

Regelung und Hydraulik

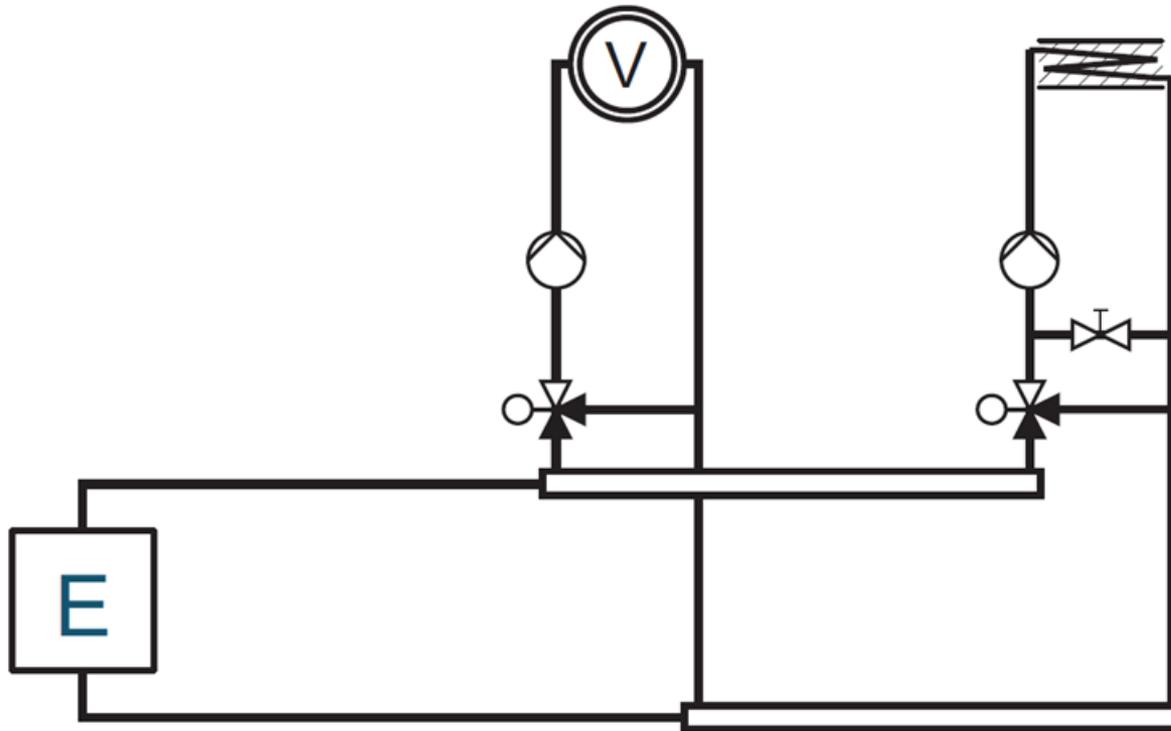
**Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff
Stefan Mewes M.Eng.**

EOS - Institut für energieoptimierte Systeme

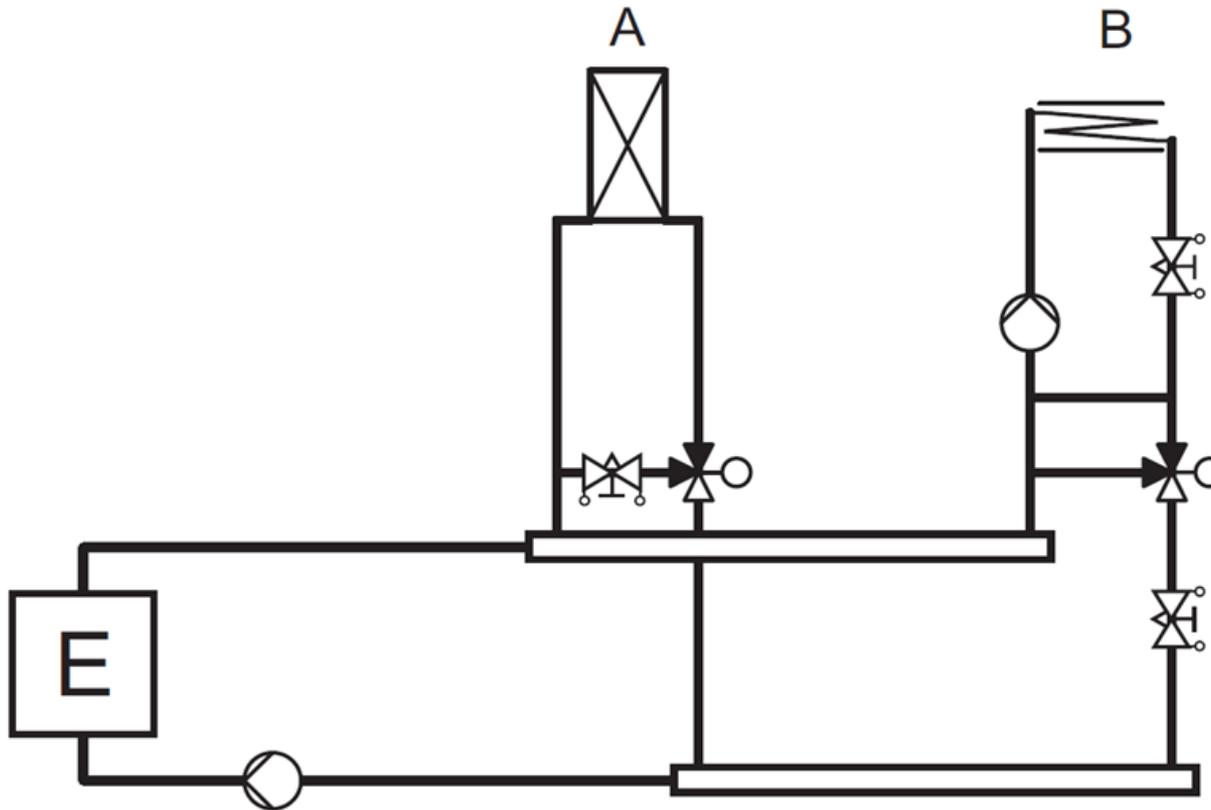
Ostfalia - Wolfenbüttel

1. Wiederholung Hydraulische Schaltungen und Auslegung Regelventile

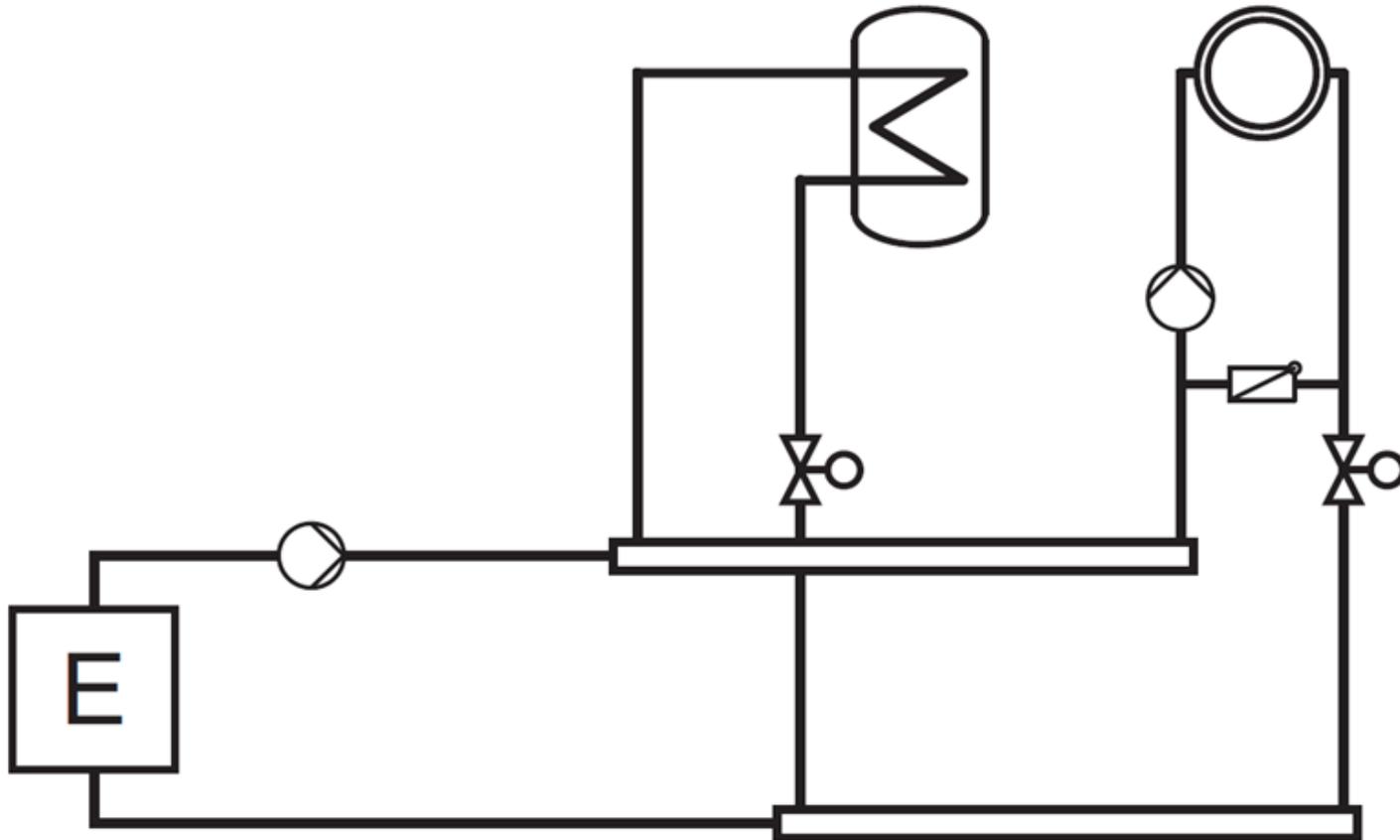
1.1 Wiederholung Kombination Hydraulische Schaltungen



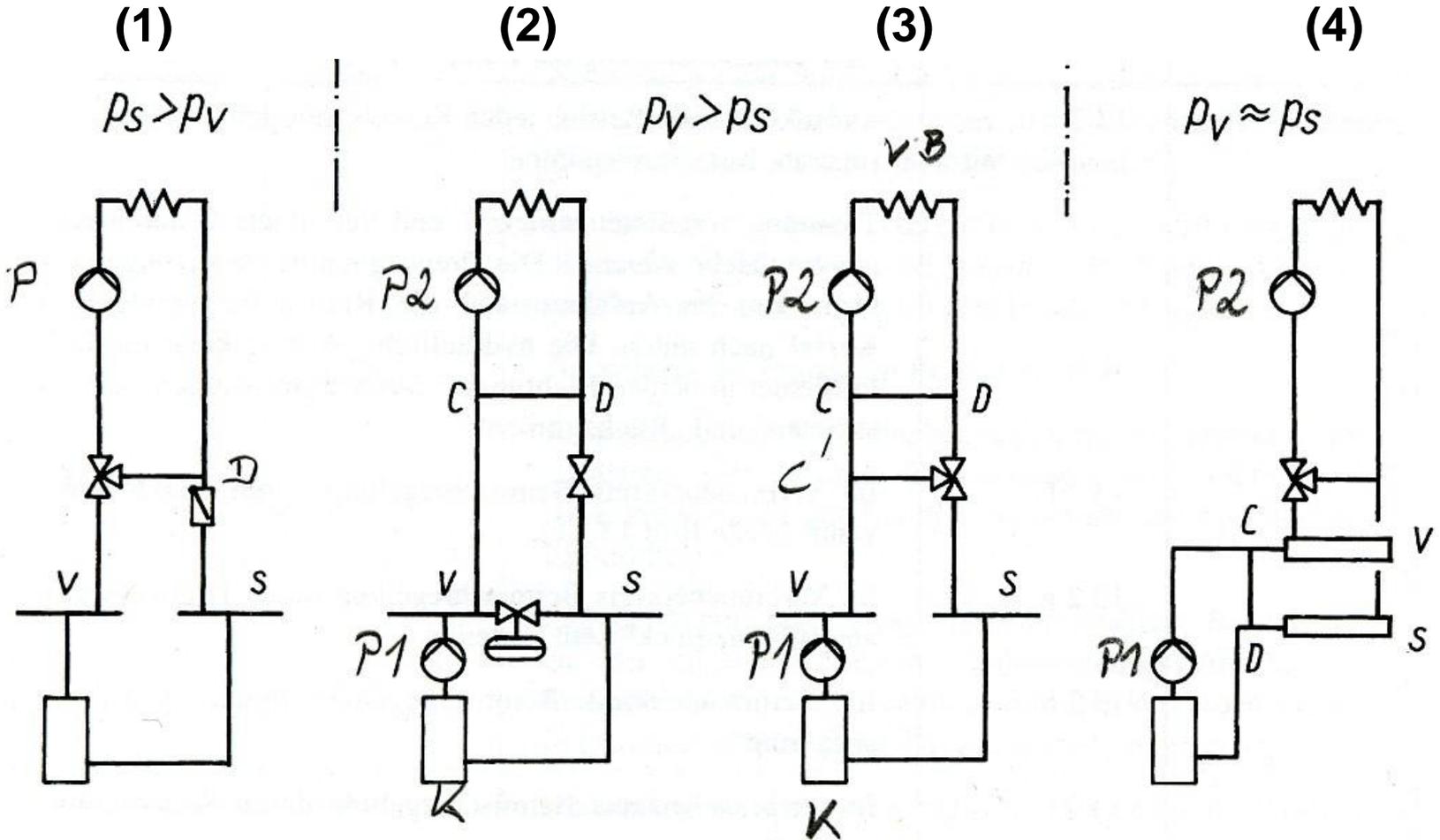
1.1 Wiederholung Kombination Hydraulische Schaltungen



1.1 Wiederholung Kombination Hydraulische Schaltungen

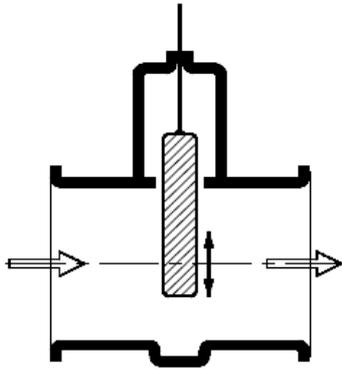


1.1 Wiederholung Hydraulische Schaltungen

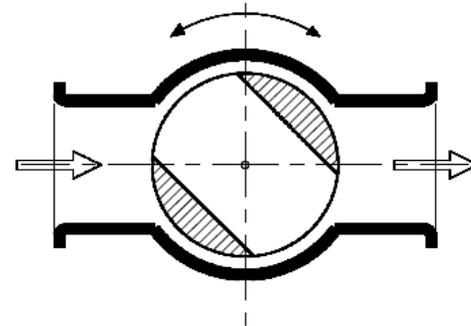


1.2 Bauformen hydraulischer Stellglieder

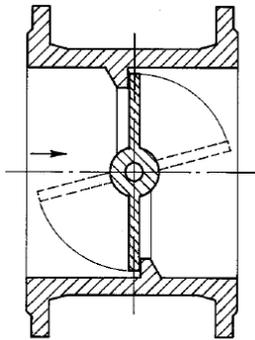
Schieber



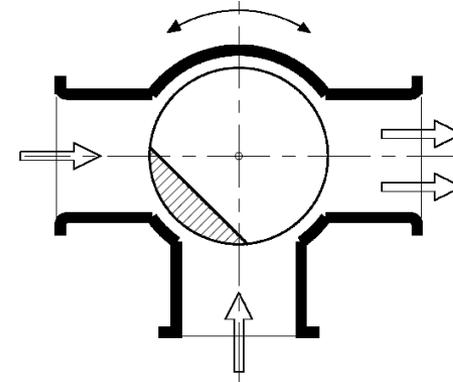
Kugelhahn –
Durchgangsform



Klappe



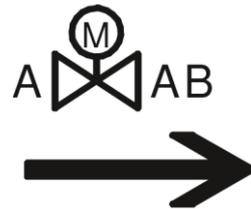
Kugelhahn –
3-Wege



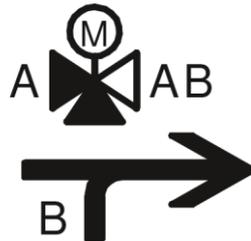
1.2 Bauformen hydraulischer Stellglieder

Ventilarten

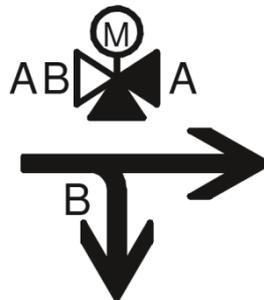
- Durchgangsventil



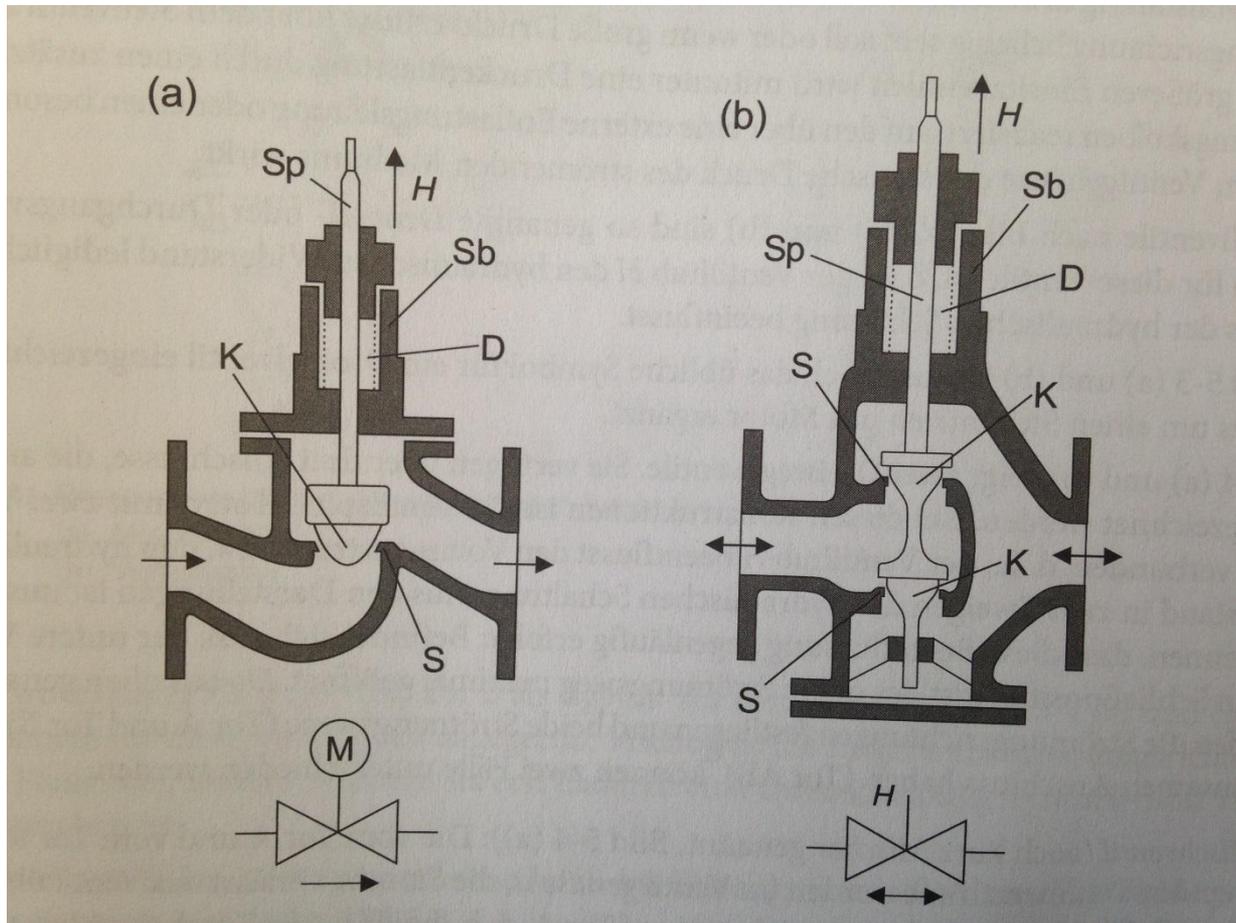
- Dreiwegeventil als
Mischventil



- Dreiwegeventil als
Verteilventil

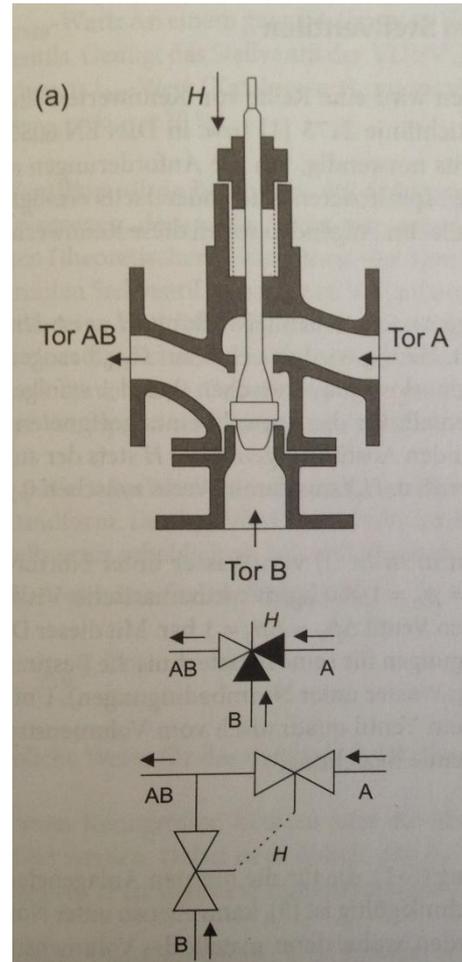


1.2 Bauformen hydraulischer Stellglieder Durchgangsventil



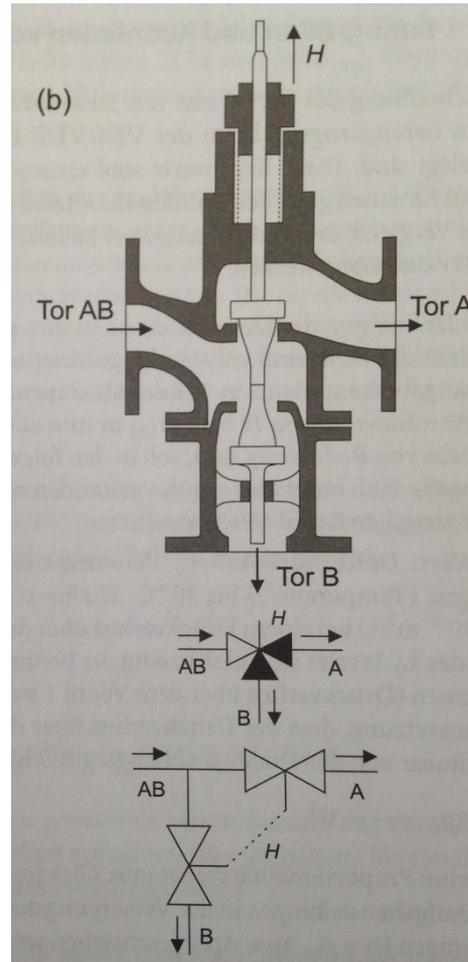
Quelle: Buch Regelungs- und Steuerungstechnik in der Versorgungstechnik – Arbeitskreis der Professoren für
Regelungstechnik in der Versorgungstechnik (Hrsg.)

