

Österreich Schulungsunterlagen



Mit uns behalten Sie den Überblick

Thema 13:

Rohrleitungen in der Kältetechnik

 **SCHIESSL**

»SIS« INFORMATIONEN-SYSTEM

Das Schiessl Informations-System »SIS« ist mehr als nur ein Shop!

- Alle Produkt-Infos auf einen Blick
- Mit Zubehör und Alternativen
- Schnellsuche und Direktauswahl
- Verfügbarkeit/Lagerstand
- Alle Infos tagesaktuell
- Bequem online bestellen



BRANDNEU:
Laden Sie sich jetzt Ihre Schiessl App fürs Smartphone!

...damit sind Sie immer bestens informiert!



JETZT EINLOGGEN UNTER

www.schiessl.at

www.schiessl.ch

www.schiessl-kaelte.de

...fordern Sie noch heute Ihre Zugangsdaten an.



Mechatroniker

Bundesinnung der Mechatroniker Kälte- und Klimatechnik

**Herzlich Willkommen
zu unserer Veranstaltung unter dem Motto**

**Aus der Praxis für den Praktiker-
"das sollte der Kältemonteur wissen"**

Thema 13:

Rohrleitungen in der Kältetechnik

Referent: Dipl. Ing. Hans-Jürgen Ullrich

Diese Schulungsunterlagen wurden zur Verfügung gestellt von



SCHIESSL

Ihrem zuverlässigen Großhandelspartner

Inhalt:

Seite

1.	Werkstoffe für kältemittelführende Rohrleitungen	1
1.1	Rohre und Fittings aus Kupfer	2
1.2	Rohre aus warmfestem Baustahl	5
1.3	Rohre aus austenitischem Chrom-Nickel-Stahl	6
1.4	K65-Rohre der Wieland-Werke AG, Ulm	7
1.5	Flexible Kältemittelleitungen aus Thermoplast-Kunststoff	10
2.	Fügeverfahren für Rohrleitungen	12
2.1	Die Bördelverbindung	13
2.2	Schraubverbindungen für NH ₃ -Leitungen	14
2.3	Das Löten von Rohrleitungen	15
2.3.1	Grundbegriffe und Definitionen	15
2.3.2	Lote und Flussmittel für Cu-Rohre	16
2.3.3	Lötgeräte und Brenngase	18
2.3.4	Lötfehler	18
2.3.4	Löten von Rohren aus Stahl, K65, Aluminium	19
2.4	Schweißen von Rohren aus Bau- und Edelstahl	20
2.5	Kleben von Rohrleitungen	20
2.6	Press- und Steckverbindungen	21
2.6.1	Lokring-Technik für Kältemittelleitungen	21
2.6.2	Conex Push-Fit-Steckfittings für wasserführende Rohre	21

Inhalt:

Seite

3.	Energetisch optimierte Auslegung von Rohrsystemen	23
3.1	Rohrleitungsdimensionierung	23
3.2	Richtwerte für Geschwindigkeiten und Druckabfälle	24
3.3	Mindestgeschwindigkeiten für den Öltransport	24
3.4	Nachrechnen der Strömungsgeschwindigkeit	25
3.5	Druckverluste in Flüssigkeitsleitungen und erforderliche Unterkühlung	26
4.	Schäden in Rohrleitungssystemen	27
4.1	Schäden durch Längenänderungen bei großen Temperaturdifferenzen	27
4.2	Schäden durch Schwingungen und Pulsationen	27
4.2.1	Schwingungen und Pulsationen durch Verdichter	27
4.2.2	Pulsieren und Takten von Ventilen	32
4.2.3	Pulsieren von servogesteuerten Magnetventilen	32
4.2.4	Schwingungen von thermostatischen Expansionsventilen bei extremer Unterkühlung des Kältemittels	33
4.3	Schäden durch beschleunigte Flüssigkeiten	33
4.4	Brüche durch eingeschlossenes Kältemittel	35
4.5	Rohrleitungsschäden durch Korrosion	36
Anhang:	Rohrleitungstabellen	37

Rohrleitungen in der Kältetechnik

1. Werkstoffe für kältemittelführende Rohrleitungen

Die Tabelle 1 zeigt einen Überblick über gebräuchliche Werkstoffe in der Kältetechnik.

Kältemittel	Kupfer	Baustahl unlegiert	CrNi-Stahl	K65	Kunststoffe	Aluminium
F-Gase	X				X	X
Kohlenwasserstoffe	X					
CO ₂ (R744)	X		X	X	X	
NH ₃ (R717)		X	X			X

In Tabelle 2 sind wichtige Eigenschaften der drei Metalle zusammengestellt.

