



HYDRAULISCHE EINREGULIERUNG MIT DIFFERENZ- DRUCKREGLERN

*Warum bzw. wann brauchen HLK-Anlagen mit variablem
Durchfluss eine Differenzdruckregelung*



Leeds City Office Park, England

„Die hydraulische Einregulierung mit Differenzdruckreglern“ ist das vierte Handbuch in einer Reihe, die sich mit dem hydraulischen Design und der Einregulierung befasst. Das erste Handbuch beschäftigt sich mit der Einregulierung von Regelkreisen, das zweite mit der Einregulierung von Verteilsystemen und das dritte mit der Einregulierung von Heizkörpersystemen.

Diese Broschüre wurde geschrieben, um sie international verwenden zu können. Aus diesem Grund kann es sein, dass Sie vielleicht Symbole und Ausdrücke finden, mit denen Sie nicht gewohnt sind zu arbeiten. Wir hoffen aber trotzdem, dass dies nicht zu großen Unannehmlichkeiten für Sie führt.

Geschrieben von Robert Petitjean. Speziellen Dank an die TA Einregulierungsexperten: Bjarne Andreassen, Eric Bernadou, Jean-Christophe Carette, Bo G Eriksson und Peter Rees für ihre wertvolle Mitarbeit.

Produktion: Sandberg Trygg AB, Schweden.

— 3. Ausgabe —

Copyright 2002 by Tour & Andersson AB, Ljung, Schweden. Alle Rechte vorbehalten. Dieses Buch oder Teile davon dürfen nicht reproduziert werden, außer mit schriftlicher Genehmigung durch Tour & Andersson AB. Gedruckt in Schweden, März 2003.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| 1- Einleitung | 5 |
| 2- Arten der Verteilsysteme – Vor- und Nachteile | 6 |
| 2.1 Variabler Durchfluss | 6 |
| 2.2 Konstanter Durchfluss | 7 |
| 3- Warum Differenzdruckregler hilfreich sind | 9 |
| 3.1 Gewährleistung einer genauen und stabilen stetigen Regelung | 9 |
| 3.1.1 Der Regelkreis | |
| 3.1.1.1 <i>Elemente des Regelkreises</i> | |
| 3.1.1.2 <i>Proportionalregelung</i> | |
| 3.1.1.3 <i>Charakteristik des Regelventils</i> | |
| 3.1.1.4 <i>Autorität des Regelventils</i> | |
| 3.1.1.5 <i>Dimensionierung eines Durchgangsregelventils</i> | |
| 3.1.2 Verhalten eines Systems mit variablem Durchfluss – Beispiel einer Anlage | |
| 3.1.2.1 <i>Auslegungszustand</i> | |
| 3.1.2.2 <i>Was passiert, wenn das Regelventil am Verbraucher „A“ schließt?</i> | |
| 3.1.2.3 <i>Der Gesamtdurchfluss beträgt 50 % (80 % der Nennleistung)</i> | |
| 3.1.2.4 <i>Die Verwendung von drehzahlgeregelten Pumpen</i> | |
| 3.1.2.5 <i>Die Verwendung von dezentralen Differenzdruckreglern</i> | |
| 3.1.2.6 <i>Vergleich der Ergebnisse</i> | |
| 3.2 Verringerung der Geräusche von Regelventilen | 29 |
| 3.2.1 Einige typische Geräusche | |
| 3.2.2 Was dagegen getan werden kann | |
| 3.3 Einfache Einregulierung, Inbetriebnahme und Wartung | 32 |
| 3.4 Vorteile der Differenzdruckregelung und Zusammenfassung | 34 |
| 4- Anwendungen für den STAP | 38 |
| 4.1 Wie arbeitet der STAP? | 38 |
| 4.2 Lüftungsanlagen | 41 |
| 4.2.1 Ein STAP für jeden Strang | |
| 4.2.2 Ein STAP an jedem Abzweig | |
| 4.2.3 Ein STAP an jedem Regelventil | |

| | | |
|------------|--|----|
| 4.3 | Heizkörperheizung | 48 |
| 4.3.1 | Voreinstellbare Heizkörperventile | |
| 4.3.2 | Nicht voreinstellbare Heizkörperventile | |
| 4.4 | STAP als Durchflussregler | 52 |
| 5- | Anhang | 53 |
| 5.1 | Einige Fragen und Antworten | 53 |
| 5.1.1 | Warum soll eine Anlage einreguliert werden? | |
| 5.1.2 | Was kostet Unbehaglichkeit? | |
| 5.1.3 | Ist eine gut geplante Anlage automatisch einreguliert? | |
| 5.1.4 | Ist eine drehzahlgeregelte Pumpe ausreichend, um den richtigen Nenndurchfluss zu erreichen? | |
| 5.1.5 | Ist die Anlage automatisch einreguliert, wenn Durchgangsregelventile richtig dimensioniert sind? | |
| 5.1.6 | Erhöhen Regulierventile die Energiekosten der Pumpe? | |
| 5.2 | Minstdurchfluss in Systemen mit variabler Verteilung | 58 |
| 5.3 | Verschiedene Arten der Regelung einer drehzahlgeregelten Pumpe | 59 |
| 5.4 | Energiekosten der Pumpe im Vergleich zu den Kosten für Unbehaglichkeit | 62 |

1. Einleitung

Theoretisch können moderne HLK-Anlagen das gewünschte Raumklima bei niedrigen Betriebskosten erreichen. In der Praxis jedoch können auch höchstentwickelte Regelsysteme ihre theoretische Leistung nicht immer erbringen. Das Ergebnis ist in Bezug auf den Komfort ein Kompromiss, und die Betriebskosten sind höher als erwartet.

Diesen Kompromiss findet man häufig, da die ausgeführte HLK-Anlage eine oder mehrere der drei Bedingungen nicht erfüllt:

1. Die Nenndurchflussmenge muss an allen Verbrauchern zur Verfügung stehen.
2. Der Differenzdruck über die Regelventile darf nicht zu stark schwanken.
3. Die Durchflussmengen müssen an den Systemschnittstellen vergleichbar sein.

Die zweite Bedingung betrifft hauptsächlich Systeme mit variabler Durchflussmenge. In solchen Systemen ändert sich der Differenzdruck über die Regelventile. Die Kreise beeinflussen sich hydraulisch gegenseitig. Starke Schwankungen des Differenzdruckes verursachen eine instabile Regelung. Da sich die Kreise gegenseitig beeinflussen, breiten sich Schwankungen in einem Teil des Gebäudes auch auf die anderen Teile aus.

Um eine genaue und stabile Regelung von Systemen mit variablem Durchfluss zu erzielen, ist es oft notwendig den Differenzdruck dezentral konstant zu halten. Die beste Lösung ist, Differenzdruckregler zu verwenden. Sie halten die Differenzdruckschwankungen innerhalb tolerierbarer Grenzen und machen so die Regelkreise unabhängig voneinander.

Differenzdruckregler bieten folgende Vorteile:

1. Sie erlauben eine genaue und stabile stetige Regelung.
2. Sie reduzieren die Geräusche der Regelventile (On/Off- oder stetig).
3. Sie vereinfachen die Einregulierung und die Inbetriebnahme.

Dieses Handbuch erklärt im Detail, warum es so wichtig ist, Differenzdruckler in HLK-Systemen mit variabler Durchflussmenge zu verwenden. Das Handbuch erklärt auch Methoden für die Einregulierung solcher Systeme.

2. Arten der Verteilung

In HLK-Anlagen sind zwei Arten der Verteilung üblich: konstanter oder variabler Durchfluss. Jede der beiden Arten hat seine Vor- und Nachteile.

2.1 Variabler Durchfluss

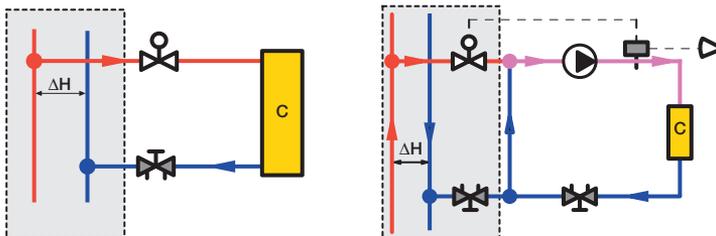


Abb. 2.01. Beispiele für eine Verteilung mit variablem Durchfluss.

In Systemen mit variablem Durchfluss wird die Regelung normalerweise mit Durchgangsregelventilen durchgeführt:

Vorteile

- Die Energiekosten der Pumpe hängen vom Produkt der Pumpenförderhöhe und der Durchflussmenge ab. Je mehr Regelventile schließen und die Durchflussmenge reduzieren, um so mehr Energie wird gespart. Dies ist speziell in Kälteanlagen interessant, wo die Energieaufnahme der Pumpe bei konstantem Durchfluss ca. 6–12 % des Gesamtenergieverbrauches der Kältemaschine beträgt.
- Die Anlage kann mit einem Gleichzeitigkeitsfaktor dimensioniert werden. Dies kann der Hauptgrund dafür sein, dass ein System mit konstanter Verteilung in eines mit variabler Verteilung umgeplant wird. Dadurch ist es auch möglich, die Anlage mit dem gleichen existierenden Rohrnetz zu erweitern.
- Da die Anlage nur selten unter Volllast arbeitet, können die Rohre mit höheren Rohrreibungswerten ausgelegt werden. Dadurch werden auch die Investitionskosten der Anlage verringert.
- Die Durchflussmengen in der Erzeugung und Verteilung stimmen überein, um eine konstante Vorlauftemperatur unter allen Lastzuständen zu erzielen. Dies ist in Kälteanlagen wichtig, speziell bei der Entfeuchtung.
- Die Rücklauftemperatur kann in Heizungsanlagen minimiert und in Kälteanlagen maximiert werden, was speziell bei der Verwendung von Fernwärme/Fernkälte bzw. Brennwertkesseln wichtig ist.

Nachteile

- Der Differenzdruck über die Verbraucherkreise schwankt. Dies beeinflusst die Autorität der Regelventile und die Stabilität der Regelkreise bei Proportional- oder PI/PID-Reglern.
- Die Dimensionierung der Durchgangsregelventile ist nicht einfach, da sie vom zur Verfügung stehenden ΔH für den Regelkreis abhängt. Dieser Wert ist normalerweise nicht bekannt und verändert sich auch im Betrieb sehr stark.
- Die Kreise beeinflussen sich gegenseitig. Wenn ein Regelventil schließt, erhöht sich der Differenzdruck für die anderen. Das entsprechende Regelventil muss schließen, um dies zu kompensieren. Wenn nun ein oder mehrere Regelkreise instabil sind, kann sich dieses Regelproblem auf die anderen Kreise ausweiten.
- Bei 50 % Teillast wird die Durchflussmenge auf 20 % reduziert. Der zur Verfügung stehende Differenzdruck steigt an allen Verbrauchern stark an. Dadurch reduziert sich die Autorität der Regelventile beträchtlich. Das Risiko des Pendelns und der Instabilität steigt.
- Es muss eine Mindestdurchflussmenge aufrechterhalten werden, um die Pumpe zu schützen.

2.2 Konstanter Durchfluss

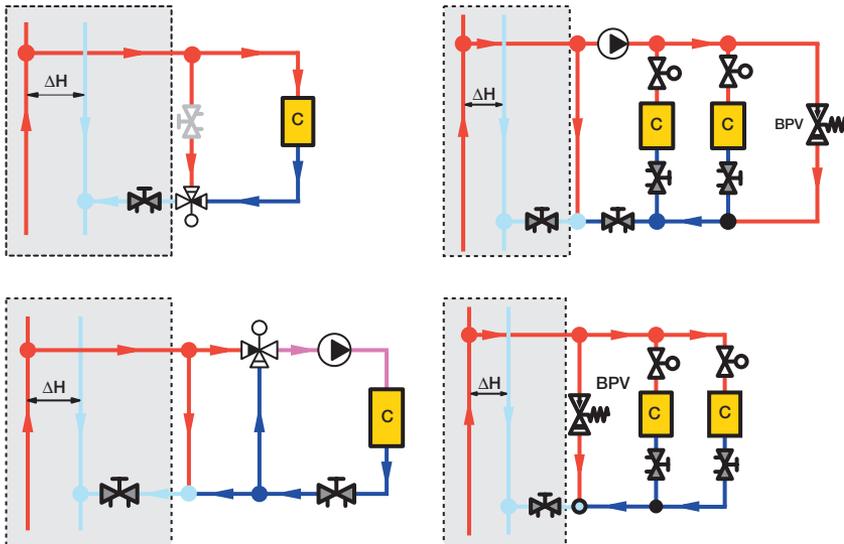


Abb. 2.02. Einige Beispiele von Systemen mit konstantem Durchfluss.

Vorteile

- Die Pumpenförderhöhe ist konstant, die Druckverluste in den Rohrleitungen der Verteilung sind ebenfalls konstant. Die Regelkreise beeinflussen sich nicht gegenseitig. Dadurch bedingt haben alle Regelkreise einen konstanten Differenzdruck und arbeiten in allen Lastzuständen unter den gleichen Bedingungen. Dies ist für die Regelkreise von großem Vorteil.
- Die Dimensionierung der Regelkreise ist sehr einfach. Die Dimensionierung eines Dreiwegventils in einer Umlenkschaltung erfolgt durch Annahme des gleichen Druckverlustes im Regelventil wie im Verbraucher unter Vollast. Dieser Wert ist normalerweise bekannt. Die Autorität des Regelventils ist konstant, in einigen Fällen sogar fast 1.
- Die Vorlauftemperatur ist über die gesamte Anlage gleichmäßiger.

Nachteile

- Die Energiekosten der Pumpe verändern sich nicht mit der Last.
- Bei der Planung der gesamten Anlage muss man in Betracht ziehen, dass alle Verbraucher ständig mit maximaler Durchflussmenge arbeiten. Die Planung der Anlage mit einem Gleichzeitigkeitsfaktor ist nicht möglich.
- Die Rücklauftemperatur ist bei Heizungsanlagen nicht so niedrig und bei Kälteanlagen nicht so hoch wie theoretisch möglich. Dadurch lehnen Fernheizungs-/Fernkältebetreiber diese Schaltungen ab. Eine höhere Rücklauftemperatur ist für Kondensationskessel (Brennwertkessel) nicht geeignet.
- Arbeiten mehrere Energieerzeuger in Sequenz, so ist die Durchflussmenge zwischen Erzeugung und Verteilung im Teillastgebiet nicht mehr vergleichbar. Der Unterschied in den Durchflussmengen ergibt einen Mischpunkt. Die Vorlauftemperatur kann nicht mehr konstant gehalten werden. Dies ist speziell bei Kälteanlagen ein Problem.

Die Wahl zwischen konstanter und variabler Durchflussmenge in der Verteilung hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie z.B. Einsatzzweck der Anlage oder welche Bedeutung den verschiedenen Vor- und Nachteilen zukommt.

3. Warum Differenzdruckregler hilfreich sind

3.1 Gewährleistung einer genauen und stabilen stetigen Regelung

3.1.1 DER REGELKREIS

3.1.1.1 Elemente (Bestandteile) eines Regelkreises

In Heizungs- und Klimaanlage werden Regelkreise normalerweise dazu verwendet, eine Temperatur oder eine Durchflussmenge zu verändern, um die Regelung einer gewünschten physikalischen Größe (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, etc.) zu erreichen. Die Qualität der Regelung hängt von der Kombination von sechs Elementen, die sich gegenseitig beeinflussen und den Regelkreis bilden, ab.

1. Der Fühler misst die Größe, die geregelt werden soll, wie z.B. die Raum- oder die Vorlauftemperatur.
2. Der Regler vergleicht den gemessenen Wert mit dem Sollwert. Abhängig von der Differenz zwischen diesen beiden Werten, reagiert der Regler aufgrund seiner Charakteristik (On/Off, PID, etc.) und beeinflusst den Stellmotor.
3. Der Stellmotor betätigt das Regelventil, abhängig von den Signalen, die er vom Regler bekommt.
4. Die Zwei- und Dreiwegventile beeinflussen die Energiemenge, die in das System transportiert wird, um die Störgrößen zu kompensieren.
5. Der Verbraucher überträgt diese Energie auf das geregelte System.
6. Der Regelkreis ist z.B. ein Raum in dem der Fühler platziert ist.

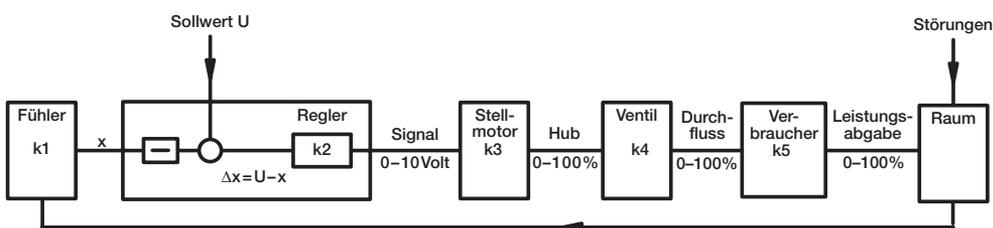


Abb. 3.01. Die sechs Komponenten eines Regelkreises, die sich gegenseitig beeinflussen.

Der Regler ist das „Gehirn“ des Regelkreises. Die Charakteristik des Reglers wird so gewählt, dass er zusammen mit den Eigenschaften der Regelstrecke ein kompaktes Ganzes ergibt.

Die Regler können in zwei Klassen eingeteilt werden: Stetige und nicht stetige Regler. On/Off-Regler bilden einen Teil der nicht stetigen Regler. Ist es in Heizungsanlage zu heiß, dann ist das Regelventil komplett geschlossen. Ist es jedoch zu kalt, dann ist das Regelventil voll geöffnet. Unabhängig davon, ob nun das Regelventil voll geöffnet oder geschlossen ist, wird bei einem solchen Regler immer zu viel oder zu wenig Wärme zur Anlage geliefert, so

dass die geregelte Größe niemals stabil sein kann. Sie schwankt normalerweise kontinuierlich zwischen einem Minimal- und einem Maximalwert. Eine bessere Behaglichkeit kann durch die Verwendung eines stetig wirkenden Proportionalreglers, der auch den Energieverbrauch verringert, erreicht werden.

3.1.1.2 Proportionalregelung

Ein Proportionalregler öffnet oder schließt das Regelventil im Verhältnis zum Unterschied zwischen dem gemessenen Wert und dem Sollwert. Das Regelventil findet eine stabile Position entsprechend dem Energiegleichgewicht. Wenn man die Zuluft und die Raumtemperatur konstant hält, erhält man natürlich auch eine bessere Behaglichkeit im Raum.

Abb. 3.02 zeigt eine Niveauregelung mit Hilfe eines Proportionalreglers. Das Niveau H wird konstant gehalten, indem die Zulaufmenge Y entsprechend der Störung Z geregelt wird.

Wenn der Wasserspiegel H abfällt, sinkt auch der Schwimmer B . Proportional dazu öffnet sich das Regelventil V . Das System erreicht einen stabilen Zustand, wenn der Zufluss Y und die Abflussmenge Z gleich groß sind.

Ist Z gleich Null, steigt der Wasserspiegel so lange an, bis er das Niveau H_0 erreicht und damit den Zufluss stoppt, $Y = 0$.

Wenn $Z = \max.$, wird ein stabiler Zustand dann erreicht, wenn der Schwimmer auf das Niveau H_m absinkt und damit das Regelventil voll geöffnet ist.

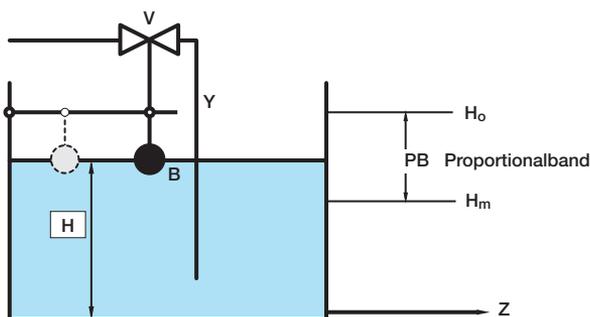


Abb. 3.02. Das Prinzip eines Proportionalreglers.

Liegt nun das Niveau zwischen den Grenzwerten H_0 und H_m , erhält man eine stabile Regelung.

Die Werte für diese Begrenzungen hängen hauptsächlich von der Höhe der Störgröße Z ab. Die Schwankung des Sollwertes zwischen H_0 und H_m , der der Ventilposition zwischen voll geschlossen und voll geöffnet entspricht, wird als Proportionalband PB bezeichnet. Abhängig von der Störgröße Z sind alle Zwischenwerte des Wasserstandes innerhalb des Proportionalbandes möglich.

Die Regelgenauigkeit kann verbessert werden, indem man das Proportionalband verringert. Dies geschieht dadurch, dass der Schwimmer auf dem Hebel in Richtung des Drehpunktes geschoben wird. Auf diese Weise wird die Niveauänderung, die dann erforderlich ist, um das Ventil zu öffnen bzw. vollkommen zu schließen, verkleinert. Eine kleine Niveauänderung ergibt jedoch eine große Durchflussmengenänderung Y und bewirkt eine

größere Reaktion als es der Störung entsprechen würde. Dadurch entsteht eine wesentlich größere Störung des Systems. Der Regelkreis wird instabil und arbeitet im On/Off-Betrieb mit sehr schlechtem Ergebnis.

Das in Abb. 3.02 dargestellte System entspricht einer Raumtemperaturregelung, wenn man die Parameter wie folgt verändert:

Z = Wärmeverlust

Y = Wärmeabgabe

H = Raumtemperatur

In diesem Fall ist das Proportionalband gleich der Raumtemperaturschwankung, die erforderlich ist, damit sich das Regelventil von voll geöffnet in die Schließposition bewegt.

In Kälteanlagen mit einem Sollwert von 23 °C und einem Proportionalband von 4 K beträgt die Raumtemperatur bei Vollast 25 °C und bei Nullast 21 °C.

