



WISSEN

Hydraulik in der Gebäudetechnik

[siemens.com/buildingtechnologies](https://www.siemens.com/buildingtechnologies)

SIEMENS

Inhaltsverzeichnis

1	Hydraulische Kreise.....	6
1.1.	Hauptteile einer hydraulischen Anlage.....	6
1.2.	Darstellung hydraulischer Kreise	7
1.3.	Verbraucher-Grundsaltungen.....	10
1.3.1.	Mengenvariable und mengenkonstante Kreise.....	10
1.3.2.	Durchfluss- und Mischregelung.....	11
1.4.	Hydraulische Grundsaltungen	12
1.4.1.	Drosselschaltung.....	12
1.4.2.	Drosselschaltung mit PICV (druckunabhängiges Regelventil).....	13
1.4.3.	Einspritzschaltung mit Durchgangsventil	14
1.4.4.	Einspritzschaltung mit PICV (druckunabhängiges Regelventil)	15
1.4.5.	Beimischschaltung	16
	Beimischschaltung mit fester Vormischung	17
1.4.6.	Umlenkschaltung.....	18
1.4.7.	Einspritzschaltung mit Dreiwegventil.....	19
1.5.	Komponenten im Verbraucherkreis.....	20
1.5.1.	Stellglied.....	20
1.5.2.	Abgleichdrossel	22
1.5.3.	Umwälzpumpe	23
1.6.	Verteiler.....	24
1.6.1.	Kombinationen von Verteilern und Verbraucher-Schaltungen	25
1.6.2.	Druckarmer Verteiler	26
1.6.3.	Druckloser Verteiler.....	27
1.6.4.	Druckbehafteter Verteiler mit variablem Volumenstrom.....	28
1.6.5.	Druckbehafteter Verteiler mit konstantem Volumenstrom.....	29
2	Hydraulische Kennlinien	30
2.1.	Wärmeübertrager-Kennlinie und a-Wert	30
2.1.1.	Wärmeübertrager-Kennlinie	30
2.1.2.	a-Wert	31
2.2.	Ventilkennlinie	32
2.2.1.	k_V -Werte	32
2.2.2.	Stellverhältnis S_V und kleinster regelbarer Durchfluss k_{Vr} eines Ventils.....	33
2.2.3.	Ventilkennlinien	33
2.3.	Streckenkenlinie.....	35
2.3.1.	Ventil-Betriebskenlinie und Ventilautorität P_V	36
2.3.2.	Überdimensionierung eines Ventils.....	39
2.3.3.	Regeln im Schwachlastbereich	40
2.4.	Anlage- und Pumpenkenlinien, Betriebspunkt	41
2.4.1.	Die Anlagekenlinie (Rohrnetzkenlinie)	41
2.4.2.	Die Pumpenkenlinie	44
2.4.3.	Der Betriebspunkt der Pumpe.....	44
2.5.	Der Betrieb von Pumpen.....	46
2.5.1.	Der Betrieb von ungeregelten Pumpen.....	46
2.5.2.	Der Betrieb von geregelten Pumpen.....	47

3	Dimensionierung von Stellgliedern	50
3.1.1.	Leitungsteile mit variabler Wassermenge in hydraulischen Schaltungen.....	50
3.2.	Beispiel zur Ventildimensionierung.....	52
3.2.1.	Dimensionierung des Ventils (Stellglied).....	52
3.2.2.	Einfluss von Ventilautorität P_V auf Gesamtvolumenstrom bei 3-Weg-Ventilen	62
3.3.	Beispiel Warmwasser-Laderegulung.....	64
3.4.	Beispiel Luftkühler-Regelung mit PICV	69
	Anhang: Berechnung des a-Wertes	72
	Definition des a-Wertes:.....	72
	Formeln zur Berechnung des a-Wertes:	72

Einführung

Die Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik (HLK) hat zum Ziel, die Umgebung der Menschen angenehm und behaglich zu gestalten, sodass sie sich wohl fühlen.

Um diese Aufgabe zu lösen, muss in unserer Klimazone Wärme – aber auch Kälte – erzeugt werden und diese richtig dosiert, zur richtigen Zeit an den richtigen Ort gebracht werden.

Das Ziel der Hydraulik ist es, die dazu erforderlichen Elemente so in einen Kreislauf zwischen Energieerzeugung und Verbraucher einzubinden, dass optimale Betriebsbedingungen geschaffen werden für:

- Wärme-/ Kälteerzeuger (bez. Temperaturen, Wasserfluss, ...)
- Den Transport des Wärme-/ Kälte-trägers wie Wasser, Dampf, ...
- Die eingebauten Regeleinrichtungen

Lernprogramm "Hydraulik in der Gebäudetechnik"

Das Lernprogramm "Hydraulik in der Gebäudetechnik" beinhaltet eine fundierte Hydraulik-Grundausbildung und hat zum Ziel, Ihnen das notwendige Wissen für weiterführende Hydraulikkurse und Schulungen im Bereich der Regeltechnik zu vermitteln. Es richtet sich in erster Linie an Fachleute aus der Heizungs- und Klimabranche, die sich mit hydraulischen Anlagen oder deren Komponenten befassen und ihr Wissen auf diesem Gebiet auf- oder ausbauen möchten.

Im Lernprogramm "Hydraulik in der Gebäudetechnik" und in dieser Dokumentation erhalten Sie vor allem Informationen zur Hydraulik der Verbraucherseite.

Dies heißt nun aber nicht, dass die Erzeugerseite nicht wichtig ist – ganz im Gegenteil. Durch die kontinuierliche Weiterentwicklung der Wärme- und Kälteerzeuger werden hydraulische Überlegungen auch dort immer wichtiger. Es würde aber den Rahmen des Lernprogrammes sprengen, dies auch noch im Detail zu behandeln. Viele Erkenntnisse aus der Verbraucherseite werden Sie jedoch sinngemäß auch für die Erzeugerseite anwenden können.

Diese Dokumentation beinhaltet die wichtigsten Informationen aus den Lernmodulen des Lernprogramms "Hydraulik in der Gebäudetechnik". Sie ist auch als Begleit- und Referenzdokumentation zum Lernprogramm konzipiert. Zusätzlich enthält diese Dokumentation Beispiele zur Dimensionierung von Stellgliedern. Diese sind nicht Bestandteil des Lernprogramms, sondern Inhalt eines separaten Seminars zum Thema.

Die gezeigten Grafiken stammen größtenteils aus dem Lernprogramm. Viele davon sind im Lernprogramm animiert und interaktiv, d.h. Sie können ausprobieren, wie sich Schaltungen und Komponenten unter verschiedenen Bedingungen verhalten.

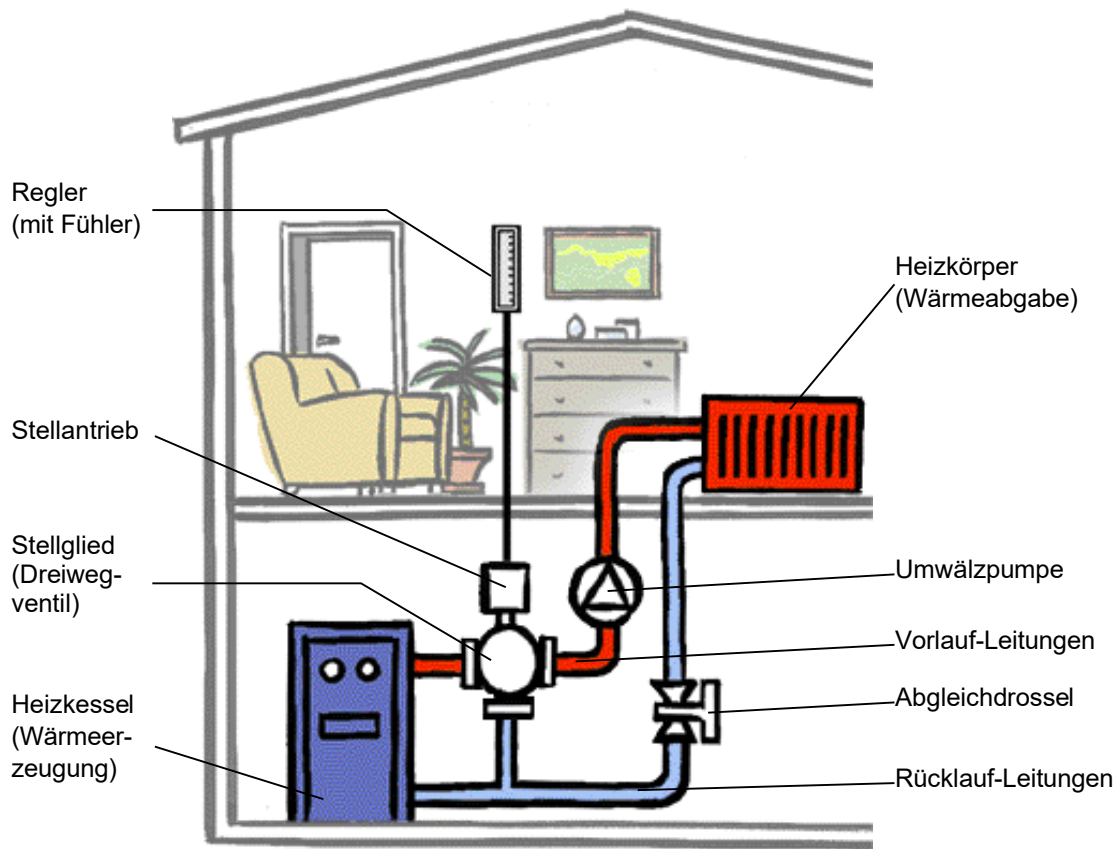
Lernprogramm nutzen

Haben Sie Interesse am Lernprogramm "Hydraulik in der Gebäudetechnik", dann kontaktieren Sie bitte Ihren Siemens Ansprechpartner.

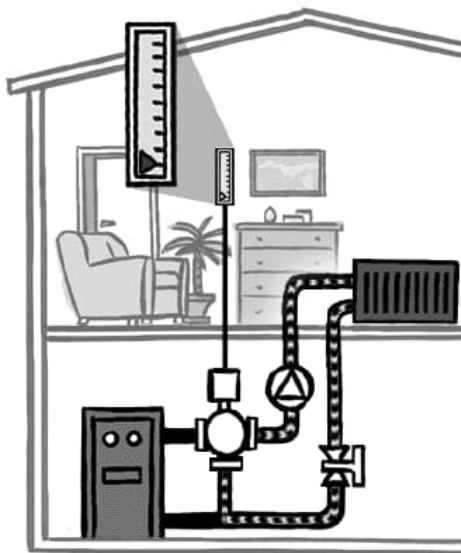


1 Hydraulische Kreise

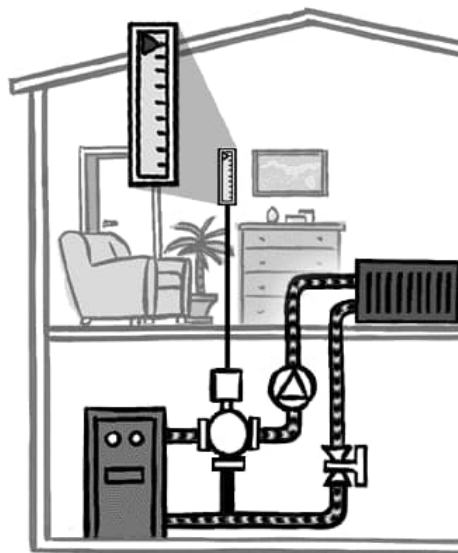
1.1. Hauptteile einer hydraulischen Anlage



Hauptteile einer hydraulischen Anlage



Zirkulation in einer hydraulischen Anlage (Ventil geschlossen)

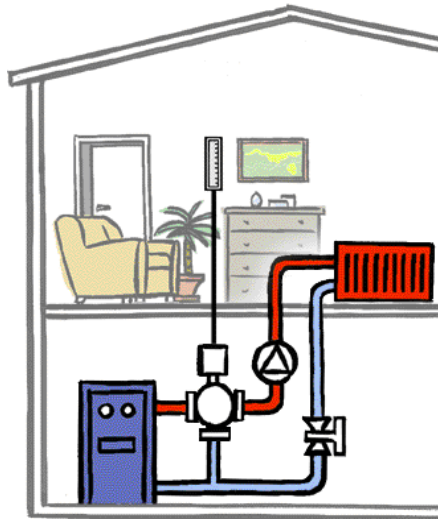


Zirkulation in einer hydraulischen Anlage (Ventil offen)

1.2. Darstellung hydraulischer Kreise

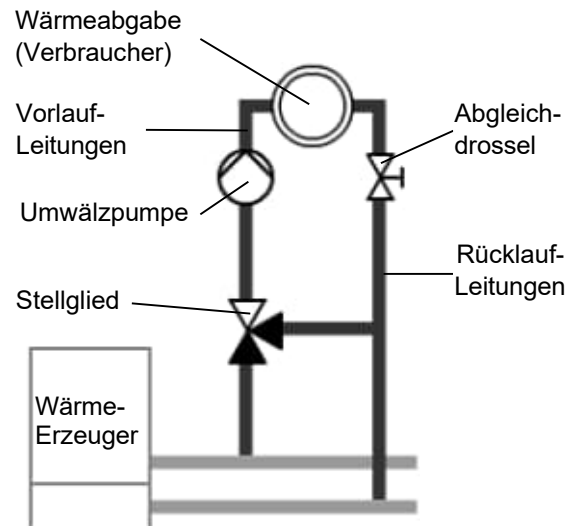
Die bisher gezeigten bildlichen Darstellungen einer hydraulischen Anlage sind für viele Personen sehr gut nachvollziehbar. Die anlagentechnischen Zusammenhänge lassen sich jedoch so nicht sehr gut darstellen, deshalb sind die bildlichen Darstellungen in Fachkreisen nicht üblich.

In der HLK-Branche werden deshalb vor allem schematische Darstellungen verwendet. Sie zeigen die Anlage und erlauben, die technischen Vorgänge und Zusammenhänge besser nachzuvollziehen.



Bildliche Darstellung einer Anlage

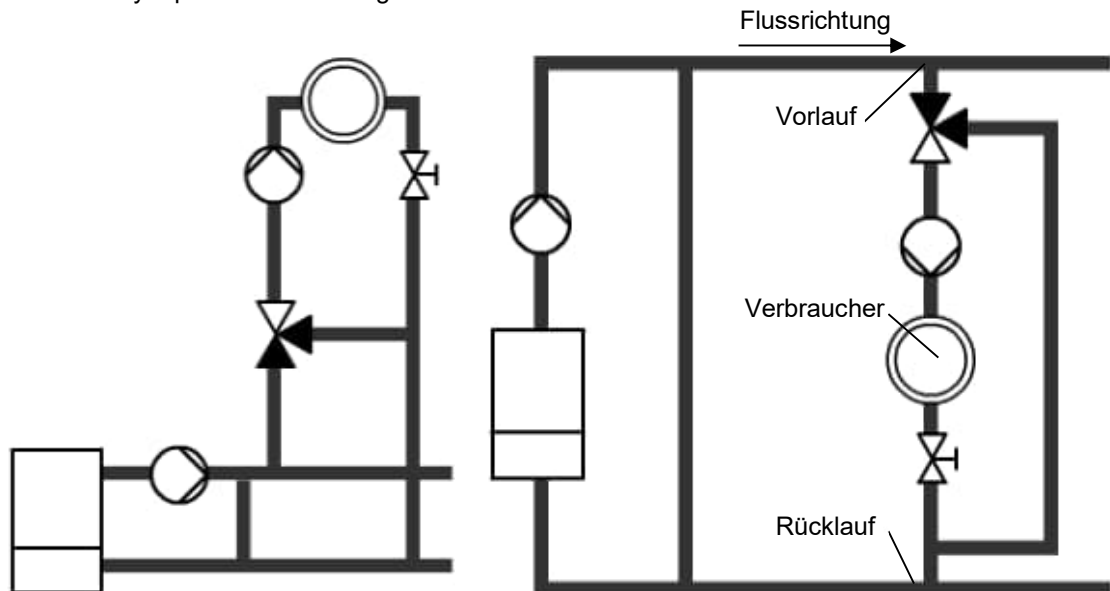
Von der bildlichen zur schematischen Darstellung



Schematische Darstellung einer Anlage

Es gibt zwei Arten von schematischen Darstellungen:

- Geografische Darstellung
- Synoptische Darstellung



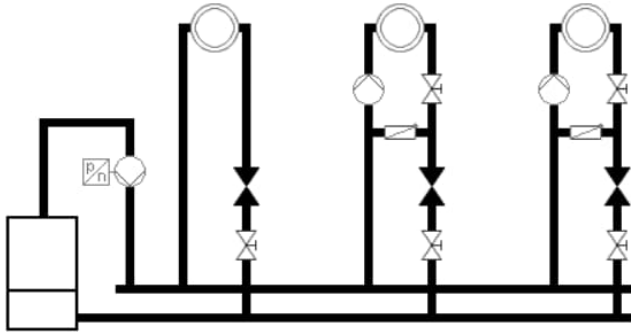
Geografische Darstellung

Synoptische Darstellung

Geografische und synoptische Darstellung einer einfachen Anlage

Geografische Darstellung

Die oben gezeigte schematische Darstellung, wird oft für einfache Anlagen verwendet. Sie wird geografische Darstellung genannt und weist einen engen Bezug zur konstruktiven Lösung auf.



Beispiel einer Heizungsanlage mit mehreren Verbrauchern in geographischer Darstellung

Für größere Anlagen wird die geographische Darstellung unübersichtlich, vor allem wenn komplexe Zusammenhänge der Verbraucher oder Erzeuger dargestellt werden müssen; z.B. eine Grundwasser-Wärmepumpe mit Speicher und zusätzlichem Heizkessel, die mehrere verteilte Verbraucherstationen bedient.

Deshalb und wegen des verbreiteten Einsatzes von CAD-Systemen kommt heute oft auch eine andere, strukturierte Darstellungsweise zur Anwendung.

Synoptische Darstellung

Die synoptische Darstellung erlaubt die schematische Darstellung von sehr komplexen und umfangreichen hydraulischen Anlagen in einer klar strukturierten und übersichtlichen Art und Weise.

Bei der synoptischen Darstellung sind einige wichtige Regeln zu beachten:

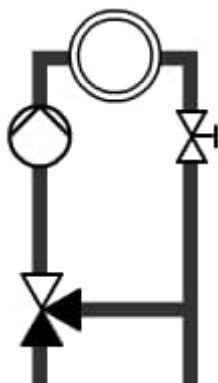
- Der Vorlauf wird oben gezeichnet, der Rücklauf wird unten gezeichnet. Man nennt dies oft auch die Versorgungsschiene.
- Erzeuger und Verbraucher werden parallel in Flussrichtung zwischen Vorlauf und Rücklauf eingezeichnet.

Hinweis zur Darstellung von Stellgliedern

Bei der schematischen Darstellung von hydraulischen Schaltungen ist es auch wichtig, dass gewisse Komponenten symbolisch korrekt dargestellt werden.

Ein Element, bei dem dies besonders wichtig ist, ist das Dreiweg-Stellglied (Ventil oder Hahn).

Die beiden Tore mit variablem Durchfluss werden ausgefüllt gezeichnet, das Tor mit konstantem Durchfluss unausgefüllt.



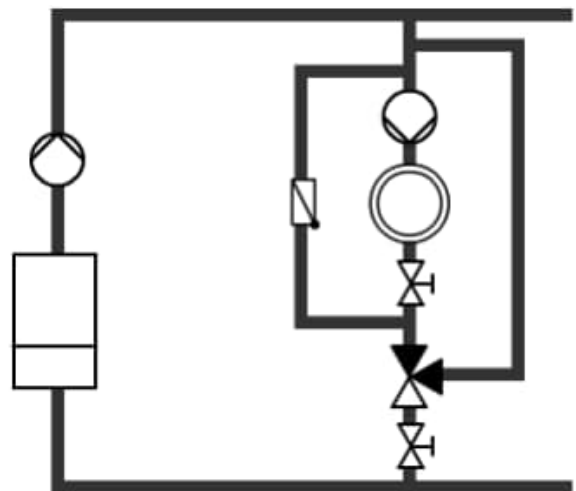
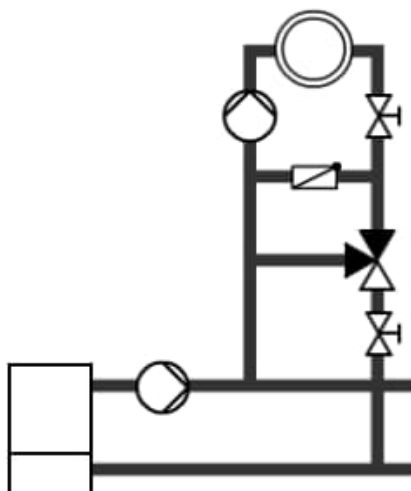
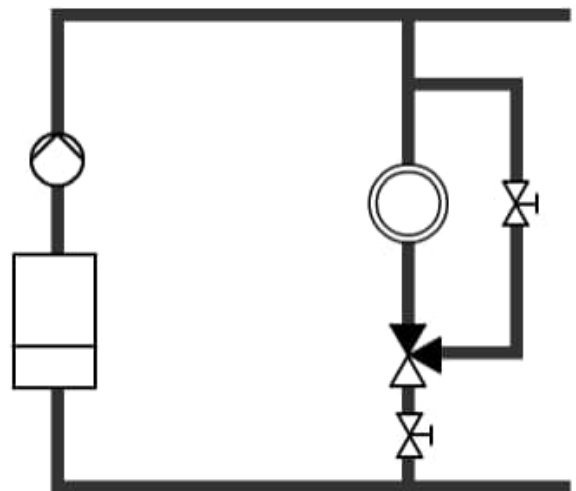
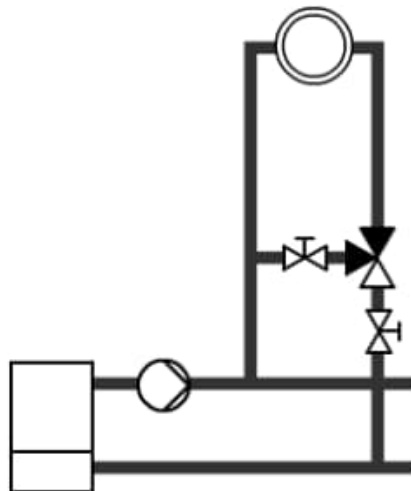
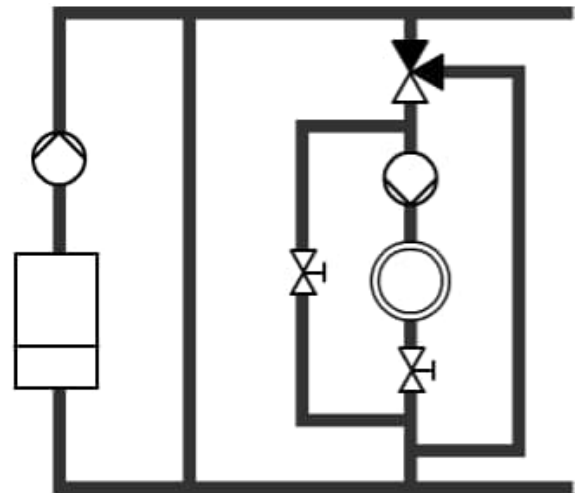
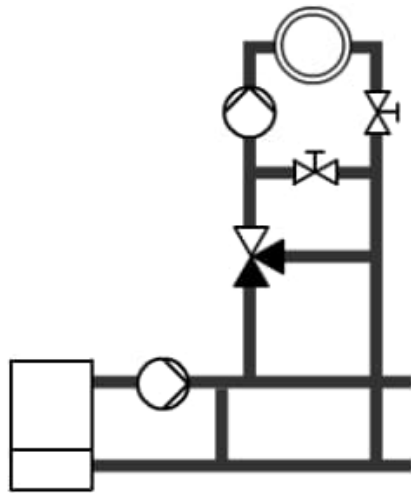
Schematische Darstellung von Ventiltoren:

ausgefüllt = variabler Durchfluss

unausgefüllt = konstanter Durchfluss

In vielen der schematischen Darstellungen im Lernprogramm "Hydraulik in der Gebäudetechnik" und in diesen Unterlagen sind Stellglieder ohne Antrieb dargestellt. Dies vor allem, um die Übersichtlichkeit der Zeichnungen zu verbessern. Zudem wird als Stellglied immer ein Ventil angenommen.

Beispiele von geographischen und synoptischen Darstellungen:



Geographische Darstellung

Synoptische Darstellung

1.3. Verbraucher-Grundsaltungen

1.3.1. Mengenvariable und mengenkonstante Kreise

Die Leistung (Wärme-/Kältemenge) an einem Erzeuger oder Verbraucher ist proportional zum Produkt aus Massenstrom und Temperaturdifferenz über dem Erzeuger oder Verbraucher.

$$\dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T$$

Für unsere Überlegungen und für übliche Anwendungen in der Gebäudetechnik nehmen wir die Dichte ρ und die spezifische Wärmekapazität c als konstant an. Damit ist die Leistung an einem Erzeuger oder Verbraucher proportional zum Produkt aus Volumenstrom und Temperaturdifferenz.

$$\dot{Q} \sim \dot{V} \cdot \Delta T$$

Bei hydraulischen Schaltungen können folglich folgende Größen zur Anpassung der Leistung herangezogen werden:

- Volumenstrom wird verändert (bei konstanter Temperatur)
 - ⇒ Mengenvariabler Betrieb
 - ⇒ Durchflussregelung
- Temperatur wird verändert (bei konstantem Volumenstrom)
 - ⇒ Mengenkonstanter Betrieb
 - ⇒ Mischregelung

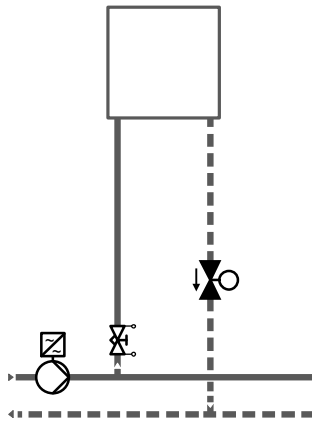
1.3.2. Durchfluss- und Mischregelung

Zur Durchflussregelung (mengenvariabel) und zur Mischregelung (mengenkonstant) gibt es jeweils zwei hydraulische Grundsaltungen.

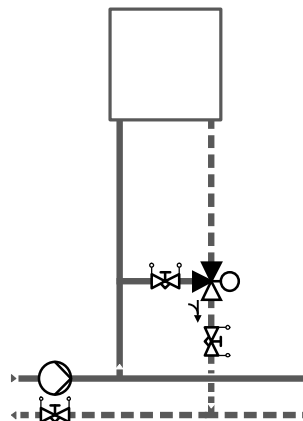
Durchflussregelung

Bei der Durchflussregelung (mengenvariable Kreise) sind dies:

- Drosselschaltung
- Umlenkschaltung



Drosselschaltung



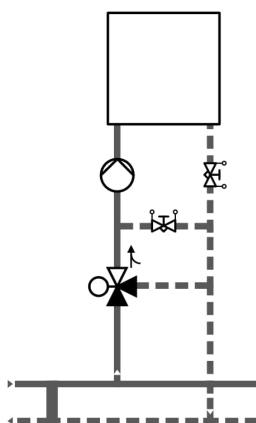
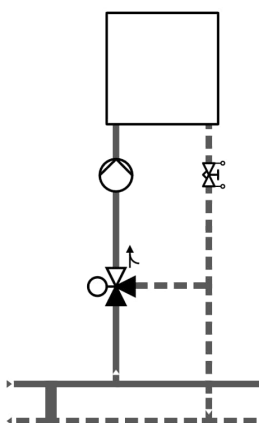
Umlenkschaltung

Beide verändern die Leistung durch unterschiedlichen Volumenstrom über den Verbraucher. Sie benötigen eine vorgelagerte Pumpe, die den Volumenstrom über den Verbraucher fördert.

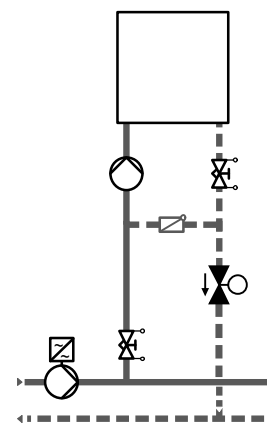
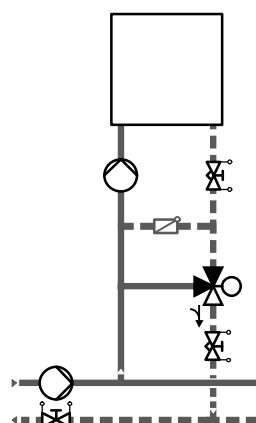
Mischregelung

Bei der Mischregelung (mengenkonstante Kreise) sind dies:

- Beimischschaltung (und Beimischschaltung mit fester Vormischung)
- Einspritzschaltung (mit Dreiweg- oder Durchgangsventil)



Beimischschaltung (ohne / mit fester Vormischung)



Einspritzschaltung (mit Dreiweg- und Durchgangsventil)

Beide Mischregelungen verändern die Leistung durch unterschiedliche Eintrittstemperaturen in den Verbraucher. Sie beinhalten eine eigene Pumpe, die den Volumenstrom über den Verbraucher fördert.

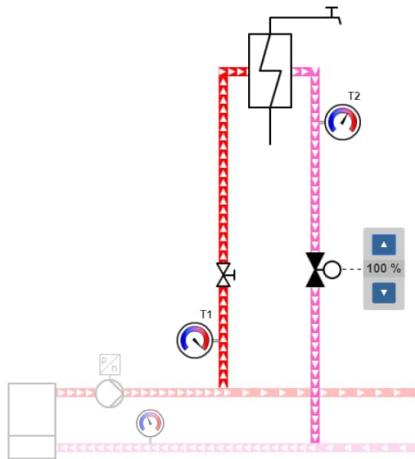
1.4. Hydraulische Grundsaltungen

1.4.1. Drosselschaltung

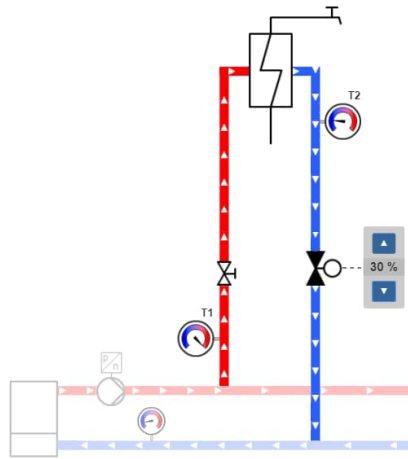
Funktionsweise

Wird das Ventil verstellt, beeinflusst dies den Volumenstrom sowohl im Erzeuger als auch über den Verbraucher. Überall ergeben sich starke Veränderungen der Druckverhältnisse.