Werkstoff	Eisen/Stahl	Kupfer	Aluminium
Eigenschaften			
1.) Physikalische Eigenschaften:			
Dichte (g/cm ³)	7,8	8,9	2,7
Schmelzpunkt (°C)	1535	1084	660,4
spez. Wärme (kJ/kg · K)	0,460	0,385	0,896
Wärmeleitfähigkeit (W/m · K)	52	394	209
elektr. Leitfähigkeit (m/Ω · mm ²)	10	56,2	36
Zugfestigkeit (N/mm ²)	360 ... 600	200 ... 360	130 ... 200
Wärmeausdehnung (mm/m · K)	0,0123	0,0165	0,0238
2.) Chemische Eigenschaften:			
Korrosionsbeständigkeit an Luft	schlecht	sehr gut Passivierung durch Patina	sehr gut Passivierung durch Al ₂ O ₃ -Schicht
3.) Technologische Eigenschaften:			
umformbar	gut	sehr gut	gut
lötbar	mittel	sehr gut	mittel
spanend bearbeitbar	sehr gut	sehr gut	gut

1.1 Rohre und Lötittings aus Kupfer

- **Kälte- und Klimatechnik: Rohre:**

Nahtlos gezogen aus sauerstofffreiem Reinstkupfer 99,9% nach DIN EN 12735-2, gereinigt und getrocknet, Lieferumfang und Lieferform gemäß Tabelle 3.

Tabelle 3: Lieferzustand und Lieferform von Cu-Rohren			
Zustand		Zugfestigkeit R_m	Lieferform
Bezeichnung nach EN 1173	gebräuchliche Benennung	MPa	
R220	geglüht	220	Ø 6 bis 15mm - Ringe 50m Ø 18 bis 22mm - Ringe 25m
R250	halbhart	250	Ø 12 bis 28mm Stangen 5m
R290	hart	290	Ø 6 bis 108mm Stangen 5m

In Tabelle 4 sind die lieferbaren Abmessungen, zulässige Betriebsdrücke und Gewichte angegeben.

- **Wasser-, Sanitär- und Heizungsinstallation:**

Nahtlos gezogene Rohre nach DIN EN 1057, Ø 6 bis 267mm, DVGW-zertifiziert, auch für Trinkwasser geeignet, Kupfer hemmt das Bakterienwachstum und unterstützt die Prävention gegen Legionellen .

- **Sonderausführung von Cu-Rohren:**

- Mit PE-Ummantelung (Schallschutz) – WICU-Flex.
- Mit PUR-Schaum-Ummantelung – WICU-Eco.
Ringe Ø 12 bis 18mm, Stangen Ø 12 bis 54mm, erfüllt EnEV.
Auch als Zwillingrohr im Angebot, z.B. von der Fa. Ebrille/Italien
- Rohre für Erdkollektoren und Betonkernaktivierung-Cuprotherm CTX plastbeschichtet, Ø 14 bis 26mm.
- Innenverzinnte Cu-Rohre für Trinkwasserinstallation.
- Innen- und außenberippte Cu-Rohre für Wärmetauscher.

Tabelle 4: Sanco-Kupferrohr nahtl. gezogen (nach EN 12735 bzw. *) nach DIN 1754) der Fa. Wieland

Außen-Ø x Wanddicke [mm x mm]	Innendurchmesser [mm]	Freier Querschnitt [m ²]	Innere Oberfläche [m ² /m]	äußere Oberfläche [m ² /m]	zulässiger Betriebsdruck ¹⁾ [bar]	Inhalt [l/m]	Gewicht [kg/m]
6 x 1,0	4	0,0000126	0,0126	0,0188	229	0,0126	0,140
8 x 1,0	6	0,0000283	0,0188	0,0251	163	0,0283	0,196
10 x 1,0	8	0,0000503	0,0251	0,0314	127	0,0503	0,252
12 x 1,0	10	0,0000785	0,0314	0,0377	104	0,0785	0,308
15 x 1,0	13	0,000133	0,0408	0,0471	82	0,133	0,381
16 x 1,0 *)	14	0,000154	0,0440	0,0503		0,154	0,412
18 x 1,0	16	0,000201	0,0503	0,0565	67	0,201	0,475
22 x 1,0	20	0,000314	0,0628	0,0691	54	0,314	0,590
28 x 1,5	25	0,000491	0,0785	0,0880	65	0,491	1,120
28 x 1,0 *)	26	0,000531	0,0816	0,0880	42	0,531	0,742
35 x 1,5	32	0,000804	0,1005	0,1100	51	0,804	1,420
42 x 1,5	39	0,001195	0,1225	0,1319	42	1,195	1,710
54 x 1,5 *)	51	0,002043	0,1602	0,1696	33	2,043	2,215
54 x 2,0	50	0,001963	0,1670	0,1696	44	1,963	2,940
64 x 2,0	60	0,002827	0,1885	0,2010	37	2,827	3,467
76,1 x 2,0	72,1	0,004083	0,2265	0,2390	31	4,083	4,144
88,9 x 2,0	84,9	0,005661	0,2667	0,2792	26	5,661	4,859
108 x 2,5	103	0,008332	0,3235	0,3392	27	8,332	7,374
133 x 3,0	127	0,012668	0,3989	0,4177	26	12,668	10,904
159 x 3,0	153	0,018385	0,4805	0,4994	22	18,385	13,085
219 x 3,0	213	0,035633	0,6689	0,6878	16	35,633	18,118
267 x 3,0	261	0,053502	0,8197	0,8386	13	53,502	22,144

¹⁾ Mit 3,5-facher Sicherheit auf Basis weicher Kupferrohre mit $R_m = 200\text{N/mm}^2$ bei einer Betriebstemperatur von $+100^\circ\text{C}$ gerechnet.

