

Inhalt	Seite
Ventilberechnung bei Flüssigkeiten	2
Ventilberechnung bei Wasserdampf	5
Ventilberechnung bei Gas und Dampf	7
Ventilberechnung bei Luft	9
Durchfluss durch Rohrleitungen	11

Allgemeines

Mit diesem Arbeitsblatt ist eine vereinfachte Ventilerrechnung bei üblichen Betriebsverhältnissen möglich.

Die SAMSON-Typenblätter für Regler ohne Hilfsenergie und für Stellventile enthalten die dazu erforderlichen Angaben über die Nennweite, die Nenndrücke und die K_{VS} -Werte.

Die genaue Berechnung von Reglern ohne Hilfsenergie und Stellventilen erfolgt nach DIN IEC 534. In den meisten Anwendungsfällen haben die nachstehenden Formeln nach VDI/VDE-Richtlinie 2173 eine ausreichende Genauigkeit.

Zur Berechnung der strömungstechnischen Ventilkenngröße " **K_V -Wert**" müssen die in nebenstehender Abbildung aufgeführten Betriebsdaten bekannt sein.

Typische Kenngrößen

Erläuterungen

Stellventile und Regler ohne Hilfsenergie

Nennhub · Für jede Baureihe von Stellventilen wird ein Nennhub H_{100} angegeben, bei dem das Ventil als voll geöffnet zu betrachten ist.

K_V -Wert · Unter dem K_V -Wert versteht man den Durchfluss \dot{V} (Volumenstrom) in m^3/h von Wasser bei 5 bis 30 °C, der bei einem Druckverlust $\Delta p = p_1 - p_2 = 1$ bar durch das Stellventil bei dem jeweiligen Hub H hindurchgeht.

K_{VS} -Wert · Für die Kennzeichnung von Ventiltypen (Bauserien) wird ein Wert K_{VS} angegeben, der den vorgesehenen K_V -Wert beim Nennhub H_{100} des Ventils darstellt.

K_{V100} -Wert · Der K_V -Wert des Ventils beim Nennhub H_{100} wird K_{V100} genannt. Er darf nicht mehr als $\pm 10\%$ von dem angegebenen K_{VS} -Wert abweichen.

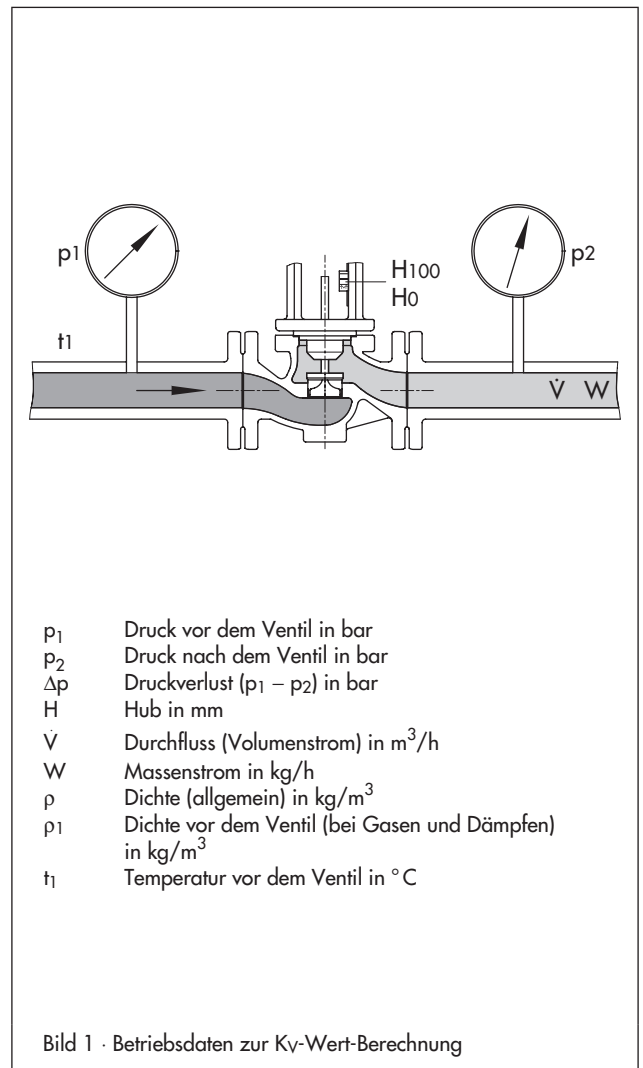
Regler ohne Hilfsenergie

Für Volumenstromregler ohne Hilfsenergie ist eine Berechnung nur bei konstantem Vordruck p_1 möglich.

$$\text{Sicherheitsfaktor } S = \frac{K_{VS}}{K_V} \quad \begin{array}{ll} K_{VS} & \text{K}_{VS}\text{-Wert Ventil} \\ K_V & \text{K}_V\text{-Wert errechnet} \end{array}$$

Bei Reglern ohne Hilfsenergie: $S \approx 1,3$ bis 5

Für den sicheren Betrieb eines Reglers ohne Hilfsenergie darf die **kinematische Zähigkeit** ν der zu regelnden Medien $1 \cdot 10^{-4} m^2/s = 100$ cSt nicht übersteigen.



Umrechnung des max. Volumenstromes bei Flüssigkeiten unterschiedlicher Dichte

$$\dot{V}_B = \dot{V}_A \cdot \left(\sqrt{\frac{\rho_A}{\rho_B}} \right) \quad \begin{array}{ll} \rho & \text{Dichte in } kg/m^3 \\ \dot{V} & \text{Durchfluss (Volumenstrom) in } m^3/h \end{array}$$

Flüssigkeiten

Für Flüssigkeiten gilt allgemein die Gleichung (1):

$$\dot{V} = K_V \cdot \sqrt{\frac{1000 \cdot \Delta p}{\rho}} \quad (1)$$

Diese Gleichung enthält einen dimensionsbehafteten Faktor 1

Aus dem Diagramm 1 ist für Flüssigkeiten mit der Dichte $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ und $t = 20^\circ\text{C}$ der Zusammenhang von \dot{V} , K_V und Δp abzulesen.