1.2 Bauformen hydraulischer Stellglieder 3-Wege-Ventil - Beimischventil



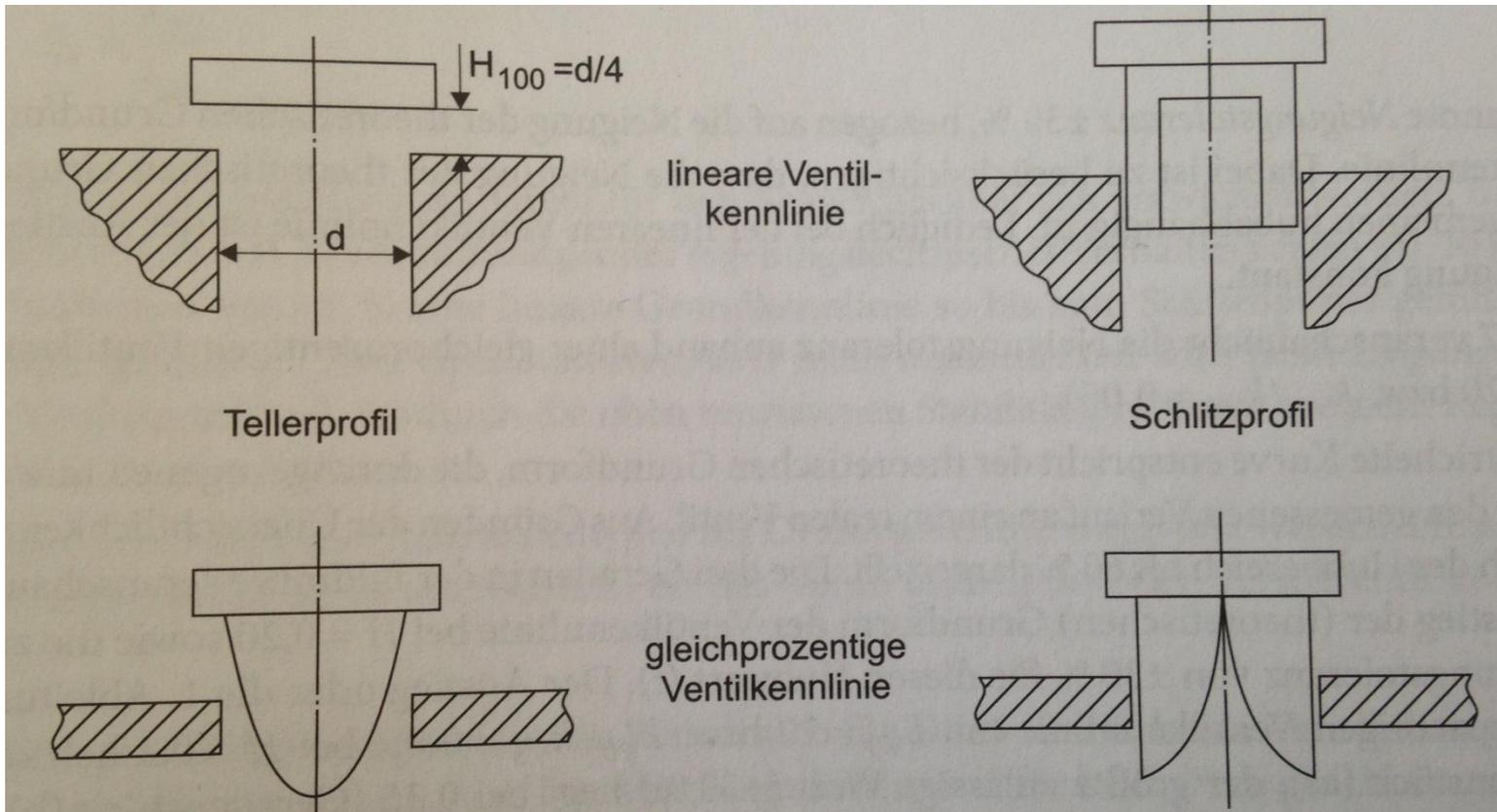
Quelle: Buch Regelungs- und Steuerungstechnik in der Versorgungstechnik – Arbeitskreis der Professoren für
Regelungstechnik in der Versorgungstechnik (Hrsg.)

1.2 Bauformen hydraulischer Stellglieder 3-Wege-Ventil - Verteilventil



Quelle: Buch Regelungs- und Steuerungstechnik in der Versorgungstechnik – Arbeitskreis der Professoren für
Regelungstechnik in der Versorgungstechnik (Hrsg.)

1.2 Bauformen hydraulischer Stellglieder Ventilkegel lineare und gleichprozentige Ventilkennlinie



Quelle: Buch Regelungs- und Steuerungstechnik in der Versorgungstechnik – Arbeitskreis der Professoren für
Regelungstechnik in der Versorgungstechnik (Hrsg.)

1.3 Ventilkennlinien Regelventile in Abhängigkeit der Ventilautorität

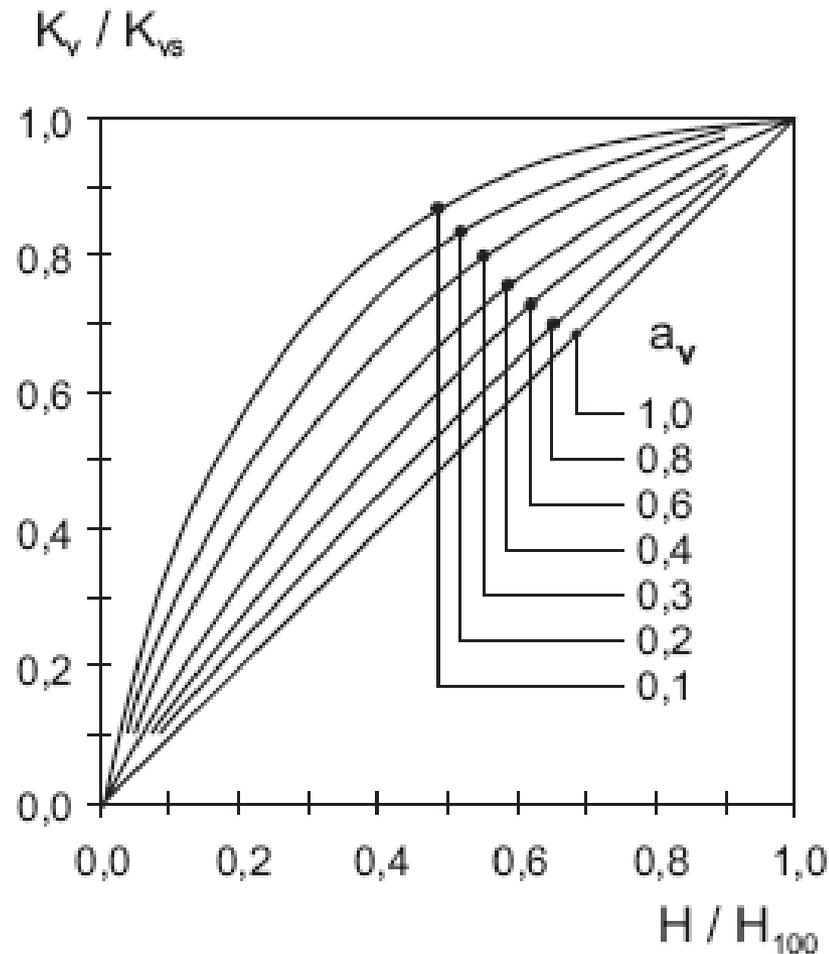


Bild 3 - Betriebskennlinien bei einem Regelventil mit linearer Grundkennlinie

1.3 Ventilkennlinien Regelventile in Abhängigkeit der Ventilautorität

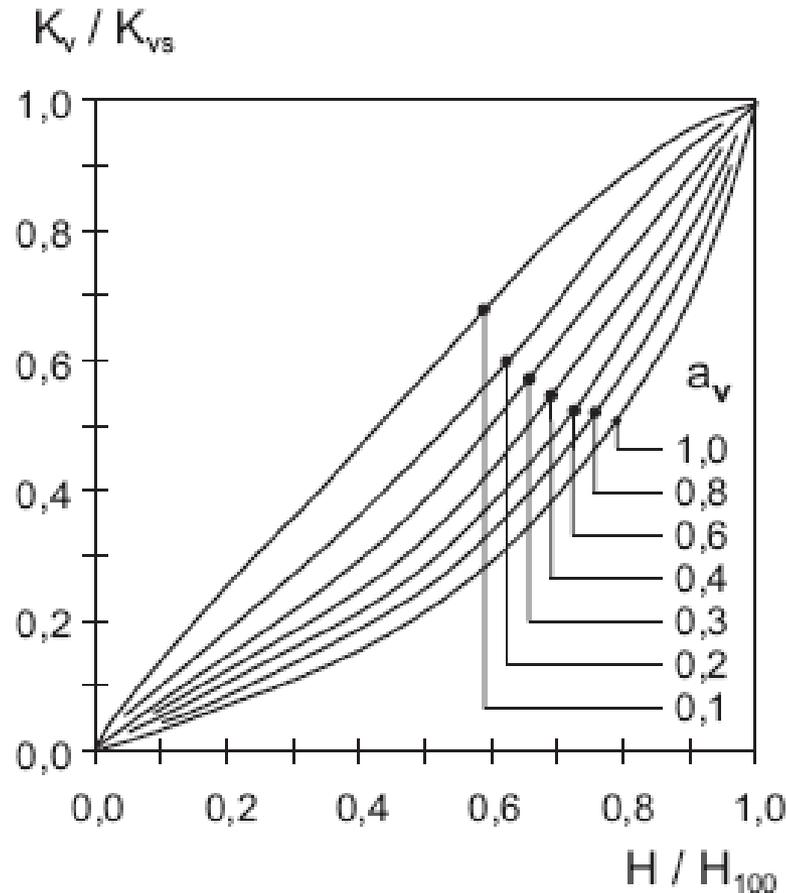


Bild 4 - Betriebskennlinien bei einem Regelventil mit gleichprozentiger Grundkennlinie (herstellerspezifisch)

1.3 Definition Ventilautorität a_v Regelventil

$$a_v = \frac{\Delta p_{V100}}{\Delta p_{V0}} = \frac{\Delta p_{V100}}{\Delta p_{V100} + \Delta p_{var}}$$

Umgestellt nach Δp_{V100} :

$$\Delta p_{V100} = \frac{a_v \times \Delta p_{var}}{1 - a_v}$$

a_v = Ventilautorität

Δp_{V100} = Druckverlust am voll geöffneten Ventil

Δp_{V0} = Druckverlust am geschlossenen Ventil

Δp_{var} = Druckverlust über den vom Regelventil beeinflussten
hydraulischen Kreis = volumenstromvariabler Kreis

1.4 Auswahl Ventilkennlinie zur Linearisierung der Gesamtregelstrecke

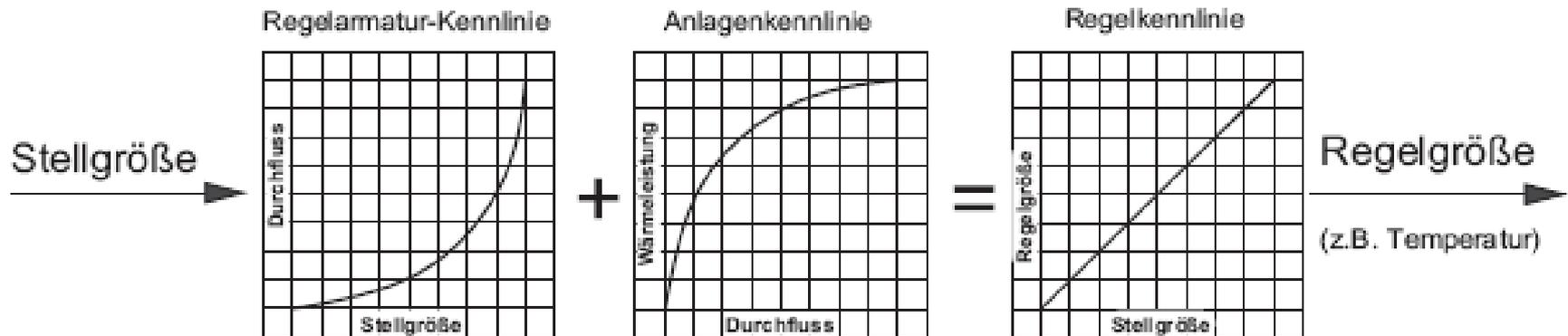
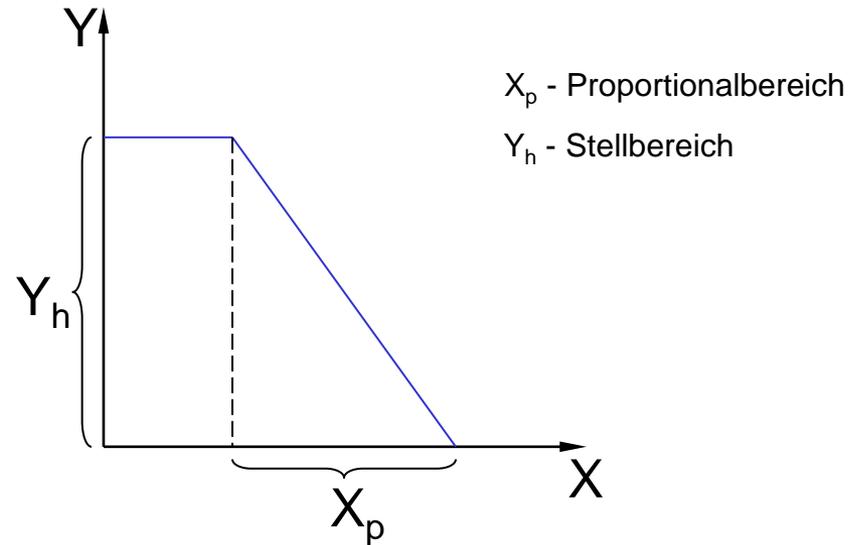
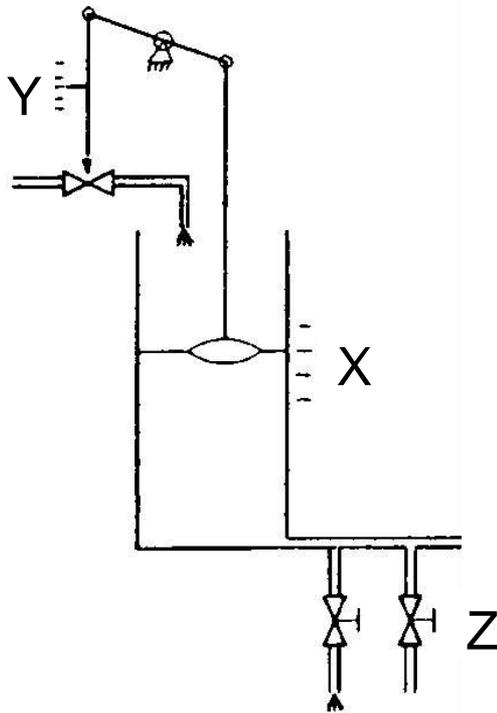


Bild 23 - Zusammenwirken von Regelarmatur- und Anlagenkennlinie

1.5 Grundlagen Regelung – Einstellung auf Regelstrecke



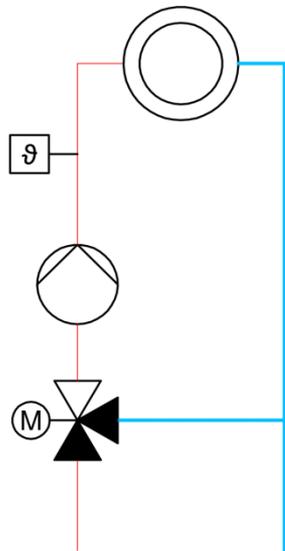
Reglerkennlinie eines P-Reglers

$$y = K_{PR} (x-w) + C$$

Einstellung x_p für gesamten Regelbereich nur bei linearisierter Streckenkennlinie möglich!

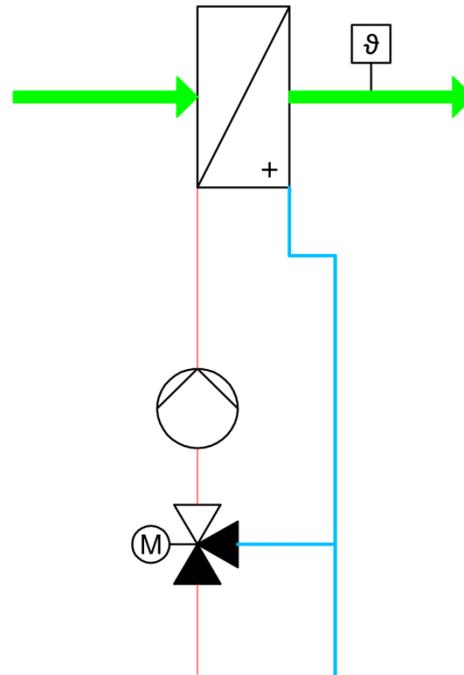
1.6 Wärmeübertragerkennwerte

Heizkreis
ohne WÜ



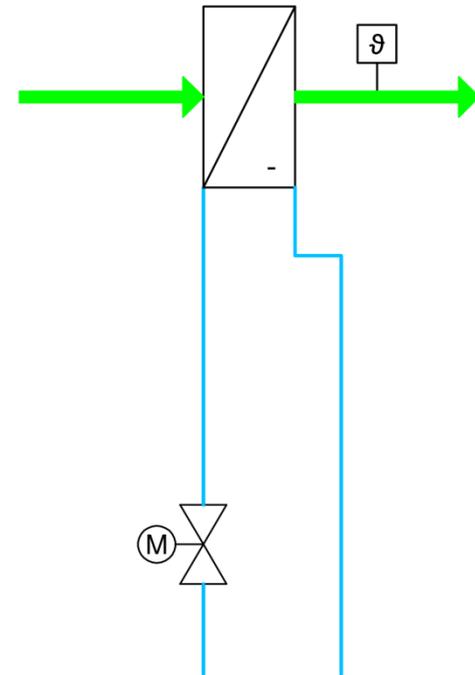
$aw \approx 1,0$

Temperaturregelung
mit WÜ



$aw \approx 0,3 \dots 0,5$

Mengenregelung
mit WÜ



$aw \approx 0,15 \dots 0,25$

1.6 Wärmeübertragerkennwerte

Berechnung Wärmeübertragerkennlinie:

$$a = f \cdot \left(\frac{t_{1,e} - t_{1,a}}{t_{1,e} - t_{2,a}} \right)$$

$t_{1,e}$ = Temperatur primär Eintritt

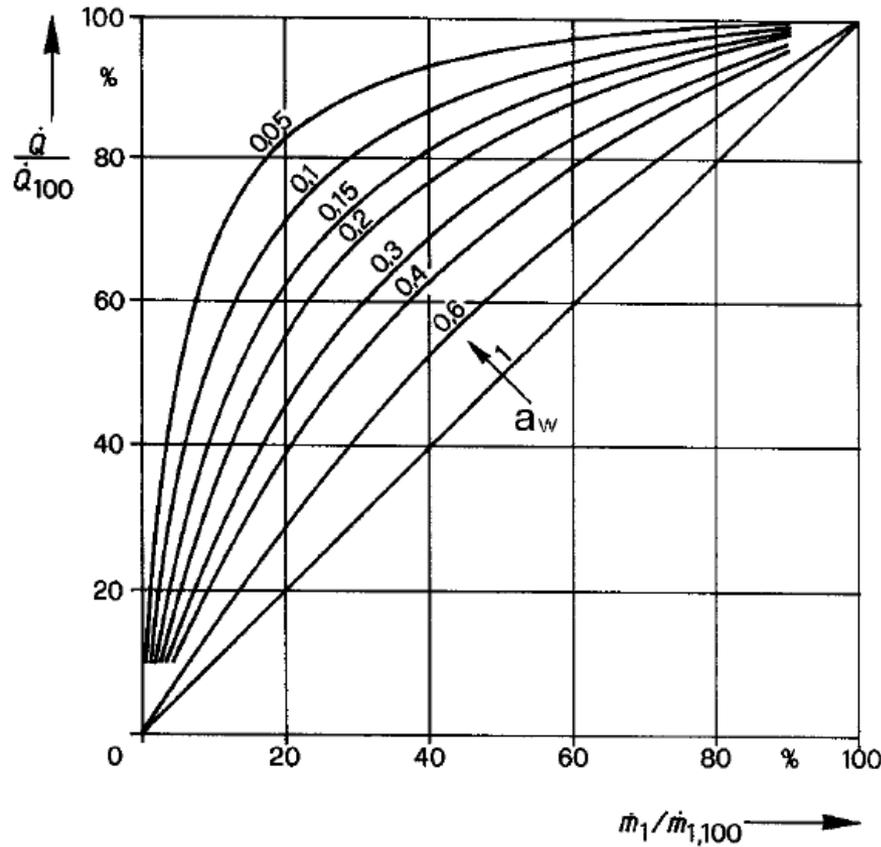
$t_{1,a}$ = Temperatur primär Austritt

$t_{2,a}$ = Temperatur sekundär Austritt

f = Bauartbedingter Korrekturfaktor

Vertiefung: z.B. Buch „Die Pumpen- Warmwasser-Heizung“ von Ihle|Prechtl

1.6 Auswahl Ventilkennlinie an Hand Wärmeübertragerkennlinie



1.7 Berechnungsgang

Ermittlung Volumenstrom aus Leistung:

$$\dot{Q} = \dot{V} \times \rho \times c_W \times \Delta T$$

Berechnung Druckverlust volumenstromvariabler Kreis:

$$\Delta p_{ges} = \Delta p_{var} = R \times l + Z + \Delta p_{AP}$$

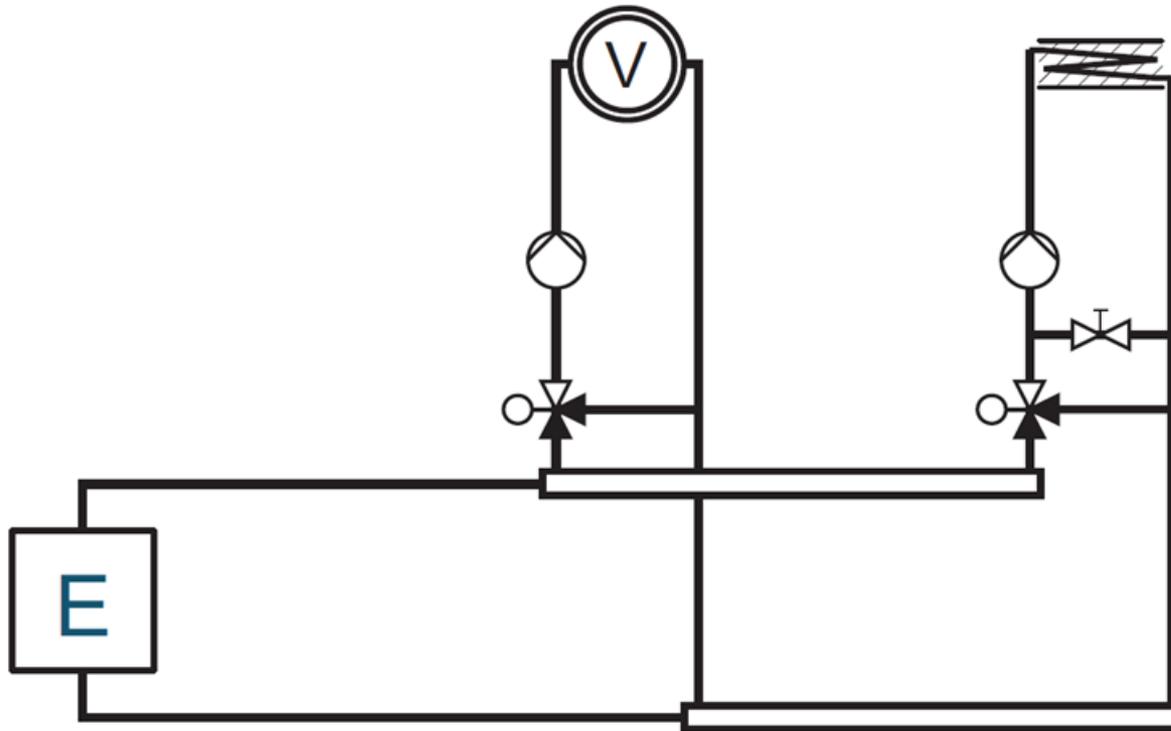
Berechnung Druckverlust Regelventil an Hand Ventilautorität:

$$\Delta p_{V100} = \frac{a_v \times \Delta p_{var}}{1 - a_v}$$

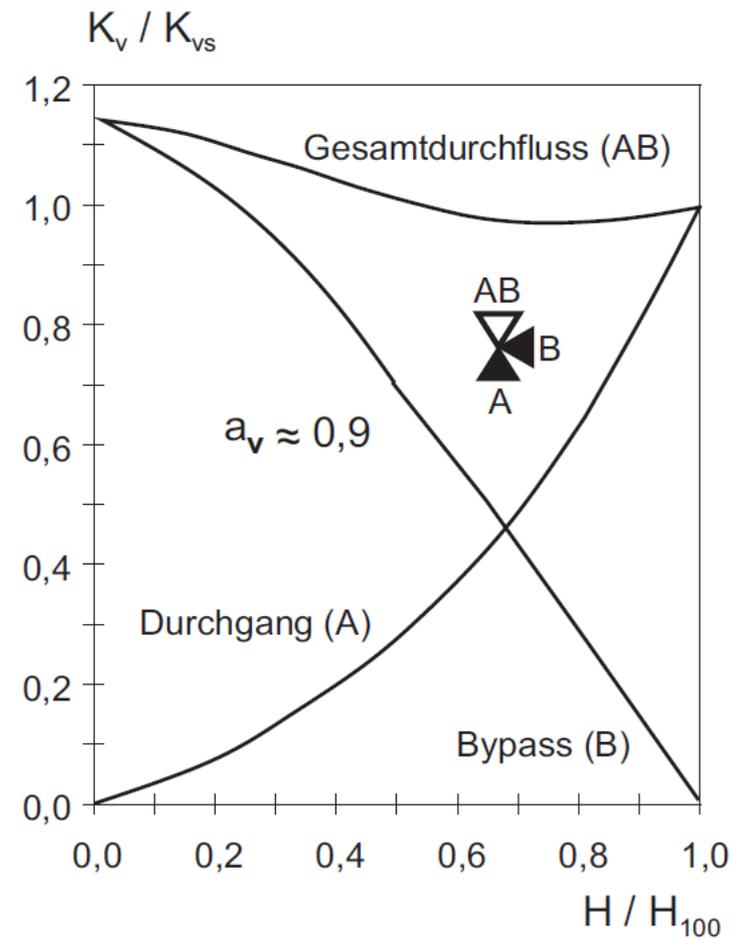
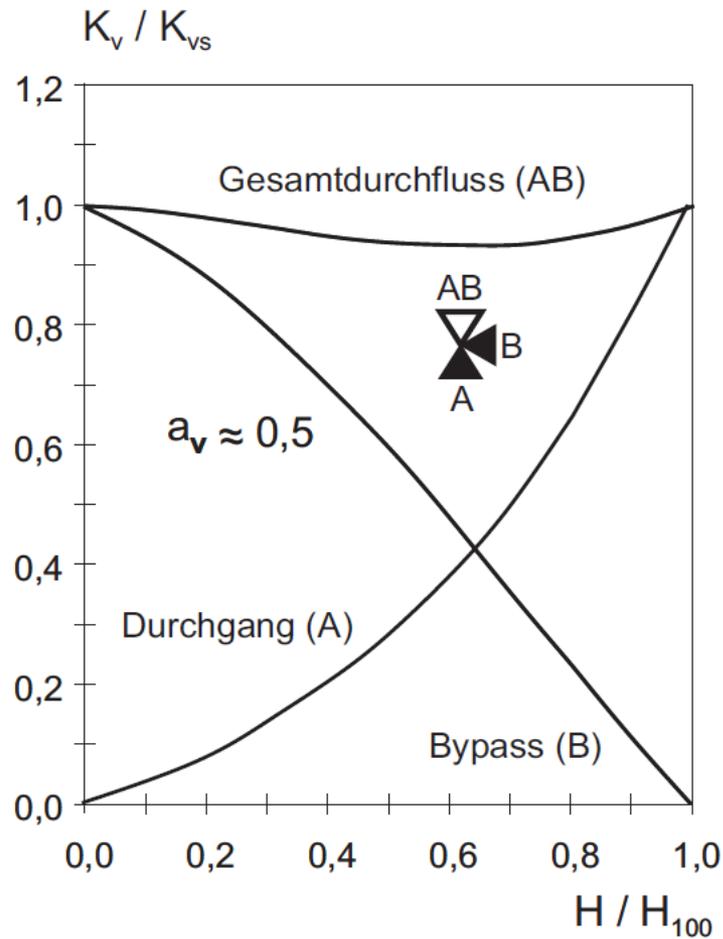
Auslegung Regelventil mit kv-Formel:

$$k_{Vs} = \dot{V} \times \sqrt{\frac{1 \text{ bar}}{\Delta p_{V100}}}$$

1.8 Beeinflussung von Regelkreisen/Heizkreisen

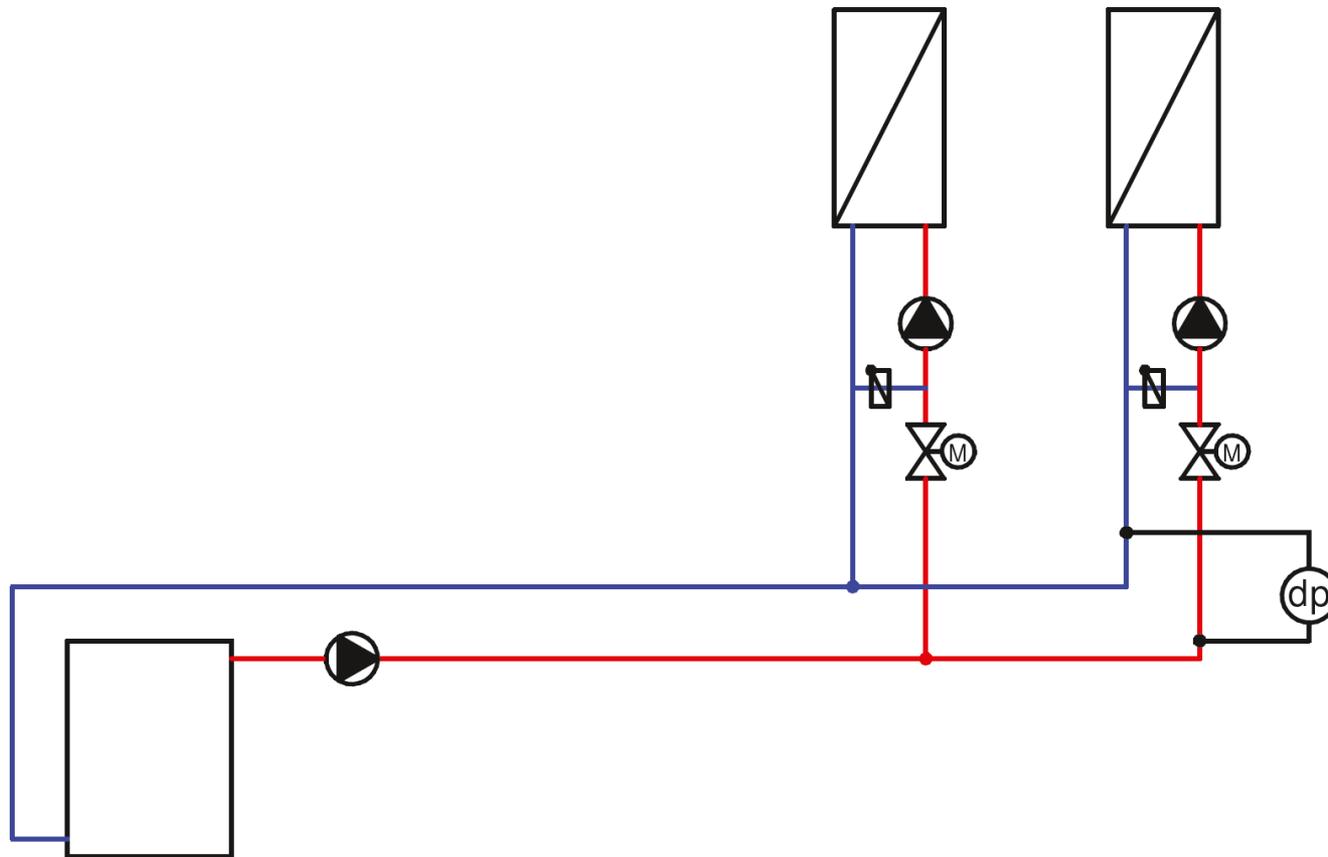


1.8 Besonderheit Ventilkennlinien von 3-Wegeventilen Abhängigkeit der Ventilautorität



2.8 Beeinflussung Regelkreise untereinander

→ zusätzliche Vordruckpumpe bei großem zentralen Festwiderstand



2. Auslegung, Verschaltung und Regelung von Pumpen

Welche Arten von Umwälzpumpen gibt es?

Bei den in der Heizungstechnik üblichen Kreiselpumpen wird unterschieden in:

ungeregelte Pumpen

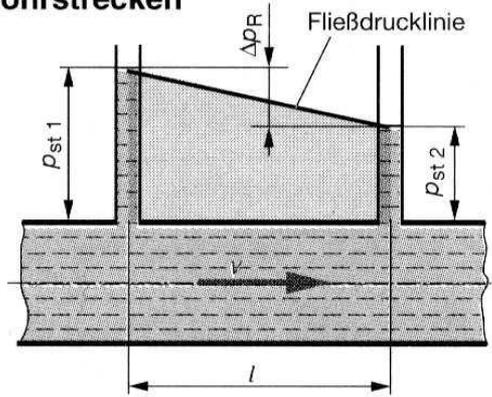
- Es gibt ein- und mehrstufige Ausführungen
- Vorteil: kostengünstig
- Nachteil: keine Leistungsanpassung an den Teillastfall möglich (z.B. wenn einzelne Thermostatventile geschlossen sind)
- Mit sinkendem Durchfluss steigt die Förderhöhe an

Regelpumpen

- Ab einer Wärmeerzeugerleistung von **>25kW** ist bei betriebsbedingt veränderlichem Volumenstrom vorgeschrieben, eine geregelte Pumpe einzusetzen.
- Das bedeutet, dass die Pumpe bei Teillast durch Anpassung der Drehzahl die Leistung verringert und so Energie spart.
- Nachteil: höhere Investitionskosten

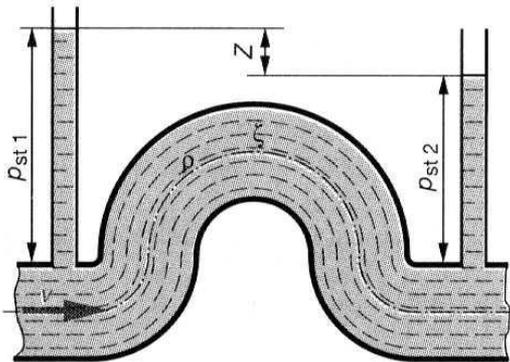
2.1 Pumpenauslegung

Druckverluste in geraden Rohrstrecken



$$\Delta p_R = R \cdot l$$

Druckverluste durch Einzelwiderstände



$$Z = \sum \zeta \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

$$Z = \sum \zeta \cdot p_{dy}$$

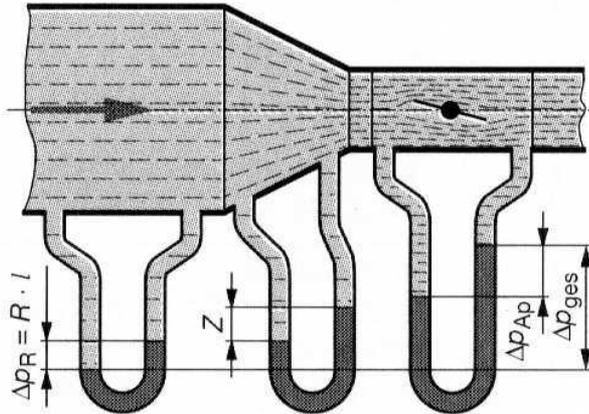
$$Z = \sum \zeta \cdot z$$

- Δp_R : Druckverlust in Pa
- R : Druckgefälle in Pa/m
- l : Länge zwischen den Messpunkten in m
- p_{st1} : statischer Druck Messpunkt 1 in Pa
- p_{st2} : statischer Druck Messpunkt 2 in Pa

- Z : Druckverlust durch Einzelwiderstände in Pa
- $\sum \zeta$: Summe der Widerstandsbeiwerte
- p_{dy} : dynamischer Druck in Pa
- v : Strömungsgeschwindigkeit in m/s
- ρ : Dichte des strömenden Mediums in kg/m³
- z : Druckverluste für $\zeta = 1$ in Pa
- p_{st1} : statischer Druck Messpunkt 1 in Pa
- p_{st2} : statischer Druck Messpunkt 2 in Pa

2.1 Pumpenauslegung

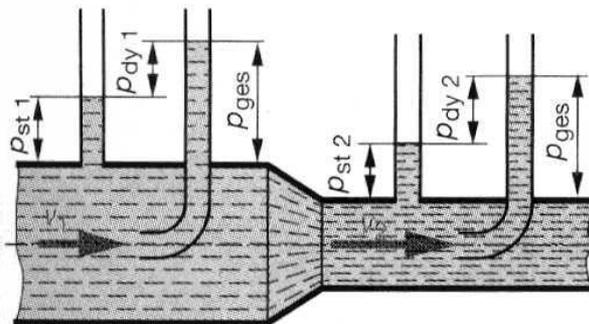
Gesamtdruckverluste



$$\Delta p_{\text{ges}} = R \cdot l + Z + \Delta p_{\text{Ap}}$$

Δp_{ges} :	Gesamtdruckverlust	in Pa
R	: Druckgefälle	in Pa/m
l	: Rohrlänge	in m
Z	: Druckverlust durch Einzelwiderstände	in Pa
Δp_{Ap} :	Druckverlust durch Apparate	in Pa

Gesetz von Bernoulli



ohne Berücksichtigung von Druckverlusten durch Rohrreibung und Druck durch Höhenunterschiede

$$p_{\text{st}} + p_{\text{dy}} = \text{konstant}$$

$$p_{\text{st1}} + p_{\text{dy1}} = p_{\text{st2}} + p_{\text{dy2}}$$

$$p_{\text{st1}} + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} = p_{\text{st2}} + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2}$$

p_{st}	: statischer Druck	in Pa
p_{dy}	: dynamischer Druck	in Pa
p_{st1}	: statischer Druck 1	in Pa
p_{dy1}	: dynamischer Druck 1	in Pa
ρ	: Dichte des strömenden Mediums	in kg/m ³
v_1	: Strömungsgeschwindigkeit 1	in m/s
p_{st2}	: statischer Druck 2	in Pa
p_{dy2}	: dynamischer Druck 2	in Pa
v_2	: Strömungsgeschwindigkeit 2	in m/s

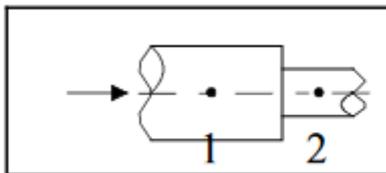
2.1 Beispielübersicht R-Werte und ζ -Werte:

Tabellen zur Druckverlustberechnung

Kupferrohr nach DIN/EN 1057 ($k = 0,0015 \text{ mm}$, $t = 60 \text{ °C}$)

DN	12*1		15*1		18*1		22*1		28*1,5		35*1,5		42*1,5	
d_i (mm)	10		13		16		20		25		32		39	
R (Pa/m)	kg/h	m/s	kg/h	m/s	kg/h	m/s	kg/h	m/s	kg/h	m/s	kg/h	m/s	kg/h	m/s
5	11	0,04	23	0,05	41	0,06	75	0,07	140	0,08	276	0,10	473	0,11
10	16	0,06	34	0,07	61	0,09	113	0,10	209	0,12	411	0,14	705	0,17
15	21	0,08	44	0,09	78	0,11	144	0,13	265	0,15	519	0,18	889	0,21
20	25	0,09	52	0,11	92	0,13	170	0,15	313	0,18	612	0,22	1047	0,25
25	29	0,10	59	0,13	105	0,15	193	0,17	355	0,20	696	0,24	1189	0,28
30	32	0,11	66	0,14	116	0,16	215	0,19	395	0,23	772	0,27	1318	0,31
35	35	0,13	72	0,15	127	0,18	235	0,21	431	0,25	843	0,30	1439	0,34
40	38	0,14	78	0,17	138	0,19	253	0,23	465	0,27	909	0,32	1552	0,37
45	40	0,15	83	0,18	147	0,21	271	0,24	498	0,29	972	0,34	1658	0,39
50	43	0,15	89	0,19	157	0,22	288	0,26	529	0,30	1032	0,36	1760	0,42
55	45	0,16	94	0,20	165	0,23	304	0,27	558	0,32	1089	0,38	1857	0,44
60	48	0,17	99	0,21	174	0,24	320	0,29	587	0,34	1144	0,40	1951	0,46
65	50	0,18	103	0,22	182	0,26	335	0,30	614	0,35	1197	0,42	2041	0,48
70	52	0,19	108	0,23	190	0,27	349	0,31	640	0,37	1248	0,44	2128	0,50
75	54	0,20	112	0,24	198	0,28	363	0,33	666	0,38	1298	0,46	2212	0,52
80	57	0,20	116	0,25	205	0,29	377	0,34	691	0,40	1346	0,47	2294	0,54
85	59	0,21	121	0,26	213	0,30	390	0,35	715	0,41	1393	0,49	2373	0,56

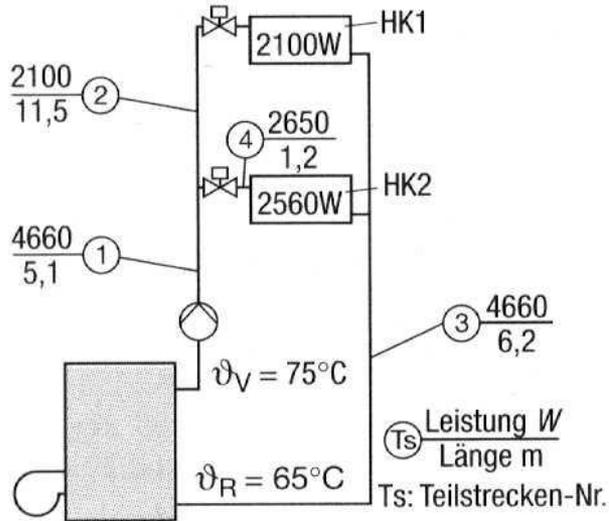
Druckverlust in Querschnittsänderungen



$$\Delta p_{VE} = \zeta_1 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w_1^2 = \zeta_2 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w_2^2$$

Quelle: www.delta-q.de

2.1 Pumpenauslegung



Tab. Dichte ρ von Wasser bei versch. Temperaturen

ϑ in $^\circ\text{C}$	40	60	80	100
ρ in $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	992,2	983,2	971,8	958,3

$$\Delta p_s < 0,7 \cdot \Delta p_u$$

$$\Delta p_s = \Sigma(R \cdot l + Z)$$

$$Z = \Sigma \zeta \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

Hinweis:

Für einwandfreien Betrieb von Heizungsanlagen wird Dimensionierung des Rohrnetzes für geringen Pumpenförderdruck empfohlen.

kleine Anlagen:
5000 bis 10000 Pa
große Anlagen:
10000 bis 20000 Pa

Δp_s : Gesamtdruckverlust des Stromkreises in Pa

Δp_u : Umtriebs- bzw. Förderdruck der Pumpe in Pa

$R \cdot l$: Druckverluste aus Rohrreibung in Pa

Z : Druckverluste aus Einzelwiderständen in Pa

$\Sigma \zeta$: Summe der Widerstandsbeiwerte

ρ : Dichte des Mediums in kg/m^3

v : Strömungsgeschwindigkeit in m/s

2.1 Pumpenauslegung

Rechengang:

- Ermittlung der Wärmeleistung durch jede Teilstrecke (z. B. mit Rohrplan),
- Berechnung, der für die Wärmeleistungen notwendigen Massenströme des Heizmittels,
- Berechnung des vorläufigen Druckgefälles R (zunächst für den ungünstigen Stromkreis),
- Ermittlung der Rohrdurchmesser d (mit Hilfe des vorläufigen R -Wertes) für jede Teilstrecke dieses Stromkreises (\rightarrow Diagr. 68.1),
- Ermittlung des R -Wertes für die gewählten Durchmesser der Teilstrecken,
- Berechnung der Druckverluste durch Rohrreibung,
- Ermittlung der Druckverluste in Einzelwiderständen (\rightarrow Tab. 67.1 und Diagr. 67.1),
- Summenbildung der Druckverluste aus f) und g),
- Bildung des Gesamtdruckverlustes des Stromkreises,
- Kontrolle, ob der Gesamtdruckverlust des Stromkreises kleiner ist als 70% des wirksamen Umtriebsdruckes, ggf. Korrektur (größere Durchmesser), Festlegen der Pumpe
- Berechnung des beim hydraulischen Abgleich zu drosselnden Differenzdruckes des Stromkreises,
- gegebenenfalls zurück zu c) und einen weiteren Stromkreis berechnen (mit dem am Abzweig wirksamen Druck).

