



Bild: Damfoss

*Main-Kinzig-Forum in Gelnhausen: Im großen Barbarossasaal, in dem die Kreistags-sitzungen stattfinden und der durch den Blick auf das Kinzigtal beeindruckt, sorgt ein Kombiventil aus Volumenstromregler und Regelventil für den automatischen Hydraulischen Abgleich der Kühldecken und Deckenheizung.*

Ventilkombination sorgt für automatischen Abgleich

# Maximale Autorität

**Der Einfluss des Hydraulischen Abgleichs auf Regelgenauigkeit, Behaglichkeit und Wirtschaftlichkeit wird vielfach stark unterschätzt. Selbst wenn entsprechende Armaturen eingeplant und installiert werden, unterbleibt trotzdem häufig die aufwendige Einregulierung. Extrem vereinfacht werden Planung, Installation und Einregulierung durch eine Ventilkombination aus Volumenstromregler und Regelventil, die bei allen Lastfällen automatisch für einen Hydraulischen Abgleich sorgt.**

In modernen Büro- und Verwaltungsgebäuden ist durch aktuelle Architekturtrends, hohe Leistungs- und Nutzungsdichten aber auch durch gestiegene Komfortexpectationen eine präzise Regelung des Raumklimas unerlässlich. Viele Parameter beeinflussen das Raumklima, zum Beispiel die Ausrichtung des Raums nach der Himmelsrichtung, die Einstrahlung von Tageslicht, vorhandene Verschattung, Öffenbarkeit der Fenster, innere Lasten (Computer, Licht, Personen im Raum), aber insbesondere ist es die Genauigkeit der Regelung von Heizung und Kühlung. Üblicher-

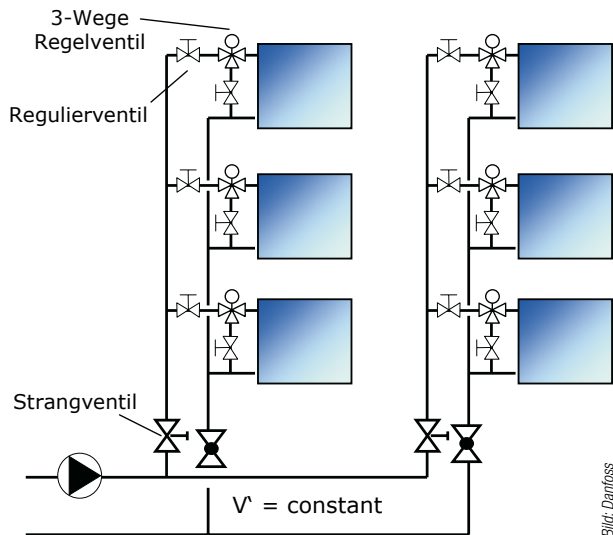
weise bestimmt heute der Nutzer per Einzelraumregelung, ob und wie ein Raum beheizt oder gekühlt wird und welche Raumtemperatur innerhalb einer vorgegebenen Bandbreite eingehalten werden soll.

Je genauer die Regelungskomponenten aufeinander abgestimmt sind, desto konstanter und damit behaglicher lässt sich das Raumklima regeln. Mit Wasser betriebene Heiz- und Kühlgeräte, wie Gebläsekonvektoren, Konvektoren, Heiz- und Kühldecken, Bauteilaktivierung, Kühlsegel oder -baffeln werden mit 4- oder 2-Rohr-Systemen angeschlos-