Volumenstromregler · Differenzdruck über dem Ventil

Der mindestens erforderliche Differenzdruck über dem Ventil errechnet sich aus Gleichung (2):

$$\Delta p_{\min} = \Delta p_{\text{Wirk}} + \left(\frac{\dot{V}}{K_{VS}} \right)^2 \quad (2)$$

Größen und Einheiten

p_1	}	Absolutdruck
p_2		in bar
Δp		in bar
ρ		Dichte in kg/m^3
\dot{V}		Volumenstrom (Durchfluss) in m^3/h
K_V		K_V -Wert in m^3/h
Δp_{\min}		Mindest-Differenzdruck über dem Ventil in bar
Δp_{Wirk}		Wirkdruck in bar; speziell für die Volumenstrommessung erzeugter Druckabfall an der Drosselstelle
K_{VS}		Durchflusskennwert des Ventils in m^3/h

Beispiel 1

Gesucht: Mindestdifferenzdruck Δp bei voll geöffnetem Ventil

Gegeben: Volumenstromregler ohne Hilfsenergie Typ 42-36
Wirkdruck 0,2 bar · DN 40 · $K_{VS} 20$ · Durchfluss

Lösung: Berechnung nach Gleichung (2):

$$\Delta p_{\min} = \Delta p_{\text{Wirk}} + \left(\frac{\dot{V}}{K_{VS}} \right)^2 \quad (2)$$

$\Delta p_{\text{Wirk}} = 0,2$ bis $0,5$ bar; je nach Reglerausführung

$$K_{VS} = 20 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Delta p_{\text{Wirk}} = 0,2 \text{ bar}$$

$$\dot{V} = 10 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Delta p_{\min} = 0,2 + \left(\frac{10}{20} \right)^2 = 0,45 \text{ bar}$$

Beispiel 2

Gesucht: Durchfluss (Volumenstrom) von Aceton (m^3/h) bei voll geöffnetem Ventil

Gegeben: Pneumatisches Stellventil Typ 241-1 · DN 40
Druckverlust $\Delta p = p_1 - p_2$ · Dichte in kg/m^3 für Aceton

Lösung: Berechnung nach Gleichung (1):

$$\dot{V} = K_V \cdot \sqrt{\frac{1000 \cdot \Delta p}{\rho}} \quad (1)$$

$$K_{VS} = 25 \text{ m}^3/\text{h}^{1)}$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 0,5 \text{ bar}$$

$$\rho = 800 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{V} = 25 \cdot \sqrt{\frac{1000 \cdot 0,5}{800}} = 19,76 \text{ m}^3/\text{h}$$

1) Der K_{VS} -Wert hat eine zul. Toleranz von $\pm 10\%$ und damit auch der errechnete Volumenstrom \dot{V} .

Beispiel 3

Gesucht: Druckminderer Typ ..., K_{VS} -Wert und Ventiltinnenweite

Gegeben: Wasserdurchfluss (Volumenstrom) · Druckverlust Δp
Dichte ρ in kg/m^3 für Wasser

Lösung: Berechnung des K_V -Wertes nach der aus Gleichung (1) abgeleiteten Gleichung (3):

$$K_V = \dot{V} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{1000 \cdot \Delta p}} \quad (3)$$

Nach dem berechneten K_V -Wert ist der K_{VS} -Wert des Ventils auszuwählen. Allgemein gilt: $K_{VS} \approx 1,3 \cdot K_V$
Lösung nach Diagramm 1:

Für $\Delta p = 2,1$ bar und $\dot{V} = 12 \text{ m}^3/\text{h}$ wird aus Diagramm 1 der Wert $K_V \approx 8,2 \text{ m}^3/\text{h}$ abgelesen.
Strömungsgeschwindigkeit im Rohr:

Aus Diagramm 4 (Seite 11) ist für $\dot{V} = 12 \text{ m}^3/\text{h}$ und DN 40 ablesbar: $w_{\text{Rohr}} \approx 2,8 \text{ m/s}$

$$\dot{V} = 12 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 2,1 \text{ bar}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

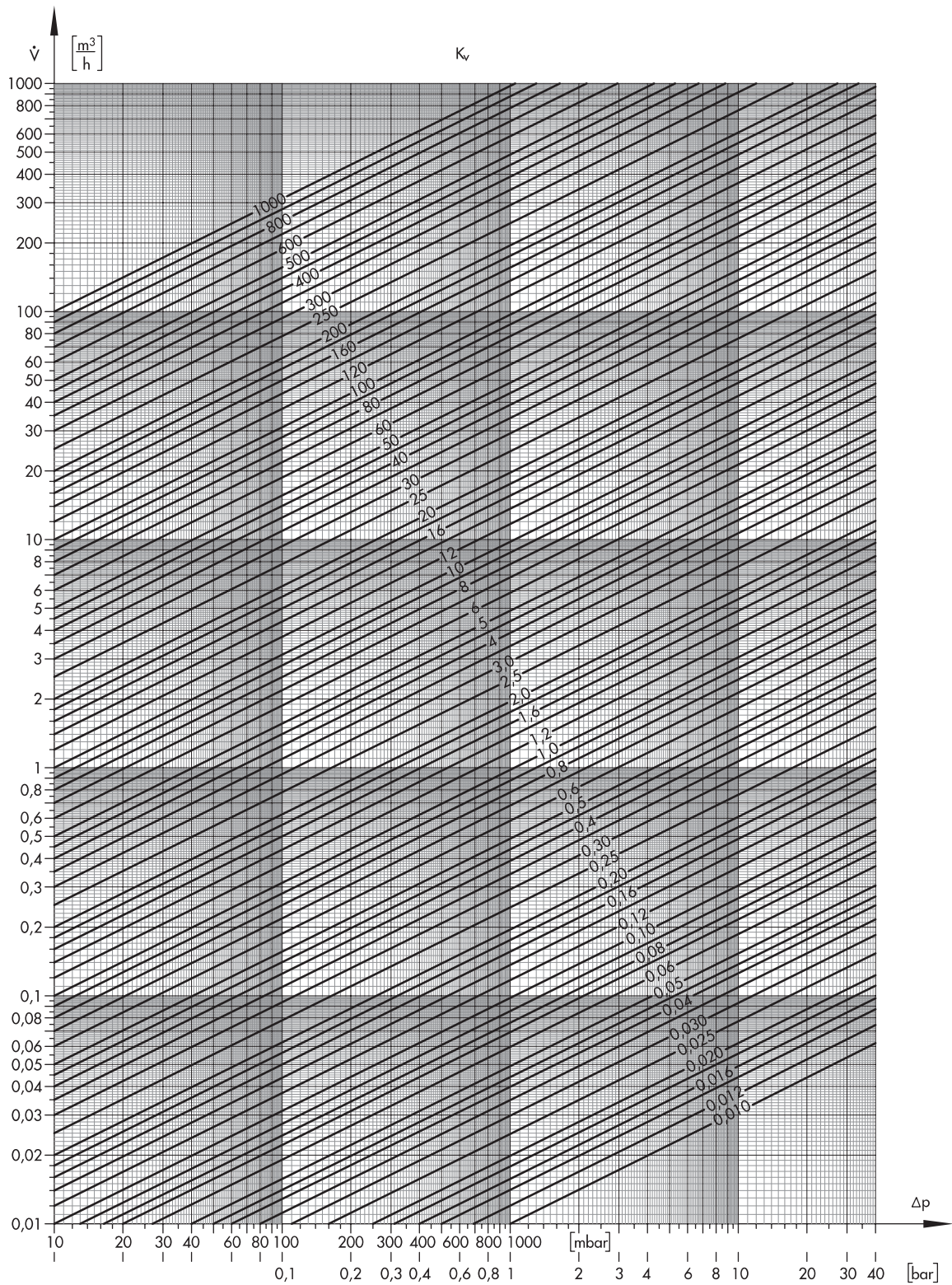
$$K_V = 12 \cdot \sqrt{\frac{1000}{1000 \cdot 2,1}} = 8,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$K_{VS} = 1,3 \cdot K_V = 1,3 \cdot 8,2 = 10,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