Beispiel: Durchlauferhitzer Warmwasser



Ventil voll offen
Drosselschaltung



Ventil 30 % geöffnet (Strömungsgeschwindigkeit
in den mengenvariablen Leitungsteilen kleiner)

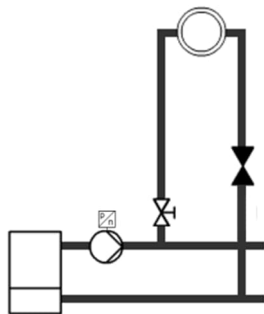
Eigenschaften

- Tiefe Rücklauftemperatur T2 im Teillastbetrieb (bei Heizung)
- Variabler Volumenstrom in der ganzen Anlage
- Beim Anfahren zeitliche Verzögerung der Eintrittstemperatur in den Wärmeübertrager (Totzeit – je nach Länge der Rohre)
- Bei geschlossenem Ventil kann die Pumpe überhitzen
(⇒ Einsatz drehzahl geregelter Pumpen)

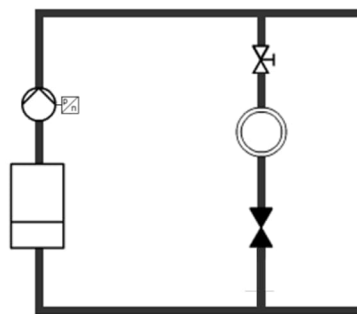
Einsatzgebiet

- Lufterwärmer ohne Einfriergefahr
- Luftkühler mit Entfeuchtung
- Warmwasserspeicher-Ladung
- Fernheizungsanschluss (direkt oder mit Wärmeübertrager)
- Speicherladung und Speicharentladung
- Anlagen mit Kondensationskessel

Darstellungsarten



Geographische Darstellung



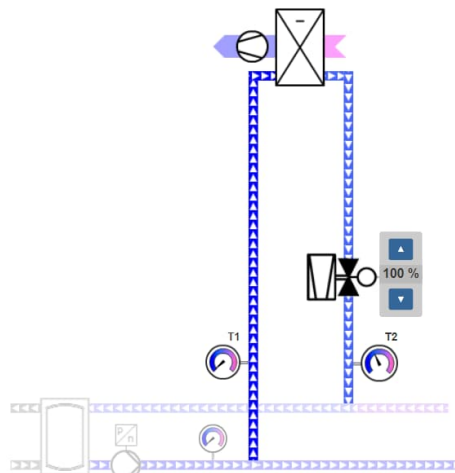
Synoptische Darstellung

1.4.2. Drosselschaltung mit PICV (druckunabhängiges Regelventil)

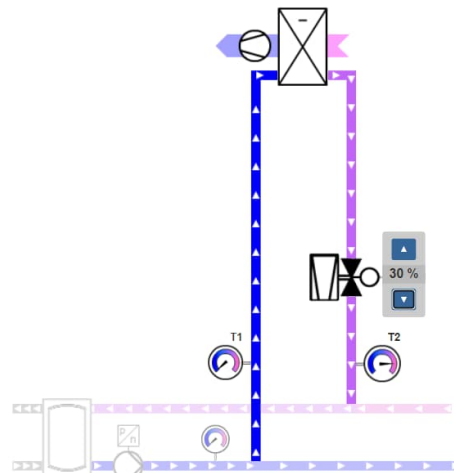
Funktionsweise

Wird das PICV verstellt, beeinflusst dies den Volumenstrom über den Verbraucher und auch über den Erzeuger (resp. hier über Speicher). Überall ergeben sich entsprechende Veränderungen der Druckverhältnisse. Der Differenzdruckregler im PICV benötigt von der Pumpe einen minimalen Druck $\Delta p_{\min}$, damit er seine Aufgabe, stabile Verhältnisse für das Regelventil zu schaffen, wahrnehmen kann.

Beispiel: Luftkühler mit Entfeuchtung



Ventil voll offen
Drosselschaltung mit PICV



Ventil 30 % geöffnet (Strömungsgeschwindigkeit
in den mengenvariablen Leitungsteilen kleiner)

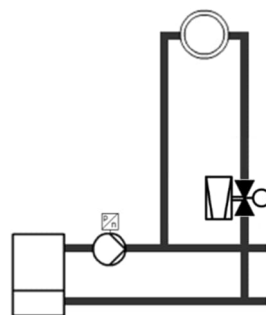
Eigenschaften

- Hohe Rücklauftemperatur T2 im Teillastbetrieb (bei Kühlung)
- Variabler Volumenstrom in der ganzen Anlage
- Beim Anfahren zeitliche Verzögerung der Eintrittstemperatur in den Wärmeübertrager (Totzeit – je nach Länge der Rohre)
- Bei geschlossenem Ventil kann die Pumpe überhitzen (⇒ Einsatz drehzahl geregelter Pumpen)

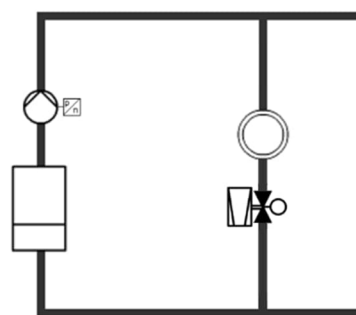
Einsatzgebiet

- Luftkühler mit Entfeuchtung
- Lufterwärmer ohne Einfriergefahr
- Warmwasserspeicher-Ladung
- Fernheizungsanschluss (direkt oder mit Wärmeübertrager)
- Speicherladung und Speicherentladung
- Anlagen mit Kondensationskessel

Darstellungsarten



Geographische Darstellung



Synoptische Darstellung

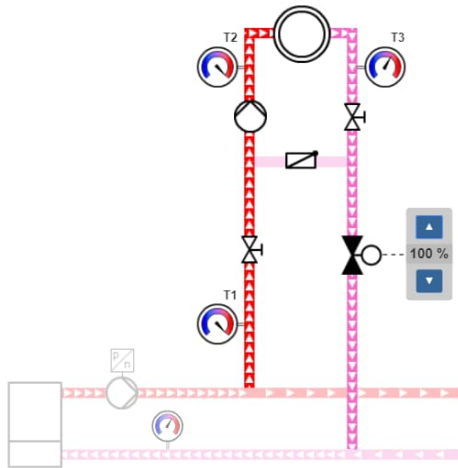
1.4.3. Einspritzschaltung mit Durchgangsventil

Funktionsweise

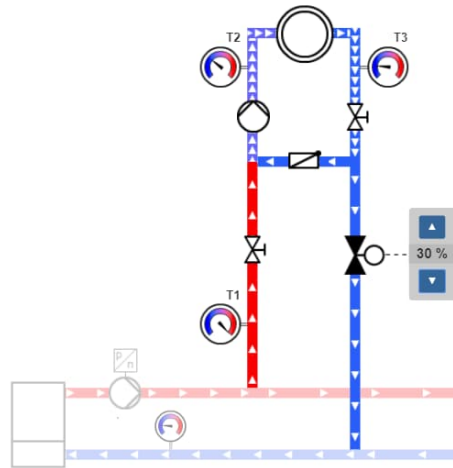
Durch die Pumpe im Erzeugerkreis wird – je nach Stellung des Durchgangsventils – mehr oder weniger heißes Vorlaufwasser in den Verbraucherkreis eingespritzt. Durch diese Schaltung erhält man im Verbraucherkreis einen konstanten Volumenstrom mit variabler Temperatur.

Im Erzeugerkreis hingegen ergeben sich große Änderungen von Volumenstrom und Druck, was bei Anlagen mit mehreren Gruppen berücksichtigt werden muss.

Beispiel: Heizungsgruppe für Raumheizung



Ventil voll offen
Einspritzschaltung mit Durchgangsventil



Ventil 30 % geöffnet (Strömungsgeschwindigkeit
in den mengenvariablen Leitungsteilen kleiner)

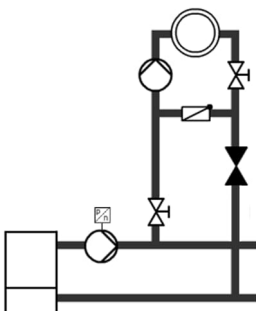
Eigenschaften

- Relativ tiefe Rücklauftemperatur T3 (bei Heizung)
(von kalt ... Verbraucher-Rücklauftemperatur bei 100 % Last)
- Gleichmäßige Temperaturverteilung über dem Wärmeverbraucher
- Konstanter Volumenstrom im Verbraucherkreis
- Variabler Volumenstrom im Erzeugerkreis
- Geringe Einfriergefahr bei Lufterwärmern
- Bei geschlossenem Ventil kann die Pumpe im Erzeugerkreis überhitzen
(⇒ Einsatz drehzahl geregelter Pumpen)

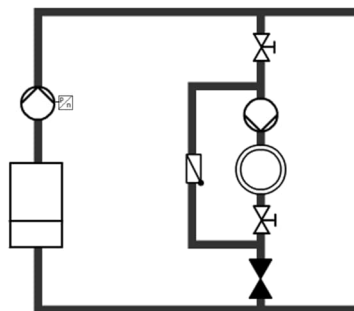
Einsatzgebiet

- Wärmespeicher und Wärmepumpen
- Niedertemperatur-Kesselanlagen (Brennwert-Kessel, kondensierende Kessel)
- Direkte Fernheizungsanschlüsse
- Radiator- und Fußbodenheizung
- Luftkühler ohne/mit Entfeuchtung

Darstellungsarten



Geographische Darstellung



Synoptische Darstellung

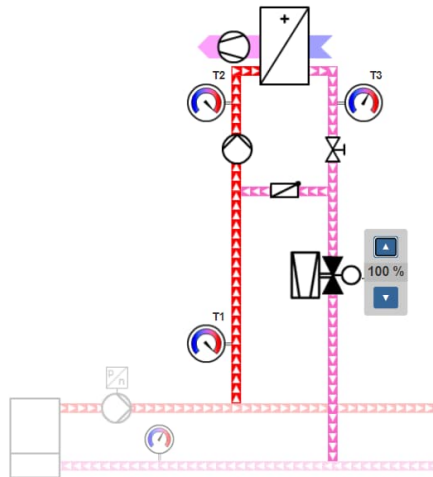
1.4.4. Einspritzschaltung mit PICV (druckunabhängiges Regelventil)

Funktionsweise

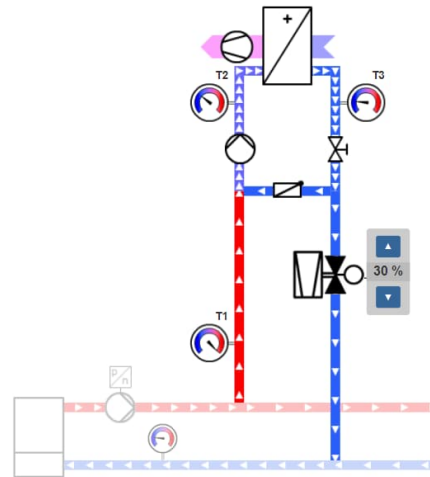
Durch die Pumpe im Erzeugerkreis wird – je nach Stellung des PICV – mehr oder weniger heißes Vorlaufwasser in den Verbraucherkreis eingespritzt. Durch diese Schaltung erhält man im Verbraucherkreis einen konstanten Volumenstrom mit variabler Temperatur.

Im Erzeugerkreis hingegen ergeben sich große Änderungen von Volumenstrom und Druck, was bei Anlagen mit mehreren Gruppen berücksichtigt werden muss.

Beispiel: Lufterwärmer



Ventil voll offen
Einspritzschaltung mit PICV



Ventil 30 % geöffnet (Strömungsgeschwindigkeit
in den mengenvariablen Leitungsteilen kleiner)

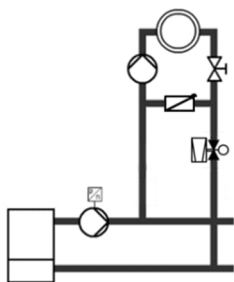
Eigenschaften

- Relativ tiefe Rücklauftemperatur T3 (bei Heizung)
(von kalt ... Verbraucher-Rücklauftemperatur bei 100 % Last)
- Gleichmäßige Temperaturverteilung über dem Wärmeverbraucher
- Konstanter Volumenstrom im Verbraucherkreis
- Variabler Volumenstrom im Erzeugerkreis
- Geringe Einfriergefahr bei Lufterwärmern
- Bei geschlossenem Ventil kann die Pumpe im Erzeugerkreis überhitzen
(⇒ Einsatz drehzahl geregelter Pumpen)

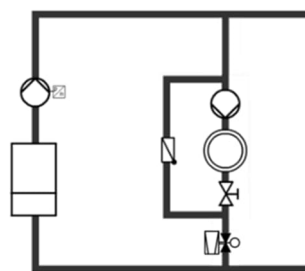
Einsatzgebiet

- Wärmespeicher und Wärmepumpen
- Niedertemperatur-Kesselanlagen (Brennwert-Kessel, kondensierende Kessel)
- Direkte Fernheizungsanschlüsse
- Radiator- und Fußbodenheizung
- Luftkühler ohne/mit Entfeuchtung

Darstellungsarten



Geographische Darstellung



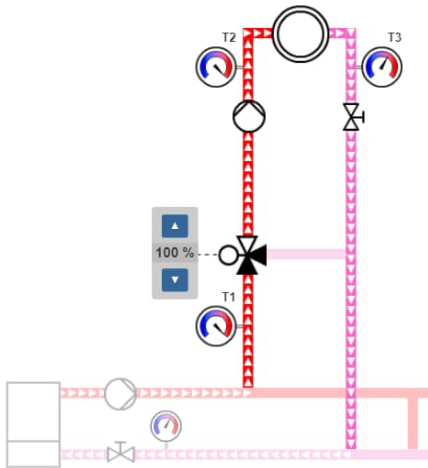
Synoptische Darstellung

1.4.5. Beimischschaltung

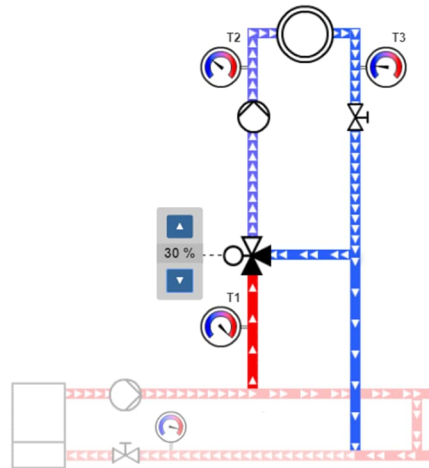
Funktionsweise

Ein Dreiweg-Stellglied unterteilt die Schaltung in Primärkreis (Erzeugerkreis) und Sekundärkreis (Verbraucherkreis). Heißes Erzeugerwasser und abgekühltes Rücklaufwasser werden gemischt, um die gewünschte Vorlauftemperatur in den Verbraucher zu steuern und damit dessen Leistung zu bestimmen.

Beispiel: Einfache Heizungsgruppe



Ventil voll offen
Beimischschaltung



Ventil 30 % geöffnet (Strömungsgeschwindigkeit
in den mengenvariablen Leitungsteilen kleiner)

Eigenschaften

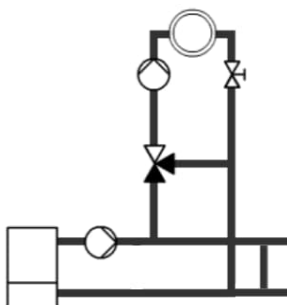
- Tiefe Rücklauftemperatur T3 bei kleiner Last (bei Heizung)
- Hohe Rücklauftemperatur T3 bei kleiner Last (bei Kühlung)
- Variabler Volumenstrom im Erzeugerkreis
- Konstanter Volumenstrom mit variabler Temperatur T2 im Verbraucherkreis
- Gleichmäßige Temperaturverteilung über dem Wärmeverbraucher
- Geringe Einfriergefahr bei Lufterwärmern

Die Schaltung ist nicht geeignet für Anlagen mit Distanzen über 20 m zwischen Bypass und Regelfühler (T2): Die lange Transportzeit (= Totzeit) erschwert die Regelaufgabe wesentlich.

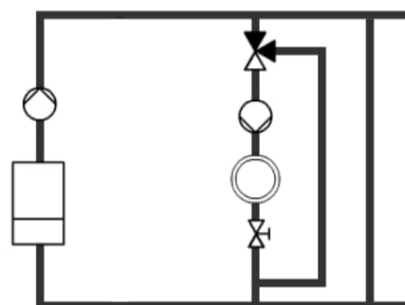
Einsatzgebiet

- Regelung von einfachen Heizungsgruppen
- Lufterwärmer mit Einfriergefahr

Darstellungsarten



Geographische Darstellung

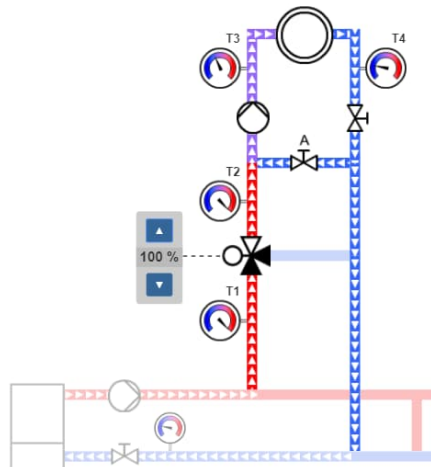


Synoptische Darstellung

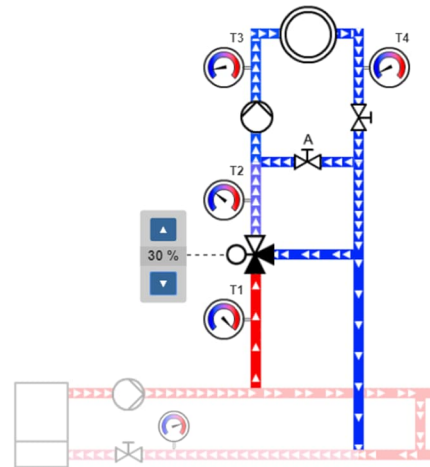
Beimischschaltung mit fester Vormischung

Ein Dreiweg-Stellglied unterteilt auch hier die Schaltung in Primärkreis (Erzeugerkreis) und Sekundärkreis (Verbraucherkreis). Zusätzlich wird durch die feste Vormischung immer ein bestimmter Anteil abgekühltes Rücklaufwasser dem Vorlauf beigemischt. Dies ist dann sinnvoll, wenn die gewünschte Vorlauftemperatur zum Verbraucher im Auslegezustand um einiges tiefer liegt als die vom Erzeuger angelieferte Vorlauftemperatur. So wird erreicht, dass das Dreiweg-Stellglied über den gesamten Stellbereich (geschlossen ... voll offen) arbeitet.

Beispiel: Heizungsgruppe für Fußbodenheizung



Ventil voll offen
Beimischschaltung mit fester Vormischung



Ventil 30 % geöffnet (Strömungsgeschwindigkeit
in den mengenvariablen Leitungsteilen kleiner)

Eigenschaften

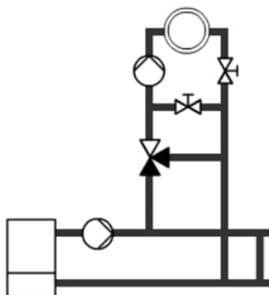
- Allgemein tiefe Rücklauftemperatur T4
- Variabler Volumenstrom im Erzeugerkreis.
- Konstanter Volumenstrom mit variabler Temperatur T3 im Verbraucherkreis
- Stellglied arbeitet über gesamten Hub

Die Schaltung ist nicht geeignet für Anlagen mit Distanzen über 20 m zwischen Bypass und Regelfühler (T3): Die lange Transportzeit (= Totzeit) erschwert die Regelaufgabe wesentlich.

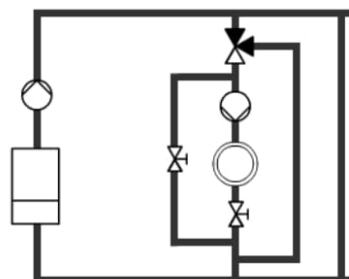
Einsatzgebiet

- Verbraucherkreise mit tieferer Vorlauftemperatur als der Erzeugervorlauf
- Fußbodenheizungen und Heizkörperheizungen mit Hochtemperatur-Erzeugern (z.B. Holz-Heizungskessel)

Darstellungsarten



Geographische Darstellung



Synoptische Darstellung

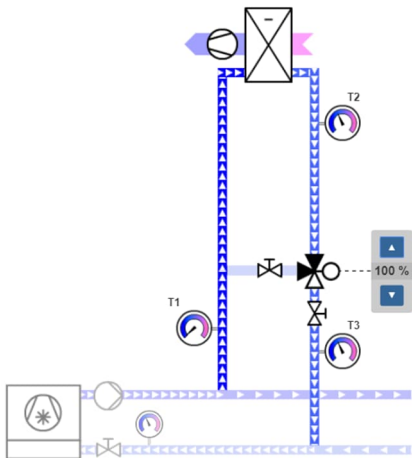
1.4.6. Umlenkschaltung

Funktionsweise

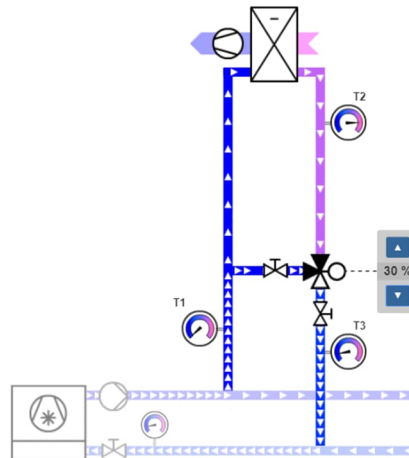
Der Volumenstrom des Vorlaufs wird je nach Ventilstellung zwischen Verbraucher und Bypass verteilt. Die Leistung im Verbraucher wird über den Durchfluss geregelt.

Bei geschlossenem Ventil sind die Temperaturen von Vor- und Rücklauf annähernd gleich, da der Verbraucher via Bypass umgangen wird.

Beispiel: Luftkühler mit Entfeuchtung



Ventil voll offen
Umlenkschaltung



Ventil 30 % geöffnet (Strömungsgeschwindigkeit
in den mengenvariablen Leitungsteilen kleiner)

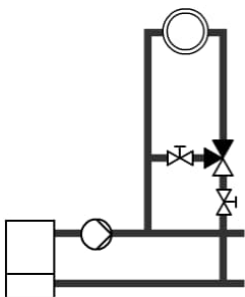
Eigenschaften

- Beeinflussung der thermischen Leistung im Verbraucher durch Änderung des Volumenstroms
- Variabler Durchfluss im Verbraucherkreis
- Konstanter Durchfluss und Druck im Erzeugerkreis
- Kühlen: Mittlere bis tiefe Temperatur T3 im Erzeugerrücklauf (Heizen: Mittlere bis hohe Temperatur T3 im Erzeugerrücklauf)
- Beim Anfahren Vorlauftemperatur vom Erzeuger mit wenig Verzögerung am Wärmeverbraucher (sofern das Stellglied genügend nahe beim Verbraucher ist)

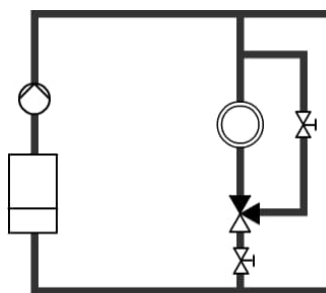
Einsatzgebiet

- Luftkühler mit Entfeuchtung
- Lufterwärmer ohne Einfriergefahr
- Wärmerückgewinnungssysteme
- Brauchwassererwärmung
- nicht geeignet für Anlagen mit Fernwärmeversorgung (hohe Rücklauftemperatur)

Darstellungsarten



Geographische Darstellung



Synoptische Darstellung

1.4.7. Einspritzschaltung mit Dreiwegventil

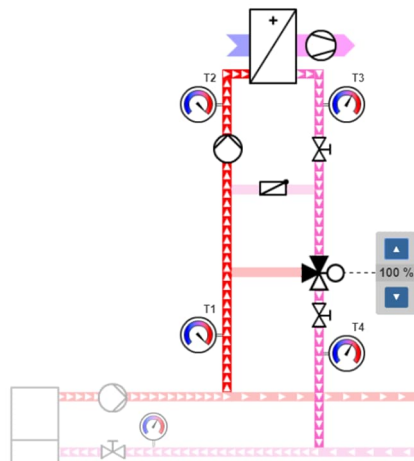
Funktionsweise

Die Pumpe unten links sorgt für den Druck im Erzeugerkreis, inklusive dem Druckabfall über dem Stellglied. Die Pumpe oben sorgt für den Druck im Verbraucherkreis.

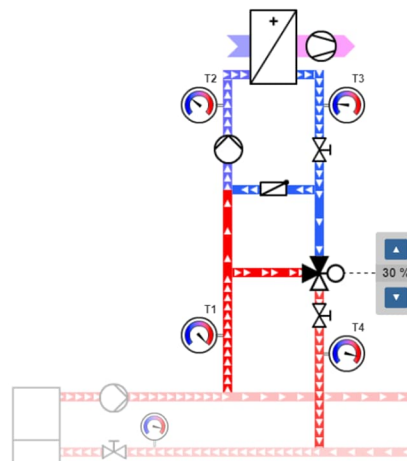
Die Erzeugerpumpe spritzt je nach Stellung des Dreiwegventils mehr oder weniger heißes Vorlaufwasser in den Verbraucherkreis ein. Dieses wird mit abgekühltem Verbraucher-Rücklaufwasser gemischt, welches von der Verbraucherpumpe über den Bypass angesaugt wird.

Im Verbraucherkreis erhält man einen konstanten Volumenstrom mit variabler Temperatur.

Beispiel: Lufterwärmer mit Einfriergefahr



Ventil voll offen
Einspritzschaltung mit 3-Weg-Ventil



Ventil 30 % geöffnet (Strömungsgeschwindigkeit
in den mengenvariablen Leitungsteilen kleiner)

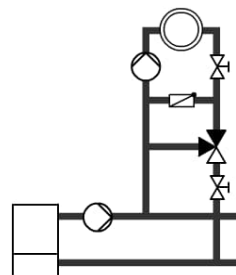
Eigenschaften

- Konstanter Durchfluss, sowohl im Erzeugerkreis wie auch im Verbraucherkreis
- Variabler Volumenstrom durch den Bypass
- Relativ hohe Rücklauftemperatur T4 zurück zum Erzeuger (entspricht bei Last = 0 % dem Erzeuger-Vorlauf und bei Last = 100 % dem Verbraucher-Rücklauf)
- Gleichmäßige Temperaturverteilung über dem Wärmeverbraucher
- Geringe Einfriergefahr bei Lufterwärmern

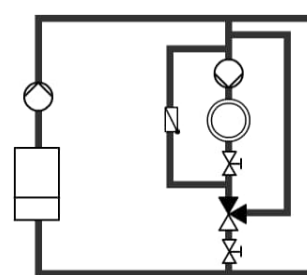
Einsatzgebiet

- Radiator- und Fußboden-Heizungen
- Lufterwärmer mit Einfriergefahr
- Luftkühler ohne geregelte Entfeuchtung
- Warmwasserspeicher-Ladung
- Nicht geeignet für Anlagen mit Fernwärmeversorgung (hohe Rücklauftemperatur)

Darstellungsarten



Geographische Darstellung



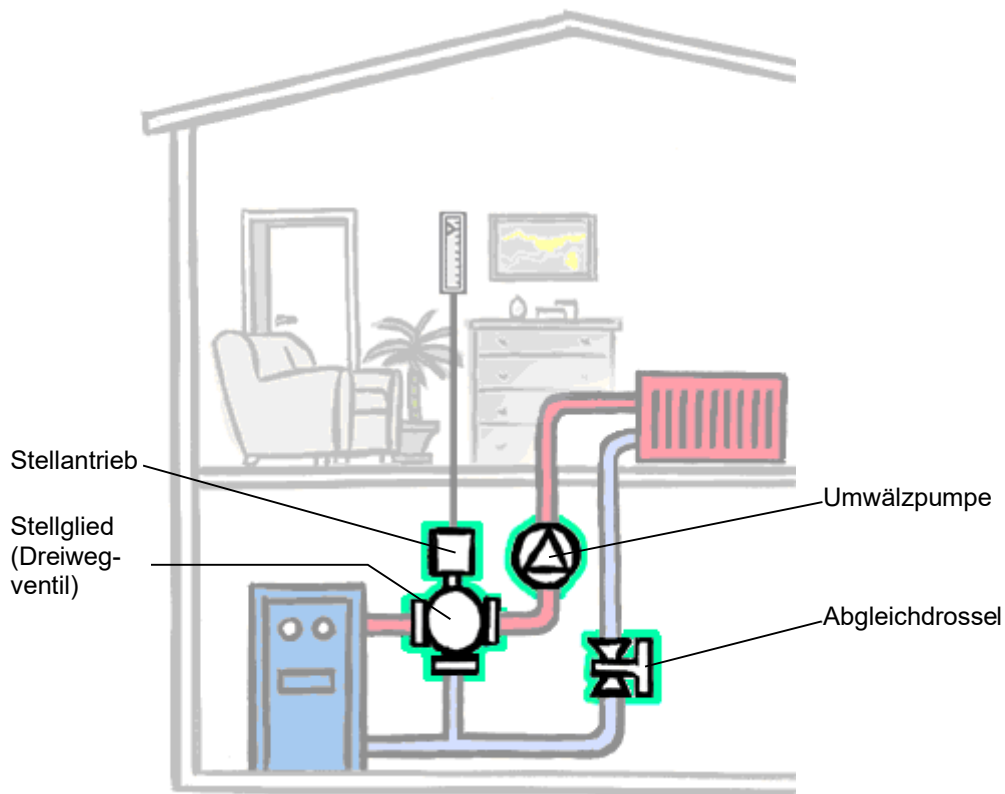
Synoptische Darstellung

1.5. Komponenten im Verbraucherkreis

Die hydraulischen Schaltungen, die in den vorherigen Abschnitten besprochen wurden, funktionieren in der Praxis nur richtig, wenn einige wichtige Komponenten vorhanden und an der richtigen Stelle eingebaut sind.

Einige dieser Elemente wollen wir etwas näher betrachten. Es sind dies:

- Stellglied
- Umwälzpumpe
- Abgleichdrossel



Wichtige Komponenten im Verbraucherkreis

1.5.1. Stellglied

Das Stellglied hat die Aufgabe, so in den Volumenstrom zwischen Wärmeerzeuger und Wärmeverbraucher einzugreifen, dass die Wärmeabgabe zwischen 0 und 100 % verändert wird. Jedes Stellglied hat ein Regelventil, das mehr oder weniger offen sein kann – oder auch nur geschlossen oder offen.

Als Stellglied kommen Hähne (Drehbewegung) oder Ventile (Hubbewegung) zum Einsatz.

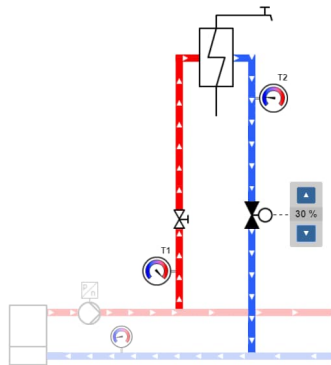
Bei den Ventilen wird unterschieden zwischen:

- Durchgangsventil oder PICV (druckunabhängiges Regelventil)
- Dreiwegventil

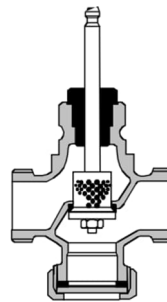
Die Kombination von Stellglied und Stellantrieb wird oft als Stellgerät bezeichnet.

Durchgangsventil

Beim Durchgangsventil wird durch eine Hubänderung der Strömungsquerschnitt verringert oder vergrößert. Daraus resultiert ein mengenvariabler Volumenstrom.



Durchflussregelung



Schnittbild Durchgangsventil



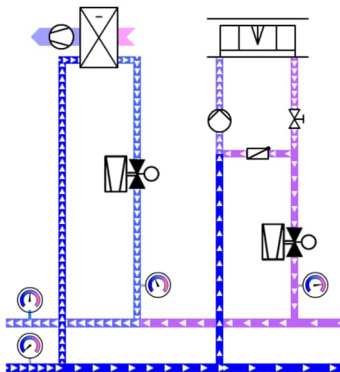
Durchgangsventil

PICV (druckunabhängiges Regelventil)

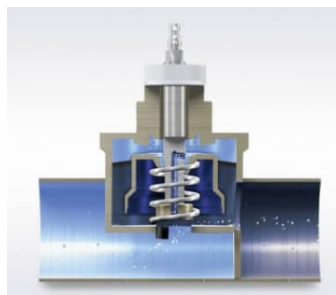
Bei hydraulischen Schaltungen mit Durchgangsventilen werden heute oft druckunabhängige Regelventile, sogenannte PICVs (pressure independent control valve), eingesetzt.

Das PICV kombiniert ein Regelventil mit einem Differenzdruckregler, der die Bedingungen über dem Regelventil konstant hält, auch wenn es im Leitungsnetz Druckschwankungen gibt. Dadurch wird eine gegenseitige hydraulische Beeinflussung der Verbraucher eliminiert. Des Weiteren kann am PICV der Nennvolumenstrom direkt eingestellt werden, wodurch auf eine separate Abgleichdrossel verzichtet werden kann – somit ist der hydraulische Abgleich auch schon gemacht.

Damit der Differenzdruckregler des PICV richtig arbeitet, benötigt dieser einen minimalen Druck $\Delta p_{\min}$ von der Pumpe.



