Praxis hat es sich bewährt, die Ventilautorität für den hydraulisch ungünstigsten Heizkörper nicht kleiner als $a_V = 0,30$ zu wählen. Hydraulisch ungünstig heißt: der Druckverlust in den Vor- und Rückleitungen ist für diesen Heizkörper am größten verglichen mit allen anderen Heizkörpern. Diese weisen dann bessere (größere) Ventilautoritäten auf, weil die Netzdruckverluste kleiner sind, der Pumpendruck aber gleich bleibt.

Wärmeübertragerkennwert

Ebenso wie das Regelverhalten eines Thermostatventils von der Ventilautorität a_V bestimmt wird, gibt es einen Wärmeübertragerkennwert a für die Regelbarkeit der Heizflächen.

$$a = \frac{\vartheta_{V,A} - \vartheta_{R,A}}{\vartheta_{V,A} - \vartheta_L}$$

[Gl. 2]

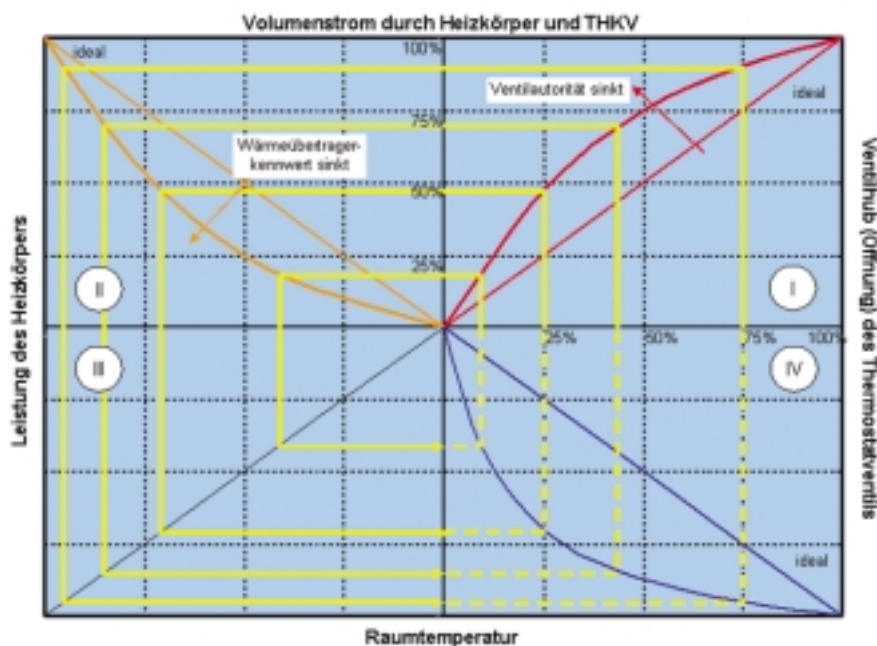


Bild 2 Auswirkungen unterschiedlicher Ventilautoritäten und unterschiedlicher Wärmeübertragerkennwerte auf die Regelbarkeit

Heizung

$\vartheta_{V,A}$ Auslegungsvorlauftemperatur
 $\vartheta_{R,A}$ Auslegungsrücklauftemperatur
 ϑ_L Raumtemperatur

Der Wärmeübertragerkennwert ist das Verhältnis der Auslegungs-Temperaturspitzung zwischen Vor- und Rücklauf zur Vorlaufübertemperatur über der Raumtemperatur. Er wird – bei vorgegebener Übertemperatur des Heizkörpers – größer, wenn die Spreizung zunimmt. Das Regelverhalten der Heizfläche ist um so besser, je höher der Wärmeübertragerkennwert ist. Er kann maximal 1,0 betragen. In diesem idealen Fall verhalten sich der Volumenstrom durch den Heizkörper und seine Leistungsabgabe proportional zueinander. Bei 50 % des Volumenstroms wird nur noch 50 % der Leistung abgegeben.

Je kleiner der Wärmeübertragerkennwert wird, desto mehr weicht das Betriebsverhalten des Heizkörpers von der Linearität ab. Dieser Zusammenhang ist im II. Quadranten von Bild 2 dargestellt. Eingetragen ist eine Auslegung bei etwa 90/70 °C. Bei einer Reduzierung des Volumenstroms auf 25 % des Auslegungswertes wird immer noch 50 % der Leistung abgegeben. Eine Verminderung der Leistungsabgabe erfolgt erst bei sehr kleinen Volumenströmen.

