

Die Energieeinsparung im Gebäudebestand durch Optimierung der vorhandenen Heizungsanlagen ist das Thema dieser mehrteiligen Artikelserie. Dabei wird die Anlagentechnik als Gesamtsystem betrachtet, es sollen nicht nur „einzelne Komponenten“ verbessert werden. Der nachfolgende dritte Beitrag beschäftigt sich mit hydraulischen Fragestellungen.

Die vorangegangenen Teile haben die Notwendigkeit der Optimierung von Heizungsanlagen im Gebäudebestand verdeutlicht und die Wahl eines angepassten Temperaturniveaus beschrieben. Nachdem die Vorlauftemperatur für das Netz sinnvoll festgelegt ist und auch die sich einstellenden Rücklauftemperaturen für die einzelnen Heizkörper bekannt sind, beschäftigt sich dieser Artikel mit hydraulischen Fragestellungen. Die vorhandene Anlage soll – anhand der Randdaten einer Vor-Ort-Aufnahme – hydraulisch abgeglichen werden. Dazu müssen die Pumpförderhöhe überprüft und ggf. angepasst und Thermostatventile ggf. neu ausgewählt und deren Einstellwerte ermittelt werden.

## Was bringt der Hydraulische Abgleich?

Unter Hydraulischem Abgleich von Heizungsanlagen versteht man das Einbringen definierter Festwiderstände in das Rohrnetz mit dem Ziel, jeden Verbraucher mit dem geplanten Volumenstrom zu versorgen. Die Festwiderstände müssen dazu dezentral in der Anbindeleitung (Vor- oder Rücklauf) eines Verbrauchers mit eigener Einrichtung zur Einzelraumregelung (z. B. THKV) angeordnet werden. Es kann sich um die Vor-einstellung von Thermostatventilen, einstellbare Rücklaufverschraubungen oder sonstige Einstelldrosseln handeln. Zentrale Festwiderstände, die den Volumenstrom für mehrere angeschlossene Verbraucher begrenzen (z. B. Strangreguliertventile), bewirken keinen Abgleich dieser Verbraucher untereinander.

Der Einstellwert ( $k_v$ -Wert) – besser der notwendige Druckverlust – für jeden der Fest-

## Teil 3: Betrachtung der Hydraulik

# Optimierung von Heizungsanlagen

widerstände muss aus einer Rohrnetzbe-rechnung ermittelt werden. Das Vorgehen im Neubau sowie im Bestand ohne aufgenommes Rohrnetz wird unten beschrieben.

Wird kein Hydraulischer Abgleich vorgenommen, verschieben sich die hydraulischen und damit die thermischen Verhält-

um auch die entferntesten Verbraucher zu versorgen.

● Durch eine starke Überversorgung einzelner Heizkörper ist deren Regelfähigkeit eingeschränkt. Da die Thermostatventile schon im Auslegungszustand fast geschlossen sind, können sie auf Fremdwärme kaum reagieren. Es kommt zu einem Zweipunktregelverhalten.

● Öffnen die Thermostatventile (z. B. nach einer Absenkephase), so ist der Durchfluss durch die pumpennahen Heizkörper praktisch kaum begrenzt. Sie bilden einen Kurzschluss bis die entsprechenden Räume aufgeheizt sind. An den pumpenfernen Heizkörpern wird gleichzeitig der Durchfluss gemindert. Die Wiederaufheizung erfolgt stark ungleichmäßig.

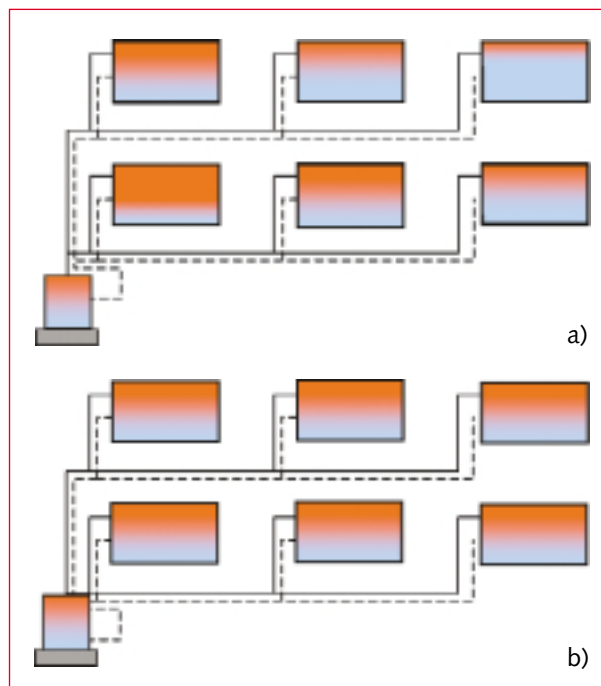


Bild 1 Heizungsanlage ohne (a) und mit Hydraulischem Abgleich (b)

nisse in der Anlage. Für das umgewälzte Heizungswasser wirken nahe der Pumpe gelegene Heizkörper ohne definierten Festwiderstand wie Kurzschlüsse. Die pumpennahen Heizkörper werden Überversorgt, entfernt liegende unterversorgt oder gerade ausreichend versorgt (Bild 1). Folgen eines nicht durchgeführten Hydraulischen Abgleichs sind u. a.:

- Erhöhte elektrische Leistungsaufnahme der Pumpe.
- Geräuschprobleme, wenn die notwendige Pumpenförderhöhe sehr groß wird,

Teilstrecken werden aus dem Volumenstrom, der gewählten Rohrdimension und den sonstigen Widerständen (ohne Thermostatventil) die resultierenden Druckverluste bestimmt. Im zu empfehlenden Regelfall wird von einer einheitlichen Spreizung ausgegangen, nach VDI 6030 „Auslegung von freien Raumheizflächen“ je nach Anforderungsstufe aber auch mit individuellen Rücklauftemperaturen gerechnet. Es ergibt sich ein hydraulisch ungünstigster Heizkörper, für den der berechnete Druckverlust aller angeschlossenen Teil-

## Abgleich im Neubau

Das Vorgehen eines Hydraulischen Abgleichs für den Neubau ist hinreichend aus der Fachliteratur bekannt. Es soll hier nur kurz wiedergegeben werden. Das geplante Netz wird gedanklich in Teilstrecken zerlegt. Für alle

# Heizung

strecken im Auslegungsfall am größten ist. Das Thermostatventil dieses Heizkörpers wird mit einer gewünschten Ventilautorität ausgewählt (vgl. 1. Teil). Damit liegen der Druckverlust über diesem Ventil und auch die nötige Förderhöhe der Pumpe fest. Für alle anderen Heizkörper ergibt sich der Druckverlust über dem dazugehörigen THKV aus diesen Festlegungen.

Beim Einsatz von Wärmeerzeugern mit integrierter Pumpe, deren Restförderhöhe sich nicht stufenlos einstellen lässt, ist ein Sonderfall gegeben: Da die Druckförderhöhe bereits vor dem Hydraulischen Abgleich unveränderbar festliegt, ist mit dieser Förderhöhe zu rechnen. Dieser Fall wird in der Fachliteratur leider nur selten behandelt, obwohl er bei Wandkesseln – bis auf wenige Ausnahmen – Standard ist. Hier muss die gegebene Förderhöhe der Pumpe bei der Auslegung aller Thermostatventile im Netz berücksichtigt werden. Die Frage, welcher der hydraulisch ungünstigste Heizkörper ist, ist dann nicht mehr von Interesse. Für alle Heizkörper liegen der zur Verfügung stehende Druck und der maximale Druckverlust in den Zuleitungen fest. Das Ventil muss die Differenz wegdrosseln und ist entsprechend zu bemessen. Alternativ kann in diesem Fall dafür gesorgt werden, dass ein zu hoher Förderdruck bereits zentral abgebaut wird (Differenzdruckregler, Überströmventil). Kann dann der Netzdruck durch Einsatz von Differenzdruckreglern mit einstellbarem Sollwert frei gewählt werden, so ist dieser mit dem Verfahren des hydraulisch ungünstigsten Heizkörpers zu bestimmen.