Ein Proportionalband von 4 K bedeutet, dass das Ventil bei einer Temperaturerhöhung von 1 K um 25 % öffnet. Die Verstärkung k_2 des Reglers entspricht diesem Wert von 25 % /K.

Bezug nehmend auf Abb. 3.01 entspricht die dem Raum physikalisch zugeführte Leistung der vom Verbraucher abgegebenen Leistung. Das effektive Verhältnis zwischen der Abweichung der Raumtemperatur und der Leistung des Verbrauchers ist:

$$k_2(\text{Regler}) \times k_3(\text{Motor}) \times k_4(\text{Ventil}) \times k_5(\text{Verbraucher}) = k$$

Ist diese Gesamtverstärkung „ k “ zu hoch, ist der Regelkreis instabil. Ist diese Gesamtverstärkung „ k “ zu klein, ist der Regler nicht präzise genug.

Die Gesamtverstärkung wird normalerweise so hoch wie möglich gewählt, jedoch unter der Voraussetzung gerade noch eine stabile Regelung zu erzielen.

Es ist wichtig, die Verstärkung „ k “ so konstant wie möglich zu halten, um eine instabile Funktion in einigen Lastzuständen und ungenaue Regelung in anderen zu verhindern. Die Verstärkung „ k_4 “ (Abb. 3.01) repräsentiert das Verhältnis zwischen Durchfluss und Ventilhub. Sie hängt ab von:

1. Ventilcharakteristik
2. Dimensionierung des Regelventils
3. Differenzdruck Δp am Regelventil

Wie in 3.1.1.3 gezeigt wird, kann die nicht lineare Kennlinie des Verbrauchers durch eine entsprechende brauchbare Charakteristik des Regelventils kompensiert werden, um das Produkt $k_4 \times k_5$ konstant zu halten. Trotzdem ändert sich die Verstärkung k_4 mit dem Differenzdruck über das Regelventil. Es gibt dafür keine Kompensationsmöglichkeit. Die einzige Lösung besteht darin, den Differenzdruck über das Regelventil mit einem dezentralen Differenzdruckregler zu stabilisieren.

3.1.1.3 Charakteristik des Regelventils

Die statische Charakteristik eines Regelventils wird durch das Verhältnis, das man zwischen der Durchflussmenge und dem Ventilhub bei konstantem Differenzdruck erhält, definiert. Diese beiden Werte werden in Prozent ihres Maximalwertes angegeben. Bei einem Ventil mit linearer Charakteristik ist die Durchflussmenge proportional zum Ventilhub. Da die Verbraucher jedoch eine nicht lineare Charakteristik aufweisen, verändert ein leichtes Öffnen des Regelventils bei geringen und mittleren Lasten (Abb. 3.03a) die Leistungsabgabe sehr stark. Aus diesem Grund besteht das große Risiko, dass der Regelkreis im Kleinlastbereich instabil wird.

Die Charakteristik des Regelventils wird so gewählt, dass es die nicht lineare Kennlinie des Verbrauchers kompensiert, damit die Leistungsabgabe des Verbrauchers proportional zum Ventilhub wird.

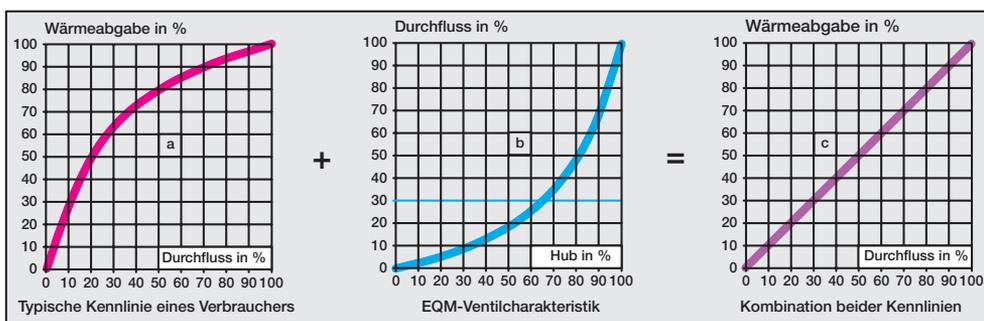


Abb. 3.03. Wählen Sie die Charakteristik des Regelventils (Mitte) spiegelbildlich zum Verbraucher links, um ein lineares Verhältnis zwischen Leistungsabgabe und Ventilhub (rechts) zu erreichen.

Wenn die Leistungsabgabe des Verbrauchers bei 20 % der Nenndurchflussmenge 50 % beträgt, muss das Ventil so gewählt werden, dass sich bei 50 % des Ventilhubes eine Durchflussmenge von 20 % ergibt. Dadurch erhält man letztlich 50 % Leistungsabgabe bei 50 % Ventilhub (Abb. 3.03c). Wendet man diese Feststellung auf alle Durchflussmengen an, erhalten wir ein Ventil, dessen Charakteristik die nicht lineare Kennlinie des Verbrauchers kompensiert. Diese Charakteristik (Abb. 3.03b) wird gleichprozentig modifiziert „EQM“ genannt.

Um diese Kompensation zu erzielen, müssen zwei Bedingungen erfüllt werden:

- Der Differenzdruck über das Regelventil muss konstant sein.
- Die Nenndurchflussmenge muss erreicht werden, wenn das Regelventil voll geöffnet ist.

Wenn das Regelventil ausgewählt und die Nenndurchflussmenge bestimmt sind, kann der konstante Differenzdruck bei voll geöffnetem Regelventil berechnet werden und ist damit festgelegt.

Wenn der Differenzdruck über das Regelventil nicht konstant ist oder wenn das Regelventil überdimensioniert ist, wird die Charakteristik des Regelventils zerstört. Eine stetige Regelung ist in diesem Fall nur mehr schwer möglich.

3.1.1.4 Autorität des Regelventils

Der Druckverlust und der Durchfluss in den Verbrauchern und Anbindungsleitungen verringern sich, wenn das Regelventil schließt. Der Unterschied im Differenzdruck liegt am Regelventil an. Dieser Anstieg des Differenzdruckes stört die Charakteristik des Regelventils. Diese Störung kann durch die Ventilautorität β wie folgt ausgedrückt werden:

$$\beta = \text{Ventilautorität} = \frac{\Delta p V_c \text{ (Druckverlust im voll geöffneten Regelventil bei Nenndurchfluss)}}{\Delta p \text{ Ventil geschlossen}}$$

Der Dividend ist konstant und hängt nur von der Dimensionierung des Regelventils und der Höhe des Nenndurchflusses ab. Der Divisor entspricht dem Differenzdruck ΔH , der am Regelkreis ansteht. Ein Einregelungsventil in Serie mit dem gewählten Regelventil ändert keinen der beiden Faktoren und hat natürlich auch keinen Einfluss auf die Autorität des Regelventils.

Bei einem Standardverteilsystem (Abb. 3.04a) haben die am weitesten entfernt liegenden Verbraucher die höchsten Schwankungen des Differenzdruckes ΔH . Die schlechteste Autorität des Regelventils wird dann erreicht, wenn das System bei geringen Lasten arbeitet. Das heißt, wenn das Regelventil praktisch die volle Pumpenförderhöhe abbauen muss.

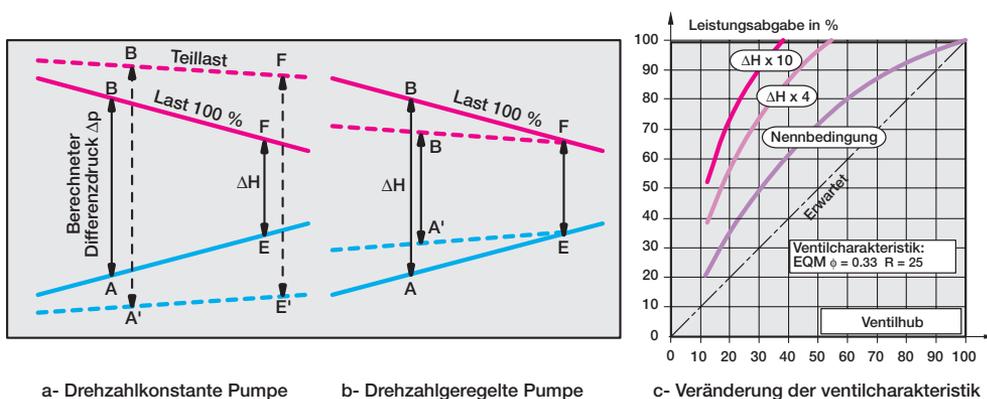


Abb. 3.04. Unter Nennbedingungen beträgt die Autorität des Regelventils 0,25. Ändert sich die mittlere Last der Anlage, ändert sich auch der Differenzdruck ΔH für den Regelkreis und zerstört die Charakteristik des Regelventils.

Hält eine drehzahlgeregelte Pumpe den Differenzdruck nahe dem letzten Verbraucher konstant (Abb. 3.04b), verlagert sich das Problem des veränderlichen Differenzdruckes ΔH auf die ersten Kreise (mehr darüber in Abschnitt 5.3).

Abb. 3.04c zeigt das Verhältnis zwischen Leistung und Ventilhub bei einem gleichprozentigen EQM-Regelventil. Diese Ventile sind so ausgelegt, dass sie nur bei einer Autorität von 0,25 die richtige Durchflussmenge bei voll geöffnetem Ventil erzielen. Wenn sich der anstehende Differenzdruck ΔH am Regelkreis erhöht, so verringert sich die Autorität des Regelventils. Die Charakteristik des Regelventils kann so schlecht werden, dass der ganze Regelkreis instabil wird und zu schwingen beginnt.

Als „Faustregel“ können wir annehmen, dass das voll geöffnete Durchgangsventil bei Nenn-durchfluss einen Druckverlust, der mindestens 25 % des gesamten zur Verfügung stehenden Differenzdruckes beträgt, aufweisen muss. Dieser Differenzdruck kann am Regelventil anstehen. Um in den Regelventilen höhere Druckverluste zu erzielen, muss der Differenzdruck ΔH unter Nennbedingungen groß genug sein. Diese Bedingung wird nicht immer erfüllt, da die erforderliche Pumpenförderhöhe ebenfalls erhöht werden müsste und dadurch auch die Energiekosten für die Pumpe. Wird die Anlage in mehrere Regelkreise mit eigenen Pumpen unterteilt, kann diese Bedingung leichter erfüllt werden, da in diesem Fall die gesamte Pumpenförderhöhe entsprechend geringer sein kann.

Beispiel: In unten stehender Tabelle wurden drei Auslegungsfälle für die gleiche Anlage berechnet. Die Pumpenförderhöhe wurde so ausgewählt, dass die Bedingungen des ungünstigsten Kreises erfüllt werden. Im ersten Fall beträgt die Pumpenförderhöhe 180 kPa. Die geringste Autorität des Regelventils ist nur $45/180 = 0,25$. Um eine Autorität von 0,5 (zweiter Fall) zu erhalten, muss sowohl das Δp der Pumpe als auch des Regelventils auf 90 kPa erhöht werden! In diesem Fall beträgt der Druckverlust unter Nennbedingungen im Regelventil 135 kPa und erfordert bereits eine Spezialausführung. Das Risiko von Geräuschen im Regelventil erhöht sich. Im dritten Fall stabilisiert ein Differenzdruckregler den Differenzdruck über das Regelventil (Abb. 4.07). Die Autorität des Regelventils ist besser als 0,7 und die erforderliche Pumpenförderhöhe wird verringert.

| | Regelventil | Differenzdruckregler | Verbraucher | Verteilung | Pumpenförderer | Autorität β |
|---|-------------|----------------------|-------------|------------|----------------|-----------------------------|
| 1 | 45 | Keiner | 40 | 95 | 180 | $45/180 = 0.25$ |
| 2 | 135 | Keiner | 40 | 95 | 270 | $135/270 = 0.5$ |
| 3 | 20 | 10 | 40 | 95 | 165 | $20/(1.4 \times 20) = 0.71$ |
| | kPa | kPa | kPa | kPa | kPa | siehe Abb. 4.02a |

Ist eine Differenzdruckregelung notwendig für alle Systeme mit variabler Durchflussmenge?

Die Differenzdruckregelung kann einige Betriebsprobleme in Systemen mit variabler Durchflussmenge verhindern. Nachstehend die beiden wahrscheinlich am häufigsten vorkommenden Probleme:

- Wenn ein Regelventil (On/Off oder stetig) mit zu hohem Differenzdruck arbeiten muss, kann es nicht schließen und verursacht aus diesem Grund oft Geräusche. Die Differenzdruckregelung kann den Differenzdruck lokal auf den erforderlichen Wert begrenzen.
- Hat ein stetig arbeitendes Regelventil einen zu hohen Differenzdruck so kann die Ventilautorität so weit absinken, dass eine stabile und genaue Temperaturregelung nicht mehr möglich ist. Differenzdruckregler garantieren eine Ventilautorität, die ausreichend hoch für eine stabile und genaue Regelung ist.

Eine andere Möglichkeit festzustellen, ob die Differenzdruckregelung für eine genaue und stabile Regelung notwendig ist, ist folgende: Man legt einen minimalen, noch akzeptablen Wert für die Ventilautorität (z.B. 0,25) fest. Man berechnet die Ventilautorität für alle Regelventile und wählt eine Differenzdruckregelung, wenn mehrere der berechneten Ventilautoritäten unter dem vorgegebenen Wert liegen.

Ein anderer, wesentlich einfacherer Weg ist, den Nenndruckverlust des am weitest entfernten Regelventils mit der Nennpumpenförderhöhe zu vergleichen. Als Regel gilt, dass Differenzdruckregelung in einem System mit variabler Verteilung notwendig ist, wenn das Verhältnis C geringer als 0,4 ist:

$$C = \frac{\text{Nenn-Differenzdruck über dem am weitesten entfernten Regelkreis}}{\text{Nennpumpen f\"orderh\"ohe}}$$

Beispiel: Nehmen wir an, dass bei Nennbedingungen die Pumpenförderhöhe in einer Anlage 100 kPa und der Differenzdruck für den am weitest entfernten Kreis 40 kPa ist. Von diesen 40 kPa beträgt der Druckverlust des Regelventils 25 kPa. Die Autorität des Regelventils unter Nennbedingungen beträgt dann $25/40 = 0,625$. Das Verhältnis $C = 40/100 = 0,4$ – der Nenndruckverlust in den Rohren ist $100 - 40 = 60$ kPa. Auf den ersten Blick scheint es, dass die Ventilautorität ausreichend ist.

Beträgt jedoch im Teillastgebiet die Durchflussmenge nur mehr 20 % (50 % Leistung), erhöht sich die Pumpenförderhöhe auf 130 kPa und der Druckverlust in den Rohren verringert sich mit dem Faktor 25 auf $60/25 = 2,4$ kPa. Der Differenzdruck an dem am weitest entfernten Regelkreis ist nun $130 - 2,4 = 127,6$ kPa (3,2mal höher als unter Nennbedingungen). Der Differenzdruck über das geschlossene Regelventil beträgt nun 127,6 kPa (5,1 mal höher als unter Nennbedingungen). Die Autorität des Regelventils fällt auf $25/127,6 = 0,2$ - somit ein Drittel dessen, was unter Nennbedingungen erreicht wird.

Selbst bei einer Anlage mit $C = 0,4$ reduziert sich die gute Autorität des Regelventils unter Nennbedingungen (0,625) auf 0,2, wenn der Durchfluss im Teillastgebiet 20 % der Nennmenge beträgt. Aus diesem Grund ist $C = 0,4$ die Grenze unterhalb der dezentrale Differenzdruckregler für eine genaue und stabile Regelung erforderlich sind.

Was ist die Auswirkung einer zu geringen Ventilautorität?

Bei einer durchschnittlichen Last von 50 %, die der am häufigsten vorkommenden Lastsituation entspricht, reduziert sich die Durchflussmenge von 100 auf 20 % (Abb. 3.03a). Der Druckverlust in den Rohren und Einbauteilen wird vernachlässigbar, der Differenzdruck erhöht sich an allen Regelkreisen stark. Die Autorität des Regelventils fällt unter den Auslegungswert. Das Regelventil muss mit kleinen Ventilöffnungen arbeiten. Dadurch wird eine stetige Regelung sehr schwierig.

Bei einer Ventilautorität von 0,1 beträgt die kleinste regelbare Last 32 % (Abb. 3.05 rechts). Unterhalb dieser Leistung arbeitet das Regelventil im On/Off-Modus. Beachten Sie, dass in sehr vielen Ländern HLK-Anlagen unterhalb dieser Last weit mehr als 35 % sowohl der Heiz- als auch der Kühlsaison arbeiten.

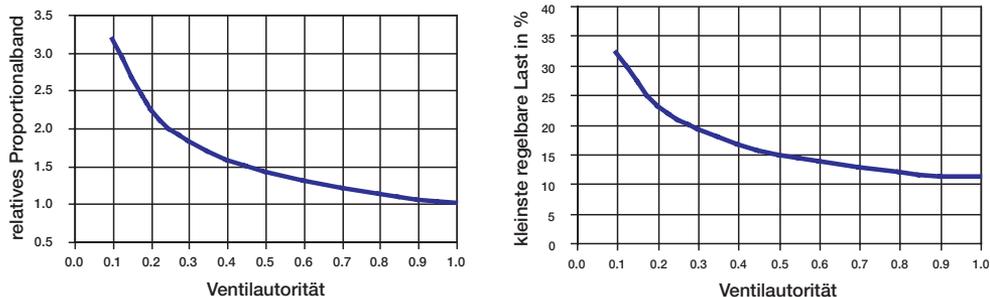


Abb. 3.05. Um eine stabile Regelung zu erzielen, muss das erforderliche relative Proportionalband erhöht werden, wenn die Ventilautorität abnimmt. Unterhalb einer bestimmten Last, wird die Regelung instabil.

Fassen wir nun zusammen, dass das erforderliche Proportionalband 1 für eine Ventilautorität von 1 ist. Die oben dargestellte Abb. 3.05 zeigt, dass das Proportionalband zunimmt, wenn die Ventilautorität abnimmt. Bei einer Autorität von 0,1 muss das relative Proportionalband mit dem Faktor 3 multipliziert werden.

Beträgt z.B. das erforderliche Proportionalband 2 K bei einer Ventilautorität von 1, müsste es 6 K bei einer Ventilautorität von 0,1 sein. In diesem Fall erhält man eine stabile Raumtemperatur mit einer Schwankung von $\pm 3K$ um den Sollwert!

Man kann nun vielleicht denken, dass die Integralfunktion der meisten Regler dies kompensiert, indem die Abweichung des Proportionalreglers rückgeführt wird. Diese Integralfunktion kann jedoch nur die halbe Abweichung innerhalb von 30 Minuten verringern.

Das folgende Beispiel zeigt, dass die Integralfunktion nicht immer die Abweichungen kompensieren kann. Die Sonne kann die Außenhülle eines Gebäudes mit 50 Stockwerken mit bis zu 10.000 kW aufheizen. Verschwindet die Sonne nun hinter einer Wolke, verringert sich die Wärmeeinwirkung plötzlich auf 1.000 kW, um sofort wieder auf 10.000 kW anzusteigen, wenn die Sonne wieder hervorkommt. Die Raumtemperaturen ändern sich stark. Die Integralfunktion hat nicht genügend Zeit entsprechend einzugreifen. Die Integralfunktion kann ein Überschwingen der Raumtemperatur verursachen, da sie noch die erste Störung kompensiert, während diese bereits wieder abgeklungen ist.

Demnach ist es notwendig, eine gute Autorität des Regelventils zu garantieren. Dadurch wird verhindert, dass technisch hoch entwickelte PID-Regler nur mehr als On/Off-Regler arbeiten.

In Systemen mit variabler Durchflussmenge stellt die Stabilisierung des Differenzdruckes über das Regelventil mit einem selbsttätig wirkenden Differenzdruckregler eine gute Ventilautorität sicher. Dadurch können die Temperaturregler wirklich stetig arbeiten.

Wenn das erforderliche Proportionalband nicht angepasst wird, arbeitet der Regler im On/Off-Modus. Bei der Kühlung kann ein On/Off-Regler die Raumtemperatur nicht stabilisieren, die z.B. zwischen 21 und 25 °C pendelt. Dies ist natürlich auch nicht komfortabel.

Was wird der Benutzer tun, um kurzzeitig eine Überheizung zu verhindern. Er verringert den Sollwert des Raumthermostates um 2 K und erhöht dadurch den Energieverbrauch um 20 bis 30 % (siehe Abschnitt 5.4).

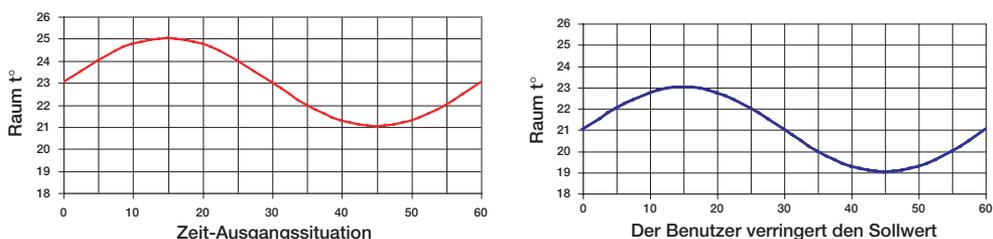


Abb. 3.06. Um die Überheizung zu kompensieren, verringert der Benutzer den Sollwert des Raumthermostates.

Das Ergebnis einer zu geringen Ventilautorität ist ein teures und unbehagliches Raumklima!

Die Autorität des Regelventils hängt grundsätzlich davon ab, wie es dimensioniert wurde. Es ist deshalb wichtig, die Dimensionierung eines Durchgangsregelventils genau zu erläutern.