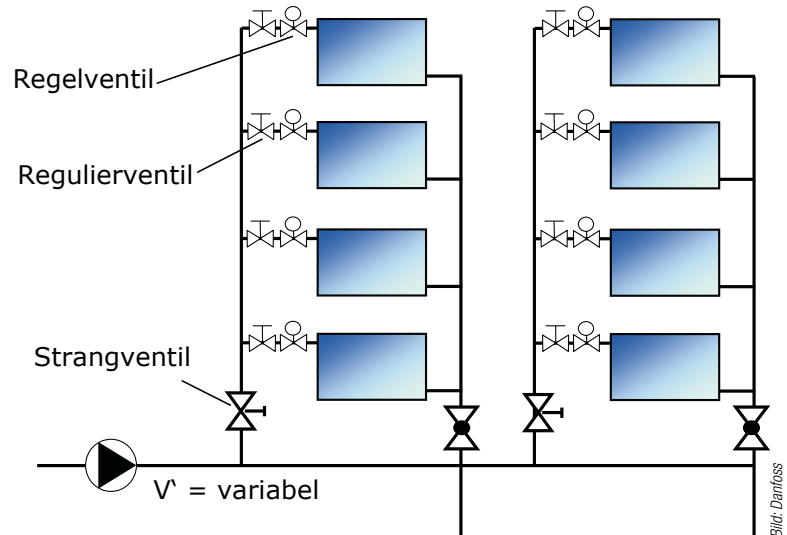
sen. Die erforderliche Genauigkeit der Raumtemperaturregelung wird in der Praxis aber nur erreicht, wenn ein System hydraulisch abgeglichen ist.

## Klassische Konzepte zum Abgleich

Die Durchführung des Hydraulischen Abgleichs wird in DIN 18 380 [1] sowie im VDMA-Einheitsblatt 24 199 [2] beschrieben. Zwei klassische hydraulische Schaltungen, die Umlenk- und die Drosselschaltung, werden vor allem im Bereich Kühlung eingesetzt.



**Bild 1** Der typische Aufbau einer Anlage mit konstantem Volumenstrom umfasst ein 3-Wege-Ventil und ein Regulierventil an jedem Verbraucher. Oftmals wird ein weiteres Regulierventil am Bypass eingesetzt, das Gruppenventil begrenzt den Volumenstrom am Strang.



**Bild 2** Bei Drosselschaltungen ist der Hydraulische Abgleich notwendig, um eine ausreichende Versorgung der Verbraucher zu gewährleisten. Dazu wird zusätzlich zum Regelventil an jedem Verbraucher ein Drosselventil eingesetzt.

### Umlenkschaltung – konstanter Volumenstrom

Bei der Umlenkschaltung wird ein volumenstromkonstantes Netz aufgebaut. Der Verbraucher ist mit einem Bypass versehen. Durch die Stellung des Regelventils wird das Medium anteilig zum Verbraucher und/oder über den Bypass zum Rücklauf geführt. Als Regelventile kommen zumeist 3-Wege-Ventile zum Einsatz. So wird der Verbraucher lastabhängig versorgt, der Volumenstrom im Rohrnetz bleibt dabei aber immer konstant.

Ein genauer Hydraulischer Abgleich ist notwendig, um die Verbraucher gleichmäßig beziehungsweise entsprechend des geplanten Heiz- und Kühlbedarfs zu versorgen. Bei einem fachgerechten Abgleich wird das Regelventil von zu hohen Differenzdrücken entlastet, indem zusätzliche Regulier- oder Drosselventile am Verbraucher und auch im Bypass (bei hohem Verbraucherwiderstand) eingesetzt werden. Somit übernimmt das Regelventil nur die Aufteilung des Volumenstroms zum Verbraucher beziehungsweise zum Bypass. In den einzelnen Strängen werden ebenfalls Strangventile als Gruppenventile der nachgeschalteten Regulierventile an den Verbrauchern eingesetzt (Bild 1).

Die korrekte Einstellung der Strangventile erfolgt in der Regel messtechnisch mit Messgeräten oder Messcomputern. Ausgehend vom hydraulisch ungünstigsten Ventil werden die Regulierventile und Strangventile beispielsweise nach der „Kompensationsmethode“ eingestellt. Zeitaufwendig ist im Anschluss die Einregulierung der Strangventile, für die je nach Herstellerangaben ein durchschnittlicher Arbeitsaufwand von circa einer Mannstunde pro Ventil anzusetzen ist. Ausreichend Personal mit speziellen Kenntnissen, entsprechendem Werkzeug und Messcomputer sind ebenfalls notwendig. Häufig kommt erschwerend hinzu, dass die Regulierventile und Strangventile hinter Decken- oder Flur-

verkleidungen eingebaut sind, die nur mit einer Leiter oder Hebebühne zu erreichen sind.