Um eine einigermaßen gute Regelbarkeit zu gewährleisten, sollte der Wärmeübertragerkennwert a für den thermisch ungünstigsten Heizkörper so groß wie möglich, jedoch nicht kleiner als 0,2 sein. Weil der thermisch ungünstigste Heizkörper die höchste Übertemperatur zur Deckung der Raumheizlast benötigt (geringste Überdimensionierung), ergibt sich eine ausreichend hohe Übertemperatur bei vorgege-

bener Vorlauftemperatur nur bei einer ebenfalls recht hohen Rücklauftemperatur. Die Spreizung ist gering und führt damit zu einem kleinen Wärmeübertragerkennwert. Alle anderen Heizkörper erhalten allerdings eine höhere Spreizung und daher tendenziell höhere (günstigere) Wärmeübertragerkennwerte. Wegen der größeren Überdimensionierung, stellen sich niedrigere Rücklauftemperaturen ein.

Regelbarkeit der Raumtemperatur

Das Zusammenspiel zwischen der Regelbarkeit des Ventils (Ventilautorität) und der Heizfläche (Wärmeübertragerkennwert) stellt Bild 2 dar. Der IV. Quadrant zeigt den Zusammenhang zwischen Ventilhub und der sich einstellenden Raumtemperatur. Weil im realen Betrieb weder für die Ventilautorität noch für den Wärmeübertragerkennwert die ideale (lineare) Kennlinie erreicht wird, ergibt sich eine stark durchgebogene (entartete) Kurve: Ein Schließen des Thermostatventils bewirkt zunächst fast keine Minderung der abgegebenen Heizleistung. Die Raumtemperatur ändert sich nicht wesentlich. Erst im unteren Viertel des Hubbereiches beginnt die eigentliche Regelung. Die Auswirkungen einer geringen Ventilautorität und eines geringen Wärmeübertragerkennwertes können sich gegenseitig soweit verstärken, dass praktisch nur noch eine Zweipunktregelung erfolgt.

Thermostatventile

Der hydraulische Abgleich erfordert den Einbau von zusätzlichen Widerständen im Netz. Dazu werden meist Heizkörper-Thermostatventile mit Voreinstellung (= zusätz-

licher statischer Widerstand) eingesetzt. Darüber hinaus können auch einstellbare Rücklaufverschraubungen vorgesehen werden. Wichtig ist, dass die Einstellungen reproduzierbar, dokumentierbar und am besten auch visuell kontrollierbar sind. In diesem Artikel wird nur auf die z. Z. gebräuchlichste Lösung mit voreinstellbaren Thermostatventilen (THKV) mit Thermostatkopf als Regler ohne Hilfsenergie eingegangen und deren heutige Verfügbarkeit und Einsatzgrenzen erläutert.

THKVs werden vom Durchlasswert k_V charakterisiert:

$$k_V = \dot{V}_{\text{THKV}} \cdot \sqrt{\frac{1 \text{ bar}}{\Delta p_{\text{THKV}}}} \quad [\text{Gl. 3}]$$

Der k_V -Wert für den Auslegungsfall wird mit dem Auslegungsvolumenstrom des Heizkörpers und dem Druckabfall über dem Ventil im Auslegungszustand berechnet. Der Auslegungsvolumenstrom \dot{V}_{THKV} ergibt sich aus der Heizlast und der Spreizung.

$$\dot{V}_{\text{THKV}} = \frac{Q_{\text{HK,A}}}{1,16 \text{ kWh}/(\text{m}^3\text{K}) \cdot (\vartheta_{V,A} - \vartheta_{R,A})} \quad [\text{Gl. 4}]$$

Der Druckabfall über dem Thermostatventil Δp_{THKV} wird durch das vorgeschaltete Netz und die Druckerhöhung der Pumpe bestimmt. Der Druck, den die Pumpe aufbaut, wird teilweise in den Vor- und Rücklaufleitungen (und allen vorhandenen Einbauten) bis zum Ventil aufgebraucht. Der verbleibende Rest muss durch das Ventil abgebaut werden.

Mit dem berechneten k_V -Wert muss ein Ventil aus Herstellerunterlagen ausgewählt werden. Eine mögliche Darstellung zeigt Bild 3. Zur Auswahl des Ventils und der Voreinstellung wird noch eine andere Kenngröße benötigt: der P-Bereich. Dieser Wert gibt an, welche Raumtemperaturerhöhung dazu führt, dass das Ventil ausgehend vom Auslegungszustand (z. B. 20 °C Raumtemperatur) schließt. Ein P-Bereich von 2 K bedeutet, dass erst bei 22 °C Raumtemperatur das Ventil voll geschlossen ist. Dazu ist zu bemerken, dass der Auslegungs-Proportionalbereich im eigentlichen Sinne keine technische und damit käufliche Eigenschaft ist, sondern ausschließlich durch die Auslegung vom TGA/SHK-Fachmann festgelegt wird.