3.1.1.5 Dimensionierung eines Durchgangsregelventils

Ein Regelventil erzeugt in einem hydraulischen Netz einen Druckverlust, um die Durchflussmenge auf den erforderlichen Wert zu begrenzen. Dieser Druckverlust hängt vom Durchfluss und dem Ventilkoeffizienten K_v ab. Dieser Ventilkoeffizient repräsentiert indirekt den geöffneten Ventilquerschnitt des Ventils.

Für eine Flüssigkeit mit einer Dichte nahe 1 kann man das Verhältnis von Durchfluss, K_v und Δp (in kPa) wie folgt darstellen:

$$\text{Durchfluss in l/h: } q = 100 \times K_v \sqrt{\Delta p} \quad \Delta p = \left(0.01 \times \frac{q}{K_v}\right)^2 \quad K_v = 0.01 \times \frac{q}{\sqrt{\Delta p}}$$

$$\text{Durchfluss in l/s: } q = \frac{K_v}{36} \times \sqrt{\Delta p} \quad \Delta p = \left(36 \times \frac{q}{K_v}\right)^2 \quad K_v = 36 \times \frac{q}{\sqrt{\Delta p}}$$

Für die Dimensionierung des Regelventils muss aus den zur Verfügung stehenden K_{vs} -Werten (maximaler K_v), derjenige gewählt werden, der der entsprechenden Anwendung am besten entspricht.

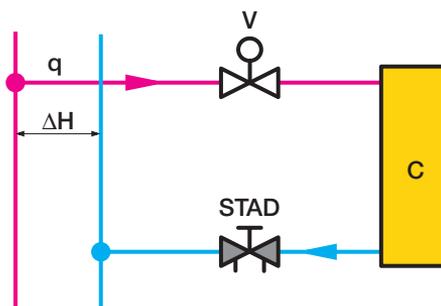


Abb. 3.07. Ein Durchgangsregelventil.

Die Wahl des K_v -Wertes des Regelventils basiert auf dem Druckverlust Δp_V , wobei

$$\Delta p_V = \Delta H - \Delta p_C - 3 \text{ kPa}$$

ΔH = Differenzdruck am Regelkreis unter Nennbedingungen.

Δp_C = Druckverlust des Verbrauchers und der Anbindeleitungen bei Nenndurchfluss.

3 kPa = Mindestdruckverlust des Einregelungsventils, um eine genaue Durchflussmessung zu ermöglichen.

Ausgehend vom theoretischen Nenndruckverlust Δp_V wird der K_v -Wert des Regelventils berechnet, indem man oben angeführte Formel verwendet. Der gewählte K_v -Wert ist der nächst höhere Wert, der vom Ventilhersteller verfügbar ist.

Die Autorität des Regelventils ist das Ergebnis der Dimensionierung und entspricht dem Verhältnis $\Delta p_{V_c} / \Delta H_{\max}$. Dieser Wert muss größer als 0,25 sein. Ist dies nicht der Fall, muss die Pumpenförderhöhe so erhöht werden, dass das Regelventil mit dem nächst kleineren K_v -Wert unter diesen Bedingungen verwendet werden kann. Oder es muss ein dezentraler Differenzdruckregler verwendet werden, der lokal das ΔH_{\max} für das gleiche Δp_{V_c} verringert.

Beispiel: Differenzdruck $\Delta H = 55 \text{ kPa}$. Bei einer Nenndurchflussmenge von 500 l/h beträgt der Druckverlust im Verbraucher $C = 10 \text{ kPa}$ (inklusive Druckverlust in den Rohren und Einbauteilen).

Wie hoch ist der erforderliche Druckverlust Δp_V im Regelventil?

$\Delta p_V = 55 - 10 = 45 \text{ kPa}$ minus einem Mindestwert von 3 kPa für das Regelventil ergibt $\Delta p_V = 42 \text{ kPa}$.

In diesem Beispiel gilt: $K_{vs} = 0.01 \times \frac{500}{\sqrt{42}} = 0.77$

Unglücklicherweise gibt es diesen K_{vs} -Wert nicht im Standardlieferprogramm. Verfügbare K_{vs} -Werte sind z.B.:

0.1 – 0.16 – 0.25 – 0.4 – 0.6 – 1 – 1.6 – 2.5 – 4 ...

Der am nächsten liegende $Kvs = 1$ wird gewählt.

Der Nenndruckverlust im Regelventil ist:

$$\Delta p_{V_c} = \left(0.01 \times \frac{q}{K_v} \right)^2 = \left(0.01 \times \frac{500}{1} \right)^2 = 25 \text{ kPa}$$

Die Autorität des Regelventils ist: $25/55 = 0,45$.

Um den Nenndurchfluss bei geöffnetem Regelventil zu erreichen, muss die Differenz $50 - 10 - 25 = 20 \text{ kPa}$ vom Regulierventil aufgenommen werden. Dies verändert die Autorität des Regelventils nicht.

Die berechnete Autorität ist die Nennautorität, die die Überdimensionierung bereits berücksichtigt ($Kvs = 1$ statt $0,77$). Dennoch kann ohne lokale Differenzdruckstabilisierung diese Autorität durch die Tatsache, dass ein höherer Differenzdruck am Regelventil ansteht, wenn die Anlage im Teillastbereich arbeitet, stark abnehmen.

3.1.2 VERHALTEN EINES SYSTEMS MIT VARIABLEM DURCHFLUSS – BEISPIEL EINER ANLAGE

In einem System mit variabler Verteilung ändert sich der Differenzdruck über die Verbraucher. Um zu sehen, was dies in der Praxis bedeutet, betrachten wir eine einfache Kälteanlage mit 10 gleichen Verbrauchern unter verschiedenen Aspekten.

Wir beginnen mit der Inbetriebnahme der Anlage unter Nennbedingungen mit einer drehzahlkonstanten Pumpe. Wir werden die Veränderung der Regelventilautorität von 1 beobachten, wenn die Anlage im Teillastgebiet arbeitet. Die Anlage wird verbessert, indem man eine drehzahlgeregelte Pumpe einbaut oder indem man die dezentralen Differenzdruckregler über die Regelventile verwendet. Die Vorgangsweise ist folgende:

- 1- Die Anlage unter Nennbedingungen
- 2- Was passiert, wenn ein Regelventil schließt?
- 3- Die Anlage arbeitet mit einem durchschnittlichen Durchfluss von 50 % (80 % Anlagenleistung)
- 4- Die Verwendung einer drehzahlgeregelten Pumpe
- 5- Die Verwendung von dezentralen Differenzdruckreglern
- 6- Vergleich der Ergebnisse

3.1.2.1 Auslegungszustand

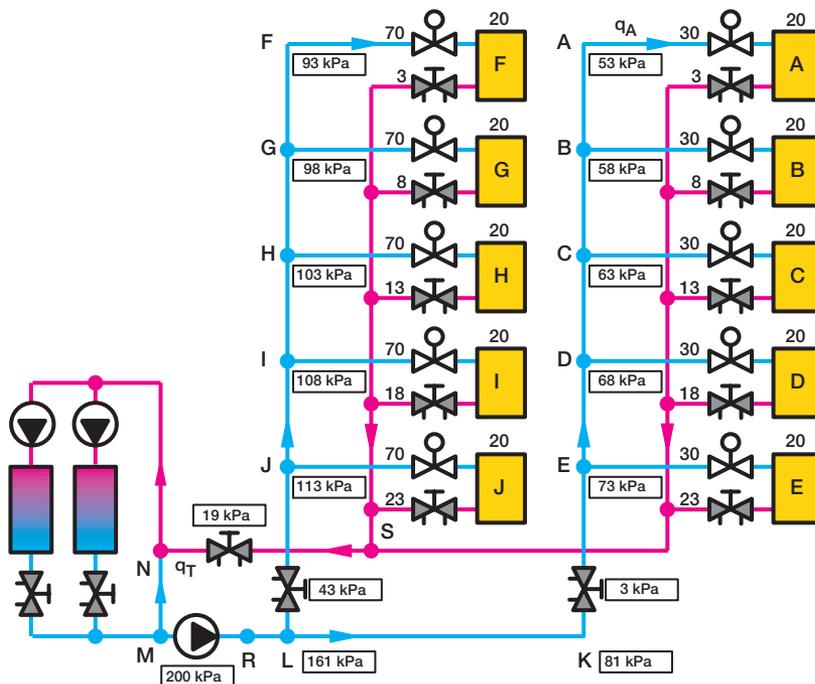


Abb. 3.08. Die Kälteanlage arbeitet unter Nennbedingungen.

Zwei Kältemaschinen mit je einer eigenen Pumpe versorgen eine Anlage mit zwei Steigsträngen und gleichen Verbrauchern. Ein Bypass MN verhindert eine gegenseitige Beeinflussung zwischen den Kältemaschinen und zwischen Energieerzeugung und -verteilung. Eine Pumpe mit konstanter Drehzahl sorgt für den Durchfluss in der Verteilung. Durchgangsregelventile bestimmen die Durchflussmenge in den Verbrauchern und halten die Raumtemperatur konstant. Die Einregulierung wurde mit manuellen Einregulierungsventilen durchgeführt. Andere Anlagenkomponenten werden nicht dargestellt, da sie für die Funktion nicht wichtig sind und damit das Schema vereinfachen.

Bei Nenndurchflussmenge haben die am Markt verfügbaren Regelventile z.B. einen Druckverlust von 13, 30, 70 oder 160 kPa. Nehmen wir nun an, dass der Planer ein Regelventil mit einem Nenndruckverlust von 30 kPa für den entfernten Strang verwendet hat, während der erste Strang mit Regelventilen ausgerüstet ist, die 70 kPa Druckverlust aufweisen. Sind alle Regelventile geschlossen, so beträgt die Pumpenförderhöhe 226 kPa.

Wenn das Regelventil des Verbrauchers A schließt, erhöht sich der Differenzdruck in Punkt A von 53 auf 118 kPa. Da der Differenzdruck Δp für das voll geöffnete Regelventil bei Nenn-durchflussmenge gleich 30 kPa ist, beträgt die Ventilautorität $30/118 = 0,25$ und nicht $30/53 = 0,57$ (Abb. 3.08), was dem ersten Anschein nach zu erwarten wäre. Der Differenzdruck an den anderen Verbrauchern erhöht sich entsprechend, was auf eine sehr große gegenseitige Beeinflussung der Verbraucher schließen lässt. Diese gegenseitige Beeinflussung ist in diesem Beispiel wichtig, da jeder Verbraucher 10 % der Gesamtdurchflussmenge repräsentiert.

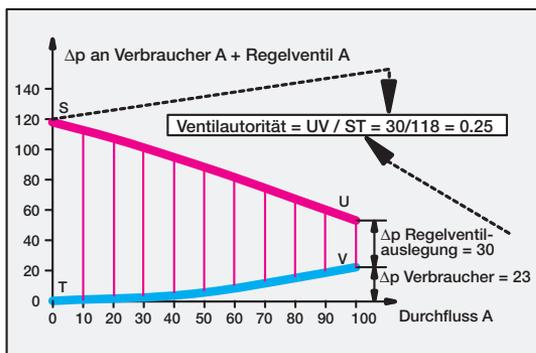


Abb. 3.10. Wenn das Ventil des Verbrauchers A schließt (Abb. 3.09), steigt der Differenzdruck an diesem Verbraucherkreis von 53 auf 118 kPa während der Rest der Anlage auf Nenndurchflussmenge verbleibt.

Mit einer Autorität von 0,25 wird das Verhältnis zwischen Ventilhub und Leistungsabgabe stark gestört. Bei einem linearen Ventil, das exakt ausgelegt wurde und 20 % des Minimalhubes geöffnet hat, beträgt die Leistungsabgabe bereits 63 % des Auslegungswertes.

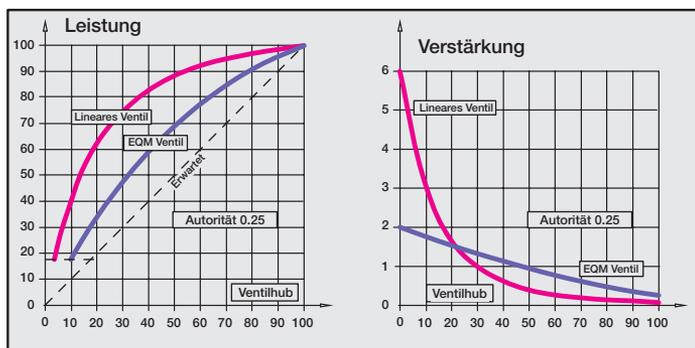


Abb. 3.11. Leistung und Verstärkung zu Ventilhub bei Nennbedingungen für Verbraucher A.

Abb. 3.11 zeigt das Verhältnis zwischen Leistungsabgabe und Ventilhub. Für Verbraucher A mit einem linearen Ventil (Abb. 3.11 rechts) beträgt die maximale Verstärkung $k_4 \times k_5 = 6$ (siehe auch Abschnitt 3.1.1.1). Um diese hohe Verstärkung zu kompensieren, muss das Proportionalband des Reglers mit dem selben Faktor (6) multipliziert werden. Damit reduziert sich die Genauigkeit der Raumtemperaturregelung beträchtlich.

Eine EQM Charakteristik ist viel besser. Eine Ventilautorität von 0,25 ist der kleinste akzeptierbare Wert, da die Leistungsabgabe bereits 32 % bei einem Ventilhub von 20 % beträgt. Diese Situation wird immer schlechter, wenn die Anlage hauptsächlich bei kleinen Lasten betrieben wird. In diesem Fall erhöht sich der Differenzdruck über das Regelventil und reduziert die Autorität weiter.

3.1.2.3 Der Gesamtdurchfluss beträgt 50 % (80 % der Nennleistung)

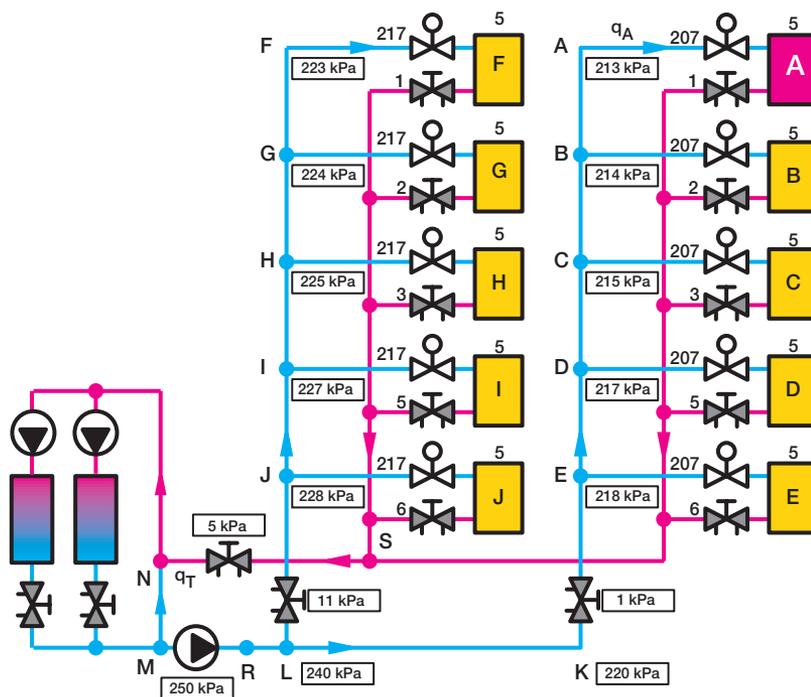


Abb. 3.12. Gesamtdurchfluss $q_T = 50\%$ des Nenndurchflusses.

Wenn die Anlage mit 80 % der Nennleistung arbeitet, verringert sich der Gesamtdurchfluss auf 50 % der Nennleistung (Abb. 3.3a). Die Pumpenförderrhöhe erhöht sich von 200 auf 250 kPa, der Druckverlust in den Rohren und Einbauteilen verringert sich um 75 %.

Dieser Betriebszustand wird in Abb. 3.12 dargestellt.

Der Differenzdruck über die Regelventile steigt beträchtlich an und deren Autorität sinkt. Diese Situation ist für Verbraucher A in Abb. 3.13 ersichtlich.

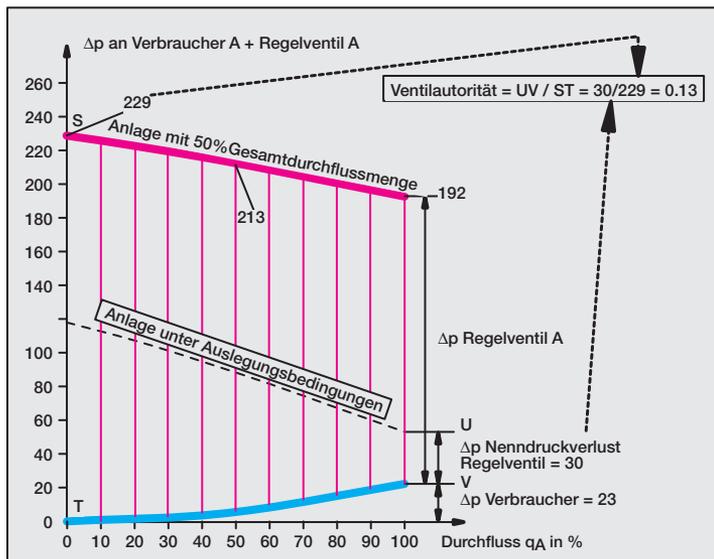


Abb. 3.13. Die gesamte Anlage arbeitet gleichermaßen mit 50 % der Nenndurchflussmenge. Das Regelventil A öffnet von 0 auf Nenndurchflussmenge.

Bei einem linearen Ventil werden bereits 78 % der maximalen Leistung bei einem Ventilhub von 20 % erreicht (Abb. 3.14A).

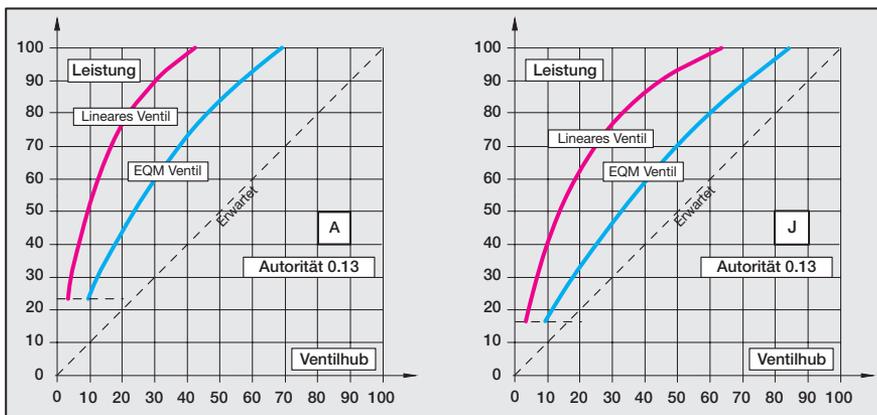


Abb. 3.14. Leistung zu Ventilhub für Verbraucher A und J – $q_T = 50\%$.

Mit einer EQM Charakteristik ist die Regelung von Verbraucher A wesentlich besser. Sie ist jedoch noch immer schwierig während Terminal J regelbar ist (Abb. 3.14 rechts).

Die Regelventile wurden mit bestmöglichen Werten ausgewählt. Es ist aber trotzdem schwierig, eine gute Regelung der Verbraucher zu erreichen, ohne eine entscheidende Anhebung des P-Bandes für die Regler vorzunehmen. Dadurch ergibt sich nicht das beste Regelverhalten. Stellen wir uns vor, was passieren würde, wenn das Regelventil nicht richtig dimensioniert wäre. Hätten alle Regelventile die richtige Charakteristik und den Nenndruckverlust von zumindest 25 % der maximalen Pumpenförderhöhe, wären die Arbeitsbedingungen gut und die Anlage könnte unter Nennbedingungen mit Einregelungsventilen einreguliert werden. Da zu geringe Durchflüsse unter Nennbedingungen vermieden werden, können sie auch im Teillastgebiet nicht auftreten, da in diesem Fall der Differenzdruck ansteigt. Wenn eine Mindestventilautorität von 0,25 nicht erreicht werden kann, kann die Situation mit drehzahlgeregelten Pumpen verbessert werden.

In vielen Ländern beträgt die durchschnittliche Kühllast ca. 50 % der Nennleistung bei einem durchschnittlichen Durchfluss von 20 %. In diesen Fällen sind die Druckverluste in den Rohren und Einbauteilen nur mehr 1/25 ihres Nennwertes und werden vernachlässigbar. Aus diesem Grund haben die Verbraucher direkt die volle Pumpenförderhöhe abzubauen. Alle Regelventile versuchen, die Durchflussmenge zu verändern, obwohl sie meist fast geschlossen sind.

3.1.2.4 Die Verwendung von drehzahlgeregelten Pumpen

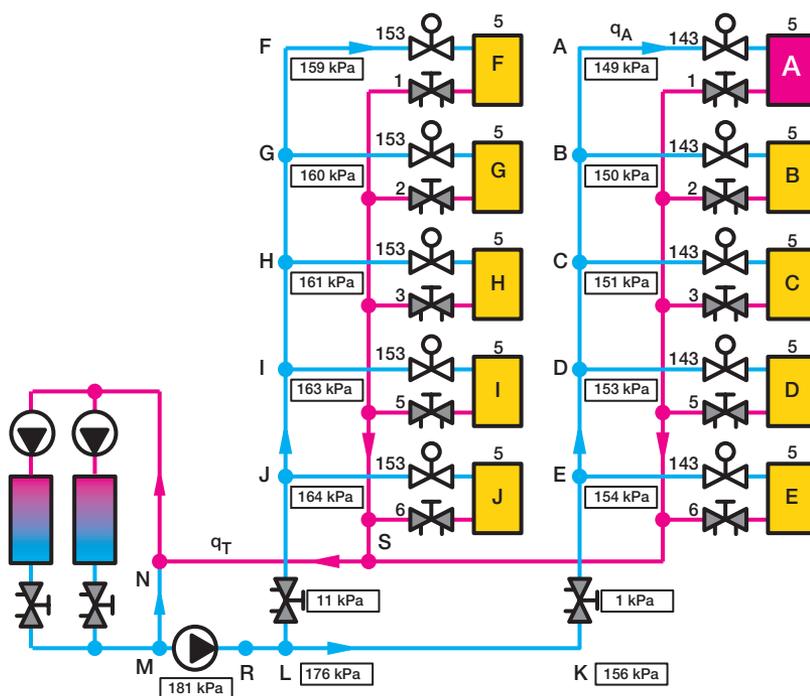


Abb. 3.15. Die drehzahlgeregelte Pumpe arbeitet mit einer konstanten Pumpenförderhöhe und $q_T = 50\%$.