Hydraulische Schaltungen mit PICVs



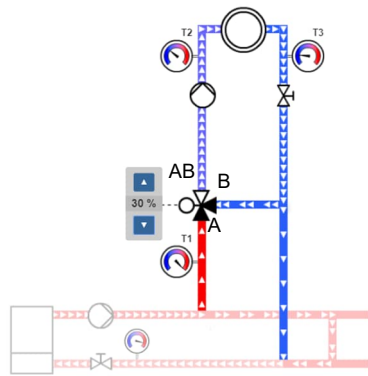
Schnittbild PICV (vereinfacht)



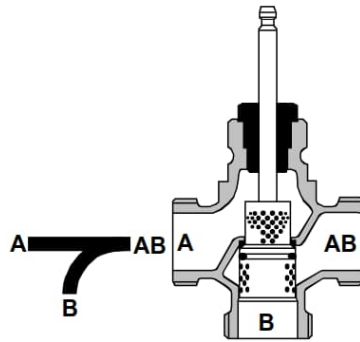
Gewinde-PICV

Dreiwegventil

Das Dreiwegventil hat ein mengenkonstantes Ventiltor. Je nachdem, ob das Ventil als Misch- oder Verteil-Ventil eingebaut ist, ergibt sich ein anderes Resultat einer Hubänderung.



Mischregelung



Schnittbild Dreiwegventil mit Torbezeichnungen



Dreiwegventil

Torbezeichnungen

Tore können unterschiedlich bezeichnet sein. Beispielsweise A, B, AB (Bilder oben), oder I, III, II.

Mischen oder Verteilen

Mischen:

Der austretende Volumenstrom bleibt konstant; er wird aus zwei mengenvariablen Strömen zusammengemischt.

Verteilen:

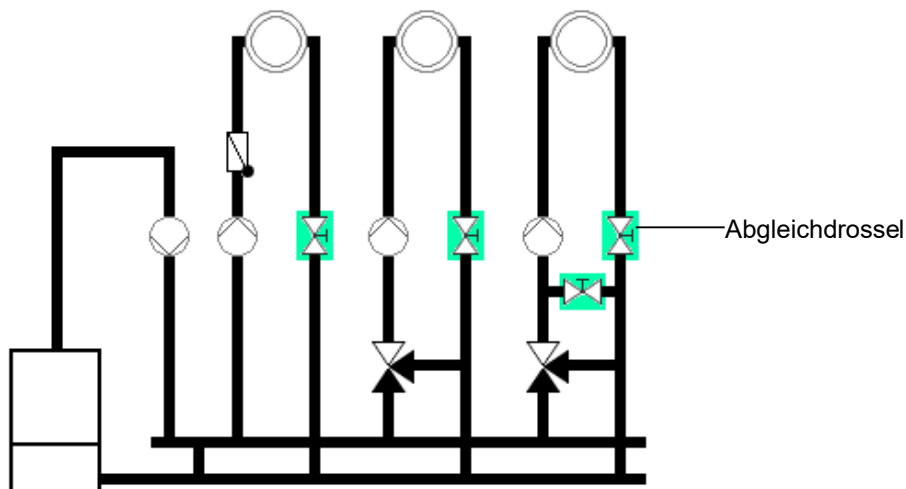
Ein mengenkonstanter Eintrittsvolumenstrom wird in zwei mengenvariable Austrittsströme aufgeteilt. (Hinweis: Nicht alle Dreiwegventile sind zum Einbau als Verteil-Ventil geeignet).

1.5.2. Abgleichdrossel

Mit Abgleichdrosseln in mengenkonstanten Teilen von hydraulischen Schaltungen kann die Anlage bei der Inbetriebnahme auf den berechneten Nennvolumenstrom eingestellt werden.

Hydraulischer Abgleich

Diesen Vorgang nennt man den hydraulischen Abgleich. Er ist eine wichtige Voraussetzung für das einwandfreie Funktionieren einer Anlage.



Heizgruppen mit eingebauten Abgleichdrosseln (im mengenkonstanten Schaltungsteil)

1.5.3. Umwälzpumpe

Eine hydraulische Schaltung funktioniert nur richtig, wenn die Umwälzpumpe:

- korrekt dimensioniert ist
- richtig eingebaut und angeschlossen ist
- auf der richtigen Drehzahl läuft

Weiter besteht bei einigen Schaltungen die Gefahr der Überhitzung der Pumpe, vor allem dort, wo diese gegen ein geschlossenes Ventil arbeitet (vgl. z.B. Drosselschaltung).

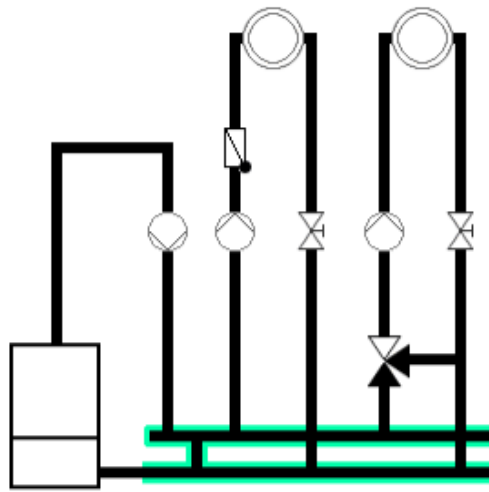
Abhilfe schaffen in solchen Situationen der Einsatz von drehzahlgeregelten Pumpen oder der Einbau eines kleinen, einstellbaren Bypasses ("Überströmer") der eine minimale Zirkulation auch bei geschlossenem Ventil zulässt.

Weiter kann eine Pumpe ausgeschaltet werden, wenn das Ventil schließt oder eine kleine Öffnungsposition (z.B. $< 2\%$) erreicht.

1.6. Verteiler

In der Praxis sind es meist mehrere Verbraucher, die von einem Erzeuger versorgt werden.

Der Verteiler ist das Bindeglied zwischen Erzeuger und mehreren Verbrauchern. Er verteilt das Medium im Erzeuger-Vorlauf in die verschiedenen Verbraucherschaltungen, sammelt das Medium aus allen Verbraucherschaltungen und führt es zum Erzeuger zurück.



Verteiler als Bindeglied zwischen Erzeuger- und Verbraucherseite

Anforderungen

Die Verbraucherseite und die Erzeugerseite stellen gewisse Anforderungen an den Verteiler, z.B. Druckverhältnisse, konstante oder variable Durchflussmenge, notwendige Vorlauf- und Rücklauf-Temperaturen usw.

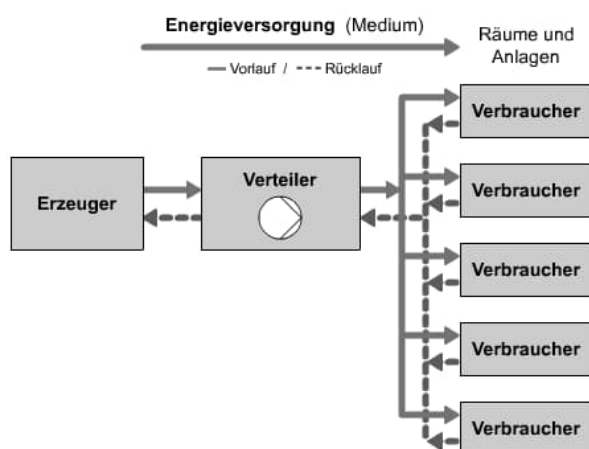
⇒ Um all diese Anforderungen erfüllen zu können, sind verschiedene Verteilertypen notwendig.

Passende Kombinationen

Der Verteiler kann nicht für sich allein betrachtet werden. Es ist wichtig, dass die zum Verteilertyp passenden Erzeuger- und Verbraucherschaltungen eingesetzt werden.

Aus der Sicht des Verteilers müssen die oben aufgeführten Eigenschaften aller angeschlossenen Verbraucher gleich (oder ähnlich) sein.

Deshalb betrachten wir die Verteiler im Rahmen hydraulischer Gesamtschaltungen:



Hydraulik-Schaltungs-Modell

1.6.1. Kombinationen von Verteilern und Verbraucher-Schaltungen

Die Übersicht enthält viele mögliche Erzeuger und Verbraucher (Aufzählung nicht abschließend). Es kann aber nicht jeder Erzeuger mit jedem Verbraucher kombiniert werden.

In diesem Teil konzentrieren wir uns auf verschiedene Verteilertypen und sinnvolle zugehörige Verbraucher-Schaltungen, mit denen ausgewählte Erzeuger und Verbraucher zu anwendungsgerechten Lösungen verbunden werden können. Die Lösungen weisen eine unterschiedliche Energieeffizienz auf.

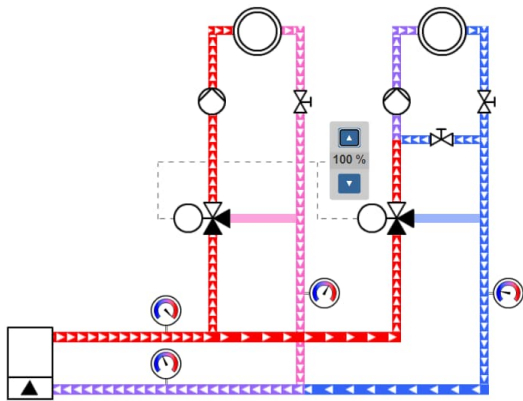
Erzeugung	Verteiler	Verbraucher	Abgabe
		Schaltung	Wärmeübertrager
Kessel (Öl, Gas, Pellets, ...)	Druckarm, Drucklos	Beimischschaltung	Heizkörper
Wärmepumpe (heizen, kühlen)		Beimischschaltung mit fester Vormischung	Flächenheizung
Wärmeübertrager	Druckbehaftet $\dot{V}$ variabel	Einspritzschaltung mit 2-Weg-Ventil	Warmwasser- erwärmung
Blockheizkraft- werk (BHKW)		Drosselschaltung	Deckenkühlung
Wärmerückge- winnung (WRG)	Druckbehaftet $\dot{V}$ konstant *	Einspritzschaltung mit 3-Weg-Ventil *	Luftkühler
Fernwärme		Umlenkschaltung mit Mischventil *	Lufterwärmer
...		Umlenkschaltung mit Verteilventil *	...

Übersicht Erzeuger, Verteiler und Verbraucher

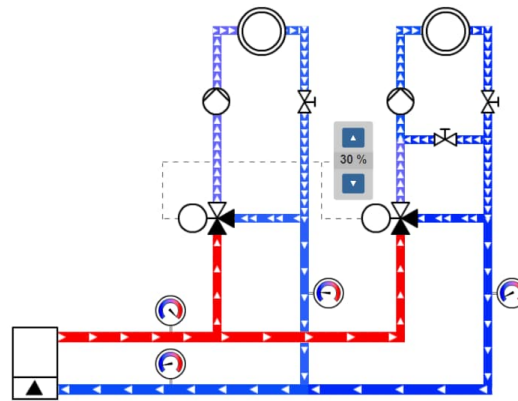
* sollten nicht mehr verwendet werden; nicht energie-effizient aus Sicht der Hauptpumpe

1.6.2. Druckarmer Verteiler

Beispiel: Heizungsgruppen für Raumheizung mit Gastherme



Ventile voll offen



Ventile 30 % geöffnet (Strömungsgeschwindigkeit
in mengenvariablen Leitungsteilen kleiner)

Eigenschaften

- tiefe Rücklauftemperatur zum Erzeuger (bei Heizung)
- variabler Volumenstrom über Erzeuger und Hauptverteiler-Leitungen
- minimal erforderlicher Durchfluss durch Erzeuger ist zu beachten

Wichtig für problemlosen Einsatz

- Verteilerleitungen großzügig dimensionieren
- Verbrauchergruppen mit konstantem oder ganzjährigem Heizbedarf sind am Verteileranfang anzuschließen (Vermeidung von unnötiger Durchströmung des Verteilers)

Anwendung

Erzeuger, die eine tiefe Rücklauftemperatur erfordern und die kleinen internen Widerstand haben

Energieeffizienz - hoch

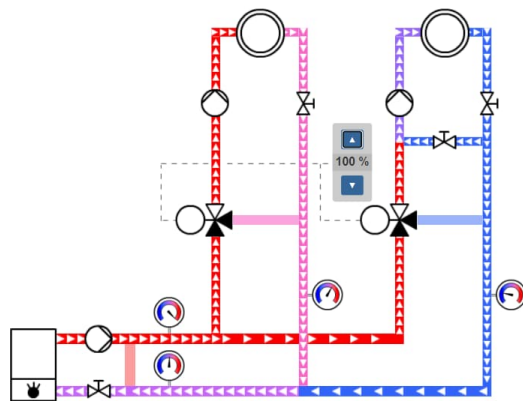
Diese Kombination aus Verteiler und Verbraucherschaltungen weist eine hohe Energieeffizienz auf.

Begründung:

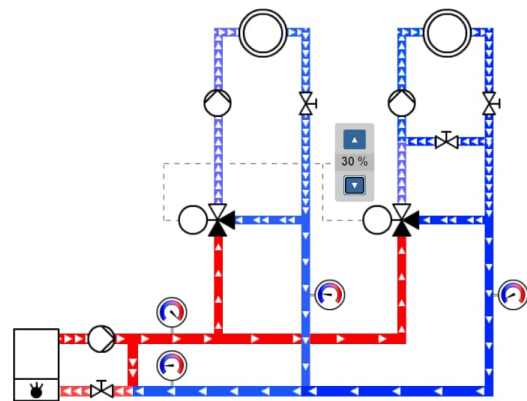
- Der Volumenstrom über den Erzeuger und die Verteilung ist variabel
- Die Rücklauftemperatur aus den Verbrauchern zurück zum Erzeuger ist immer bei Auslegetemperatur oder tiefer.
- Die Wärmeverluste im Verteilnetz werden tief gehalten.

1.6.3. Druckloser Verteiler

Beispiel: Heizungsgruppen für Raumheizung



Ventile voll offen



Ventile 30 % geöffnet (Strömungsgeschwindigkeit in mengenvariablen Leitungsteilen kleiner)

Eigenschaften

- Hohe Rücklauftemperatur zum Erzeuger (bei Heizung)
- Konstanter Volumenstrom über Erzeuger
- Klare hydraulische Entkopplung zwischen Erzeuger und Verbraucher durch Bypass (Kurzschluss) zwischen Vor- und Rücklauf

Wichtig für problemlosen Einsatz

- Verteilerleitungen und vor allem Bypass (Kurzschluss) großzügig dimensionieren
- Verbrauchergruppen mit konstantem oder ganzjährigem Heizbedarf sind am Verteileranfang anzuschließen (Vermeidung von unnötiger Durchströmung des Verteilers)
- Verbraucher mit Bedarf für hohe Versorgungstemperaturen (z.B. Lüftung oder Warmwasser) sind eventuell vor der Bypass-Leitung, d.h. auf der Erzeugerseite des Verteilers anzuschließen

Anwendung

- Erzeuger, die eine hohe Rücklauftemperatur erfordern, wie z.B. Öl-Heizkessel, Holz-Heizkessel

Energieeffizienz – mäßig

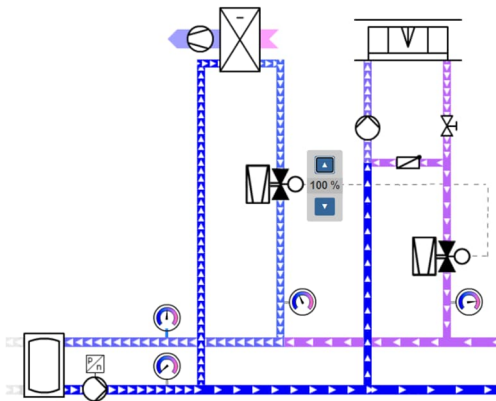
Diese Kombination aus Verteiler und Verbraucherschaltungen weist eine mäßige Energieeffizienz auf.

Begründung:

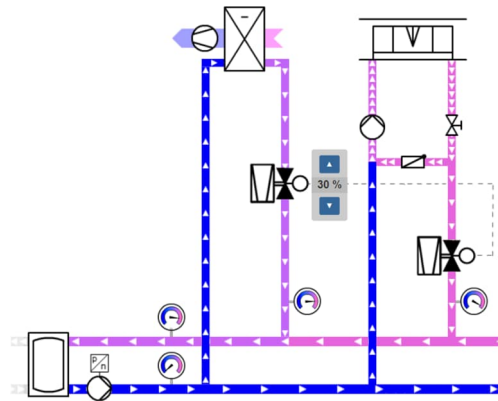
- Der vom Verteiler aus dem Erzeuger bezogene Volumenstrom ist variabel und weist eine hohe Temperatur auf. Das führt im Erzeuger und Verteiler zu wesentlichen Verlusten an thermischer Energie.
- Der von der Erzeugerpumpe dauernd geförderte Volumenstrom wird nur bei Volllast benötigt. Der Verlust an Pumpen-Förderenergie ist ebenfalls wesentlich.

1.6.4. Druckbehafteter Verteiler mit variablem Volumenstrom

Beispiel: Kaltwasserversorgung für Luftkühler, Kühldecken



Ventile (PICVs) voll offen



Ventile (PICVs) 30 % geöffnet (Strömungsgeschwindigkeit in mengenvariablen Leitungsteilen kleiner)

Eigenschaften

- Kühlen: Hohe Rücklauftemperatur zum Erzeuger
Heizen: Tiefe Rücklauftemperatur zum Erzeuger
- Variabler Volumenstrom im Verteiler

Wichtig für problemlosen Einsatz

- Stellglieder der Verbrauchergruppen korrekt dimensioniert
- Hauptpumpe drehzahlregelt oder mit einstellbarem Bypass für minimale Zirkulation (die Drehzahlregelung reduziert den Energieverbrauch und schaltet bei Nulllast aus, damit die Pumpe keinen Schaden nimmt)

Anwendung

- Kaltwasserversorgung für Luftkühler und Kühldecken (berücksichtigen Sie die unterschiedlichen Nutzungstemperaturen)
- Warmwasserversorgung für Raumheizungsgruppen, Lufterwärmer, Deckenheizsysteme
- Zubringer in Fernleitungsnetz (z.B. Nahwärmeverbund)

Energieeffizienz – sehr gut

Diese Kombination aus Verteiler und Verbraucherschaltungen weist eine sehr gute Energieeffizienz aus. Sie ist zukunftsorientiert!

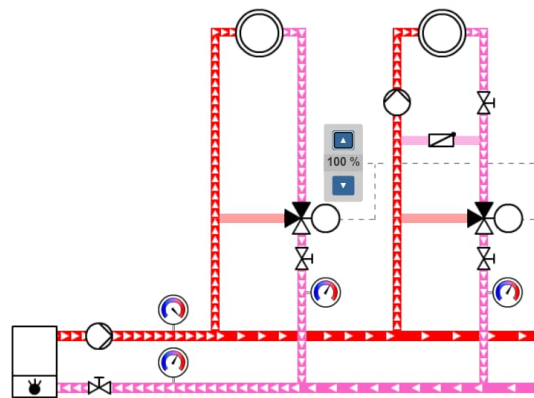
Begründung:

- Der Volumenstrom im Verteiler ist variabel. Er entspricht der Summe der variablen Volumenströme aller angeschlossenen Verbraucherschaltungen. Damit wird nur so viel Medium aus dem Speicher (Erzeuger) bezogen, wie die Verbraucher tatsächlich benötigen.
- Die Temperaturspreizung zwischen Verteiler-Vorlauf und -Rücklauf ist bei Nennlast genügend hoch und nimmt mit sinkender Last zu (entsprechend den Rücklauf-Temperaturen der mengenvariablen Verbraucherschaltungen). Die vom Erzeuger bereit gestellte Temperaturspreizung (thermische Energie) im Speicher bleibt groß und wird von dieser hydraulischen Schaltung energieeffizient genutzt.

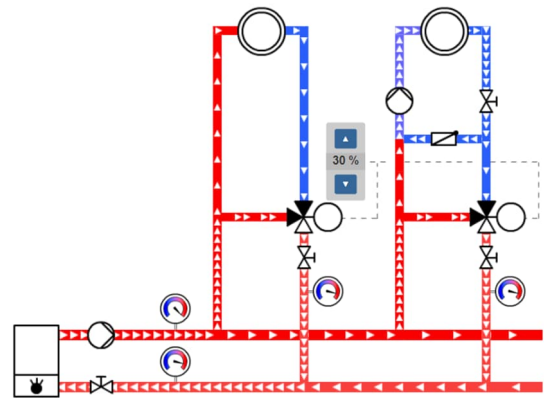
1.6.5. Druckbehafteter Verteiler mit konstantem Volumenstrom

Beispiel: Heizungsverbraucher

(links mit variablem Volumenstrom, rechts mit variabler Temperatur über Verbraucher)



Ventile voll offen



Ventile 30 % geöffnet (Strömungsgeschwindigkeit in mengenvariablen Leitungsteilen kleiner)

Eigenschaften

- Hohe Rücklauftemperatur zum Erzeuger
- Konstanter Volumenstrom im Erzeuger
- Hauptpumpe muss beim Einsatz von Verteilschaltungen auch den Druckverlust über den Verbraucher übernehmen
- Hydraulischer Abgleich ist anspruchsvoll

Wichtig für problemlosen Einsatz

- Stellglieder der Verbrauchergruppen korrekt dimensioniert
- Nur empfehlenswert, wenn bezüglich Pumpenleistung bedeutende Verbraucher ohne Gruppenpumpe betrieben werden können
- Erzeuger muss für hohe Rücklauftemperaturen geeignet sein

Anwendung

- Sollte für Neu-Anlagen nicht mehr zum Einsatz kommen (vgl. Energie-Effizienz)
- Erzeuger mit Rücklaufminimalbegrenzung

Energieeffizienz - unbefriedigend

Diese Kombination aus Verteiler und Verbraucherschaltungen weist eine unbefriedigende Energieeffizienz aus.

Begründung:

- Im gesamten Verteiler, sowie im Ein- und Ausgang aller Verbraucherschaltungen fließt dauernd der Nennvolumenstrom. Die Temperaturspreizung zwischen Verteiler-Vorlauf und Verteiler-Rücklauf ist bei Nulllast sehr gering und bei Teillast klein. Das führt in Erzeuger, Verteiler und Anschlussleitungen zu den Verbrauchern zu beachtlichen Verlusten an thermischer Energie.
- Die Hauptpumpe muss dauernd auf Nennvolumenstrom betrieben werden. Der dazu notwendige Mehraufwand an Pumpen-Förderenergie ist ebenfalls beachtlich.

2 Hydraulische Kennlinien

Teile der hydraulischen Schaltung sind gleichzeitig auch Teile der Regelstrecke.

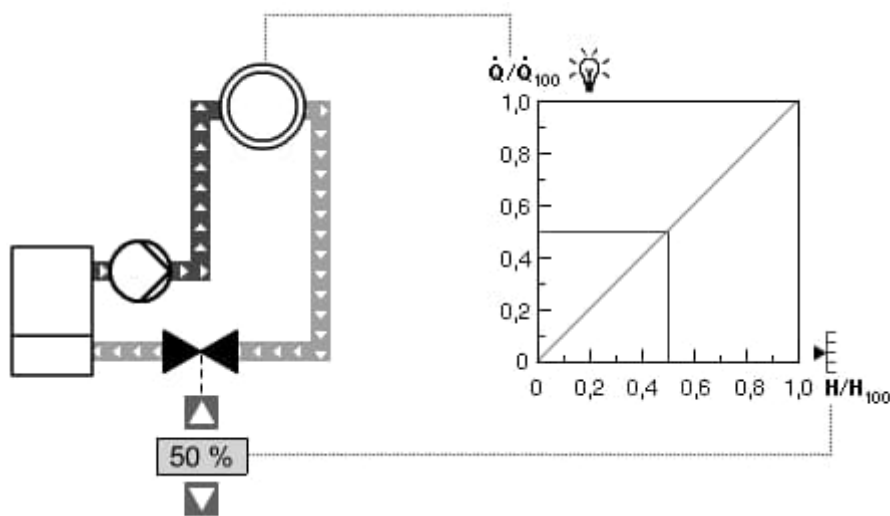
Um den Komfort der Gebäudebenutzer mit schonendem Betrieb der Anlage gewährleisten zu können, müssen hydraulische Kreise auch die Bedürfnisse der Regeltechnik erfüllen.

Die Kombination von Kennlinien und Eigenschaften der Ventile, Wärmeverbrauchern und Pumpen im Hydraulik-Kreis bestimmt, ob die Leistung der Anlage mit dem Stellgerät (Stellglied und Stellantrieb) bedarfsgerecht dosiert werden kann – oder nicht.

Der Stellantrieb setzt das Stellsignal des Reglers in eine Hub- oder Drehbewegung am Stellglied um, wodurch der für die Verbraucherleistung maßgebende Volumendurchfluss zwischen 0 und 100 % verändert wird.

Ziel ist die optimale Regelbarkeit

Es wird dabei angestrebt, dass zwischen dem Ventilhub und der Wärmeabgabe ein lineares Verhältnis entsteht, d.h. wenn der Ventilhub 50 % des Stellbereiches beträgt, soll die Wärmeabgabe 50 % der Nennleistung entsprechen.



Gewünschtes Verhalten: 50 % Leistung bei Ventilhub 50 %

Dieses gewünschte Verhalten lässt sich in der Praxis nur annähernd realisieren. Verschiedene Faktoren beeinflussen es, weshalb wir diese nun im Detail betrachten wollen.

2.1. Wärmeübertrager-Kennlinie und a-Wert

2.1.1. Wärmeübertrager-Kennlinie

Das Verhältnis zwischen dem Volumendurchfluss des Wärmeträger-Mediums und der Wärmeabgabe ist abhängig von

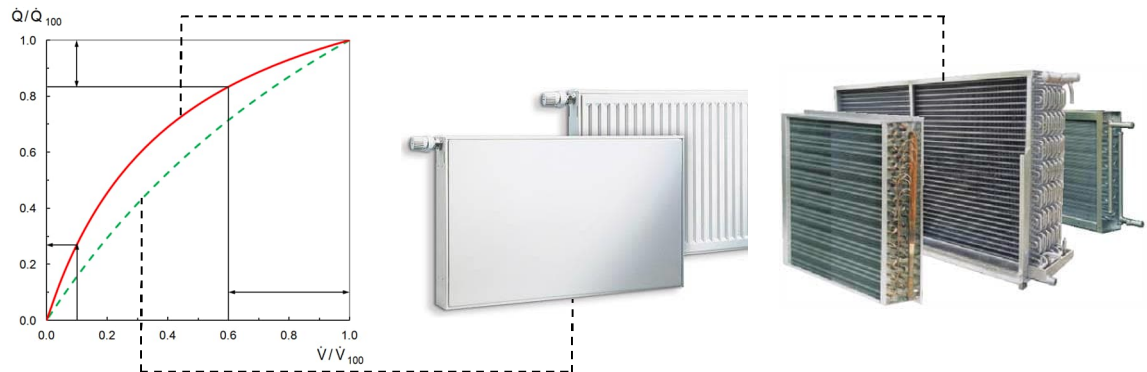
- der Konstruktion des Wärmeübertragers
- der Temperaturdifferenz zwischen Wassereintritt und -austritt
- der Differenz zwischen wärmeaufnehmendem und -abgebendem Medium

und in der Regel nicht linear.

Viele Wärmeübertrager-Kennlinien verlaufen bei kleinem Durchfluss äußerst steil. Daraus folgt, dass sich z.B. ein Lufterwärmer in einem Lüftungsgerät ziemlich stark erwärmt, auch wenn nur wenig heißes Wasser durchfließt.

Beispiele:

- 10 % Volumendurchfluss $\Rightarrow$ 27 % Wärmeabgabe
- Änderung von 60 % auf 100 % Volumendurchfluss
 $\Rightarrow$ 18 % mehr Wärmeabgabe



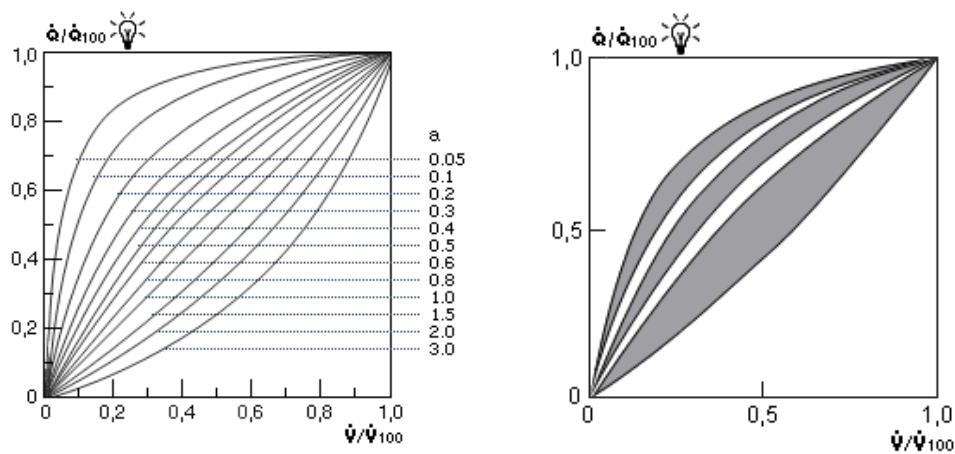
Typische Wärmeübertrager-Kennlinien (Beispiel: Radiatoren und Lufterwärmer/Luftkühler für Lüftungsgeräte)

2.1.2. a-Wert

Der a-Wert ist das Maß der Nichtlinearität einer Wärmeübertrager-Kennlinie. Er wird aus den Temperaturverhältnissen am Wärmeübertrager berechnet und ist von der Art der hydraulischen Schaltung abhängig (vgl. Berechnungsformeln für den a-Wert im Anhang).

Folgerung:

Um die gewünschte gute Regelbarkeit der Anlage zu erreichen, muss diese Krümmung der Wärmeübertrager-Kennlinie durch eine entsprechende Ventilkennlinie ausgeglichen werden.



Wärmeübertrager-Kennlinien mit unterschiedlichen a-Werten

Bereiche typischer Wärmeübertrager-Kennlinien:

Oben: Lufterkühler mengenvariabel
 Mitte: Radiator Heizung
 Unten: Wärmeübertrager Wasser/Wasser

Es gilt:

- a-Wert = 1 $\Rightarrow$ lineares Verhalten
- a-Wert < 1 $\Rightarrow$ Krümmung nach oben
- a-Wert > 1 $\Rightarrow$ Krümmung nach unten

2.2. Ventilkennlinie

Wichtige Werte für die Auslegung eines Ventils sind:

- erforderlicher Durchfluss
- Druckabfall über der mengenvariablen Strecke

2.2.1. k_V -Werte

k_V -Wert: Durchfluss-Kennwert bei bestimmtem Hub

Der k_V -Wert entspricht dem Wasserdurchfluss durch ein Ventil bei einer Druckdifferenz von 1 bar über dem Regeltor. Er wird in m^3/h oder auch in l/min angegeben.

Der k_V -Wert eines Ventils ändert sich je nach Ventilstellung (Hub).

k_{VS} -Wert: Durchfluss-Kennwert bei offenem Ventil

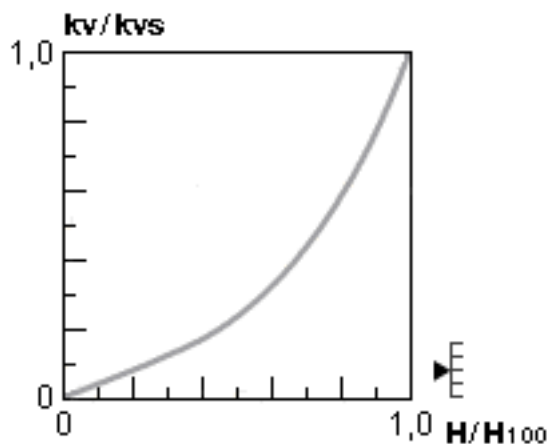
Der k_V -Wert, der sich bei voll geöffnetem Ventil ergibt (also bei Nennhub H_{100}), heißt k_{VS} -Wert.

Die Hersteller von Ventilen und Drosselorganen geben diese konstruktionsabhängige Größe k_{VS} für jedes Stellglied an.