Ein großer P-Bereich steht zwar für eine stabile Regelung ohne die Neigung zum Zweipunktverhalten, aber auch für eine große-

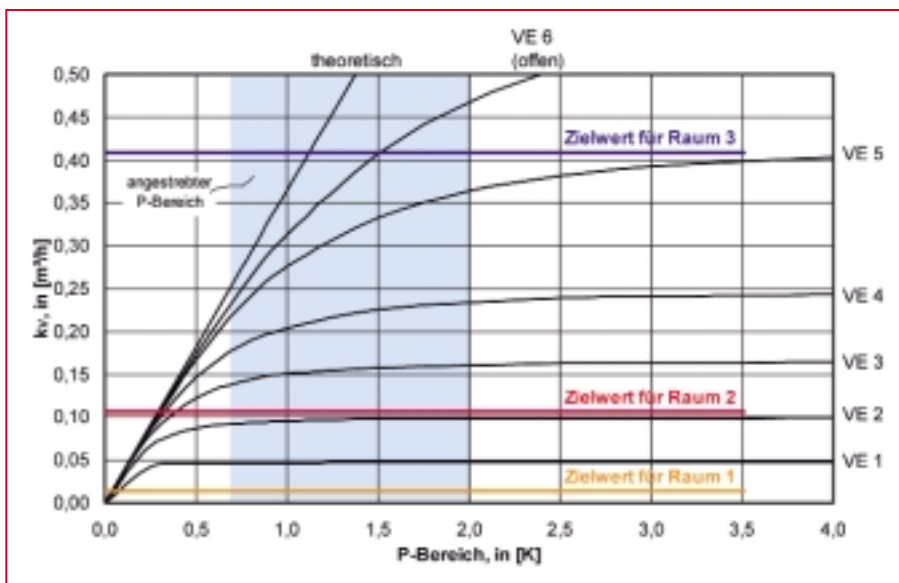


Bild 3 Auslegungsdiagramm eines üblichen Ventils mit verschiedenen Voreinstellungen VE

Heizung

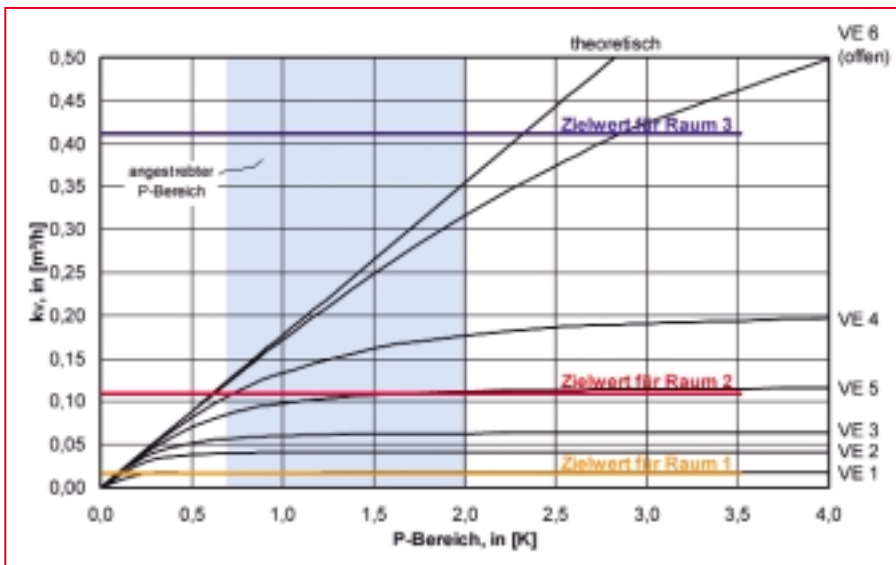


Bild 4 Auslegungsdiagramm eines feinststellbaren Thermostatventils mit verschiedenen Voreinstellungen VE

re Abweichung vom Sollwert und damit einen höheren Energieverbrauch. Die erhöhte Raumtemperatur führt zu erhöhten Wärmeverlusten des Gebäudes. Für die Auslegung von Thermostatventilen werden – je nach Quelle – daher verschiedene Empfehlungen für die Wahl eines P-Bereiches gegeben: es hat sich aus Gründen der Energieeinsparung und der Regelbarkeit als praktikabel erwiesen, den P-Bereich im Bereich von 0,7 bis 2,0 K zu wählen. Über die Vornorm DIN 4701-10 bonifiziert die EnEV die Auslegung von Thermostatventilen mit P-Bereichen von 1 K gegenüber der bisher üblichen Auslegung von 2 K.

