

Beispiel - Rohrnetzauslegung einer Pumpenheizung eines Zweirohrsystems

1. Ausgangsdaten

Es liegen vor: der Wärmebedarf
 die Temperaturspreizung
 der Rohrplan

Ferner sollen Heizkörper - Thermostatventile eingesetzt werden bei $X_p = 2$ K.

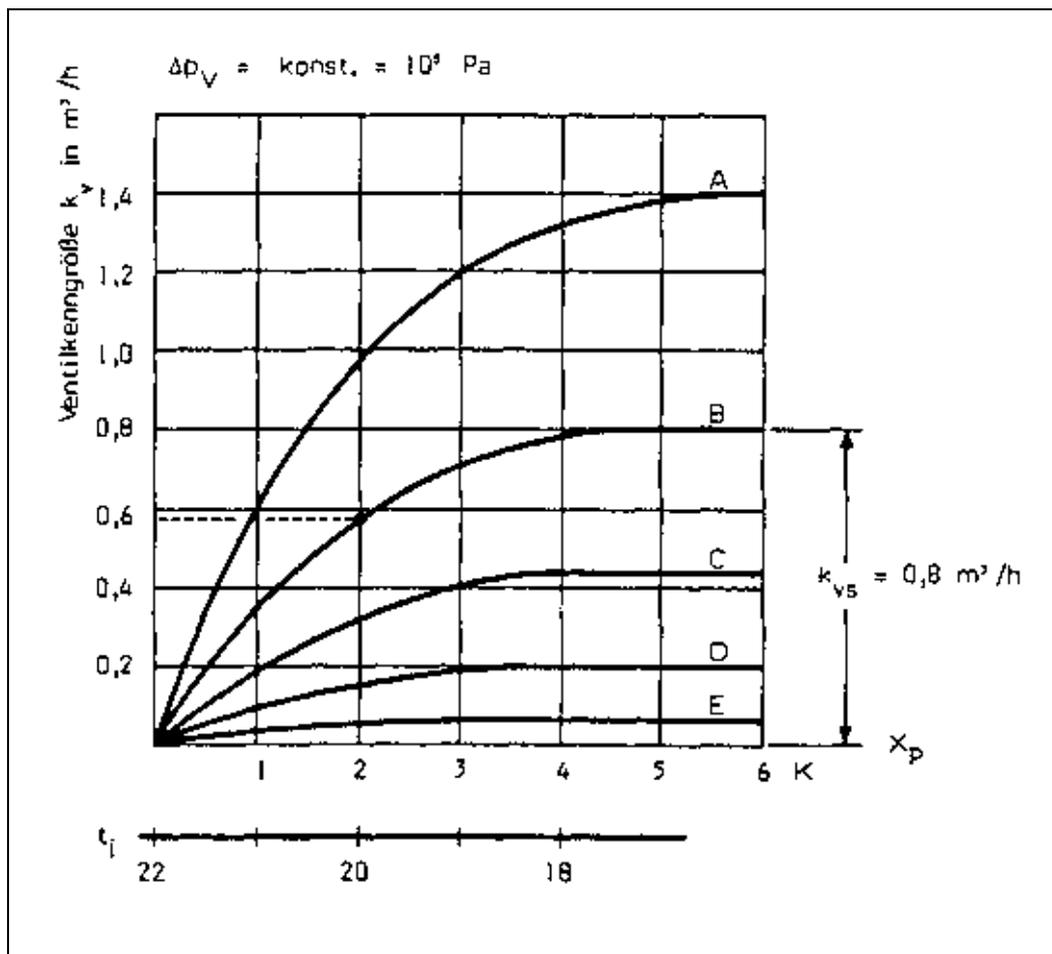


Bild 1 Ventilkennlinien für das Thermostatventil

In den Rücklauf sollen an jedem Heizkörper "regelbare Verschraubungen" der Firma Danfoss eingebaut werden. Diese dienen sowohl zur Abspernung als auch zum Druckabgleich (Voreinstellung).