Daraus ergibt sich bei betriebswirtschaftlich korrekter Kalkulation, dass der Posten „Hydraulischer Abgleich/Einregulierung“ ein erheblicher Kostenfaktor ist. Leicht übersteigt er sogar den Materialwert der Ventile.

Die Vorteile der Umlenkschaltung liegen darin, dass ein konstanter Volumenstrom im Primärkreis vorhanden ist, und daher annähernd konstante Druckverhältnisse im Rohrnetz gewährleistet sind. Dadurch wird eine gute Regelfähigkeit, speziell im Teillastbereich der Anlage, erreicht. Der konstante Volumenstrom erfordert allerdings, dass die Umwälzpumpe permanent auf konstantem Niveau mit hohem Stromverbrauch fördert.

### Drosselschaltung – variabler Volumenstrom

Bei einer Drosselschaltung ändert die Stellung des Regelventils den Volumenstrom zum Verbraucher und gleichzeitig den Gesamtvolumenstrom der Anlage. Wie bei Systemen mit konstantem Volumenstrom ist auch bei einer Drosselschaltung der Hydraulische Abgleich zwingend notwendig, um eine ausreichende und der Planung entsprechende Versorgung der Verbraucher zu gewährleisten. Dazu wird zusätzlich zum Regelventil an jedem Verbraucher ein Drosselventil beziehungsweise Regulierventil eingesetzt (Bild 2). Mehrere manuelle Drosselventile werden mit einem Gruppenventil zusammengefasst. Auch hier ist der Hydraulische Abgleich eine aufwendige kostenintensive Prozedur.

### Statischer Abgleich bei Teillast (?)

Generell wird der statische Hydraulische Abgleich für den Fall der maximalen Anforderung an das Heiz- und Kühlsystem durchgeführt, also für

den Vollastfall. Dazu sind alle Ventile geöffnet und die Umwälzpumpe wird auf den Auslegungsbetriebspunkt eingestellt. Danach werden die Drosselventile für diesen Vollastfall eingemessen/eingestellt.

Was aber passiert im Teillastfall? In der überwiegenden Zeit des Jahres läuft eine Heiz- und Kühlanlage im Teillast-Bereich. Die Regelung der Raumtemperatur beeinflusst die Stellung (den Hub) des Regelventils und damit den Volumenstrom zum Verbraucher. Bei der Drosselschaltung werden gleichzeitig die Steilheit der Rohrnetz-kennlinie und damit der Gesamtvolumenstrom der Anlage verändert. Dadurch entstehen auch an allen anderen Verbrauchern neue Druckbedingungen (die letztendlich wieder neue Stellungen der Regelventile erfordern). Die Folgen sind Schwankungen der Raumtemperatur und auch Strömungsgeräusche, wenn die Differenzdrücke an den Regelventilen zu hoch werden.

### Bedeutung der Ventilautorität

Um die gegenseitige Beeinflussung der Regelkreise möglichst gering zu halten, ist bei der Auslegung und Dimensionierung der Regelventile zu beachten, dass diese eine ausreichend hohe Ventilautorität ( $a_v$ ) aufweisen. Sie ist das Maß für die Fähigkeit eines Regelventils, den Volumenstrom bei einer Hubänderung zu beeinflussen. Es wird als das Verhältnis des Differenzdrucks über dem Regelventil zum Gesamtdifferenzdruck im System definiert:

$$a_v = \frac{\Delta p_{\text{Ventil}}}{\Delta p_{\text{System}}} \quad [\text{Gl. 1}]$$

$$a_v = \frac{\Delta p_{\text{Ventil}}}{\Delta p_{\text{System}}}$$

$$- \Delta p_{\text{Ventil}}$$

Je höher die Ventilautorität, desto größer ist der Druckverlust am Ventil bezogen auf den Gesamtdruckverlust im System. Dadurch steigt die Regelfähigkeit des Ventils. An Bild 3 lässt sich ablesen, dass bei einer idealen Ventilautorität von  $a_v = 1$  eine Änderung des Ventilhubes eine Veränderung des Volumenstroms in gleicher Größe verursacht (zum Beispiel: aus 50 % Hub folgt 50 % Volumenstrom).