Verfügbare THKV

Die Verfügbarkeit von Ventilen wird anhand eines Beispiels gezeigt. Drei Räume sollen hier exemplarisch gegenübergestellt und jeweils ein Thermostatventil bzw. eine Voreinstellung gewählt werden. Die Randdaten der drei Räume sind so gewählt, dass sich für den k_V -Wert der Thermostatventile zwei Extrema und ein mittlerer Wert ergeben.

Raum 1 entspricht einem Kinderzimmer in einem Niedrigenergiegebäude (30 W/m^2) mit großer „Restförderhöhe“ der integrierten Pumpe eines Wärmereizgerers sein. Raum 3 könnte ein Wohnzimmer in einem älteren Mehrfamilienhaus (100 W/m^2) sein (siehe Tabelle). Die drei Ventile (bzw. deren Voreinstellung), die gewählt werden, sollen jeweils P-Bereiche von 0,7 ... 2,0 K aufweisen. Zur Auslegung wurde das Auslegungsdiagramm gemäß Bild 3 verwendet, zur Diskussion wird angenommen, dass es auch Zwischenstellungen bei der Voreinstellung möglich sind.

Im Bild sind die „Zielwerte“ für den k_V -Wert der einzelnen Räume mit farbigen waagerechten Linien eingetragen. Weiterhin ist der anzustrebende P-Bereich gekennzeichnet. Die gewählte Voreinstellung für das Ventil sollte sich sowohl auf der Zielwertlinie für k_V , als auch im anzustrebenden P-Bereich befinden. Für Raum 3, mit einem berechneten k_V -Wert von $0,41 \text{ m}^2/\text{h}$, kann das THKV ohne Voreinstellung (VE 6) eingebaut werden. Es hat dann einen P-Bereich von 1,5 K.

Für Raum 2 müsste eine sehr hohe Voreinstellung (etwa VE 2,2) des THKV vorgenommen werden. Die Regelbarkeit ist in diesem Fall bereits sehr eingeschränkt, weil der stetige Regelbereich sehr klein ist. Verfolgt man die Kurve VE 2 beginnend vom Nullpunkt, dann steigt die Kurve bis etwa zum P-Bereich von 0,2 K fast proportional an. Bis etwa 0,5 K flacht sie stark ab, danach verläuft sie nahezu waagrecht. Das Ventil ist somit bereits bei einer Sollwertabweichung von 0,5 K voll geschlossen, so dass sich ein Zweipunktverhalten einstellen

kann, wobei sich zusätzlich das Vorlauf-temperaturverhalten und die Hysterese des Thermostatventils auswirken.

Für Raum 1 ist der Regelquerschnitt des Ventils gemäß Bild 3 bei den gewählten Bedingungen zu groß, es muss ein Ventil mit einem kleineren Regelquerschnitt, oft als Feinstreguliventil (Bild 4) bezeichnet, gewählt werden. Mit der größten Voreinstellung (VE) des Feinstreguliventils kann der nötige kleine k_V -Wert erreicht werden. Eine stetige (proportionale) Regelung erfolgt aber nur im P-Bereich von 0 bis 0,3 K. Das Regelverhalten ähnelt dem einer Zweipunktregelung. Weil sich eine geringere Voreinstellung bei Einsatz des THKV nach Bild 3 ergibt, sollte das Feinstreguliventil auch für Raum 2 gewählt werden.

Austauschbare Ventilkegel

Ein anderer Weg wäre Thermostatventile mit austauschbaren Ventilkegeln einzusetzen, die allerdings seit einigen Jahren völlig an Bedeutung verloren haben und nur noch vereinzelt angeboten werden. Mit den Austauschkegeln (k_V -Kegeln) wird der Durchflusswert nicht mit einem einstellbaren Festwiderstand (Voreinstellung), sondern mit dem Regelquerschnitt angepasst. Dadurch bleiben die Regelkennlinien im relevanten P-Bereich nahezu proportional. Ein Herstellerdiagramm zeigt Bild 5. Im Beispiel könnte dieses (kleinste verfügbare) Thermostatventil für den Raum 3 mit dem Ventilkegel 6 eingesetzt werden, wobei sich ein P-Bereich von etwa 1,8 K ergäbe. Für Raum 2 könnten die Einsätze 3, 4 oder 5 gewählt werden. Sinnvoll wäre der mittlere Einsatz Nr. 4 mit einem P-Bereich von etwa 1,2 K. Auch für Raum 1 mit der geringen Heizlast ließe sich ein Kegel finden: Einsatz Nr. 1 führt immerhin noch zu einem P-Bereich von 0,7 K.