Eine drehzahlregelte Pumpe ersetzt die drehzahlkonstante Pumpe in Abb. 3.08.

Wenn die Anlage mit einem durchschnittlichen Durchfluss von 50 % arbeitet, bleibt die Pumpenförderhöhe unverändert. Der Druckverlust über das voll geschlossene Regelventil A nimmt von 229 kPa (Abb. 3.13.) auf 161 kPa (Abb. 3.16) ab und erhöht die Autorität des Regelventils von 0,13 auf 0,19.

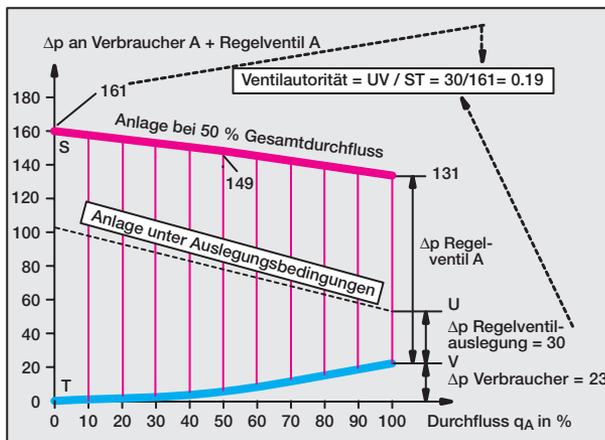


Abb. 3.16. Veränderung des Differenzdruckes Δp über ein Regelventil A, wenn die Anlage mit einer durchschnittlichen Durchflussmenge von 50 % arbeitet.

Eine andere Möglichkeit, eine drehzahlregelte Pumpe zu regeln wird in Anhang 5.3 dargestellt.

3.1.2.5 Die Verwendung von dezentralen Differenzdruckreglern

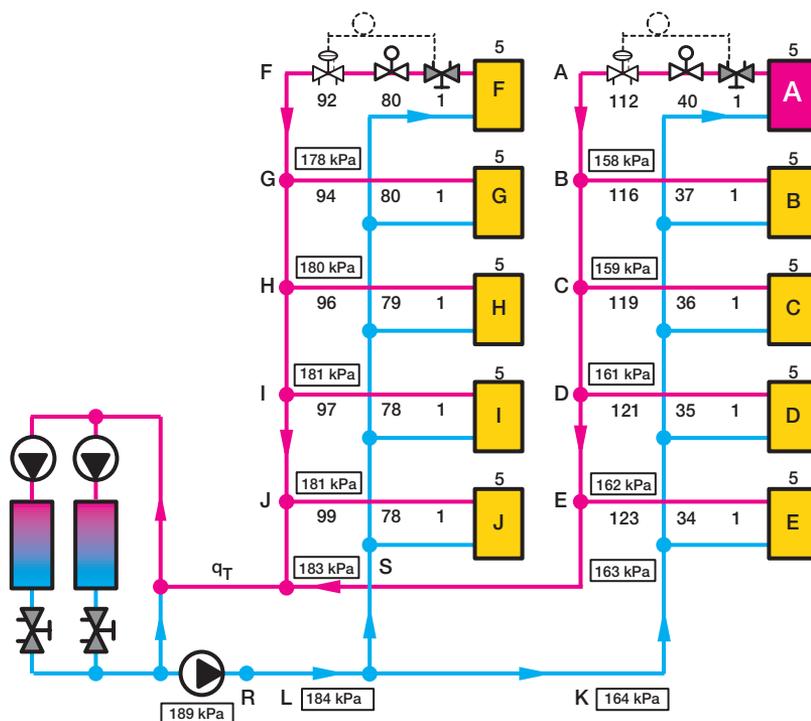


Abb. 3.17. Ein Δp Regler stabilisiert den Differenzdruck über jedes Regelventil. $q_T = 50\%$.

Wie in den vorigen Beispielen dargestellt, beträgt der Differenzdruck Δp über die Regelventile 70 kPa im ersten Steigstrang und 30 kPa im zweiten. In Abb. 3.17 wird der Differenzdruck mit dezentralen, selbsttätig wirkenden Differenzdruckreglern STAP stabilisiert. Der Sollwert jedes STAP wurde so gewählt, dass die Nenndurchflussmenge bei voll geöffnetem Regelventil erreicht wird. Da alle Regelventile ihre Nenndurchflussmenge voll geöffnet erreichen, sind sie auch automatisch richtig dimensioniert.

Um das Anlagenschema zu vereinfachen, werden nur die Verbraucher A und F betrachtet.

Bei geringen Lasten erhöht sich der Differenzdruck Δp über das Regelventil etwas durch das Proportionalband des STAP. In diesem Fall bleibt jedoch auch die Autorität des Regelventils immer im schlechtesten Fall über 0,7.

Dies ist ohne jeden Zweifel die beste technische Lösung, wenn der Differenzdruck stark bei durchschnittlichen Lasten schwankt. Mit solch einer guten Autorität hat ein gleichprozentiges Regelventil praktisch einen linearen Zusammenhang zwischen Ventilhub und Leistungsabgabe. Das Proportionalband kann in diesem Fall auf den Mindestwert eingestellt werden, was wieder ein komfortables Raumklima mit möglichst geringen Kosten ergibt.

Ist es möglich, den gleichen Nenndruckverlust für alle Regelventile (z.B. 30 kPa oder geringer) zu wählen, ohne das Ergebnis grundlegend zu ändern.

Mit einem STAP-Ventil bei jedem Regelventil und stetiger Regelung der Verbraucher gibt es keinen praktischen Unterschied vom Standpunkt des Regelventils aus zwischen konstanter und drehzahl geregelter Pumpe. Es werden jedoch drehzahl geregelte Pumpen verwendet, um die Energiekosten für die Pumpe zu verringern.

3.1.2.6 Vergleich der Ergebnisse und Zusammenfassung

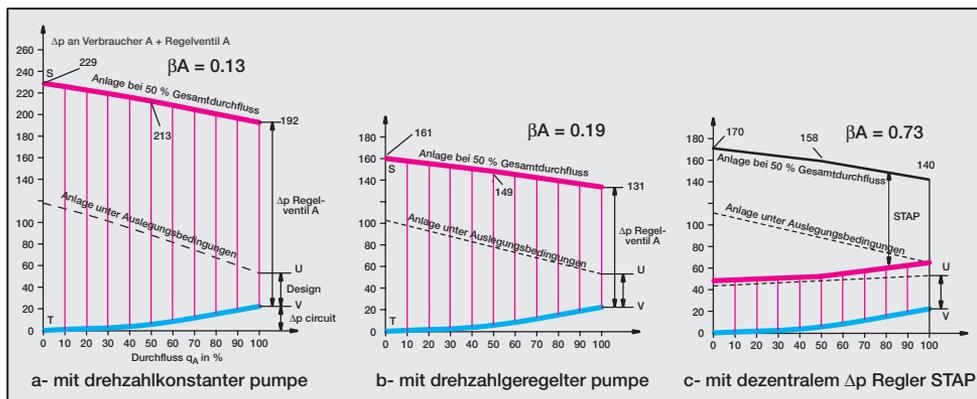


Abb. 3.18. Veränderung des Differenzdruckes über Regelventil A, wenn die Anlage mit einer durchschnittlichen Durchflussmenge von 50 %, welche einer Last von 80 % entspricht, arbeitet. β_A in der Abbildung repräsentiert die Autorität des Regelventils A.

Mit einer drehzahlkonstanten Pumpe verändert sich der Differenzdruck über das Regelventil sehr stark von 30 kPa (UV) unter Nennbedingungen auf 229 kPa (ST), wenn der durchschnittliche Durchfluss in der Anlage 50 % der Nenndurchflussmenge beträgt. Mit drehzahl geregelten Pumpen ändert sich der Differenzdruck von 30 auf 111 kPa. Wird mit STAP als lokalen Differenzdruckreglern gearbeitet, ändert sich der Differenzdruck von 30 auf 41 kPa. Bei HLK Anlagen, wo der Druckverlust in den Verteilleitungen mehr als 60 % der Pumpenförderhöhe ausmacht, ist es notwendig den Differenzdruck dezentral mit Hilfe von selbsttätig wirkenden Differenzdruckreglern zu stabilisieren.

Einige Benutzer reklamieren, dass sie keine Verbesserung der Behaglichkeit bemerken, wenn Sie stetige Regler mit On/Off-Reglern vergleichen. Wie in diesem Abschnitt erklärt, ist der Grund, dass stetige Regelventile, die zu großen Differenzdruckschwankungen unterliegen, nur im On/Off-Modus arbeiten!

3.2 Verringerung (Reduzierung oder Reduktion) der Geräusche von Regelventilen

3.2.1 EINIGE TYPISCHE GERÄUSCHE

Ventile, die den Durchfluss regeln, können oft Geräusche erzeugen, wenn der Druckverlust einen bestimmten kritischen Wert überschreitet. Der Druckverlust über ein Durchgangsregelventil, das in Fernheizungs-/Fernkühlungsanlagen eingesetzt wird, kann sehr groß sein. Die Regelung soll jedoch keine Geräusche verursachen, da die Ventile sehr oft in Haus-technikzentralen nahe der Wohnungen installiert sind.

Bei Geräuschen von Ventilen unterscheidet man:

- mechanische Geräusche
- Durchflussgeräusche
- Kavitationsgeräusche

Mechanische Geräusche entstehen, wenn Teile des Ventils aufgrund der Durchflussmenge zu vibrieren beginnen. Die Tendenz eines bestimmten Ventils zu vibrieren, hängt davon ab, wie gut Kegel und Ventilspindel im Ventilgehäuse geführt sind. Solche Vibrationen können den Kegel und den Sitz sehr schnell zerstören und Materialermüdung an der Spindel verursachen. Bei konstantem Differenzdruck wird das Geräusch stärker, wenn das Ventil öffnet, da in diesem Fall der Kegel mehr Platz zur Bewegung hat (mit Ausnahme bei voller Ventilöffnung). Dies ist auch der Fall, wenn sich die Durchflussmenge erhöht. Bei konstanter Ventilöffnung erhöht sich das Ventilgeräusch, wenn der Differenzdruck über das Ventil ansteigt.

Das *Durchflussgeräusch* ist ein zischendes Geräusch, das sich mit zunehmender Turbulenz des Durchflusses durch das Ventil verstärkt. Es verstärkt sich mit steigender Durchflussgeschwindigkeit und hängt sowohl von der Durchflussrate als auch dem Differenzdruck über dem Regelventil ab. Wenn das Ventil richtig ausgelegt ist, ist der Geräuschpegel normalerweise gering. Die Durchflussgeräusche in den Rohrleitungen, Bögen, Hohlräumen und anderen geometrischen Verbindern sind jedoch nicht vernachlässigbar. Sehr oft wird dieses Geräusch dem Ventil angelastet.

Die Luft im Wasser ist ebenfalls oft ein Grund für Geräusche. Wenn der statische Druck abnimmt, z.B. zwischen Ventilkegel und –sitz, wird ein Teil der gelösten Luft im Wasser frei und erzeugt eine Emulsion, die die Geräuschbildung fördert. Diese Mikroblasen setzen sich an Metallteilen fest, verbinden sich und wachsen und verursachen zusätzlich Ungenauigkeiten bei der Durchflussmessung mit Messgeräten.

Kavitationsgeräusche entstehen in Flüssigkeiten, wenn der Druckverlust über dem Ventil einen kritischen Wert überschreitet. Dies hängt vom Medium, der Temperatur und dem geometrischen Design des Ventils sowie dem lokalen statischen Druck ab.

Der Gesamtdruck an einem bestimmten Punkt der Anlage hängt vom Anlagendruck, der durch das Ausdehnungsgefäß festgelegt wird, der Pumpenförderhöhe und dem Druckverlust in Rohren und Einbauteilen sowie dem Höhenunterschied zwischen Ausdehnungsgefäß und untersuchtem Punkt ab. Wenn das Medium durch das Ventil fließt, erhöht sich die Geschwindigkeit und damit auch der dynamische Druck. Dieser hängt vom Quadrat der Durchflussgeschwindigkeit ab. Der statische Druck nimmt ab, wenn der dynamische Druck zunimmt und kann unter atmosphärischem Druck absinken. Ist die Geschwindigkeit des Mediums so hoch, dass der statische Druck unter den Dampfdruck absinkt, entstehen Dampfblasen und die Flüssigkeit beginnt zu kochen.

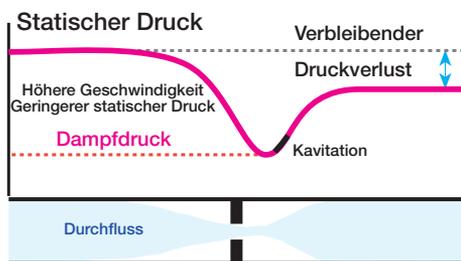


Abb. 3.19. Wenn der statische Druck dem Verdampfungsdruck entspricht, beginnt die Flüssigkeit zu kochen. Steigt der statische Druck über diesen an, implodieren die Dampfblasen und erzeugen Kavitation.

Wenn das Medium den kleinsten Spalt zwischen Ventilkegel und –sitz passiert hat, nimmt die Geschwindigkeit im Medium wieder ab und der statische Druck zu. Der statische Druck überschreitet sehr schnell den Dampfdruck und die Dampfblasen implodieren.

Wenn die Dampfblasen implodieren, entstehen energiereiche Schockwellen, die das Ventil sehr schnell erodieren und zerstören können. Neben der Verringerung der Lebenszeit erzeugt die Kavitation ebenfalls viel Lärm. Es kann sogar soweit führen, dass ein „zwitschernder“ Ton entsteht, der manchmal 120 dBa und Druckwellen von über 100 bar überschreitet.

Am Ausgang des Regelventils muss der statische Druck theoretisch den gleichen Wert erreichen wie am Eingang, da die Mediumsgeschwindigkeit und dadurch der dynamische Druck gleich sind. Dennoch ist einige Energie durch die Reibung im Ventil verloren gegangen. Der statische Druck am Ausgang des Ventils ist deshalb geringer als am Eingang. Die Differenz ist der Druckverlust im Regelventil. Die Energie, die dem Druckverlust entspricht, wird teilweise zu Lärm. Der Druckverlust gleicht dem Differenzdruck über dem Regelventil.

Übliche Faktoren, um das Risiko einer Kavitation zu verhindern, sind:

- höherer statischer Druck
- geringerer Differenzdruck über das Regelventil
- geringere Mediumstemperatur
- entsprechendes Ventildesign

3.2.2 WAS KANN DAGEGEN GETAN WERDEN?

Es offensichtlich, dass der Differenzdruck begrenzt werden muss, um zu hohe Wassergeschwindigkeiten in den Regelventilen zu vermeiden.

Bei einem vorhandenen Regelventil erhöht sich das Lärmrisiko mit zunehmender Durchflussmenge. Aus diesem Grund ist es notwendig, die Durchflussmenge mit Hilfe der hydraulischen Einregulierung auf den Nennwert zu begrenzen. Sowohl stetige als auch On/Off-Regelventile sind für einen bestimmten Differenzdruck ausgelegt. Dennoch können Geräusche selbst bei geringeren Differenzdrücken entstehen und zwar durch die Art des Mediums und dem spezifischen Design des Ventils. Dies ist speziell dann unerwünscht, wenn das Regelventil nahe von Wohnräumen installiert ist, was sehr häufig der Fall ist. Bei Heizkörperventilen, die für ein maximales Δp von 3 bar ausgelegt sind, können Geräusche bereits dann entstehen, wenn Δp höher als 20 bis 30 kPa ist.

Unter Nennbedingungen ist es kein Problem, wenn der Differenzdruck in vernünftigen Grenzen bleibt. Die Anlagen arbeiten jedoch hauptsächlich im Teillastgebiet mit einer durchschnittlichen Last von 50 %. Bei dieser Last ist der Durchfluss in der Verteilung nur mehr 20 % der Nenndurchflussmenge (Abb. 3.03. a). Der Druckverlust in den Rohren und Einbautteilen ist 1/25 des Wertes unter Nennbedingungen. Der Differenzdruck über die Regelventile ist wesentlich höher.

In dieser Situation kann das Geräusch über die Regelventile stark ansteigen, speziell wenn Luft im System vorhanden ist. In Abschnitt 5.3 zeigen wir, dass eine drehzahlgeregelte Pumpe etwas helfen kann, sie löst aber das Problem nicht im Gesamten. Eine praktische Lösung das Geräuschproblem zu beseitigen, ist die Verwendung von Differenzdruckreglern, um den überschüssigen Druck aufzunehmen und das System zu entlüften.

Da der überschüssige Druck nun von den Differenzdruckreglern aufgenommen werden muss, könnte es sein, dass wir das Geräuschproblem nun nur von einem Ventil auf das andere übertragen haben. Dies ist jedoch aus folgenden Gründen nicht der Fall:

- 1- Der überschüssige Druck wird nun zwischen zwei Regelventilen aufgeteilt.
- 2- Der Differenzdruckregler ist speziell ausgelegt, um Geräusche zu reduzieren:
 - Druckbalancierter Ventilkegel
 - Hohe Zeitkonstante, die den Kegel davon abhält, bei hörbaren Frequenzen zu vibrieren.
- 3- Der Differenzdruckregler wird oft weit entfernt von den Anlagenbenutzern eingebaut. Jedes entstehende Geräusch hat nur eine kleine oder überhaupt keine Auswirkung.

Aus diesen Gründen können Differenzdruckregler wirksam die Geräusche von Regelventilen verringern.

3.3 Einfache Einregulierung, Inbetriebnahme und Wartung

Ohne Differenzdruckregler beeinflussen sich Verbraucher in Systemen mit variabler Durchflussmenge gegenseitig. Dies bedeutet, dass z.B. die Durchflussveränderungen in einem instabilen Regelkreis einen variablen Differenzdruck für alle anderen Kreise verursacht. Die Regler in diesen Kreisen versuchen nun, die Differenzdruckänderungen zu kompensieren. Das ergibt den Eindruck einer instabilen Regelung. Versuche, dieses Problem zu lösen, indem man die Kontrollparameter (Proportionalband, Integral- und D-Zeit) verändert, führen nicht zum gewünschten Ergebnis. Für Regeltechniker wird diese Situation sehr schnell zu einem Albtraum.

Differenzdruckregler machen die Regelkreise voneinander unabhängig. Wenn nun Differenzdruckregler an den Abzweigen einer Anlage installiert sind, so wird kein Abzweig durch Störungen beeinflusst, die von den anderen Abzweigen ausgehen. Dadurch vereinfacht sich die Einregulierung und Inbetriebnahme. Bei großen Wohngebäuden z.B. werden nicht alle Wohneinheiten zur gleichen verkauft oder vermietet. Wenn nun dezentrale Differenzdruckregler an jeder Wohnung installiert sind, können neue Einheiten in Betrieb genommen werden, ohne die in Betrieb befindlichen zu beeinflussen (Abb. 3.20).

Ein anderer Vorteil ist, dass die Anlage mit einem Gleichzeitigkeitsfaktor einreguliert werden kann, indem man davon ausgeht, dass nicht alle Verbraucher zur gleichen Zeit Volllast benötigen. Ist die Anlage mit manuellen Einregulierungsventilen ausgestattet, erfordert dies eine spezielle Vorgangsweise bei der Einregulierung, da es nicht möglich ist, die Nenndurchflussmenge gleichzeitig bei allen Verbrauchern zu erzielen. Die Einregulierung einer Anlage mit Gleichzeitigkeitsfaktor ist jedoch leicht, wenn Differenzdruckregler die Verbraucher unabhängig voneinander machen.

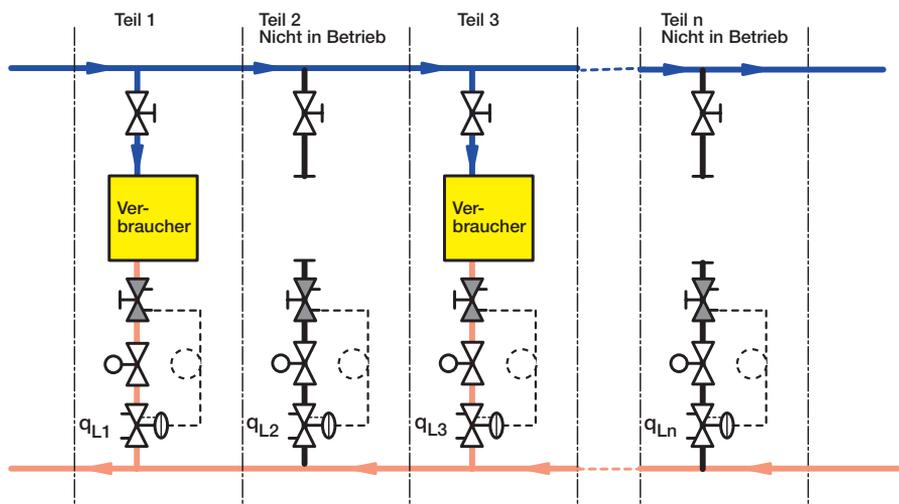


Abb. 3.20. Wenn ein neuer Verbraucher in Betrieb genommen wird, beeinflusst dies nicht die anderen Kreise.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Differenzdruckregler jeden einzelnen Verbraucher von den anderen unabhängig machen. Man erhält folgende Vorteile:

- 1- Normalerweise werden keine zusätzlichen Einregulierungsmaßnahmen zwischen Pumpen und Differenzdruckreglern benötigt (Abb. 4.05).
- 2- Ein instabiler Regelkreis verursacht keine Schwankungen in den anderen Regelkreisen.
- 3- Jeder Anlagenteil kann individuell unabhängig zu den anderen einreguliert werden. Es ist nicht erforderlich, die bestehenden Kreise erneut einzuregulieren, wenn das Gebäude erweitert wird.
- 4- Es ist einfach, die Anlage mit einem Gleichzeitigkeitsfaktor einzuregulieren.