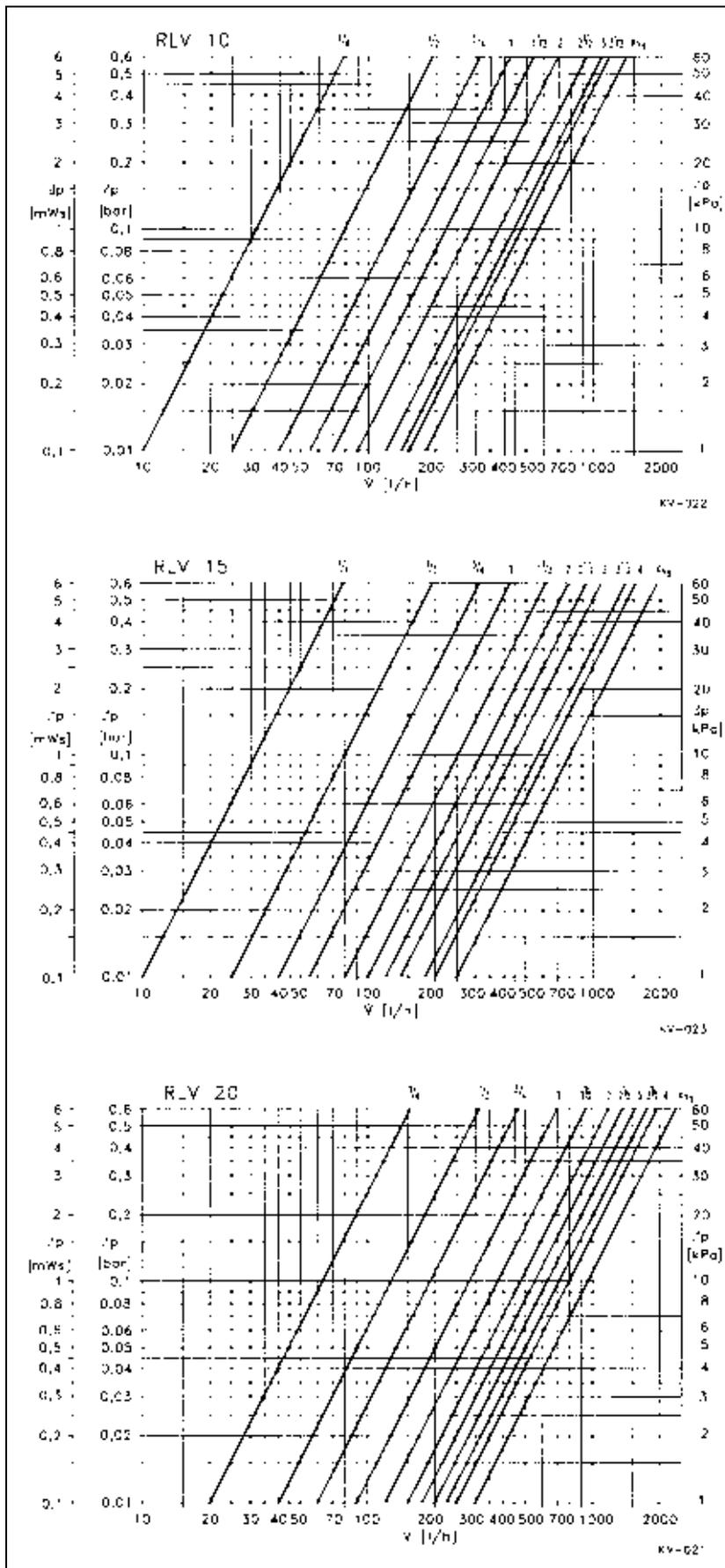


Bild 2: Rücklaufverschraubungen Danfoss RLV

Die k_{VS} -Werte werden wie folgt angegeben:

RLV 10: $k_{VS} = 1,8 \text{ m}^3/\text{h}$
RLV 15: $k_{VS} = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$
RLV 20: $k_{VS} = 3,0 \text{ m}^3/\text{h}$

2. Bearbeitungsreihenfolge

Die Bearbeitung soll folgendermaßen durchgeführt werden:

1. Aufsuchen des ungünstigsten Heizkörpers (weiteste Entfernung von der Pumpe und größte Wärmeleistung) und damit Festlegung des ungünstigsten Stranges
2. Festlegung der Teilstrecken
3. Berechnung des ungünstigsten Stranges bei Vorgabe von R mit Normdurchmessern
4. Auslegung des Thermostatventils
5. Auswahl der Pumpe und evtl. Korrekturrechnungen zu den Punkten 3. und 4.
6. Ermittlung der bei den anderen Stromkreisen zur Verfügung stehenden Umtriebsdrücke
7. Auslegung der restlichen Stromkreise unter Zugrundelegung der Umtriebsdrücke

Anmerkung: Es kann vorkommen, dass bei der Berechnung der restlichen Stromkreise festgestellt wird, dass eine andere Pumpe gewählt werden muss und der "ungünstigste" Stromkreis korrigiert werden muss.

3. Bemerkungen zu den Rechenschritten

3.1. Punkt 1: Aufsuchen des „ungünstigsten“ Heizkörpers

2 Kriterien: - weiteste Entfernung
- größte Wärmeleistung

Im allgemeinen wird der längste Stromkreis als ungünstigster Stromkreis (Hauptstromkreis) angesetzt.

3.2. Punkt 2: Festlegung der Teilstrecken

Die Nummerierung der einzelnen Teilstrecken sollte logisch vom Kessel (Verteiler) über Vorlauf, Heizkörper und Rücklauf erfolgen.

Eine Teilstrecke kann mehreren Stromkreisen angehören.

Aus dem Rechenverfahren ergeben sich folgende Festlegungen: Eine Teilstrecke im Vorlauf beginnt mit T-Stück (Diametrallauf, Kreuzstück), eine Teilstrecke im Rücklauf endet mit T-Stück (Gegenlauf, Kreuzstück).

3.3. Punkt 3: Berechnung des Hauptstranges = ungünstigster Stromkreis

Übliche Werte für $R_m = 50$ bis 150 (200) Pa/m. Vorgabe im Beispiel: $R_m = 100$ Pa/m.

Zu beachtende Randbedingungen:

- die Geschwindigkeit in den einzelnen Strecken ($w = 0,2$ bis $0,7$ ($1,0$) m/s),
- die Durchmessersprünge von Strecke zu Strecke sollten wenn möglich nicht zu groß und praktikabel sein,
- heute werden Rücklaufverschraubungen an jedem Heizkörper angebracht (Auslegung siehe Sonderrechnungen).

3.4. Punkt 4: Auslegung des Thermostatventils

Randbedingungen, die bei Thermostatventilen eingehalten werden sollten:

1. bei geschlossenem Heizkörperventil sollte der Differenzdruck am Ventil sein $\Delta p < 20$ kPa (max. 30 kPa)
2. könnten größere Differenzdrücke (> 20 kPa) entstehen, dann Einsatz von Differenzdruckreglern und/oder Einsatz von drehzahlgeregelten Pumpen
3. bei größeren Anlagen ($\dot{V}_{ges} \geq 15 \text{ m}^3/\text{h}$; $\dot{Q} \geq 350 \text{ kW}$) Aufteilung auf mehrere Heizgruppen.
4. Festlegung der Ventilautorität a_v des Thermostatventils