Die Gründe, warum Thermostatventile mit austauschbaren Ventilkegeln an Bedeutung verloren haben, sind vielfältig. Zum einen sind das Handling und die Lagerhaltung – man denke nur an Ventilheizkörper – sehr

Raum		1	2	3
bezogene Heizlast	W/m^2	30	60	100
Raumfläche	m^2	8	12	16
Heizlast	W	240	720	1600
Temperaturspreizung	W	20	15	10
Volumenstrom	m^2/h	0,010	0,041	0,092
Druckabfall über dem Ventil	mbar	250	150	50
k_V	m^2/h	0,02	0,11	0,41

Tabelle
Auslegungs-
beispiel

Heizung

aufwendig und die Verwechslungsgefahr und die Reklamationsrate problematisch. Zum anderen treten bei den extrem kleinen Querschnitten auch technische Probleme auf, die nicht allein über das Thermostatventil in den Griff zu kriegen sind. Verunreinigungen können z. B. das Ventil nicht passieren und wie bei einem Ventil mit größerem Regelquerschnitt durch das Öffnen der Voreinstellung durchgespült werden. Bei den kleinsten Querschnitten können bereits Magnetit-Anhaftungen zu Störungen führen.

Einsatzgrenze der Ventile

Die Einsatzgrenze der heute verfügbaren voreinstellbaren Ventile liegt bei einem minimalen k_V -Wert von $0,02 \text{ m}^2/\text{h}$. Noch kleinere Ventile oder Kegel sind nicht verfügbar bzw. noch kleinere k_V -Werte sind nicht einstellbar. Das Regelverhalten von voreinstellbaren THKV ist aber nur bei k_V -Werten oberhalb von $0,15 \text{ m}^2/\text{h}$ und bei Einsatz von feinsteinstellbaren Ventilen einigermassen proportional.

Die Limitierung der k_V -Werte begrenzt also die Spreizung, so dass sich die Vorlauftemperatur auch nach dem k_V -Wert richten muß. Im Netz sollten daher möglichst nicht zu kleine Volumenströme fließen und der Druckabfall über dem Ventil sollte nicht zu hoch sein. Letzteres ist jedoch oftmals beim Einsatz von Kesseln mit kleinem Wasserinhalt und Mindestvolumenstrom problematisch.

Maximale Spreizung

Bei der Wahl des Auslegungstemperaturniveaus sollte darauf geachtet werden, dass die Spreizung zwischen Vorlauf- und Gesamtrücklauf im Netz nicht mehr als 25 K beträgt. Die Spreizung am thermisch ungünstigsten Heizkörper ist dabei kleiner als 25 K , an thermisch günstigen Heizkörpern stellt sich eine höhere Spreizung ein. Die Begrenzung stellt außerdem sicher, dass die Totzeiten im Netz – wegen sehr geringer Volumenströme – nicht zu hoch werden, und die Temperaturschichtung in den Heizkörpern für den Nutzer akzeptabel ist. Ein weiteres Problem kann im Mehrfamilienhaus auch der „Vorlauf-temperaturverlust“ bei einer zu großen Spreizung bzw. den damit verbundenen kleinen Volumenströmen sein. Liegen dann noch Rohrleitungen strangweise ohne Dämmung vor, kann z. B. bei entfernten Heizkörpern der Vorlauf schon von 65 auf unter 60 °C abgekühlt (vgl. Zirkulationsleitungen) sein.

Der Fall, dass die Spreizung von 25 K im Netz wirklich erreicht wird, tritt eher selten