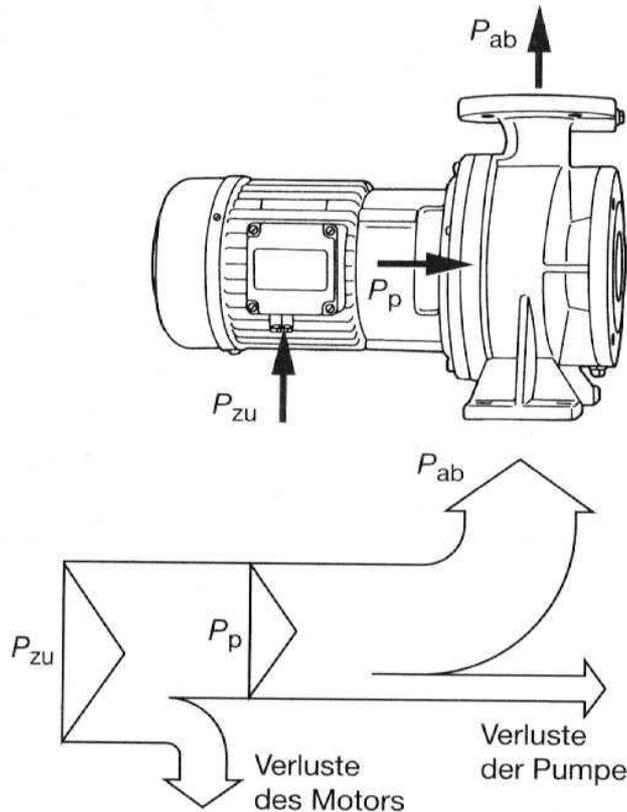
a) + b)				c)*		f)		g)			h)	j)	k)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Rohrplan				Diagr.68.1	Diagr.68.1	Rohrplan	6·7		Diagr.68.1		8 + 11		13 – 12
Teilstrecke	Wärmeleistung	Temper.-spreizung	Massenstrom	Rohrdurchmesser	Druckgefälle	Rohrlänge	Druckverl. d. Rohrreibung	Einzelwiderstände	Geschwindigkeit	Druckverl. in Einzelwiderst.	$\Delta p = R \cdot l + Z$	wirksam. Druck	zu drosselnder Druck
Nr.	\dot{Q} W	$\Delta \vartheta$ K	\dot{m} kg/h	d DN	R Pa/m	l m	$R \cdot l$ Pa	$\Sigma \zeta$ -	v m/s	Z Pa	Pa	$\Delta p_{u,w}$ Pa	Δp_v Pa

c)* Das vorläufige Druckgefälle wird nicht in das Formblatt eingetragen.

$$i) \Delta p_s = \Sigma(R \cdot l + Z) = \underline{\underline{< 0,7 \cdot \Delta p_{u,w}}}$$

2.2 Pumpenleistung und Wirkungsgrad

Zugeführte Pumpenleistung



$$P_{zu} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{3600 \cdot \eta_{ges}}$$

$$P_{ab} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{3600}$$

$$P_p = \frac{P_{ab}}{\eta_p}$$

$$\eta_{ges} = \eta_M \cdot \eta_p$$

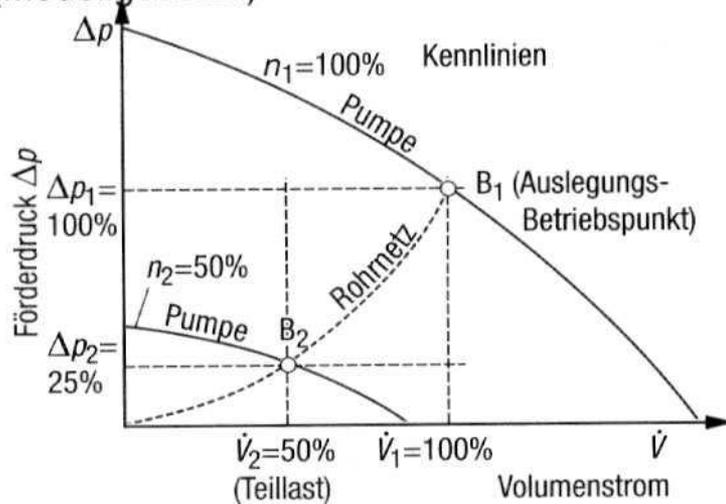
- P_{zu} : Leistungsaufnahme des Motors in W
- \dot{V} : Volumenstrom in m³/h
- Δp : Förderdruck in Pa
- 3600 : Umrechnungszahl in s/h
- P_{ab} : hydraulische Leistung in W
- P_p : Leistungsbedarf an der Welle in W
- η_p : Wirkungsgrad der Pumpe
- η_M : Wirkungsgrad des Motors
- η_{ges} : Gesamtwirkungsgrad

Tab. Wirkungsgrade von Pumpen

Pumpenart	Gesamtwirkungsgrad η in %
Kreiselpumpen (Trockenläufer)	50...83 (83% nur bei sehr geringem Druck)
Kreiselpumpen (Nassläufer)	5...25 (bis 100 W)
Verdrängerpumpen	85...94 (bei hohen Drücken)

2.2 Pumpenleistung in Abhängigkeit der Drehzahl

Pumpen- und Rohrnetzkenlinie bei Drehzahländerung
(Modellgesetze)



$$\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\Delta p_2 = \Delta p_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$$

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

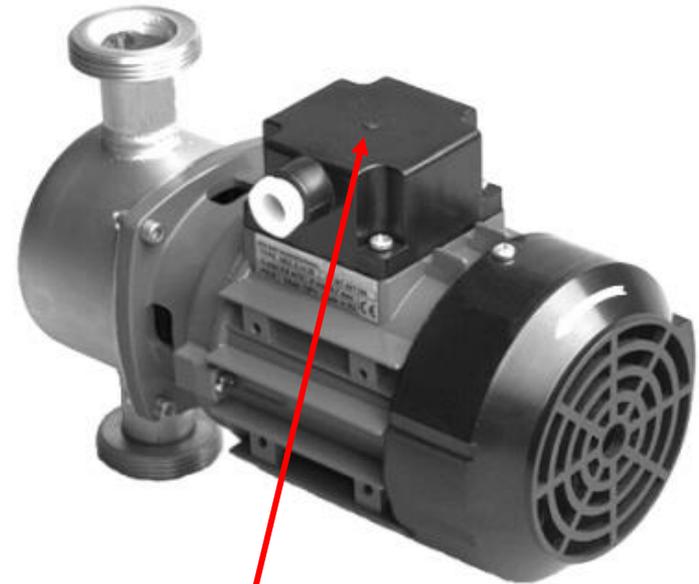
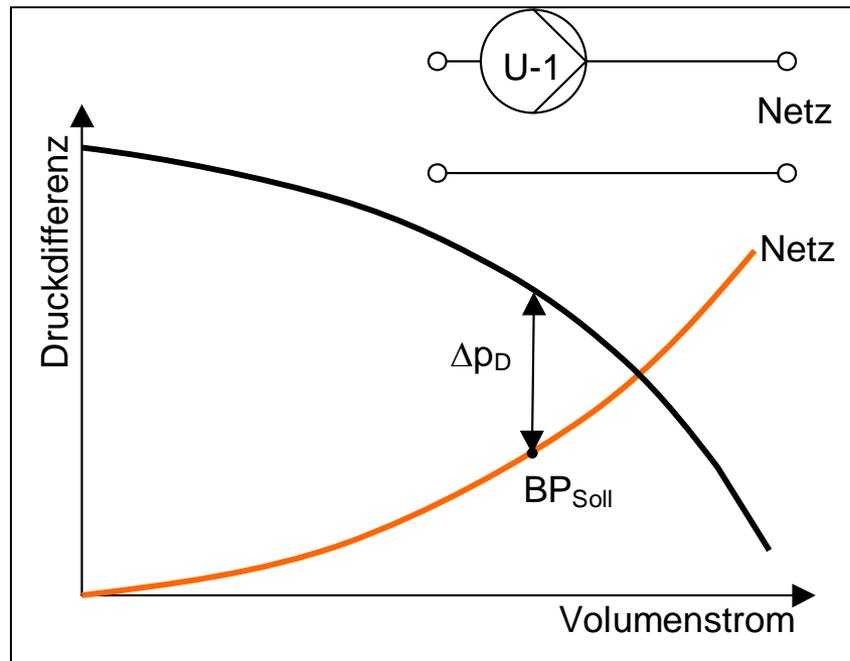
$$P_{ab2} = P_{ab1} \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3$$

- \dot{V}_1 : Volumenstrom im Betriebspunkt 1 (B_1) in m^3/h
- \dot{V}_2 : Volumenstrom in B_2 in m^3/h
- n_1 : Drehfrequenz der Pumpe in B_1 in 1/min
- n_2 : Drehfrequenz der Pumpe in B_2 in 1/min
- Δp_1 : Förderdruck in B_1 in Pa
- Δp_2 : Förderdruck in B_2 in Pa
- P_{ab1} : hydraulische Leistung in B_1 in W
- P_{ab2} : hydraulische Leistung in B_2 in W

2.3 Pumpenarten

Einstufige ungeregelte Pumpe

Der gegebene Druck ist meist größer als der benötigte:

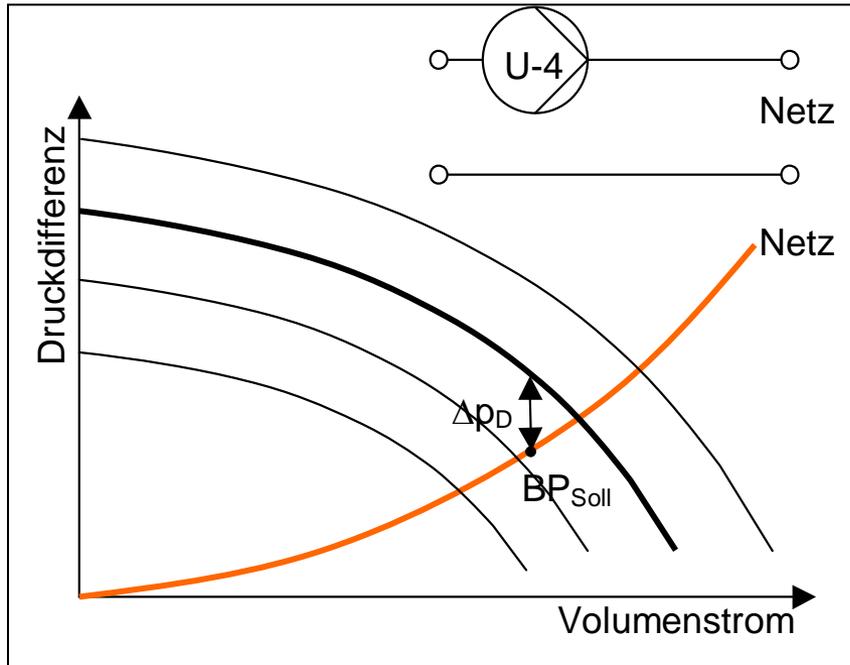


nicht einstellbar
(einfacher Anschlusskasten)

2.3 Pumpenarten

Mehrstufige ungerregelte Pumpe

Der gegebene Druck ist meist größer als der benötigte:

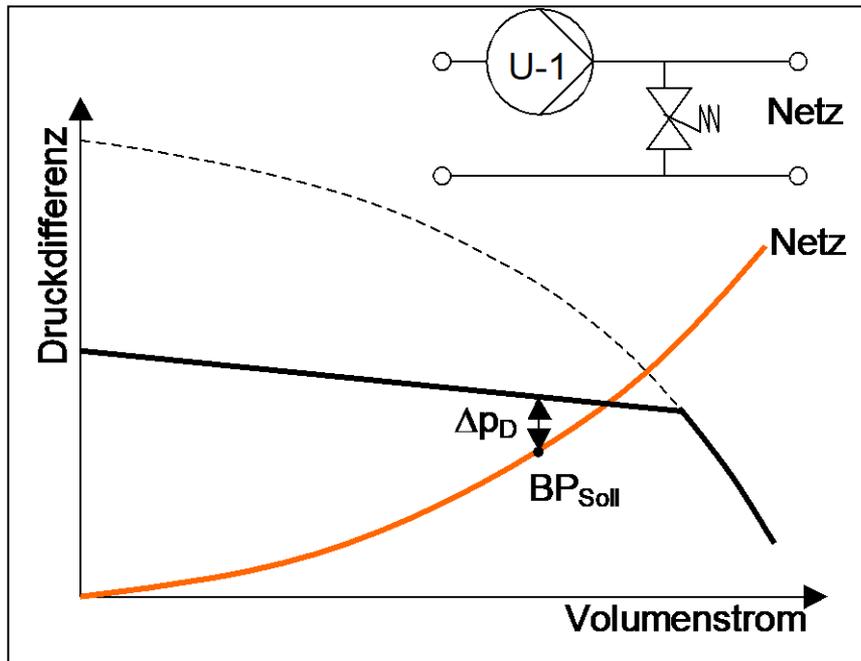


2.4 Betriebspunkte ungeregelte Pumpen

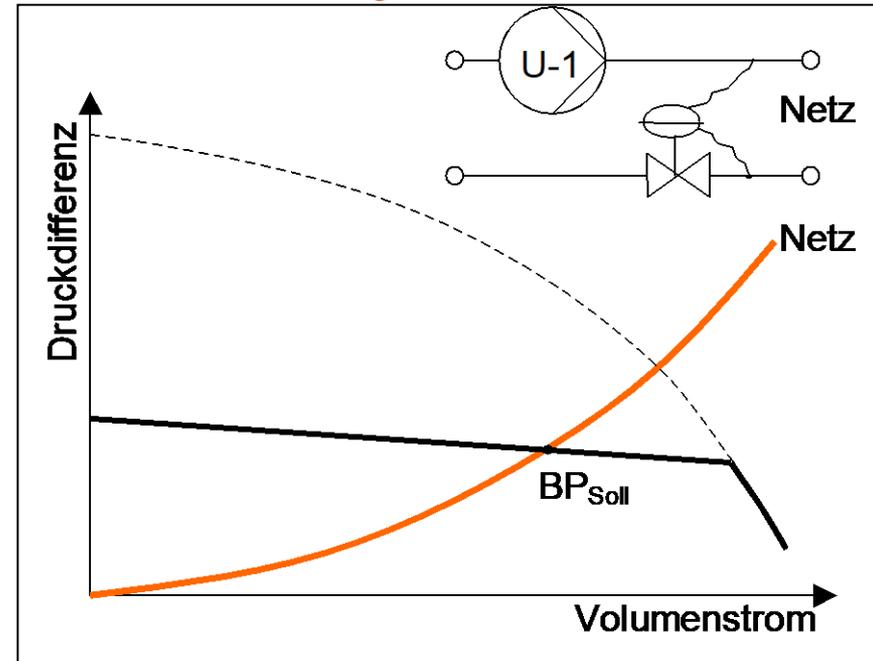
Ungeregelte Pumpen mit Überströmventil oder Differenzdruckregler

Der für das Netz maßgebliche Differenzdruck kann auch aus einer Kombination aus ungeregelter Pumpe und Überströmventil oder Differenzdruckregler resultieren. Der Soll-druck kann in beiden Fällen genau eingestellt werden, er kann aber auch überschritten werden (bauartbedingt).

ungeregelte Pumpe und Überströmventil



ungeregelte Pumpe und Differenzdruckregler

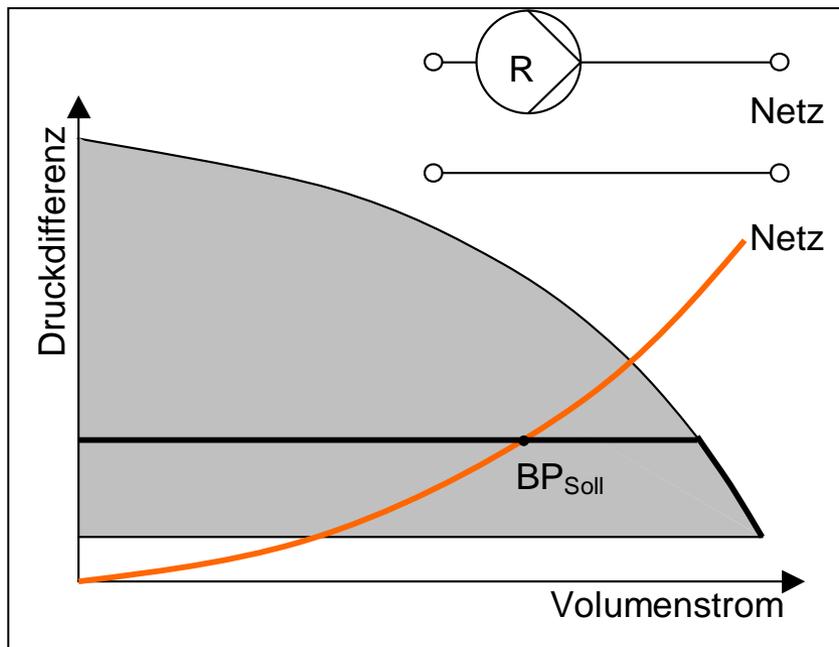


2.4 Betriebspunkte geregelte Pumpen

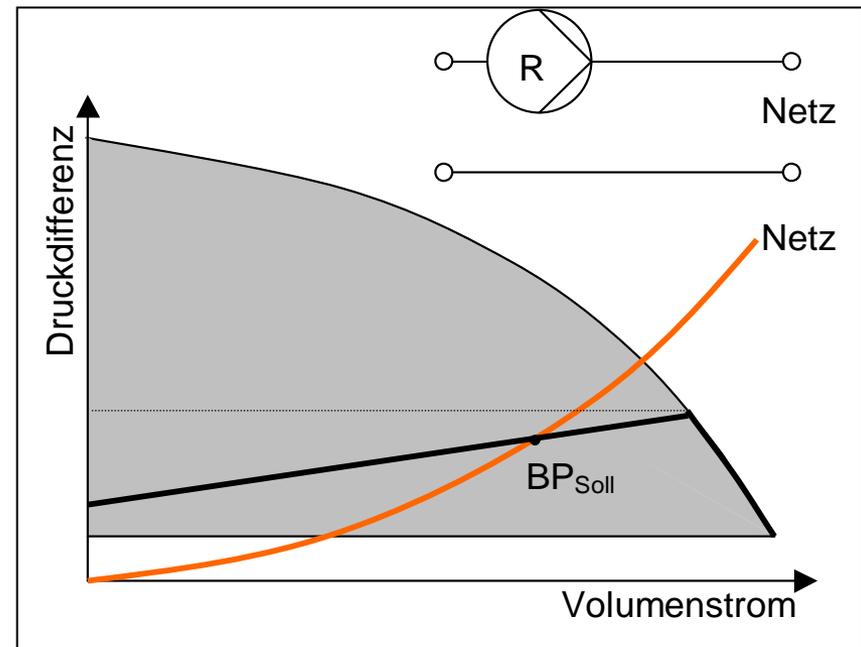
Geregelte Pumpen (konstant oder variable Druckdifferenz als Soll?)