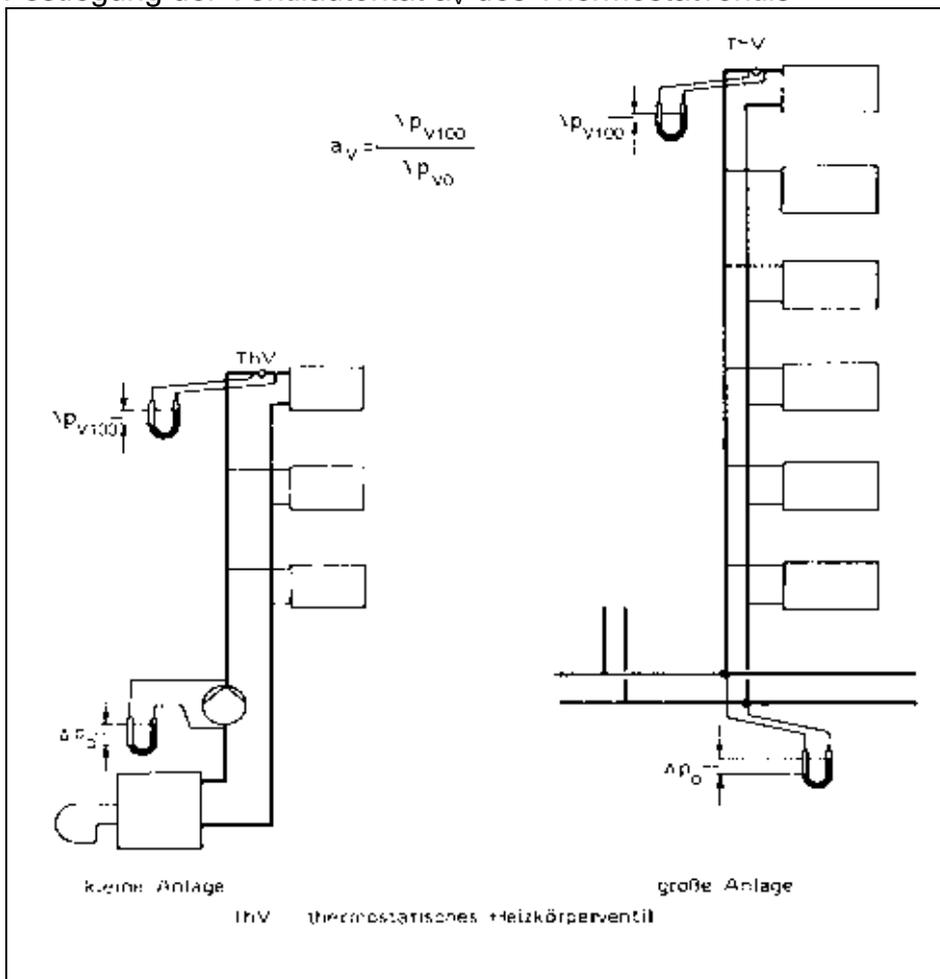


Bild 3: Definition der Ventilautorität

Definition der Ventilautorität a_V :

$$a_V = \frac{\Delta p - \text{Ventil bei Auslegungs} - \dot{V}}{\Delta p_{\text{Gesamtdruckverlust}}} = \frac{\Delta p - \text{Ventil bei Auslegungs} - \dot{V}}{\Delta p_{\text{Ventil geschlossen}}} = \frac{\Delta p_{V100}}{\Delta p_0}$$

a_V gibt an, welchen Druckverlustanteil das Regelventil am Gesamtdruckverlust des Stromkreises hat. Bei kleine Anlagen (bis 30 Heizkörper) kann angesetzt werden (theoretisch können alle Ventile bis auf eins geschlossen sein).

$$\Delta p_0 = \Delta p_{\text{Netz},100} + \Delta p_{\text{Rüchl.-Verschr.},100} + \Delta p_{V100} = \Delta p_P$$

$$\Delta p_0 = \Delta p_{\text{Rest},100} + \Delta p_{V100}$$

Bei großen Anlagen wird angesetzt

$$\Delta p_0 = \Delta p_{\text{Steigstrangnetz},100} + \Delta p_{\text{Rüchl.-Verschr.},100} + \Delta p_{V100} = \Delta p_P$$

$$\Delta p_0 = \Delta p_{\text{Rest},100} + \Delta p_{V100}$$

Damit ergibt sich:

$$a_V = \frac{\Delta p_{V100}}{\Delta p_{\text{Rest},100} + \Delta p_{V100}}$$

$$(\Delta p_{\text{Rest},100} + \Delta p_{V100}) a_V = \Delta p_{V100}$$

$$\Delta p_{\text{Rest},100} \cdot a_V = \Delta p_{V100} \cdot (1 - a_V)$$

$$\Delta p_{V100} = \frac{a_V \cdot \Delta p_{\text{Rest},100}}{1 - a_V}$$

a_V ändert sich im Betrieb bei schwankenden Betriebsdrücken. Bei Auslegung soll sein: $a_V = 0,3$ bis $0,7$

Achtung: Ventilautorität bezieht sich nur auf den Regelwiderstand. Wird beim „hydraulischen Abgleich“ durch Voreinstellung am Thermostatventil ein einstellbarer Drosselquerschnitt verkleinert, so wird eigentlich $\Delta p_{\text{Rest},100}$ erhöht und nicht das Δp_{V100} in der a_V -Formel.

5. Festlegung des Auslegungsproportionalbereichs

Thermostatventile sind Proportionalregler, d.h. z.B. tritt in einem Raum, an dessen Heizkörper das Thermostatventil auf 20°C eingestellt ist, eine erhöhte Energiezufuhr auf (z.B. durch Sonnenstrahlung), so muss eine höhere Raumtemperatur auftreten, damit das Ventil zu schließen beginnt.

Das Thermostatventil kann also nicht die eingestellte Raumtemperatur halten.