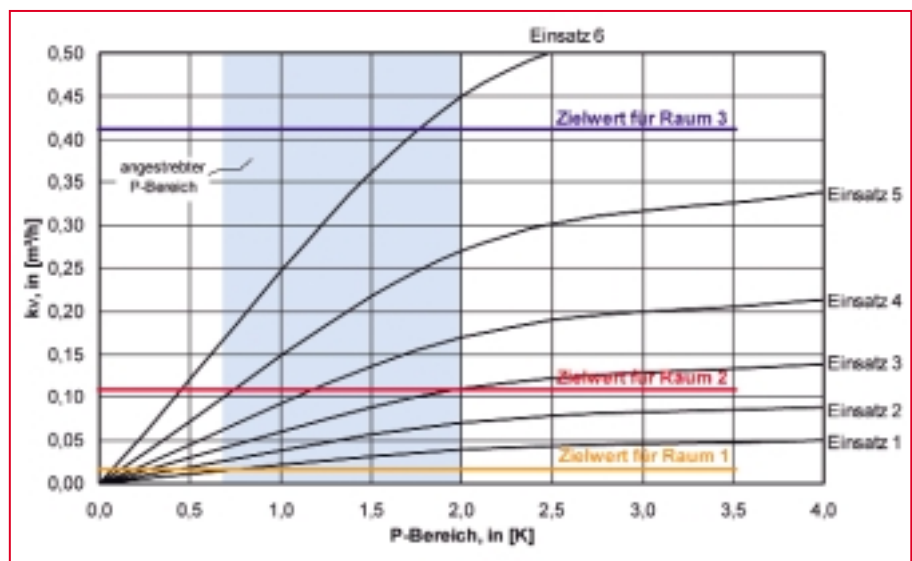


Bild 5 Auslegungsdigramm eines Thermostatventils mit austauschbaren k_V -Kegeln

ein. Oft kann die maximale Spreizung gar nicht gewählt werden, weil für die resultierenden sehr kleinen Volumenströme keine Thermostatventile verfügbar sind.

Verteilverluste

Eine zusätzliche Forderung bei der Wahl des Temperaturniveaus (Übertemperatur) kann sein, die Verteilverluste des Heizungsnetzes gering zu halten. Hierzu könnte das Temperaturniveau insgesamt herabgesenkt werden. Dieser Ansatz ist bei der nachträglichen Optimierung einer bestehenden Anlage nicht zielführend. Niedrigere Übertemperaturen lassen sich in ein und demselben Gebäude nur mit größeren Heizflächen erreichen. Liegen die Heizkörper fest, ist automatisch die notwendige Übertemperatur für jeden Heizkörper – und damit die mittlere Temperatur in den Leitungen – bestimmt.

Hilfsenergien

Zur Verminderung der Antriebsenergie der Umwälzpumpe sollten möglichst kleine Volumenströme im Netz umgewälzt werden. Die dazu erforderlichen hohen Temperaturspreizungen, sind jedoch wie oben beschrieben nicht frei wählbar, sondern an andere Bedingungen geknüpft.

Kesseltemperatur

Kessel stellen je nach Typ verschiedene Anforderungen an die Vor- und Rücklauftemperaturen des Netzes, die bei einer Optimierung beachtet werden müssen. Bei vielen Kesseln im Bestand muss eine bestimmte Rücklauftemperatur eingehalten werden, damit es nicht zur Kondensation im Kessel kommt. Eine niedrige mittlere

Heizwassertemperatur vermindert die Kesselverluste bei Niedertemperaturkessel und steigert den Brennwerteffekt für zwangsdurchströmte Brennwertthermen. Für Brennwertkessel sollten geringe Rücklauftemperaturen zur Erhöhung der Brennwertnutzung erreicht werden.

Kesselvolumenstrom

Für zwangsdurchströmte Kessel mit kleinen Wasserinhalten ($< 1 \dots 1,5 \text{ l/kW}$) muss in der Regel ein Kesselmindestvolumenstrom während der Brennerlaufzeit eingehalten werden, damit es nicht zu einer Überhitzung kommt. Oft geben die Hersteller diesen Mindestvolumenstrom nicht explizit an. Er hängt u. a. von der Rücklauftemperatur, der maximal erlaubten Temperatur im Kessel, der eingestellten Kesselleistung und dem im Kessel gespeicherten Wasservolumen ab. Weil der Wert i. d. R. unbekannt ist, und – sofern er doch bekannt ist – nicht problemlos auf jede Betriebsbedingung umgerechnet werden kann, bleibt er hier unberücksichtigt. Begründet wird diese Vorgehensweise durch die Tatsache, dass bei Kesseln mit solchen Anforderungen immer eine Einrichtung zur Sicherstellung des Volumenstroms werksseitig vorhanden ist (internes Überströmventil) oder der Einbau vom Hersteller dringend empfohlen wird (externes Überströmventil, hydraulische Weiche, Dreiwege-Thermostatventil). Die sich ergebenden negativen Konsequenzen, z. B. verminderter Brennwertnutzen durch höhere Rücklauftemperaturen (Überströmen von Vorlaufwasser in den Rücklauf), lassen sich nur schwerlich durch die korrekte Wahl eines Temperaturniveaus beseitigen.

Heizung

Fernwärme und Wärmepumpen

Bei Gebäuden, die an Fernwärmenetze angeschlossen sind, stellen die primärseitigen vorhandenen Temperaturen Anforderungen an die Wahl der sekundärseitigen Vorlauf- und Rücklauf-temperatur. Die Auslegungsvorlauf-temperatur für das sekundäre Heiznetz muss unterhalb der primär vorhandenen Temperatur liegen – inkl. eines Abschlages für einen ggf. zwischengeschalteten Wärmeübertrager. Gleiches gilt für die Auslegungsrücklauf-temperatur, weil die Fernwärmeversorger in der Regel eine maximale, nicht zu überschreitende Rücklauf-temperatur vorschreiben.