Um verschiedene Fabrikate und Typen vergleichen zu können, werden Ventile einheitlich spezifiziert:

- k_V -Werte relativ zum k_{VS} -Wert: $k_V / k_{VS} = 0 \dots 1$
- Hub H relativ zum Nennhub H_{100} : $H / H_{100} = 0 \dots 1$

Wird k_V / k_{VS} über den Hubbereich $0 \dots 1$ dargestellt, so nennt man dies die Ventilkennlinie (auch Ventil-Grundkennlinie).



Typische Ventilkennlinie

2.2.2. Stellverhältnis S_V und kleinster regelbarer Durchfluss k_{Vr} eines Ventils

Das Stellverhältnis S_V wird bestimmt aus dem Nenn-Durchfluss k_{VS} im Verhältnis zum kleinsten regelbaren Durchfluss k_{Vr} .

Stellverhältnis $S_V = k_{VS} / k_{Vr}$

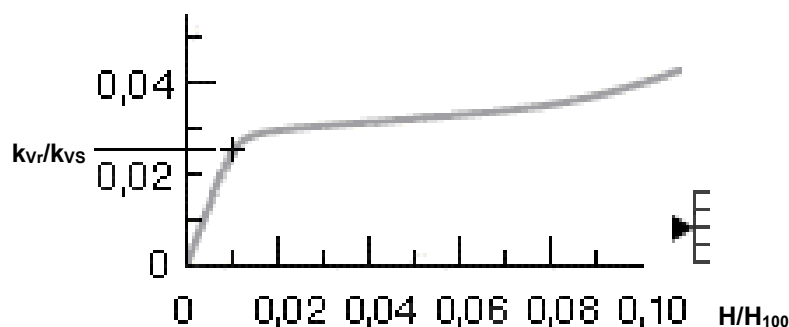
Übliche Werte für das Stellverhältnis sind 50 ... > 150

Das Stellverhältnis S_V ist eine wichtige Kenngröße zur Beurteilung des regelbaren Bereiches eines Stellgliedes und ist hauptsächlich abhängig von der Bauart des Ventilkegels und des Ventils.

Kleinsten regelbarer Durchfluss k_{Vr}

Der kleinste regelbare Durchfluss k_{Vr} ist der Volumenstrom im Öffnungssprung des Ventils (dort, wo die Neigung der Ventilkennlinie plötzlich steil abfällt).

Er wird entweder als Verhältnis zum k_{VS} dargestellt (k_{Vr}/k_{VS}) oder in m^3/h angegeben.



Kleinsten regelbarer Durchfluss k_{Vr} eines Ventils

Unterhalb von k_{Vr} wird der Betrieb einer stetigen Regelung problematisch, weil das Stellglied nur noch Mengensprünge dosiert (auf / zu).

2.2.3. Ventilkennlinien

Man unterscheidet zwischen:

- Kennlinien-Grundform
mathematisch berechnet, also theoretisch
- Grundkennlinie
Durchfluss unter Normbedingungen (1 bar, 25 °C), gemessen für jede Ventilstellung

Die gebräuchlichsten Kennlinien-Grundformen sind nachfolgend kurz beschrieben:

linear

Gleiche Änderung des Hubes führt zu gleicher Änderung des k_V -Wertes.

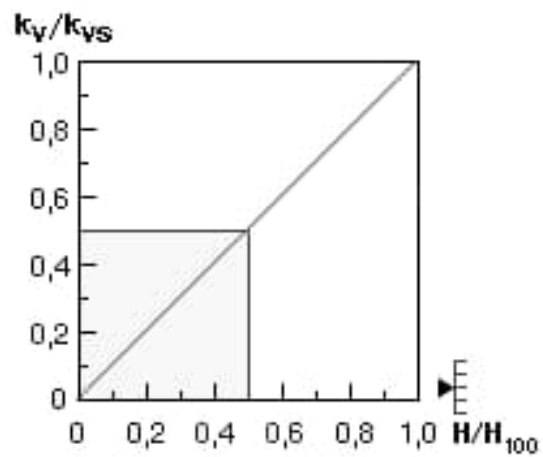
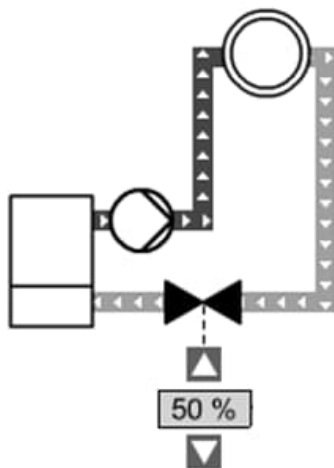
gleichprozentig

Eine bestimmte Hubänderung ergibt eine prozentual gleich große Änderung des jeweiligen k_V -Wertes, d.h. je größer der Hub (je offener das Ventil), desto stärker wirkt sich die Hubänderung auf den Durchfluss aus. Im unteren Hubbereich ist die Kennlinie noch flach, nach oben wird sie immer steiler.

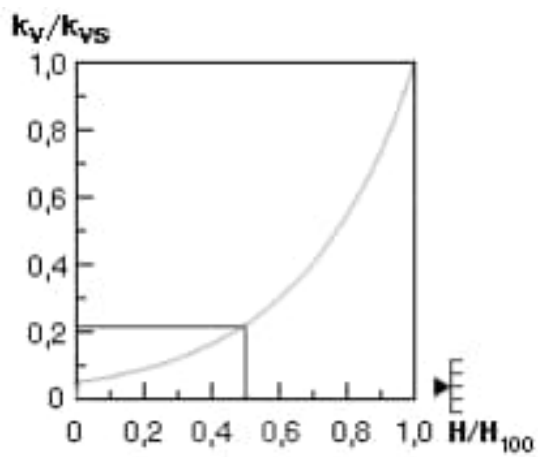
gleichprozentig/linear

Kennlinien-Grundform, die im unteren Hubbereich linear ist und ab ca. 30 % des Hubs gleichprozentig wird.

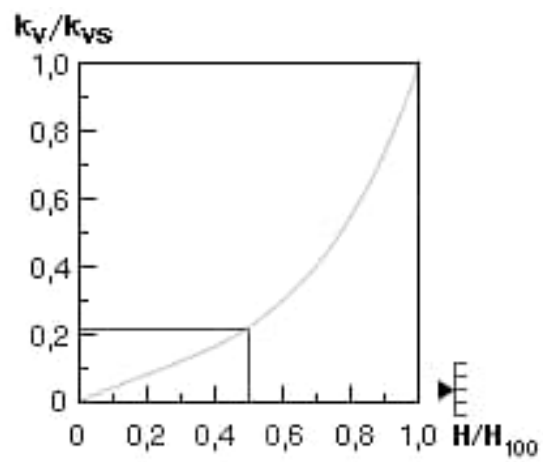
Die Kennlinien-Grundform ist Basis für die Konstruktion des Ventilkegels, der dann die Grundkennlinie des Ventils bestimmt.



linear



gleichprozentig

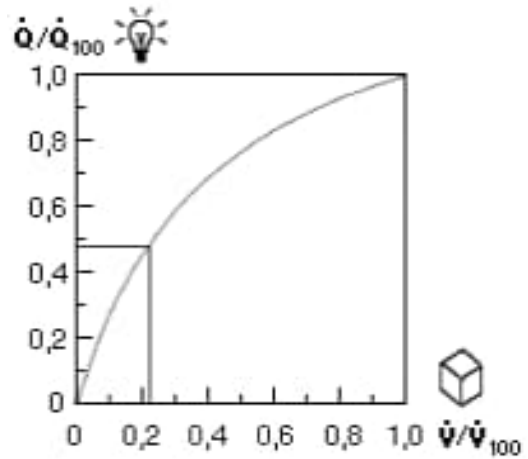
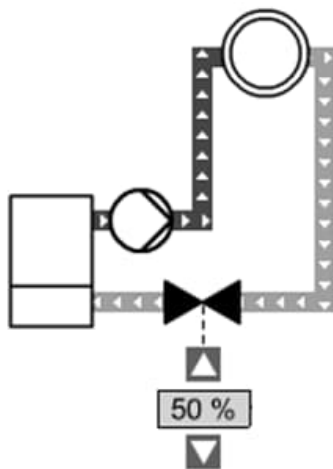


gleichprozentig-linear

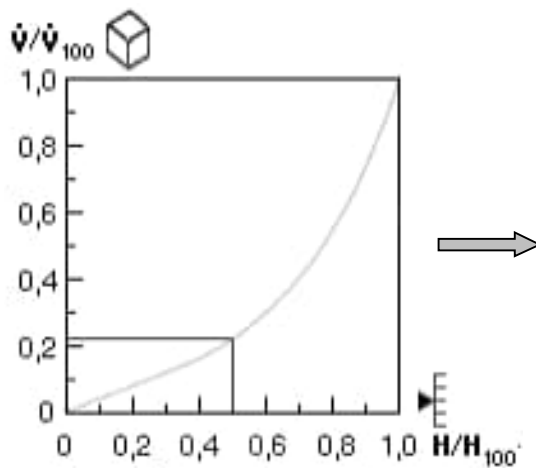
Ventilkennlinien im Vergleich

2.3. Streckenkennlinie

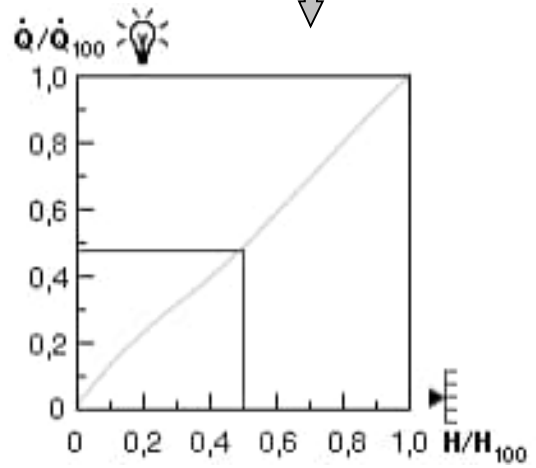
Wird ein Ventil in eine Anlage eingebaut, so sollte die Ventilkennlinie die Wärmeübertrager-Kennlinie kompensieren. Die daraus resultierende Leistungsabgabe am Wärmeübertrager kann wiederum als Graph dargestellt werden – die Streckenkennlinie.



Wärmeübertragerkennlinie

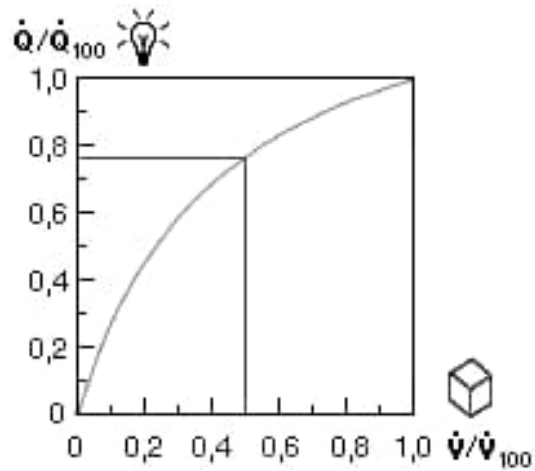
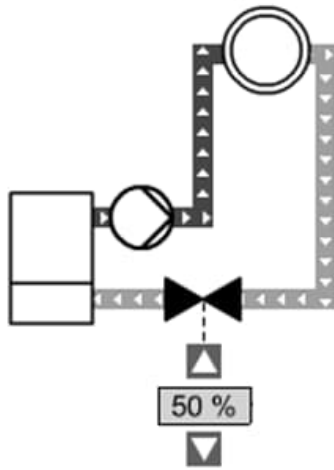


Ventilkennlinie, gleichprozentig

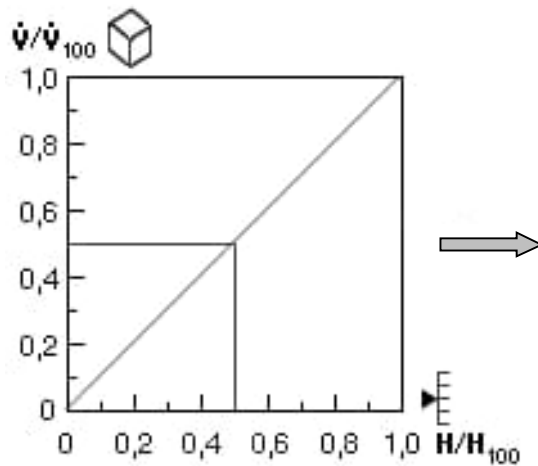


Streckenkenlinie aus Wärmeübertrager-Kennlinie und Ventil mit gleichprozentiger Grundkennlinie

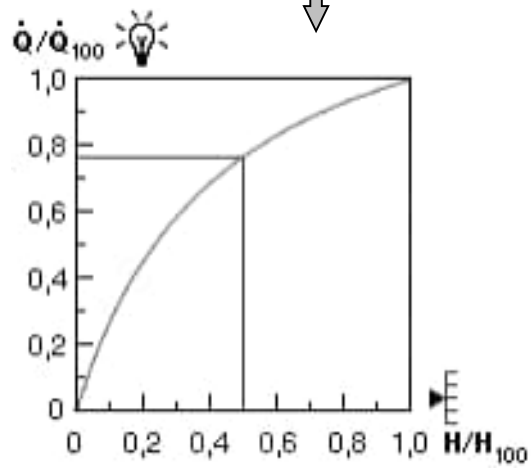
Hier wurde eine geeignete Ventilkennlinie gewählt. Die resultierende Streckenkennlinie ist annähernd linear. Die Strecke ist gut regelbar.



Wärmeübertragerkennlinie



Ventilkennlinie, linear



Streckenkenlinie aus Wärmeübertrager-Kennlinie und Ventil mit linearer Grundkennlinie

Durch die Wahl einer linearen Ventilkennlinie konnte der a-Wert der Wärmeübertrager-Kennlinie nicht kompensiert werden. Die Strecke ist schlecht regelbar.

Die beiden Grafiken zeigen, dass man durch die geschickte Wahl der Ventilkennlinie dem Ziel näherkommt, aber ein lineares Verhalten zwischen Hub und Leistung kann damit allein noch nicht erreicht werden.

2.3.1. Ventil-Betriebskennlinie und Ventilautorität P_v

Die Streckenkennlinie wird nicht nur durch die Ventil-Grundkennlinie und die Wärmeübertrager-Kennlinie bestimmt, auch der Druckabfall über dem Ventil spielt eine wichtige Rolle.

Die Ventil-Betriebskennlinie zeigt den Zusammenhang zwischen Hub und Volumendurchfluss eines in einer hydraulischen Schaltung eingebauten Ventils.

Die Betriebskennlinie weicht von der Ventil-Grundkennlinie ab, da die Druckdifferenz nicht über den ganzen Hubbereich des Ventils konstant bleibt.

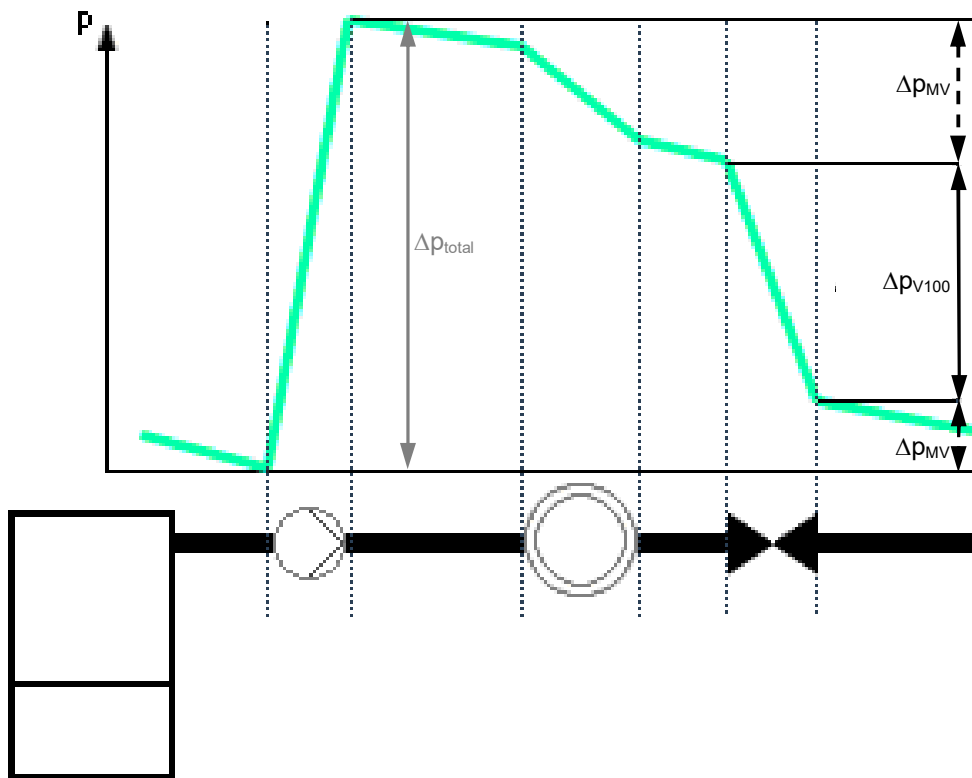
Das Maß für diese Abweichung ist die Ventilautorität P_V :

$$\text{Ventilautorität } P_V = \frac{\Delta p_{V100}}{\Delta p_{\text{total}}} \quad \text{oder} \quad \frac{\Delta p_{V100}}{\Delta p_{V100} + \Delta p_{MV}}$$

Δp_{MV} der Widerstand in den Leitungsabschnitten, die mengenvariablen Volumenstrom (MV) durch das Regelventil erfahren bei Nominal-Volumenstrom (Auslegung)

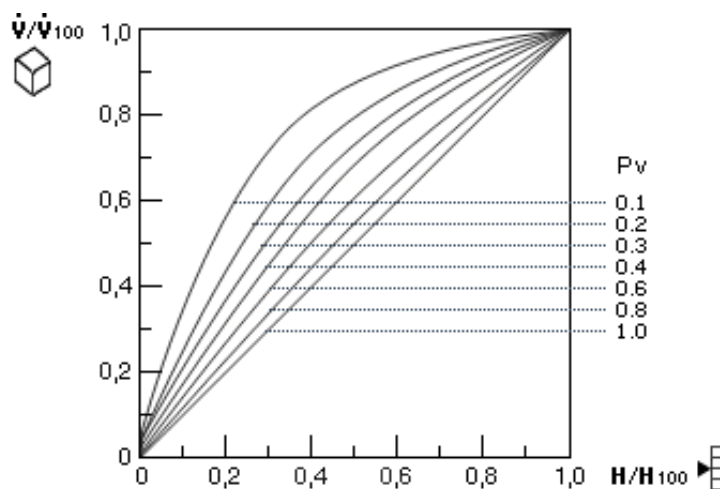
Δp_{V100} Widerstand des voll geöffneten bei Nominal-Volumenstrom (Auslegung)

Δp_{total} Widerstand des gesamten Leitungsnetzes (inkl. Regelventil) bei Nominal-Volumenstrom (Auslegung)



Die Ventilautorität P_V wird bestimmt aus Δp_{V100} und Δp_{MV}

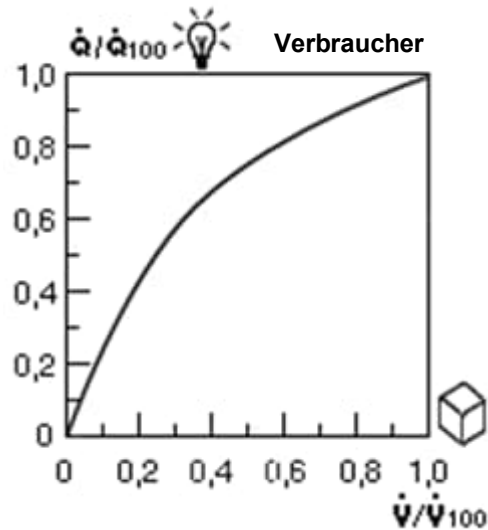
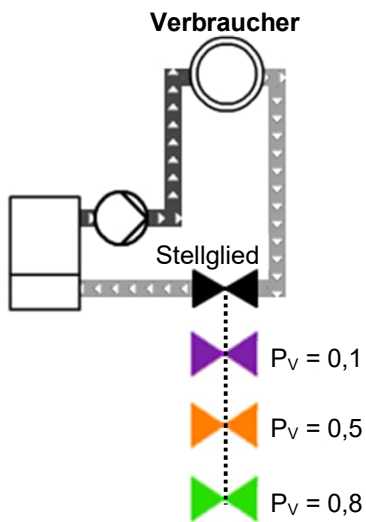
Auswirkung der Ventilautorität auf die Ventil-Grundkennlinie



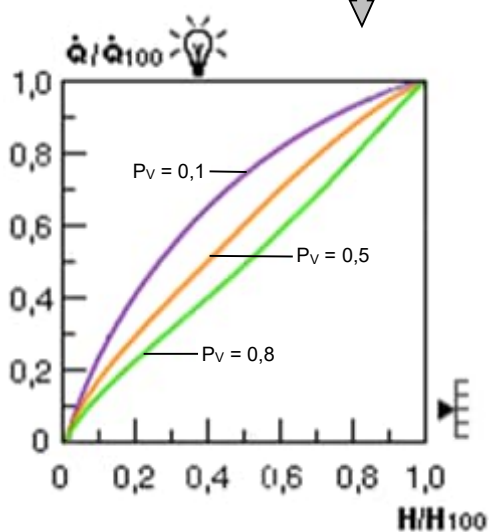
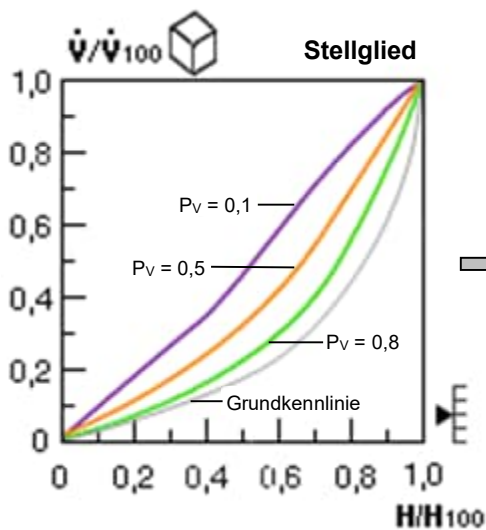
Ventil-Betriebskennlinien in Abhängigkeit von P_V (Beispiel lineare Grundkennlinie, d.h. $P_V = 1,0$)

Die dargestellten Betriebskennlinien (hier am Beispiel einer linearen Grundkennlinie) zeigen die Auswirkung der Ventilautorität $P_V < 1$ auf die Grundkennlinie:

- Je kleiner der Druckabfall Δp_{V100} über dem Ventil im Vergleich zum beeinflussten mengenvariablen Rohrnetz ist, umso kleiner wird die Ventilautorität P_V
- Je kleiner die Ventilautorität P_V desto stärker wird die Deformation der Grundkennlinie
- Ist die Ventilautorität $P_V = 1$, so entspricht die Betriebskennlinie der Grundkennlinie des Ventils



Wärmeübertragerkennlinie, $a = 0,3$



Ventilbetriebskennlinien

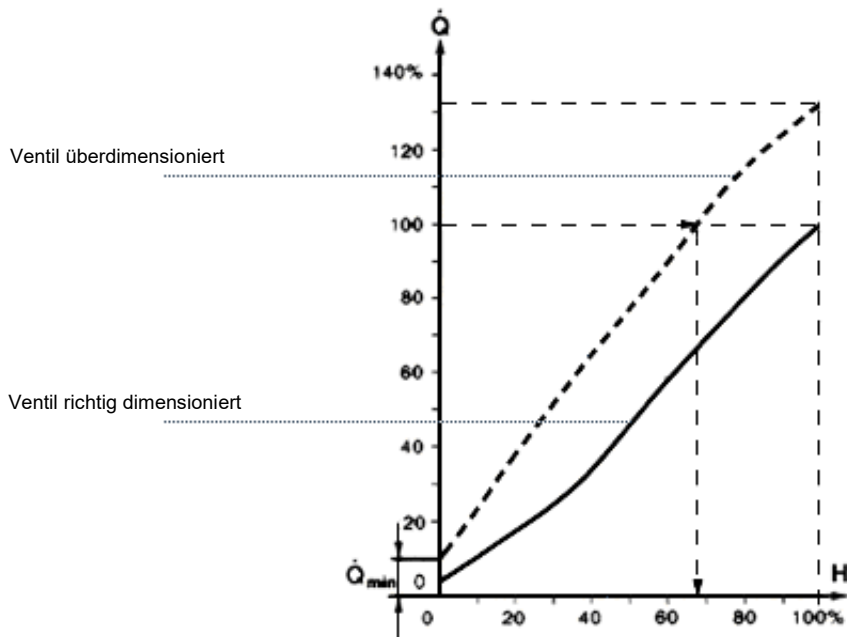
Resultierende Streckenkennlinien

Wärmeübertrager-Kennlinie, Ventil-Betriebskennlinien und resultierende Streckenkennlinie(n)

Diese Grafik zeigt, welche Streckenkennlinie aus einer Wärmeübertrager-Kennlinie (a -Wert = 0,3) in Kombination mit verschiedenen Ventil-Betriebskennlinien resultiert.

Im gezeigten Beispiel wird mit einer Ventilautorität $P_V = 0,8$ eine annähernd lineare Streckenkennlinie erreicht.

2.3.2. Überdimensionierung eines Ventils



Streckenkenlinie bei richtig dimensioniertem Ventil und bei zu großem Ventil

Folgen einer falschen Dimensionierung

Überdimensionierung:

- Die minimal regelbare Leistung $\dot{Q}_{\min}$ ist größer.
- Weil die Regelung den Hub entsprechend der erforderlichen Nennleistung begrenzt, wird der nutzbare Stellbereich des Ventils eingeschränkt.

Dies führt zu einer schlechteren Regelbarkeit der Anlage.

Unterdimensionierung:

- Der geforderte Volumenstrom kann nicht fließen.
- Es entsteht ein unnötig hoher Druckverlust im System ($\Rightarrow$ stärkere Pumpe nötig).

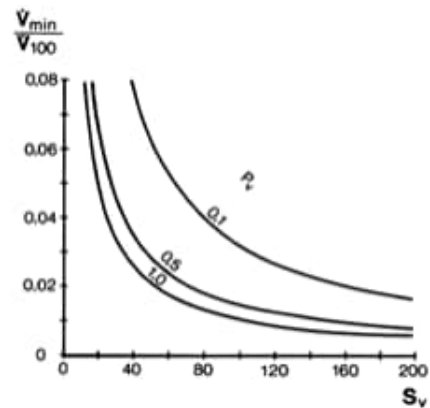
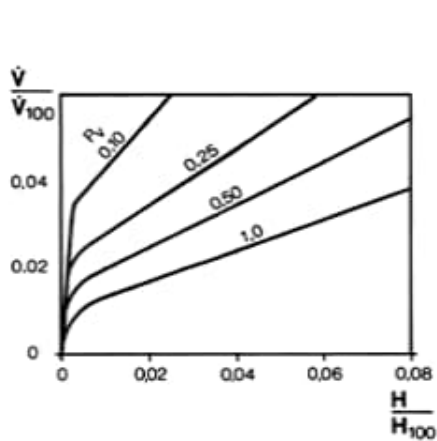
Vorteile eines richtig dimensionierten Ventils

- Kleinerer Mengensprung $\dot{V}_{\min}$ d.h. kleinere minimal regelbare Leistung $\dot{Q}_{\min}$
- Größere Ventilautorität P_v
- Ventilhub wird von 0...100 % ausgenutzt
- Wesentliche Verbesserung der Regelbarkeit

2.3.3. Regeln im Schwachlastbereich

Mengensprung $\dot{V}_{\min}$

= kleinster stetig regelbarer Volumendurchfluss durch ein Ventil



Mengensprung in Abhängigkeit der Ventilautorität P_v und vom Stellverhältnis S_v

Leistungssprung $\dot{Q}_{\min}$

= kleinste stetig regelbare Leistung eines Verbrauchers (z.B. eines Heizkörpers)

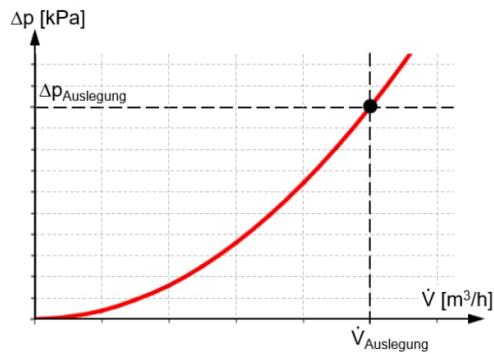
Der Leistungssprung wird umso kleiner:

- Je größer das Stellverhältnis S_v des Ventils ist
- Je größer die Ventilautorität P_v ist
- Je größer der a-Wert des Wärmeübertragers ist (d.h. kleine Temperaturspreizungen zwischen Erzeuger- und Verbraucherkreis)

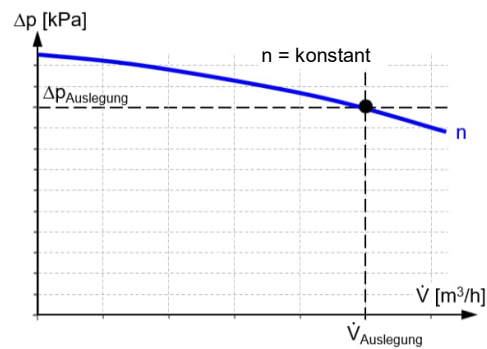
2.4. Anlage- und Pumpenkennlinien, Betriebspunkt

Die Anlage- und die Pumpenkennlinie dienen zur Bestimmung des Betriebspunkts der Pumpe.

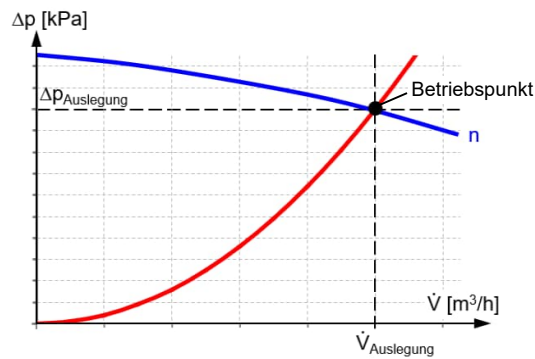
Der richtige Betriebspunkt ist zentral, um ein energieoptimales und regeltechnisch stabiles System zu erreichen.



Anlagekennlinie (Rohrnetzkenlinie)

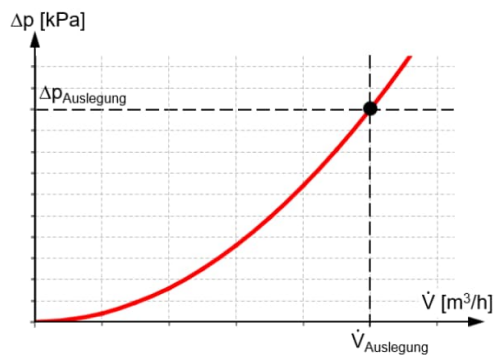


Pumpenkennlinie bei konstanter Drehzahl „n“



Betriebspunkt

2.4.1. Die Anlagekennlinie (Rohrnetzkenlinie)



Anlagekennlinie

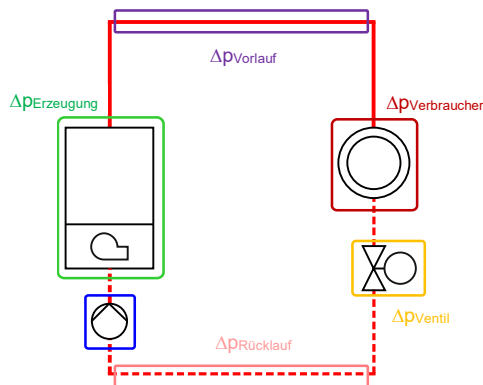
Die Anlagekennlinie stellt den Druckverlust (Widerstand) Δp des gesamten Rohrnetzes dar.