Definition des Proportionalbereichs X_P

$X_P = | \text{Eingestellte Temperatur} - \text{Temperatur bei der das Ventil geschlossen ist} |$

Erläuterung bringt die Darstellung an der auf Prüfständen aufgenommenen Thermostatventil-Kennlinie (etwas idealisiert!).

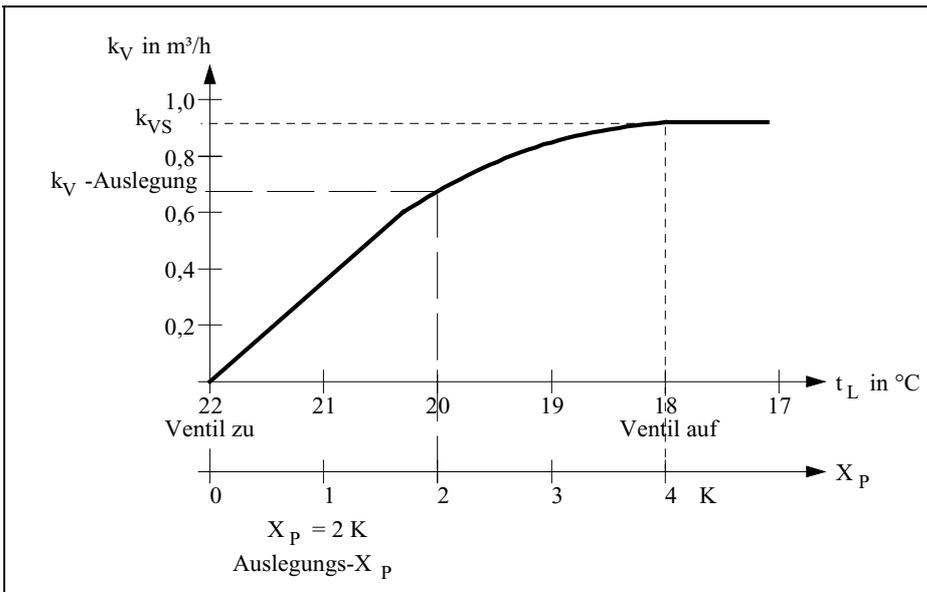


Bild 4: Thermostatventil - Kennlinie bei Einstellung III

Bevorzugter Auslegungsproportionalbereich: $X_P = 2 \text{ K}$
 Erlaubte Schwankungsbreite: $X_P = 0,7 \text{ bis } 2 \text{ K}$
 großes X_P : große Regelabweichung
 kleines X_P : Gefahr instabiler Regelung
 große Unterschiede zwischen \dot{V}_A und \dot{V} bei kaltem Raum

Auswahl des Heizkörper-Thermostatventils:

Aus der Berechnung des Hauptstranges ergibt sich $\Delta p_{\text{Rest},100}$
 Festlegung von $a_V = 0,3 - 0,7$
 (Hinweis: Vorteilhaft ist die Rechnung mit beiden Grenzwerten)

$$\Delta p_{V100} = \frac{a_V \cdot \Delta p_{\text{Rest}100}}{1 - a_V}$$

$$k_V = \dot{V}_{100} \sqrt{\frac{1 \text{ bar}}{\Delta p_{V100}} \cdot \frac{\rho}{1000 \text{ kg/m}^3}} \quad \Delta p_{V100} \text{ in bar !!}$$

DN-Anschlussleitung = DN-Ventil
 notwendige Bauform (Durchgang- oder Eckventil) aus Verlegeplan

Wahl des Ventils aus Firmenunterlagen bei $0,7 \text{ K} \leq X_P \leq 2 \text{ K}$

3.5. Punkt 5: Auswahl der Pumpe

Die Berechnung des Hauptstranges liefert den Betriebspunkt der Pumpe \dot{V}_P, H_P .
 Dieses Wertepaar wird in ein Auslegungskennfeld für Heizungspumpen eingetragen.
 Nächstliegende (höhere) Kennlinie ergibt im allgemeinen die zu wählende Pumpe.

Weitere Hinweise:

- liegt bei der Auswahl eine Kennlinie nur geringfügig unter dem errechneten Betriebspunkt, so kann diese meistens ausgewählt werden.
Vorteile: Verbesserung der Ventilautorität
niedrigere Stromkosten
- Nullförderhöhe > 2 bis 3 m (möglichst vermeiden)
- möglichst flache Kennlinie wählen
- möglichst Pumpen mit umschaltbarer Drehzahl wählen