• **Lötittings aus Kupfer:**

In diversen Ausführungen lieferbar – gerade Muffe, reduzierte Muffe, T-Stücke (gleiche und ungleiche Abgänge), Winkel, Bögen, u.a.

Zu beachten sind besonders bei Druckleitungen die zulässigen Betriebsdrücke (Tabelle 5).

Tabelle 5: Maximal zulässige Betriebsüberdrücke für Lötittings aus Kupfer nach Bänniger				
Abmessungen Rohr-Außen-Ø	Druck in bar bis Betriebstemperatur 120°C			
	Alle Formteile außer Muffen		Muffen (Mod.-Nr. 5270)	
	S = 3,5	S = 4	S = 3,5	S = 4
6	114	100	95	83
8	86	75	74	65
10	68	60	61	54
12	57	50	52	46
15	53	47	49	43
18	51	43	47	41
22	46	41	43	38
28	37	32	35	30
35	33	29	31	27
42	30	26	28	25
54	25	22	24	21
64	25	22	24	21
70	23	20	22	19
76,1	24	21	23	20
80	26	23	25	22
88,9	23	20	22	19
108	22	19	21	19

Stand 01/99 S = Sicherheitsfaktor

1.2 Rohre aus warmfestem Baustahl

- Nahtlos, kaltgezogene Präzisionsstahlrohre nach EN 10216-2 in den Werkstoffen P235GH (St 35.8) oder P265GH (St 37), einsetzbar von -40°C bis +300°C (siehe Tabelle 6)
- Werkstoffe E 235 + C (St 35) oder E 335 + C (St 52) nach EN 10305-1

Tabelle 6: Mindestwandstärken in mm für Baustahl P235GH nach compact Kältetechnik	
Dimension	Druckstufe
	max. 40bar
DN010	2,0
DN015	
DN020	
DN025	
DN032	
DN040	
DN050	2,9
DN065	
DN080	3,0
DN100	3,6
DN125	4,0
DN150	
DN200	5,0
DN250	
DN300	7,1

1.3 Rohre aus austenitischem Chrom-Nickel-Stahl

Nahtlos gezogene Edelstahlrohre nach EN 10216-5 in folgenden Werkstoffen:

- 1.4301 - X5CrNi18.10 - V2A Supra
- 1.4307 - X2CrNi18.9 - V2A
- 1.4541 - X6CrNiTi18.10 - V2A Extra
- 1.4571 - X6CrNiMoTi17.12.2 - V4A

Einsetzbar von -120°C bis +400°C, Mindestwandstärken nach Tabelle 7:

Tabelle 7: Mindestwandstärken in mm für Chrom-Nickel-Stähle nach compact Kältetechnik Nichtrostende Stähle 1.4301, 1.4307, 1.4541, 1.4571:-120°C bis 400°C			
Dimension	Druckstufe		
	25bar	45bar	120bar
6mm			1,0
10mm			1,0
12mm			1,0
16mm			1,0
18mm			1,5
22mm			1,5
28mm			1,5
DN010		2,0	2,6
DN015		2,0	2,6
DN020		2,0	2,6
DN025		2,0	2,6
DN032		2,0	2,6
DN040		2,0	2,6
DN050		2,0	3,6
DN065		2,0	4,0
DN080		2,0	4,5
DN100		2,0	5,6
DN125	2,6	4,0	
DN150	2,6	4,5	
DN200	2,9	4,5	
DN250	2,9	5,0	
DN300	4,5	5,6	

1.4 K65-Rohre der Wieland-Werke AG, Ulm

Diese Rohre wurden für den Einsatz in CO₂-Kälteanlagen entwickelt.

Löten mit Silberlot, **keine phosphathaltigen Lote verwenden!**

<u>Werkstoff:</u>	Kupfer-Stahl-Legierung (CuFe2P)
<u>Maßtoleranzen:</u>	Gemäß EN 12735-1 (wie Cu-Rohr)
<u>Zulässiger Betriebsdruck:</u>	120bar (gemäß AD2000)
<u>Zertifizierung:</u>	Nach VdTÜV-Werkstoffblatt 567
<u>Abmessungen:</u>	Gemäß Tabelle 8 Weitere Abmessungen und Lieferformen nach Kundenspezifikation lieferbar

Tabelle 8: Abmessungen von K65-Rohren						
Abmessungen		Wieland Material Nummer	VPE: Kleinbund		VPE: Ballot	
[mm]	[Zoll]		Anzahl Rohre je 5m	Meter pro Kleinbund	Kleinbunde pro Ballot	Meter pro Ballot
9,52 x 0,65	3/8"	433009520	20	100	20	2000
12,70 x 0,85	1/2"	433012700	20	100	20	2000
15,87 x 1,05	5/8"	433015870	10	50	20	1000
19,05 x 1,30	3/4"	433019060	10	50	20	1000
22,23 x 1,50	7/8"	433022230	10	50	10	500
28,57 x 1,90	1 1/8"	433028570	5	25	20	500
34,92 x 2,30	1 3/8"	433034920	5	25	10	250
41,27 x 2,70	1 5/8"	433041270	3	15	10	150

Passend dazu liefert die Fa. Conex/Bänninger, Linden das in Tabelle 9 aufgeführte Sortiment an K65-Fittings.