Der Widerstand ist unter anderem abhängig von folgenden Parametern:

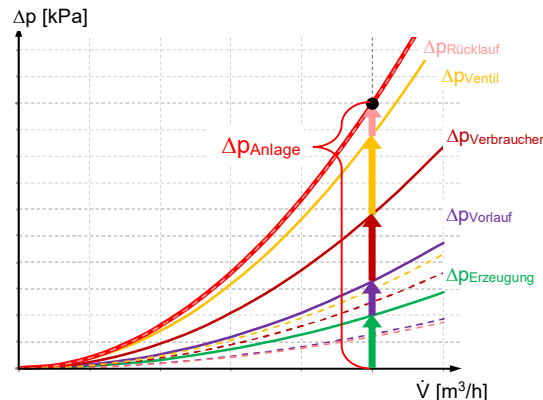
- Temperatur
- Strömungsgeschwindigkeit
- Volumendurchfluss
- Reibung
- örtliche Situation (Rohrqualität, Bögen, Nennweite, Rohrlängen, ...)
- Einbauten wie Wärmezähler, Abgleichdrosseln, ...
- Medium (Glykol, Viskosität)

Hydraulische Widerstände in einer HLK-Anlage

Sämtliche Teile in einer HLK-Anlage erzeugen einen Druckabfall und somit einen hydraulischen Widerstand. Wir müssen daher zwingend die Anlageelemente mit hohem Differenzdruck kennen.



Heizungsanlage mit eingezeichneten hydraulischen Widerständen über allen Anlageteilen



Widerstand Δp der einzelnen Komponenten addiert (und zugehörige Teil-Anlagekennlinien)

Im hier gezeigten Beispiel sind das die Widerstände:

- Wärmeerzeuger (oder Kälteerzeuger)
- Rohre
- Ventil
- Verbraucher

Mögliche Werte der Anlageelemente

- Erzeuger: $\Delta p_{\text{Erzeugung}}$ = 10...50 kPa
- Rohre (50...200 l/h): $\Delta p_{\text{Leitung}}$ = 40...130 Pa/m
- Verbraucher: $\Delta p_{\text{Verbraucher}}$ = 2...200 kPa
- Ventil: Δp_{Ventil} = 3...30 kPa oder mehr
je nach hydraulischer Schaltung

Die Anlageelemente in diesem Beispiel sind in Reihe geschaltet.

2. Proportionalitätsgesetz

In hydraulischen Systemen in HLK-Anlagen gilt das 2. Proportionalitätsgesetz:

$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \left(\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} \right)^2$$

Der Widerstand verändert sich im Quadrat zum Volumenstrom im Netz.

Die Anlageelemente können für eine gegebene Anlage vereinfacht als eine Konstante „C“ betrachtet werden. Somit können wir mit der folgenden Formel die Anlagenkennlinie bestimmen:

$$\text{Differenzdruck } \Delta p = C \cdot \dot{V}^2$$

Berechnen einer Anlagekennlinie (Rohrnetzkenlinie)

Für den Auslegezustand sind folgende Werte bekannt:

Förderstrom: 10 m³/h

Differenzdruck: 3 mWS $\approx$ 30 kPa = 0,3 bar

(mWS: Meter Wassersäule, Einheit für die Förderhöhe der Pumpe)

Daraus lässt sich die Konstante C für diese Anlagekennlinie bestimmen.

$$\text{Differenzdruck } \Delta p = C \cdot \dot{V}^2$$

Umgeformt nach C:

$$C = \frac{\Delta p}{\dot{V}^2}$$

Viele Hersteller geben den Förderdruck der Pumpe als Förderhöhe an. Die Einheit ist mWS, Meter Wassersäule.

Dies entspricht dem hydrostatischen Druck.

Deshalb ist es einfacher, mit dem Förderdruck H, anstatt mit dem Differenzdruck Δp zu rechnen.

$$H \triangleq \Delta p$$

$$C = \frac{H}{\dot{V}^2} \quad \Rightarrow C = \frac{3 \text{ mWS}}{(10 \text{ m}^3/\text{h})^2} = \frac{3 \text{ mWS}}{100 (\text{m}^3/\text{h})^2} = 0,03 \frac{\text{mWS}}{(\text{m}^3/\text{h})^2}$$

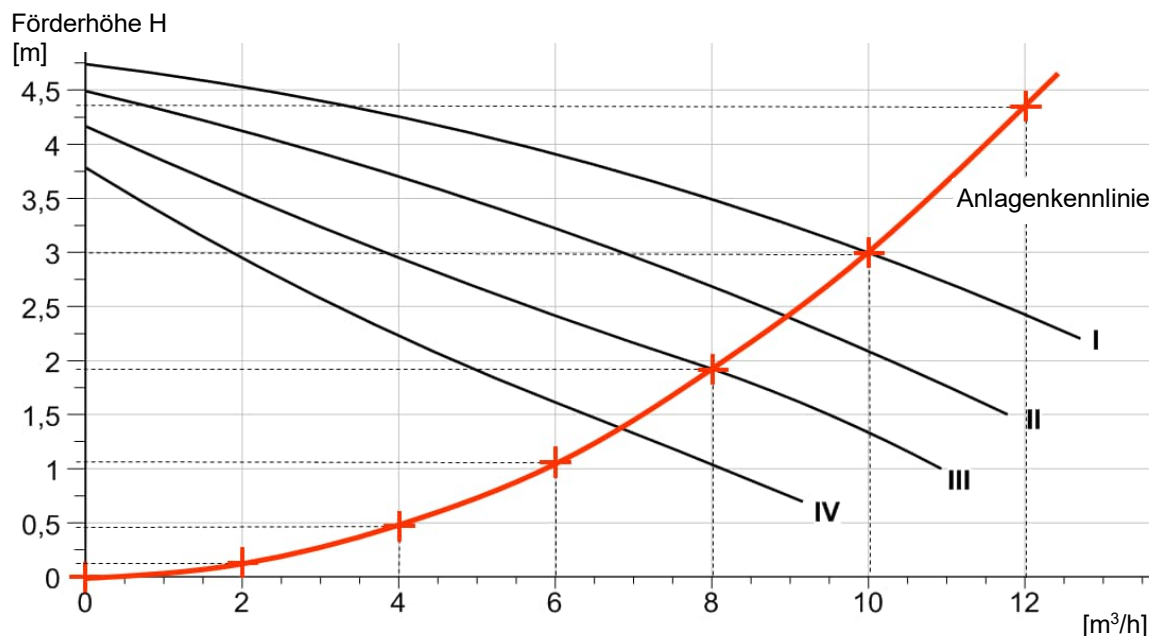
Die Förderhöhe wird bestimmt mit Hilfe von C (z.B. für einen Förderstrom von 4 m³/h):

$$H = C \cdot \dot{V}^2 \quad \Rightarrow H = 0,03 \frac{\text{mWS}}{(\text{m}^3/\text{h})^2} \cdot 4 \text{ m}^3/\text{h} = 0,48 \text{ mWS}$$

Weitere Werte dieser Anlagekennlinie werden auf dieselbe Weise bestimmt.

Förderstrom	$\dot{V}$	[m³/h]	0	2	4	6	8	10	12	14
Förderhöhe (Differenzdruck)	H	[mWS]	0	0,12	0,48	1,08	1,92	3,0	4,32	5,88

Damit lässt sich nun die Anlagekennlinie skizzieren:



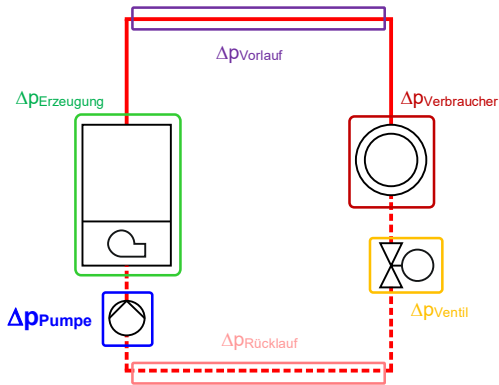
Resultierende Anlagekennlinie eingezeichnet in ein Pumpendiagramm

2.4.2. Die Pumpenkennlinie

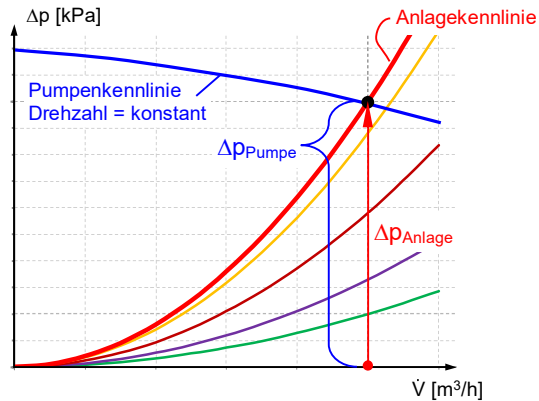
Bestimmung des Pumpendrucks

Der Förderdruck über der Pumpe soll gleich groß sein wie die Summe aller anderen Teilwiderstände in der Anlage:

$$\Delta p_{\text{Pumpe}} = \Delta p_{\text{Erzeugung}} + \Delta p_{\text{Vorlauf}} + \Delta p_{\text{Verbraucher}} + \Delta p_{\text{Ventil}} + \Delta p_{\text{Rücklauf}}$$



Heizungsanlage mit eingezeichneten hydraulischen Widerständen über allen Anlageteilen



$$\Delta p_{\text{Pumpe}} \triangleq \text{Förderhöhe in mWS} = \Delta p_{\text{Anlage}}$$

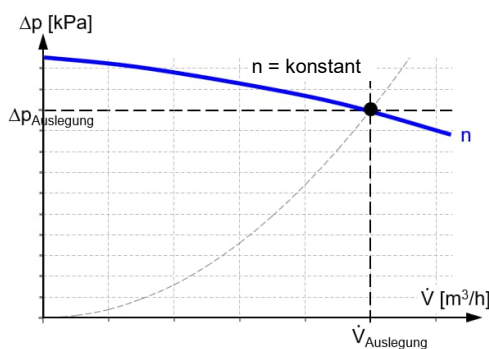
- Der Gesamtwiderstand entspricht der Summe aller Teilwiderstände in der Anlage (ohne Pumpe).
- Die Pumpe muss den gleich großen Druck aufbauen um diesen Gesamtwiderstand zu überwinden.
- Der Pumpendruck entspricht der Förderhöhe der Pumpe.

$$\Rightarrow \Delta p_{\text{Gesamt}} = \Delta p_{\text{Pumpe}} \triangleq \text{Förderhöhe in mWS}$$

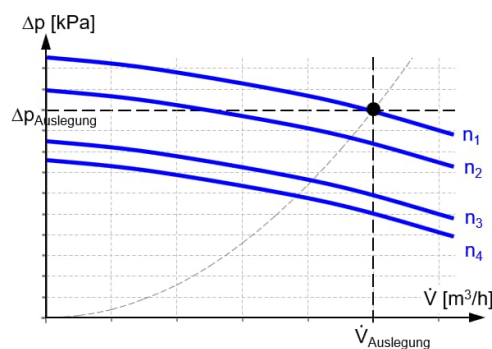
Gegenseitige Abhängigkeit von Förderstrom und Druckdifferenz über der Pumpe

Die Druckerhöhung, die in der Pumpe erzeugt wird und der Förderstrom, der durch die Pumpe fließt, sind voneinander abhängig. Die Pumpenkennlinie zeigt diese Abhängigkeit.

Je nach Drehzahl der Pumpe gilt eine andere Kennlinie.



Pumpenkennlinie bei konstanter Drehzahl n



Pumpenkennlinien bei unterschiedlichen Drehzahlen $n_1 \dots n_4$

2.4.3. Der Betriebspunkt der Pumpe

Der Betriebspunkt wird charakterisiert durch:

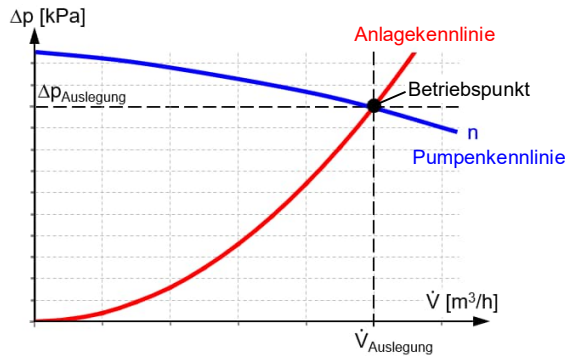
$$\frac{\dot{V}_{\text{Anlage}}}{\Delta p_{\text{Anlage}}} = \frac{\dot{V}_{\text{Pumpe}}}{\Delta p_{\text{Pumpe}}}$$

Das heißt, dort wo sich die Pumpenkennlinie und die Anlagekennlinie schneiden, befindet sich der Betriebspunkt (z.B. im Auslegezustand).

Forderung:

$$\dot{V}_{\text{Anlage}} = \dot{V}_{\text{Pumpe}} \quad \text{und somit auch} \quad \Delta p_{\text{Anlage}} = \Delta p_{\text{Pumpe}}$$

Die Förderhöhe der Pumpe ist im Betriebspunkt genau gleich groß wie der durch die Anlage erzeugte Widerstand beim geförderten Volumenstrom.



Betriebspunkt

Mit der Veränderung des geförderten Volumenstroms verändert sich auch der Betriebspunkt

$$\Delta p = C \cdot \dot{V}^2$$

Es ist wichtig, das Zusammenspiel zwischen Pumpenkennlinie und Anlagekennlinie zu verstehen, um den Betriebspunkt optimal ausulegen.

Wenn die Bedingung

$$\frac{\dot{V}_{\text{Anlage}}}{\Delta p_{\text{Anlage}}} = \frac{\dot{V}_{\text{Pumpe}}}{\Delta p_{\text{Pumpe}}}$$

nicht eingehalten wird, kann das unerwünschte Folgen haben:

Folgen eines nicht optimal ausgelegten Betriebspunkts

Volumendurchfluss zu hoch:

- Pumpe liefert zu viel
- Zu große Wärme- oder Kälteleistung
- Zu hohe Raumtemperatur

Volumendurchfluss zu klein:

- Förderhöhe kleiner als der von der Anlage benötigte Differenzdruck
- Zu kleine Wärme- oder Kälteleistung
- Zu tiefe Raumtemperatur

Förderhöhe

Wie bereits erwähnt, entspricht der Differenzdruck der Pumpe der Förderhöhe im Auslegefall:

$$\Delta p_{\text{Pumpe}} \triangleq \text{Förderhöhe in mWS}$$

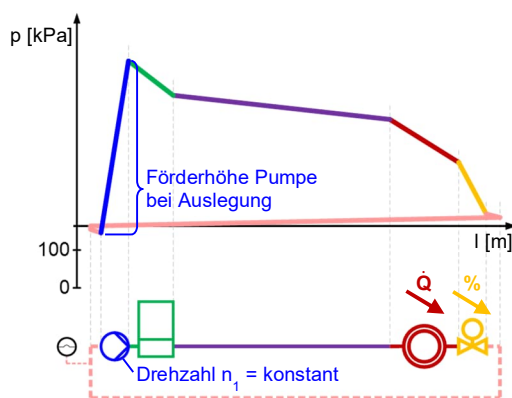
Ist die Förderhöhe der Pumpe größer als der von der Anlage benötigte Differenzdruck, wird eine entsprechend dimensionierte Abgleichdrossel eingebaut (siehe 1.5.2, S. 22, Hydraulischer Abgleich).

2.5. Der Betrieb von Pumpen

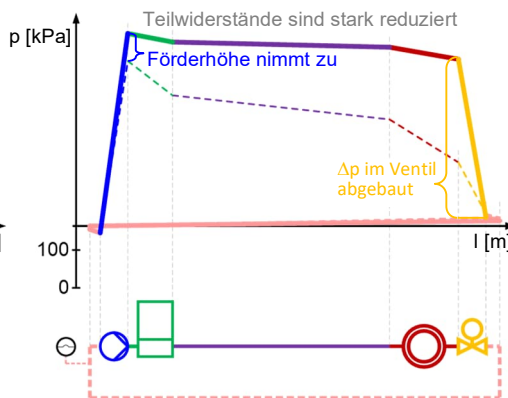
In den folgenden Kapiteln wird das Verhalten von unregulierten und geregelten Pumpen erläutert.

2.5.1. Der Betrieb von unregulierten Pumpen

Damit die Leistung $\dot{Q}$ am Verbraucher reduziert werden kann, beginnt das Ventil zu schließen und verringert so den Volumenstrom $\dot{V}$ durch den Verbraucher. Die unregelte Pumpe arbeitet bei konstanter Drehzahl „ n_1 “ und reagiert auf diesen reduzierten Volumenstrom. Der Betriebspunkt verschiebt sich entlang der Pumpenkennlinie nach links und die Pumpe erhöht dabei den Förderdruck (resp. die Förderhöhe). Gleichzeitig nehmen jedoch die Teilwiderstände im Leitungsnetz bei reduziertem Volumenstrom stark ab (vgl. 2.4.1; 2. Proportionalitätsgesetz). Als Folge muss die Differenz zwischen dem erhöhten Förderdruck der Pumpe und dem reduzierten Anlagewiderstand durch das Regelventil abgebaut werden.

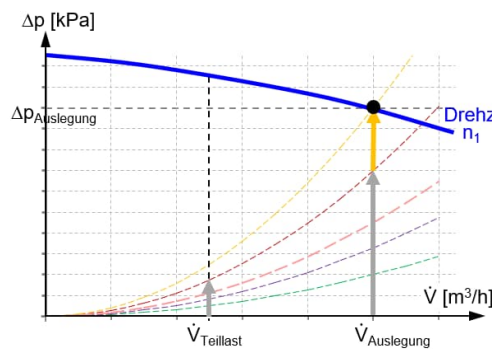


Anlagesituation bei Auslegung

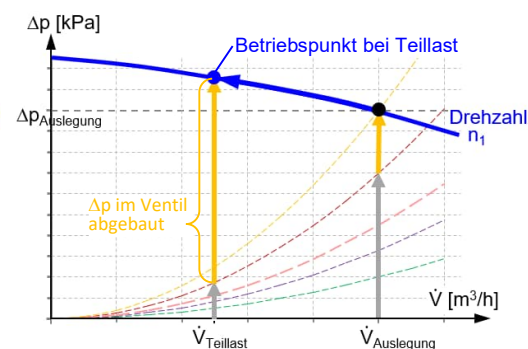


Anlagesituation bei 50 % Teillast

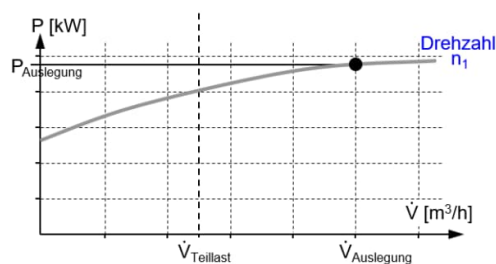
Die Grafiken unten illustrieren die Veränderung des Betriebspunktes bei Teillast 50 % und die damit verbundene Änderung der Leistungsaufnahme der Pumpe.



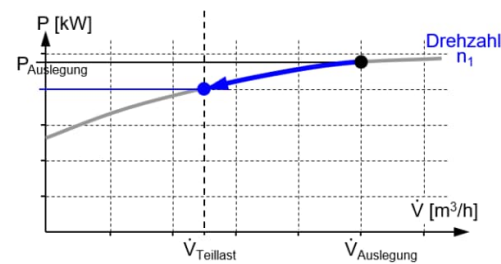
Betriebspunkt bei Auslegung



Betriebspunkt bei Teillast 50 %



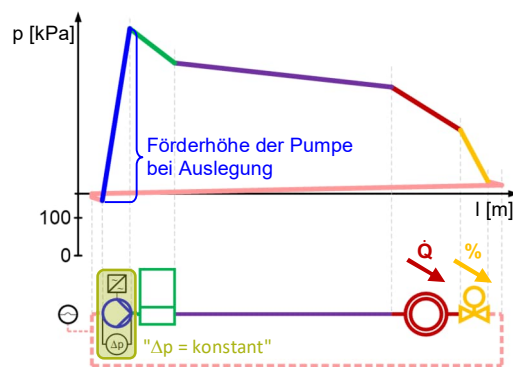
Leistungsaufnahme bei Auslegung



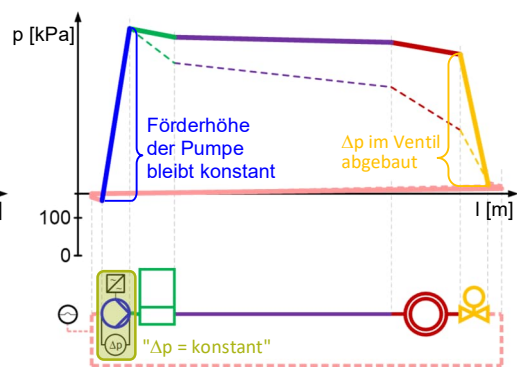
Leistungsaufnahme bei Teillast 50 %

2.5.2. Der Betrieb von geregelten Pumpen

Konstanter Förderdruck der Pumpe



Anlagesituation bei Auslegung

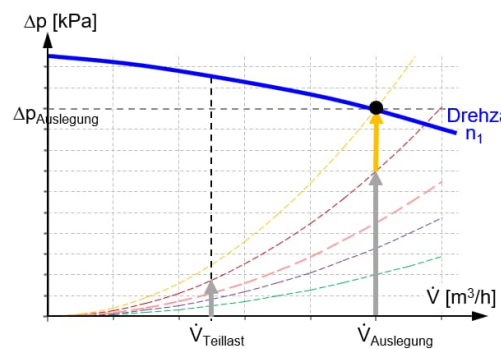


Anlagesituation bei 50 % Teillast

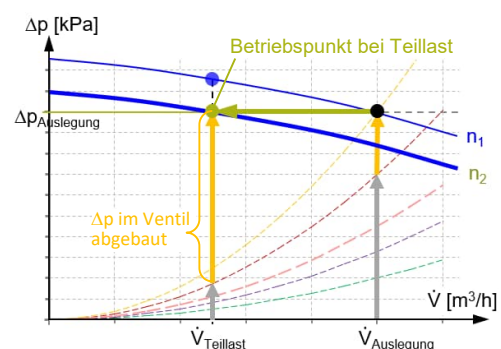
Der Förderdruck bei der Pumpe wird bei Teillast konstant gehalten. Dies wird entweder elektronisch direkt in der Pumpe geregelt oder mit Hilfe einer Druckregelung und eines Frequenzumrichters bei der Pumpe erreicht.

⇒ Der Betriebspunkt folgt der konstant gehaltenen Drucklinie horizontal nach links.

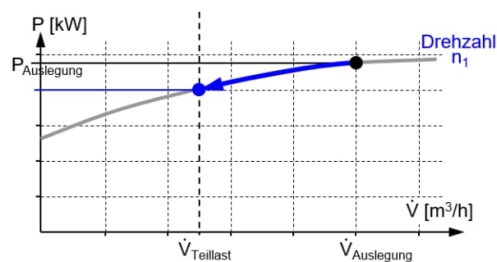
Die Grafiken unten illustrieren die Veränderung des Betriebspunktes bei Teillast 50% und die damit verbundene Änderung der Leistungsaufnahme der Pumpe.



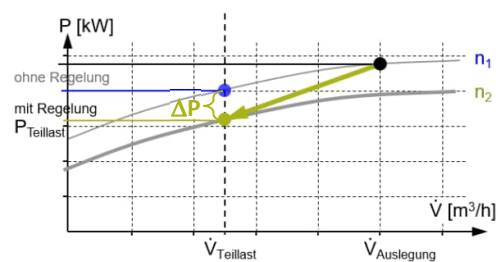
Betriebspunkt bei Auslegung



Betriebspunkt bei Teillast 50%

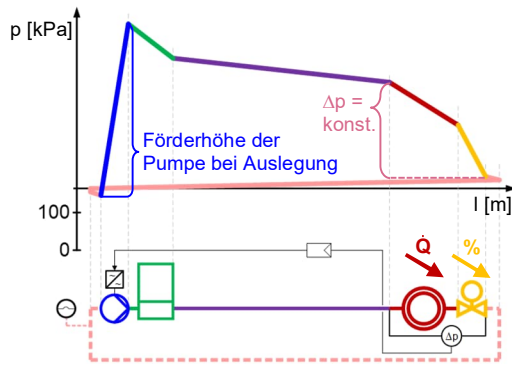


Leistungsaufnahme Teillast ungeregelt

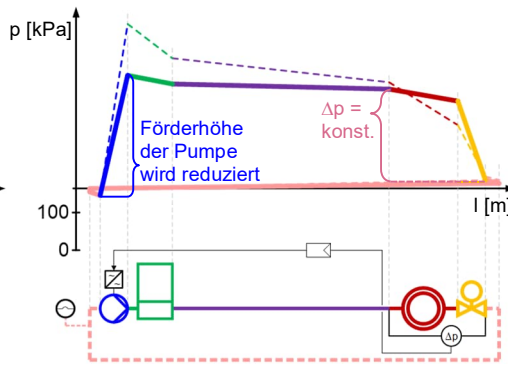


Leistungsaufnahme Teillast „ $\Delta p = \text{konstant}$ “ geregelt

Konstanter Differenzdruck über dem Endpunkt der Anlage



Anlagesituation bei Auslegung



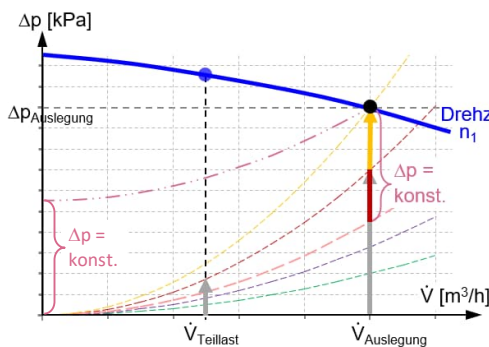
Anlagesituation bei 50 % Teillast

Der Differenzdruck über dem Endpunkt der Anlage wird konstant gehalten. Dies kann auf zwei Arten erreicht werden:

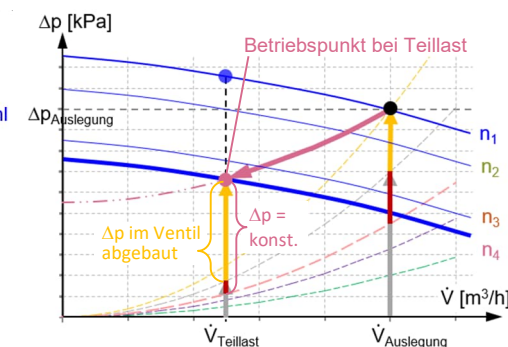
- Mit Hilfe einer Druckmessung über dem Endpunkt, verbunden mit einer Druckregelung und einem Frequenzumrichter bei der Pumpe.
- Näherungsweise mit einer elektronischen Regelung direkt in der Pumpe („ Δp proportional“-Regelung), z.B. auf $\frac{1}{2}$ Förderhöhe.

⇒ Der Betriebspunkt folgt einer Regelkennlinie, die auf $\Delta p_0 = \text{konstant}$ bei annähernd $\dot{V} = 0 \text{ m}^3/\text{h}$ zielt.

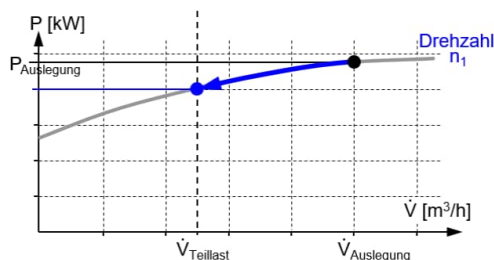
Die Grafiken unten illustrieren die Veränderung des Betriebspunktes bei Teillast 50% und die damit verbundene Änderung der Leistungsaufnahme der Pumpe.



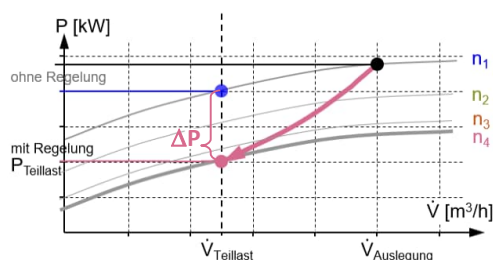
Betriebspunkt bei Auslegung



Betriebspunkt bei Teillast 50 %



Leistungsaufnahme Teillast ungeregelt



Leistungsaufnahme Teillast „über Endpunkt“ geregelt

Durch den reduzierten Förderstrom reduziert sich der Widerstand in der Anlage. Die Regelung über dem Endpunkt stellt sicher, dass dort der notwendige Differenzdruck immer gewährleistet ist.

Der Energieverbrauch der geregelten Pumpe mit dem Messpunkt über dem Endpunkt der Anlage ist, im Vergleich zur geregelten Pumpe mit dem Messpunkt über der Pumpe, nochmals kleiner.

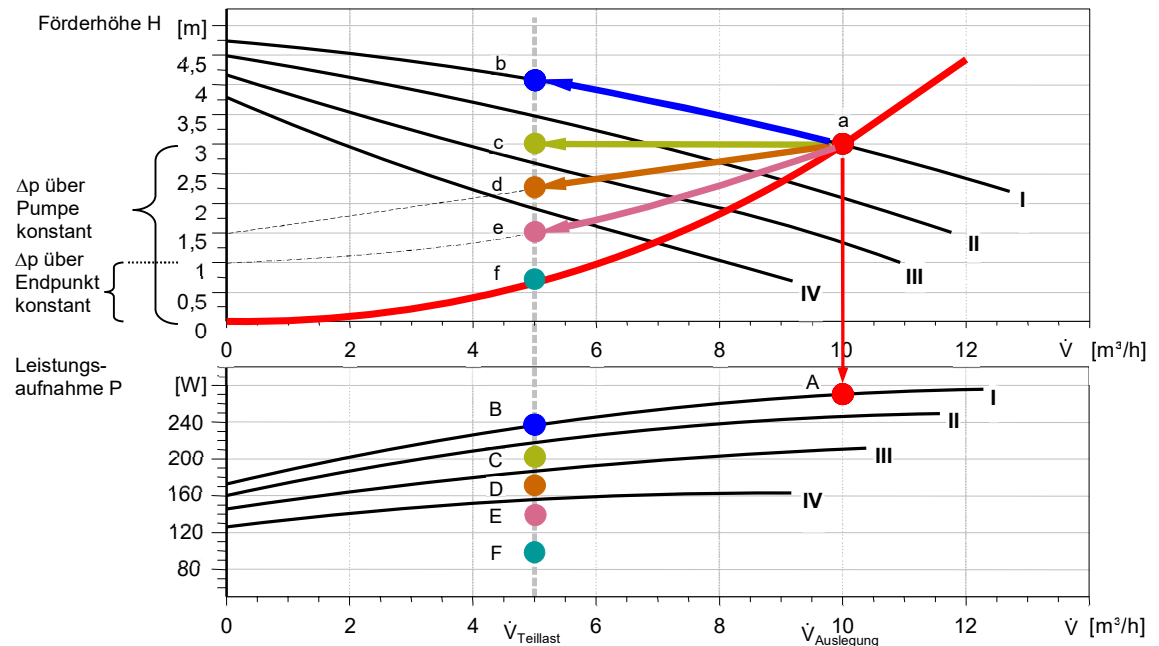
Energieeinsparungen durch geregelte Pumpen

Geregelte Pumpen sind bei Systemen mit variablem Volumenstrom sinnvoll.

Die Wahl der Regelungsart ist abhängig von der örtlichen Situation, den Investitionen und anderen Faktoren.

Wie die folgende Grafik zeigt, nehmen geregelte Pumpen weniger Leistung auf. So können Energie und Kosten gespart werden. Eine „über Endpunkt der Anlage“ geregelte Druckdifferenz (e) ist oft effizienter als ein „ Δp proportional“ geregelter Förderdruck bei der Pumpe (d).

Die nachfolgende Grafik zeigt mögliche Einsparungen anhand eines Pumpendatenblattes.