Wenn Sie Differenzdruckregler zusammen mit Regulierventilen einbauen, sind die Durchflussmenge und der Differenzdruck stets messbar. Dies vereinfacht die Problembehebung.

In einer Fernheizung oder –kühlung kann eine neue Anlage in Betrieb genommen werden, ohne dass dies die bereits in Betrieb befindliche Anlage beeinflusst. In manchen Fällen werden Differenzdruckregler mit Durchflussreglern zusammen eingesetzt. Wenn die erforderliche Durchflussmenge in einem Gebäude den geplanten Wert übersteigt, wird der Durchflussregler eingreifen, um diesen zu hohen Durchfluss zu verhindern. Dadurch reduziert sich der verfügbare Differenzdruck. Es können Probleme für die Mieter entstehen. Ist die Anlage jedoch richtig einreguliert, kann dieses Problem vermieden werden.

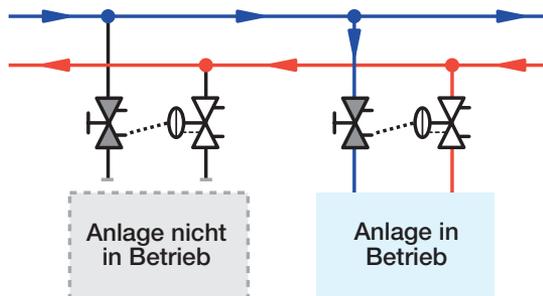


Abb. 3.21. Die gesamte Anlage wird in Betrieb genommen, ohne dass die restliche Anlage gestört wird.

3.4 Vorteile der Differenzdruckregelung und Zusammenfassung

| Symptome für die Verwendung eines Differenzdruckreglers | Typische, aber oft vernachlässigte Grundsatzregeln | Übliche, aber falsche Gegenmaßnahmen | Übliche, aber teure Konsequenzen |
|--|---|--|---|
| Stetige Regelventile arbeiten im On/Off-Modus. Die Raumtemperatur schwankt. | <p>Variabler Differenzdruck: Geringe Ventilautorität bedeutet, dass die Ventilcharakteristik zerstört ist.</p> <p>Gegenseitige Beeinflussung der Verbraucher: Wenn einige Regelventile schließen, erhöht sich das Δp über die anderen Regelventile. Um dies zu kompensieren, müssen diese reagieren und die Raumtemperatur schwankt.</p> | <p>Vergrößerung des P-Bandes ergibt eine stabile Regelung.</p> <p>Reduzieren Sie den Sollwert der Raumregler bei der Kühlung (erhöhen Sie ihn bei Heizung), um kurzzeitige Veränderungen der Raumtemperatur zu beseitigen.</p> | <p>Stetige Regelung ungenau. Behaglichkeitsziel nicht erreicht.</p> <p>Durchschnittliche Raumtemperatur ist geringer bei der Kühlung und höher bei der Heizung. Die Energiekosten erhöhen sich um 10–15 % pro Grad bei der Kühlung und 5–8 % bei der Heizung.</p> |
| Die Regelventile (On/Off oder stetig) an den Verbrauchern verursachen Geräusche. | Der Differenzdruck an den Regelventilen ist zu hoch. | Verringerung der Pumpenförderhöhe. | Erforderliche Leistung steht nicht zur Verfügung. Der gewünschte Komfort wird nicht erreicht. |
| Regelventile können nicht schließen. | Der Differenzdruck an den Regelventilen ist zu hoch. | Installation stärkerer Stellmotore an den Regelventilen. | Unnötige Investitionskosten. |

| Korrekte Maßnahme | Vorteile | Nutzen |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Stabilisieren den Differenzdruck mit Hilfe von dezentralen Differenzdruck-reglern. | <ul style="list-style-type: none"> • Stabiler Differenzdruck • Die Kreise beeinflussen sich nicht gegenseitig. • Einfachere Regelventile können verwendet werden. • Geringerer Differenzdruck über die Regelventile. | <p>Im Betrieb:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Genaue und stabile Regelung • Kein Geräusch von den Regelventilen. • Besserer Komfort und geringere Energiekosten. <p>Bei Inbetriebnahme:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Einfachere Einregulierung • Geradliniges Einregulieren in Stufen. • Einfache Inbetriebnahme der Anlage, die mit dem Gleichzeitigkeitsfaktor berechnet wurde. |

ZUSAMMENFASSUNG DIESES ABSCHNITTES

Differenzdruckregler machen hauptsächlich zwei Dinge:

- 1- Sie stabilisieren den Differenzdruck über Regelventilen.
- 2- Sie machen die Regelkreise voneinander unabhängig.

Diese zwei Betriebseigenschaften bringen direkt drei klare Vorteile:

- 1- Differenzdruckregelung erlaubt eine genaue und stabile stetige Regelung.
- 2- Differenzdruckregelung minimiert die Geräusche der Regelventile.
- 3- Differenzdruckregelung vereinfacht die Einregulierung und Inbetriebnahme.

Stabile und genaue stetige Regelung

In Anlagen mit variabler Durchflussmenge in der Verteilung und relativ hohen Druckverlusten in den Rohren sind Differenzdruckregler notwendig, um eine genaue und stabile Regelung sicherzustellen. Ohne sie muss man folgendes akzeptieren:

- a- Instabile Regelung (On/Off), obwohl in teure PID-Regler investiert wurde.
- b- Das Proportionalband muss vergrößert werden, um eine stabile – aber ungenaue – Regelung zu erreichen.

Wenn Sie Alternative a wählen, werden die Regler keinen stabilen Wert für die Raumtemperatur finden. Bei Kühlung wird die Temperatur zwischen 21 und 25 °C schwanken. Was werden die Benutzer tun? Sie reduzieren den Sollwert des Raumthermostaten oft auch auf den Minimalwert oder zumindest 2K unter dem gewünschten Sollwert. Wenn dies alle Benutzer während eines längeren Zeitraums machen, reduziert sich die durchschnittliche Gebäudetemperatur um 2 K unter den Sollwert. Der Energieverbrauch steigt dadurch um 20–30 %.

Wenn Sie Alternative b wählen, kann der Regler keinen stabilen Wert für die Raumtemperatur finden, wenn die Last über einen bestimmten Wert liegt. Die Raumtemperatur kann z.B. zwischen 19 und 25 °C liegen, statt zwischen dem gewünschten Bereich von 21 und 23 °C. Die I-Funktion in modernen Reglern versucht nun die stabile, aber falsche Raumtemperatur zurück auf den richtigen Wert zu bringen. Dies benötigt jedoch Zeit. Ist das Gebäude nun schnellen Lastwechseln ausgesetzt, hat die I-Funktion nicht genügend Zeit, die Raumtemperatur zu korrigieren bevor die nächste Störung kommt. Sonneneinstrahlung erhöht die Raumtemperatur. Dies veranlasst den Benutzer, den Sollwert des Raumthermostates zu verringern. Sobald die Sonnenstrahlung abnimmt, wird es zu kalt. Der Benutzer wird den Sollwert wieder verändern und sich zur gleichen Zeit über die Qualität der Klimaanlage beschweren !

Differenzdruckregelung ist sehr oft für genaue und stabile stetige Regelung notwendig und kann Energieverschwendung in der Höhe von 15–25 % verhindern.

Reduzierung der Geräusche von Regelventilen

Die Geräusche von Regelventilen erhöhen sich, wenn der Differenzdruck ansteigt. Diese Geräusche an den Verbrauchern können ärgerlich sein, speziell weil sie sehr nahe an den Benutzern entstehen.

Unter Nennbedingungen ist dies normalerweise kein Problem, da der Differenzdruck auf einem vernünftigen Wert liegt. In der Praxis jedoch, wenn die Anlage z.B. bei 50 % der Maximallast arbeitet, ist die Durchflussmenge nur mehr 20 % der Nennmenge. Der Druckverlust in den Rohren und Einbauteilen ist 25mal kleiner. Dadurch erhöht sich der Differenzdruck über jedes Regelventil sehr stark und kann Geräusche verursachen.

Ein Differenzdruckregler stabilisiert den Differenzdruck auf den richtigen Wert über den Verbrauchern und reduziert das Geräusch für alle Arten von Regelventilen.

Vereinfacht die Einregulierung und Inbetriebnahme

Differenzdruckregler machen die hydraulischen Kreise voneinander unabhängig. Diese Tatsache ist von wesentlicher Bedeutung für die Inbetriebnahme:

- Es werden keine Einregulierungsventile in Flussrichtung vor den Differenzdruckreglern benötigt.
- Die hydraulische Einregulierung wird vereinfacht, da sich die Kreise gegenseitig nicht beeinflussen.
- Ein neuer Anlagenteil kann in Betrieb genommen werden, ohne dass die anderen bereits im Betrieb befindlichen Teile beeinflusst werden.

4. Anwendungen für den STAP

Um eine genaue und stabile Regelung in Systemen mit variabler Durchflussmenge sicherzustellen, darf der Differenzdruck über die stetigen Regelventile nicht zu stark schwanken. Ein stabiler Differenzdruck kann durch die Verwendung von selbsttätig wirkenden Differenzdruckreglern STAP in Systemen mit variabler Durchflussmenge erzielt werden.

Der STAP von TA ist ein selbsttätig wirkender, proportionaler Regler. Er kann den Vor- und Rückdruck für ein Regelventil, das entweder einen Anlagenteil, mehrere Verbraucher oder einen Strang mit mehreren Abzweigen versorgt, stabilisieren.

4.1 WIE ARBEITET DER STAP?

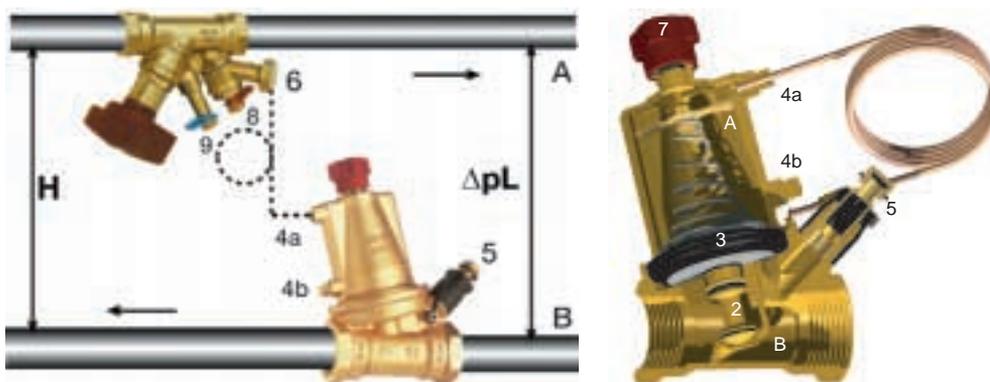


Abb. 4.01. Der STAP stabilisiert den sekundären Differenzdruck Δp_L .

Die Konstruktion des STAP basiert auf einer Kombination von einer Feder und einer Membran. Die Feder zieht den druckbalancierten Ventilkegel (2) nach oben, um das Ventil zu öffnen. Der Differenzdruck AB, der an der Membran (3) wirkt, erzeugt eine Kraft gegen die Feder. Der Druck A wird auf den STAP mit Hilfe einer Impulsleitung übertragen, die an der Entleerung (6) des Messventils STAD/M (STAD oder STAM) angeschlossen ist. Bei einem STAP DN 15 bis DN 50 wirkt der Druck B direkt im Regler auf die Unterseite der Membran. Bei größeren Dimensionen wird die Verbindung mit Hilfe einer externen Impulsleitung hergestellt.

Statt des Messventils ist es theoretisch auch möglich, einen normalen Druckanschluss im Vorlauf zu installieren (Dies wird jedoch nicht empfohlen, wenn die Durchflussmenge gemessen werden soll).

Wenn die Kraft, die vom Differenzdruck AB an der Membran erzeugt wird, größer ist als die Federkraft, beginnt das Ventil proportional dazu zu schließen, bis es einen neuen Gleichgewichtspunkt findet. Dadurch entsteht ein zusätzlicher Druckverlust im STAP, der die Erhöhung des Differenzdruckes im Sekundärkreis Δp_L verhindert.

Der Sollwert der Feder kann mit Hilfe eines Inbusschlüssels im Zentrum des Handrades (7) verändert werden. Dadurch kann der Wert Δp_L stufenlos auf den erforderlichen Wert eingestellt werden. Das Handrad (7) kann auch dazu verwendet werden, den STAP mechanisch abzusperren, wenn dies erforderlich ist.

Die Durchflussmenge wird mit dem Ventil STAD/M gemessen. Der Differenzdruck Δp_L kann zwischen den Punkten (5) und (4b) oder den Punkten (5) und (8) gemessen werden (wenn in 4b der dem aus dem Zubehörprogramm lieferbare Messnippel installiert ist).

Der STAP ist ein Proportionalregler, wie alle anderen Differenzdruckregler, und kann dadurch den Differenzdruck Δp_L nicht absolut konstant halten. Er verändert sich entsprechend dem Proportionalband des Reglers. Abbildung 2 zeigt die Veränderung des ausgeregelten Sollwertes Δp_L in Abhängigkeit zum K_v -Wert des Reglers (Ventilöffnungsgrad).

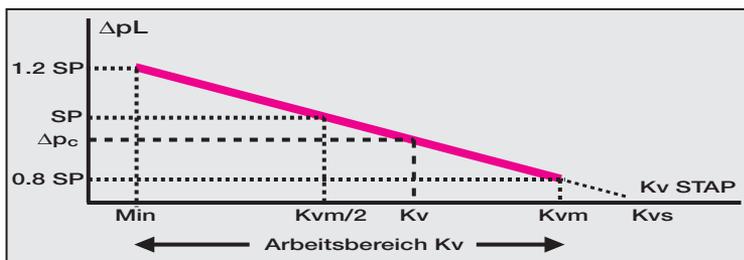


Abb. 4.02a. Der sekundäre Differenzdruck hängt von der Ventilöffnung des STAP ab.

Der K_v -Wert des STAP variiert von 0 bis zu einem maximalen Wert K_{vs} . Dennoch ist der Arbeitsbereich zwischen K_{vmin} und dem K_{vm} -Wert begrenzt. Für diese beiden Werte verändert sich der sekundäre Differenzdruck um $\pm 20\%$ um den Sollwert (SP). Um eine stabile Regelfunktion zu erhalten, ist ein Proportionalband von 40 bis 50 % passend.

Nehmen wir nun an, dass der primäre Differenzdruck H 120 kPa und das erforderliche Δp_L 30 kPa beträgt. Erhöht sich nun H von 120 auf 220 kPa, so wird Δp_L von 30 auf 33 kPa (+10 %) ansteigen. Die Störung von 100 kPa wurde auf 3 kPa auf der Sekundärseite verringert. Ohne Differenzdruckregler würde der Verbraucher eine Differenzdruckerhöhung von 100 kPa aufweisen. In diesem Fall hat der STAP die Störung um einen Faktor von 33 verringert.

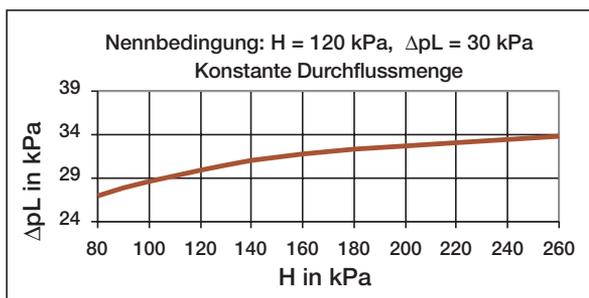


Abb. 4.02b. Einfluss des primären Differenzdruckes auf den sekundären Differenzdruck Δp_L .

Um den richtigen Sollwert für den STAP zu finden, brauchen Sie nur die Durchflussmenge mit Hilfe des Messventils (unter Nennbedingung) zu messen und den Sollwert am STAP so lange zu verstellen, bis Sie den gewünschten Durchfluss erreicht haben. Das ist alles. Es ist keine zusätzliche Berechnung notwendig. Erfolgt diese Voreinstellung wenn der primäre Differenzdruck höher ist als der Nennwert (Abb. 3), so ist der Sollwert, den man erhält, etwas geringer als erforderlich. Dieser Unterschied ist normalerweise vernachlässigbar, kann jedoch auch korrigiert werden, wenn bei der Einregulierung die Durchflussmenge gemessen wird.

Der Sollwert entspricht ebenfalls einer bestimmten Anzahl von Umdrehungen mit dem Inbusschlüssel. Der Zusammenhang zwischen Sollwert und Anzahl der Umdrehungen wird in unseren Typenblättern angegeben. Diese Information ist nützlich, wenn Sie den richtigen Sollwert für den STAP suchen und kein Messventil installiert wurde oder wenn der Differenzdruck H geringer als H_{\min} ist. H_{\min} ist der kleinstmögliche Wert für H . Unter H_{\min} kann die Nenndurchflussmenge nicht erreicht werden.

Dimensionierung des STAP

Der STAP wird so dimensioniert, dass der Nenn- K_v -Wert nahe oder kleiner $0,8 \times K_{vm}$ ist.

Nehmen wir zum Beispiel an, dass ein Verbraucher einen sekundären Differenzdruck Δp_L von 30 kPa benötigt, während der primäre Differenzdruck 120 kPa ist. Bei einer Nenndurchflussmenge von 200 l/h ist der Nenndruckverlust im Messventil z.B. 4 kPa. Der Druckverlust, der im STAP erzeugt werden muss ist: $STAP = 120 - 4 - 30 = 86$ kPa. Unter diesen Betriebsbedingungen ist der K_v -Wert des STAP gleich $0,01 \times 2000 / \sqrt{86} = 2,16$.

Ein STAP mit z.B. einem K_{vm} von 3,1 wird in diesem Fall das richtige sein.

Dimensionierung von STAD/M

Die Messventile STAD und STAM werden so gewählt, dass sie einen Druckverlust von mindestens 3 kPa voll geöffnet bei Nenndurchfluss aufweisen. Dieser Differenzdruck von 3 kPa ist erforderlich, um eine gute Durchflussmessung zu erreichen.

4.2 Lüftungsanlagen

4.2.1 EIN STAP FÜR JEDEN STRANG

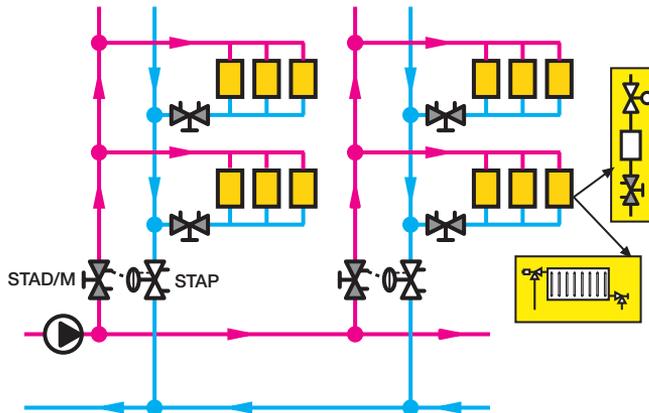


Abb. 4.03. Ein Differenzdruckregler STAP stabilisiert den Differenzdruck an jedem Steigstrang.

In großen Systemen kann die Pumpenförderhöhe zu hoch sein oder für die Verbraucher zu stark schwanken. In diesem Fall muss der Differenzdruck an der Wurzel jedes Stranges auf einen brauchbaren Wert mit Hilfe des STAP Differenzdruckregelventils stabilisiert werden.

Einregulierungsvorgang Abb. 4.03

Für die Einregulierung kann jeder Strang dieser Einheit als unabhängig von den anderen betrachtet werden. Bevor man mit der Einregulierung eines Stranges beginnt, sollte der STAP voll geöffnet und nicht in Funktion sein, damit man die erforderliche Durchflussmenge während der Einregulierung erreicht. Am einfachsten ist, die Entleerung am STAM (STAM oder STAD) im Vorlauf zu schließen und die Membrankammer zu entleeren, indem man die kleinen Entlüftungsschrauben an der Innengarnitur öffnet.

- 1- Die Verbraucher sind an jedem Zweig einreguliert, bevor man die Abzweige untereinander mit Hilfe der Kompensationsmethode oder der TA Balance Methode (siehe Handbuch 2 „Einregulierung von Verteilsystemen“) einreguliert. STAD/M arbeiten als Partnerventile.
- 2- Wenn ein Strang einreguliert wird, wird der Sollwert des STAP so eingestellt, dass der Nenndurchfluss am STAD/M gemessen werden kann. Dieses Ventil ist an der Wurzel des Stranges montiert. Die Einregulierung der Stränge untereinander ist nicht notwendig und wird automatisch erreicht.

Hinweis 1: Bei Heizungsanlagen wird jedoch, wenn alle Regelventile des Stranges schließen, auch der Differenzdruckregler STAP schließen. Der Systemdruck in der Anlage zwischen Regelventil und STAP nimmt ab, wenn das Wasser abkühlt. Der Differenzdruck über die Regelventile steigt dadurch an. Als Konsequenz wird das Regelventil, das als erstes öffnet, laute Geräusche verursachen. Aus diesem Grund ist eine minimale Durchflussmenge z.B. über ein Überströmventil erforderlich, um solche Probleme zu verhindern.