In Systemen mit Wärmepumpen sollten die Vorlauf-temperatur bzw. auch die mittleren Heizwassertemperaturen niedrig sein, um gute Arbeitszahlen zu gewährleisten.

Wahl des Temperaturniveaus

Unter Berücksichtigung aller Randbedingungen kann für ein gegebenes Gebäude der Bereich eingegrenzt werden, in dem das optimale Temperaturniveau liegt. Verdeutlicht werden soll dies an zwei Beispielen. Das erste Beispiel sei ein Mehrfamilienhaus mit Kessel (maximale Vorlauf-temperatur) und Heizkostenverteiler (Verdunster mit $T_A \geq 55 \text{ °C}$). Auf Grund der vorhandenen Raumheizlasten und der installierten Heizkörper können für jeden Raum Paare von möglichen Vor- und Rücklauf-temperaturen für den Auslegungsfall bestimmt werden (vgl. Teil 1). Sämtliche vorher genannten Randbedingungen für das Temperatur-

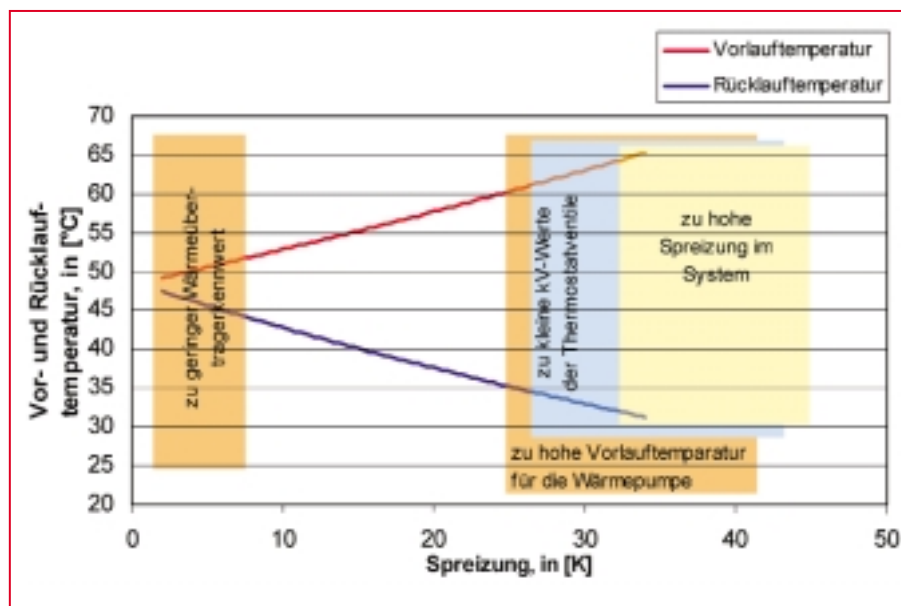


Bild 7 Wahl des Temperaturniveaus am Beispiel EFH mit Wärmepumpe

niveau werden für alle Heizkörper im Netz nach einem einheitlichen Schema geprüft. Die optimale Temperaturpaarung ist schließlich die, bei der für alle Heizkörper die genannten Bedingungen erfüllt sind. Findet sich dabei kein Temperaturniveau, kann z. B. ein Wertanalyseverfahren angewendet werden, worauf im 4. Teil eingegangen wird.

Der Übersicht halber ist die Vorgehensweise nur für einen konkreten Heizkörper des MFH in Bild 6 erläutert. Der weiße Bereich in der Mitte zeigt den Temperaturbereich, auf die das Netz auslegt werden kann, um

alle Randbedingungen zu erfüllen. Die farbig markierten Bereiche haben folgende Bedeutung:

- Aus den möglichen Wertepaaren für Vor- und Rücklauf-temperatur fallen all jene heraus, bei denen die Vorlauf-temperatur über 75 °C liegt, denn der Kessel kann diese nicht erreichen.
- Weiterhin ergeben sich für alle Wertepaare mit Vorlauf-temperaturen oberhalb von 72 °C sehr hohe Spreizungen an den einzelnen Heizkörpern und damit sehr geringe Volumenströme. Erst unter dieser Vorlauf-temperatur werden an allen Heizkörpern realistische k_V -Werte für die Thermostatventile erreicht.
- Vorlauf-temperaturen oberhalb 69 °C führen für das Netz zu einer mittleren Systemspreizung von mehr als 30 K (für den Heizkörper aus Bild 6 ergibt sich eine Spreizung von 28 K).
- Bei Auslegungen unterhalb 58 °C Vorlauf-temperatur ergeben sich zu kleine Wärmeübertragerkennwerte für die Heizflächen.
- Strenger limitiert wird diese Bedingung noch durch die Nutzeranforderungen. Auslegungsvorlauf-temperaturen unter 65 °C werden nicht gewählt, damit sich in den Übergangsjahreszeiten noch fühlbar warme Heizkörper ergeben.
- Die Heizkostenverteiler können an allen Heizkörpern weiterverwendet werden, denn die mittlere Heizkörpertemperatur liegt für alle Heizkörper oberhalb von etwa bei 55 °C – unabhängig von der Spreizung. Damit ergibt sich für das Netz ein möglicher Auslegungsbereich der Temperatur zwischen $65/45 \text{ °C}$ und $69/40 \text{ °C}$.