Betriebspunkte und Leistungen im Vergleich

- a: Betriebspunkt, Auslegung
- b: Betriebspunkt, Teillast, ungeregelt
- c: Betriebspunkt, Teillast, $\Delta p = \text{konstant}$ geregelt über Pumpe
- d: Betriebspunkt, Teillast, „ $\Delta p = \text{proportional}$ “ in elektronisch geregelter Pumpe
- e: Betriebspunkt, Teillast, $\Delta p = \text{konstant}$ geregelt über Endpunkt der Anlage
- f: Betriebspunkt, Teillast, $\Delta p = \text{bedarfsgeführt}$ nach Verbrauchern, z.B. Ventilpositionen
- A: Leistungsaufnahme, Auslegung
- B: Leistungsaufnahme, Teillast, ungeregelt
- C: Leistungsaufnahme, Teillast, $\Delta p = \text{konstant}$ geregelt über Pumpe
- D: Leistungsaufnahme, Teillast, „ $\Delta p = \text{proportional}$ “ in elektronisch geregelter Pumpe
- E: Leistungsaufnahme, Teillast, $\Delta p = \text{konstant}$ geregelt über Endpunkt der Anlage
- F: Leistungsaufnahme, Teillast, $\Delta p = \text{bedarfsgeführt}$ nach Verbrauchern, z.B. Ventilpositionen

Drehzahlregelung nach Ventilposition der Verbraucher

Eine weitere Möglichkeit, die Pumpendrehzahl den Gegebenheiten in einer Anlage anzupassen, ist die Drehzahlregelung auf Grund der Ventilposition der Verbraucher.

Diese Art der Drehzahlregelung ist dann sinnvoll, wenn die aktuellen Stellpositionen der einzelnen Verbraucherventile in einem Gebäudeautomations-System erfasst und ausgewertet werden können. Das Gebäudeautomations-System kann dann den notwendigen Sollwert für die Drehzahlregelung vorgeben. So kann sichergestellt werden, dass das Ventil mit dem größten Bedarf immer möglichst weit geöffnet ist (z.B. 90 %).

Mit diesem System sind noch kleinere Druckdifferenzen über dem Endpunkt der Anlage möglich. Die Leistungsaufnahme der Pumpe wird nochmals verringert zu Punkt F und kommt damit oft erheblich unter Punkt E zu liegen.

3 Dimensionierung von Stellgliedern

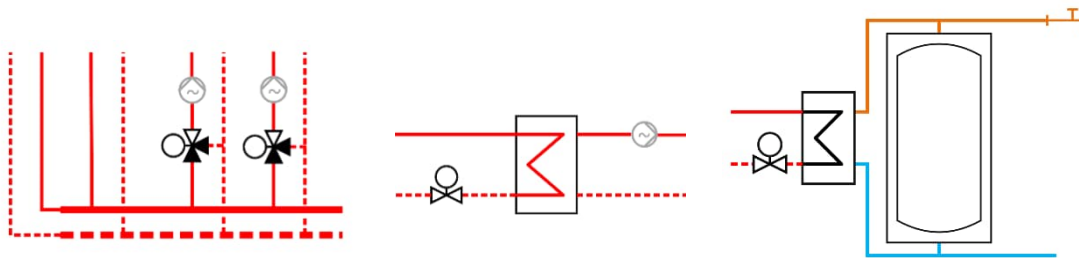
In den vorangegangenen Kapiteln haben Sie sehr viele Informationen über hydraulische Schaltungen und zu Stellgliedern und physikalischen Gegebenheiten in einer Anlage erhalten. In diesem Teil befassen wir uns nun eingehend mit den verschiedenen Aspekten der Dimensionierung von Stellgeräten, d.h. von Ventilen.

Bevor Stellgeräte, d.h. Stellglieder und Stellantriebe dimensioniert und ausgewählt werden können, müssen verschiedene wichtige Informationen der Anlage vorhanden sein, wie:

- Prinzipschema der hydraulischen Schaltungen der Erzeuger- und Verbraucherseite (in geographischer oder synoptischer Darstellung)
- Leistungen der Erzeuger- und Verbraucherseite mit zugehörigen Temperaturdifferenzen
- Bezeichnungen der Erzeuger und Verbraucher
z.B. „Heizgruppe West“, „Fußbodenheizung Neubau“, „Lufterwärmer“, ...
⇒ diese geben oft Hinweise auf kritische Punkte in der Anlage

Weiter ist es wichtig zu wissen, ob es sich um alltägliche hydraulische Schaltungen resp. Regelkreise (z.B. Fußbodenheizung) handelt oder um spezielle hydraulische Schaltungen, die besondere Detailinformationen erforderlich machen, wie:

- Anfahrregelung einer Wärmepumpe
- Warmwasser-Ladung mit geregelter Ladetemperatur
- Fernheizungs-Übergabestationen
- Anlageteile mit hohen Netzdrücken
- usw.



Verschiedene hydraulische Schaltungen, deren Eigenheiten bei der Dimensionierung berücksichtigt werden müssen

Ebenso müssen die Druckverluste im variablen Rohrnetzteil und von einzelnen Komponenten in der hydraulischen Schaltung wie beispielsweise Lufterwärmer, Wärmezähler, usw. bekannt sein (vgl. 3.1.1).

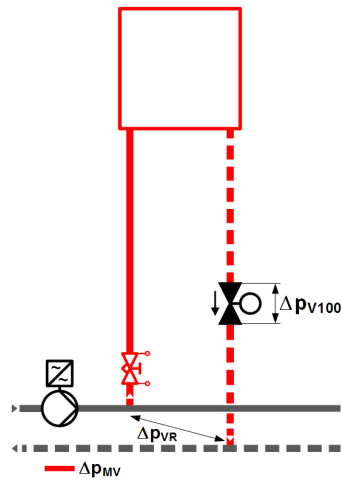
Wenn alle diese Informationen vorliegen, kann das Stellglied schnell und sauber abgestimmt auf die Anlagenverhältnisse dimensioniert werden.

3.1.1. Leitungsteile mit variabler Wassermenge in hydraulischen Schaltungen

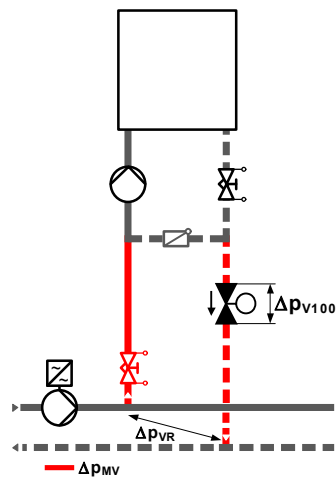
Für die Dimensionierung von Stellgliedern ist es sehr wichtig, Leitungsteile mit variabler Wassermenge (im Betrieb), korrekt zu identifizieren. Dies darum, weil der Druckverlust in diesen Leitungen (mit den eingebauten Komponenten) ein wichtiger Faktor für die Dimensionierung des Stellgliedes ist.

In Ergänzung zum Abschnitt 1.3 „Verbraucher-Grundsaltungen“ werden nachfolgend die mengenvariablen Teile einzelner hydraulischer Schaltungen gezeigt, welche für die Bestimmung des Druckverlustes maßgebend sind.

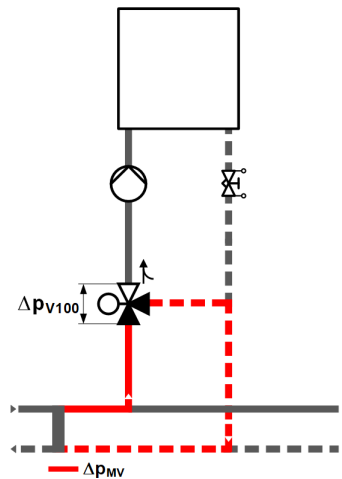
Die Leitungsteile mit variabler Wassermenge sind rot markiert und mit Δp_{MV} bezeichnet.



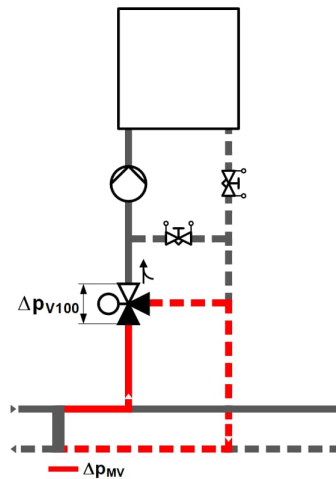
Drosselschaltung:
von Verteiler über Verbraucher und zurück



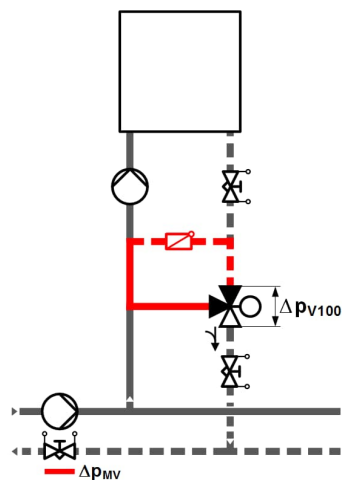
Einspritzschaltung mit 2-Weg-Ventil:
von Verteiler bis Einspritz-Bypass und zurück



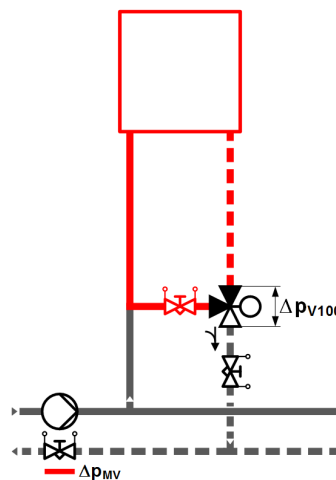
Beimischschaltung:
Leitungen vom / zum Verteiler



Beimischschaltung mit fester Vormischung:
Leitungen vom / zum Verteiler



Einspritzschaltung mit Dreiwegventil: *veraltet*
Bereich zwischen Einspritz-Bypass bis Ventil-Bypass



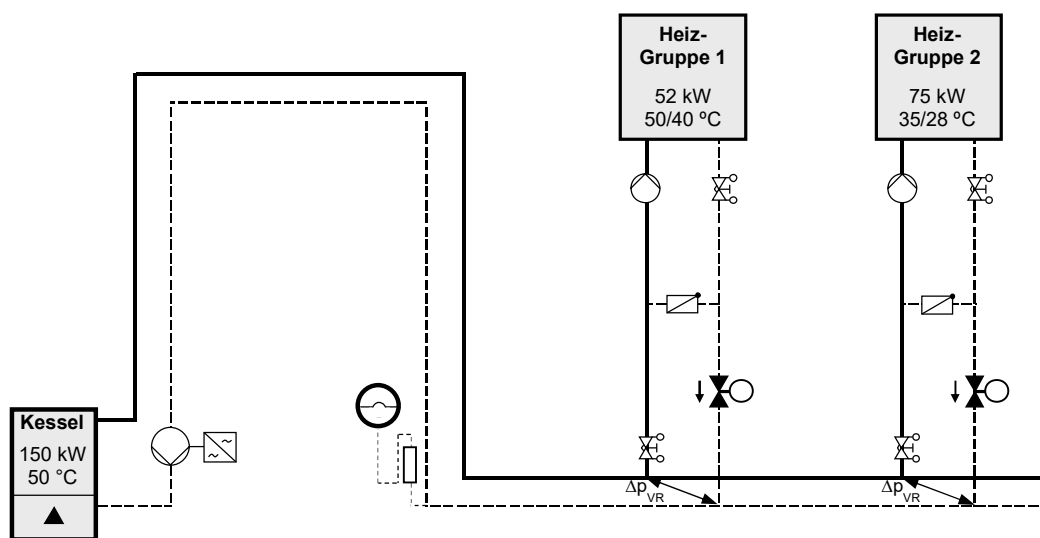
Umlenkschaltung: *veraltet*
von Einspritz-Bypass über Verbraucher und zurück

3.2. Beispiel zur Ventildimensionierung

Bei einer Besprechung mit der Gebäudetechnik-Planerin wurden die folgenden Informationen zusammengetragen:

Anlagenbeispiel mit 2 Heizgruppen

Heizkessel - Leistung: 150 kW - Vorlauftemperatur: 50 °C	
Heizgruppe 1 (Altbau) mit Radiatoren - Leistung: 52 kW - Vorlauftemperatur: 50 °C - Rücklauftemperatur: 40 °C ⇒ ΔT über Verbraucher: 10 K - Einspritzschaltung mit 2-Weg-Ventil, direkt auf Verteiler aufgebaut - Druckverlust zwischen Vor-/Rücklauf: Δp_{VR} ca. 6 kPa	Heizgruppe 2 (Neubau) mit Fußbodenheizung - Leistung: 75 kW - Vorlauftemperatur: 35 °C - Rücklauftemperatur: 28 °C ⇒ ΔT über Verbraucher: 7 K - Einspritzschaltung mit 2-Weg-Ventil, direkt auf Verteiler aufgebaut - Druckverlust zwischen Vor-/Rücklauf: Δp_{VR} ca. 6 kPa



Anlagenbeispiel mit den Heizgruppen 1 und 2, direkt auf Verteiler aufgebaut

3.2.1. Dimensionierung des Ventils (Stellglied)

Die Dimensionierung eines Stellglieds erfolgt in den folgenden Schritten:

- Ermittlung des Volumenstromes $\dot{V}$ (oft auch $\dot{V}_{100}$ genannt) aus Leistung $\dot{Q}$ und Temperaturdifferenz ΔT
- Bestimmung des maßgebenden Druckverlustes Δp_{MV} (resp. Δp_{VR}) im mengenvariablen Teil
- Bestimmung der gewünschten Ventilautorität P_v und damit des notwendigen Differenzdruckes Δp_{V100} über dem Ventil
- Bestimmung des k_v -Wertes
- Auswahl des Ventils mit geeignetem k_{vS} -Wert und einem passenden Antrieb

Heizgruppe 1 (Altbau mit Radiatoren)

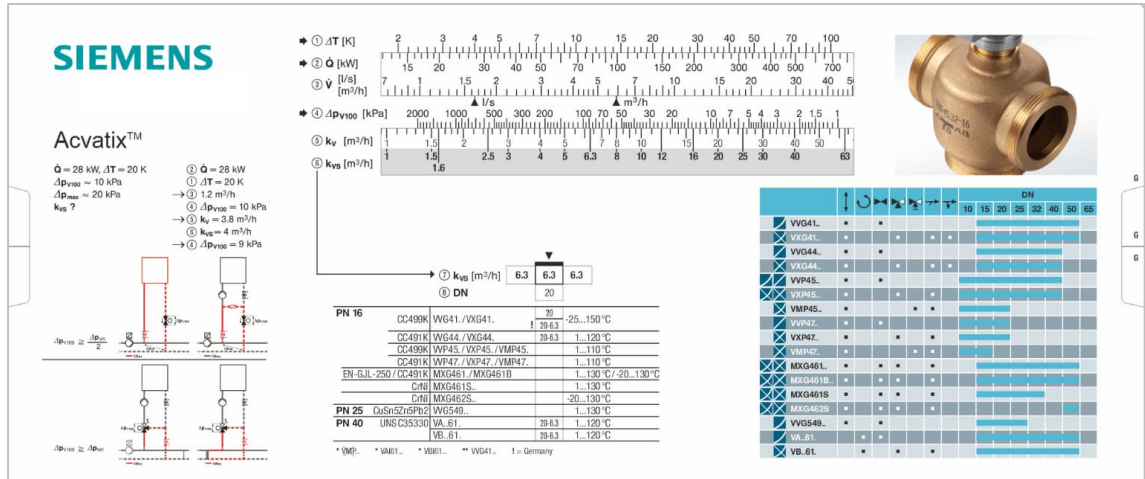
Ermittlung des Volumenstromes

Der Volumenstrom bei Nennlast – d.h. bei voll geöffnetem Regelventil – kann aus der Leistungsformel

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T \quad \text{oder} \quad \dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T$$

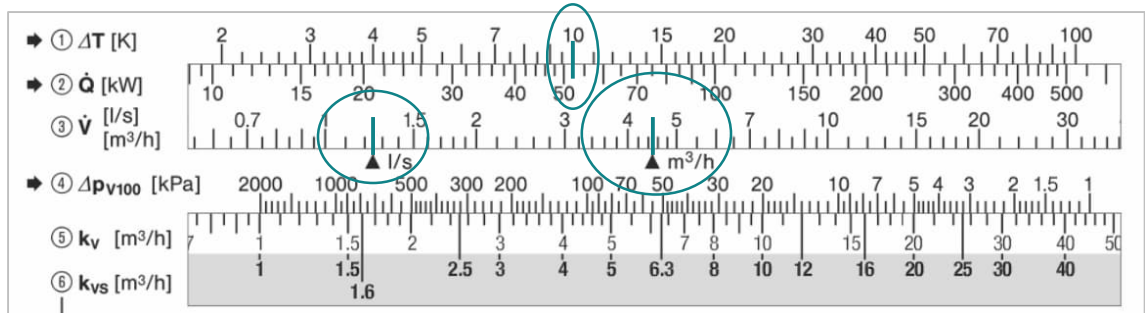
berechnet werden, oder mit Hilfe eines Ventilschiebers bestimmt werden.

Für dieses Beispiel wird der Ventilschieber von Siemens verwendet.



Siemens Ventilschieber (Seite mit Gewinde-Ventilen)

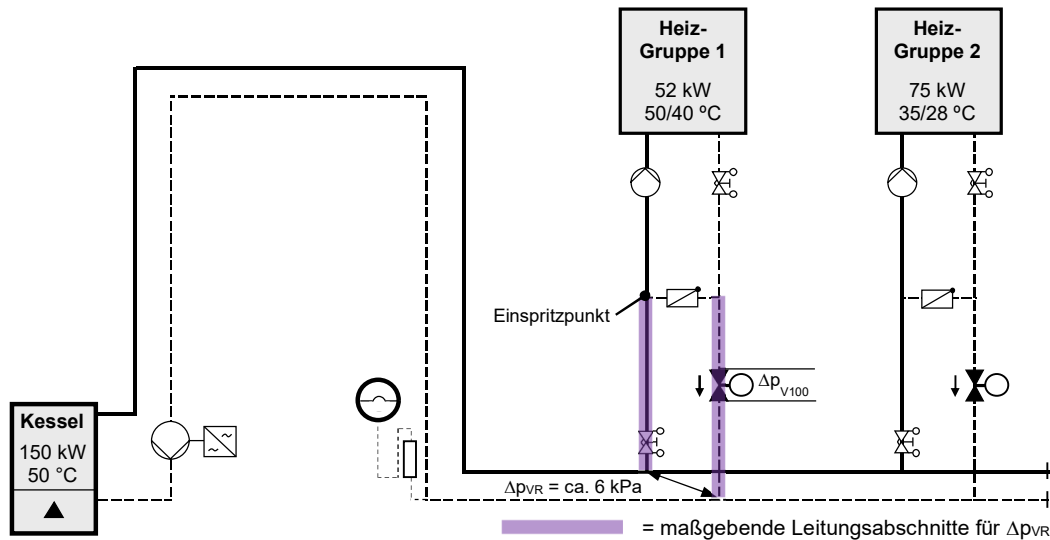
1. Schieben Sie die Zeile ② mit dem Wert $\dot{Q} = 52 \text{ kW}$ unter den Wert von $\Delta T = 10 \text{ K}$ in Zeile ①
2. Nun kann in Zeile ③ der Volumenstrom $\dot{V}$ abgelesen werden:
 $\dot{V} = 4,5 \text{ m}^3/\text{h}$ oder $1,24 \text{ l/s}$



Bestimmung des Volumenstromes mit Ventilschieber (Ausschnitt) bei Nennleistung (Stellglied 100 % offen)

Dieser Teil des Ventilschiebers basiert also auf der Leistungsformel: $\dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T$

Leitungsteile mit variablen Wassermengen und maßgebende Druckverluste



Leitungsteile der Einspritzschaltung mit variabler Wassermenge im Betrieb

1. Bestimmen Sie in der hydraulischen Schaltung, in welchen Leitungsteilen sich die Wassermenge verändert, wenn das Regelventil arbeitet. Bei der Einspritzschaltung mit 2-Weg-Ventil sind dies die Leitungen ab dem Verteiler bis zum Bypass (→ Einspritzpunkt) und zurück.
2. Die Gebäudetechnik-Planerin hat dafür ein Δp_{VR} von 6 kPa geplant. Dies ist der geplante gesamte Druckverlust ab dem Verteiler für diese Leitungsteile (inkl. Regelventil mit Δp_{V100}).

Hinweis:

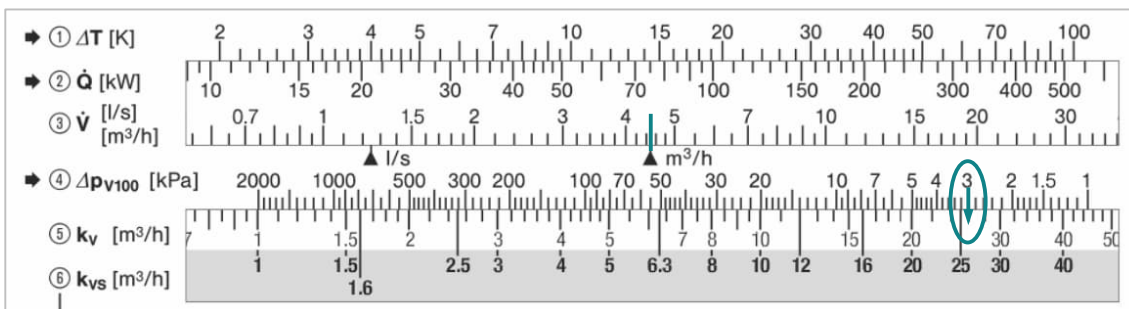
Ist die Einspritzschaltung nicht direkt auf dem Verteiler aufgebaut, sondern weit entfernt (z.B. an einem Lüftungsgerät für einen Lufterwärmer), dann wird Δp_{VR} , bedingt durch die langen Leitungen, entsprechend grösser (z.B. 20 kPa oder mehr). Deshalb muss Δp_{VR} immer der Anlagesituation entsprechend für die Ventilauswahl berücksichtigt werden.

Gewünschte Ventilautorität P_V resp. Δp_{V100} bestimmen

Nun gilt es, die erforderliche Ventilautorität P_V für die Heizgruppe festzulegen. Für eine Heizgruppe mit Einspritzschaltung mit 2-Weg-Ventil soll der Widerstand über dem Ventil Δp_{V100} für ein gutes Regelverhalten mindestens halb so groß sein, wie der gesamte Druckverlust zwischen Vor- und Rücklauf Δp_{VR} . Dies entspricht einer Ventilautorität von $P_V \geq 0,5$. Daraus ergibt sich in diesem Beispiel für den gewünschten Widerstand des Ventils: $\Delta p_{V100} \geq 0,5 \cdot \Delta p_{VR} \geq 0,5 \cdot 6 \text{ kPa} \geq 3 \text{ kPa}$

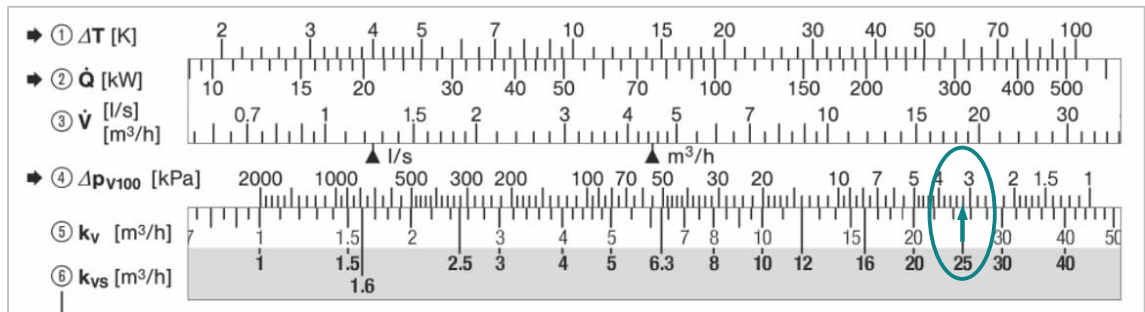
k_{VS} -Wert bestimmen

Der k_V -Wert kann in Zeile ⑤ bei $\Delta p_{V100} = 3 \text{ kPa}$ (Zeile ④) abgelesen werden.



Bestimmung des k_V -Wertes basierend auf Δp_{V100} mit Ventilschieber (Ausschnitt Seite mit Gewinde-Ventilen)

Aus dem Ventilschieber bei Volumenstrom 4,5 m³/h (Zeile ③) und $\Delta p_{V100} = 3 \text{ kPa}$ (Zeile ④) ergibt sich ein k_V -Wert von ungefähr 26 m³/h (Zeile ⑤). Der k_V -Wert stellt den, für diese Anlagesituation, idealen k_{VS} -Wert dar. Die dazu nächstliegend verfügbaren k_{VS} -Werte (d.h. Baugrößen) sind 25 m³/h und 30 m³/h (Zeile ⑥). Hier wird ein k_{VS} -Wert von 25 m³/h gewählt, da für kleinere Ventile eine etwas höhere Ventilautorität P_{Veff} und eine bessere Regelbarkeit resultiert. Es ergibt sich $\Delta p_{V100eff} = 3,2 \text{ kPa}$.



Bestimmung von $\Delta p_{V100\text{eff}} = 3,2 \text{ kPa}$ bei k_{VS} -Wert 25 mit Ventilschieber (Ausschnitt Seite mit Gewinde-Ventilen)

Überprüfen Sie die daraus resultierende, effektive Ventilautorität P_{Veff} :

$$P_{\text{Veff}} = \frac{\Delta p_{V100\text{eff}}}{\Delta p_{VR}} = \frac{\Delta p_{V100\text{eff}}}{\Delta p_{V100\text{eff}} + \Delta p_{\text{Leitungen}}} \Rightarrow P_{\text{Veff}} = \frac{3,2 \text{ kPa}}{(3,2 + 3) \text{ kPa}} = 0,52$$

Resultierende Ventilautorität $P_{\text{Veff}} = 0,52$ (mit $\Delta p_{VR\text{eff}} = 6,2 \text{ kPa}$), was sehr nahe an der Vorgabe ist.

Auswahl von geeignetem Ventil und Antrieb

Bestimmen Sie nun mögliche Ventile, die einen k_{VS} -Wert von 25 haben.

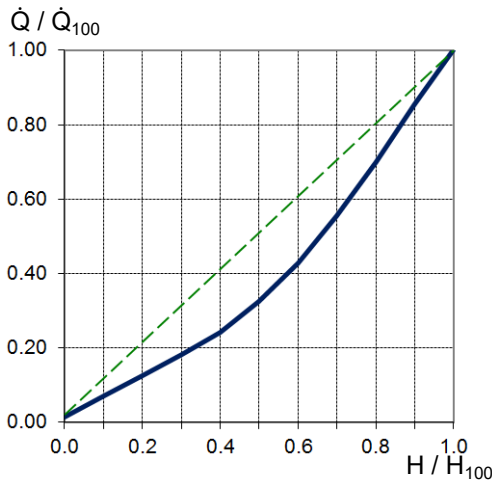
Verschieben Sie dazu Zeile ⑦ (k_{VS} -Wert), bis der Wert "25" im eingerahmten Feld erscheint. Nun können Sie aus der darunter aufgeführten Liste mögliche Ventiltypen auswählen.

⑦ $k_{VS} [\text{m}^3/\text{h}]$			
25	25	25	
⑧ DN			
		40	
PN 16	CC499K	WG41./VXG41.	-25...150 °C
	CC491K	WG44./VXG44.	1...120 °C
	CC499K	WP45./VXP45./VMP45.	1...110 °C
	CC491K	WP47./VXP47./VMP47.	1...110 °C
	EN-GJL-250 / CC491K	MXG461./MXG461B	1...130 °C / -20...130 °C
	CrNi	MXG461S..	1...130 °C
	CrNi	MXG462S..	-20...130 °C
PN 25	CuSn5Zn5Pb2	WG549..	1...130 °C
PN 40	UNSC35330	VA..61.	1...120 °C
		VB..61.	1...120 °C

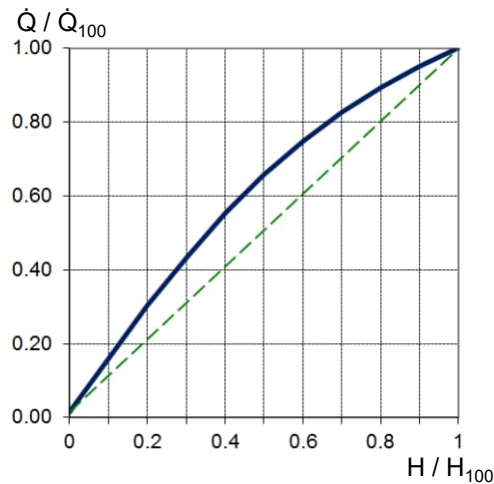
Mögliche Ventile bei k_{VS} -Wert 25 m^3/h (Ausschnitt aus Ventilschieber)

		DN							
		10	15	20	25	32	40	50	65
	VVG41..								
	VXG41..								
	VVG44..								
	VXG44..								
	VVP45..								
	VXP45..								

Für unser Beispiel kann entweder ein 2-Weg-Ventil VVG41.40-25 mit gleichprozentiger Kennlinie (vgl. links) oder ein 2-Weg-Ventil VVG44.40-25 mit linearer Kennlinie (vgl. links) gewählt werden. Beide führen zu einer ähnlich gut linearisierten Streckenkennlinie in Kombination mit einer Wärmeübertragerkennlinie mit einem a -Wert von 1 (vgl. 2.3 und Anhang mit a -Wert-Berechnungen; gilt für Vorlauftemperatur-Regelung mit Einspritzschaltung mit 2-Weg-Ventil oder mit Beimischschaltung).



Streckenkennlinie mit **gleichprozentigem** Ventil ($P_v = 0,5$; $a = 1$)



Streckenkennlinie mit **linearem** Ventil ($P_v = 0,5$; $a = 1$)

Produktelinien haben unterschiedlichen Hub

Weiter ist für die Ventilauswahl auch zu beachten, dass diese beiden Ventilarten einen unterschiedlichen Ventilhub haben (VVG41... 20 mm, VVG44... 5,5 mm), d.h. die VVG41...-Produkte haben eine mechanisch höhere Auflösung als die VVG44...-Produkte.

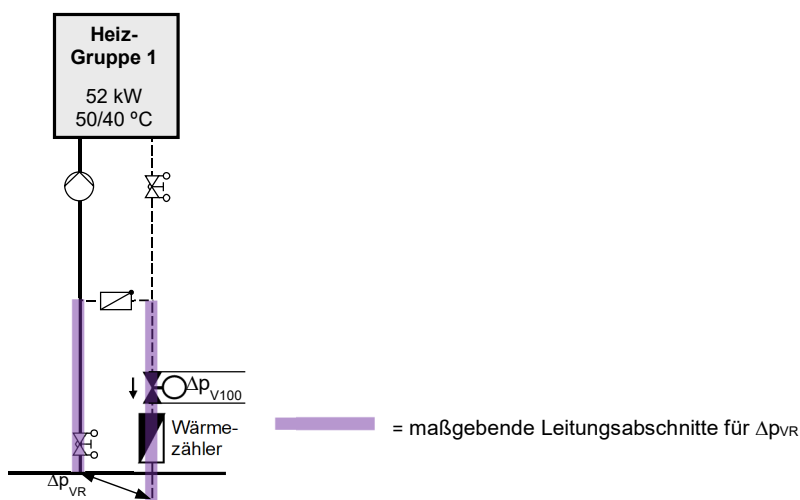
Wahl des Antriebs

Als Antrieb können Sie einen Dreipunkt-Antrieb (z.B. SAX31 oder SAS31) einsetzen. Es bestehen keine speziellen Anforderungen und diese Antriebe weisen ein gutes Preis-/Leistungsverhältnis auf. Entsprechende Ventil- / Antriebs-Kombinationen finden Sie auf dem Datenblatt für Antriebe, das dem Ventilschieber von Siemens beiliegt, oder auch in den technischen Unterlagen.