In der Praxis sollte bei der Planung mindestens  $a_v = 0,3$  angestrebt werden. Um dies zu erreichen, werden bei der Dimensionierung und Planung Regelventile eingesetzt, die im Vergleich zum restlichen System einen hohen Differenzdruck aufweisen. Um dabei den Gesamtdruckverlust (Aufwand für die Medienförderung) niedrig zu halten, muss das gesamte Rohrnetz strömungsgünstig ausgelegt werden. Werden Verbraucher geregelt, ist allerdings auch zu beachten, dass deren Wärmeübertragerkennlinien keine linearen Abhängigkeiten zwischen Volumenstrom und Leistung aufweisen. Dieses kann jedoch im Gegensatz zum hydraulischen Einfluss in einer elektronischen Regelung einfach kompensiert werden.

### Dynamischer Abgleich

Um die Voll- und Teillastbetriebsfälle in (großen) Heiz- und Kühlanlagen sicher zu beherrschen, ist ein dynamischer Hydraulischer Abgleich und ggf. der Einsatz von Volumenstromreglern erforderlich.

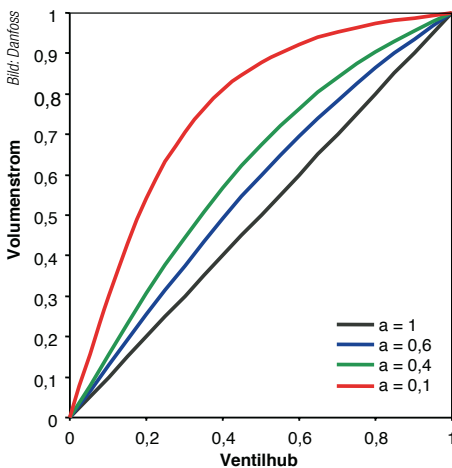


Bild 3 Bei einer Ventilautorität von  $a_v = 1$  verursacht eine Änderung des Ventilhubes eine Veränderung des Volumenstroms im gleichen Verhältnis. In dieser Situation haben Druckschwankungen im Rohrleitungssystem auf das Regelventil keinen Einfluss.

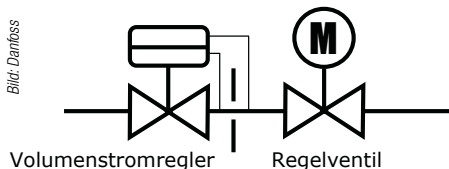


Bild 4 Sind ein Volumenstromregler und ein Regelventil in Reihe geschaltet, kommt es vor, dass beide Ventile gegeneinander arbeiten.

Volumenstromregler halten mittels einer druckbeaufschlagten Membran und einer Feder einen fest eingestellten Volumenstrom konstant. Typische Konstruktionen regeln dabei den Differenzdruck über einer Messblende im Ventil. Eine Änderung des Volumenstroms kann durch den Austausch der Messblende beziehungsweise des Regeleinsatzes vorgenommen werden. Der Vorteil eines Volumenstromreglers besteht in dem immer konstanten Durchfluss bei geöffnetem Regelventil am Verbraucher. Druckschwankungen im Rohrnetz haben keine Auswirkung auf den einzelnen Verbraucher. Das gilt insbesondere im Teillastbetrieb, wenn ein großer Teil der Verbraucher keinen Heiz- oder Kühlbedarf hat und deren Regelventile geschlossen sind. Auch dann fließt an den noch offenen Ventilen weiterhin der konstante Volumenstrom zum Verbraucher.