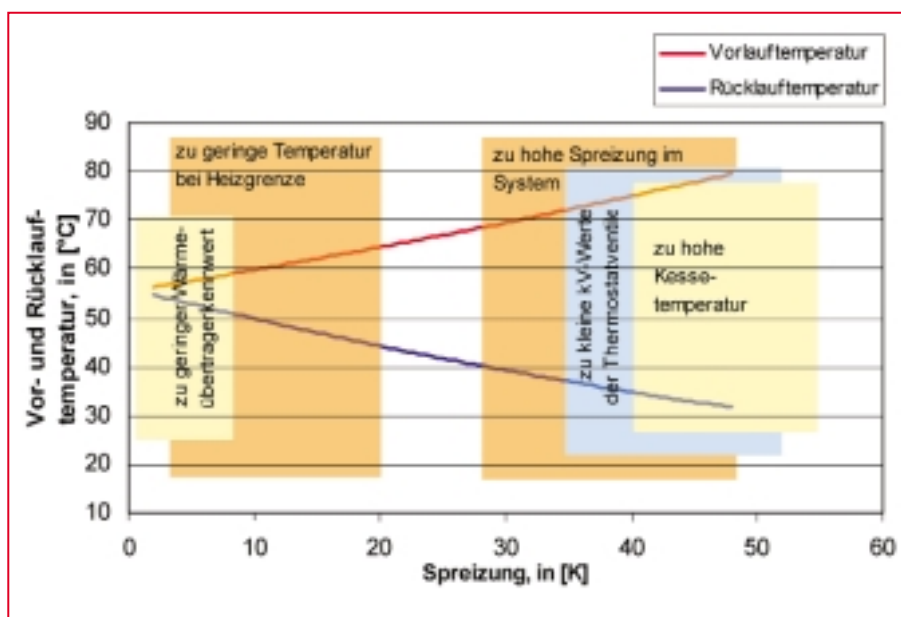


Bild 6 Wahl des Temperaturniveaus am Beispiel MFH mit Kessel

Für ein Einfamilienhaus mit Wärmepumpe sind die geschilderten Zusammenhänge in Bild 7 wiedergegeben. Damit die Wärmeabgabe gut regelbar ist und eine möglichst hohe Leistungsziffer der Wärmepumpe erreicht wird, wird der optimale Bereich in diesem Fall auf ca. 51 ... 60 °C Auslegungsvorlauftemperatur bei ca. 45 ... 35 °C korrespondierender Rücklauftemperatur eingeschränkt. Auf fühlbare Oberflächentemperaturen in der Übergangszeit kann im EFH verzichtet werden.

Im 3. Teil dieser Artikelserie geht es um Rohrnetze und Hydraulik im Bestand. Themen sind u.a. Netztypen in bestehenden Anlagen, Aufnahme der Komponenten und Optimierungsstrategien bei verschiedenen Ausgangssituationen.

Literatur:

[1] Timm, Tobias: Optimierung des Temperaturniveaus in bestehenden Heizungsanlagen. Studienarbeit an der FH Braunschweig/Wolfenbüttel. 2002

[2] Timm, Tobias: Optimierung der Hydraulik in bestehenden Heizungsanlagen. Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel. 2002

[3] Schramek, Ernst-Rudolf (Hrsg.): Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik. Oldenbourg Industrieverlag. München. 2001

[4] D. Wolff; J. Vorländer, S. Hahn: Bauen am Kronsberg – Heiztechnisches Konzept. Landeshauptstadt Hannover. 1998



Die Autorin Dipl.-Ing. (FH) **Kati Jagnow** ist selbständige Ingenieurin der TGA, Wernigerode, E-Mail: kati.jagnow@fh-wolfenbuettel.de



Der Autor Dipl.-Ing. (FH) **Christian Halper** ist Mitarbeiter am IWO, Hamburg



Der Autor Dipl.-Ing. (FH) **Tobias Timm** ist Mitarbeiter beim energy-Klimaschutzfonds proKlima in Hannover