Komponenten in Leitungsteilen mit variabler Wassermenge

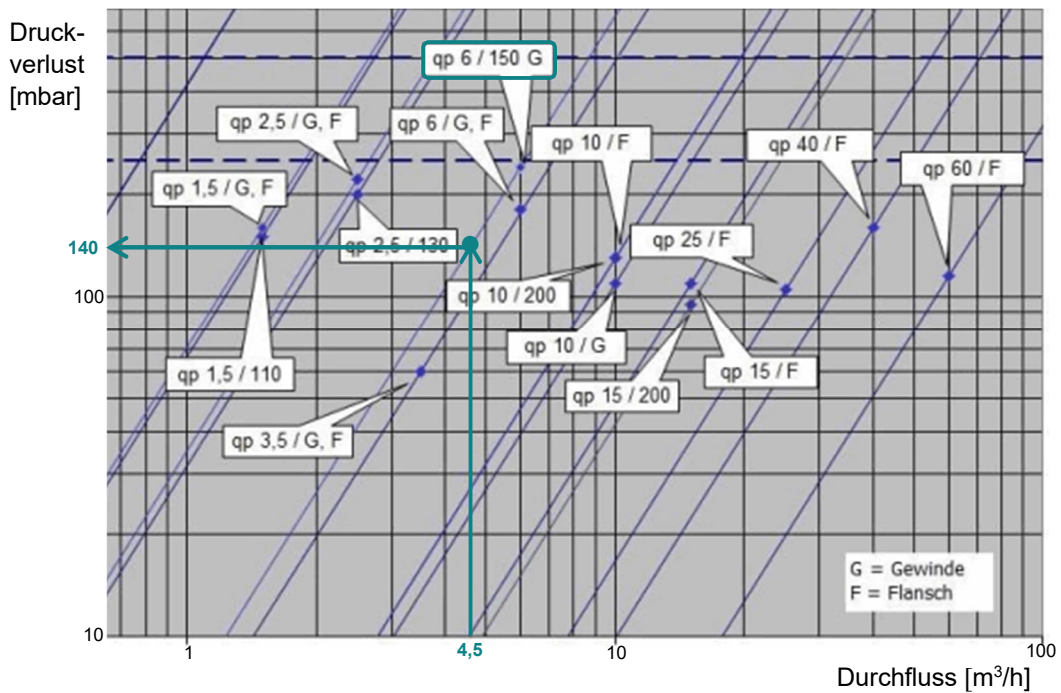
Befinden sich zusätzliche Armaturen in den Leitungsteilen mit variabler Wassermenge, muss der dadurch entstehende Druckverlust mitberücksichtigt werden.

In diesem Beispiel wurde in der Heizgruppe 1 zusätzlich ein Wärmezähler (4,5 m³/h) eingebaut.



Wärmezähler in Heizgruppe 1

Daraus ergibt sich: $\Delta p_{VR} = \Delta p_{\text{Leitungen}} + \Delta p_{V100} + \Delta p_{\text{Wärmezähler}}$



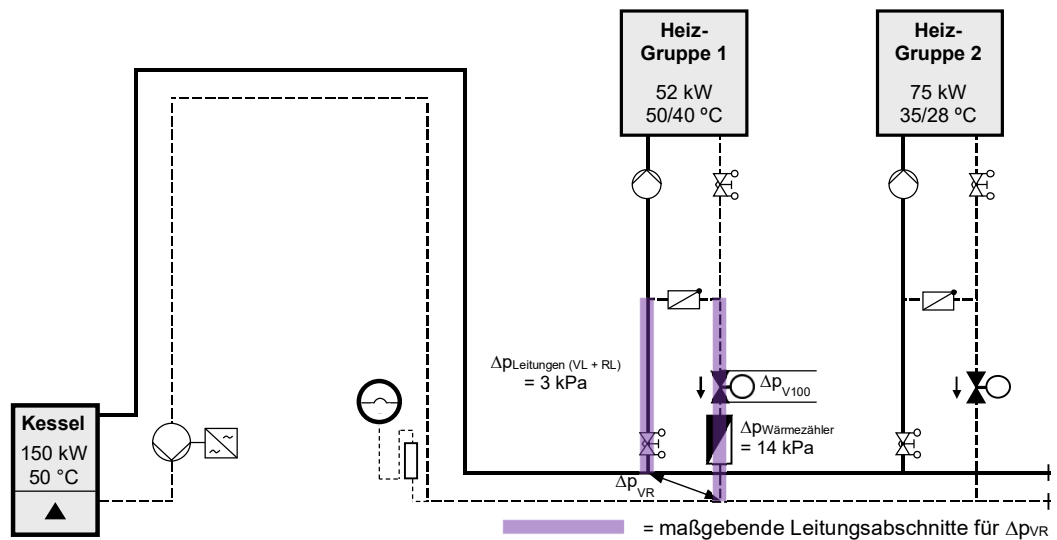
Druckverlust-Diagramm für Wärmezähler

Der Druckverlust des Wärmezählers kann aus den Herstellerunterlagen herausgelesen werden:

$$\Delta p_{\text{Wärmezähler}} = 140 \text{ mbar} = 14 \text{ kPa}$$

Der gesamte, für die Stellglied-Dimensionierung maßgebende, Druckverlust Δp_{VR} wird somit entsprechend grösser. Auch hier sollte $\Delta p_{V100} \geq 0,5 \cdot \Delta p_{VR}$ sein:

$$\Rightarrow \Delta p_{V100} \geq (\Delta p_{\text{Wärmezähler}} + \Delta p_{\text{Leitungen}}) \geq 14 \text{ kPa} + 3 \text{ kPa} \geq 17 \text{ kPa}$$

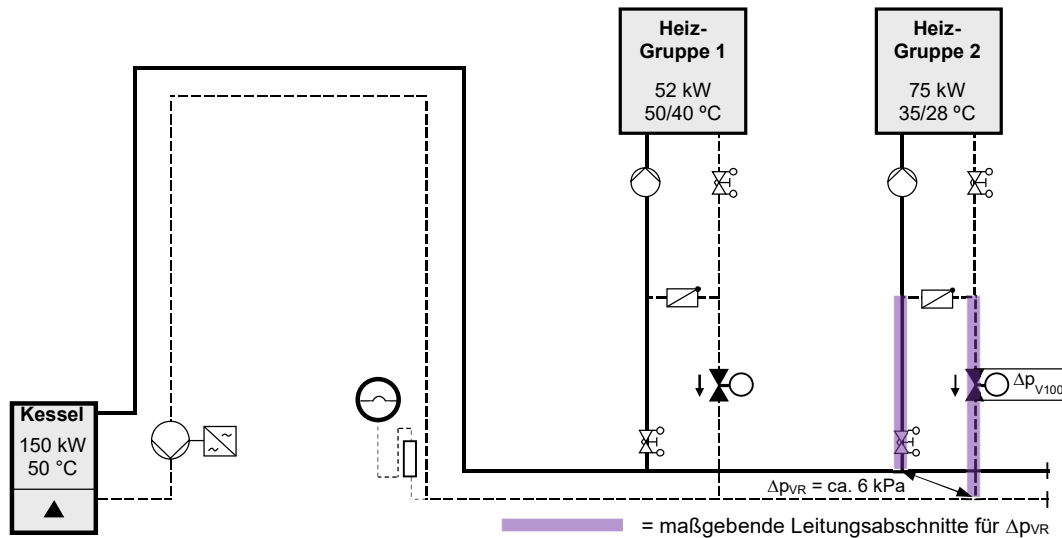


Heizgruppe 1 mit eingebautem Wärmezähler

Dies führt zu einem kleineren Ventil (z.B. VVG41.25-10 oder VVG44.25-10) mit Nennweite DN 25, $k_{VS} = 10 \text{ m}^3/\text{h}$ und mit einem höheren $\Delta p_{V100\text{eff}}$ -Wert von 20 kPa ($\Rightarrow P_{V\text{eff}} = 0,54$).

Heizgruppe 2 (Neubau mit Fußbodenheizung)

Für diese Heizgruppe ist ebenfalls eine Einspritzschaltung mit 2-Weg-Ventil vorgesehen.



Leitungsteile mit variabler Wassermenge im Betrieb in Heizgruppe 2

Die Heizgruppe 2 ist für eine Vorlauftemperatur von 35 °C ausgelegt. Diese ist einiges tiefer als die Temperatur von 50 °C, welche vom Heizkessel geliefert wird. Es muss also abgekühltes Rücklaufwasser mit 28 °C über den Bypass der Einspritzschaltung zugemischt werden, um diese tiefere Temperatur von 35 °C im Auslegezustand zu erreichen. Das notwendige Mischverhältnis wird durch korrektes Einstellen der Volumenströme mit Hilfe der beiden Drosselorgane beim Verteilerabgang und über den Verbraucher erreicht ($\Rightarrow$ „hydraulischer Abgleich“).

Aufgrund dieser fest eingestellten Zumischung verringert sich der Volumenstrom, der vom Kessel her fließt ($\dot{V}_{\text{Kessel}}$) und das Ventil kann im Verhältnis kleiner dimensioniert werden als bei der Heizgruppe 1.

Volumenstrom

Der Volumenstrom, der von der Produzentenseite im Auslegezustand bezogen werden muss, kann mit Hilfe der folgenden Mischformel bestimmt werden:

$$\dot{V}_{\text{Kessel}} = \dot{V}_{\text{Heizgruppe}} \cdot \frac{\theta_{\text{Vorlauf}} - \theta_{\text{Rücklauf}}}{\theta_{\text{Kesselvorlauf}} - \theta_{\text{Rücklauf}}}$$

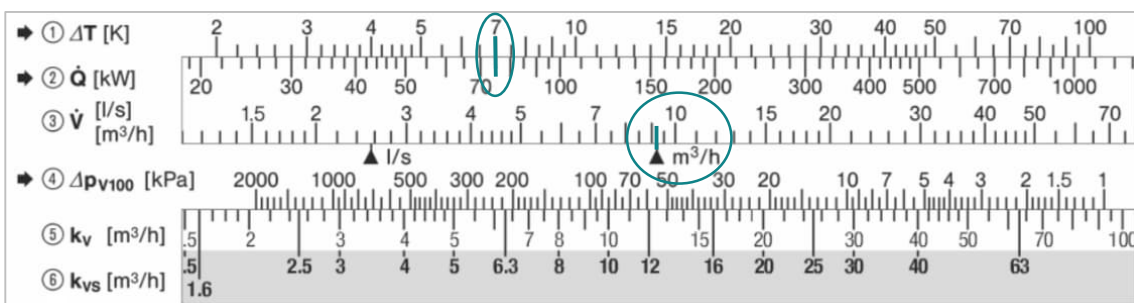
$\dot{V}_{\text{Heizgruppe}}$ kann wie bei der Heizgruppe 1, z.B. mit dem Ventilschieber von Siemens bestimmt werden.

Schieben Sie die Zeile ② mit dem Wert $\dot{Q} = 75 \text{ kW}$ unter den Wert von

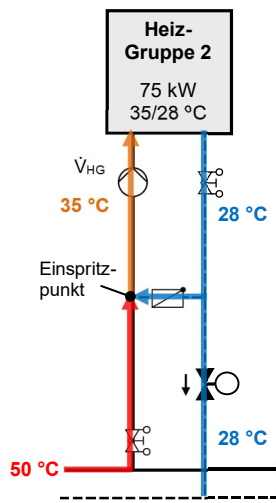
$\Delta T = 7 \text{ K}$ (35 °C – 28 °C) in Zeile ①

Nun kann in Zeile ③ der Volumenstrom $\dot{V}_{\text{Heizgruppe}}$ abgelesen werden:

$\dot{V}_{\text{Heizgruppe}} = 9,2 \text{ m}^3/\text{h}$ oder $2,59 \text{ l/s}$



Bestimmung des Volumenstroms welcher in der Heizgruppe 2 zirkuliert mit Ventilschieber (Ausschnitt)



Heizgruppe 2 mit fester Zumischung von abgekühltem Rücklaufwasser am Einspritzpunkt

Bestimmen Sie nun mit Hilfe der oben gezeigten Mischformel den Volumenstrom $\dot{V}_{\text{Kessel}}$, der im Auslegungszustand vom Kessel her bezogen und durch das Ventil bearbeitet wird:

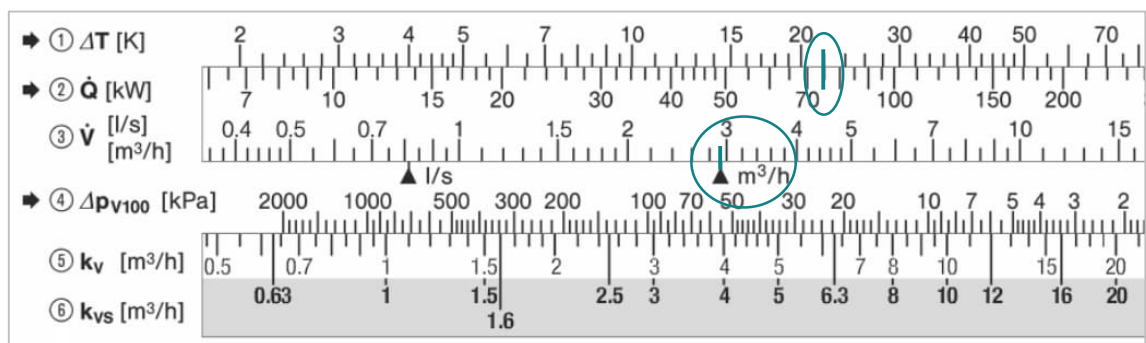
$$\dot{V}_{\text{Kessel}} = \dot{V}_{\text{Heizgruppe}} \cdot \frac{\theta_{\text{Vorlauf}} - \theta_{\text{Rücklauf}}}{\theta_{\text{Kesselvorlauf}} - \theta_{\text{Rücklauf}}} = 9,2 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{35^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C}}{50^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C}} = 2,93 \text{ m}^3/\text{h}$$

In der Praxis ist es üblicher, $\dot{V}_{\text{Kessel}}$ mit Hilfe des Ventilschiebers über die Temperaturdifferenz ΔT zu bestimmen, welche dem Ventil für die Regelung der Leistung zur Verfügung steht:

Bestimmen Sie nun den $\dot{V}_{\text{Kessel}}$ auf diese Weise:

1. Schieben Sie die Zeile ② mit dem Wert $\dot{Q} = 75 \text{ kW}$ unter den Wert von $\Delta T = 22 \text{ K}$ ($50^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C}$) in Zeile ①
2. Nun können Sie in Zeile ③ den Volumenstrom $\dot{V}$ ablesen.

Er beträgt auch hier $\approx 2,93 \text{ m}^3/\text{h}$



Bestimmung des für das Stellglied maßgebenden Volumenstroms mit Ventilschieber (Ausschnitt Seite mit Gewinde-Ventilen)

Maßgebende Druckverluste im mengenvariablen Teil

1. Bestimmen Sie in der hydraulischen Schaltung, in welchen Leitungsteilen sich die Wassermenge verändert, wenn das Regelventil arbeitet. Bei der Einspritzschaltung mit 2-Weg-Ventil sind dies die Leitungen ab dem Verteiler bis zum Bypass ($\rightarrow$ Einspritzpunkt) und zurück.
2. Die Gebäudetechnik-Planerin hat für HG 2 ein Δp_{VR} von 6 kPa geplant. Dies ist der geplante gesamte Druckverlust ab dem Verteiler für diese Leitungsteile (inkl. Regelventil mit Δp_{V100}).

Hinweis:

Ist die Einspritzschaltung nicht direkt auf dem Verteiler aufgebaut, sondern weit entfernt (z.B. für einen Lufterwärmer in einem Lüftungsgerät auf dem Dach des Gebäudes), dann wird Δp_{VR} , bedingt durch die langen Leitungen, entsprechend grösser (z.B. 20 kPa oder mehr), was unbedingt so für die Ventilauswahl berücksichtigt werden muss.

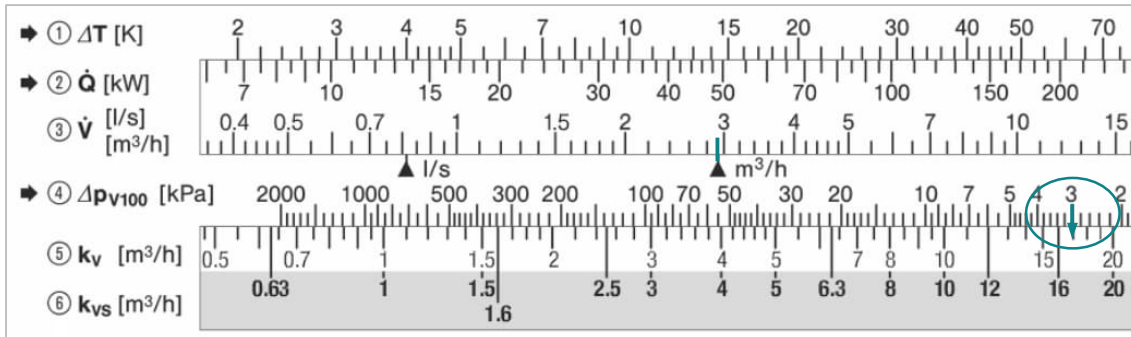
Gewünschte Ventilautorität P_V resp. Δp_{V100} bestimmen

Wir wählen hier ebenfalls eine Ventilautorität $P_V \geq 0,5$ (resp. $\Delta p_{V100} \geq 0,5 \cdot \Delta p_{VR}$).

Daraus folgt: $\Delta p_{V100} \geq 3 \text{ kPa}$.

k_{VS} -Wert

Lesen Sie den k_V -Wert in Zeile ⑤ bei Δp_{V100} (Zeile ④) = 3 kPa ab.

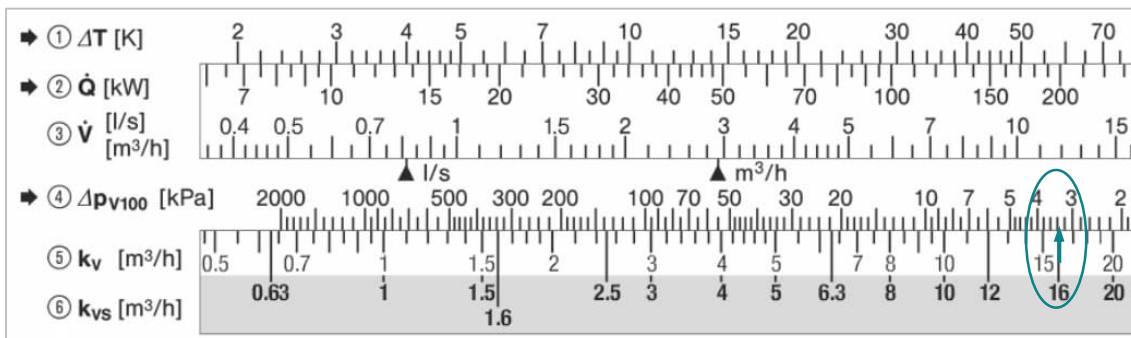


Bestimmung des k_V -Wertes basierend auf Δp_{V100} mit Ventilschieber (Ausschnitt Seite mit Gewinde-Ventilen)

Aus den Angaben des Ventilschiebers, bei einem Volumenstrom von $2,93 \text{ m}^3/\text{h}$ (Zeile ③) und Δp_{V100} von 3 kPa (Zeile ④), ergibt sich ein k_V -Wert von $17 \text{ m}^3/\text{h}$ (Zeile ⑤).

Sinnvollerweise wählt man das etwas kleinere Ventil mit einen k_{VS} -Wert von $16 \text{ m}^3/\text{h}$ (Zeile ⑥).

Daraus resultiert $\Delta p_{V100\text{eff}} \approx 3,4 \text{ kPa}$ (Zeile ④).



Bestimmung von $\Delta p_{V100\text{eff}}$ basierend auf dem k_{VS} -Wert 16 mit Ventilschieber (Ausschnitt Seite mit Gewinde-Ventilen)

Überprüfen Sie kurz die daraus resultierende, effektive Ventilautorität $P_{V\text{eff}}$:

$$P_{V\text{eff}} = \frac{\Delta p_{V100\text{eff}}}{\Delta p_{VR}} = \frac{\Delta p_{V100\text{eff}}}{\Delta p_{V100\text{eff}} + \Delta p_{\text{Leitungen}}} \Rightarrow P_{V\text{eff}} = \frac{3,4 \text{ kPa}}{(3,4 + 3) \text{ kPa}} = 0,53$$

Resultierende Ventilautorität $P_{V\text{eff}} = 0,53$ (und $\Delta p_{V100\text{eff}} = 3,4 \text{ kPa}$), was nahe an der Vorgabe ist.

Auswahl von geeignetem Ventil und Antrieb

Bestimmen Sie nun mögliche Ventile, die einen k_{VS} -Wert von 16 haben.

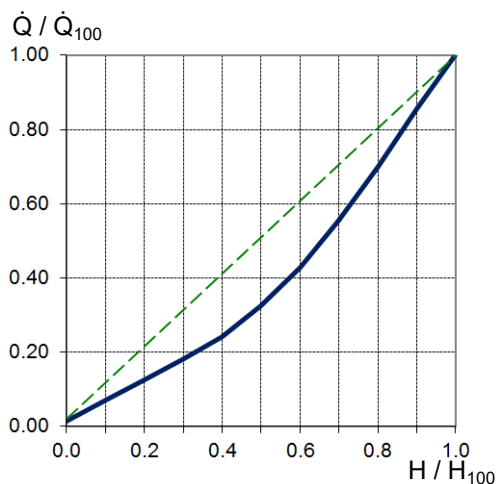
Verschieben Sie dazu Zeile ⑦ (k_{VS} -Wert), bis der Wert "16" im eingerahmten Feld erscheint. Nun können Sie unterhalb mögliche Ventiltypen auslesen. Im Datenblatt für Antriebe, das dem Ventilschieber von Siemens beiliegt, finden Sie die passenden Antriebe.

		⑦ k_{vs} [m³/h]	16	16	16
		⑧ DN		32	
PN 16	CC499K	VVG41./VVG41.	32	32-16	-25...150 °C
	CC491K	VVG44./VVG44.	32-16		1...120 °C
	CC499K	VVP45./VXP45./VMP45.	32-16*		1...110 °C
	CC491K	VVP47./VXP47./VMP47.			1...110 °C
	EN-GJL-250/CC491K	MXG461./MXG461B			1...130 °C/-20...130 °C
	CrNi	MXG461S..			1...130 °C
	CrNi	MXG462S..			-20...130 °C
PN 25	CuSn5Zn5Pb2	VVG549..			1...130 °C
PN 40	UNSC35330	VA..61.	32-16		1...120 °C
		VB..61.	32-16		1...120 °C

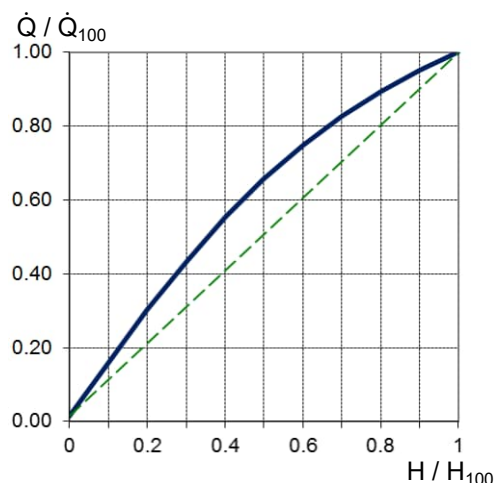
Mögliche Ventile bei k_{vs} -Wert 16 m³/h (Ausschnitt aus Ventilschieber)

		DN							
		10	15	20	25	32	40	50	65
VVG41..	■								
VVG44..	■								
VVG41..	■								
VVG44..	■								
VVP45..	■								
VXP45..	■								

Für unser Beispiel kann entweder ein 2-Weg-Ventil VVG41.32-16 mit gleichprozentiger Kennlinie (vgl.  links) oder ein 2-Weg-Ventil VVG44.32-16 mit linearer Kennlinie (vgl.  links) gewählt werden. Beide führen in Kombination mit der Wärmeübertrager-Kennlinie zu einer ähnlichen linearisierten Streckenkennlinie, bei einer Wärmeübertragerkennlinie mit einem a-Wert von 1 (vgl. 2.3 und Anhang mit a-Wert-Berechnungen; gilt für Vorlauftemperatur-Regelung mit Einspritzschaltung mit 2-Weg-Ventil oder mit Beimischschaltung).



Streckenkenlinie mit gleichprozentigem Ventil ($P_v = 0,5$; $a = 1$)



Streckenkenlinie mit linearem Ventil ($P_v = 0,5$; $a = 1$)

Weiter ist für die Ventilauswahl auch zu beachten, dass diese beiden Ventilarten einen unterschiedlichen Ventilhub haben (VVG41... 20 mm, VVG44... 5,5 mm), d.h. die VVG41...-Produkte haben eine mechanisch höhere Auflösung als die VVG44...-Produkte.

Als Antrieb können Sie einen Dreipunkt-Antrieb (z.B. SAX31 oder SAS31) einsetzen, da keine speziellen Anforderungen bestehen und diese Antriebe ein gutes Preis-/Leistungsverhältnis aufweisen.

3.2.2. Einfluss von Ventilautorität P_V auf Gesamtvolumenstrom bei 3-Weg-Ventilen

Kennlinien-Kombination für Dreiweg-Ventile

Der Gesamtvolumenstrom (AB) im Diagramm setzt sich zusammen aus dem Volumenstrom von Regeltor (Kennlinie A) und Bypassstor (Kennlinie B).

In der Praxis werden 2 Kennlinien-Kombinationen (Regeltor/Bypassstor) verwendet:

- gleichprozentig/linear
- linear/linear

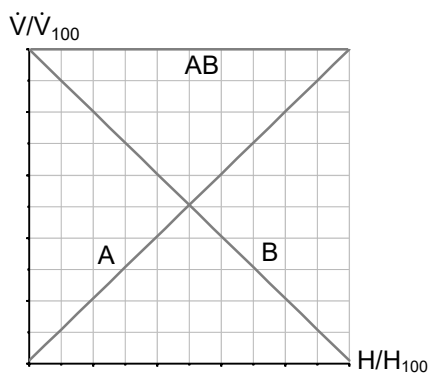
Ziel der Dimensionierung

Ziel der Dimensionierung ist eine möglichst lineare Regelkennlinie. Dies bedingt auch einen möglichst konstanten Gesamtvolumenstrom AB über den gesamten Hubbereich.

Der Gesamtvolumenstrom kann sich je nach der Kennlinien-Kombination und der Ventilautorität P_V wesentlich ändern. Deshalb sind für die Dimensionierung Gesamtvolumenstrom und Ventilautorität P_V (vgl. 2.3.1) entscheidend.

Kennlinien-Kombination linear/linear

Hier ist eine sinnvoll hohe Ventilautorität anzustreben ($P_V \geq 0,5$). Daraus ergibt sich über den ganzen Hubbereich ein annähernd konstanter Gesamtvolumenstrom. Dabei ist zu beachten, dass eine zu hohe Ventilautorität auch zu hohem Widerstand im Stellglied führt, der durch die Pumpe überwunden werden muss.



Linear / linear Kennlinien

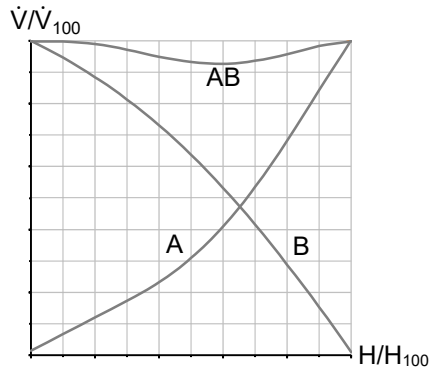
Gesamtvolumenstrom (AB) bei Dreiwegventilen aus Regeltor (A) und Bypassstor (B)

Kennlinien-Kombination gleichprozentig/linear

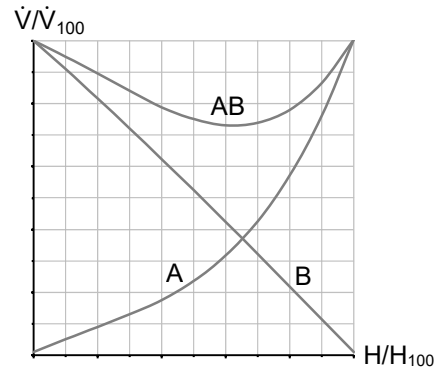
In der Grafik unten links ist eine Ventilautorität $P_V = 0,5$ gewählt. Daraus ergibt sich über den ganzen Hubbereich ein annähernd konstanter Gesamtvolumenstrom AB, und damit eine relativ lineare Streckenkennlinie bei mittleren a-Werten von 0,4 ... 0,5.

Die Grafik unten rechts zeigt ein Beispiel mit einer großen Ventilautorität $P_V = 0,9$. Dabei sinkt der Gesamtvolumenstrom im mittleren Hubbereich stark ab.

Bei P_V -Werten $< 0,4$ nimmt der Gesamtvolumenstrom stark zu.



$P_V = 0,5$



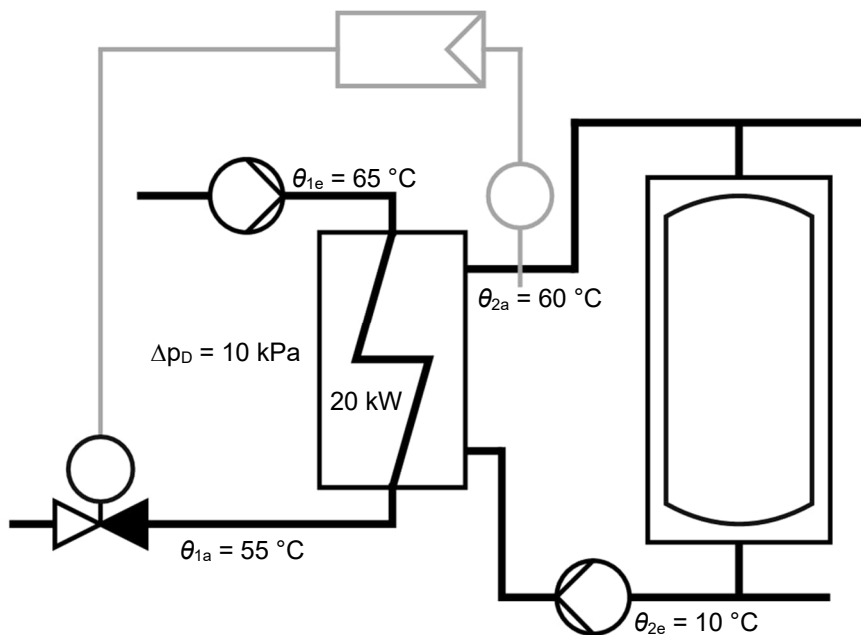
$P_V = 0,9$

Abhängigkeit des Gesamtvolumenstroms von der Ventilautorität bei gleichprozentig/linearen Kennlinien

3.3. Beispiel Warmwasser-Laderegung

Das Regelventil für diese Warmwasser-Laderegung soll so ausgelegt werden, dass eine möglichst lineare Regelkennlinie resultiert.

Die notwendigen Angaben wie Leistung, Temperaturdifferenzen primär- und sekundärseitig, sowie der maßgebende Druckverlust sind im Prinzipschema (Bild unten) eingetragen.



Prinzipschema Warmwasser-Laderegung

Damit eine Ventilkennlinien-Grundform gewählt und die erforderliche Ventilautorität P_V bestimmt werden kann, muss zuerst der a-Wert des Wärmeübertragers ermittelt werden.

a-Wert berechnen

Der a-Wert ist ein Maß für die Nicht-Linearität der Wärmeübertragung. Er beschreibt das Verhalten des Volumenstroms $\dot{V}$ zur Leistung $\dot{Q}$ (Krümmung der Kurve). Er ist abhängig von den Temperaturen auf beiden Seiten des Wärmeübertragers und von dessen Bau- und Betriebsart, welche mit dem Faktor "f" berücksichtigt wird (vgl. auch „Berechnung des a-Wertes“ im Anhang).

Berechnung des a-Wertes:

$$a = f \cdot \frac{\theta_{1e} - \theta_{1a100}}{\theta_{1e} - \theta_{2a}}$$

Der verwendete Wärmeübertrager wird im Gegenstrom betrieben $\Rightarrow f = 1$

$$\Rightarrow a = 1 \cdot \frac{(65 - 55) \text{ K}}{(65 - 60) \text{ K}} = 2$$

Der berechnete a-Wert von 2 wird nun verwendet, um mit Hilfe von Diagrammen die Ventilkennlinien-Grundform und die erforderliche Ventilautorität grafisch festzulegen.

Zuerst werden im Diagramm mit den Wärmeübertrager-Kennlinien (für verschiedene a-Werte) die korrespondierenden Werte für $\dot{Q}/\dot{Q}_{100}$ und für $\dot{V}/\dot{V}_{100}$ eingetragen.