Gewählt: Typ 41-23, DN 40, $K_{VS} = 20$

Ermittlung des Sicherheitsfaktors:

$$S = \frac{K_{VS}}{K_V} = \frac{20}{8,2} \approx 2,4$$



\dot{V} in m³/h

K_v in m³/h

Δp in bar

$$\dot{V} = K_v \cdot \sqrt{\frac{1000 \cdot \Delta p}{\rho}}$$

Diagramm 1 · Durchfluss-(Volumenstrom-) Diagramm für Wasser $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $t = 20^\circ\text{C}$

Beispiel 4

Gesucht: Druckverlust $\Delta p = p_1 - p_2$ bei voll geöffnetem Ventil
Gegeben: Temperaturregler ohne Hilfsenergie Typ 4 · DN 50
Durchfluss \dot{V} (Volumenstrom) von Wasser
Dichte ρ in kg/m³ für Wasser

$K_{VS} = 32 \text{ m}^3/\text{h}$
 $\dot{V} = 10 \text{ m}^3/\text{h}$
 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

Lösung: Berechnung des Druckverlustes nach der aus Gleichung (1) abgeleiteten Gleichung (4):

$$\Delta p = \left(\frac{10}{32}\right)^2 \cdot \frac{1000}{1000} = \mathbf{0,1 \text{ bar}}$$

$$\Delta p = \left(\frac{\dot{V}}{K_{VS}}\right)^2 \cdot \frac{\rho}{1000} \quad (4)$$

Lösung nach Diagramm 1:

Für $\dot{V} = 10 \text{ m}^3/\text{h}$ und $K_{VS} 32$ wird aus Diagramm 1 der Druckverlust $\Delta p \approx 0,1 \text{ bar}$ abgelesen.

Wasserdampf

Bei Wasserdampf kommt die Gleichung (8) in abgeänderter Form zur Anwendung:

$$W = K_V \cdot m \cdot Z \quad (5)$$

Realgasfaktor Z $14,2 \cdot \sqrt{p_1 \cdot \rho_1}$ sind zum dimensionslosen Faktor Z zusammengefasst. Z wird entsprechend dem Vordruck p_1 aus der Tabelle 2 abgelesen. Dabei ist zwischen Satt-dampf und überhitztem Dampf zu unterscheiden.

Druckverlustkoeffizient m Der dimensionslose Faktor m wird der Tabelle 1 oder für Zwischenwerte aus dem Diagramm 2 entsprechend $\chi = 1,135$ entnommen.

Größen und Einheiten

p_1	} Absolutdruck
p_2	
Δp	Druckdifferenz in bar
W	Massenstrom in kg/h
K_V	K_V -Wert in m^3/h
m	Druckverlustkoeffizient, dimensionslos
Z	Realgasfaktor, dimensionslos

Beispiel 5

Gesucht: Dampfdurchfluss in kg/h bei voll geöffnetem Ventil

Gegeben: Elektrisches Stellventil Typ 241-2
Dampf Temperatur · Druck vor und hinter dem Ventil

Lösung: Bilde $\frac{p_2}{p_1}$ (ggf. in Absolutdruck umformen)

Suche m aus Tabelle 1 oder Diagramm 2

Suche entsprechend Druck und Temperatur vor dem Ventil den Wert Z aus Tabelle 2

$$W = K_{VS} \cdot m \cdot Z \quad (5)$$

$$K_{VS} = 35 \text{ m}^3/\text{h}^{1)}$$

$$t = 200 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_1 = 4 \text{ bar} \quad p_2 = 3 \text{ bar}$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{3}{4} = 0,75$$

$$m = 0,92$$

$$Z = 38,5$$

$$W = 35 \cdot 0,92 \cdot 38,5 = 1240 \text{ kg/h}$$

1) Der K_{VS} -Wert hat eine Toleranz von $\pm 10\%$ und damit auch der errechnete Dampfdurchfluss W .

Beispiel 6

Gesucht: Druckminderer Typ ..., K_{VS} -Wert und Ventilkennweite

Gegeben: Dampfdurchfluss · Dampf Temperaturen
Druck vor und hinter dem Ventil

Lösung: Bilde $\frac{p_2}{p_1}$ (ggf. in Absolutdruck umformen)

Suche m aus Tabelle 1 · Suche entsprechend Druck und Temperatur vor dem Ventil den Wert Z aus der Tabelle 2
Berechne K_V nach folgender Gleichung (6):

$$K_V = \frac{W}{Z \cdot m} \quad (6)$$

Nach dem berechneten K_V -Wert den K_{VS} -Wert des Ventils ermitteln. Allgemein gilt: $K_{VS} \approx 1,3 \cdot K_V$

$$W = 1000 \text{ kg/h}$$

$$t = \text{entsprechend Sattdampf}$$

$$p_1 = 7 \text{ bar} \quad p_2 = 2 \text{ bar}$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{2}{7} = 0,286$$

$$m = 1$$

$$Z = 71,3$$

$$K_V = \frac{1000}{71,3 \cdot 1} = 14 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$K_{VS} = 1,3 \cdot K_V = 1,3 \cdot 14 = 17,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Gewählt: Typ 39-2, DN 40, $K_{VS} = 20$

Beispiel 7

Gesucht: Druckverlust $\Delta p = p_1 - p_2$ bei voll geöffnetem Ventil

Gegeben: Temperaturregler ohne Hilfsenergie Typ 4
Dampfdurchfluss · Dampf Temperatur · Druck vor dem Ventil