Kommt eine Regelpumpe zum Einsatz, kann der Druck konstant oder variabel geregelt werden. In beiden Fällen ist eine genaue Einstellung des benötigten Drucks möglich.

regelbare Pumpe,
 Δp -Konstant-Regelung



regelbare Pumpe,
 Δp -Variabel-Regelung



2.5 Möglichkeiten der Regelung

Es gibt mehrere Möglichkeiten, eine Regelpumpe zu betreiben, die an der Pumpe einmalig bei Inbetriebnahme eingestellt werden:

- „ Δp konstant“ (Konstantdruck):

Die Pumpe stellt bei jedem Durchfluss die gleiche Förderhöhe bereit

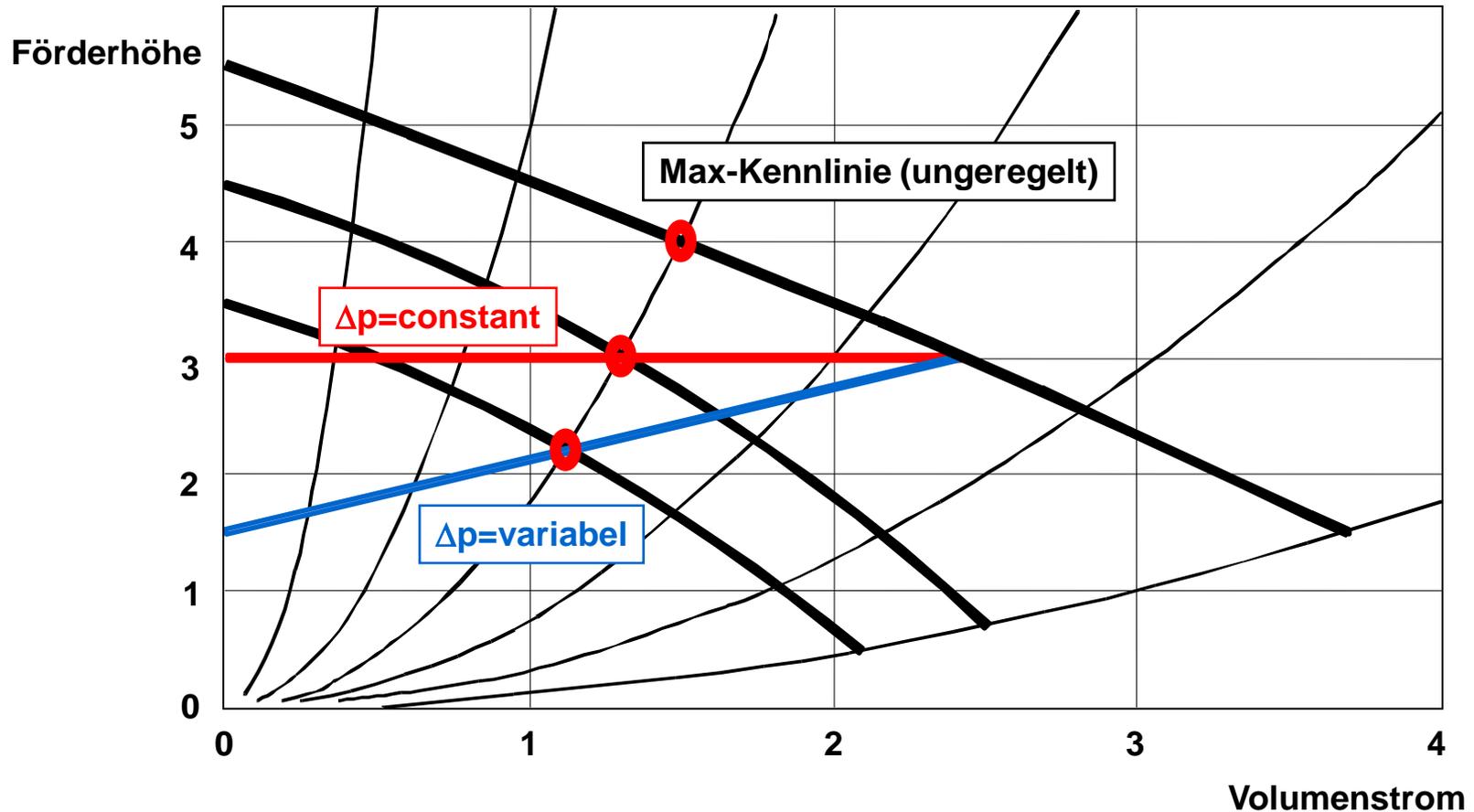
- „ Δp variabel“ (Variabeldruck):

Die Pumpe verringert mit sinkendem Durchfluss die Förderhöhe. Bei dieser Art der Regelung kann der Energieverbrauch stärker reduziert werden als bei der Regelung nach dp const

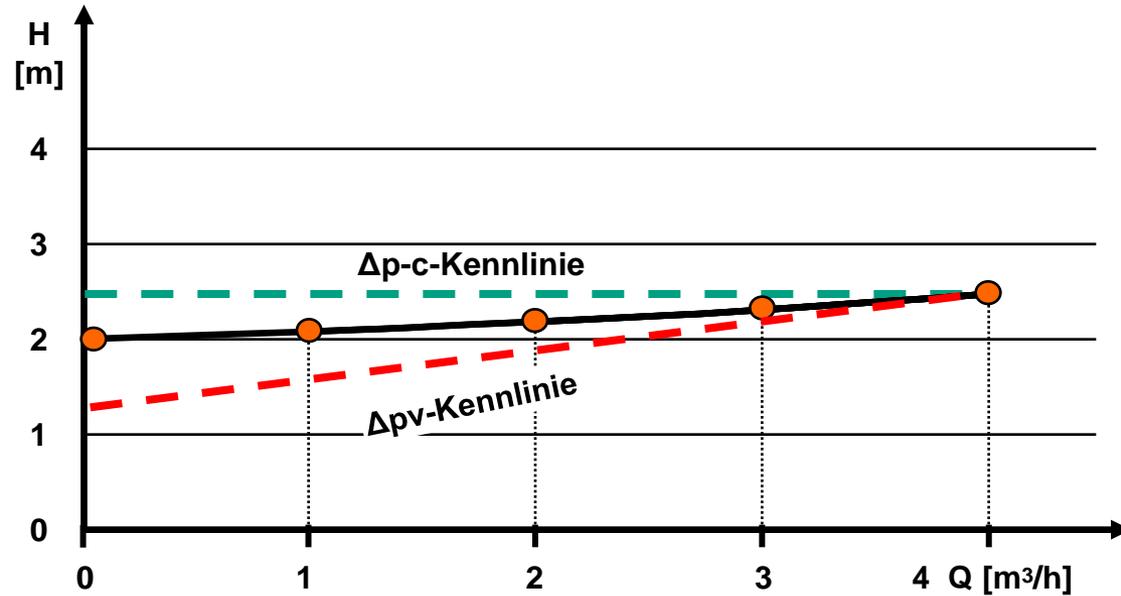
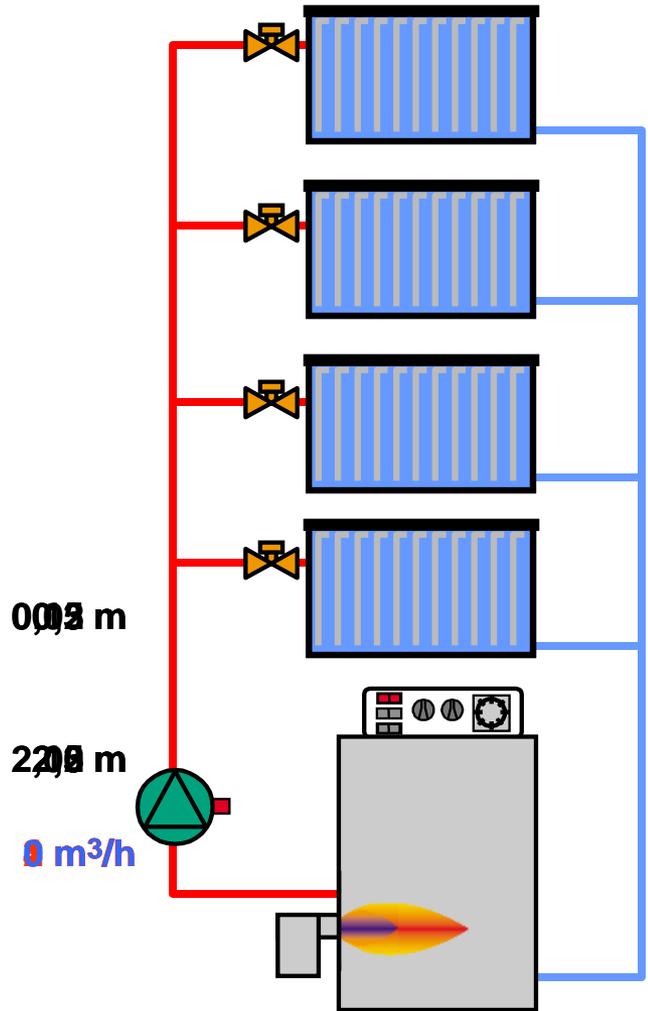
- Nach Kesselregelung:

Diese Art der Regelung wird bei Kesseln mit modulierenden Brennern eingesetzt. Die Pumpe ändert ihre Drehzahl in Abhängigkeit von der Leistung des Brenners.

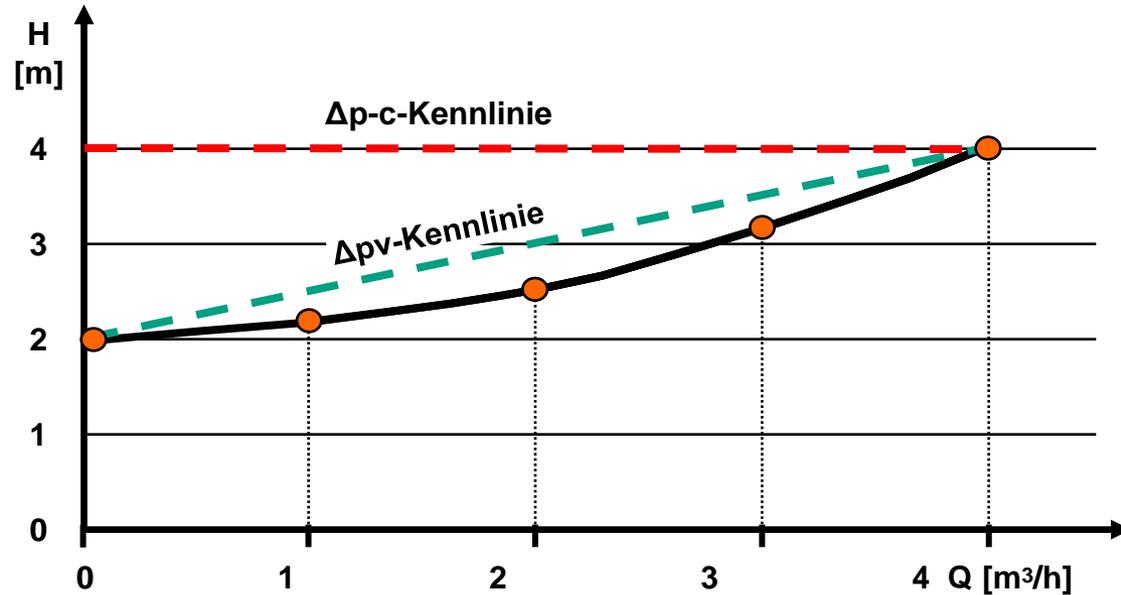
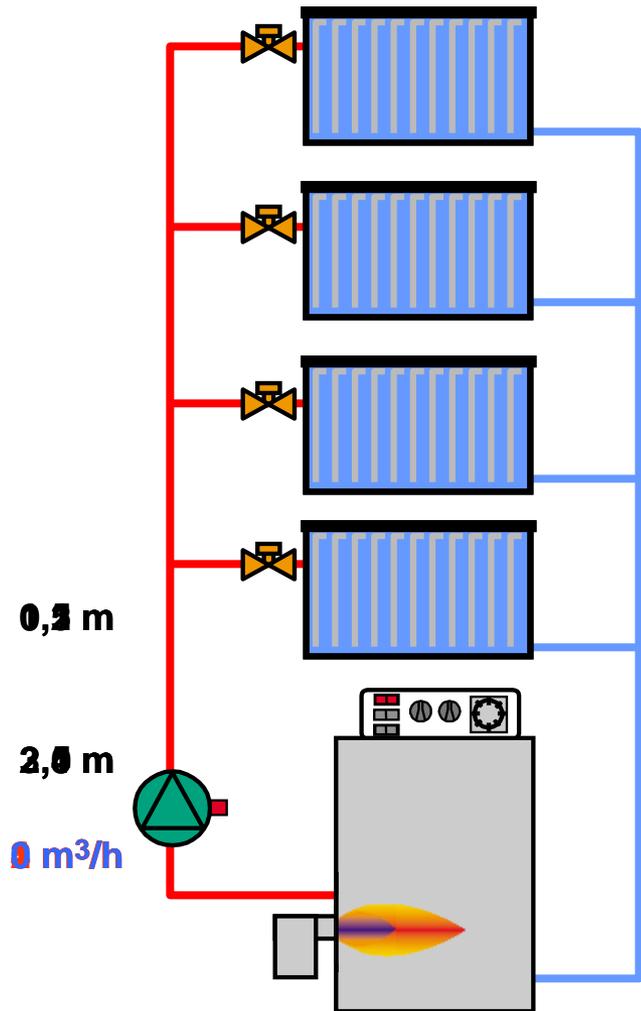
2.5 Unterschied der Druckkonstant- und Druckvariabelregelung



2.5 Einsatz einer Konstantregelung: kleine zentrale Festwiderstände



2.5 Einsatz einer Variabelregelung: große zentrale Festwiderstände

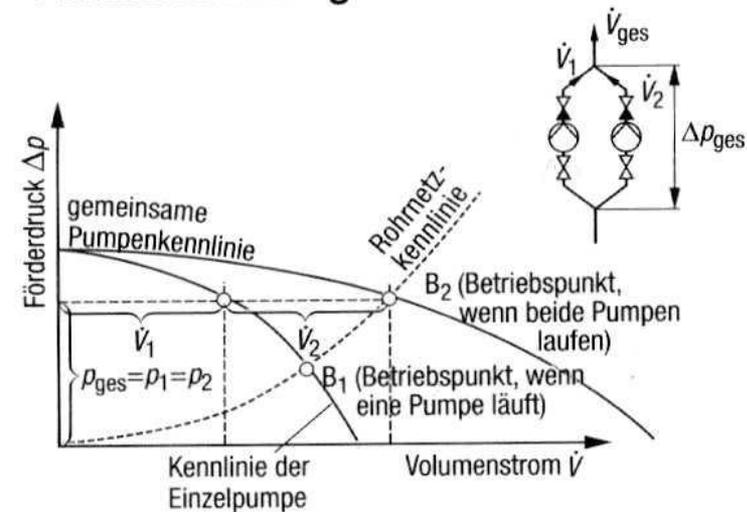


2.6 Bedingungen für optimalen Betrieb

- Damit eine Heizungsanlage optimal funktioniert, sollte die Pumpe an die anderen Anlagenkomponenten angepasst werden.
- Ist die Pumpe mehrstufig oder eine Regelpumpe, so sollte sie vor Ort auf die gewünschten Parameter eingestellt werden. Sonst können sich unerwünschte Geräusche oder ein Mehrverbrauch an elektrischer Energie ergeben.
- **Überdimensionierung ist bei allen Pumpentypen zu vermeiden.**
- Eine zu große Regelpumpe muss schon im Auslegungsfall im unteren Drehzahlbereich arbeiten und kann somit bei Teillast die Leistung nicht mehr weiter reduzieren.
- Dies bringt dann keine Ersparnis von Energiekosten im Vergleich zu einer unregelmäßig arbeitenden Pumpe, sondern es entstehen sogar Mehrkosten: Die Leistungsaufnahme ist aufgrund der Regelung höher und der Wirkungsgrad ist im unteren Bereich sehr gering.

2.7 Verschaltung von Pumpen

Parallelschaltung



$$\dot{V}_{ges} = \dot{V}_1 + \dot{V}_2$$

$$\Delta p_{ges} = \Delta p_1 = \Delta p_2$$

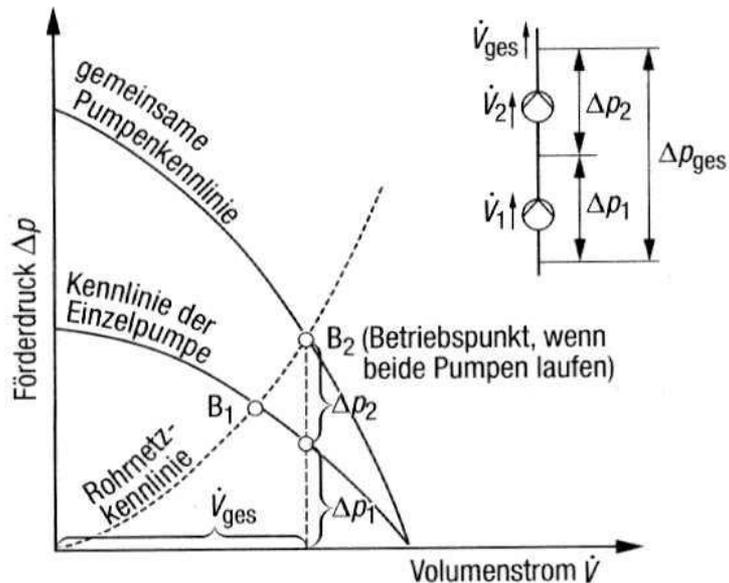
\dot{V}_{ges} : Gesamtvolumenstrom in m^3/h
 \dot{V}_1, \dot{V}_2 : Einzelvolumenströme in m^3/h
 Δp_{ges} : Gesamtförderdruck in Pa
 $\Delta p_1, \Delta p_2$:
 Einzelförderdrücke in m^3/h

Hinweis:

Aus den Formeln lässt sich lediglich die gemeinsame Pumpenkennlinie entwickeln. Für den Betriebspunkt muss auch die Rohrnetz-kennlinie beachtet werden.

2.7 Verschaltung von Pumpen

Reihenschaltung



$$\Delta p_{ges} = \Delta p_1 + \Delta p_2$$

$$\dot{V}_{ges} = \dot{V}_1 = \dot{V}_2$$

Δp_{ges} : Gesamtförderdruck in Pa

$\Delta p_1, \Delta p_2$:
Einzelförderdrücke in Pa

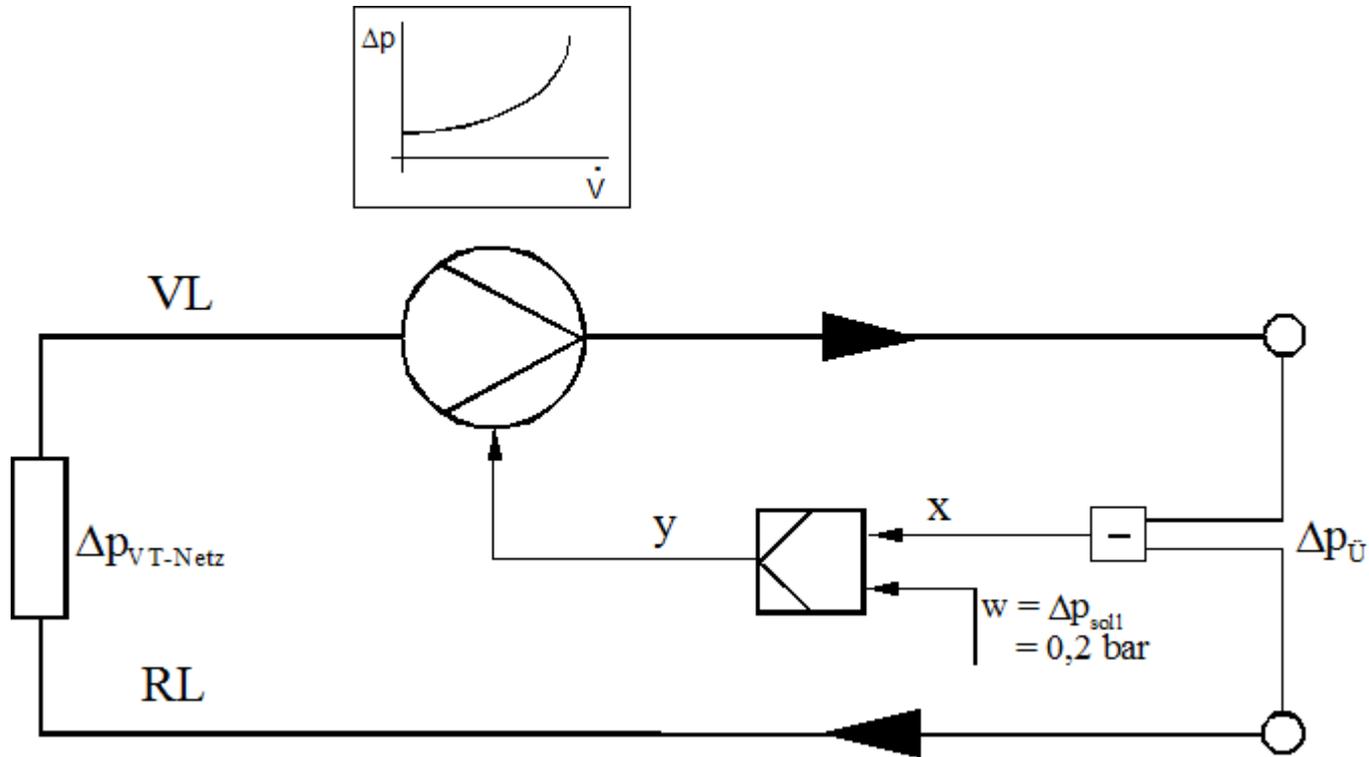
\dot{V}_{ges} : Gesamtvolumenstrom in m^3/h

\dot{V}_1, \dot{V}_2 : Einzelvolumenströme in m^3/h

Hinweis:

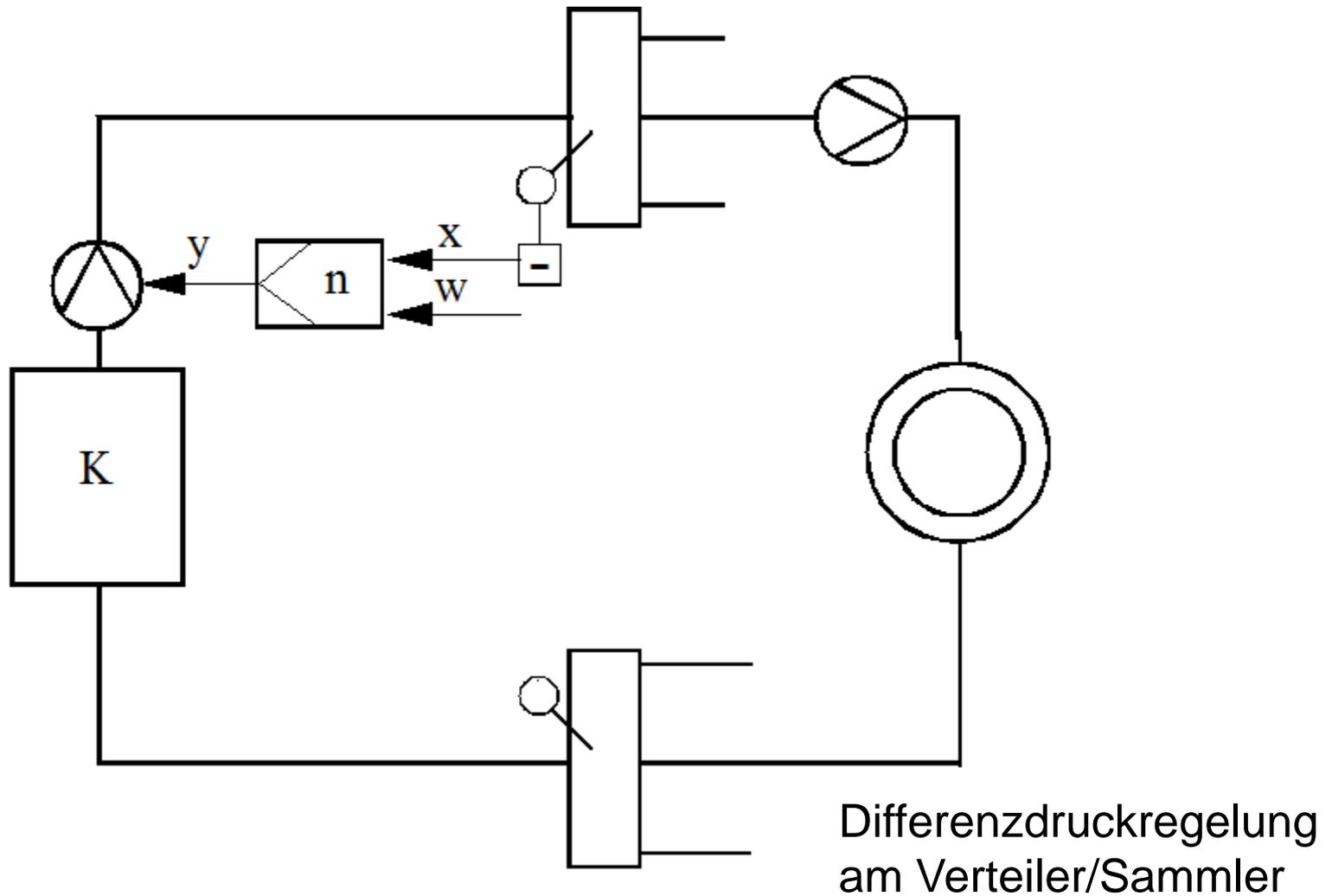
Aus den Formeln lässt sich lediglich die gemeinsame Pumpenkennlinie entwickeln. Für den Betriebspunkt muss auch die Rohrnetz-kennlinie beachtet werden.

2.8 Hydraulik von Verteilnetzen (1):

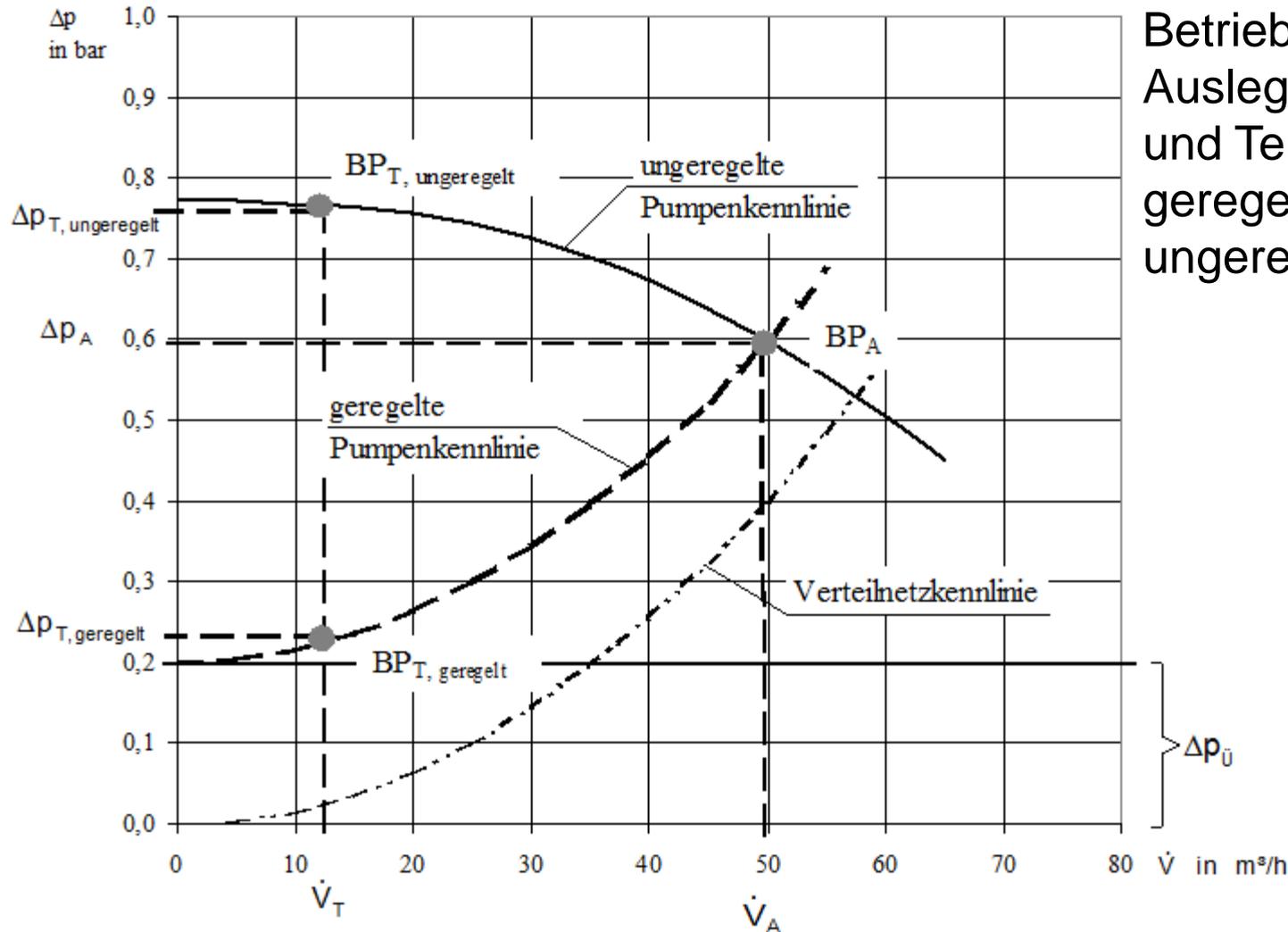


Verteilnetz, Regelung Differenzdruck zwischen Vor- und Rücklauf

2.8 Hydraulik von Verteilnetzen (4):

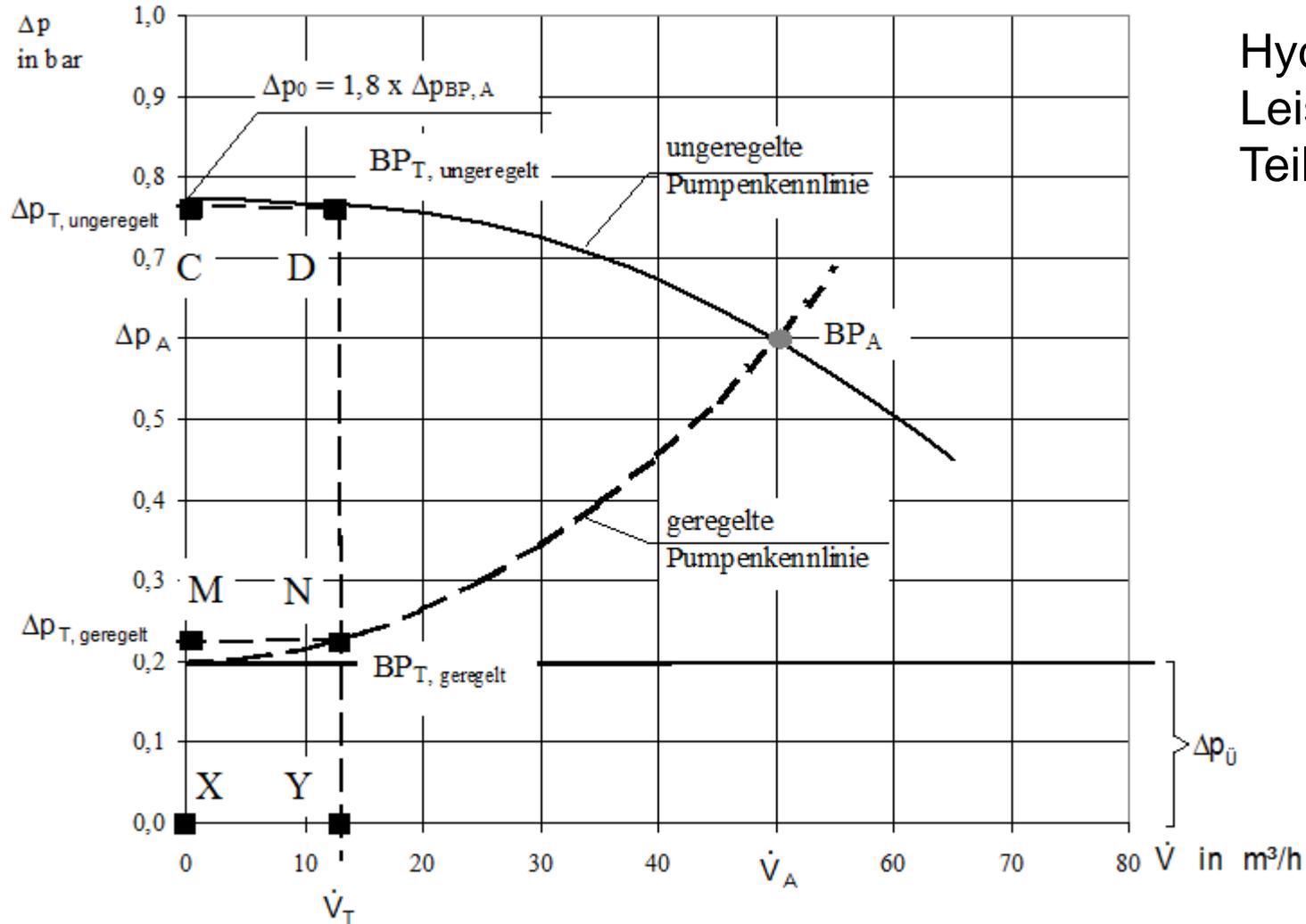


2.8 Hydraulik von Verteilnetzen (2):



Betriebspunkte:
Auslegungsfall
und Teillast,
geregelt und
unregeltete Pumpe

2.8 Hydraulik von Verteilnetzen (3):



Hydraulische Leistung bei Teillast

3. Hydraulik von Energieerzeugungsanlage

3.1 Betriebsbedingungen verschiedener Kesselbauarten

**Tabelle 5-1: Richtwerte für Mindest-Rücklauftemperaturen und
Mindest- Kesselwassertemperaturen**

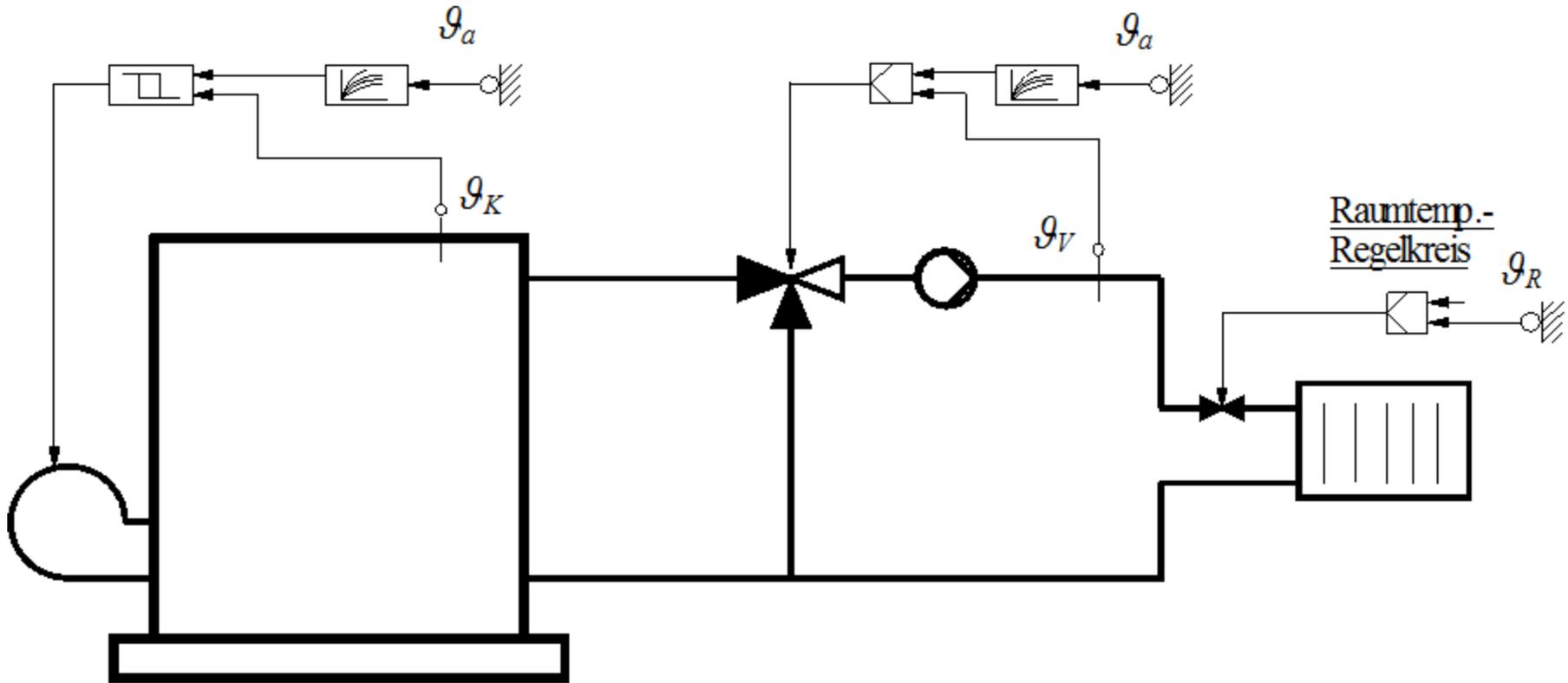
Kesselbauart	Mindest-Rücklauf- Temperatur	Mindest-Kesselwasser- Temperatur
Standardkessel	60 °C	75 °C
Niedertemperatur- Kessel	35 - 40 °C	40 - 60 °C
Brennwertkessel	5 °C	30 °C
Festbrennstoffkessel		
– Kohle	40 °C	60 °C
– Stroh/Holz	60 °C	75 °C
Standard-Niedertemperatur- Kessel mit Abgas- / Wasser- Wärmeübertrager	35 - 60 °C	40 - 75 °C

Quelle: VDMA24199

3.2 Hydraulik und Regelung einer Einkesselanlage (1):

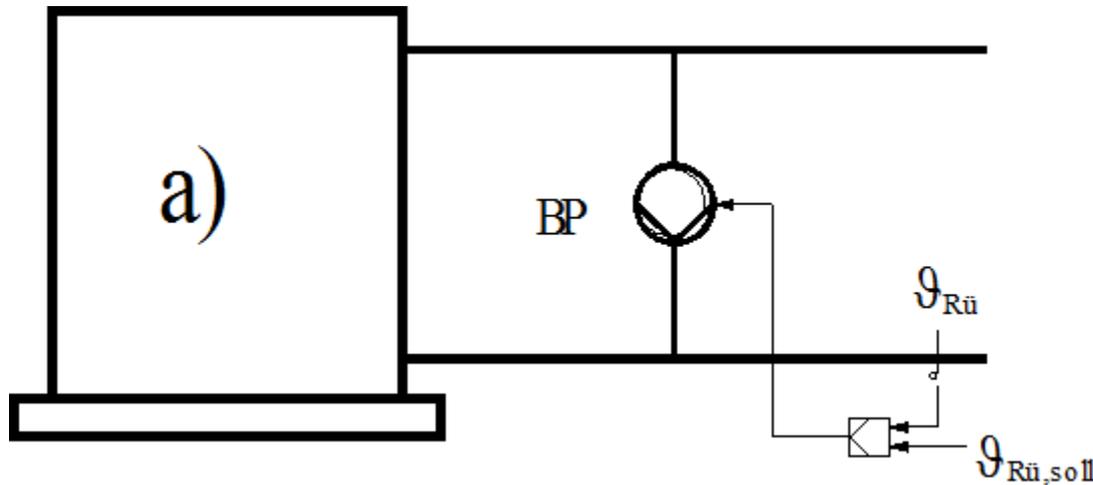
Kesseltemperaturregelkreis

Vorlauftemperaturregelkreis



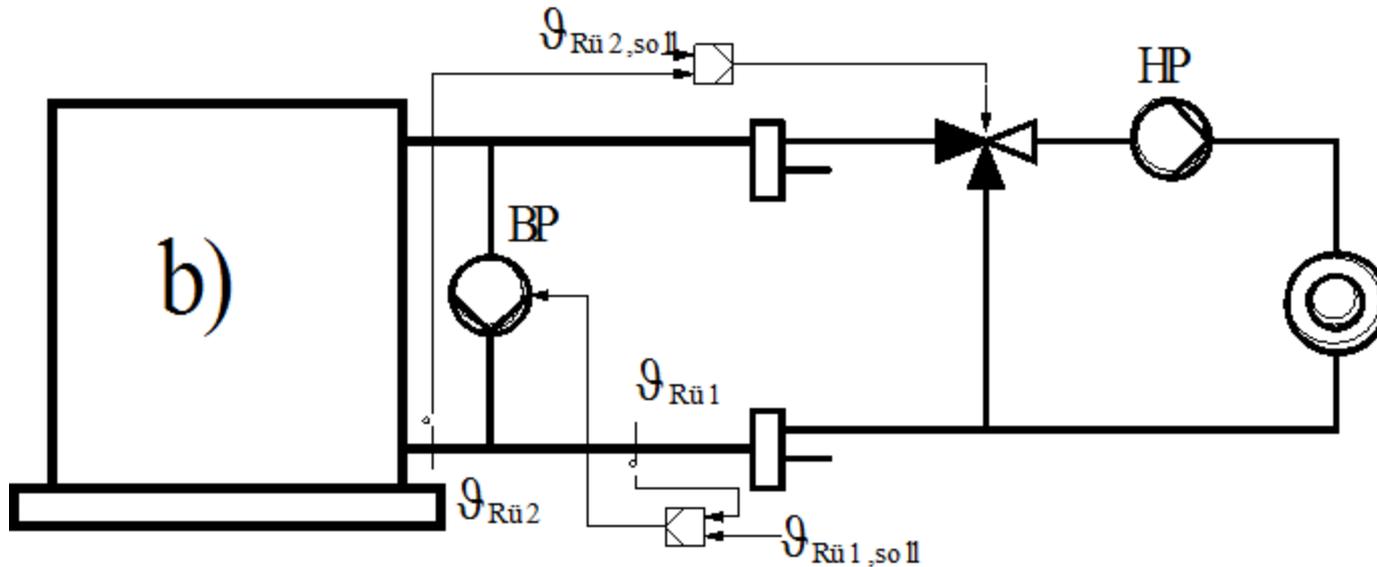
Regelkreise in einer Heizungsanlage

3.2 Hydraulische Einbindung eines Kessels (a):



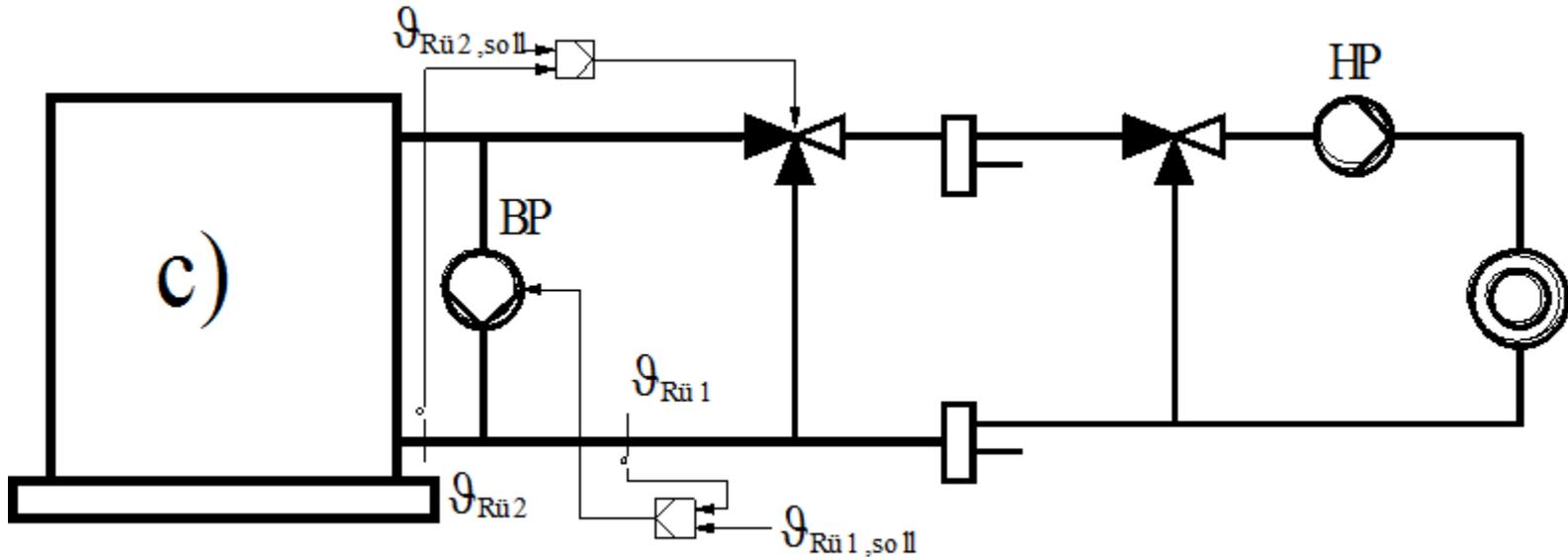
Kesselbeimischschaltung

3.2 Hydraulische Einbindung eines Kessels (b):



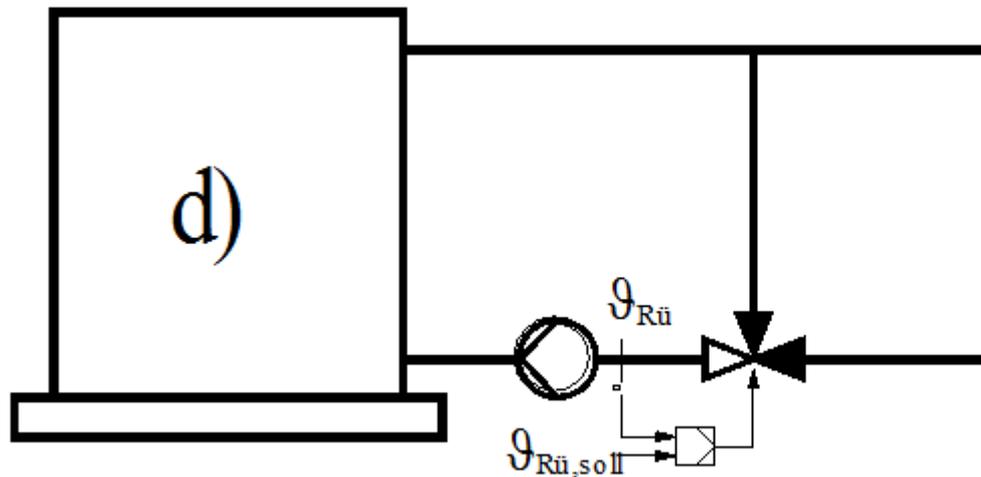
Anhebung der Rücklauftemperatur mit Zugriff
auf die Heizgruppenventile bei Einsatz eines druckbehafteten Verteilers