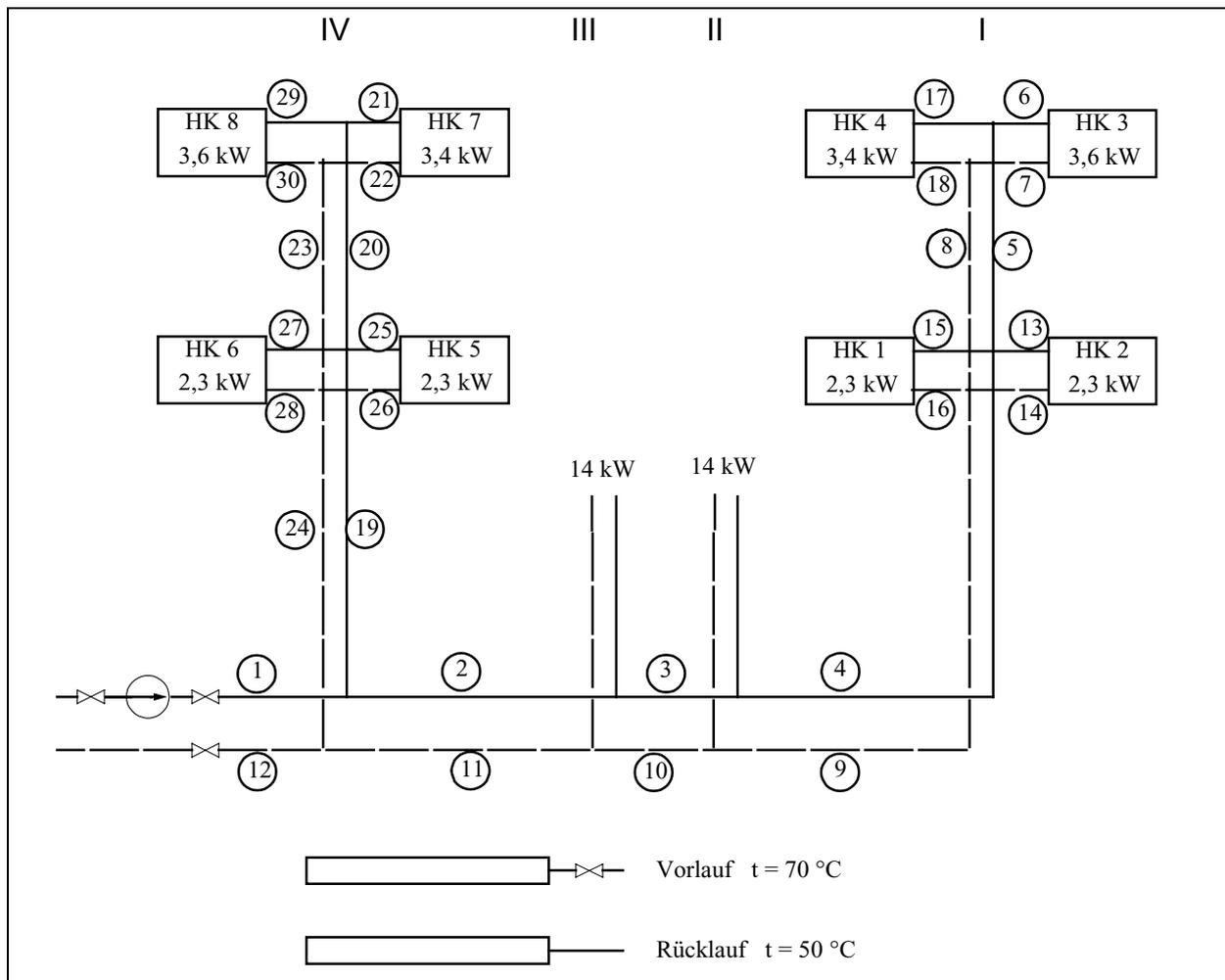
Anmerkung:

Muss eine Pumpe eingesetzt werden, deren Kennlinie höher liegt, dann:

- muss an der Rücklaufverschraubung ein zusätzlicher Druckverlust eingestellt werden, damit \dot{V}_{100} fließt,
- ist die Lage der Kennlinie und der Betriebspunkt sehr unterschiedlich. Hierbei eventuell für einige Rohrstrecken einen kleineren Durchmesser wählen.

4. Rohrnetzberechnung tabellarisch

4.1. Rohrnetzplan



TS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
l/m	10	10	10	12	3	2	2	3	11	10	10	10	2	2	2

TS	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
l/m	2	2	2	2	3	2	2	3	1	2	2	2	2	2	2

4.2. Berechnung

aus dem Rohrplan				Nachrechnung														Unter- schied	
TS	\dot{Q}	\dot{m}	l	d _{vorl.}	mit vorläufigem Rohrdurchmesser					mit geändertem Rohrdurchmesser					I-R	Z			
Nr.	kW	kg/h	m	mm	w	R	I·R	$\Sigma\zeta$	Z	d	w	R	I·R	$\Sigma\zeta$	Z	Pa	Pa		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
Stromkreis HK 3										R _m = 100 Pa/m angestrebt									
1	51,2	2202,1	10	1 1/4"	0,62	129	1290	0,6	113										
2	39,6	1703,2	10	1 1/4"	0,48	80	800	0,1	11	R _{m,3/8} = 10343 Pa / 93 m = 111,2 Pa/m									
3	25,6	1101,1	10	1"	0,53	141	1410	0,1	14	R _{m,1/2} = 9831 Pa / 93 m = 105,7 Pa/m									
4	11,6	498,9	12	3/4"	0,39	103	1236	0,6	45										
5	7,0	301,1	3	3/4"	0,23	41	123	0,1	3										
6	3,6	154,8	2	3/8"	0,35	182	364	3,2	193	1/2"	0,22	54	108	4,7	112				
7	3,6	154,8	2	3/8"	0,35	182	364	1,7	102	1/2"	0,22	54	108	2,5	60				
8	7,0	301,1	3	3/4"	0,23	41	123	2,2	57										
9	11,6	498,9	11	3/4"	0,39	103	1133	1,8	135					9831	+	747	10578		
10	25,6	1101,1	10	1"	0,53	141	1410	0,6	83								Rücklaufver.		
11	39,6	1703,2	10	1 1/4"	0,48	80	800	0,5	57								Thermostatv.		
12	51,2	2202,1	10	1 1/4"	0,62	129	1290	0,3	57								18170		
			93				10343	+	870	=		11213	Pa						
				+			Rücklaufverschraubung			=		748	Pa						
				+			Thermostatventil			=		7204	Pa						
												19165	Pa						
Stromkreis HK 4																			
Aufgebraucht in TS 1 - 5							4859		186										
17	3,4	146,2	2	1/2"	0,21	49	98	4,0	87										
18	3,4	146,2	2	1/2"	0,21	49	98	2,4	52										
Aufgebraucht in TS 8 - 12							4756		389										
							9811	+	714	=		10525	Pa						
				+			Thermostatventil			=		6489	Pa						
				+			Rücklaufverschraubung			=		1156	Pa						
												18170	Pa						
Stromkreis HK 1 / 2																			
Aufgebraucht in TS 1 - 4							4736		183										
13 / 15	2,3	98,9	2	3/8"	0,23	82	164	6,5	169										
14 / 16	2,3	98,9	2	3/8"	0,23	82	164	1,2	31										
Aufgebraucht in TS 9 - 12							4633		332										
							9697	+	715	=		10412	Pa						
				+			Thermostatventil			=		2981	Pa						
				+			Rücklaufverschraubung			=		4777	Pa						
												18170	Pa						