Lösung: Entsprechend Druck und Temperatur vor dem Ventil den Wert Z aus Tabelle 2 wählen

$$m = \frac{W}{Z \cdot K_{VS}} \quad (7)$$

Suche aus Diagramm 2 für $m = 0,701$ das Verhältnis $\frac{p_2}{p_1}$

$$p_2 = 0,884 \cdot p_1 \Rightarrow \text{Druckverlust } \Delta p = p_1 - p_2$$

$$K_{VS} = 20 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$W = 1000 \text{ kg/h}$$

$$t = \text{entsprechend Sattdampf}$$

$$p_1 = 7 \text{ bar}$$

$$Z = 71,3$$

$$m = \frac{1000}{71,3 \cdot 20} = 0,701$$

$$\frac{p_2}{p_1} = 0,884$$

$$p_2 = 0,884 \cdot 7 = 6,2 \text{ bar}$$

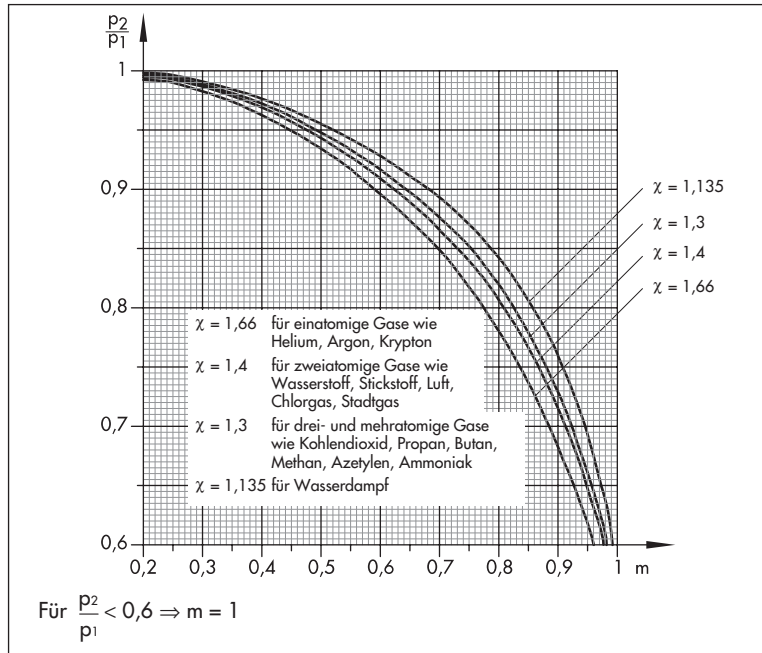
$$\Delta p = p_1 - p_2 = 7 - 6,2 = 0,8 \text{ bar}$$

Tabelle 1 · Druckverlustkoeffizient m in Abhängigkeit von p_2/p_1

Druckverhältnis p_2/p_1	0 bis 0,6	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	0,99
Druckverlustkoeffizient m	1,0	0,96	0,92	0,86	0,77	0,66	0,48	0,22

Tabelle 2 · Realgasfaktor Z für Wasserdampf · Alle aufgeführten Drücke als Absolutdrücke in bar

Realgasfaktor Z für ...		überhitzten Dampf bei folgenden Temperaturen ...											
p_1 in bar	Satt- dampf	60° C	80° C	100° C	120° C	140° C	160° C	180° C	200° C	250° C	300° C	350° C	400° C
0,1	1,16	1,13	1,1	1,07	1,04	1,02	0,99	0,97	0,95	0,90	0,86	0,83	0,80
0,2	2,27	2,27	2,21	2,15	2,09	2,04	1,99	1,95	1,90	1,81	1,73	1,66	1,59
0,3	3,37		3,31	3,22	3,14	3,06	2,99	2,92	2,86	2,71	2,59	2,49	2,39
0,4	4,45		4,42	4,29	4,18	4,08	3,98	3,89	3,81	3,62	3,46	3,32	3,19
0,5	5,53			5,37	5,23	5,10	4,98	4,86	4,76	4,52	4,33	4,15	3,99
0,6	6,58			6,45	6,28	6,12	5,97	5,84	5,72	5,43	5,19	4,98	4,78
0,7	7,65			7,53	7,33	7,15	6,97	6,82	6,67	6,34	6,06	5,80	5,59
0,8	8,71			8,62	8,39	8,17	7,97	7,79	7,63	7,25	6,91	6,64	6,37
0,9	9,76			9,70	9,44	9,19	8,98	8,77	8,58	8,16	7,90	7,37	7,18
1,0	10,8			10,8	10,5	10,2	9,98	9,76	9,53	9,07	8,66	8,30	7,98
1,1	11,9				11,5	11,3	11,0	10,8	10,5	10,0	9,50	9,10	8,70
1,2	12,9				12,6	12,3	12,0	11,8	11,4	10,9	10,4	10,0	9,60
1,3	13,9				13,7	13,3	13,0	12,7	12,3	11,8	11,2	10,8	10,4
1,4	15,0				14,7	14,3	14,0	13,7	13,4	12,7	12,1	11,6	11,2
1,5	16,0				15,8	15,4	15,0	14,7	14,3	13,6	13,0	12,4	12,0
1,6	17,0				16,9	16,4	16,0	15,6	15,3	14,5	13,9	13,3	12,8
1,7	18,0				17,9	17,5	17,0	16,6	16,3	15,4	14,7	14,1	13,6
1,8	19,1				19,0	18,5	18,0	17,6	17,2	16,4	15,6	14,9	14,4
1,9	20,1				20,1	19,5	19,0	18,6	18,1	17,3	16,5	15,8	15,2
2,0	21,1				21,1	20,6	20,0	19,6	19,1	18,2	17,3	16,6	16,1
2,2	23,2					22,6	22,1	21,5	21,0	20,0	19,1	18,3	17,6
2,4	25,2					24,7	24,1	23,5	23,1	21,8	20,8	20,0	19,2
2,6	27,2					26,8	26,0	25,5	24,9	23,6	22,6	21,5	20,8
2,8	29,3					28,9	28,1	27,5	26,8	25,5	24,3	23,2	22,4
3,0	31,0					31,0	30,2	29,4	28,8	27,3	26,0	24,9	24,0
3,2	33,4					33,1	32,2	31,4	30,7	29,1	27,8	26,6	25,6
3,4	35,4					35,2	34,3	33,4	32,6	31,0	29,6	28,2	27,2
3,6	37,4					37,3	36,3	35,4	34,6	32,8	31,3	29,9	28,9
3,8	39,4						38,3	37,4	36,5	34,7	33,0	31,6	30,4
4,0	41,4						40,4	39,4	38,5	36,5	35,1	33,3	32,0
4,5	46,4						45,6	44,4	42,8	41,1	39,1	37,3	36,1
5,0	51,4						50,8	49,4	48,2	45,7	43,6	41,8	40,0
5,5	56,4						56,0	54,4	53,0	50,2	47,8	46,7	44,2
6,0	61,4						61,2	59,5	57,9	54,9	52,3	50,2	48,2
6,5	66,3							64,6	62,9	59,4	56,6	54,2	52,2
7,0	71,3							69,7	67,8	64,2	61,1	58,3	56,2
8,0	81,2							79,9	77,6	73,4	69,8	67,0	64,3
9,0	91,0							90,2	87,7	82,6	78,7	75,0	72,4
10,0	101							101	97,9	92,2	87,4	83,2	80,4
11,0	111								108	102	96,5	92,1	88,5
12,0	121								118	111	105	99,7	96,7
13,0	130								128	121	114	109	105
14,0	140								139	130	123	118	113
15,0	150								150	139	132	125	121
16,0	160									149	141	134	129
17,0	170									159	150	143	137
18,0	180									169	159	151	146
19,0	189									178	168	161	154
20,0	199									188	177	168	162
21,0	209									198	187	178	170
23,0	229									218	205	195	187
25,0	248									238	224	213	203
27,0	268									258	242	230	216
29,0	288									279	261	248	236
31,0	308									300	280	264	253
33,0	328									322	299	282	270
35,0	348									343	318	301	286
37,0	368									365	338	319	304
39,0	388									387	356	337	320
41,0	408										376	354	338