Zulässiger Betriebsdruck ist ebenfalls 120bar.

Tabelle 9.1: K65-Fittings von Conex-Bänniger (Teil1)

>B< K65-Fittings für 120bar				
Typ- bezeichnung	Detail- bezeichnung	IBP Artikel-Nr.	VPE- Beutel	VPE- Karton
Bogen 45° i/i	K5041 i/i 3/4"	K5041006000000	5	100
	K5041 i/i 7/8"	K5041007000000	5	100
	K5041 i/i 1 1/8"	K5041009000000	5	100
	K5041 i/i 1 3/8"	K5041011000000	1	30
	K5041 i/i 1 5/8"	K5041013000000	1	20
Bogen 45° i/a	K5040 i/a 3/4"	K5040060000000	5	100
	K5040 i/a 7/8"	K5040070000000	5	100
	K5040 i/a 1 1/8"	K5040090000000	5	100
	K5040 i/a 1 3/8"	K5040110000000	1	30
	K5040 i/a 1 5/8"	K5040130000000	1	20
Bogen 90° i/i	K5002 i/i 3/8"	K5002003000000	5	100
	K5002 i/i 1/2"	K5002004000000	5	100
	K5002 i/i 5/8"	K5002005000000	5	100
	K5002 i/i 3/4"	K5002006000000	5	100
	K5002 i/i 7/8"	K5002007000000	5	100
	K5002 i/i 1 1/8"	K5002009000000	5	100
	K5002 i/i 1 3/8"	K5002011000000	1	60
	K5002 i/i 1 5/8"	K5002013000000	1	20
Bogen 90° i/a	K5001 i/a 3/8"	K5001003000000	5	100
	K5001 i/a 1/2"	K5001004000000	5	100
	K5001 i/a 5/8"	K5001005000000	5	100
	K5001 i/a 3/4"	K5001006000000	5	100
	K5001 i/a 7/8"	K5001007000000	5	100
	K5001 i/a 1 1/8"	K5001009000000	5	100
	K5001 i/a 1 3/8"	K5001011000000	1	30
	K5001 i/a 1 5/8"	K5001013000000	1	20
T-Stück	K5130 3/8" x 3/8" x 3/8"	K5130003003003	5	100
	K5130 1/2" x 3/8" x 3/8"	K5130004003003	5	100
	K5130 1/2" x 1/2" x 3/8"	K5130004004003	5	100
	K5130 1/2" x 1/2" x 1/2"	K5130004004004	5	100
	K5130 5/8" x 1/2" x 1/2"	K5130005004004	5	100
	K5130 5/8" x 5/8" x 3/8"	K5130005005003	5	100
	K5130 5/8" x 5/8" x 1/2"	K5130005005004	5	100
	K5130 5/8" x 5/8" x 5/8"	K5130005005005	5	100
	K5130 3/4" x 3/4" x 5/8"	K5130006006005	5	100
	K5130 3/4" x 3/4" x 3/4"	K5130006006006	5	100
	K5130 7/8" x 7/8" x 3/4"	K5130007007006	5	100
	K5130 7/8" x 7/8" x 7/8"	K5130007007007	5	100
	K5130 1 1/8" x 7/8" x 1/2"	K5130009007004	5	100
	K5130 1 1/8" x 1 1/8" x 7/8"	K5130009009007	5	100
	K5130 1 1/8" x 1 1/8" x 1 1/8"	K5130009009009	5	100
	K5130 1 3/8" x 1 3/8" x 7/8"	K5130011011007	1	30
	K5130 1 3/8" x 1 3/8" x 1 3/8"	K5130011011011	1	30
	K5130 1 5/8" x 1 5/8" x 1 5/8"	K5130013013013	1	20

Tabelle 9.2: K65-Fittings von Conex-Bänniger (Teil 2)