## Abgleich im Bestand

Die Fachliteratur über den Hydraulischen Abgleich in bestehenden Anlagen ist „sehr übersichtlich“. In einschlägigen Fachbüchern der Heizungstechnik fehlen vielfach weitergehende Arbeitshilfen zu diesem Thema.

## Vorhandene Lösungsansätze

In Fachbüchern der Heizungstechnik ([8], [9]) wird das Thema sinngemäß mit dem Satz besprochen: „Eine Rohrnetzrechnung im Gebäudebestand ist nicht möglich“. Andere Standardwerke behandeln das Thema gar nicht. Eine sehr positive Ausnahme bildet die Veröffentlichung von Otto [7]. Hier erfolgt ein Hydraulischer Abgleich anhand der installierten Heizkörperleistungen und resultierender Volumenströme (es wird vorausgesetzt, dass die Heizkörper passend zur Heizlast gewählt sind). Weiter ist eine vereinfachte Vorge-

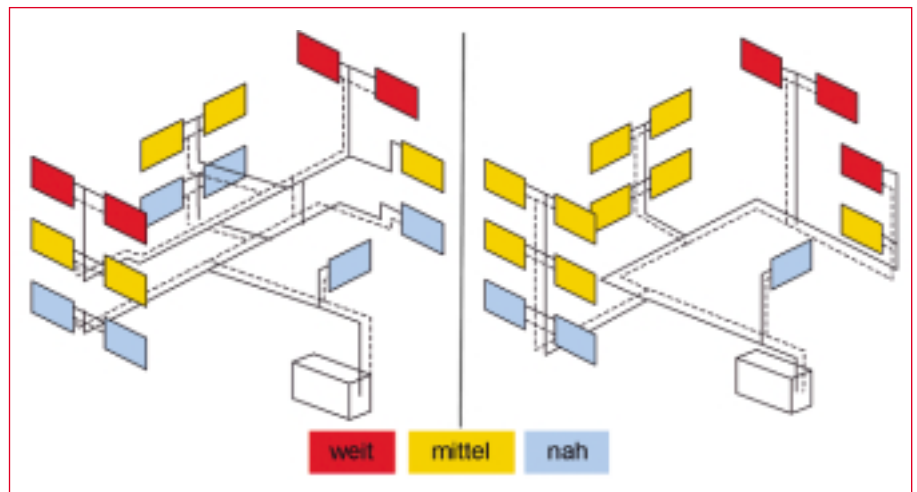


Bild 2 Heizungsanlage mit Stockwerksverteilung (l.) und mit zentraler Kellerverteilung (r.)

weise zur Bestimmung der Pumpförderhöhe und des Druckabfalls über den THKV beschrieben. Festzustellen ist: prinzipiell funktioniert der Hydraulische Abgleich im Bestand wie bei einem Neubau. Sofern Pumpen vorhanden sind, liegt die Druckhöhe fest, sie kann oder muss aber ggf. angepasst werden. Auch die Druckverluste im Rohrnetz liegen fest, so dass THKV gewählt und eingestellt werden können. Die Ungewissheit liegt in der Frage, welche Volumenströme im Netz fließen und welche Druckverluste sich im (meist unbekanntem) Rohrnetz einstellen.

Diese Fragen versuchen derzeit vor allem Hersteller von Heizungskomponenten zu beantworten, da auch sie einen großen Markt für die Optimierung des Anlagenbestandes sehen. Nachstehend drei Auszüge mit entsprechenden Vorschlägen:

- **Oventrop** [4] gibt verschiedene, darunter auch vereinfachte Verfahren zur Bestimmung der Raumheizlast an. Mit den Heizlasten werden die vorhandenen Heizflächen kontrolliert. Die sich einstellenden Temperaturspreizungen an jedem Heizkörper können fest angenommen oder mit Hilfe von EDV oder dem Heizkörperdiagramm (vgl. 2. Teil) nachgerechnet werden. Die resultierenden Volumenströme werden bestimmt, der Hydraulische Abgleich erfolgt per Messcomputer.

- Die **Weiterbildungsoffensive Wilo-Brain** [5] gibt Hinweise zur vereinfachten Pumpenauslegung und zum Hydraulischen Abgleich. Die Heizlast des Gebäudes wird anhand von flächenbezogenen Leistungen (z. B. 100 W/m) und der Grundfläche abgeschätzt. Der Pumpenvolumenstrom wird mit einer angenommenen Spreizung bestimmt. Der Druckabfall im Netz wird aus der Länge des längsten Stranges, fest vor-

gegebenen R-Werten (50...100 Pa/m) und Zuschlägen für Einbauten bestimmt. Alle THKV werden dann mit einer Ventilautorität von 0,3...0,7 ausgelegt.

- **Kermi** [6] setzt die Leistung, die der Heizkörper abgeben muss sowie die sich einstellende Spreizung als bekannt voraus. Der Druckabfall über dem THKV wird bei kleinen Anlagen mit 100 mbar vorgegeben. Bei großen Anlagen soll eine Staffelung zwischen 50 mbar (pumpenfern), 100 mbar (mittlere Entfernung) und 150 mbar (pumpennah) vorgenommen werden. Die Staffelung in die drei Zonen erfolgt durch den Fachunternehmer. Die notwendigen Voreinstellwerte für unterschiedliche Ventile sind tabelliert.

Alle drei Verfahren bieten gute Ansätze, die bei der Bearbeitung des Problems „Hydraulischer Abgleich“ im Rahmen aktueller Praxisprojekte aufgegriffen und vertieft wurden.

## Neue Lösungsansätze

Zentrales Problem ist die Bestimmung der Druckverluste im Netz ohne eine konventionelle Rohrnetzrechnung durchführen zu müssen. Folgende Größen müssen bekannt sein:

- die benötigte Heizkörperleistung (je nach Raumheizlast): überschlägige Bestimmung (vgl. 1. und 2. Teil),
- die sich einstellende Systemspreizung (je nach Überdimensionierung): Bestimmung (vgl. 1. und 2. Teil),
- die resultierenden Volumenströme: können aus tatsächlicher Leistung und Spreizung der einzelnen Heizflächen berechnet werden,
- Rohrdurchmesser oder R-Werte und maßgebliche Rohrlänge für die Druckverlustberechnung,

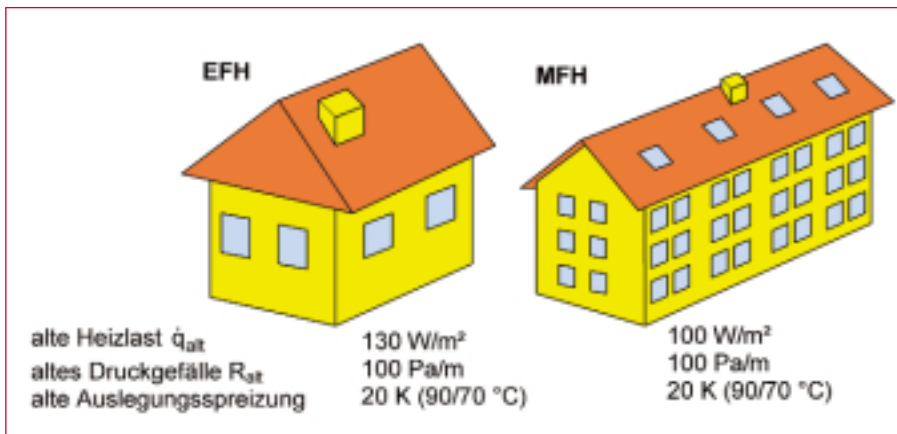


Bild 3 Definition von Typgebäuden für die Hydraulikberechnung

- der Druckverlust der Einzelwiderstände und der Sondereinbauten,
- evtl. die vorgegebene Restförderhöhe des Kessels.