Größen und Einheiten

- p_1 } Absolutdruck
- p_2 } in bar
- Δp Druckdifferenz in bar
- W Massenstrom in kg/h
- K_V K_V -Wert in m^3/h
- ρ_1 Dichte in kg/m^3

Die Berechnungsmethode ist ein auf die Praxis abgestimmtes Näherungsverfahren.

$$W = 14,2 \cdot K_V \cdot m \cdot \sqrt{p_1 \cdot \rho_1} \quad (8)$$

Die Werte für m und ρ_1 werden den Diagrammen 2 und 3 entnommen.

Diagramm 2 · Druckverlustkoeffizient m in Abhängigkeit von $\frac{p_2}{p_1}$

Beispiel 8

Gesucht: Propangasdurchfluss W in kg/h bei voll geöffnetem Ventil
 Gegeben: Pneumat. Stellventil Typ 241-1, DN 50 · Druck vor und hinter dem Ventil
 Lösung: Suche Dichte ρ_1 vor dem Ventil aus Diagramm 3, bilde $\frac{p_2}{p_1}$. Suche m aus Diagramm 2 für das gegebene $\frac{p_2}{p_1}$ und $\chi = 1,3$

$K_{VS} = 35 \text{ m}^3/h$ ¹⁾
 $p_1 = 2,7 \text{ bar}$ $p_2 = 2,2 \text{ bar}$
 $\rho_1 = 5,28 \text{ kg/m}^3$
 $\frac{p_2}{p_1} = \frac{2,2}{2,7} = 0,815$
 $m = 0,805$
 $W = 14,2 \cdot 35 \cdot 0,805 \cdot \sqrt{2,7 \cdot 5,28} = 1511 \text{ kg/h}$

$$W = 14,2 \cdot K_{VS} \cdot m \cdot \sqrt{p_1 \cdot \rho_1} \quad (8)$$

¹⁾ Der K_{VS} -Wert hat eine Toleranz von $\pm 10\%$ und damit auch der errechnete Dampfdurchfluss W .

Beispiel 9

Gesucht: Druckminderer Typ ..., K_{VS} -Wert und Ventillinnenweite
 Gegeben: Stickstoffnetz · Durchfluss · Druck vor und hinter dem Ventil
 Lösung: Bilde $\frac{p_2}{p_1}$. Suche m aus Diagramm 2 ($\chi = 1,4$) · Suche ρ_1 für $p_1 = 5 \text{ bar}$ aus Diagramm 3

$p_1 = 5 \text{ bar}$ $p_2 = 3 \text{ bar}$
 $W = 250 \text{ kg/h}$
 $\frac{p_2}{p_1} = \frac{3}{5} = 0,6$
 $m = 0,99$
 $\rho_1 = 6,2 \text{ kg/m}^3$
 $K_V = \frac{250}{14,2 \cdot 0,99 \cdot \sqrt{5 \cdot 6,2}} = 3,19 \text{ m}^3/h$
 $K_{VS} = 1,3 \cdot K_V = 1,3 \cdot 3,19 = 3,99 \text{ m}^3/h$

$$K_V = \frac{W}{14,2 \cdot m \cdot \sqrt{p_1 \cdot \rho_1}} \quad (9)$$

Nach dem berechneten K_V -Wert den K_{VS} -Wert des Ventils ermitteln. Allgemein gilt: $K_{VS} \approx 1,3 \cdot K_V$