3.2 Hydraulische Einbindung eines Kessels (c):



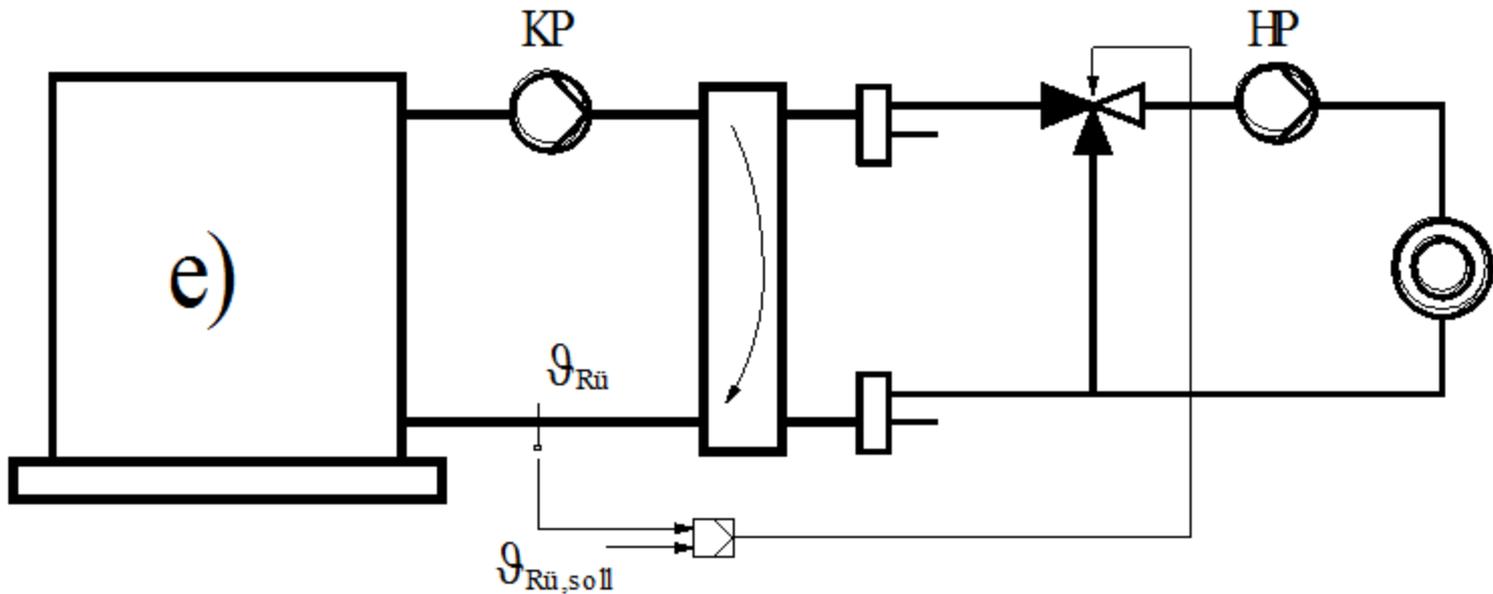
Kesselbeimischschaltung mit Drei-Wege-Ventil (Anheizsperre)

3.2 Hydraulische Einbindung eines Kessels (d):



Anhebung über ein Drei-Wege-Mischventil

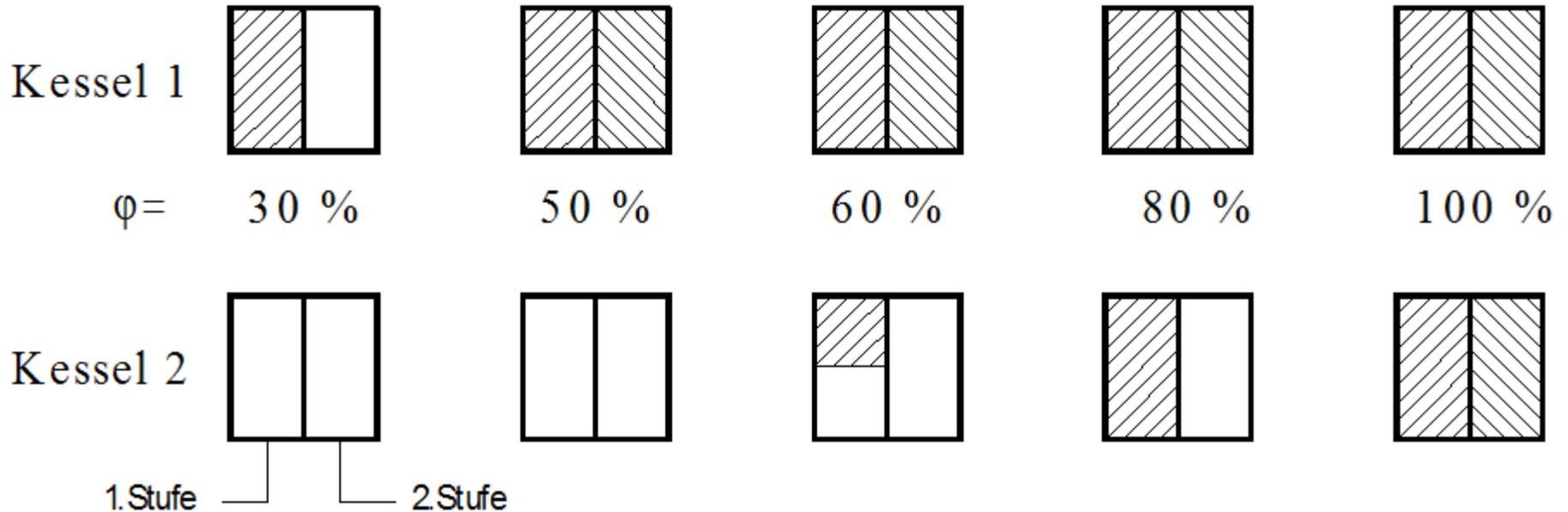
3.2 Hydraulische Einbindung eines Kessels (e):



Anhebung der Rücklauf­temperatur mit Zugriff auf die Heizgruppenventile bei Einsatz einer hydraulischen Weiche

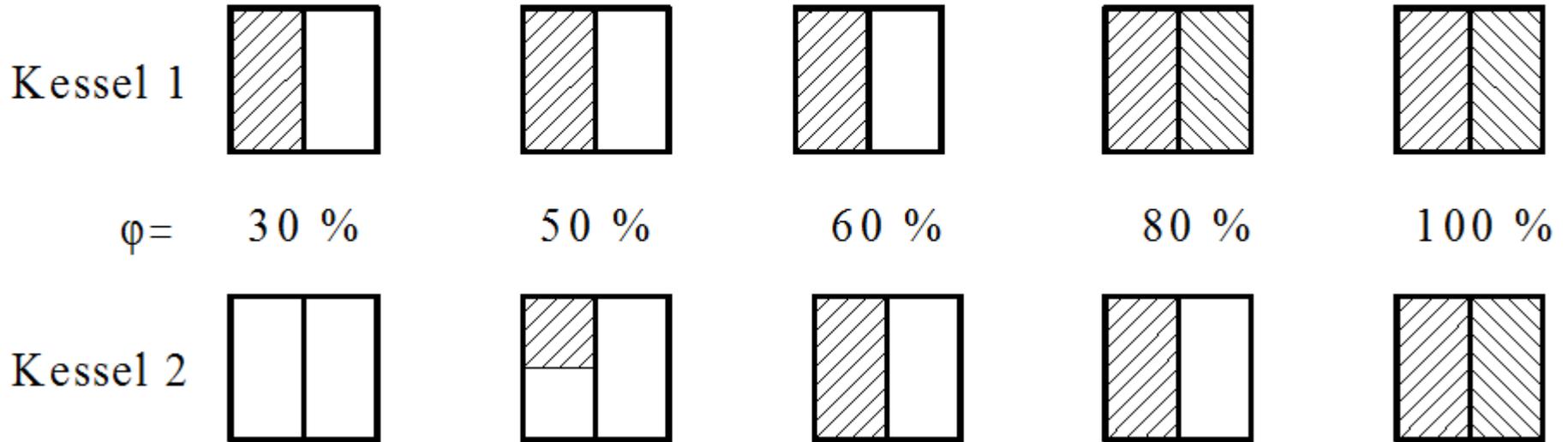
3.3 Kesselfolgeschaltung (a):

a) Sequenzbetrieb



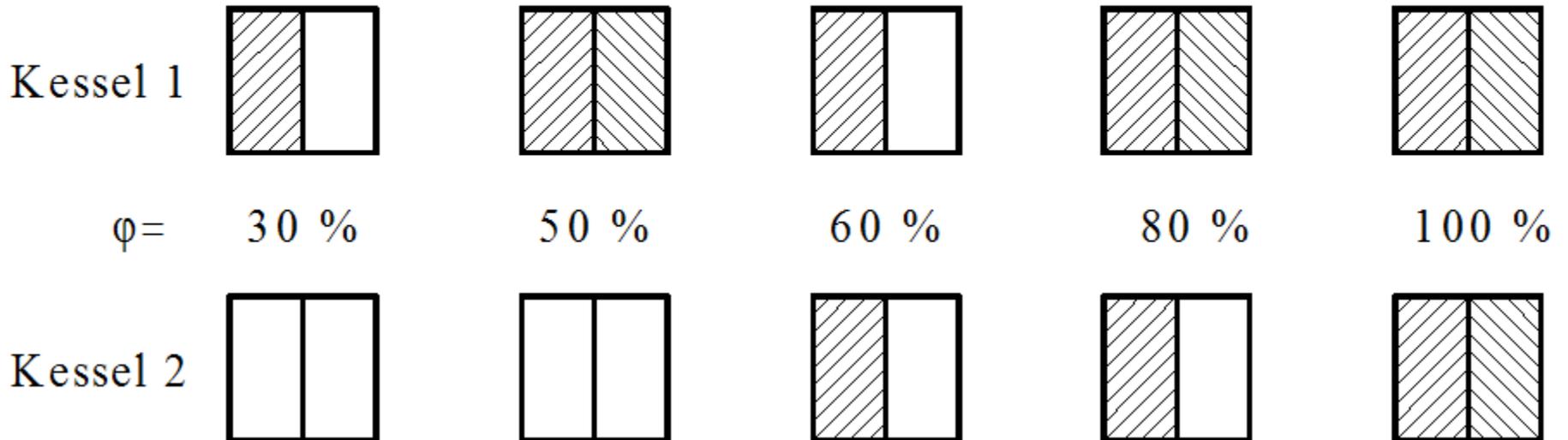
3.3 Kesselfolgeschaltung (b):

b) Parallelbetrieb



3.3 Kesselfolgeschaltung (c):

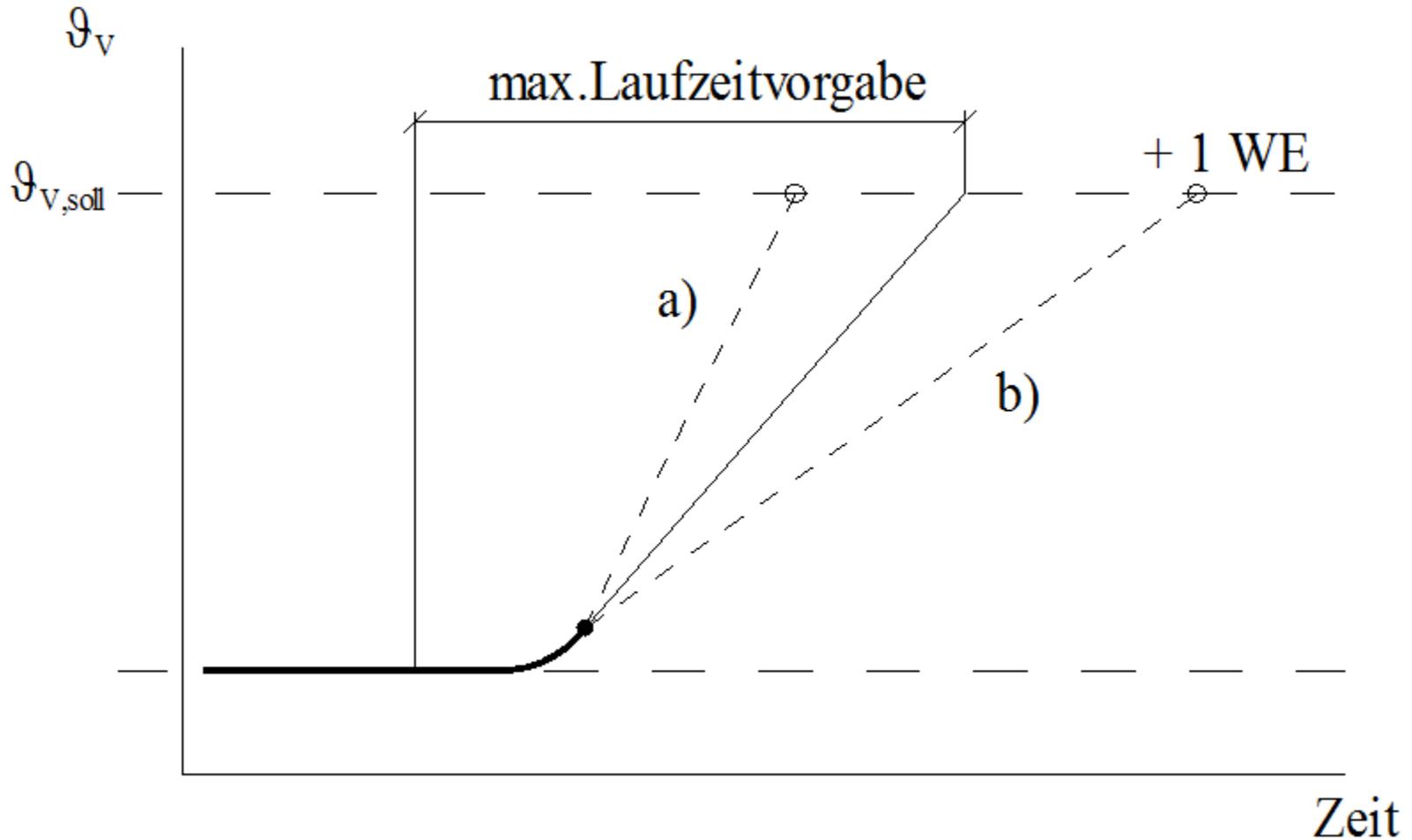
c) Paralleler Folgebetrieb



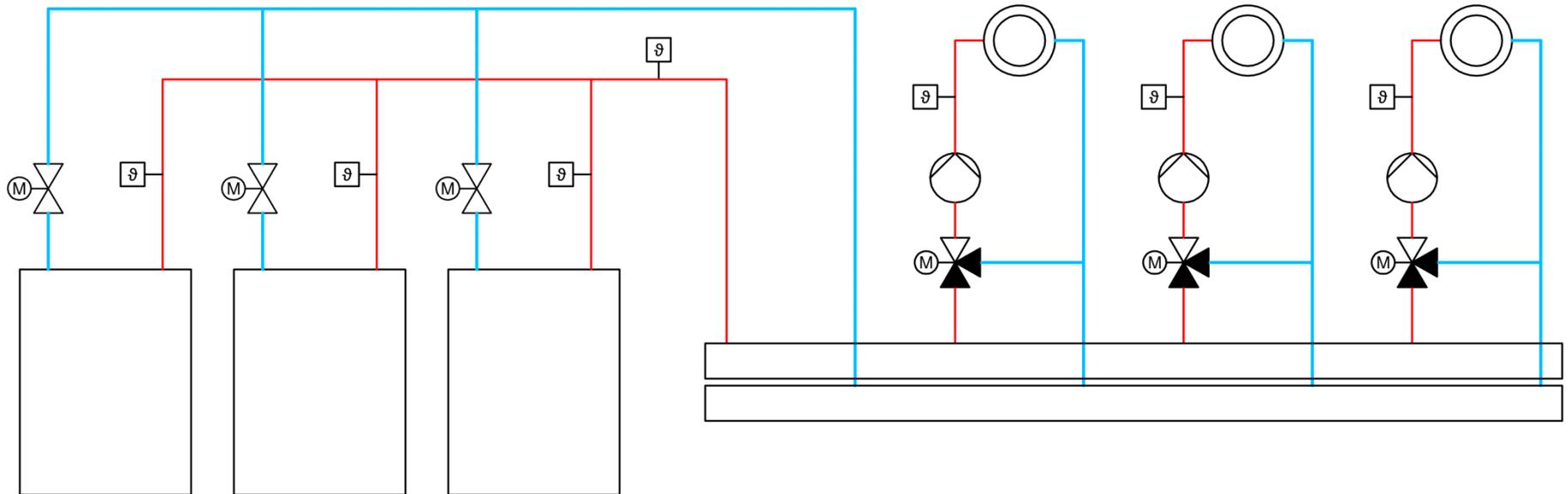
3.3 Zu- und Abschaltbedingungen für einen weiteren Kessel oder eine zusätzlichen Brennerstufe:

- Abweichung der Vorlauftemperatur vom Sollwert
- Freigabe ab einer bestimmten Außentemperatur
- Gradientenverfahren
- Mindestrücklauftemperatur
- Vorgabe von Mindestbrennerlauf- und Stillstandszeiten
- Leistungsberechnung
- Differenzdruckregelung

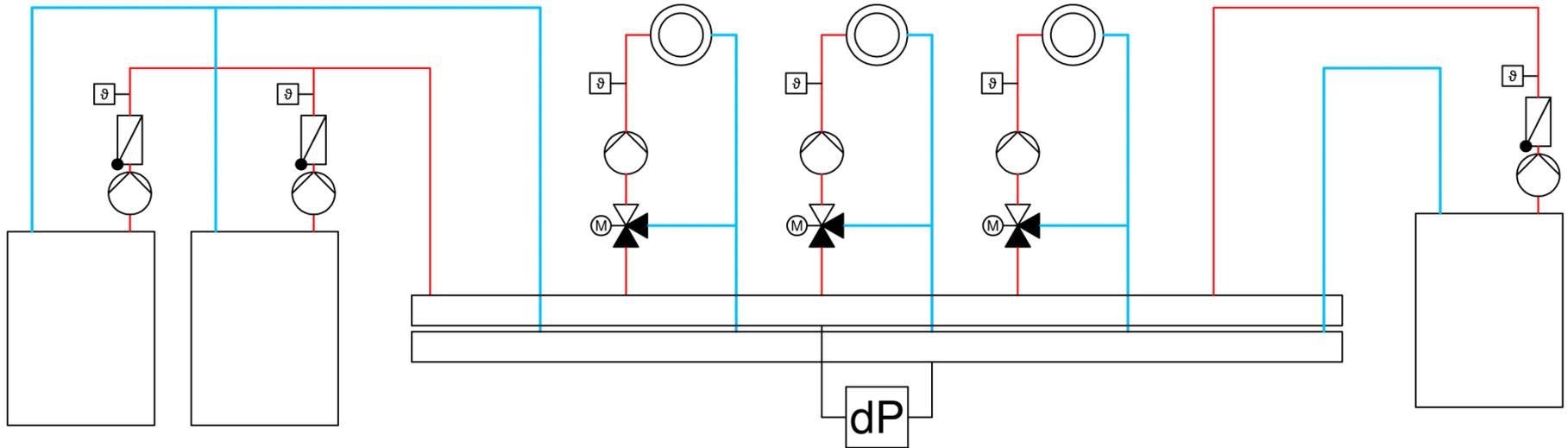
3.3 Gradientenverfahren:



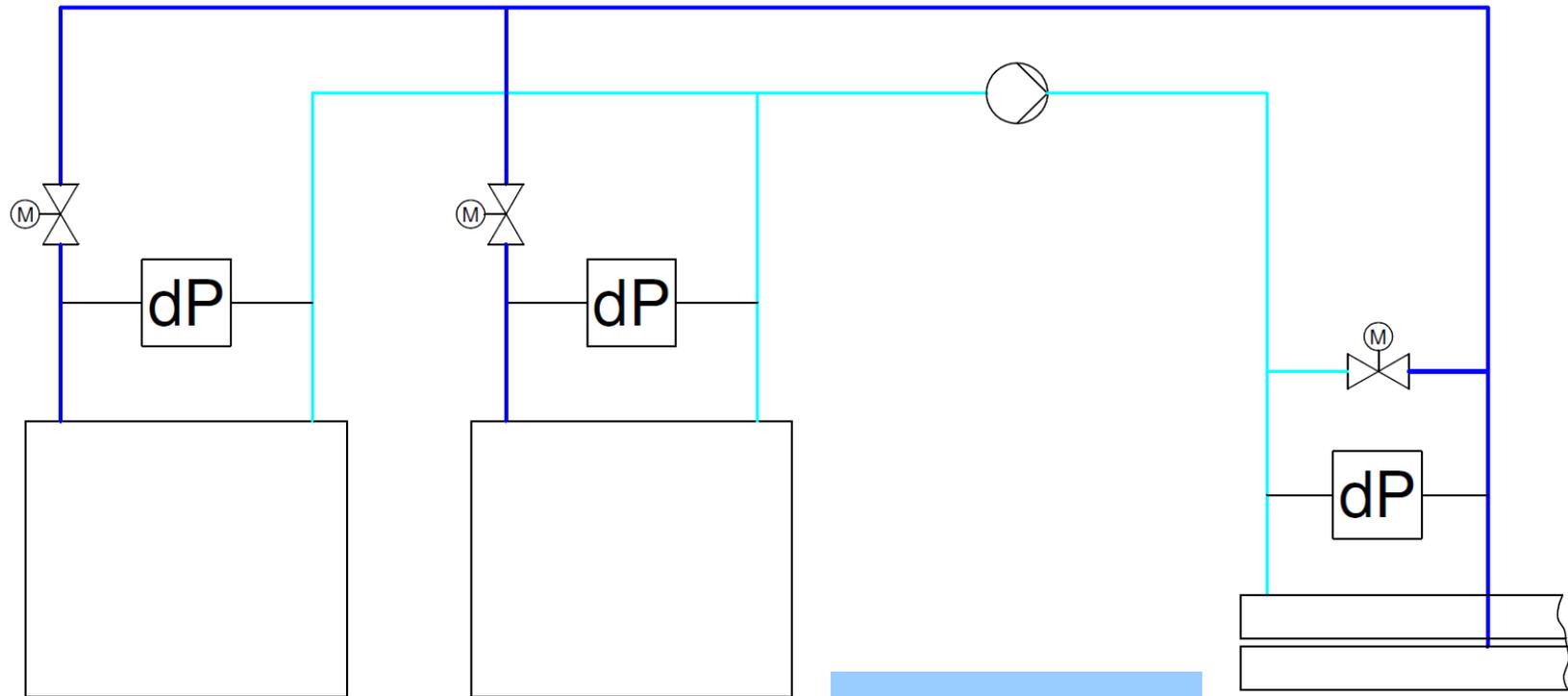
3.4 Hydraulische Einbindung Kesselfolgeregelung nach Temperatur:



3.4 Hydraulische Einbindung Kesselfolgeregelung nach Differenzdruck:



3.4 Einbindung Energieerzeuger mit Mindestvolumenstrom am Beispiel einer Kältemaschine



$$\Delta p = C \cdot V^2$$

Kombination BHKW-Brennwertkessel **Variante 1 – Einbindung als Rücklaufanhebung**

Vorgaben:

- Leistung Kesselanlage: 90 kW
- Vollbenutzungsstunden: 2.000 h/a (ohne BHKW)
- Deckung Energiebedarf BHKW: 50%
- Sauerstoffgehalt Abgas: 3%
- Rücklauftemperatur bei RLA-BHKW: 70°C
- Abgastemperatur Kessel: 85°C
- Ansaugtemperatur Verbrennungsluft: 20°C
- Brennwertnutzen: ?

Kombination BHKW-Brennwertkessel Variante 2 – Einbindung Parallel zum Kessel

Vorgaben:

- Leistung Kesselanlage: 90 kW
 - Vollbenutzungsstunden: 2.000 h/a (ohne BHKW)
 - Deckung Energiebedarf BHKW: 50%
 - Sauerstoffgehalt Abgas: 3%
 - Rücklauftemperatur bei Parallelschaltung Erzeuger: 35°C
 - Abgastemperatur Kessel: 45°C
 - Ansaugtemperatur Verbrennungsluft: 20°C
 - Brennwertnutzen: 5%
- (konservativ für teilweise höhere Rücklauftemperaturen!!!)

Berechnung Abgasverluste nach Siegert

$$q_A = (\theta_A - \theta_L) * (A_2 / (21 - O_2) + B)$$

θ_A = Abgastemperatur

θ_L = Lufttemperatur

A_2 = Brennstoffparameter nach Siegert für Erdgas

O_2 = Sauerstoffgehalt im Abgas

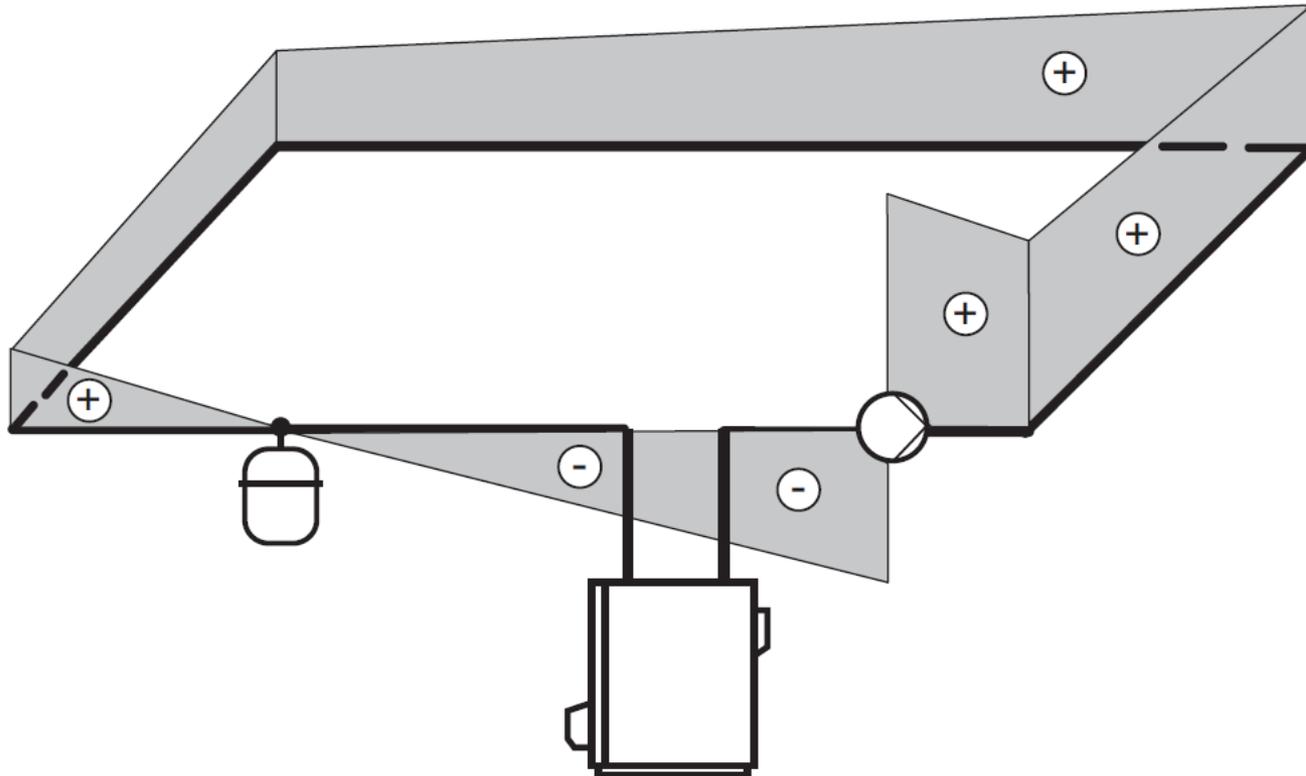
B = Brennstoffparameter nach Siegert für Erdgas

Übersicht Ergebnisse

Stoffwerte	Erdgas		
A2	0,66		
B	0,09		
Sauerstoffgehalt Abgas:	3,00		
	Version 1	Version 2	
Rücklauftemperatur	70,0	35,0	°C
Abgastemperatur	85,0	45,0	°C
Raumtemperatur	20,0	20,0	°C
Abgasverlust:	8,23	3,17	%
Kesselleistung	90	kW	
Vollbenutzungsstunden	1000	h/a	
Bereitschaftsstunden	6000	h/a	
Jahresstunden:	8760	h/a	
Stillstandsverlust:	0,50	%	
Verlustleistung:	0,45	kW	
Brennwerteffekt	5,00	%	
Abgasverluste:	7.410	2.850	kWh
Stillstandsverluste:	3.942	2.700	kWh
Verlust Brennwert:	4.500		kWh
Summe:	15.852	5.550	kWh
Differenz Verluste:	10.302	kWh/a	
Gaspreis:	0,07	€/kWh	
Mehrkosten Betrieb:	721,14	€/a	

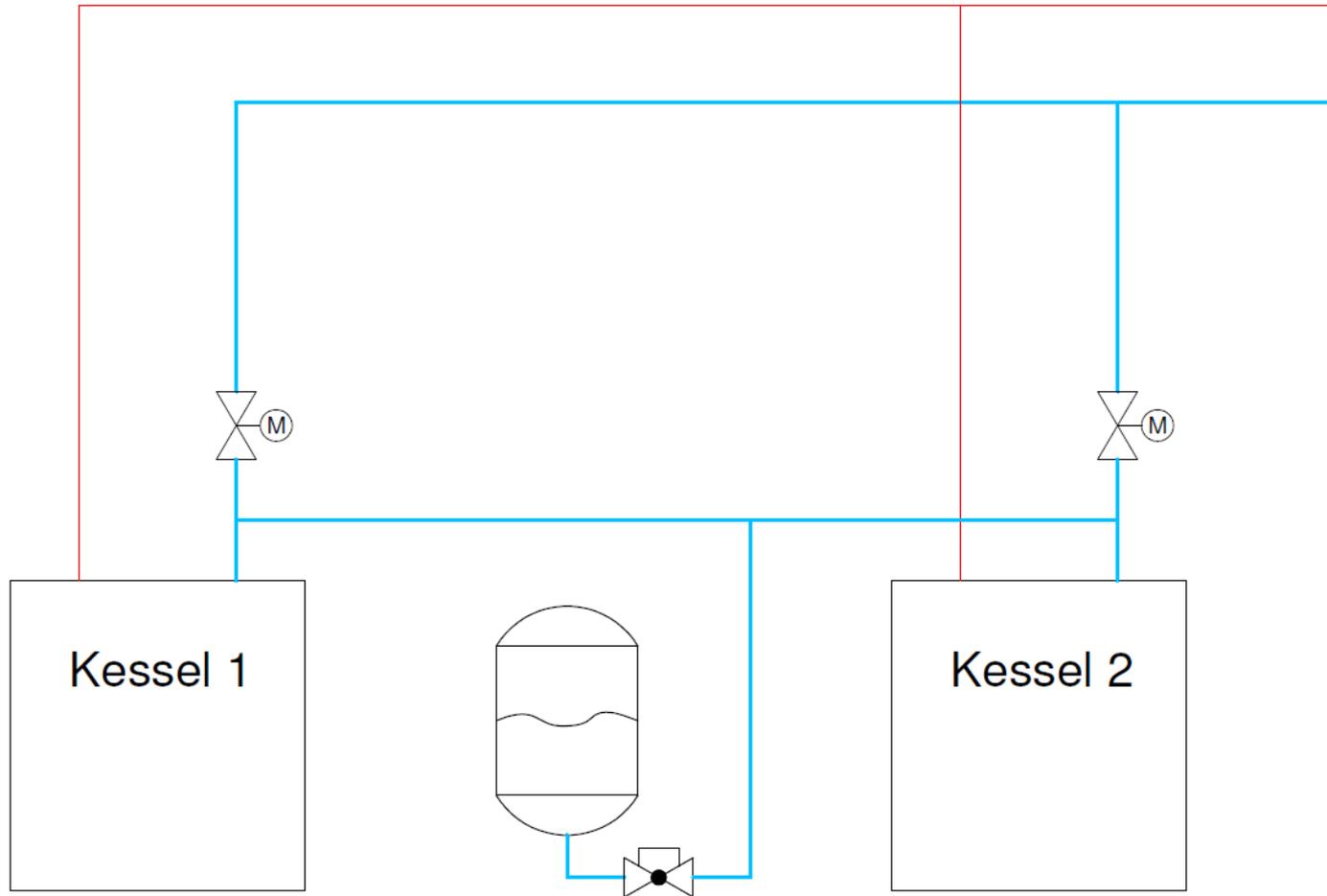
4. Druckverlauf, Druckhaltung und Kavitation

4.1 Druckverlauf in Heizungsanlagen:

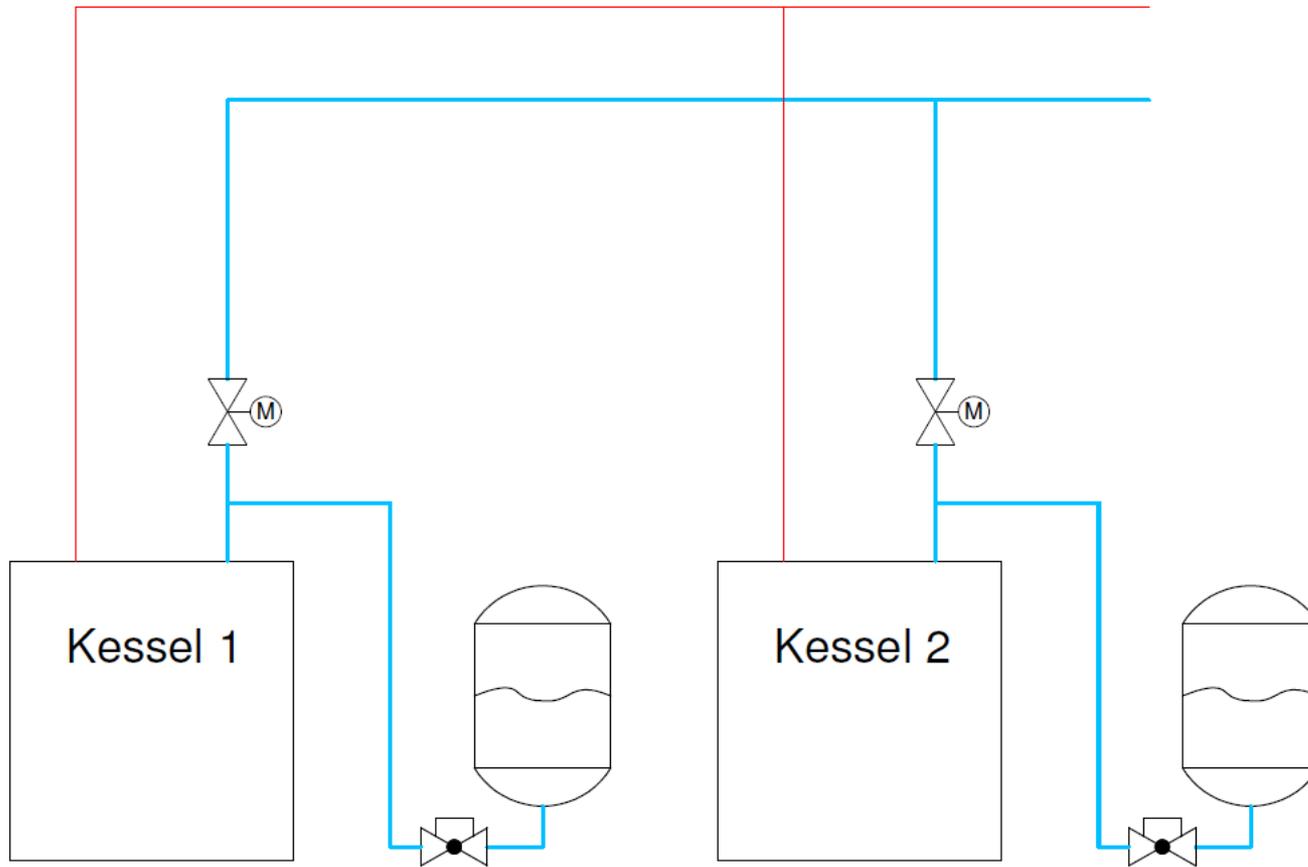


Quelle: VDMA24199

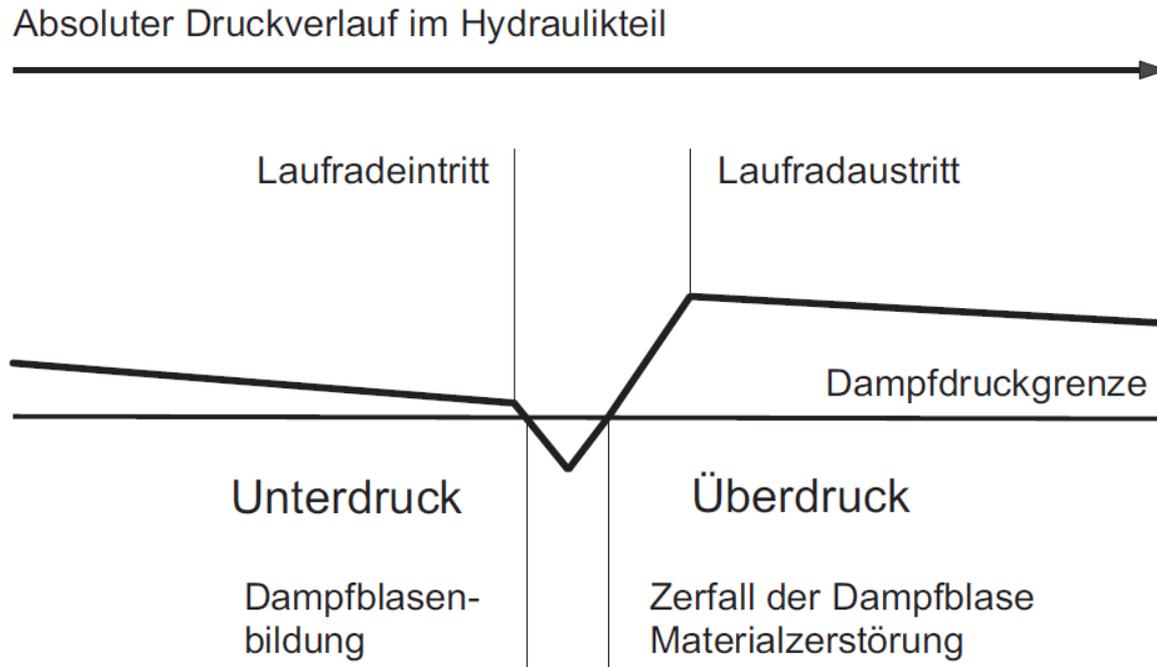
4.2 Absicherung Mehrkesselanlagen:



4.2 Absicherung Mehrkesselanlagen:

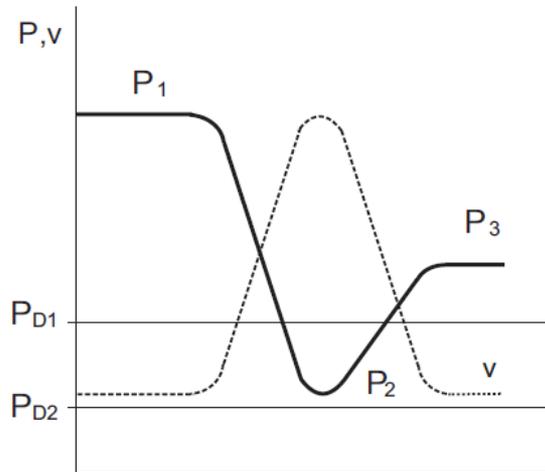
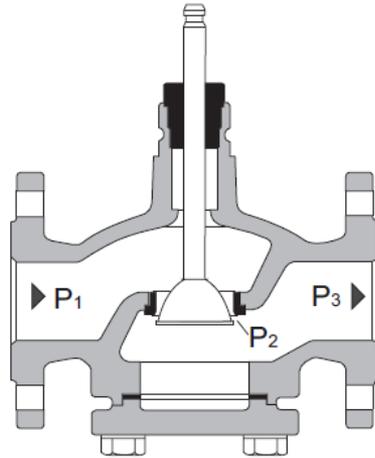


4.3 Druckverlauf in Umwälzpumpen:



Quelle: VDMA24199

4.4 Druckverlauf in Regelventilen:



- Druckverlauf P
- - - - - Geschwindigkeitsverlauf v
- P_{D1} Dampfdruck bei hoher Temperatur (mit Kavitation)
- P_{D2} Dampfdruck bei niedriger Temperatur (ohne Kavitation)
- P_1 statischer Druck im Eintritt
- P_2 statischer Druck im engsten Querschnitt
- P_3 statischer Druck im Austritt

Quelle: VDMA24199