Da die Rohrdurchmesser und Längen aller einzelnen Teilstrecken nicht aufgenommen werden sollen bzw. können, wird der Druckverlust über die Leitungen im Rahmen der Optimierung aus der maximalen Leitungslänge und dem mittleren R-Wert bestimmt. Die Druckverluste von Einzelwiderständen werden mit Hilfe pauschaler Zuschläge auf den Druckabfall in den geraden Rohrstrecken abgeschätzt. Sondereinbauten mit großen Druckverlusten müssen bei der Anlagenaufnahme extra bewertet werden. Der Druckabfall über den Ventilen wird – sofern möglich – anhand der sinnvoll gewählten Ventilautorität bestimmt.

## Abschätzen der Leitungslängen

Aus den vorhandenen Ansätzen für den Hydraulischen Abgleich wurde die Staffelung (nah – mittel – weit) der Druckverluste über den Thermostatventilen je nach Entfernung zur Pumpe übernommen. Jeder Heizkörper wird bei der Gebäudeaufnahme einer der drei Zonen zugeordnet. Die Zuordnung erfolgt „subjektiv“ anhand des vorhandenen Netztyps (Bild 2). Sofern Rohrnetze nach dem Tichelmann-System ausgeführt sind, ist der Druckverlust über allen THKV als annähernd gleich (anhand der Ventilautorität oder der vorhandenen Druckerhöhung im Netz) anzusetzen. Für Fußboden- und Einrohrheizungen werden die Ansätze noch geprüft.

Bei der Anlagenbegehung wird die (doppelte) Länge des „längsten Stranges“ (Vor- und Rücklaufänge zu dem am weitesten von der Pumpe entfernten Heizkörper) ermittelt bzw. abgeschätzt. Diese Länge wird

stellvertretend für die Zone „weit“ eingesetzt. Die Zone „mittel“ wird rechnerisch mit  $\frac{2}{3}$ , die Zone „nah“ mit  $\frac{1}{3}$  der maximalen Leitungslänge berücksichtigt.

## Abschätzung der R-Werte

Das größte Problem bei der Abschätzung der Druckverluste im Netz bereitet die Abschätzung der R-Werte (Druckverlust je Meter Rohr) bzw. des hydraulischen Widerstandes im Rohrsystem.

**Zusammenhänge und Rahmenbedingungen**  
Grundlegende Zusammenhänge und Randbedingungen sind:

– Netze wurden früher meist mit einer bestimmten Spreizung und einem bestimmten (maximalen) R-Wert ausgelegt.

– Wird das Gebäude baulich modernisiert, sinkt seine Heizlast. Bei gleicher Spreizung würde der Volumenstrom im selben Verhältnis sinken. Damit sinken Druckverluste und R-Werte quadratisch.

– Der Volumenstrom hängt von der alten und neuen Spreizung ab. Kleinere Systemspreizungen führen nach der Optimierung zu größeren Volumenströmen und Druckverlusten.

– In der Regel ist über das Heizsystem nicht bekannt, mit welcher Spreizung und mit welchem mittleren R-Wert das Netz ursprünglich ausgelegt wurde. Oft wurden die Rohrnetze gar nicht ausgelegt, bzw. sind die Auslegungskriterien durch Erweiterung/Umbau nicht mehr existent.

– Die neue Heizlast für das Gebäude ist anhand einer überschlägigen (oder genauen) Heizlastberechnung bekannt.

– Die neue Systemspreizung sowie die Spreizungen für die Heizkörper sind bekannt. Für alle Teilstrecken des Rücklaufs sind sie unbekannt, weil die Mischpunkte nicht einzeln berechnet werden. Damit stehen nur die Volumenströme für das Gesamtsystem (Anschlussleitung der Pumpe) und für die Anbindeleitungen der Heizkörper zur Verfügung. Für Rohrstrecken dazwischen können Volumenströme ohne Aufnahme des Rohrnetzes nicht bestimmt werden.

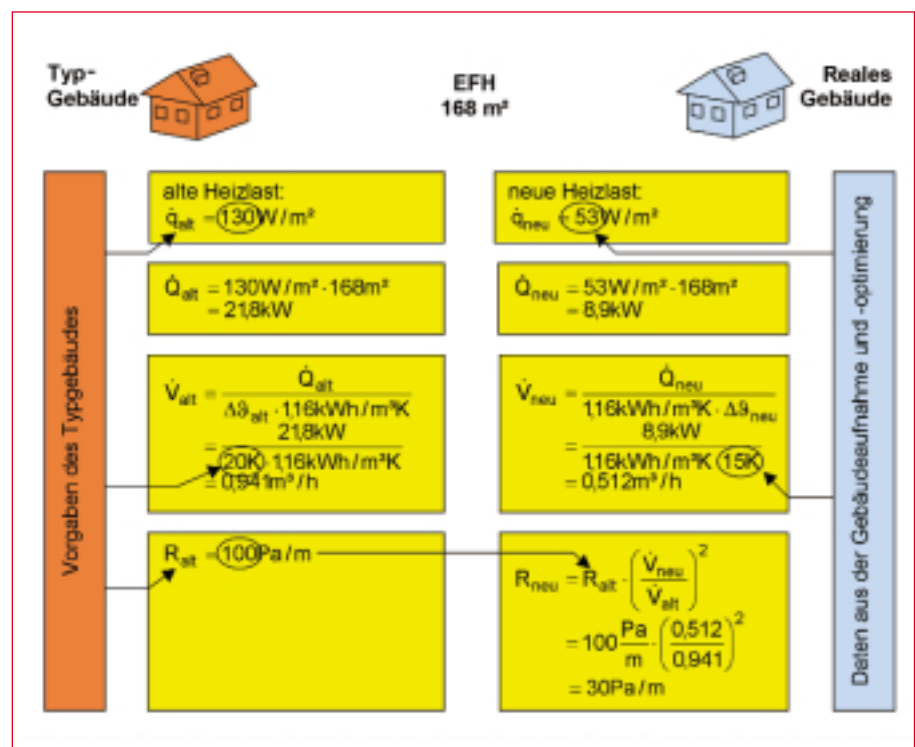


Bild 4 Bestimmung des R-Wertes für ein vorhandenes Gebäude

# Heizung

– Es kann davon ausgegangen werden – belegt durch Literaturrecherchen und Befragungen in der Praxis – dass sich typische Rohrsysteme in ihren Leitungslängen und Durchmessern im Laufe der letzten 40 Jahre nicht oder nur wenig geändert haben. Die Rohrnetzkonstante C für Gesamtnetze (mit ähnlicher Ausdehnung) ist etwa gleich geblieben.

## Ansatz für die Optimierung

Daraus wird der Ansatz für die Optimierung abgeleitet.