Gewählt: Druckregler Typ 44-1, G $\frac{3}{4}$, $K_{VS} = 4$

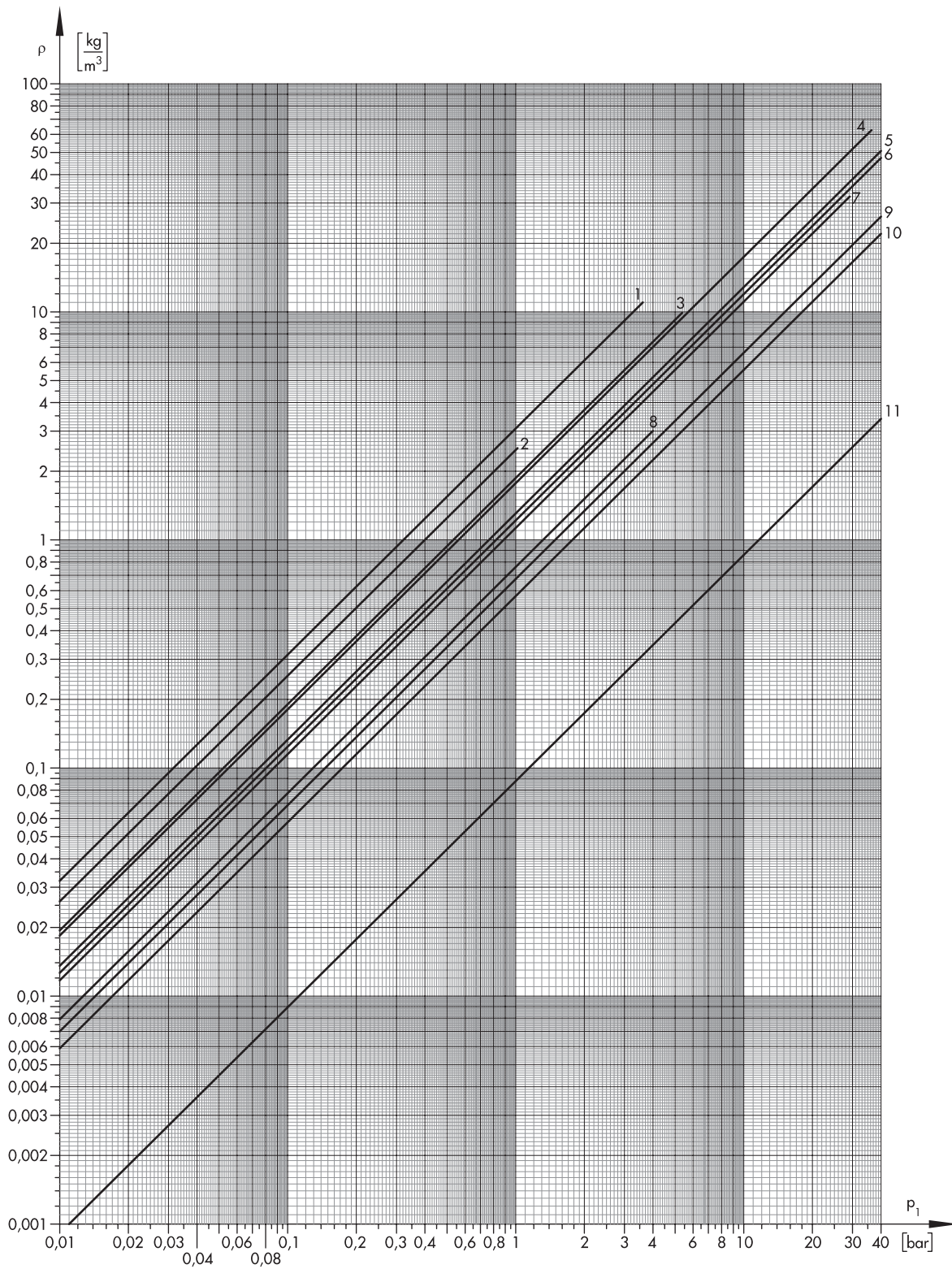
Beispiel 10

Gesucht: Druckverlust $\Delta p = p_1 - p_2$ bei voll geöffnetem Ventil
 Gegeben: Elektr. Stellventil Typ 241-2, DN 20 · Stickstoffnetz · Stickstoffdurchfluss · Druck vor dem Ventil
 Lösung: Suche ρ_1 für $p_1 = 5 \text{ bar}$ aus Diagramm 3

$K_{VS} = 4 \text{ m}^3/h$
 $p_1 = 5 \text{ bar}$
 $W = 250 \text{ kg/h}$
 $\rho_1 = 6,2 \text{ kg/m}^3$
 $m = \frac{250}{14,2 \cdot 4 \cdot \sqrt{5 \cdot 6,2}} = 0,791$
 $\frac{p_2}{p_1} = 0,83$
 $p_2 = 0,83 \cdot 5 = 4,15 \text{ bar}$
 $\Delta p = 5 - 4,15 = 0,85 \text{ bar}$

$$m = \frac{W}{14,2 \cdot K_{VS} \cdot \sqrt{p_1 \cdot \rho_1}} \quad (10)$$

Suche mit m aus Diagramm 2 $\Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = 0,83$ $p_2 = 0,83 \cdot p_1$
 $\Delta p = p_1 - p_2$



Bei größeren Abweichungen der Betriebstemperatur t von 0 °C ist ρ_1 nach folgender Formel zu korrigieren:

$$\rho_t = \rho_1 \cdot \frac{273}{273+t}$$

- | | | |
|----------------|--------------|----------------|
| 1 Chlorgas | 5 Luft | 9 Methan |
| 2 Butan | 6 Stickstoff | 10 Stadtgas |
| 3 Propan | 7 Azetylen | 11 Wasserstoff |
| 4 Kohlendioxyd | 8 Ammoniak | |

Diagramm 3 · Dichte ρ bzw. ρ_1 der Gase in Abhängigkeit vom Druck bei 0 °C

Die Berechnungsmethode ist ein auf die Praxis abgestimmtes Näherungsverfahren. Die abgeleitete Gleichung für trockene Luft lautet:

$$W = 15,3 \cdot m \cdot K_V \cdot \sqrt{p_1 \cdot \rho_1} \quad (11)$$

Die Gleichung (10) kann in der folgenden Form geschrieben werden:

$$W = K_V \cdot m \cdot Z \quad (12)$$

Der Wert Z wird entsprechend dem Druck p_1 aus der Tabelle 4 und m aus der Tabelle 3 (Zwischenwerte aus Diagramm 2 für $\chi = 1,4$) abgelesen

Größen und Einheiten

p_1	} Absolutdruck
p_2	
Δp	Druckdifferenz in bar
W	Massenstrom in kg/h
K_V	K_V -Wert in m^3/h
ρ	Dichte in kg/m^3
m	Druckverlustkoeffizient, dimensionslos
Z	Realgasfaktor, dimensionslos

Beachte!

Nähere Informationen zur Auslegung von Volumenstromreglern mit dem Medium Luft erhalten Sie bei der SAMSON AG in Frankfurt/Main.

Beispiel 11

Gesucht: Durchsatz W in kg/h bei voll geöffnetem Ventil
Gegeben: Druckregler ohne Hilfsenergie Typ 41-23, DN 50 · Druck vor und hinter dem Ventil · Temperatur

Lösung: Bilde $\frac{p_2}{p_1}$ (ggf. in Absolutdruck umformen)

Suche m aus Tabelle 3 oder Diagramm 2
Suche entsprechend Druck und Temperatur vor dem Ventil den Wert Z aus Tabelle 4

$$W = K_{VS} \cdot m \cdot Z \quad (12)$$

$$\begin{aligned} K_{VS} &= 32 \text{ m}^3/\text{h}^{1)} \\ t &= 20 \text{ }^\circ\text{C} \\ p_1 &= 4 \text{ bar} \quad p_2 = 3 \text{ bar} \\ \frac{p_2}{p_1} &= \frac{3}{4} = 0,75 \\ m &= 0,884 \\ Z &= 66 \\ W &= 32 \cdot 0,884 \cdot 66 = \mathbf{1867 \text{ kg/h}} \end{aligned}$$

¹⁾ Der K_{VS} -Wert hat eine Toleranz von $\pm 10\%$ und damit auch der errechnete Durchfluss W

Beispiel 12

Gesucht: Druckminderer Typ ..., K_{VS} -Wert und Ventiltinnenweite
Gegeben: Druck vor und hinter dem Ventil · Temperatur · Durchflussmedium Pressluft

Lösung: Bilde $\frac{p_2}{p_1}$ (ggf. in Absolutdruck umformen)

Suche m aus Tabelle 3 oder Diagramm 2 · Suche entsprechend Druck und Temperatur vor dem Ventil den Wert Z aus der Tabelle 4

$$K_V = \frac{W}{Z \cdot m} \quad (13)$$

Nach dem berechneten K_V -Wert den K_{VS} -Wert des Ventils ermitteln. Allgemein gilt: $K_{VS} \approx 1,3 \cdot K_V$

$$\begin{aligned} p_1 &= 5 \text{ bar} \quad p_2 = 3 \text{ bar} \\ t &= 20 \text{ }^\circ\text{C} \\ W &= 190 \text{ kg/h} \\ \frac{p_2}{p_1} &= \frac{3}{5} = 0,6 \\ m &= 0,982 \\ Z &= 82,60 \\ K_V &= \frac{190}{0,982 \cdot 82,60} = \mathbf{2,34 \text{ m}^3/\text{h}} \\ K_{VS} &= 1,3 \cdot K_V = 1,3 \cdot 2,34 = \mathbf{2,93 \text{ m}^3/\text{h}} \\ \text{Gewählt: Typ 44-1, G } \frac{1}{2}, K_{VS} &= 3,2 \end{aligned}$$