>B< K65-Fittings für 120bar

Typ- bezeichnung	Detail- bezeichnung	IBP Artikel-Nr.	VPE- Beutel	VPE- Karton
Reduzier- nippel	K5243 1/2" a x 3/8"	K5243004003000	5	100
	K5243 1/2" a x 12 mm	K5243004012000	5	100
	K5243 5/8" a x 3/8"	K5243005003000	5	100
	K5243 5/8" a x 1/2"	K5243005004000	5	100
	K5243 5/8" a x 15 mm	K5243005015000	5	100
	K5243 3/4" a x 3/8"	K5243006003000	5	100
	K5243 3/4" a x 1/2"	K5243006004000	5	100
	K5243 3/4" a x 5/8"	K5243006005000	5	100
	K5243 3/4" a x 18 mm	K5243006018000	5	100
	K5243 7/8" a x 3/8"	K5243007003000	5	100
	K5243 7/8" a x 5/8"	K5243007005000	5	100
	K5243 7/8" a x 3/4"	K5243007006000	5	100
	K5243 7/8" a x 22 mm	K5243007022000	5	100
	K5243 1 1/8" a x 5/8"	K5243009005000	5	100
	K5243 1 1/8" a x 3/4"	K5243009006000	5	100
	K5243 1 1/8" a x 7/8"	K5243009007000	5	100
	K5243 1 1/8" a x 28 mm	K5243009028000	5	100
	K5243 1 3/8" a x 1 1/8"	K5243011009000	1	60
	K5243 1 3/8" a x 35 mm	K5243011035000	1	60
	K5243 1 5/8" a x 1 3/8"	K5243013011000	1	30
K5243 1 5/8" a x 42 mm	K5243013042000	1	30	
Muffe	K5270 3/8"	K5270003000000	5	100
	K5270 1/2"	K5270004000000	5	100
	K5270 5/8"	K5270005000000	5	100
	K5270 3/4"	K5270006000000	5	100
	K5270 7/8"	K5270007000000	5	100
	K5270 1 1/8"	K5270009000000	5	100
	K5270 1 3/8"	K5270011000000	1	60
	K5270 1 5/8"	K5270013000000	1	30
Kappe	K5301 3/8"	K5301003000000	5	100
	K5301 1/2"	K5301004000000	5	100
	K5301 5/8"	K5301005000000	5	100
	K5301 3/4"	K5301006000000	5	100
	K5301 7/8"	K5301007000000	5	100
	K5301 1 1/8"	K5301009000000	5	100
	K5301 1 3/8"	K5301011000000	1	60
	K5301 1 5/8"	K5301013000000	1	30



1.5 Flexible Kältemittelleitungen aus Thermoplast-Kunststoff

- **Flexible Kapillarleitungen zum Anschluss von Manometern, Pressostaten, Drucktransmittern u.a. (Lieferanten: Gomax, Reflex)**

Innendurchmesser: DN2, DN4, DN6

Maximaler Betriebsdruck: 120bar (damit auch für CO₂)

Temperaturbereich: -45°C bis +130°C

Dichtheitsklasse: 1 nach EN 1736

Anschluss: Fittings für Bördel- oder Lötanschluss

- **Flexible Rohrleitungen für Verbundsätze**

(Saug- Druck- und Ölausgleichsleitungen)

Abmessungen: Tabelle 10

Werkstoff: Inneres Rohr-Thermoplastic-Polymer, doppelter Polyester-Mantel

Max. Betriebsdruck: 50bar

Temperaturbereich: -45°C bis max. +130°C

Anschluss: Lötanschluss metrisch oder Zoll,
Stahl-Zink plattiert oder Rotalock-Anschluss

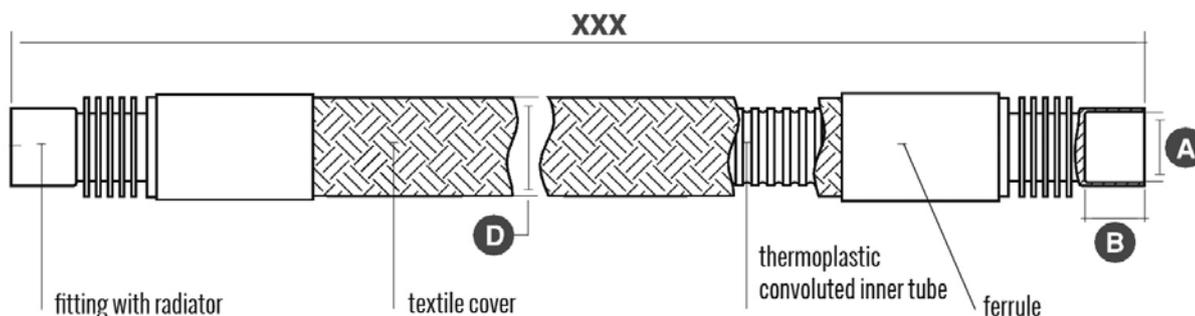


Tabelle 10: Abmessungen flexibler Rohrleitungen nach GOMAX

Artikel-Nr.	DN	Rohr- ausen-Ø	B	D	min. Biegeradius
		A			
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
CA1XXX	15	12	12	24	15
CA2XXX	15	16	15	24	15
CA3XXX	21	18	17	31	30
CA4XXX	21	22	19	31	30
CA5XXX	28	28	24	39	40
CA6XXX	38	35	30	49	80
CA7XXX	38	42	38	49	80
CA8XXX	54	54	48	69	110

- **Schwingungsdämpfer aus Thermoplast-Kunststoff**

Techn. Daten wie unter Pkt. 1.5.

Abmessungen gemäß Tabelle 11.

Lötanschlüsse metrisch oder Zoll.