Wenn ein Strang einen sehr hohen Differenzdruck benötigt, muss die Pumpenförderhöhe so ausgelegt werden, dass die Versorgung sichergestellt wird, obwohl andere Stränge eine nicht so hohe Förderhöhe benötigen würden. Dadurch erhöhen sich die Energiekosten für die Pumpe für die gesamte Anlage. Um diese Kosten zu verringern, kann eine separate Sekundärpumpe für diesen Strang installiert werden.

Ein Bypass EF (Abb. 4.04a) verhindert die gegenseitige Beeinflussung zwischen primären und sekundären Pumpen. Dieser Bypass erzeugt aber auch einen konstanten Durchfluss auf der Primärseite. Wird ein variabler Durchfluss gewünscht, ist eine andere Möglichkeit, den Differenzdruck in Flussrichtung vor der Sekundärpumpe zwischen A und B mit einem Differenzdruckregler (Abb.4.04b) zu stabilisieren. Die erforderliche Pumpenförderhöhe für die sekundäre Pumpe wird um den Wert Δp_{AB} , der vom Differenzdruckregler zur Verfügung gestellt wird, verringert.

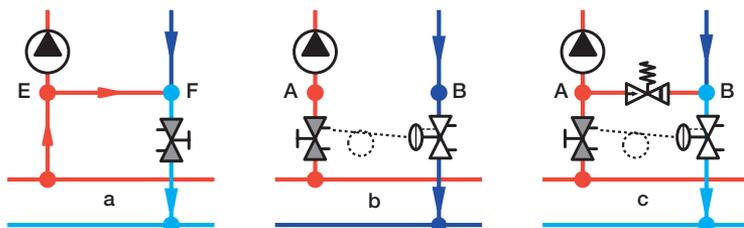


Abb. 4.04. Wie man das Problem der Beeinflussung zwischen Primär- und Sekundärpumpe löst.

Wenn es erforderlich ist (siehe Abschnitt 5.2), kann eine minimale Durchflussmenge der Primärpumpe mit einem Überströmventil, das zwischen den Pumpen A und B, wie in Abb. 4.04 gezeigt ist, erzielt werden. Reduziert sich der Durchfluss, erhöht sich der Differenzdruck zwischen A und B entsprechend dem Proportionalband des STAP. Der Sollwert des BPV wird so berechnet, dass bei Bedarf der erforderliche Mindestdurchfluss erreicht wird. Eine andere Möglichkeit besteht darin, den sekundären Verbraucher abzusperrn und den Sollwert des BPV mit Hilfe des Messventils auf den Minimaldurchfluss einzustellen.

4.2.2 EIN STAP AN JEDEM ABZWEIG

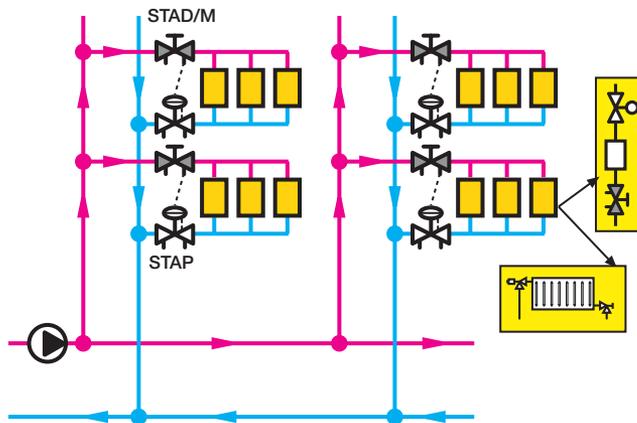


Abb. 4.05. Ein STAP Differenzdruckregler stabilisiert den Differenzdruck für jeden Abzweig.

Wenn der Differenzdruck für jeden Abzweig stabilisiert ist, werden die Verbraucher mit einem der Leistung entsprechenden Differenzdruck versorgt. In diesem Fall kann der Abzweig für sich unabhängig von den anderen einreguliert werden.

Diese Lösung ist technisch besser, als nur ein STAP für jeden Steigstrang zu verwenden, da sich der passende Differenzdruck von Abzweig zu Abzweig ändern kann. Zusätzlich werden die Schwankungen im Differenzdruck durch variable Druckverluste in den Strängen automatisch kompensiert.

Einregulierungsvorgang Abb. 4.05

Bei der Einregulierung ist jeder Abzweig eine Einheit, die unabhängig ist. Bevor man die Einregulierung eines Abzweiges beginnt, sollte der STAP außer Funktion und voll geöffnet werden, um die erforderliche Durchflussmenge während der Einregulierung zu erreichen. Ein einfacher Weg dies zu erzielen, ist das Entleerventil am STAD/M (STAD oder STAM), welches am Vorlauf montiert ist, zu schließen und das Membrangehäuse zu entleeren.

- 1- Die Verbraucher sind untereinander mit Hilfe der Kompensationsmethode oder der TA Balance Methode (siehe Handbuch 2 „Einregulierung von Verteilsystemen“) einreguliert. Wenn man mit der Kompensationsmethode arbeitet, ist das STAD/M das Partnerventil.
- 2- Wenn der Abzweig einreguliert ist, wird der Sollwert des STAP so eingestellt, dass die am STAD/M gemessene Nenndurchflussmenge erreicht wird. Eine Einregulierung der Abzweige und Steigstränge untereinander ist nicht mehr notwendig.

Bezug nehmend auf die Mindestdurchflussmenge siehe Hinweis in Abschnitt 4.2.1 für Stränge, der hier auch auf die Abzweige angewendet werden kann.

Beispiel: In Abb. 4.06a ist jeder Verbraucher C mit einem Einregulierungsventil (STAD) oder einem Kompaktregulierungsventil (TBV) ausgestattet. Dies ist der Normalfall und wird in Abb. 4.05 dargestellt.

In Abb. 4.06b ist jeder Verbraucher mit einem Regulierventil, wie z.B. STK oder TRIM, ausgerüstet. Da Regulierventile jedoch keine Durchflussmessung in den Verbrauchern zulassen, muss hier die Voreinstellung für diese Ventile berechnet werden.

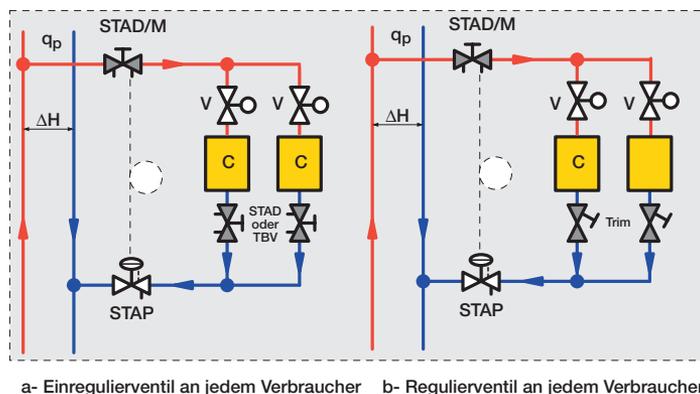


Abb. 4.06. Ein STAP stabilisiert den Differenzdruck über eine Reihe von Verbrauchern.

Einregulierungsvorgang Abb. 4.06a

- 1- Öffnen Sie den STAP voll. Das Regelventil V ist voll geöffnet.
- 2- Regulieren Sie den Verbraucher entsprechend der TA Balance Methode ein. Das STAD/M arbeitet dabei als Partnerventil.
- 3- Stellen Sie den Sollwert des STAP so ein, dass Sie die erforderliche Durchflussmenge q_p im Ventil STAD/M erreichen.

Einregulierungsvorgang Abb. 4.06b

Im folgenden Einregulierungsvorgang werden die Druckverluste der Rohrleitungen im geregelten Kreis des STAP als vernachlässigbar angenommen.

- 1- Für jeden Kreis ist der erforderliche Differenzdruck Δp_{Kreis} die Summe der Druckverluste bei Nenndurchflussmenge: $\Delta p_{\text{Kreis}} = \Delta p_{\text{Regelventil}} + \Delta p_{\text{Verbraucher}} + \Delta p_{\text{Einbauteile}} + \Delta p_{\text{Regelventil voll geöffnet}}$. Ermitteln Sie den Kreis, der den höchsten erforderlichen Differenzdruck benötigt ($\Delta p_{\text{Kreis max.}}$).
- 2- Berechnen Sie für jeden Kreis den Druckverlust, der im Regulierventil aufgenommen werden muss: $\Delta p_{\text{Regulierventil}} = \Delta p_{\text{Kreis max.}} - \Delta p_{\text{Regelventil}} - \Delta p_{\text{Verbraucher}} - \Delta p_{\text{Einbauteile}}$. Stellen Sie das Regulierventil so ein, dass Sie einen entsprechenden Druckverlust bei Nenndurchfluss erreichen. Verwenden Sie das TA Ventilidiagramm oder das TA Select Computerprogramm, um die richtige Voreinstellposition zu finden.
- 3- Stellen Sie den Sollwert des STAP so ein, dass Sie den erforderlichen Gesamtdurchfluss q_p im STAD/M erhalten.

Beispiel mit kleineren Verbrauchern am Abzweig

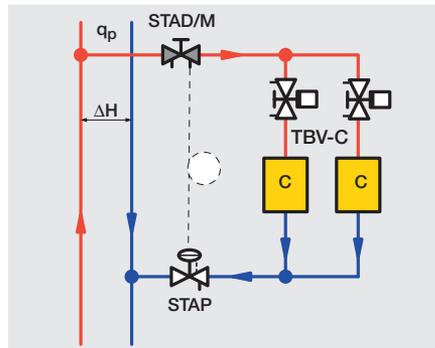


Abb. 4.06. Die Verbraucher werden mit TBV-C Kompaktregulierventilen geregelt.

Abb. 4.06c ist ein typisches Beispiel eines Abzweiges mit mehreren Verbrauchern, die mit TBV-C Ventilen geregelt werden. Das TBV-C kombiniert fünf Funktionen in einem Ventil:

- Regelung
- Stufenlose Voreinstellung von Null bis Kvs mit einer Skala von 0 bis 10
- Differenzdruckmessung
- Durchflussmessung
- Absperrfunktion

Der Abzweig wird mit einem Regler, der den Differenzdruck für die Kreise konstant hält, ausgerüstet. Dadurch ergibt sich eine stabile und genaue Regelung, wenn eine proportionale Regelung durchgeführt wird. Da der Differenzdruck auf dem erforderlichen Wert gehalten wird, ist die Gefahr von Geräuschen im Ventil ebenfalls nicht gegeben.

Einregulierungsvorgang Abb. 4.06c

Gleich wie für Abb. 4.06a.

Dieses oben genannte Beispiel kann für die gesamte Anlage verwendet werden. Einregulierungsventile in den Strängen und Abzweigen sind nicht unbedingt erforderlich, aber für die Fehlersuche und zur Kontrolle der Gesamtmenge zu empfehlen.

4.2.3 EIN STAP AN JEDEM REGELVENTIL

Abhängig von der Anlagenauslegung kann sich entsprechend der Last der Differenzdruck für jeden Kreis sehr stark ändern. Um die richtige Regelventilcharakteristik zu erzielen und aufrecht zu erhalten und um eine genaue und stabile Regelung zu gewährleisten, muss der Differenzdruck über dem Regelventil mit Hilfe eines Differenzdruckreglers, wie in Abb. 4.07 gezeigt, stabilisiert werden.

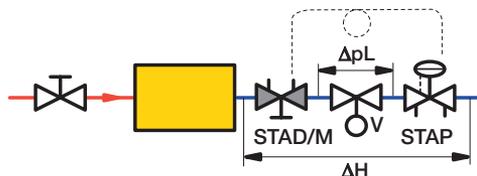


Abb. 4.07. Ein Differenzdruckregler stabilisiert den Differenzdruck direkt am Regelventil.

Hinweis:

- 1- Der Durchfluss wird mit Hilfe eines Messventils STAD/M (STAD oder STAM) gemessen. Dieses ist ein wichtiges Hilfsmittel zur Fehlersuche und –behebung.
- 2- Wird keine Messung gewünscht (was nicht zu empfehlen ist), kann das Messventil durch einen Messnippel ersetzt werden. In diesem Fall wird der Sollwert für das STAP auf Basis des Kvs-Wertes des Regelventils berechnet.

Für den zweiten Fall lauten die vorgegeben Daten: Nenndurchfluss q und Kvs des Regelventils, der normalerweise mit einer Genauigkeit von +/- 15 % bekannt ist. Der theoretische Differenzdruck, den das STAP erzeugen soll, kann gemäß folgender Formel berechnet werden:

$$\Delta p = \left(0,01 \times \frac{q}{K_{vs}}\right)^2 \quad (\text{kPa} - \text{l/h})$$

$$\Delta p = \left(36 \times \frac{q}{K_{vs}}\right)^2 \quad (\text{kPa} - \text{l/s})$$

Das Regelventil V ist niemals überdimensioniert, da der Nenndurchfluss nur bei voll geöffnetem Regelventil erreicht wird. Die Ventilautorität ist und bleibt 0,7.

Da der ausgeregelte Druck Δp_L praktisch konstant ist, wird der zusätzlich auftretende primäre Differenzdruck im STAP aufgenommen.

Einregulierungsvorgang Abb. 4.07

- 1- Öffnen Sie das Regelventil V voll.
- 2- Stellen Sie das STAD/M Ventil so ein, dass Sie mindestens 3 kPa bei Nenndurchfluss erhalten.
- 3- Stellen Sie den Sollwert des Differenzdruckreglers so ein, dass Sie den Nenndurchfluss erhalten.

Da die Durchflussmengen nun an jedem Verbraucher korrekt sind, sind keine zusätzlichen Einregulierungsmaßnahmen erforderlich. Wenn alle Regelventile mit STAP ausgerüstet sind, sind zusätzliche Einregulierungsventile in den Strängen und Abzweigen nicht unbedingt erforderlich, sind aber für die Fehlersuche zum Absperren und zur Kontrolle der Gesamtmenge zu empfehlen.

Dimensionierung des Regelventils

Die Dimensionierung des Regelventils V ist in diesem Fall nicht mehr schwierig. Dennoch sollte ein Druckverlust von mindestens 20 kPa im Regelventil gewählt werden. Bei einer Pumpenförderhöhe von 250 kPa und ohne Verwendung von STAP Ventilen muss der Nenndruckverlust im Regelventil mindestens gleich $0,25 \times 250 = 63$ kPa sein. Mit einem STAP wird dieser Wert auf 20 kPa reduziert. Ist der Nenndruckverlust im STAP gleich 10 kPa, kann die Pumpenförderhöhe um 33 kPa verringert werden. Dadurch verringern sich die Energiekosten um ca. 13 %.

Beispiel eines Regelventils in einer Einspritzschaltung

Einige Verteilsysteme arbeiten mit konstanter Durchflussmenge und variabler Vorlauftemperatur. So ist zum Beispiel eine konstante Durchflussmenge für Vorheizregister erforderlich, um einen Frostschutz zu gewährleisten. Eine bessere Regelung wird bei konstanter Durchflussmenge erzielt, da diese eine turbulente Strömung im Wärmetauscher garantiert und damit einen konstanten Wärmeübertragungsfaktor. Aus diesem Grund werden in diesem Fall Dreiwegmischventile verwendet, um eine variable Vorlauftemperatur zu erreichen.

Bei druckbehafteten Verteilern (mit Primärpumpe) ist das Dreiwegmischventil nicht mehr zulässig, da sich der Durchfluss im Bypass aufgrund der primären Differenzdruckes umkehren kann. Wenn sich die Durchflussrichtung im Bypass des Dreiwegventils umkehrt, ist die Mischfunktion nicht mehr gegeben. In diesem Fall ist die beste Lösung, ein Durchgangventil in Einspritzschaltung wie in Abb. 4.08 gezeigt zu verwenden.

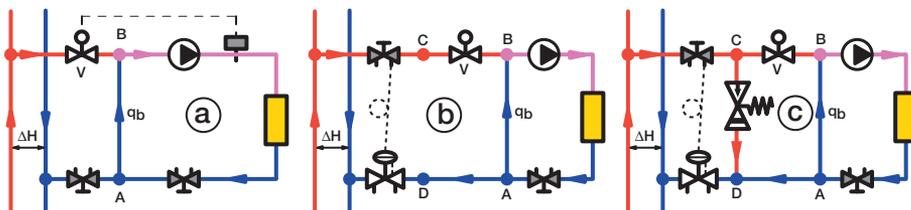


Abb. 4.08. Ein Durchgangventil in einer Einspritzschaltung.

Wenn es große Veränderungen im primären Differenzdruck ΔH gibt, wird die Autorität des Durchgangregelventils stark verschlechtert und dadurch ist die Stabilität des Regelkreises nicht mehr gegeben. In diesem Fall ist die beste Lösung, den Differenzdruck mit einem Differenzdruckregler über dem Regelventil (Δp_{CD}) konstant zu halten. Wenn ein minimaler Durchfluss erforderlich ist, um die Primärpumpe zu schützen, kann dies durch die Installation eines Überströmventils (z.B. BPV von TA) zwischen den Punkten C und D erreicht werden. Diese Lösung ist besser als ein manuelles Einregelungsventil zu verwenden, da der minimale Durchfluss nur dann aufrecht erhalten wird, wenn es notwendig ist. Außerdem wird die primäre Durchflussmenge verringert und aus diesem Grund auch die Energieaufnahme der Pumpe.

Einige Planer verwenden ein Rückschlagventil im Rohr AB, um den Durchfluss von B nach A zu verhindern. Es gibt zwei Hauptgründe für diese Maßnahme.

1. Bei einem Vorheizregister, das niedrigen Außentemperaturen ausgesetzt ist, erlaubt das Rückschlagventil der Primärpumpe heißes Wasser in den Verbraucher zu leiten, selbst dann wenn die Sekundärpumpe ausgefallen ist. Dadurch erhält man eine Frostschutzfunktion.
2. Wenn bei Fernheizungen das Durchgangsventil überdimensioniert oder die sekundäre Durchflussmenge variabel ist, kann sich die Durchflussrichtung im Bypass AB umkehren. Dadurch erhöht sich die Rücklauftemperatur. Das Rückschlagventil verhindert diese Durchflussumkehr.

4.3 Heizkörperheizung

In modernen Heizungsanlagen werden Thermostatventile voreingestellt, um die erforderliche Durchflussmenge unter Nennbedingungen zu erreichen. Diese Voreinstellungen sind nur dann gültig, wenn der Differenzdruck, für den die Voreinstellungen berechnet wurden, wirklich an den Heizkörpern anliegt. Arbeitet die Anlage mit geringerer Leistung, nimmt der Druckverlust in den Rohren sehr stark ab. Dadurch nimmt der an den Thermostatventilen anstehende Differenzdruck entsprechend zu. Wenn der Differenzdruck 20-30 kPa überschreitet, besteht die Gefahr der Geräuschbildung, speziell wenn sich Luft im Wasser befindet. Es ist aus diesem Grund wichtig, den Differenzdruck für Thermostatventile zu stabilisieren.

Dieser Abschnitt zeigt Lösungen für einige oft vorkommende Probleme in Heizkörpersystemen:

- Wie erreicht man den erforderlichen Differenzdruck über die Thermostatventile.
- Wie stellt man sicher, dass der Differenzdruck bei allen Lastzuständen stabil ist.
- Was tut man, wenn die Thermostatventile nicht voreinstellbar sind.

4.3.1 VOREINSTELLBARE HEIZKÖRPERVENTILE

Um es für den Installateur leichter zu machen, werden Thermostatventile generell unter der Annahme voreingestellt, dass der zur Verfügung stehende Differenzdruck $\Delta H_0 = 10 \text{ kPa}$ ist. Dieser Wert ist ein guter Kompromiss für zwei Anforderungen:

- Nicht zu hoch, um eine entsprechend große Öffnung des Ventils zu erzielen, um Festsetzen und Geräusche zu verhindern.
- Nicht zu niedrig, dass der relative Einfluss des Rohrreibungswiderstandes in den Anbindeleitungen gering ist.

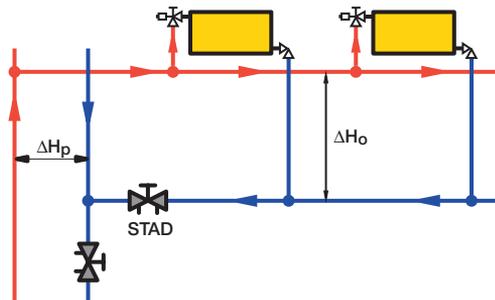


Abb. 4.09. Jeder Heizkörper ist auf den gleichen Differenzdruck von 10 kPa voreingestellt.

Während der Einregulierung der gesamten Anlage, wird das Einregulierungsventil für diesen Zweig so eingestellt, dass der richtige Gesamtdurchfluss für den Anlagenteil erreicht wird. Dies rechtfertigt die Voreinstellung der Thermostatventile. Die erwarteten 10 kPa stehen in der Mitte des Abzweiges zur Verfügung, wenn die Einregulierung fertig gestellt wurde. In einem System mit variabler Durchflussmenge kann der Differenzdruck stark zunehmen, wenn die Anlage im Teillastbereich arbeitet. Thermostatventile können Geräusche produzieren, speziell wenn Luft im Wasser ist. In diesem Fall ist es ratsam, Differenzdruckregler STAP, wie in Abb. 4.10 gezeigt, zu installieren.