1. Das Rohrnetz wird als Gesamtheit angesehen. Es wird kein R-Wert für einzelne Strecken bestimmt, sondern nur ein Mittelwert für das gesamte Netz.
2. Die Rohrnetzkonstante C für ein gleich groß ausgedehntes Netz ist – unabhängig vom Alter – etwa gleich. Der R-Wert kann dann nach folgender Proportionalität abgeschätzt werden:

$$\frac{R_{\text{neu}}}{R_{\text{alt}}} \sim \frac{\Delta p_{\text{neu}}}{\Delta p_{\text{alt}}} \sim \left( \frac{\dot{V}_{\text{neu}}}{\dot{V}_{\text{alt}}} \right)^2$$

$$\sim \left( \frac{\dot{Q}_{\text{neu}}/\Delta\vartheta_{\text{neu}}}{\dot{Q}_{\text{alt}}/\Delta\vartheta_{\text{alt}}} \right)^2 \sim \left( \frac{\dot{q}_{\text{neu}}/\Delta\vartheta_{\text{neu}}}{\dot{q}_{\text{alt}}/\Delta\vartheta_{\text{alt}}} \right)^2 \quad [\text{Gl. 1}]$$

Es wird dabei vorausgesetzt, dass die beheizten Flächen des alten und neuen Hauses gleich groß sind und die Länge des Leitungsnetzes auch gleich lang ist.

3. Die alten Auslegungsdaten  $R_{\text{alt}}$ ,  $\Delta\vartheta_{\text{alt}}$  und  $\dot{q}_{\text{alt}}$  sind zunächst unbekannt. Es wird vereinfachend angenommen, dass vor allem mit dem Aufkommen der Pumpenwarmwasserheizung bis in die 1960er Jahre hinein Rohrnetzrechnungen durchgeführt wurden. Da die Leitungsnetze sich in Länge und Dimensionen seitdem nicht wesentlich geändert haben, werden typische Auslegungsdaten der damaligen Zeit als Referenz für die Berechnung des R-Wertes zugrunde gelegt. Es werden zwei Typgebäude „EFH“ und „MFH“ definiert (Bild 3).

4. Die Abschätzung des R-Wertes erfolgt – unabhängig vom Baujahr des zu untersuchenden Gebäudes – nach dem in Bild 4 beschriebenen Schema.

Bei der Berechnung des neuen R-Wertes sollte ggf. geprüft werden, ab wann keine turbulente Rohrströmung mehr zu erwarten ist. Erste Näherungen lassen dies unterhalb etwa 15...20 Pa/m erwarten. Hier herrscht zwischen Druckverlust und Volumenstrom keine quadratische Abhängigkeit ( $\Delta p \sim \dot{V}^2$ ) mehr, sondern eine lineare ( $\Delta p \sim \dot{V}$ ). Es erscheint daher sinnvoll in der Rechnung minimale R-Werte anzusetzen.

## Weitere Druckverluste

Die Druckverluste für Einzelwiderstände werden mit 50 % des Druckabfalls über die gerade Rohrstrecke angenommen. Das entspricht dem Mittelwert verschiedener Quellen (30...67 %). Sondereinbauten wie zentral angeordnete Wärmemengenzähler, Filter, Mischer oder Schwerkraftbremsen bzw. Rückschlagventile/-klappen sowie Kessel müssen bei der Aufnahme der Anlagentechnik gesondert berücksichtigt werden, da ihr Druckverlust stark vom Gesamtvolumenstrom der Anlage und vom jeweiligen Typ abhängt.

## Wo ist der ungünstigste Heizkörper?

Die theoretisch beschriebene Vorgehensweise setzt voraus, dass sich die Heizlasten nach einer Modernisierung im gesamten Gebäude etwa gleichmäßig ändern. Damit ändern sich auch die Volumenströme und die Druckverluste in den einzelnen Rohrstrrecken gleichmäßig. Leider ist diese Voraussetzung in der Praxis selten gegeben. Die Größe der Überdimensionierung der

Heizkörper kann nach der Modernisierung – aber auch wegen fehlender Planung – von Raum zu Raum sehr verschieden sein. Daraus resultieren sehr unterschiedliche Spreizungen für die einzelnen Heizkörper. Volumenströme und Druckverluste verändern sich also nicht im gleichen Verhältnis. Diese Abweichung ergibt sich auch dann, wenn keine Rohrnetzauslegung nach einem R-Wert stattgefunden hat und die Rohrdimension „nach Gutdünken“ gewählt wurde oder aufgrund der Tatsache, dass Rohre nur in abgestuften Dimensionen und nicht beliebig klein verfügbar sind. Aus diesen Betrachtungen wird eine Erweiterung des Ansatzes notwendig. Bild 5 liefert beispielhaft die Begründung. Die beiden Heizkörper stellen den Ausschnitt eines größeren Netzes dar. Das Beispiel zeigt: Der längste Strang mit dem größeren Heizkörper (Raum 2) ist nach der Modernisierung nicht mehr der hydraulisch ungünstigste. Die Ursache liegt in der geringeren Überdimensionierung des Heizkörpers in Raum 1. Hier sinken Massenstrom und R-Wert weniger ab.

Fazit: Je ungleichmäßiger die Heizkörper bezüglich der Raumheizlast in einem Ge-

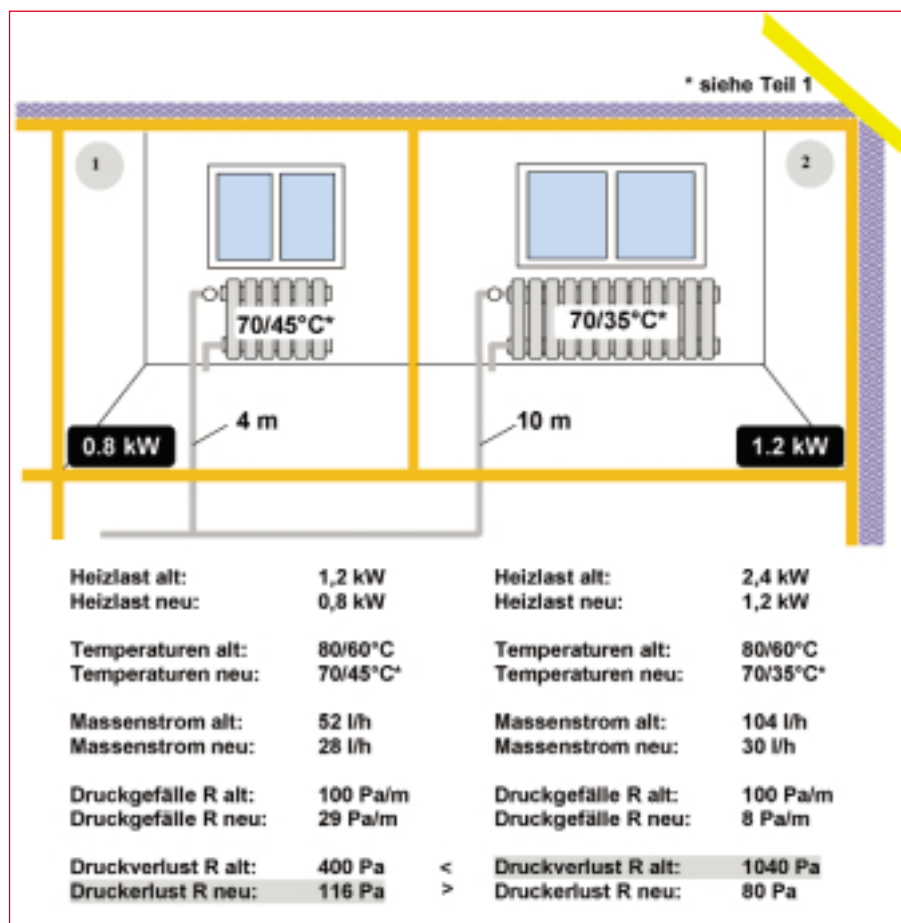


Bild 5 Auswirkungen uneinheitlicher Heizkörperauslegung auf die Hydraulik

bäude dimensioniert sind, desto eher ist der Fall zu erwarten, dass der ungünstigste Heizkörper nicht mehr ohne weiteres identifiziert werden kann. Er muss sich weder am längsten Strang befinden, noch der Heizkörper mit der größten Leistung sein. Ohne Aufnahme des Rohrnetzes und entsprechender ausführlicher Berechnung kann er nicht bestimmt werden.