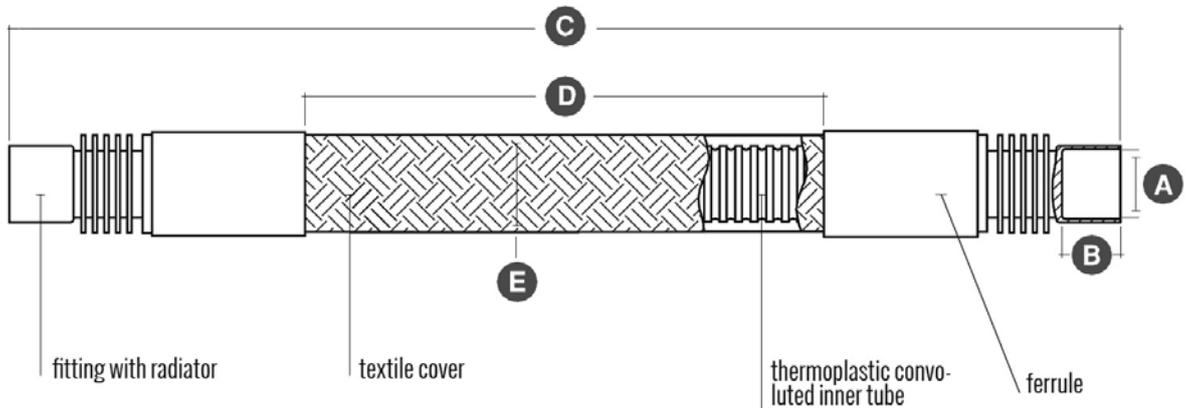


Tabelle 11: Abmessungen von Schwingungsdämpfern nach GOMAX

Artikel-Nr.	DN	Rohr- ausen-Ø A	B	C	D	E	Gewicht
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	
C9M12	15	12	12	332	170	24	0,28
C9M16	15	16	15	340	170	24	0,29
C9M18	21	18	17	397	200	31	0,58
C9M22	21	22	19	401	200	31	0,58
C9M28	28	28	24	499	260	39	0,93
C9M35	38	35	30	559	260	49	1,68
C9M42	38	42	38	577	260	49	1,73
C9M54	54	54	48	635	260	69	3,44



2. Fügeverfahren für Rohrleitungen

Die Tabelle 12 gibt einen Überblick zur Verbindung von Rohrleitungen mit Kältekomponenten.

Tabelle 12: Fügeverfahren in der Kältetechnik:				
Werkstoff Verfahren	Kupfer	Baustahl	Edelstahl	Aluminium ¹⁾
Bördeln	X	X	X	
Löten	X	X	X	X
Schweißen	X ²⁾	X	X	X
Lokring	X	X	X	X
Kleben ¹⁾	X			X

¹⁾ In Produktionsbetrieben
²⁾ Reibschweißen in der Produktion

2.1 Die Bördelverbindung

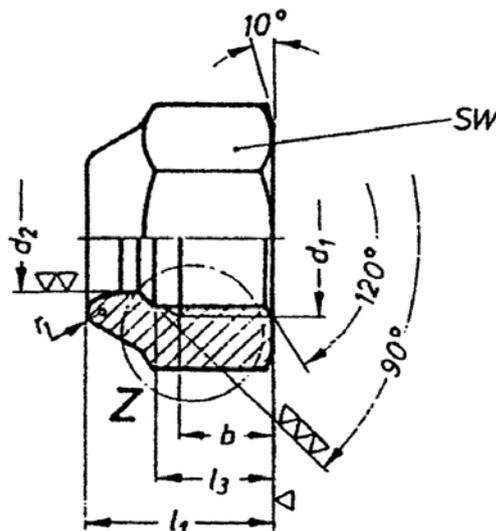
Gemäß EN 278-2 sind Bördelverbindungen bis Rohraußendurchmesser 20mm erlaubt. Die Bördel sind mit den in Tabelle 13 angegebenen Drehmomenten mit einem Drehmomentschlüssel anzuziehen.

Tabelle 13: Anziehdrehmomente nach EN 378-2				
Nenn-Außendurchmesser (nach EN 12735-1 und EN 12735-2)			Mindest- Wanddicke	Anzieh- drehmoment
Metrische Reihe	Maße			
[mm]	[mm]	[in]	[mm]	[Nm]
6			0,80	14 - 18
	6,35	1/4	0,80	14 - 18
	7,94	5/16	0,80	33 - 42
8			0,80	33 - 42
	9,52	3/8	0,80	33 - 42
10			0,80	33 - 42
12			0,80	50 - 62
	12,7	1/2	0,80	50 - 62
15			0,80	63 - 77
	15,88	5/8	0,95	63 - 77
18			1,00	90 - 110
	19,06	3/4	1,15	90 - 110

Anmerkung 1: Bei Bördelverbindungen sollte darauf geachtet werden, dass die Aufweitung die genaue Abmessung hat und dass das Drehmoment zum Anziehen der Mutter nicht zu groß ist. Kaltgehärtete Rohrleitungen sollten nicht gebördelt werden!

Auf eine qualitätsgerechte Ausführung des Bördels mit entsprechendem Bördelgerät ist zu achten, um die Dichtheit und Festigkeit der Verbindung zu gewährleisten. Es sollten nur gepresste Muttern aus Messing gemäß DIN 891 (Bild 1) verwendet werden. Wichtig ist die konische Ausführung am Rohreintritt, um ein Auffrieren (Platzen) der Muttern zu vermeiden.