Beispiel 13

Gesucht: Druckverlust $\Delta p = p_1 - p_2$ bei voll geöffnetem Ventil
Gegeben: Differenzdruckregler Typ 42-24, DN 50 · Pressluftdurchsatz · Druck vor dem Ventil · Temperatur

Lösung: Entsprechend Druck und Temperatur vor dem Ventil den Wert Z aus Tabelle 4 wählen

$$m = \frac{W}{Z \cdot K_{VS}} \quad (14)$$

Suche aus Diagramm 2 oder Tabelle 3 für $m = 0,884$ das Verhältnis $\frac{p_2}{p_1}$

$$p_2 = 0,75 \cdot p_1 \Rightarrow \text{Druckverlust } \Delta p = p_1 - p_2$$

$$\begin{aligned} K_{VS} &= 32 \text{ m}^3/\text{h} \\ W &= 3270 \text{ kg/h} \\ t &= 20 \text{ }^\circ\text{C} \\ p_1 &= 7 \text{ bar} \\ Z &= 115,6 \\ m &= \frac{3270}{115,6 \cdot 32} = 0,884 \\ \frac{p_2}{p_1} &= 0,75 \\ p_2 &= 0,75 \cdot 7 = 5,25 \text{ bar} \\ \Delta p &= p_1 - p_2 = 7 - 5,25 = \mathbf{1,75 \text{ bar}} \end{aligned}$$

Tabelle 3 · Druckverlustkoeffizient m in Abhängigkeit von p_2/p_1 · Alle aufgeführten Drücke als Absolutdrücke in bar

Druckverhältnis p_2/p_1	0,527	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	0,99
Druckverlustkoeffizient m	1	0,982	0,978	0,935	0,884	0,818	0,730	0,623	0,448	0,207

Tabelle 4 · Realgasfaktor Z für Luft · Alle aufgeführten Drücke als Absolutdrücke in bar

Realgasfaktor Z für ...								
P ₁ in bar	trockene Luft bei folgenden Temperaturen ...							
	0° C	20° C	50° C	100° C	150° C	200° C	250° C	300° C
0,1	1,71	1,65	1,57	1,47	1,38	1,30	1,24	1,18
0,2	3,42	3,30	3,15	2,93	2,77	2,60	2,47	2,31
0,3	5,13	4,96	4,74	4,39	4,13	3,89	3,71	3,55
0,4	6,84	6,61	6,29	5,85	5,50	5,20	4,95	4,72
0,5	8,55	8,26	7,87	7,32	6,88	6,50	6,18	5,92
0,6	10,26	9,90	9,42	8,79	8,24	7,79	7,42	7,09
0,7	11,97	11,56	11,00	10,22	9,61	9,09	8,64	8,27
0,8	13,68	13,22	12,58	11,72	11,00	10,40	9,79	9,45
0,9	15,40	14,86	14,15	13,18	12,36	11,69	11,12	10,62
1,0	17,10	16,50	15,72	14,65	13,75	13,00	12,35	11,81
1,1	18,83	18,15	17,30	16,07	15,10	14,32	13,60	13,00
1,2	20,50	19,80	18,20	17,52	16,50	15,60	14,70	14,12
1,3	22,10	21,42	20,45	18,25	17,85	16,90	16,09	15,35
1,4	24,00	23,10	22,00	10,70	19,25	18,19	17,30	16,55
1,5	25,65	24,75	23,60	21,68	20,06	19,46	18,55	17,70
1,6	27,30	26,40	25,15	23,35	21,95	20,80	19,78	18,88
1,7	29,10	28,10	26,70	24,80	23,40	22,05	20,90	20,10
1,8	30,80	29,70	28,30	26,35	24,75	23,35	22,25	21,20
1,9	32,25	30,25	29,60	27,55	26,15	24,65	23,50	22,50
2,0	34,20	33,00	31,45	29,27	27,70	25,95	24,70	23,10
2,2	37,65	36,40	34,70	32,20	30,20	28,50	27,20	25,90
2,4	41,10	39,60	37,75	35,15	33,30	31,20	29,70	28,35
2,5	42,70	41,40	39,30	36,60	34,40	32,45	30,90	29,50
2,6	44,50	42,60	40,90	38,05	35,75	33,80	32,15	30,70
2,8	47,80	46,20	44,00	41,70	38,45	36,35	34,55	33,10
3,0	51,30	49,55	47,40	43,95	41,25	38,90	37,10	35,45
3,2	54,30	52,40	49,90	46,60	43,90	41,60	39,80	37,70
3,4	58,25	56,20	53,50	49,80	46,70	44,20	42,00	40,10
3,6	62,20	59,60	56,60	52,70	49,40	46,80	44,50	42,60
3,8	65,00	62,70	59,75	55,60	51,50	49,40	46,90	44,80
4,0	68,20	66,00	62,90	58,55	55,00	52,00	49,40	47,20
4,5	77,00	74,40	70,70	65,80	61,80	58,50	55,60	48,50
5,0	86,90	82,60	78,75	73,20	68,75	65,00	61,75	59,20
5,5	94,00	90,90	87,40	80,60	75,60	71,60	68,00	64,90
6,0	102,06	98,90	94,30	87,90	82,40	77,90	74,15	70,90
6,5	111,0	107,2	101,10	95,20	88,40	84,50	80,40	76,80
7,0	119,6	115,6	110,0	102,2	96,90	90,90	86,40	82,70
8,0	136,8	132,2	125,7	117,1	110,0	104,0	97,9	94,5
9,0	162,2	148,6	141,6	131,8	123,6	116,9	111,2	106,2
10,0	171,0	165,0	157,2	146,5	137,5	130,0	123,5	118,1
11,0	188,3	181,5	173,0	160,7	151,0	143,2	136,0	130,0
12,0	205,0	198,0	182,0	175,2	165,0	156,0	147,0	141,0
13,0	221,0	214,2	204,5	182,5	178,5	169,0	160,9	153,5
14,0	240,0	231,0	220,0	197,0	192,5	181,9	173,0	165,5
15,0	256,5	247,5	236,0	216,8	200,6	194,6	185,5	177,0
16,0	273,0	264,0	251,0	253,5	219,5	208,0	197,8	188,8
17,0	291,0	281,0	267,0	248,0	234,0	220,5	209,0	201,0
18,0	308,0	297,0	283,0	263,5	247,5	233,5	222,5	212,0
19,0	322,5	302,5	296,0	275,6	261,6	246,5	235,0	225,0
20,0	342,0	330,0	314,5	292,7	277,0	259,6	247,0	231,0
22,0	376,5	364,0	347,0	322,0	302,0	285,0	272,0	259,0
24,0	411,0	395,0	377,5	351,5	333,0	312,0	297,0	283,5
26,0	445,0	428,0	409,0	380,5	357,5	338,5	321,5	307,0
28,0	478,0	462,0	440,0	417,0	384,5	363,5	345,5	331,0
30,0	513,0	495,5	474,0	439,5	412,5	389,0	371,0	354,5