## Vorhandener Druck für das Netz

Der Druck für ein nachgeschaltetes Netz kann auf verschiedene Weise bereitgestellt werden. Einen Überblick gibt Bild 6.

### Einstufige, unregelte Pumpe

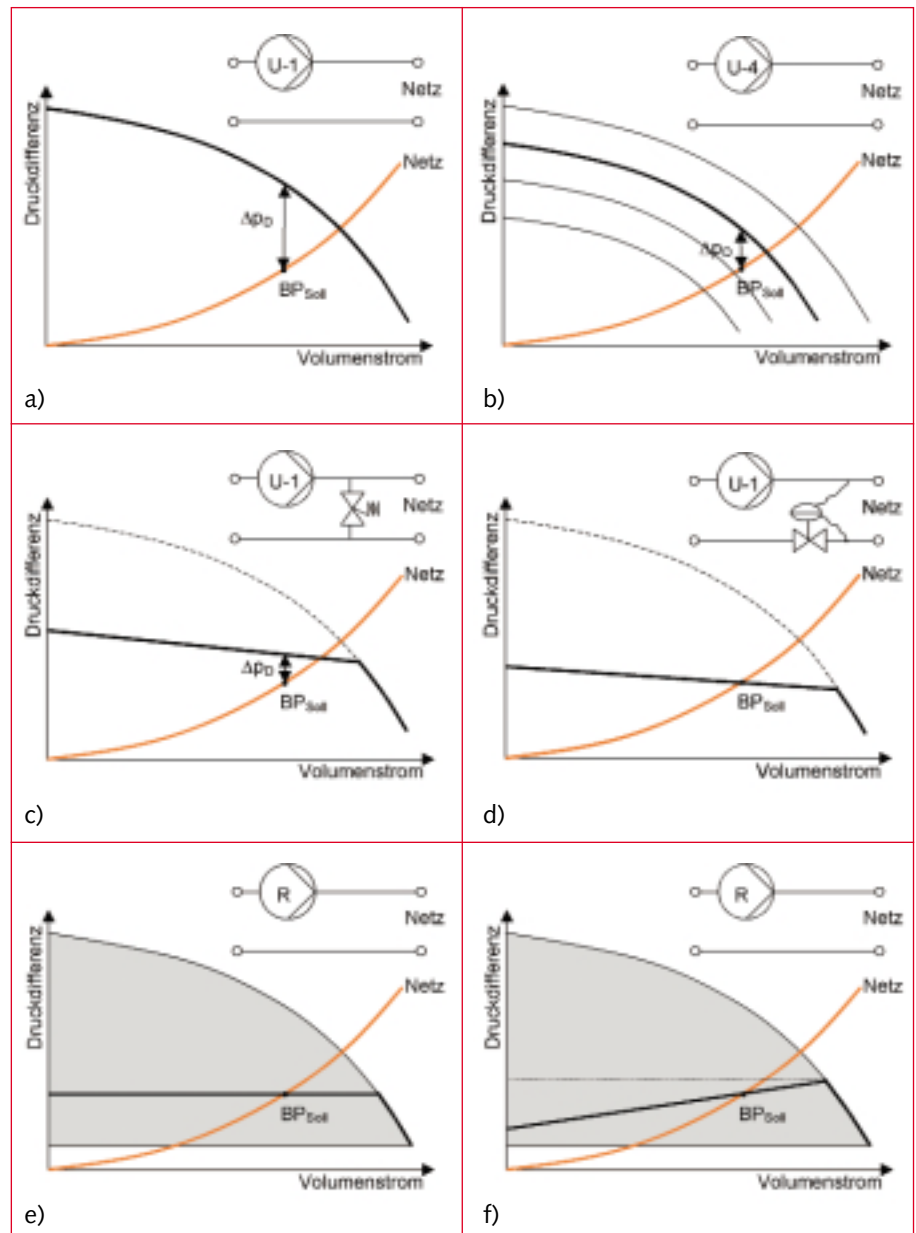
Die einfachste Möglichkeit ist der Einsatz einer unregulierten Pumpe (6a). Der Differenzdruck, den die Pumpe bereitstellt, steigt mit sinkendem Volumenstrom an. Der gewünschte Betriebspunkt für das Netz wird in der Regel nicht direkt auf der Pumpenkennlinie liegen. Oft stellt sich bei Heizgeräten mit integrierter Pumpe das Problem zu großer Förderhöhen, die dann über den THKV abgedrosselt werden müssen ( $\Delta p_D$ ). Dies ist bei Anlagen mit vorhandenen THKV identisch mit einer Verringerung des Auslegungs- $k_V$ -Wertes und des Auslegungs-Proportionalbereichs (siehe hierzu auch die Ausführungen im Teil 2). Parallel zur Druckanpassung sollten deshalb auch die Auswirkungen auf die Regelgüte beachtet werden.

### Mehrstufige, unregelte Pumpen

Ähnliche Verhältnisse wie bei einstufigen Pumpen stellen sich bei mehrstufig einstellbaren, unregulierten Pumpen (6b) ein. Hier kann der überschüssige Druck, durch geeignete Wahl der Drehzahlstufe verringert werden. Wird gegenüber der berechneten notwendigen Auslegungsdruckhöhe im Betriebspunkt eine niedrigere Pumpendruckstufe gewählt (nicht im Bild dargestellt), tritt sogar ein scheinbarer Differenzdruckmangel auf, dem das THKV mit einer weiteren Öffnung im Auslegungsfall und mit einer Erhöhung des  $k_V$ -Wertes und des P-Bereiches begegnet. Solange der P-Bereich Werte von 1...2 K nicht überschreitet, ist eine etwas niedrigere Pumpförderhöhe aus Gründen der Einsparung von Pumphilfsenergie immer einer zu hohen vorzuziehen.

### Unregelte Pumpe und Überströmventil

Eine unregelte Pumpe kann zusätzlich mit einem im Kurzschluss verschalteten Überströmventil betrieben werden (6c). Der für das Netz zur Verfügung gestellte Differenz-



**Bild 6 Möglichkeiten für Differenzdrücke im Netz**

a: unregelte Pumpe, einstufig

b: unregelte Pumpe, vierstufig

c: unregelte Pumpe und Überströmventil

d: unregelte Pumpe und Differenzdruckregler

e: regelbare Pumpe,  $\Delta p$ -Konstant-Regelung

f: regelbare Pumpe,  $\Delta p$ -Variabel-Regelung

druck kann in weiten Bereichen annähernd konstant gehalten werden. Eine waagerechte Kennlinie ergibt sich jedoch nicht, weil ein selbsttätig arbeitendes, differenzdruckgeregeltes Überströmventil durch seinen bei typisch 50 mbar liegenden Arbeits-P-Bereich funktionsbedingt eine Regelabweichung aufweist. Der Einstell-Sollwert (typische Ansprechdruckdifferenz: 200 mbar) des Überströmventils richtet sich meist nach den Anforderungen des Wärmeerzeugers und nicht nach denen des nachgeschalteten Netzes, wenn durch den Wärmeerzeuger ein Mindestdurchfluss realisiert werden soll.

Es ergibt sich für das Netz meist ein höherer als der nötige Differenzdruck. Überschüssiger Differenzdruck ( $\Delta p_D$ ) muss über die Thermostatventile abgedrosselt werden. Ausnahmen können sich aufgrund nachgeschalteter Fußbodenheizkreise ergeben. Hier sind dann zwischen der primären Wärmeerzeugerseite und der sekundären Fußbodenheizkreisseite eine hydraulische Entkopplung und eine gesonderte Sekundärpumpe erforderlich. Wegen des hohen zusätzlichen Hilfsenergieaufwands der Pumpen sind diese Schaltungen jedoch zu vermeiden und Wärmeerzeuger einzusetzen.