Bild 1: Bördelmutter nach DIN 891



2.2 Schraubverbindungen für NH₃-Leitungen¹⁾

Obwohl im NH₃-Bereich Rohrleitungen überwiegend verschweißt werden, werden von der Industrie auch Schraubverbindungen angeboten.

- **Bördelverschraubungen**

- Nach DIN 3949 mit O-Ringen oder metallisch dichtend
- Abmessungen: Ø6 bis 22mm
- Werkstoffe: Kaltbiege- und bördelfähige Stahlrohre
- Werkzeuge: Schlagwerkzeuge und Bördelgeräte
- Lieferanten: Eifeler Maschinenbau H. Heinen GmbH,
oder Waterscheid Rohrverbindungstechnik GmbH

- **Klemmring-Verschraubungen Gyrolok oder Swagelok**

Diese Verschraubungen sind in den USA sehr verbreitet und sind den Schneidring-Verschraubungen ähnlich. Sie bestehen aus Verschraubungsstutzen mit konischer Aufnahme, zwei Klemmringen und einer Überwurfmutter.

Lieferanten in Deutschland:

- Gyrolok-Verschraubungen - Hoke GmbH, Frankfurt am Main
- Swagelok- Verschraubungen - B.E.S.T. Ventil+Fitting GmbH, München

¹⁾ Angaben aus BIV-Edition, G. Ahnefeld, ILK Dresden

2.3 Das Löten von Rohrleitungen

2.3.1 Grundbegriffe und Definitionen

Im Gegensatz zum Schweißen schmilzt beim Löten der Grundwerkstoff nicht, sondern nur das Lot, das mit der Oberfläche des Grundwerkstoffes legiert.

- **Lötverfahren**

Hartlöten: Arbeitstemperatur in der Kältetechnik 600 bis 780°C.

Höhere Festigkeit als bei der Weichlötung, Zunderbildung, Schutzgas erforderlich

Weichlöten: Arbeitstemperatur 230 bis 280°C, ca. 25% geringere Zugfestigkeit gegenüber der Hartlötung, keine Zunderbildung.

In der EN 378-2, Pkt. 6.2.3.2 nicht als Fügeverfahren angegeben

- **Arbeitstemperatur**

Nach DIN 8505 die niedrigste Oberflächentemperatur bei der das Lot schmilzt und mit der Oberfläche legiert.

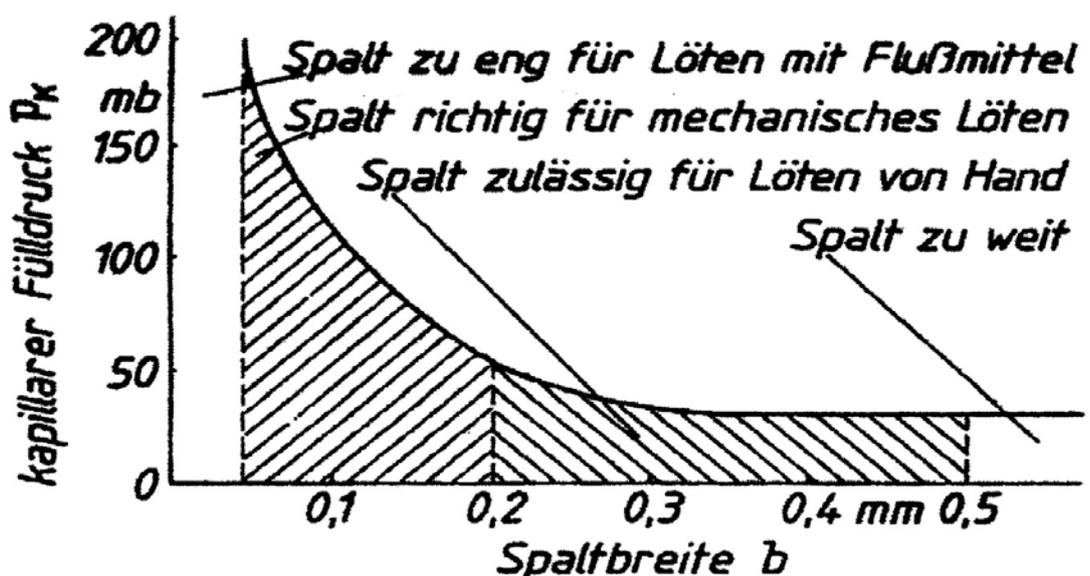
Bei Unterschreitung der Arbeitstemperatur wird nicht der gesamte Lötspalt ausgefüllt, bei Überschreitung "verbrennen" Flussmittel und Lot = vorprogrammierte Leckage.

- **Lötspalt**

Das Verbinden von Rohren mit Fittings oder durch Aufweiten des Rohres erfolgt mittels Kapillarlötung. Dadurch können auch steigende Lötungen ausgeführt werden. Die Spaltbreite sollte bei Rohren $\varnothing 6$ bis 12mm im Bereich 0,05 bis 0,1mm und bei größeren Durchmessern 0,1 bis 0,2mm betragen.