Tab. 1

aus dem Rohrplan				Nachrechnung												Unter- schied	
TS	\dot{Q}	\dot{m}	l	$d_{\text{vorl.}}$	mit vorläufigem Rohrdurchmesser					mit geändertem Rohrdurchmesser					I-R	Z	
Nr.	kW	$\frac{\text{kg}}{\text{h}}$	m	mm	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	$\frac{\text{Pa}}{\text{m}}$	Pa	--	Pa	mm	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	$\frac{\text{Pa}}{\text{m}}$	Pa	--	Pa	Pa	Pa
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Stromkreis HK 8																	
Aufgebraucht in TS 1							1290		113								
19	11,6	498,9	2	1/2"	0,70	462	924	1,7	410								
20	7,0	301,1	3	3/8"	0,68	621	1864	0,1	23								
29	3,6	154,8	2	3/8"	0,35	182	364	6,5	391								
30	3,6	154,8	2	3/8"	0,35	182	364	5,0	301								
23	7,0	301,1	3	3/8"	0,68	621	1864	1,0	227								
24	11,6	498,9	1	1/2"	0,70	462	462	0,8	193								
Aufgebraucht in TS 12							1290		57								
							8422	+	1715	=		10137	Pa				
					+	Thermostatventil						7204	Pa				
					+	Rücklaufverschraubung						829	Pa				
												18170	Pa				
Stromkreis HK 7																	
Aufgebraucht in TS 1,19, 20							4078		546								
21	3,4	146,2	2	3/8"	0,34	165	330	5,6	318								
22	3,4	146,2	2	3/8"	0,34	165	330	5,2	295								
Aufgebraucht in TS 12, 23, 24							3616		477								
							8354	+	1636	=		9990	Pa				
					+	Thermostatventil						6489	Pa				
					+	Rücklaufverschraubung						1691	Pa				
												18170	Pa				
Stromkreis HK 5 / 6																	
Aufgebraucht in TS 1, 19							2214		523								
25 / 27	2,3	98,9	2	3/8"	0,23	82	164	6,5	169								
26 / 28	2,3	98,9	2	3/8"	0,23	82	164	2,7	70								
Aufgebraucht in TS 12, 24							1752		250								
							4294	+	1012	=		5306	Pa				
					+	Thermostatventil						9795	Pa				
					+	Rücklaufverschraubung						3069	Pa				
												18170	Pa				

Tab. 2

TS	Benennung	r/d	$\frac{w_A(D)}{w}$	$\frac{V_A(D)}{V}$	$\frac{d_A(D)}{d}$	ζ	$\Sigma\zeta$
1	2 Schieber					0,6	0,6
2	T-Stück, Durchgang, Trennung		0,77		1	0,1	0,1
3	T-Stück, Durchgang, Trennung		1,10		0,76	0,1	0,1
4	T-Stück, Durchgang, Trennung		0,74		0,78	0,3	0,6
	1 x 90°-Bogen	3				0,3	
5	Kreuzstück, Durchgang, Trennung		0,59		1	0,1	0,1
6	Diametrallauf		1,52 (0,96)			0,7 (2,2)	3,2 (4,7)
	Heizkörper					2,5	
7	Gegenlauf			0,51	0,58 (0,74)	1,7 (2,5)	1,7 (2,5)
8	Kreuzstück, Durchgang, Vereinigung			0,60	1	2,2	2,2
9	1 x 90°-Bogen	3				0,3	1,8
	T-Stück, Durchgang, Vereinigung			0,45	< 1	1,5	
10	T-Stück, Durchgang, Vereinigung			0,65	< 1	0,6	0,6
11	T-Stück, Durchgang, Vereinigung			0,77	1	0,5	0,5
12	1 Schieber					0,3	0,3
13/15	Kreuzstück, Abzweig, Trennung		0,59			4,0	6,5
	Heizkörper					2,5	
14/16	Kreuzstück, Abzweig, Vereinigung			0,20	0,58	1,2	1,2
17	Diametrallauf		0,91			1,5	4,0
	Heizkörper					2,5	
18	Gegenlauf			0,49	0,74	2,4	2,4
19	T-Stück, Abzweig, Trennung		1,13			1,7	1,7
20	Kreuzstück, Durchgang, Vereinigung		0,97		0,78	0,1	0,1
29	Diametrallauf		0,51			4,0	6,5
	Heizkörper					2,5	
30	Gegenlauf			0,51	1	5,0	5,0
23	Kreuzstück, Durchgang, Vereinigung			0,60	0,78	1,0	1,0
24	T-Stück, Abzweig, Vereinigung		0,45	0,23		0,8	0,8
21	Diametrallauf		0,50			3,1	5,6
	Heizkörper					2,5	
22	Gegenlauf			0,49	1	5,2	5,2
25/27	Kreuzstück, Abzweig, Trennung		0,33			4,0	6,5
	Heizkörper					2,5	
26/28	Kreuzstück, Abzweig, Vereinigung			0,20	0,78	2,7	2,7