# Heizung

zen, die auf Grund eines ausreichenden Kesselwasserinhaltes und daraus resultierenden geringen hydraulischen Widerstandes keine Anforderungen an einen Mindestkesselwasserdurchfluss stellen. Dies gilt allgemein auch für einfache Anlagen mit Heizkörpern als wünschenswert.

## Ungeregelte Pumpe und Differenzdruckregler

Wird eine unregelte Pumpe mit einem Differenzdruckregler (DDR) in Reihe geschaltet (6d), ergibt die daraus resultierende Ersatz-„Pumpen“-Kennlinie für das nachgeschaltete Netz eine ähnliche Form wie beim Überströmventil. Im unteren Volumenstrombereich nimmt die Kennlinie einen nahezu waagerechten Verlauf (funktionsbedingte Regelabweichung), im oberen Bereich die abgelenkte Form an. Im Gegensatz zum fest an die Anforderungen des Wärmeerzeugers angepassten differenzdruckgeregelten Überströmventil sollte der in Reihe zum Wärmeerzeuger und zum Sekundärnetz geschaltete Differenzdruckregler auf die minimal erforderliche Druckerfordernis des Netzes (errechneter Betriebspunkt) abgestimmt werden. Ein Mindestdurchfluss durch den Wärmeerzeuger kann mit dem DDR nicht eingehalten werden.

Mit einer geregelten Pumpe kann ein großer Bereich möglicher Betriebspunkte abgedeckt werden. In Wärmeerzeuger integrierte Regelpumpen sind bei den meisten Fabrikaten nicht einstellbar. Demgegenüber ist der Verlauf der Pumpenkennlinie bei den autarken heizkreisseitigen Regelpumpen programmierbar.

## Regelbare Pumpen

Üblich sind konstant- oder variabelgeregelte Kennlinien. In 6e ist eine konstantgeregelte Kennlinie gezeigt. Bei der variablen Regelung (6f) steigt der Differenzdruck mit steigendem Volumenstrom. Die Nullförderhöhe liegt typisch bei 50 % der eingestellten Sollwert-Förderhöhe. Ein Mindestdurchfluss durch den Wärmeerzeuger kann hier nicht eingehalten werden. Für regelbare Pumpen ergeben sich unterschiedliche Regelstrategien:

- Die Regelstrategie kann frei wählbar sein (konstant oder variabel).
- Die Regelstrategie ist an die Kesselregelung angebunden und nicht beeinflussbar, beispielsweise wenn die Pumpe nach der Modulation des Brenners geregelt wird.

## Differenzdruck und Thermostatventile

Im 2. Teil dieser Artikelserie wurden die Auswirkungen des verfügbaren Druckniveaus auf die Wahl des Temperaturniveaus erläutert. Dieses Thema soll weiter vertieft werden. Nach einer baulichen und/oder anlagentechnischen Sanierung können die Heizwasserauslegungsvolumenströme im Regelfall gesenkt werden:

- durch eine verminderte Raumheizlast nach einer Verbesserung des Gebäudewärmeschutzes bei gleichbleibenden Heizkörpern und niedrigerer mittlerer Heizkörperüberbertemperatur oder
- durch Wahl einer vergrößerten Auslegungspreisung (höhere Vorlauf- und geringere Rücklaufftemperaturen) bei gleicher mittlerer Heizkörperüberbertemperatur.

Zunächst liefert Bild 7 die Erklärung, warum die Ventilautorität der vorhandenen Thermostatventile in der Regel steigt, sich also das Regelverhalten diesbezüglich verbessert, wenn nicht gleichzeitig eine Absenkung des Differenzdruckniveaus durch den Einsatz einer kleineren Pumpe, einer niedrigeren Pumpleistungsstufe oder durch Einsatz eines Differenzdruckreglers erfolgt. Es ist zu beachten, dass sich bei unverändertem Druckhöhenverlauf durch Pumpe und/oder Differenzdruckregler für die weiter verwendeten Thermostatventile automatisch ein verminderter Auslegungs-P-Bereich einstellt, so dass die Gefahr eines instabilen Auf-Zu-Regelverhaltens entsteht. Die Ventilautorität steigt von  $a_{V,alt} = 0,33$  auf  $a_{V,neu} = 0,9$ . Im Betriebspunkt BP1 (ursprünglicher Auslegungszustand) fließt der ursprüngliche Auslegungsvolumenstrom durch das Netz. Zum Druckabfall im Netz (gelbe Linie) wird der Druckabfall über dem Ventil addiert. Beide sind zusammen so groß wie der insgesamt verfügbare Druck. Der Ventildruckverlust macht etwa ein Drittel der verfügbaren Druckerhöhung aus, d. h. es ergibt sich eine Ventilautorität von etwa  $a_V = 0,33$  für den ungünstigsten Heizkörper. Der Druckabfall über die Festwiderstände Rohrleitungen und Einbauten im Netz sinkt mit fallenden Volumenströmen; bei gleichmäßigem Rückgang des Volumenstroms entlang einer Parabel. Damit sinkt auch die sogenannte „Druckerfordernis“ nach [7] für das gesamte Rohrnetzsystem inkl. der THKVs mit abnehmenden Auslegungsvolumenströmen.

Das erforderliche Differenzdruckniveau hängt wesentlich vom Netzaufbau, insbesondere von der Entfernung der variablen Verbraucherwiderstände von der Pumpe ab. Im ungünstigsten Fall – wenn ein oder mehrere variable Verbraucherwiderstände sehr nahe am Einbauort der Pumpe liegen – sinkt er fast gar nicht; zur Erklärung sei hier auf weiterführende Literatur verwiesen (z. B. [7]). In Bild 7 steigt die Druckförderhöhe bei verminderten Volumenströmen durch die hier vorausgesetzte unregelte Pumpe. Der Anteil des Druckes, der über den THKV abgebaut werden muss, nimmt zu, die Ventilautorität steigt. Auch bei einer konstantgeregelten Pumpe, bei Einsatz von Überströmventilen oder Differenzdruckreglern bleibt dieses Verhalten tendenziell bestehen.

Sind nach einer baulichen oder anlagentechnischen Sanierung die verfügbaren Drücke im Netz zu hoch, wird es erforderlich, dass vorhandene Thermostatventile gegen solche mit kleineren  $k_V$ -Werten (kleine Durchlasswerte) ausgetauscht wer-