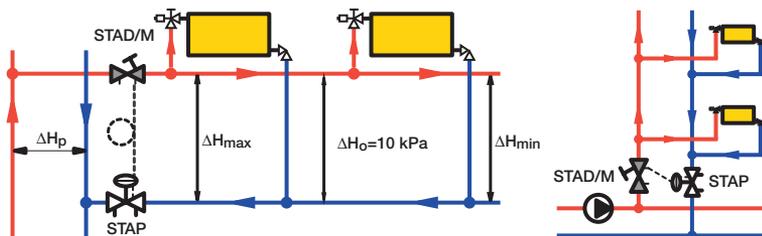


Abb. 4.10. Ein Differenzdruckregler STAP stabilisiert den Differenzdruck am Beginn des Kreises.

Ein STAP stabilisiert den Differenzdruck für jeden Abzweig oder kleinen Strang. Der Durchfluss q_s wird mit Hilfe des STAD/M (STAD Einregulierungsventil oder STAM Messventil) gemessen.

Einregulierungsvorgang Abb. 4.10

- 1- Öffnen Sie alle Thermostatventile voll, indem man z.B. die Thermostatköpfe demontiert.
- 2- Stellen Sie die Thermostatventile für einen konstanten Differenzdruck von 10 kPa minus dem Druckverlust im Rücklaufventil ein. Verwenden Sie das Ergebnis ΔH , um den K_V -Wert zu bestimmen, der eingestellt wird: $K_V = 0.01 \times q / \sqrt{\Delta H}$, mit q in l/h und ΔH in kPa.
- 3- 3- Stellen Sie den Sollwert des STAP so ein, dass Sie die Gesamtdurchflussmenge q_S im Ventil STAD/M messen können. Der erwartete Differenzdruck von 10 kPa steht nun in der Mitte des Verbraucherkreises zur Verfügung.

Hinweis: In der Praxis wird der erste Heizkörper einen zu hohen Durchfluss und der letzte einen zu geringen aufweisen. Das ist akzeptabel, wenn die Rohrlänge zwischen dem STAP und dem letzten Heizkörper nicht $L = 2200/R$ (L in m) überschreitet, wobei R der durchschnittliche Druckverlust in den Rohren (in Pa/m) ist. Diese Formel basiert auf einer maximalen Durchflussabweichung von 10 %. Bei $R = 150$ Pa/m beträgt $L_{\max} = 15$ m.

Anordnung von On/Off-Zonenventilen und Wärmezählern

In einigen Ländern wird ein Differenzdruckregler für jede Wohnung verwendet. Die Vorlauftemperatur wird mit einem zentralen, witterungsgeführten Regler geregelt. Ein Raumthermostat wird in einem Referenzraum, in dem keine Thermostatventile vorhanden sind, montiert. Der Raumthermostat steuert ein On/Off-Ventil V wie in Abb. 4.11. gezeigt.

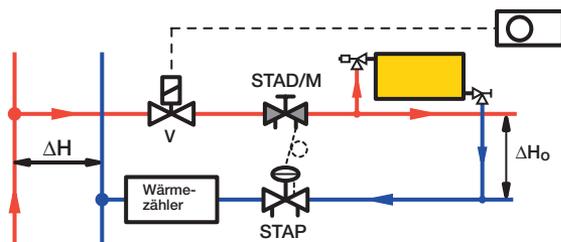


Abb. 4.11. Ein STAP regelt den Differenzdruck für jede Wohnung.

Das On/Off-Ventil und der Wärmezähler sollten in einem Rohrstück montiert werden, das nicht in der vom STAP geregelten Strecke liegt. Der Grund dafür ist, dass dieser variable Widerstand sonst den Differenzdruck über die Heizkörper beeinflusst. Darum müssen das Zonenventil und der Wärmezähler in Flussrichtung nach dem STAP eingebaut werden, damit der erforderliche Sollwert des STAP den Maximalwert, bei dem die Thermostatventile Geräusche produzieren können, nicht übersteigt.

4.3.2 NICHT VOREINSTELLBARE HEIZKÖRPERVENTILE

In einigen existierenden Anlagen sind die Heizkörperventile nicht voreinstellbar. Differenzdruckregler können den Differenzdruck für jeden Kreis begrenzen. Ohne Durchflussbegrenzung in den Heizkörperventilen kann jedoch der Durchfluss in einem oder mehreren Heizkörpern einige Male höher bzw. viel zu gering sein unabhängig von der Differenzdruckregelung.

Der beste Weg, diese Problem zu lösen, ist der Einbau von voreinstellbaren Heizkörperventilen und sie gemäß Abschnitt 4.3.1. einzustellen.

Eine andere Lösung ist die Verwendung eines Regulierungsventils STAD als Messventil und der Anschluss der Impulsleitung des Differenzdruckreglers auf den Messnippel des Einregulierungsventils, das in Flussrichtung vor dem Regelkegel des STAD liegt (Abb. 4.12). Das Einregulierungsventil ist dann in der Regelstrecke inkludiert. Wenn man die Abbildungen 4.10 und 4.12 vergleicht, sieht man, wie die Impulsleitung verbunden ist und wo das Einregulierungsventil montiert ist. Der Durchfluss q_s wird mit dem STAD gemessen.

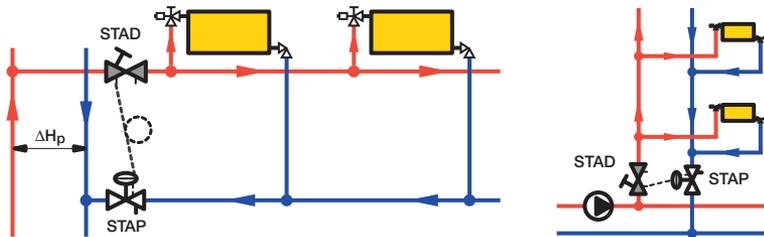


Abb. 4.12. Der Druckverlust im Einregulierungsventil ist im gesamten Δp inkludiert, der vom STAP geregelt wird.

Der Sollwert des STAP wird mit 20 kPa gewählt. Das Einregulierungsventil wird so eingestellt, dass die gesamte Durchflussmenge erreicht wird, wenn alle Thermostatventile voll geöffnet sind. Während der Morgenaufheizung sind alle Thermostatventile voll geöffnet. Die Gesamtdurchflussmenge ist korrekt auf dem Nennwert, da sie mit dem STAD eingestellt wurde. Wenn die Thermostatventile schließen, ist der verfügbare Differenzdruck automatisch auf den Sollwert des STAP (20 kPa) plus dem Wert seines Proportionalbandes begrenzt.

Diese Kombination sichert den Gesamtdurchfluss und die Differenzdruckbegrenzung auf einen akzeptablen Wert. Mit dieser Methode wird eine korrekte Durchflussverteilung der Gesamtdurchflussmenge zwischen den Heizkörpern nur dann erreicht, wenn alle Heizkörper gleich groß und nahe beieinander montiert sind. Ist dies nicht der Fall, wird es jedoch trotzdem die Leistung einer Anlage mit nicht voreinstellbaren Heizkörperventilen verbessern.

4.4 STAP als Durchflussregler

In einigen Anwendungen sind automatische Durchflussregler sinnvoll. Zum Beispiel, um die Primärdurchflussmenge über ein Dreiwegventil in einer Umlenkschaltung konstant zu halten oder mehrere Kältekreise in Industrieanlagen zu versorgen. Für diese Anwendungen können spezielle Durchflussregler verwendet werden.

Ein STAP kann dieses Problem der Durchflussmessung und Einstellung lösen. Diese Lösung wird in Abb. 4.13 gezeigt.

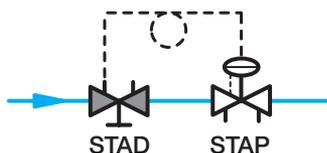


Abb. 4.13. STAP als Durchflussregler.

Die Wahl des Sollwertes sollte so nahe wie möglich am minimalen Einstellwert (z.B. 10 kPa) liegen.

Die Durchflussmenge wird mit dem Messventil STAD gemessen, dessen Voreinstellung so gewählt wird, dass die erforderliche Durchflussmenge erreicht wird. In diesem Beispiel entspricht der Druckverlust im STAD dem Sollwert des STAP, das bedeutet 10 kPa. Wenn die Durchflussmenge ansteigt, erhöht sich der Druckverlust im STAD. Der Differenzdruck wird an das STAP weiter geleitet. Dieser schließt etwas, um den Durchfluss auf dem erforderlichen Wert zu halten. Entsprechend dem Proportionalband des STAP ist der Durchfluss nicht konstant. Wenn zum Beispiel der Differenzdruck über das Set STAD/STAF von 100 auf 200 kPa ansteigt, erhöht sich der Durchfluss um 7%.

5. Anhang

5.1 Einige Fragen und Antworten

5.1.1 WARUM SOLL EINE ANLAGE EINREGULIERT WERDEN?

Viele Hausverwalter benötigen sehr viel Zeit, um Reklamationen zu bearbeiten, die das Raumklima betreffen. Dies ist auch in neuen Gebäuden, die die modernste Regeltechnik verwenden, der Fall. Diese Probleme sind vielfältig:

- Einige Räume erreichen nie die gewünschte Temperatur, besonders nach großen Laständerungen.
- Die Raumtemperaturen schwanken, speziell bei kleineren und mittleren Leistungen, aber selbst dann, wenn die Verbraucher mit den neuesten Regelgeräten ausgerüstet sind.
- Obwohl die Leistung der Energieerzeuger ausreichen groß genug ist, kann diese Energie nicht auf die Anlage übertragen werden, speziell während der Inbetriebnahme am Morgen, nach dem Wochenende oder nach der Nachtabenkung.

Diese Probleme entstehen sehr oft durch falsche Durchflussmengen, die die Regler davon abhalten ihre Arbeit richtig zu machen. Regler können nur dann effizient arbeiten, wenn die Nenndurchflussmengen in der Anlage auch zur Verfügung stehen, wenn sie erforderlich sind. Der einzige Weg, diesen Status zu erreichen liegt in der Einregulierung der Anlage. Diese muss aus drei Gründen erfolgen:

1. Energieerzeugung muss einreguliert werden, um die Nenndurchflussmenge für jeden Kessel oder für jede Kältemaschine zu erzielen. Darüber hinaus muss in den meisten Fällen der Durchfluss in jeder Einheit konstant gehalten werden. Schwankungen verringern den Wirkungsgrad der Energieerzeugung, verkürzen die Lebensdauer der Energieerzeuger und erschweren wesentlich eine genaue Regelung.
2. Das Verteilsystem muss einreguliert werden, um sicherzustellen, dass alle Verbraucher zumindest bei Vollast ihre Nenndurchflussmenge erhalten.
3. Die Regelkreise müssen einreguliert werden, um gute Arbeitsbedingungen für die Regelventile zu erreichen und die Durchflussmengen zwischen Primär- und Sekundärseite vergleichbar zu machen.

Ist die Anlage einreguliert, kann ein zentraler Regler oder Optimierungsregler verwendet werden, da alle Räume in der gleichen Art und Weise reagieren. Die Abweichung der durchschnittlichen Raumtemperatur aufgrund fehlender Einregulierung vom Nennwert hat eine Anlage mit hohen Energiekosten und Benutzer, die sich unbehaglich fühlen, zur Folge.

Während der Einregulierung werden die meisten hydraulischen Probleme erkannt und können bereits behoben werden, bevor die Anlage in Betrieb geht. Einregulierungsventile sind in der Lage, den Differenzdruck und die Durchflussmenge zu messen. Sie dienen auch

als Werkzeuge für die Fehlerbehebung während der gesamten Lebenszeit der Anlage. Die Verwendung von Differenzdruckregelventilen bei der Einregulierung bringt zusätzliche Vorteile, da sie den Differenzdruck dezentral stabilisieren und die gegenseitige Beeinflussung beheben. Diese zwei Betriebsvorteile führen zu eindeutigem Nutzen: genaue und stabile, stetige Regelung, geringe Geräusche von den Regelventilen und einfache Einregulierung in Inbetriebnahme.

5.1.2 WAS KOSTET UNBEHAGLICHKEIT?

Während der kalten Jahreszeit ist es nahe dem Kessel zu warm und weiter entfernt zu kalt. Einige Benutzer erhöhen dann die Vorlauftemperatur im Gebäude. Die Benutzer in den oberen Stockwerken erhalten das gewünschte Raumklima, während Benutzer nahe dem Kessel die Fenster öffnen. Während der warmen Jahreszeit passiert das selbe. Es ist nur jetzt zu kalt nahe der Pumpe und zu warm in anderen Anlagenteilen.

Ein K mehr oder weniger in einem einzelnen Raum macht fast keinen Unterschied in der Behaglichkeit oder den Energiekosten. Wenn jedoch die durchschnittliche Raumtemperatur im Gebäude falsch ist, wird es sehr teuer. 1 K über 20 °C erhöht die Heizkosten zwischen 5 und 8 %. Ein K unter 23 °C erhöht die Kosten für die Kühlung der Anlage zwischen 10 und 16 %.

5.1.3 IST EINE GUT GEPLANTE ANLAGE AUTOMATISCH EINREGULIERT?

Einige Leute denken, dass es ausreicht, die Nenndurchflussmengen in den Zeichnungen einzutragen, um sie später in der Anlage auch tatsächlich zu haben. Aber um die erforderlichen Durchflussmengen auch wirklich zu erreichen, müssen sie gemessen und eingestellt werden. Das ist der Grund, warum die hydraulische Einregulierung notwendig ist.

Ist es möglich, die richtige Durchflussmengenverteilung zu erreichen, wenn man die Anlage genau genug plant? Theoretisch ja, in der Praxis ist es jedoch ein Wunschtraum.

Die Energieerzeuger, Pumpen, Rohre und Verbraucher werden so ausgelegt, dass sie die Maximalleistung (unabhängig davon, ob die Anlage mit einem Gleichzeitigkeitsfaktor geplant ist) liefern. Ist nun ein Glied der Kette nicht richtig dimensioniert, werden auch die anderen nicht richtig arbeiten. Als Ergebnis werden das gewünschte Raumklima und die Behaglichkeit nicht erreicht.

Jemand könnte aber auch denken, dass die Planung der Anlage mit einigen teuren Sicherheitszuschlägen die meisten Probleme behebt. Wenn auch einige Probleme auf diese Art beseitigt werden, entstehen andere, speziell auf der Regelungsseite. Eine gewisse Überdimensionierung kann nicht verhindert werden, da einige Anlagenkomponenten von der bestehenden Produktpalette der Hersteller ausgesucht werden müssen. Diese entsprechen normalerweise nicht exakt den berechneten Werten. Darüber hinaus sind in der Planungsphase der Hersteller oder die Art einiger Anlagenkomponenten noch gar nicht bekannt, da der Auftraggeber diese erst zu einem späteren Zeitpunkt festlegt. Es ist in diesem Fall notwendig, einige Korrekturen unter Berücksichtigung der wirklichen Installation vorzunehmen. Dies weicht sehr oft von der ursprünglichen Anlage ab.

5.1.4 IST EINE DREHZAHLGEREGELTE PUMPE AUSREICHEND, UM DEN RICHTIGEN NENNDURCHFLUSS ZU ERREICHEN?

Nehmen wir zwei gleiche Verbraucher mit einer Nenndurchflussmenge von je 1 l/s an. Einer erhält aber 2 l/s, der andere nur 0,5 l/s. Der Gesamtdurchfluss beträgt 2,5 l/s anstatt 2 l/s. Die Pumpenförderhöhe wird reduziert, um den Gesamtdurchfluss auf 2 l/s zu verringern. Wird dies durchgeführt, ist der Durchfluss in den Verbrauchern nunmehr 1,6 l/s und 0,4 l/s. Die Anlage ist weiter nicht einreguliert und die Verbraucher arbeiten nicht mit ihren Nenndurchflussmengen.

Ein einfaches Beispiel zeigt, dass die Verwendung einer drehzahlgeregelten Pumpe alleine noch nicht die hydraulischen Einregulierungsprobleme löst, da sich die Durchflussmengen proportional ändern, wenn die Pumpenförderhöhe geändert wird. Der Versuch, zu hohe Durchflussmengen auf diese Art zu korrigieren, erzeugt eine wesentlich stärkere Unterversorgung in anderen Teilen.

5.1.5 IST EINE ANLAGE AUTOMATISCH EINREGULIERT, WENN DURCHGANGSREGELVENTILE RICHTIG DIMENSIONIERT SIND?

Auf den ersten Blick gibt es keinen Grund, eine Anlage mit Durchgangsregelventilen an den Verbrauchern einzuregulieren, da diese Regelventile ausgelegt sind, um die Durchflussmenge stetig auf den erforderlichen Wert auszuregulieren. Die hydraulische Einregulierung sollte hier automatisch erfolgen. Dennoch, selbst nach sehr sorgfältigen Berechnungen, werden Sie nie das Regelventil finden, das exakt den erforderlichen Kvs-Wert hat. Es ist am Markt nicht verfügbar. Aus diesem Grund sind die meisten Regelventile überdimensioniert.

Das vollständige Öffnen eines Regelventils kann in vielen Betriebssituationen nicht verhindert werden, wie z.B. bei der Morgenaufheizung, wenn große Regelabweichungen stattfinden oder die Vorlauftemperatur bei der Heizung zu gering bzw. bei Kälteanlagen zu hoch ist. Das selbe passiert, wenn einige Raumthermostate oder Regler auf den Minimal- bzw. Maximalwert eingestellt sind oder einige Verbraucher zu klein dimensioniert wurden.

In diesem Fall, wenn keine Einregulierungsventile vorhanden sind, gibt es zu hohe Durchflussmengen in einzelnen Kreisen. Dadurch entstehen zu geringe Durchflussmengen in anderen Anlagenteilen.

Die Anlage wurde so dimensioniert, dass die maximal berechnete Leistung erreicht wird.

Eine HLK-Anlage wird für eine spezifische maximale Leistung ausgelegt. Wenn die Anlage nicht die volle Leistung an Verbraucher liefern kann, weil sie nicht einreguliert wurde, kann die gesamte Investition in die Anlage niemals von Nutzen sein. Wenn die Maximalleistung nicht erreicht wird, ist die Anlage nicht richtig geplant. Regelventile sind voll geöffnet, wenn die Maximalleistung erforderlich ist. Sie sind generell überdimensioniert und tragen nichts zur Einregulierung bei. Die hydraulische Einregulierung ist in diesem Fall unbedingt notwendig. Die Kosten dafür betragen weniger als 2 % der Gesamtinvestitionskosten in das HLK-System.

Die hydraulische Einregulierung unter Nennbedingungen garantiert, dass jeder Verbraucher zumindest die Nenndurchflussmengen in allen Lastzuständen erhält. Im Teillastgebiet, wenn einige Regelventile schließen, kann der verfügbare Differenzdruck an den Verbrauchern nur ansteigen. Treten zu geringe Durchflussmengen bei Nenndurchfluss gar nicht auf, treten sie auch unter anderen Lastzuständen nicht auf.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die hydraulische Einregulierung die Erreichung der erforderlichen Durchflussmengen sicherstellt. Die installierte Maximalleistung kann auf die Anlage übertragen werden und rechtfertigt die Gesamtinvestition in die Anlage.

Inbetriebnahme am Morgen

Jeden Morgen nach einer Nachtabsenkung wird die volle Leistung benötigt, um die gewünschten Behaglichkeitskriterien so schnell wie möglich zu erreichen. Eine gut einregulierte Anlage arbeitet sehr schnell. Wenn eine Kälteanlage dreißig Minuten früher als normalerweise erforderlich in Betrieb geht, erhöht diese den Energieverbrauch um 6 % pro Tag. Dies ist oft mehr als die gesamte Energieaufnahme aller Pumpen in der Verteilung. Stellen Sie sich vor, welche Kosten auftreten, wenn die Anlage zwei Stunden früher in Betrieb genommen werden muss.

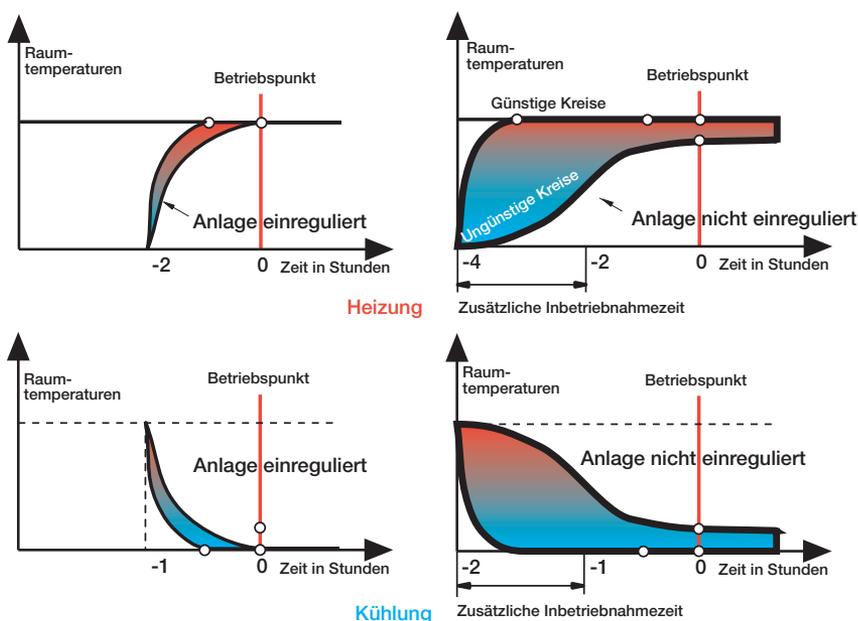


Abb. 5.01. Eine nicht einregulierte Heizungs-/Kälteanlage muss früher in Betrieb genommen werden. Dadurch erhöht sich der Energieverbrauch.