Tab. 3

5. Sonderrechnung zur Rohrnetzrechnung

5.1. Stromkreis HK 3 (ungünstigster Stromkreis)

1. Rücklaufverschraubung

Vorgabe: 1/2" Durchgang / RLV 15

Bauteil voll geöffnet $\Rightarrow k_{VS} = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$

$$\dot{V} = \frac{154,8 \text{ kg/h}}{983,2 \text{ kg/m}^3} = 0,157 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Delta p_{RLV} = \Delta p_0 \cdot \frac{\rho}{\rho_0} \cdot \left(\frac{\dot{V}}{k_{VS}} \right)^2 = 1 \text{ bar} \cdot \frac{983,2 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} \cdot \left(\frac{0,157 \text{ m}^3/\text{h}}{2,5 \text{ m}^3/\text{h}} \right)^2 = 388 \text{ Pa}$$

2. Thermostatventil

$$\Delta p_{V100} = \frac{a_V \cdot \Delta p_{\text{Rest},100}}{1 - a_V} \quad k_V = \dot{V}_{100} \sqrt{\frac{1 \text{ bar} \cdot \frac{\rho}{1000 \text{ kg}} \cdot \text{m}^3}{\Delta p_{V100}}}$$

$$\Delta p_{\text{Rest},100} = \Delta p_{\text{Netz}} + \Delta p_{RLV} = (10578 + 388) \text{ Pa} = 10966 \text{ Pa}$$

$$\dot{V}_{100} = 0,157 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$a_V = 0,3: \quad \Delta p_{V100} = \frac{a_V \cdot \Delta p_{\text{Rest},100}}{1 - a_V} = \frac{0,3 \cdot 10966 \text{ Pa}}{0,7} = 4700 \text{ Pa} \quad k_V = 0,718 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$a_V = 0,7: \quad \Delta p_{V100} = \frac{a_V \cdot \Delta p_{\text{Rest},100}}{1 - a_V} = \frac{0,7 \cdot 10966 \text{ Pa}}{0,3} = 25587 \text{ Pa} \quad k_V = 0,308 \text{ m}^3/\text{h}$$

ausgewählt: Ventil B, $k_V = 0,58 \text{ m}^3/\text{h}$

$$\Delta p_{V,tats.} = 1 \text{ bar} \cdot \frac{983,2 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} \cdot \left(\frac{0,157 \text{ m}^3/\text{h}}{0,58 \text{ m}^3/\text{h}} \right)^2 = 7204 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_0 = 7204 \text{ Pa} + 10966 \text{ Pa} = 18170 \text{ Pa}$$

$$a_V = \frac{7204 \text{ Pa}}{18170 \text{ Pa}} = 0,40$$

oder ausgewählt Ventil C, $k_V = 0,32 \text{ m}^3/\text{h}$

$$\Delta p_{V,tats.} = 1 \text{ bar} \cdot \frac{983,2 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} \cdot \left(\frac{0,157 \text{ m}^3/\text{h}}{0,32 \text{ m}^3/\text{h}} \right)^2 = 23667 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_0 = 23667 \text{ Pa} + 10966 \text{ Pa} = 34633 \text{ Pa}$$

$$a_V = \frac{23667 \text{ Pa}}{34633 \text{ Pa}} = 0,68$$

Besser Ventil B mit geringerem a_V auswählen, da sich ein kleinerer Gesamtdruckverlust ergibt und somit geringere Stromkosten der Pumpe anfallen.

3. Pumpenauswahl

$$\dot{V}_p = \frac{51,2 \text{ kW}}{4,185 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 20 \text{ K} \cdot 983,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 2,24 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Delta p_p = (10378 + 388 + 7204) \text{ Pa} = 18170 \text{ Pa}$$

$$H_p = \frac{18170 \text{ Pa}}{983,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1,88 \text{ m}$$

⇒ aus Katalog: z.B. Wilo RS 25/70r (Stufe 2)

5.2. Stromkreis HK 4

1. Thermostatventil

Typ B

$$\dot{V} = 0,149 \text{ m}^3/\text{h} \quad k_v = 0,58 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Delta p_{v,tats.} = 1 \text{ bar} \cdot \frac{983,2 \text{ kg}/\text{m}^3}{1000 \text{ kg}/\text{m}^3} \cdot \left(\frac{0,149 \text{ m}^3/\text{h}}{0,58 \text{ m}^3/\text{h}} \right)^2 = 6489 \text{ Pa}$$

$$a_v = \frac{6489 \text{ Pa}}{18170 \text{ Pa}} = 0,36$$

2. Rücklaufverschraubung

$$\Delta p_{RLV} = \Delta p_p - \Delta p_{Th-V100} - \Delta p_{Rest} = 1156 \text{ Pa}$$

$$k_v = 0,149 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \sqrt{\frac{1 \text{ bar}}{1156 \text{ Pa}} \cdot \frac{983,2 \text{ kg}/\text{m}^3}{1000 \text{ kg}/\text{m}^3}} = 1,37 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Katalog: Danfoss 1/2" Durchgang / RLV 15, Stellung 3

5.3. Stromkreis HK 1 / 2

1. Thermostatventil

Typ B

$$\dot{V} = 0,101 \text{ m}^3/\text{h} \quad k_v = 0,58 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Delta p_{v,tats.} = 1 \text{ bar} \cdot \frac{983,2 \text{ kg}/\text{m}^3}{1000 \text{ kg}/\text{m}^3} \cdot \left(\frac{0,101 \text{ m}^3/\text{h}}{0,58 \text{ m}^3/\text{h}} \right)^2 = 2981 \text{ Pa}$$

$$a_v = \frac{2981 \text{ Pa}}{18170 \text{ Pa}} = 0,16$$

schlechtes Regelverhalten, prüfen ob eventuell Rohrenweiten geändert werden können, z.B. TS 4 (1"), TS 5 (1/2"), TS 6 (3/8" od. 1/2")