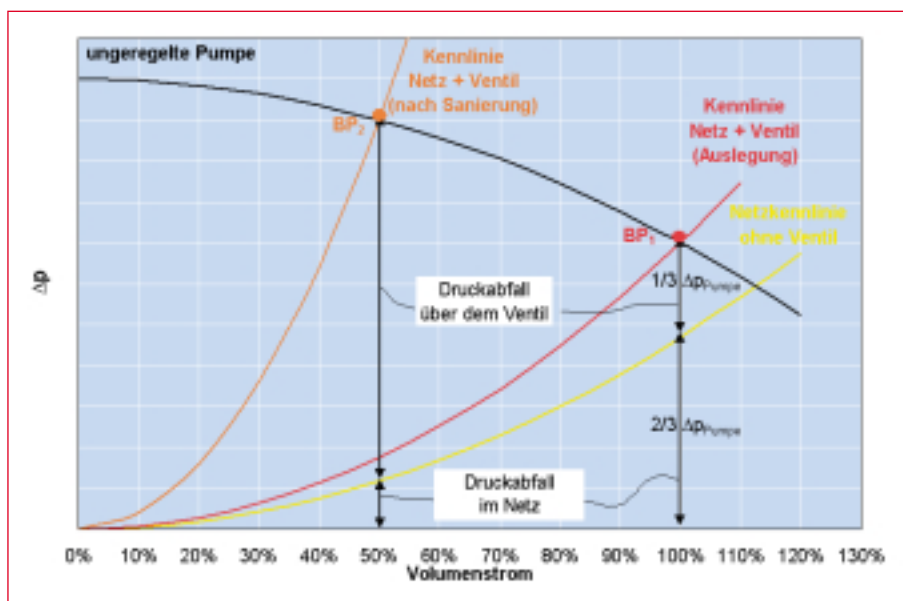


Bild 7 Druckverhältnisse bei Voll- und Teillast

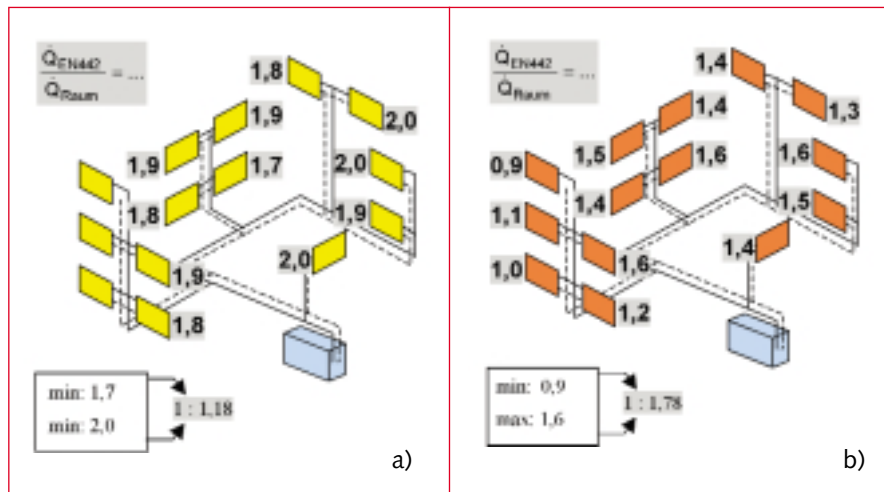
den müssen. Nur bei diesen Ventilen ist sichergestellt, dass auch bei gewünschter großer Öffnung des vorhandenen Strömungsquerschnittes, d. h. bei ausreichend hohen Auslegungs-P-Bereichen und ohne hohe weitere Zusatzwiderstände (Voreinstellungen) ein großer Anteil des Druckangebotes abgebaut wird, die Regelgüte jedoch nicht eingeschränkt wird (vgl. 2. Teil). Diese Ventile haben eine entsprechende Reserve, den Volumenstrom durch Verringerung des Strömungsquerschnittes (Hubes) zu vermindern. Das Angebot von Ventilen mit kleinsten  $k_V$ -Werten am Markt ist sehr begrenzt. Grundsätzlich sollte der Druckabfall über dem Ventil gering gehalten werden. Dies kann durch Anpassung des Differenzdruckniveaus, also durch Einsatz einer kleineren Pumpe, einer niedrigeren Pumpleistungsstufe oder durch Einsatz eines Differenzdruckreglers erfolgen.

Die Forderung nach einem geringen Druckabfall über den Ventilen kollidiert – wie oben ausgeführt – mit der heute üblichen Kesselgerätechnik in Form von Wandkesseln mit hohen hydraulischen Widerständen sowie integrierten Pumpen mit und ohne Überströmventil. Hier liegen die Pumpförderhöhen (oder Einstellwerte von Überströmventilen) in der Regel fest vor. Vorhandene Thermostatventile werden – vor allem in Netzen mit geringen Rohrleitungsdruckverlusten – mit fast der gesamten Pumpenförderhöhe konfrontiert. Damit der Volumenstrom durch die THKV nicht zu groß wird, müssen sie bereits im Auslegungsfall stark drosseln. Der Austausch vorhandener THKVs mit zu großen  $k_V$ -Werten ist in diesen Fällen erforderlich.

## Vorgehensweise bei der Systemoptimierung

Die vorangegangenen Ausführungen begründen die nachfolgend beschriebene Vorgehensweise bei der hydraulischen und regelungstechnischen Systemoptimierung. Das Gebäude wird den Typen „einheitliche“ oder „nicht einheitliche“ Heizkörperauslegung zugeordnet. Dazu werden die bereits bekannten Verhältnisse (vgl. 1. Teil)

der Raumheizlasten zur Normheizleistung der Heizkörper ausgewertet (Bild 8). Unterscheiden sich die Verhältnisse Raumheizlast zu Normheizkörperleistung untereinander um weniger als 20 %, kann das Gebäude als einheitlich dimensioniert angesehen werden (8a). Treten dagegen sehr unterschiedliche Überdimensionierungen – und damit unterschiedliche Temperaturspreizungen an den Heizkörpern – auf, ist die Auslegung uneinheitlich (8b). Die Gren-



**Bild 8** Heizungsanlage mit einheitlicher (a) und mit uneinheitlicher Heizkörperauslegung (b)

ze von 20 % ist nach Auswertung von Praxisprojekten an konkreten Gebäuden ermittelt worden, sie lässt sich aber auch anders definieren. Gegebenenfalls kann in der weiteren Analyse ganz auf die Unterscheidung von „einheitlicher“ oder „nicht einheitlicher“ Heizkörperauslegung verzichtet werden.

Die Größenordnung der Zahlenwerte für die Heizwassertemperaturen in Bild 8 spielt in der Betrachtung zunächst nur eine untergeordnete Rolle. Der Wert „2,0“ besagt lediglich, dass ein mit 75/65 °C betriebener Heizkörper das Doppelte der Raumheizlast zur Verfügung stellen würde, wenn er mit der Normspreizung nach DIN EN 442 betrieben wird. Der Wert „0,9“ deutet darauf hin, dass die mittlere Heizkörperleistung von etwa 70 °C nicht ausreicht, den Raum zu beheizen. Hier werden höhere Temperaturen benötigt.

Bei einer „uneinheitlichen“ Heizkörperauslegung kann der ungünstigste Heizkörper und damit die notwendige Druckerhöhung der Pumpe nicht mehr in jedem Fall anhand des längsten Stranges identifiziert werden. Der Druckverlust im Netz kann höher sein. Die Förderhöhe sollte dennoch so gering wie möglich gewählt werden. Da im Gebäudebestand eine detaillierte Aufnahme

des Rohrnetzes kaum (wirtschaftlich) möglich ist, sind Alternativen zur Auslegung von Pumpe und Thermostatventilen erforderlich.

Der gewählte Ansatz besteht in der Festlegung unterschiedlicher Ventilautoritäten zur Thermostatventilauslegung. Bei der einheitlichen Heizkörperauslegung wird die Ventilautorität des Heizkörpers am längsten Strang mit  $a_V = 0,3$  festgelegt, um eine Pumpe und die Thermostatventile auszulegen. Thermostatventilen in mittlerer Entfernung oder nahe zur Pumpe steht dann ein höherer Differenzdruck zur Verfügung, der durch entsprechende Ventilauslegung (Wahl angepasster Auslegungs- $k_V$ -Werte mit Voreinstellung oder mit angepassten Ventilkegeln) abzubauen ist.

Bei der „nicht einheitlichen“ Heizkörperauslegung wird dieser Wert auf  $a_V = 0,5$  festgelegt. Detaillierte Vergleichsrechnungen zwischen dem beschriebenen Verfahren und einer exakten Rohrnetzbeziehung für ausgeführte Rohrnetze im Bestand und im Neubau werden z. Z. durchgeführt.