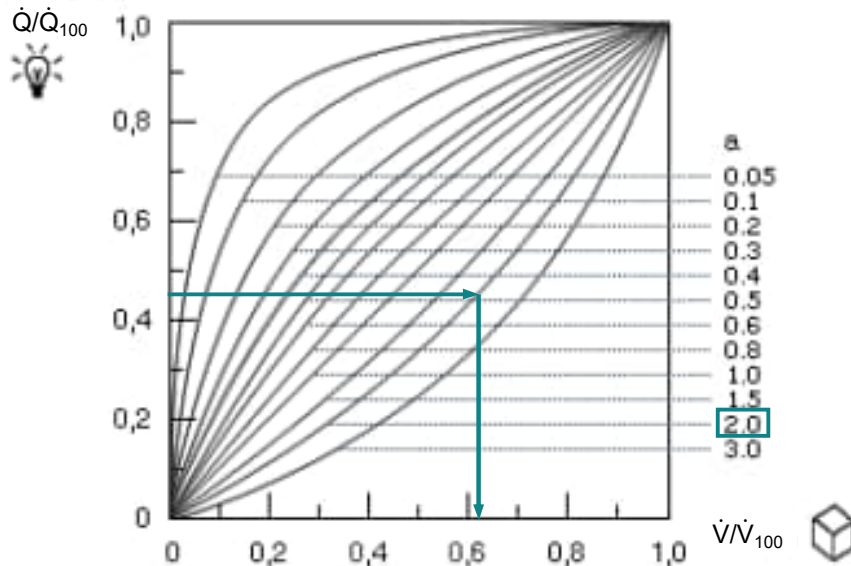


Diagramm mit Wärmeübertrager-Kennlinien (für verschiedene a -Werte)

Für ein Leistungsverhältnis von beispielsweise $\dot{Q}/\dot{Q}_{100} = 0,45$ ergibt sich bei einem a -Wert von 2 ein Volumenstrom-Verhältnis $\dot{V}/\dot{V}_{100} = 0,62$.

Ventil mit linearer Kennlinie

Um die Wärmeübertrager-Kennlinie zu kompensieren und eine möglichst lineare Regelkennlinie zu erhalten, wird ein Ventil mit einer linearen Grundkennlinie ausgewählt.

Notwendige Ventilautorität P_v

Gesucht wird die Ventilautorität P_v . Um diese abzulesen, muss nun im Diagramm mit den Ventil-Betriebskennlinien mit dem zuvor ermittelten Wert $\dot{V}/\dot{V}_{100}$ der Schnittpunkt mit dem Hubverhältnis $H/H_{100} = 0,45$ bestimmt werden. Dies entspricht dem gewünschten linearen Verhalten der Wärmeübertrager-Stellglied-Kombination.

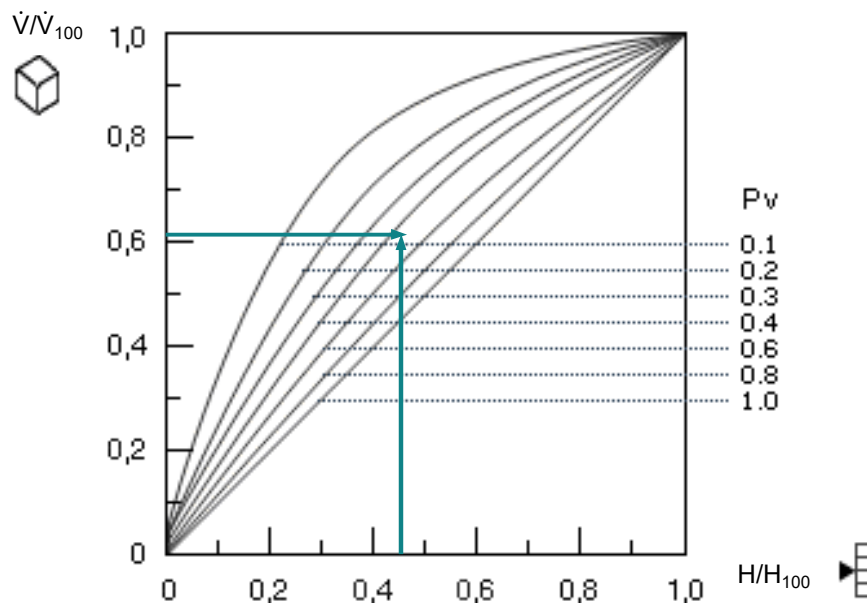


Diagramm mit Ventilautoritäten P_v (lineare Ventil-Grundkennlinie)

Für diese Warmwasser-Regelung ergibt sich eine gewünschte Ventilautorität $P_v \approx 0,45$.

k_V-Wert berechnen und passenden k_{VS}-Wert finden

Damit sind nun alle Grunddaten vorhanden, um die wichtigen Kenngrößen Δp_{V100} , $\dot{V}_{100}$ und den k_V -Wert zu bestimmen die notwendig sind für die Ventildimensionierung (k_{VS} -Wert):

Der k_{VS} -Wert ist gemäß VDI 2173 definiert bei:

k_{VS} -Wert = Nennvolumenstrom über dem voll geöffneten Ventil (Nennhub H_{100}) und $\Delta p_0 = 1$ bar (resp. 100 kPa) über dem Ventil

Der k_V -Wert zeigt den gewünschten k_{VS} -Wert für das zu wählende Ventil.

Die Berechnung des k_V -Wertes basiert auf dem 2. Proportionalitätsgesetz:
(vgl. 2.4.1, Die Anlagekennlinie (Rohrnetzkenlinie)):

$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \left(\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} \right)^2$$

Das heißt:

$$\frac{\Delta p_{V100}}{\Delta p_0} = \left(\frac{\dot{V}_{100}}{k_V} \right)^2$$

Nach k_V aufgelöst:

$$k_V = \dot{V}_{100} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_0}{\Delta p_{V100}}} \quad \text{oder} \quad \dot{V}_{100} \cdot \sqrt{\frac{100 \text{ kPa}}{\Delta p_{V100}}}$$

Fehlende Größen bestimmen:

$$P_V = \frac{\Delta p_{V100}}{\Delta p_{V100} + \Delta p_D}$$

nach Δp_{V100} aufgelöst:

$$\Delta p_{V100} = \frac{P_V \cdot \Delta p_D}{1 - P_V} \quad \Rightarrow \quad \Delta p_{V100} = \frac{0,45 \cdot 10 \text{ kPa}}{1 - 0,45} = 8,2 \text{ kPa}$$

$$\dot{V}_{100} = \frac{\dot{Q}_{100}}{1,163 \cdot (\theta_{1e} - \theta_{1a})} \quad \Rightarrow \quad \dot{V}_{100} = \frac{20 \text{ kW}}{1,163 \cdot (60 - 40)} = 0,86 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$k_V\text{-Wert } (k_{VS \text{ gewünscht}}) = 0,86 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \sqrt{\frac{100 \text{ kPa}}{8,2 \text{ kPa}}} = 3,0 \text{ m}^3/\text{h}$$

Hinweis:

Der Wert in dieser Berechnung 1,163 ist die spez. Wärmekapazität von Wasser in kWh/(m³·K) und berücksichtigt dabei die Dichte $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ und die Anpassung von s auf h.

Mögliche Ventile bestimmen

Aus dem Ventilschieber wird ersichtlich, dass es kein Ventil mit Gewindeanschluss in dieser Baureihe gibt, welches diesen berechneten k_{VS} -Wert aufweist.

Es stehen Ventile (mit linearer Kennlinie) mit einem k_{VS} -Wert von 2.5 oder 4 zur Auswahl:

- Variante 1: z.B. Ventil VVG44.15-4 mit k_{VS} -Wert = 4
- Variante 2: z.B. Ventil VVG44.15-2.5 mit k_{VS} -Wert = 2.5

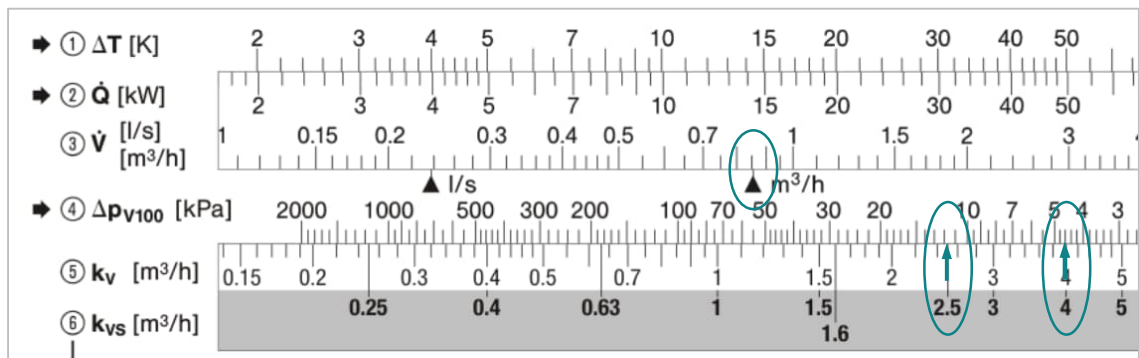
		⑦ k_{VS} [m³/h]		⑧ DN
		3	4	15
PN 16	CC499K VVG41./VVG41.	15		-25...150 °C
	CC491K VVG44./VVG44.	15-4		1...120 °C
	CC499K VVP45./VVP45./VMP45.			1...110 °C
	CC491K VVP47./VVP47./VMP47.			1...110 °C
	EN-GJL-250/CC491K MXG461./MXG461B			1...130 °C/-20...130 °C
	CrNi MXG461S..			1...130 °C
PN 25	CuSn5Zn5Pb2 VVG549..			1...130 °C
	PN 40 UNS C35330 VA..61.	15-4		1...120 °C
PN 40	VB..61.	15-4		1...120 °C

		⑦ k_{VS} [m³/h]		⑧ DN
		1.6	2.5	3
PN 16	CC499K VVG41./VVG41.	14		-25...150 °C
	CC491K VVG44./VVG44.	15-2.5		1...120 °C
	CC499K VVP45./VVP45./VMP45.	15-2.5		1...110 °C
	CC491K VVP47./VVP47./VMP47.	15-2.5		1...110 °C
	EN-GJL-250/CC491K MXG461./MXG461B			1...130 °C/-20...130 °C
	CrNi MXG461S..			1...130 °C
PN 25	CuSn5Zn5Pb2 VVG549..	15-2.5		1...130 °C
	PN 40 UNS C35330 VA..61.	15-2.5		1...120 °C
PN 40	VB..61.	15-2.5		1...120 °C

Mögliche Ventile mit k_{VS} -Wert = 2.5 oder k_{VS} -Wert = 4 (Ausschnitte aus Ventilschieber, Seite Gewinde-Ventile)

Effektive Ventilautorität überprüfen

Wird der Ventilschieber auf den Nenn-Volumenstrom $\dot{V}_{100} = 0,86 \text{ m}^3/\text{h}$ eingestellt, so kann für die beiden Varianten der resultierende Druckverlust Δp_{V100} abgelesen werden und daraus die effektive Ventilautorität $P_{V\text{eff}}$ berechnet werden.



Druckverlust Δp_{V100} bei $k_{VS} = 2.5$ resp. 4 mit Ventilschieber (Ausschnitt) ermitteln

Variante 1: k_{VS} -Wert = 4

$$\Rightarrow \Delta p_{V100\text{eff}} = 4,6 \text{ kPa}$$

$$P_{V\text{eff}} = \frac{\Delta p_{V100\text{eff}}}{\Delta p_{V100\text{eff}} + \Delta p_D} \Rightarrow P_{V\text{eff}} = \frac{4,6 \text{ kPa}}{(4,6 + 10) \text{ kPa}} = 0,32$$

Variante 2: k_{VS} -Wert = 2.5

$$\Rightarrow \Delta p_{V100\text{eff}} = 11,8 \text{ kPa}$$

$$P_{V\text{eff}} = \frac{\Delta p_{V100\text{eff}}}{\Delta p_{V100\text{eff}} + \Delta p_D} \Rightarrow P_{V\text{eff}} = \frac{11,8 \text{ kPa}}{(11,8 + 10) \text{ kPa}} = 0,54$$

Mit diesen Ventilautoritäten $P_{V\text{eff}}$, können die resultierenden Volumenstromverhältnisse $\dot{V}/\dot{V}_{100}$ aus dem untenstehenden Diagramm ermittelt und mit der Vorgabe verglichen werden.

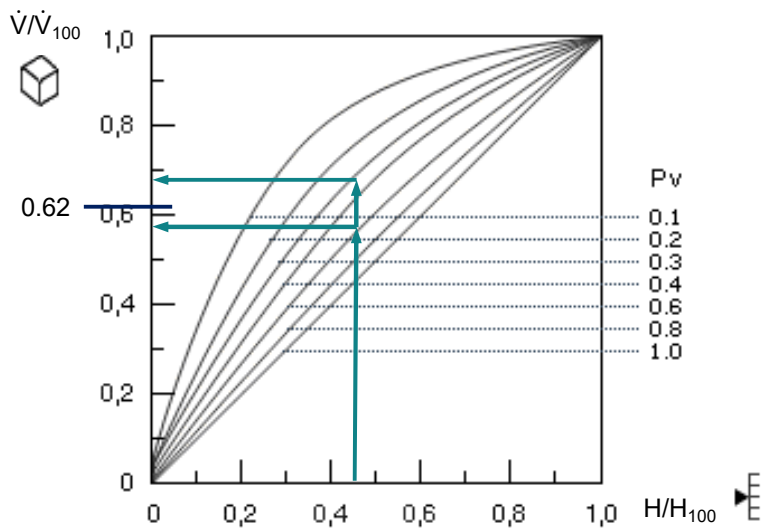


Diagramm Ventil-Betriebskennlinien mit resultierenden Ventilautoritäten P_V für $k_{VS} = 2,5$ resp. 4

Die Abweichung zum früher ermittelten $\dot{V}/\dot{V}_{100} = 0,62$ ist bei beiden Varianten ca. 5 %.

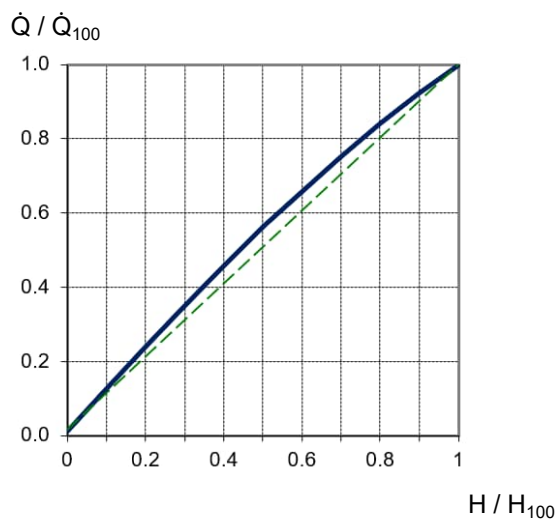
Ventil definitiv auswählen

Wir wählen Variante 1.

Sie hat

- den kleineren Druckabfall
- eine annähernd lineare Streckenkennlinie

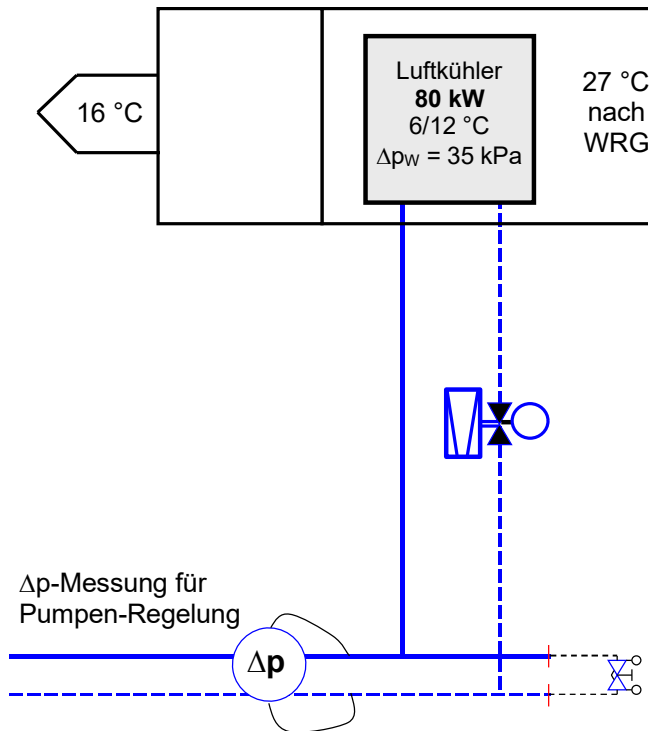
⇒ Ventil VVG44.15-4 mit k_{VS} -Wert = 4 einsetzen



Streckenkenlinie mit linearem Ventil mit k_{VS} -Wert = 4

3.4. Beispiel Luftkühler-Regelung mit PICV

Bei diesem Beispiel eines luftseitig geregelten Luftkühlers soll mit der Auswahl einer geeigneten PICV- und Antriebskombination wiederum eine möglichst lineare Streckenkennlinie erreicht werden.



Prinzipschema Luftkühler-Regelung

Berechnung des Nennvolumenstroms

Aus der Leistungsformel wird zuerst der Nennvolumenstrom berechnet:

$$\dot{V}_{100} = \frac{\dot{Q}_{100}}{c_w \cdot \rho \cdot (\theta_{VL} - \theta_{RL})} \Rightarrow \dot{V}_{100} = \frac{80 \text{ kW} \cdot 3600 \text{ s}}{4,190 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot (12 - 6) \text{ K}} = 11,46 \text{ m}^3/\text{h}$$

vereinfachte Berechnung:

$$\Rightarrow \dot{V}_{100} = \frac{80 \text{ kW}}{1,163 \cdot (12 - 6)} = 11,46 \text{ m}^3/\text{h}$$

Hinweis:

Der Wert 1,163 in der vereinfachten Berechnung ist die spez. Wärmekapazität von Wasser in kWh/(m³·K) und berücksichtigt dabei die Dichte $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ und die Anpassung von s auf h.

Wahl der Ventilgröße

Aus dem Nennvolumenstrom von ca. 11,46 m³/h und dem Datenblatt für Ventile (siehe Bild unten) ergibt sich ein maximaler Volumenstrom von "15 m³/h" (14,3 m³/h) (Regel: Nennvolumenstrom < 80 % max. Volumenstrom). Beachten Sie, dass es sich um ein lineares Ventil handelt.

Aus der Durchflussrate-Tabelle für Ventil VPF44.50F15 entnimmt man, dass bei Nennvolumenstrom noch eine Druckdifferenz $\Delta p_{\min}$ von ca. 21 kPa herrschen muss, um einen optimalen Betrieb zu gewährleisten. Diese Druckdifferenz ist relevant für die nachfolgende Pumpenauslegung.

Die Voreinstellung (Skala) für dieses Ventil beträgt ca. 2,7.

PN 16	1...120 °C	DN	V _{min} [m³/h]	V ₁₀₀ [m³/h]	Δp _{min} [kPa]
Datenblatt	A6V11466366				
	VPF44.50F15 ³⁾	50	3,7	14,3	25
	VPF44.50F25 ³⁾	50	5,7	24,6	55
	VPF44.65F25 ³⁾	65	4,5	24,4	32
	VPF44.65F35 ³⁾	65	6,4	37,7	50
	VPF44.80F35 ³⁾	80	6,8	35,7	22
	VPF44.80F45 ³⁾	80	8,5	49	40
	VPF44.100F70	100	12,2	69,6	33
	VPF44.100F90	100	14,8	90,9	75

Tiefe Durchflussrate

VPF44.50F15/VPF54.50F15																			15 m³/h nominell			
ṽ [m³/h]				3.7	4.2	4.9	5.6	6.3	7.0	7.7	8.4	9.2	10.0	11.0	11.9	12.6	13.2	13.5	13.8	14.1	14.3	
Skala	Min.	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.4	3.6	3.8	Max.	
Δp _{min} [kPa]				13	14	15	16	16	17	18	18	19	20	21	21	22	23	23	24	25	25	

Auslegung der Ventilgröße anhand der Durchflussrate (Regel: Nennvolumenstrom < 80 % max. Volumenstrom)

a-Wert bestimmen

Um den a-Wert zu bestimmen, muss zuerst klar sein, mit welcher hydraulischen Schaltung dieser Luftkühler angeschlossen ist. Dies, weil der Faktor "f" vom Typ der hydraulischen Schaltung abhängig ist.

In diesem Fall handelt es sich um eine Drosselschaltung, die es ermöglicht, den Luftkühler immer mit der gleichen tiefen Kühlwasser-Vorlauftemperatur zu speisen.

Für einen Luftkühler, der mit einer Drosselschaltung (Durchflussregelung) angeschlossen wird, ist der Faktor f = 0,6 in die Berechnung des a-Wertes einzusetzen (vgl. Anhang).

Berechnung des a-Wertes:

$$a = f \cdot \frac{\theta_{\text{Vorlauf}} - \theta_{\text{Rücklauf}}}{\theta_{\text{Vorlauf}} - \theta_{\text{Luft vor WRG}}} \Rightarrow a = 0,6 \cdot \frac{(6 - 12) \text{ K}}{(6 - 27) \text{ K}} = 0,17$$

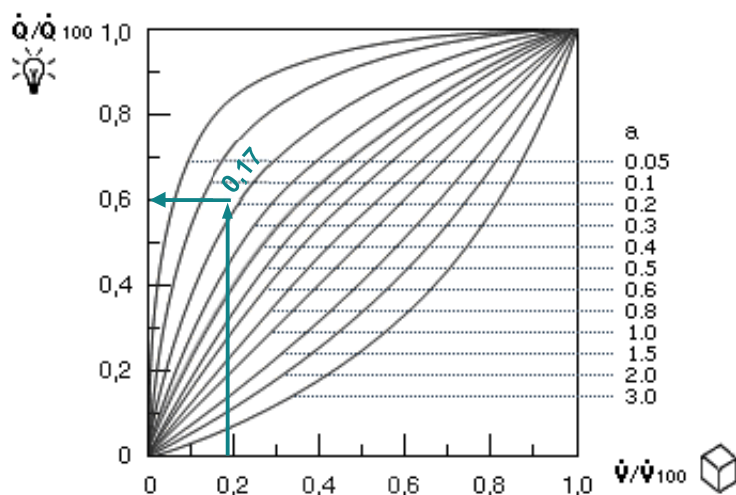


Diagramm mit Wärmeübertrager-Kennlinien (für verschiedene a-Werte)

Ventilantrieb mit gleichprozentiger Kennlinie

Um diese stark nichtlineare Wärmeübertrager-Kennlinie (a = 0,17) zu kompensieren und eine möglichst lineare Streckenkennlinie zu erhalten, wäre ein Ventil mit einer gleichprozentigen Grundkennlinie (siehe Kap. 2) sinnvoll. PICVs haben aber eine lineare Grundkennlinie (siehe oben).

Das hat zur Folge, dass entweder ein gleichprozentig arbeitender Antrieb benötigt wird oder die Linearisierung mit einem entsprechenden Baustein in der Gebäudeautomationssoftware realisiert werden muss.

Aus dem Produktdatenblatt der Antriebe kann entnommen werden, dass die Antriebskennlinie des Antriebs SAX61P03 mit Hilfe eines innenliegenden Schalters zwischen linear und gleichprozentig umstellbar ist. Wir wählen diesen Antrieb mit der Antriebskennlinie auf gleichprozentig eingestellt.

Flansch-PICV							
Typische Anwendungen	Stellantriebe	Datenblatt					20 mm 500 N
– Fernwärmanlagen – Heizgruppen – Lüftungs- und Klima- anlagen	SAX..P..	N4509					
	SQV91P..	N4833					
	SAV..P..	N4510					
	Betriebs- spannung	Stellsignal	Stellzeit [s]			Notstell- funktion [s]	
	AC 230 V	3-Punkt	30	–	120	–	SAX31P03
		3-Punkt	–	40/80	–	30	–
		3-Punkt	–	40/80	–	30	–
	AC/DC 24 V	3-Punkt	30	–	120	–	SAX81P03
		3-Punkt	–	40/80	–	30	–
		3-Punkt	–	40/80	–	30	–
		0...10 V, 4...20 mA	30	–	120	–	SAX61P03
		0...10 V, 4...20 mA	–	40/80	–	30	–
		0...10 V, 4...20 mA	–	40/80	–	30	–
	Modbus		30	–	120	–	SAX61P03/ MO

Antriebskennlinie umstellbar (DIL);
hier auf gleichprozentig stellen



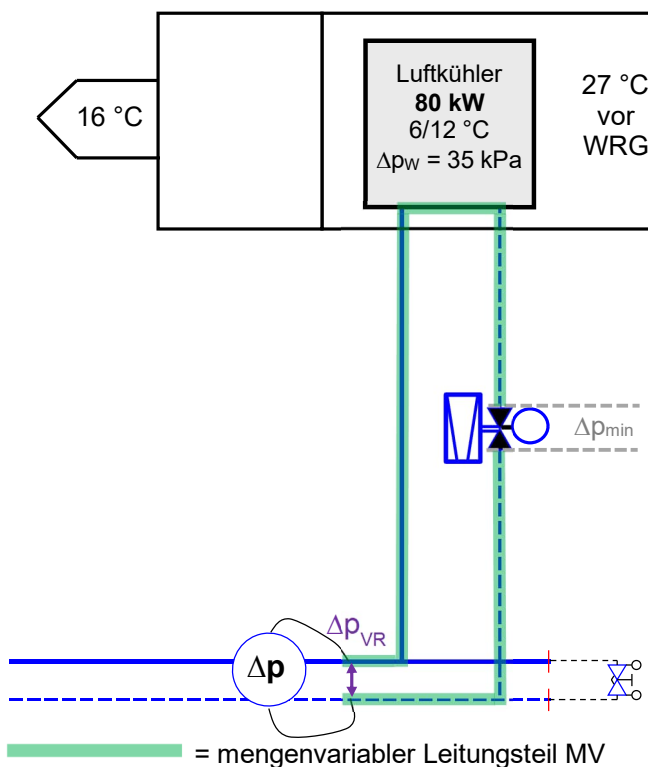
Produktübersicht für Antriebe zu PICV

Pumpendruck bei Messstelle

Der erforderliche Pumpendruck an der Messstelle ist die notwendige Druckdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf (Δp_{VR}).

Δp_{VR} setzt sich zusammen aus dem Druckverlust über dem mengenvariablen Leitungsteil Δp_{MV} ($= \Delta p_{Leitungen} + \Delta p_{Luftkühler}$) und der minimalen Druckdifferenz Δp_{min} für das PICV und beträgt somit:

$\Delta p_{VR} = \Delta p_{MV} + \Delta p_{min} = 37 \text{ kPa} + 21 \text{ kPa} = 58 \text{ kPa}$ resp. 5,8 mWS (Meter Wassersäule).



Anhang: Berechnung des a-Wertes

Definition des a-Wertes:

Allgemein:

$$a = f \cdot \frac{\theta_{1e} - \theta_{1a100}}{\theta_{1e} - \theta_{1a0}}$$

Praktisch anwendbar bei annähernd Nulllast ($\dot{V}_0 = \dot{V}_{\min} > 0$)

$$a = f \cdot \frac{\Delta T_{\text{primär Vollast}}}{\Delta T_{\text{primär Nulllast}}}$$

Formeln zur Berechnung des a-Wertes:

Radiatoren

Bereich ca. 0,5 ... 0,65 (Herstellerangaben; Raumregelung auf Mischer wirkend)

Fußbodenheizung

Bereich ca. 0,8 ... 0,9 (Herstellerangaben; Raumregelung auf Mischer wirkend)

Vorlauftemperaturregelung

Zum Beispiel Beimischschaltung (oder Einspritzschaltung mit 2-Weg-Ventil): $a = 1$

Mischregelung, Wasser → Wasser, $f = 1$

θ_{2a} geregelt:

$$a = \frac{\theta_{1e} - \theta_{1a100}}{\theta_{1e} - \theta_{2a}}$$

θ_{2e} konstant, θ_{2a} nicht geregelt:

$$a = \frac{\theta_{1e} - \theta_{1a100}}{\theta_{1e} - \theta_{2e}}$$

Mischregelung, Wasser → Luft, $f = 1$

Vorheizregister, θ_{2a} geregelt:

$$a = \frac{\theta_{1e} - \theta_{1a100}}{\theta_{1e} - \theta_{2a}}$$

Nachheizregister, θ_{2a} oder Raumtemperatur geregelt:

$$a = \frac{\theta_{1e} - \theta_{1a100}}{\theta_{1e} - \theta_{2e}}$$

Durchflussregelung, Wasser → Wasser, $f_{\text{Gleichstrom}} = 2$, $G_{\text{Gegenstrom}} = 1$

θ_{2a} geregelt:

$$a = f \cdot \frac{\theta_{1e} - \theta_{1a100}}{\theta_{1e} - \theta_{2a}}$$

θ_{2e} konstant, θ_{2a} nicht geregelt:

$$a = f \cdot \frac{\theta_{1e} - \theta_{1a100}}{\theta_{1e} - \theta_{2e}}$$

Durchflussregelung, Wasser → Luft, $f = 0,6$

Vorheizregister θ_{2a} geregelt:

$$a = 0,6 \cdot \frac{\theta_{1e} - \theta_{1a100}}{\theta_{1e} - \theta_{2a}}$$

Lufterwärmer, -kühler, θ_{2a} oder Raumtemperatur geregelt:

$$a = 0,6 \cdot \frac{\theta_{1e} - \theta_{1a100}}{\theta_{1e} - \theta_{2e}}$$

Legende der verwendeten Formelzeichen:

$\dot{V}_0$	minimaler primärseitig einstellbarer Volumenstrom $\dot{V}_{\min} > 0$
θ_{1e}	Primäre Eintrittstemperatur vor dem Stellglied
θ_{1a100}	Primäre Austrittstemperatur bei $\dot{V}_{100}$
θ_{1a0}	Primäre Austrittstemperatur bei $\dot{V}_0$
θ_{2e}	Sekundäre Eintrittstemperatur
θ_{2a}	Sekundäre Austrittstemperatur
f	Konstruktionsbedingter Korrekturfaktor des Wärmeübertragers

Smart Infrastructure verbindet auf intelligente Weise Energiesysteme, Gebäude und Industrien und verbessert die Art und Weise, wie wir leben und arbeiten, um Effizienz und Nachhaltigkeit deutlich zu steigern.

Gemeinsam mit unseren Kunden und Partnern schaffen wir ein Ökosystem, das sowohl intuitiv auf die Bedürfnisse der Menschen reagiert als auch Kunden dabei unterstützt, ihre Geschäftsziele zu erreichen.

Ein Ökosystem, das unseren Kunden hilft zu wachsen, das den Fortschritt von Gemeinschaften fördert und eine nachhaltige Entwicklung begünstigt, um unseren Planeten für die nächste Generation zu schützen.

Creating environments that care.

[siemens.com/smart-infrastructure](https://www.siemens.com/smart-infrastructure)

Herausgeber
Siemens Schweiz AG

Smart Infrastructure
Global Headquarters
Theilerstrasse 1a
6300 Zug
Schweiz
Tel. +41 58 724 24 24

Siemens AG
Smart Infrastructure
De-Saint-Exupéry-Straße 5-7
60549 Frankfurt am Main
Deutschland
Tel. +49 69 797-0

Siemens AG Österreich
Smart Infrastructure
Siemensstraße 90
1210 Wien
Österreich
Tel. +43 (51707) 0

Siemens Schweiz AG
Smart Infrastructure
Sennweidstrasse 47
6312 Steinhausen
Schweiz
Tel. +41 585 579 200

Siemens S.A.
Smart Infrastructure
21, rue Edmond Reuter
5326 Contern
Luxembourg
Tél. +352 43843 900

Schutzgebühr € 50

Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Die Informationen in diesem Dokument enthalten lediglich allgemeine Beschreibungen bzw. Leistungsmerkmale, welche im konkreten Anwendungsfall nicht immer in der beschriebenen Form zutreffen bzw. welche sich durch Weiterentwicklung der Produkte ändern können. Die gewünschten Leistungsmerkmale sind nur dann verbindlich, wenn sie bei Vertragsschluss ausdrücklich vereinbart werden.

© Siemens 02/2025