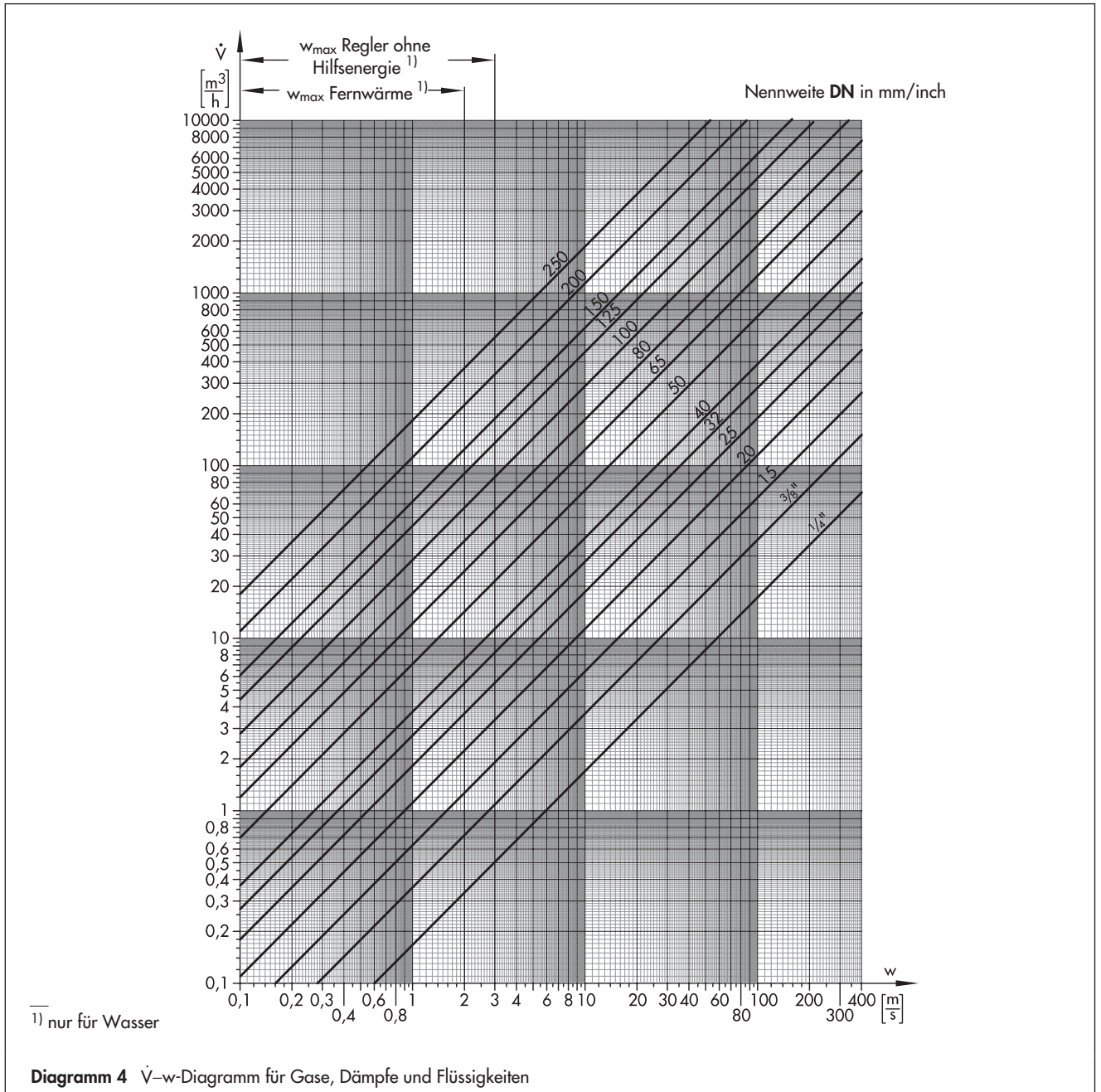


Diagramm 4 zeigt folgenden Zusammenhang:

$$\dot{V}_{\text{Rohr}} = A_{\text{Rohr}} \cdot w_{\text{Rohr}} \quad (15)$$

Ermittlung von Geschwindigkeit und Nennweite

Geschwindigkeit w des Mediums

$$w_{\text{Rohr}} = \dot{V}_{\text{Rohr}} \cdot \left(\frac{18,8}{\text{DN}} \right)^2 \quad (16)$$

Nennweite DN

$$\text{DN} = 18,8 \cdot \sqrt{\frac{\dot{V}}{w_{\text{Rohr}}}} \quad (17)$$

- \dot{V}_{Rohr} Durchfluss (Volumenstrom) in m^3/h
- w_{Rohr} Durchflussgeschwindigkeit in m/s
- A_{Rohr} Querschnitt der jeweiligen Nennweite, als Gerade eingetragen
- DN Nennweite

Bei Gas kann der mit Diagramm 4 in m^3/h ermittelte Durchfluss in kg/h oder m^3/h - bezogen auf den Normzustand - umgerechnet werden (vgl. Beispiel 14).

\dot{V}_{G} Gasdurchfluss, bezogen auf den Normzustand

Beispiel 14

Gesucht: Pressluftdurchsatz im Betriebs- und Normzustand
Gegeben: Rohrdurchmesser · Druck p im Rohr
Strömungsgeschwindigkeit
Lösung: Durchfluss (Volumenstrom) in m^3/h bezogen auf den Betriebszustand, abgelesen aus Diagramm 4
Wie groß ist der Pressluftdurchsatz (Massenstrom) in kg/h ?

$$W = \dot{V} \cdot \rho \quad (18)$$

Durchfluss \dot{V}_G in m^3/h bezogen auf den Normzustand 0°C und 1013 mbar .

Nennweite = DN 32
 $p = 5\text{ bar}$
 $w_{\text{Rohr}} = 7\text{ m/s}$
 $\dot{V} = 20\text{ m}^3/\text{h}$
Aus Diagramm 3 folgt:
 $\rho = 6,3\text{ kg/m}^3$
 $W = 20 \cdot 6,3 = 126\text{ kg/h}$

Im Normzustand:
 $1\text{ m}^3\text{ Luft} \Rightarrow 1,293\text{ kg}$

$$\dot{V}_G = \frac{W}{1,293} = \frac{126}{1,293} = 97,5\text{ m}^3/\text{h}$$

Technische Änderungen vorbehalten.