Sind jedoch ein Volumenstromregler und ein stetig regelndes Ventil in Reihe geschaltet, arbeiten beide Ventile schnell gegeneinander (Bild 4): Versucht das Regelventil durch Drosselung den Volumenstrom zu verringern, versucht gleichzeitig der Volumenstromregler den Volumenstrom konstant zu halten. Eine stetige Regelung ist so kaum realisierbar, Strömungsgeräusche sind wahrscheinlich.

Ein Konzept für den dynamischen Hydraulischen Abgleich unter Berücksichtigung der Leistungsregelung muss demnach folgende Probleme lösen:

- Volumenstromkonstanz am Verbraucher bei Voll- und Teillast bei der jeweiligen Reglerstellung (Unabhängigkeit jedes einzelnen Verbrauchers vom Regelzustand der anderen Verbraucher)
- hohe Ventilautorität am Regelventil ( $a_v \approx 1 a_v$ ), vor allem bei stetiger Regelung
- Minimierung des Arbeitsaufwands (und damit der Kosten) des Hydraulischen Abgleichs
- Funktionssicherheit, einfache Kontrollierbarkeit der Einstellungen
- Vermeiden von Strömungsgeräuschen an den Ventilen
- minimale Schwankungen der Raumtemperatur
- niedriger Hilfsenergieaufwand für die Umwälzung durch variablen Volumenstrom

### Kombiniertes Drossel- und Regelventil

Die Lösung ist ein kombiniertes Drossel- und Regelventilkonzept, das sich bereits in vielen Anlagen bewährt hat und im gesamten Lastbereich eine hohe Regelgüte der einzelnen Regelkreise gewährleisten kann. Das Kombiventil AB-QM von Danfoss ist ein Volumenstromregler mit integriertem Regelventil. Die Differenzdruckregelung findet über dem gesamten Regelventil statt, die Stellung des Regelkonus im AB-QM bestimmt den Durchfluss (Bild 5). Daraus folgt, dass der Volumenstrom entsprechend der momentanen Regler-

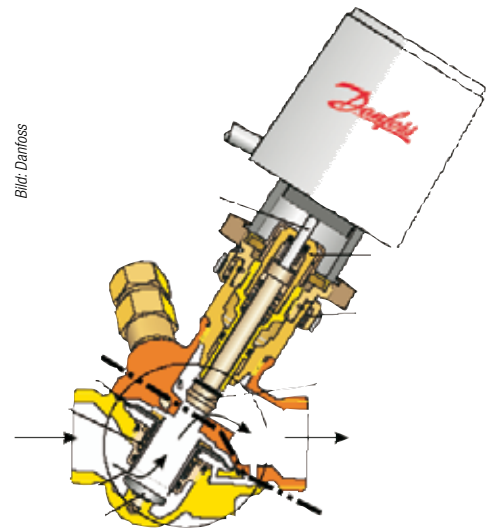
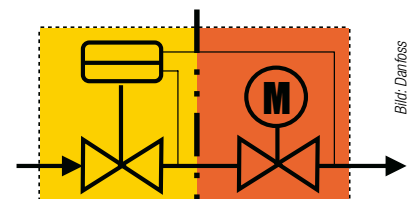


Bild 5 Das AB-QM-Kombiventil integriert einen Volumenstromregler und ein Regelventil. Die Differenzdruckregelung findet über dem gesamten Ventil statt, die Stellung des Regelkonus bestimmt den Durchfluss, der dann auch bei Druckschwankungen im Netz konstant bleibt.



Volumenstromregler | Regelventil

Bild 6 Konstruktionsbedingt bewirkt die Membran, dass der Differenzdruck über dem gesamten AB-QM-Ventil konstant gehalten wird, der Volumenstrom bleibt gleich. Verändert sich der Regelkonus und damit der Ventilhub, ändert sich auch der Volumenstrom durch das Ventil bei einer Ventilautorität  $a_v = 1$ .

stellung auch bei externen Druckschwankungen konstant bleibt. Verändert sich die Stellung des Regelkonus und damit der Ventilhub, ändert sich

$$V' = k_v \cdot \sqrt{\Delta p} \quad [Gl. 2]$$

auch der Volumenstrom durch das Ventil (Bild 6). Die Wirkungsweise des Kombiventils wird wie folgt beschrieben:

Wenn beispielsweise am AB-QM der Regelkonus weiter schließt, wird der  $k_v$ -Wert kleiner, der Differenzdruck  $\sqrt{\Delta p}$  bleibt aber konstant. Somit sinkt der Volumenstrom ( $V'$ ) im gleichen Verhältnis wie der  $k_v$ -Wert. Der Regelkonus des Regelventils im AB-QM ist dadurch immer frei von Druckschwankungen und hydraulisch komplett entkoppelt vom restlichen Rohrnetz. Die Regelgenauigkeit des Volumenstroms ist optimal, da die Ventilautorität  $a_v = 1$  ist: Eine Hubänderung des Ventils bewirkt eine proportionale Änderung des Volumenstroms.

Durch den Einsatz des Kombiventils in Heiz- und Kühlanlagen mit elektrischer Raumtemperaturregelung werden Planung, Installation und Einregulierung stark vereinfacht: Es wird an jedem Verbraucher statt mehreren Ventilen lediglich ein



Bild 7 Um den dynamischen Hydraulischen Abgleich zu realisieren, wird an jeden Verbraucher einer Heiz- oder Kühleinheit ein AB-QM-Kombiventil installiert, das einmalig auf den geplanten Volumenstrom eingestellt wird. Damit lässt sich eine präzise Regelung bei Voll- und Teillast verwirklichen.

AB-QM installiert (Bild 7). Der Planer muss anhand der Heiz- und Kühllastberechnung den Volumenstrom angeben, der am Kombiventil eingestellt werden soll. Die Volumenstromereinstellung erfolgt über eine Einstellskala (Bild 8) und kann auch blockiert werden. Für die Rohrnetzberechnung ist ein Mindestdifferenzdruck von 0,16 bar einzuplanen.

Nach der Einstellung der Umwälzpumpe werden die Ventilantriebe auf das Kombiventil gesetzt und elektrisch angeschlossen. Für die gängigen Ausgangssignale, wie 0...10 V (stetig), 3-Punkt oder 2-Punkt On/Off, stehen auf das AB-QM angepasste Ventilantriebe zur Verfügung. Eine präzise Regelung der Heiz- und Kühlleistung ist so bei allen Lastzuständen und für jeden Verbraucher gewährleistet.

### Fazit

Raumklima-Konzepte mit variablen Volumenströmen, insbesondere bei Drosselschaltungen, erfordern einen dynamischen Hydraulischen Abgleich. Kombiventile, die Abgleich und Regelung miteinander verbinden, reduzieren die Materialkosten und den Installationsaufwand. Die zeit- und kostenintensive Einregulierung reduziert sich auf einfache Einstellarbeiten. Die Planung wird erheblich vereinfacht und die Funktionssicherheit ist bei jedem Lastzustand der Heiz- und Kühlanlage gewährleistet. Durch die maximale Ventilautorität der Regelventile ist ein hoher Komfort im Raum durch präzise Raumtemperaturregelung das messbare Ergebnis für den Kunden. ■



Bild 8 Das AB-QM von Danfoss kombiniert ein Regelventil und einen Volumenstromregler in einem Gehäuse. An der Skala wird der erforderliche Durchfluss eingestellt und so der dynamische Hydraulische Abgleich realisiert.

### Literatur

- [1] DIN 18 380 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV); Heizanlagen und zentrale Wassereerwärmungsanlagen. Berlin: Beuth Verlag, Dezember 2002
- [2] VDMA 24 199 Regelungstechnische Anforderungen an die Hydraulik bei Planung und Ausführung von Heizungs-, Kälte-, Trinkwarmwasser- und Raumlufttechnischen Anlagen. Berlin: Beuth Verlag, Mai 2005



Stefan Ebel

Dipl.-Ing., Produktingenieur im Bereich  
Wärmeautomatik, Danfoss GmbH, Offenbach,  
[www.danfoss-waermeautomatik.de](http://www.danfoss-waermeautomatik.de)