Während der Inbetriebnahme am Morgen nach einer Nachtabenkung sind die meisten Regelventile in Systemen mit variablen Durchflussmengen vollkommen geöffnet. Wenn die Anlage nicht einreguliert ist, gibt es zu hohe Durchflussmengen. Dies erzeugt unvorhersehbare Druckverluste in einigen Teilen des Rohrnetzes, während dadurch in weniger günstig gelegenen Teilen die Verbraucher zu wenig bekommen. Die ungünstigen Kreise erhalten nicht die entsprechende Durchflussmenge bis die günstig gelegenen Kreise ihren Sollwert des Raumthermostates erreicht haben (wenn diese Sollwerte vernünftig gewählt wurden). Danach beginnen die Regelventile zu schließen. Darüber hinaus sind die Durchflussmengen in der Verteilung und Erzeugung nicht vergleichbar, und die Nennvorlauftemperatur kann nicht erreicht werden. Dadurch erhöht sich die erforderliche Zeit, um die Anlage inklusiv der günstig gelegenen Kreise in Betrieb zu nehmen, um ihre Nennraumtemperaturen zu erreichen. Die Inbetriebnahme ist aus diesem Grund schwierig und dauert länger als erwartet. Das ist von Seiten des Energieverbrauches teuer. Eine ungleichmäßige Morgeninbetriebnahme macht die Regelung mit einem Zentralregler und jede Form der Optimierung praktisch unmöglich.

In Verteilungssystemen mit konstantem Durchfluss bleiben zu geringe und zu hohe Durchflüsse während und nach der Startphase gleichermaßen bestehen und machen das Problem wesentlich schwieriger lösbar.

5.1.6 ERHÖHEN REGULIERVENTILE DIE ENERGIEKOSTEN DER PUMPE?

Wenn Einregulierungsventile richtig eingestellt sind, nehmen sie nur den zu viel vorhandenen Differenzdruck, der entsteht, da die Anlage nicht überall gleiche Rohrlängen und Widerstände aufweist, lokal auf und stellen sicher, dass die Nenndurchflussmenge unter Nennbedingungen erreicht wird. Wenn Einregulierungsventile voll geöffnet sind, müssen Regelventile schließen, um dies zu kompensieren. Die Reibungsenergie kann auf diese Art nicht eingespart werden, sondern wird nur vom Regulierventil in das Regelventil verlagert. Es ist in diesem Fall sehr offensichtlich, dass Einregulierungsventile keinen zusätzlichen unnötigen Druckverlust erzeugen. Einregulierungsventile verhindern andererseits zu hohe Durchflussmengen und verringern die Energieaufnahme der Pumpe.

5.2. Mindestdurchfluss in Systemen mit variabler Verteilung

In einem System mit variabler Durchflussmenge und stetig wirkenden Regelventilen kann die Durchflussmenge auf 20 % der Nenndurchflussmenge absinken, wenn die Last nur mehr 50 % der Nennlast beträgt. Dies ist eine sehr häufig auftretende Situation. Die Pumpe ist nicht in der Lage unter einem bestimmten Mindestdurchfluss zu arbeiten. Dieser Mindestwert hängt von der Pumpenkonstruktion ab.

Um die Pumpe zu schützen, muss nach der Pumpe ein Überströmventil (siehe Abb. 5.02) installiert werden. Diese Stelle ist jedoch nicht der beste Platz dafür.

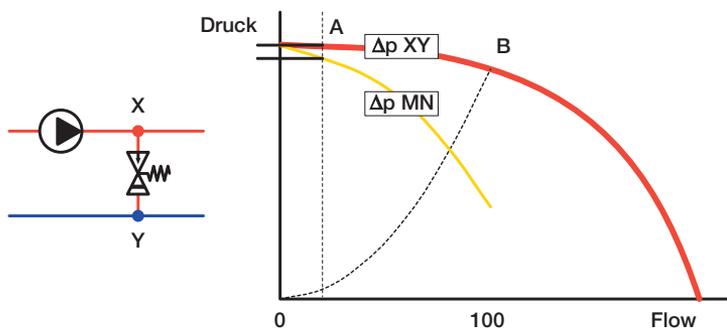


Abb. 5.02. Ein Überströmventil wird nahe der Pumpe (XY) oder am weitest entfernten Verbraucher (MN) installiert.

In diesem Fall muss z.B. das Überströmventil so eingestellt werden, dass es öffnet, wenn die Gesamtdurchflussmenge unter 20 % der Nenndurchflussmenge fällt. Der entsprechende Druck entspricht Punkt A auf der Pumpenkennlinie.

Wird nun das Überströmventil etwas höher als Punkt A eingestellt, wird es niemals öffnen. Wird es etwas darunter eingestellt, ist es geöffnet, wenn der Durchfluss in der Anlage hoch genug ist. Es ist nur möglich den richtigen Sollwert zu finden, wenn die Pumpenkennlinie relativ steil ist. Die Einstellung muss nach einiger Zeit korrigiert werden, da ältere Pumpen nicht die gleiche Charakteristik haben wie neue.

Wenn das Überströmventil jedoch weit entfernt von der Pumpe installiert wird, ändert sich der Differenzdruck mit der Durchflussmenge, weil der Differenzdruck zusätzlich vom variablen Druckverlust in den Rohren und Einbauteilen abhängt. Der Sollwert des Überströmventils ist wesentlich einfacher einzustellen (Kurve Δp MN).

Einige Planer bevorzugen ein Überströmventil (BPV) am Ende jedes Stranges oder jedes Abzweiges, um eine minimale Durchflussmenge sicherzustellen, wenn die meisten Regelventile geschlossen haben. Eine andere Methode ist, an einigen Verbrauchern ein Dreiwegventil statt des Durchgangsventils zu verwenden, um die Mindestdurchflussmenge sicherzustellen.

Die Sicherstellung einer Mindestdurchflussmenge hat mehrere Vorteile:

1. Der Durchfluss in der Pumpe fällt nicht unter einen bestimmten Mindestwert.

2. Wenn der Durchfluss zu gering ist, können Wärmeverluste in den verbleibenden Verbrauchern eine höhere Spreizung ΔT hervorrufen. Diese sind nicht in der Lage, ihre volle Leistung, wenn dies erforderlich ist, zu liefern, da ihre Vorlauftemperatur bei Heizung zu gering und bei Kühlung zu hoch ist. Eine Mindestdurchflussmenge verringert diesen Effekt.
3. Wenn in Heizungsanlagen alle Regelventile auf einem Steigstrang schließen, wird auch der Differenzdruckregler STAP schließen. Der statische Druck wird durch die Abkühlung des Wassers in diesem vom Ausdehnungsgefäß getrennten Anlagenteil abnehmen. Dadurch wird der Differenzdruck über die Regelventile wesentlich höher. Als Ergebnis wird das Regelventil, das als erstes öffnet, wahrscheinlich ein lautes Geräusch verursachen. Ein Überströmventil BPV kann einen Mindestdurchfluss aufrecht erhalten und dieses Problem lösen.

5.3 Verschiedene Arten der Regelung einer drehzahlgeregelten Pumpe

Mit einer drehzahlkonstanten Pumpe erhöht sich die Pumpenförderhöhe, wenn die Durchflussmenge abnimmt.

Mit einer drehzahlkonstanten Pumpe und einer Standardverteilung (Abb. 5.03a) basiert die Berechnung des nahe der Pumpe installierten Regelventils auf dem zur Verfügung stehenden Differenzdruck AB des Kreises. Wenn die gesamte Anlage bei geringen oder kleinen Lasten arbeitet, erhöht sich die Pumpenförderhöhe und der Druckverlust in den Rohren verringert sich. Dadurch steigt der nun für den Kreis zur Verfügung stehende Differenzdruck von (AB) auf $(A'B')$ an. Dieser Anstieg hat keine direkte Auswirkung auf die Ventilautorität. Die Situation ist jedoch für den letzten Verbraucher, der eine sehr große Veränderung im Differenzdruck von (EF) -Auslegung) auf $(E'F')$ erreicht, sehr unterschiedlich. Dadurch verringert sich die Autorität des Regelventils sehr stark. Das Risiko der Instabilität erhöht sich.

Mit einer Tichelmann-Verrohrung (Abb. 5.03b) ist dieses Problem nicht gelöst, da alle Verbraucher den gleichen Differenzdruckschwankungen ausgesetzt sind.

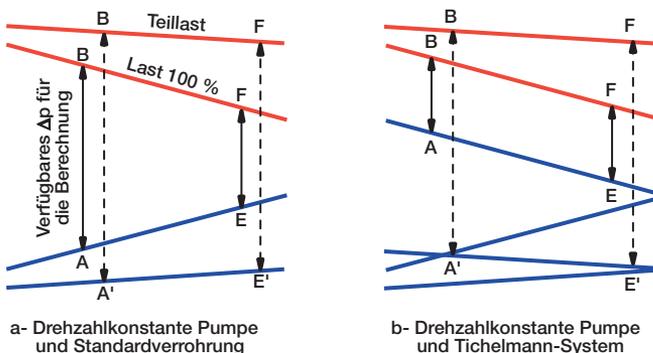


Abb. 5.03. Eine drehzahlkonstante Pumpe bei einem Standardsystem und einem Tichelmann-System.

Ist es möglich, mit einer drehzahlgeregelten Pumpe die Pumpenförderhöhe zu reduzieren, wenn sich die Durchflussmenge verringert?

Es ist nicht logisch, den Differenzdruck zu erhöhen, wenn die Regelventile versuchen, die Durchflussmenge zu verringern. Mit einer drehzahlgeregelten Pumpe kann eine konstante Förderhöhe erreicht werden. Geht man in dieser Richtung einen Schritt weiter, kann sogar die Pumpenförderhöhe verringert werden, wenn der Durchfluss abnimmt. Dennoch kann die Gesamtdurchflussmenge auf 50 % reduziert werden, wenn entweder alle Verbraucher 50 % der Nenndurchflussmenge benötigen oder wenn die Hälfte der Verbraucher unter Volllast arbeitet, während die anderen abgeschaltet sind. Im ersten Fall kann die Pumpenförderhöhe wahrscheinlich reduziert werden. Im zweiten Fall darf sich die Pumpenförderhöhe nicht verändern, da einige Verbraucher die Nenndurchflussmenge benötigen. Aus diesem Grund ist die Art der Regelung einer drehzahlgeregelten Pumpe sehr wichtig und gut zu überlegen.

Aufrechterhaltung eines konstanten Differenzdruckes am letzten Verbraucher

Einige Planer geben der Energieaufnahme der Pumpen so viel Bedeutung, dass sie die gesamte Anlagenausführung nur diesem einen Zweck anpassen. Dabei wird nicht in Betracht gezogen, dass dies Auswirkungen auf den Komfort und die Behaglichkeit hat. Es ist richtig, dass die Energieaufnahme der Pumpe ziemlich genau abgeschätzt werden kann. Dies ist ein wichtiger Grund, darauf zu achten. In einer einregulierten Anlage mit konstanter Durchflussmenge betragen die tatsächlichen Energiekosten für die Pumpe in Prozent des Gesamtverbrauches der Energieerzeuger ungefähr 2 % bei der Heizung und 6–12 % bei der Kühlung. Diese Werte verringern sich in einem System mit variabler Durchflussmenge.

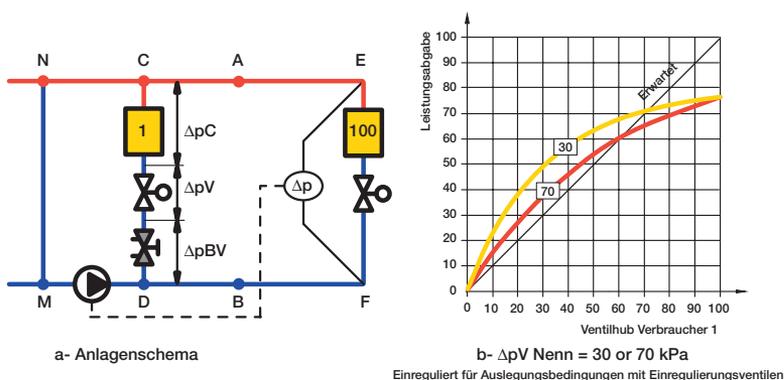


Abb. 5.04. Konstanter Differenzdruck wird am letzten Verbraucher sichergestellt. Was passiert, wenn alle Verbraucher bei 50 % arbeiten, während Verbraucher 1 die volle Leistung benötigt?

Abb. 5.04a zeigt, was in einer Anlage mit 100 gleichen Verbrauchern passiert. Unter Nennbedingungen: $\Delta p_{CD} = 87 \text{ kPa}$ und $\Delta p_{EF} = 25 \text{ kPa}$. Für den Verbraucher EF beträgt der Nenndruckverlust im Regelventil $12,5 \text{ kPa}$ (Autorität 0,5). Für den ersten Verbraucher ist die beste Wahl 70 kPa (Autorität $70/87 = 0,8$).

Wenn alle Verbraucher mit 50 % Leistung arbeiten und nur Verbraucher 1 im Vollbetrieb ist, fällt der Differenzdruck Δp_{CD} von 87 auf 27 kPa . Die Nenndurchflussmenge kann im Verbraucher 1 (Abb. 5.03b) nicht mehr erreicht werden. Er fällt auf:

$$100 \times \sqrt{\frac{27}{87}} = 56 \% \text{ und die Leistungsabgabe beträgt } 78 \%$$

Ist dies jedoch ein Ausnahmefall und ist die Verringerung der Leistung um 22 % des Verbrauchers 1 akzeptabel, dann ist die Planung richtig.

Stellen wir uns jedoch vor, dass diese Situation nicht akzeptabel ist, was meist zutrifft.

Um dieses Problem zu lösen, muss der Nenndruckverlust des Regelventils 1 mit $12,5 \text{ kPa}$ gewählt und das Einregulierungsventil entfernt werden. Dieser Verbraucher kann nun die Nenndurchflussmenge mit nur 27 kPa verfügbaren Differenzdruck erreichen. Dennoch wird während der Startphase das Regelventil voll öffnen und weist einen verfügbaren Differenzdruck Δp von 87 kPa für diesen Kreis auf. In diesem Fall erreicht der Durchfluss im Kreis 1 187% des Nennwertes. Die Pumpe läuft auf Vollast und kann die 25 kPa nicht erreichen, die an den letzten Verbrauchern erforderlich sind. Es entsteht dadurch eine Unterversorgung. Zu hohe Durchflussmengen erzeugen zu geringen Durchfluss in anderen Teilen der Anlage. Dies hat Reklamationen der Benutzer zur Folge.

Darüber hinaus kann jedoch eine generell zu hohe Durchflussmenge den Durchfluss im Bypass MN umkehren. Dadurch entsteht ein Mischpunkt im Punkt M und es erhöht sich die Vorlauftemperatur bei der Kälte. Die Morgenbetriebnahme ist aus diesem Grund sehr schwierig.

Eine Lösungsmöglichkeit besteht darin, einen konstanten Differenzdruck von $12,5 \text{ kPa}$ über dem Regelventil mit einem dezentralen Differenzdruckregler sicherzustellen. In diesem Fall ist der Durchfluss immer auf den Nennwert begrenzt, die Autorität des Regelventils bleibt ständig nahe $0,7$ (siehe Abb. 4.07).

Regelung des Differenzdruckes Δp in der Mitte der Anlage

In Abb. 5.04a kann der Differenzdruck ebenfalls in der Mitte der Anlage konstant gehalten werden (AB anstatt von EF). Nehmen wir nun das gleiche Beispiel wie zuvor: Der Sollwert beträgt 56 kPa . Wenn die durchschnittliche Leistung nahe Null ist, beträgt der maximale Durchfluss, der am ersten Verbraucher zur Verfügung stehen würde, 80% . Dadurch reduziert sich die maximale Leistungsabgabe um 6% . Für den letzten Verbraucher nimmt die Autorität des Regelventils von $0,5$ auf $0,22$ ab. Das kann akzeptabel sein. Die Einsparung der Energie für die Pumpe ist wesentlich geringer im Vergleich zu einer Anlage mit einer Konstanthaltung des Differenzdruckes am letzten Verbraucher.

Regelung der drehzahlgeregelten Pumpe mit Hilfe von mehreren Fühlern/Reglern

Eine drehzahlgeregelte Pumpe erlaubt die Verringerung der Pumpenförderhöhe im Teillastgebiet. Damit verringert sich auch der Energiebedarf der Pumpe. Im Teillastgebiet kann, wenn der Differenzdruckfühler richtig platziert ist, die Autorität der Regelventile sehr stark verbessert und damit eine bessere Raumtemperaturregelung garantiert werden.

Die Frage ist: Wo montieren wir den Differenzdruckfühler?

Nehmen wir nun die in Abb. 3.08 dargestellte Anlage.

In diesem Fall kann die Regelung der drehzahlgeregelten Pumpe optimiert werden, wenn man zwei Fühler /Regler verwendet. Der mit dem höchsten Bedarf regelt die drehzahlgeregelte Pumpe.

Der erste Fühler/Regler wird auf 113 kPa eingestellt und kontrolliert den Vorlauf des Kreises J, während der zweite auf 73 kPa eingestellte den Abzweig für Kreis E überwacht (Abb.3.08).

Wenn die Anlage nun mit 50 % Durchflussmenge arbeitet, beträgt die Pumpenförderhöhe 130 kPa statt 250 kPa, die sich mit einer drehzahlkonstanten Pumpe ergeben würden (Abb. 3.12).

Diese Lösung zeigt eine sehr große Einsparung der Energiekosten für die Pumpe, ohne dass einzelne Kreis unterversorgt werden. Die Autorität der Regelventile wird bei kleinen Lasten oder Teillast ebenfalls verbessert.

5.4 Energiekosten der Pumpe im Vergleich zu den Kosten für Unbehaglichkeit

Wenn man typische Werte für eine gut einregulierte Anlage mit konstantem Durchfluss verwendet, können die relativen Kosten für die Pumpe in Prozent des Jahresverbrauches des Energieerzeugers mit Hilfe folgende Formel abgeschätzt werden:

$$C_{pr} = \frac{1,42 \times H}{S_c \times \Delta T_c} \% , \text{ mit}$$

H = Pumpenförderhöhe in Meter WS

ΔT_c = ΔT Nenn in K

S_c = durchschnittliche Jahresleistung / Nennleistung

In Kälteanlagen: Für $\Delta T_c = 6$ K, $S_c = 0,8$ und $H = 20$ mWs, Wenn $C_{pr} = 6\%$, $S_c = 0,4$, $C_{pr} = 12\%$.

In Heizungsanlagen: Für $\Delta T_c = 20$ K, $S_c = 0,4$ und $H = 10$ mVp, blir $C_{pr} = 1,8\%$.

In einem einregulierten System mit konstanter Durchflussmenge in der Verteilung sind die wirklichen Energiekosten für die Pumpe in Prozent des Jahresenergieverbrauches der Erzeugung rund 2 % bei Heizung und 6–12 % bei Kühlung. Diese Werte verringern sich in Systemen mit variabler Durchflussmenge in der Verteilung.

In einem äquivalenten Weg können wir die zusätzlichen Energiekosten berechnen, die entstehen, wenn die Raumtemperatur konstant abweicht. Dies ist:

In Kälteanlagen: 1 K zu geringe Temperatur zwischen 10 und 16 %

In Heizungsanlagen: 1 K zu hohe Temperatur zwischen 6 und 10 %

In den meisten Fällen kostet 1 K Abweichung in der Raumtemperatur mehr als alle Energiekosten der Pumpen in den Verteilungen. Zusammenfassend muss gesagt werden, dass alle Aktivitäten, die erfolgen, um den Energiebedarf der Pumpen zu reduzieren, unbedingt so gewählt werden müssen, dass sie die Funktion der Regelventile an den Verbrauchern nicht negativ beeinflussen.

Eine Erhöhung des ΔT_c kann die relativen Pumpenkosten verringern. In Heizungsanlagen sind zum Beispiel einige Anlagen für ein $\Delta T_c = 10$ K ausgelegt, während es in anderen Ländern üblich ist $\Delta T_c = 30$ K zu verwenden.

Eine proportionale Regelung erlaubt es ebenfalls, die Energieaufnahme der Pumpe zu verringern. Bei On/Off-Regelungen wird 50 % Leistung mit ungefähr 50 % Durchfluss erreicht, während bei einer stabilen Proportionalregelung 50 % mit nur 20 % Durchfluss erreicht werden können (Abb. 3.03 a).

Mit einer drehzahlgeregelten Pumpe – sagt man – ist das Potential für Energieeinsparung abhängig vom Durchfluss. Das ist zu optimistisch. Die Energieaufnahme der Pumpe hängt vom Produkt $H \times q$ (Pumpenförderhöhe \times Durchfluss) ab. Das Δp (=H) der Anlage hängt von $R \times q^2$ (Widerstand der Anlage \times dem Quadrat des Durchflusses) ab. R ist aber nicht konstant. Es erhöht sich, um den Durchfluss zu verringern, damit ist H nicht proportional q^2 .

Eine bessere Annäherung zur Abschätzung der Energieaufnahme von drehzahlgeregelten Pumpen ist nachstehend angegeben:

$$W = \frac{50 \times (2 - a) \times \lambda \times (a + C + \lambda^2 - C\lambda^2) \times \eta_d}{\eta}$$

Mit W = Pumpenkosten in % der Nennkosten

$$C = \frac{\Delta p \text{ Nenn nahe dem entferntesten Verbraucher}}{\text{Nennpumpenförderhöhe}}$$

λ = Durchflussverhältnis η = elektrischer Wirkungsgrad \times Pumpenwirkungsgrad

η_d = η unter Nennbedingungen

$a = 0$, wenn das Δp nahe dem letzten Verbraucher konstant gehalten wird.

$a = 1$, wenn das Δp in der Mitte der Anlage konstant gehalten wird

Beispiel: $\lambda = 0,5$ (50 % fluss), $C = 0,2$, $\eta = 0,6 \times 0,67 = 0,4$, Für $a = 1$, bei $W = 57$ %.



Tour & Andersson GesmbH

Postfach 45, A-2353 Guntramsdorf. Tel. +43 2236 23000-0, Fax +43 2236 25762
E-Mail: info@tah.at www.tourandersson.com