Auswahl Ventil-Typ C, $k_v = 0,32 \text{ m}^3/\text{h}$

$$\Delta p_v = \Delta p_p + \Delta p_{Rohr} = 9795 \text{ Pa} + 10412 \text{ Pa} = 20207 \text{ Pa} > \Delta p_p$$

nicht möglich, da $\Delta p_v + \Delta p_{Rohr} > \Delta p_p$

2. Rücklaufverschraubung

$$\Delta p_{RLV} = 4777 \text{ Pa}$$

$$k_V = 0,101 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \sqrt{\frac{1 \text{ bar}}{4777 \text{ Pa}} \cdot \frac{983,2 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3}} = 0,46 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Katalog: Danfoss 3/8" Durchgang, RLV 10, Einstellung zwischen 3/4 und 1

Andere Auslegungsmöglichkeit:

Die Rücklaufverschraubung bleibt voll geöffnet

$$\Delta p_{RLV} = 1 \text{ bar} \cdot \frac{983,2 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} \cdot \left(\frac{0,101 \text{ m}^3/\text{h}}{1,8 \text{ m}^3/\text{h}} \right)^2 = 310 \text{ Pa}$$

Für das Thermostatventil verbleiben damit

$$\Delta p_V = (18170 - 10412 - 310) \text{ Pa} = 7448 \text{ Pa}$$

$$k_V = 0,101 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \sqrt{\frac{1 \text{ bar}}{7448 \text{ Pa}} \cdot \frac{983,2 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3}} = 0,37 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Aus dem Auswahldiagramm erhält man für das Ventil Typ B bei dem $k_V = 0,37 \text{ m}^3/\text{h}$ einen Wert für $X_P = 1,0 \text{ K}$. Zur Vermeidung von ungleichmäßiger Volumenstromverteilung nach Nachtabsenkung gilt folgende Bedingung: $k_{VS}/k_{V(XP)} \leq 2$

Im vorliegenden Fall ergibt sich mit $k_{VS} = 0,8 \text{ m}^3/\text{h}$:

$$\frac{k_{VS}}{k_{VXP}} = \frac{0,8}{0,37} = 2,16 \text{ (auch unzulässig)}$$

5.4. Stromkreis HK 8

Überschlagrechnung zur Ermittlung des mittleren Druckgefälles in den noch nicht ausgelegten Rohrstrecken:

Zur Verfügung stehender Pumpendruck	18170 Pa
- Δp -Thermostatventil (geschätzt) HK 3	- 7204 Pa
- Δp -Rücklaufverschraubung (geschätzt) HK 3	- 388 Pa
- Δp in TS 1 und TS 12	<u>- 2750 Pa</u>

verbleiben für Δp in TS 19, 20, 29, 30, 23 24	7828 Pa
verbleiben für $\Delta p_R \approx 0,67^* \cdot 7828 \text{ Pa} =$	5245 Pa
gesamte Rohrlänge TS 19 bis 24	13 m

$$\text{mittleres Druckgefälle} \quad R_m = 5245 \text{ Pa} / 13 \text{ m} = 403 \text{ Pa/m}$$

*) üblicher Erfahrungswert $\Delta p_R \approx (2/3) \cdot \Delta p_{\text{Ges. Rohrleitung}} \approx 0,67 \cdot \Delta p_{\text{Ges. Rohrleitung}}$
weiter im Formblatt mit $R_m \approx 400 \text{ Pa/m}$

1. Thermostatventil

gewählt: Typ B

$$\dot{V} = 0,157 \text{ m}^3/\text{h} \quad k_V = 0,58 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Delta p_V = 7204 \text{ Pa}$$

$$a_V = \frac{7204 \text{ Pa}}{18170 \text{ Pa}} = 0,40$$

2. Rücklaufverschraubung

$$\Delta p_{RLV} = 829 \text{ Pa}$$

$$k_V = 0,157 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \sqrt{\frac{1 \text{ bar} \cdot 983,2 \text{ kg/m}^3}{829 \text{ Pa} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3}} = 1,71 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Auswahl: Danfoss 3/8“, Durchgang, RLV 10, Stellung 3 1/2

5.5. Stromkreis HK 7

1. Thermostatventil

$$\dot{V} = 0,149 \text{ m}^3/\text{h} \quad k_V = 0,58 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Delta p_{V,tats.} = 1 \text{ bar} \cdot \frac{983,4 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} \cdot \left(\frac{0,149 \text{ m}^3/\text{h}}{0,58 \text{ m}^3/\text{h}} \right)^2 = 6489 \text{ Pa}$$

$$a_V = \frac{6489 \text{ Pa}}{18170 \text{ Pa}} = 0,36$$

2. Rücklaufverschraubung

$$\Delta p_{RLV} = 1691 \text{ Pa}$$

$$k_V = 0,149 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \sqrt{\frac{1 \text{ bar} \cdot 983,2 \text{ kg/m}^3}{1691 \text{ Pa} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3}} = 1,14 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Katalog: Danfoss 3/8“ Durchgang, RLV 10, Stellung 2 1/2

5.6. Stromkreis HK 5 / 6

1. Thermostatventil

$$\dot{V} = 0,101 \text{ m}^3/\text{h} \quad k_V = 0,32 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Delta p_{V,tats.} = 1 \text{ bar} \cdot \frac{983,2 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} \cdot \left(\frac{0,101 \text{ m}^3/\text{h}}{0,32 \text{ m}^3/\text{h}} \right)^2 = 9795 \text{ Pa}$$

$$a_V = \frac{9795 \text{ Pa}}{18170 \text{ Pa}} = 0,54$$

2. Rücklaufverschraubung

$$\Delta p_{RLV} = 3069 \text{ Pa}$$

$$k_V = 0,101 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \sqrt{\frac{1 \text{ bar} \cdot 983,2 \text{ kg/m}^3}{3069 \text{ Pa} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3}} = 0,57 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Katalog: Danfoss 3/8“ Durchgang, RLV 10, Stellung 1

Quelle: Datenpool IfHK, FH Wolfenbüttel