## Optimierte Einstellwerte für die Pumpe

Für das Netz ist der verfügbare Druck zu bestimmen. Dazu ist festzustellen, ob der Druck beliebig einstellbar oder fest vorgegeben ist. Einen Überblick gibt Bild 9. Ist die Förderhöhe nicht frei wählbar, muss die Rohrnetzbeziehung auf den vorhandenen Wert des Differenzdruckes angepasst werden. Das Vorgehen sieht wie folgt aus:

1. Der Druckverlust von Rohrleitungen und Einzelwiderständen über den ungünstigsten Strang wird anhand der Länge und des R-Wertes bestimmt, hier mit einem Anteil der Einzelwiderstände von 50 %:

$$\Delta p_{\text{Netz}} = 1,5 \cdot R \cdot l$$

2. Der Druckverlust der Sondereinbauten (Filter etc.) wird bestimmt:

$$\Delta p_{\text{Sonder}}$$

# Heizung

3. Die Ventilautorität für den (vermeintlich) ungünstigsten Heizkörper wird – je nach einheitlicher oder nicht einheitlicher Heizkörperauslegung – festgelegt:

$$a_v = 0,3 \text{ bzw. } 0,5$$

4. Der Druckverlust über dem Ventil wird berechnet:

$$\Delta p_{\text{Ventil}} = \frac{a_v}{1 - a_v} \cdot (\Delta p_{\text{Netz}} + \Delta p_{\text{Sonder}})$$

5. Die benötigte Druckförderhöhe wird aus den drei Druckverlustanteilen berechnet:

$$\Delta p_{\text{benötigt,min}} = \Delta p_{\text{Netz}} + \Delta p_{\text{Sonder}} + \Delta p_{\text{Ventil}}$$

6. Die vorhandene Druckförderhöhe wird überprüft. Sie muss größer oder gleich der berechneten Mindestförderhöhe sein. Sofern es sich um eine mehrstufige Pumpe handelt, wird die im Auslegungsfall benötigte Stufe bestimmt. Die für das Netz bereitstehende Druckförderhöhe muss mit dem berechneten Anlagenvolumenstrom ggf. aus Herstellerunterlagen bestimmt werden. Kann die Förderhöhe beliebig gewählt werden, liegt sie mit der Berechnung in Schritt 5 fest – die Überprüfung entfällt. Sollte die vorhandene Förderhöhe sehr viel größer sein als die minimal benötigte, so ist der Einbau eines Differenzdruckreglers zu empfehlen, falls die Pumpe nicht ausgetauscht werden kann.

Eine derzeit gewählte, pragmatische Grenze für den Handlungsbedarf ist: Die im Netz benötigte Förderhöhe ist nur halb so groß wie die verfügbare und gleichzeitig sind die  $k_v$ -Werte vorhandener oder neuer THKVs im Mittel kleiner als 0,15 m/h (dieser Wert entspricht einer geringen bis mittleren Voreinstellung bei den kleinsten heute verfügbaren THKVs).

Nach diesem Schritt liegt die Druckerhöhung für das Netz  $\Delta p_{\text{verfügbar}}$  fest und die vorhandenen THKVs können hinsichtlich ihres  $k_v$ -Wertes überprüft und neue Ventile mit kleineren  $k_v$ -Werten ausgelegt werden.

## Optimierte Einstellwerte für THKVs

Für jeden Heizkörper liegt der Volumenstrom fest, ebenso die vorhandene Förderhöhe für das Netz  $\Delta p_{\text{verfügbar}}$  und die Druckverluste zentraler Sondereinbauten ( $\Delta p_{\text{Sonder}}$ ). Der Druckabfall über Rohrleitungen und Einzelwiderstände wird je nach Lage des Heizkörpers in einer der drei

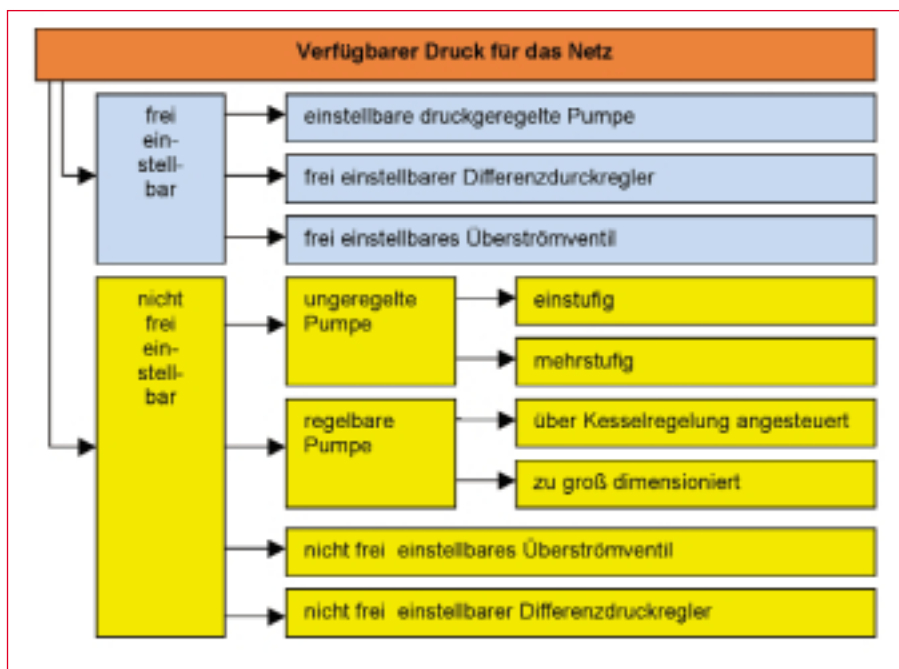


Bild 9 Verfügbarer Druck im Netz

Zonen (nah, mittel, weit) mit  $l$  als Rohrlänge des längsten Stranges bestimmt:

- Zone weit:  $\Delta p_{\text{Netz}} = R \cdot l$
- Zone mittel:  $\Delta p_{\text{Netz}} = \frac{2}{3} \cdot R \cdot l$
- Zone nah:  $\Delta p_{\text{Netz}} = \frac{1}{3} \cdot R \cdot l$

Die Differenz zwischen dem verfügbaren Druck und den Druckabfällen im Netz und in Sondereinbauten drosseln jeweils das Thermostatventil und die Voreinstellung ab.

**D**as in diesem Artikelteil beschriebene Vorgehen bei der hydraulischen Optimierung kann zusammen mit der thermischen Anpassung bestehender Systeme nur sinnvoll mit Hilfe von Software umgesetzt werden. Passende Aufnahmefragebögen für die Praxis sowie eine mögliche Softwarelösung werden im 4. Teil unserer Serie vorgestellt, der in der nächsten SBZ-Ausgabe erscheinen wird.

### Literatur

- [1] Sobirey, Marco: Evaluierung und -Weiterentwicklung eines Programms zur Optimierung der Hydraulik, Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel, 2003
- [2] Timm, Tobias: Optimierung des Temperaturniveaus in bestehenden Heizungsanlagen, Studienarbeit an der FH Braunschweig/Wolfenbüttel, 2002
- [3] Schramek, Ernst-Rudolf (Hrsg.): Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, Oldenbourg Industrieverlag, München, 2001
- [4] F.W. Oventrop: Fachbuch Hydraulischer Abgleich, Olsberg, 2003
- [5] Wilo: Optimierung von Heizungsanlagen, Dortmund, 2002

[6] Kermi: Planungsunterlage Hydraulischer Abgleich, Plattling, 2002

[7] Otto, J.: Pumpenheizung richtig geplant, Krammer Verlag, Düsseldorf, 1982

[8] Burkhardt, W.; Kraus, R.: Projektierung von Warmwasserheizungen, Oldenbourg Industrieverlag, München, 2001

[9] Ihle, C.: Die Pumpenwarmwasserheizung, Werner Verlag, Karlsruhe, 1979



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 energycity-Klimaschutzfonds proklima in Hannover



Der Autor Dipl.-Ing. (FH) **Marco Sobirey** ist Mitarbeiter bei Avacon, Helmstedt