Bei Nichteinhaltung ist keine Kapillarlötung möglich (siehe Bild 2).

Bild 2: Kapillarer Fülldruck in Abhängigkeit der Spaltbreite:



2.3.2 Lote und Flussmittel für Cu-Rohre

In Tabelle 14 sind für die Kältetechnik empfohlene Lote und Flussmittel angegeben.

- **Phosphorhaltige Lote**

- Nicht bei Stahl anwendbar
- Nicht bei stark schwingungsbeanspruchten Rohrabschnitten (z.B. erster Abschnitt der Druckleitung) einsetzen.
- Phosphor macht das Material kaltbrüchig
- Werden von schwefelhaltigen Gasen angegriffen (Abwassereinläufe, Entlüftungsrohre)
- Das Entfernen der Flussmittelreste entfällt

- **Cadmiumhaltige Lote**

- Beim Löten entsteht Cadmiumoxid, das krebserregend ist (TRK=0,015mg/ml). Bei Dauerarbeitsplätzen in Werkstätten sind Absaughauben erforderlich.
- Dürfen nicht für Trinkwasserinstallationen verwendet werden!

- **Flussmittel**

- Sparsam verwenden!
Führen im Kältekreislauf zur Säurebildung, Kupferplattierung und Zerstörung der Motorwicklung.
- Von der Rohroberfläche entfernen, da diese zu Korrosion und damit Leckagen führen.

Tabelle 14: Lote und Flussmittel für die Kältetechnik							
Normbezeichnung nach DIN 8513	Bezeichnung nach Degussa	Lotzusammensetzung in Gewichts-%	Schmelzbereich in °C	Arbeitstemperatur in °C	Flussmittel nach DIN 8511		
L-Cu P 8	Silfos 92	92 Cu / 8 P	710 - 750	710	Flussmittel nach DIN 8511		
L-Cu P 6	Silfos 94	93,8 Cu / 6,2 P	710 - 880	730			
Kupfer-Phosphor-Lote ohne Silberanteil							
L-Ag 15 P	Silfos 15	80 Cu / 15 Ag / 5 P	650 - 800	710	nur erforderlich bei Kupferlegierungen wie Messing, Bronze, Rotguss		
L-Ag 5 P	Silfos 5	89 Cu / 5 Ag / 6 P	650 - 810	710			
Silberhaltige Kupfer-Phosphor-Lote							
L-Ag 44	Degussa 4404*	44 Ag / 30 Cu / 26 Zn	680 - 740	730	F-SH 1 (Braze Tech)		
L-Ag 34 Sn	Degussa 3476	34 Ag / 36 Cu / 3 Sn / 27 Zn	630 - 730	710			
L-Ag 45 Sn	Degussa 4576*	45 Ag / 27 Cu / 3 Sn / 25 Zn	640 - 680	670			
Silberhaltige Hartlote cadmiumfrei							
L-Ag 40 Cd 20	Degussa 4003*	40 Ag / 20 Cd / 19 Cu / 21 Zn	595 - 630	610			
L-Ag 30 Cd 21	Degussa 3003	30 Ag / 21 Cd / 28 Cu / 21 Zn	600 - 690	680			
Cadmiumhaltige Silberhartlote							
L-SnSb 5	Degussa 5	95 Sn / 5 Sb	230 - 240	230	F-SW 21 (Soldaflox 7000)		
Antimonhaltiges Weichlot							
L-SnAg 5		95 Sn / 5 Ag	220 - 240	230			
* Auch flussmittelummantelt erhältlich, z.B. 4404 U							

2.3.3 Lötgeräte und Brenngase

• Lötgeräte mit offener Flamme

Am verbreitetsten sind trag- oder fahrbare Gas-Flaschen-Lötgeräte.

Für kleinere Anlagen oder Kühlmöbel werden auch Gas-Kartuschen-Lötgeräte eingesetzt.

Je nach Lötverfahren und zu lötender Materialstärke kommen zum Einsatz:

- Propan-Ansaugluft-Brenner
- Acetylen-Ansaugluft-Brenner
- Propan-Sauerstoff-Brenner
- Acetylen-Sauerstoff-Brenner

Die Flammentemperatur und damit die Leistungsfähigkeit der Lötgeräte nimmt von oben nach unten zu. Für ein schnelle und gleichmäßige Erwärmung sind Gabel- oder Ringbrenner zu empfehlen.

Sehr vorteilhaft im Handling sind Brenner mit Piezozündung.

• Flammenlose Lötgeräte

Bei Cu-Rohren bis Ø28 kommen auch Widerstandslötgeräte zum Einsatz.

2.3.4 Lötfehler

Fehler beim Löten führen zu ungenügender Festigkeit der Lötstellen und zu Undichten sowie verschmutzten Kältekreisläufen durch Späne, Flussmittel oder Zunder mit den bekannten Folgen.

Mögliche Lötfehler sind:

- Nichtentfernen der Oxidschicht
- Flussmittelmangel (Lötspalt unzureichend gefüllt)
- Flussmittelüberschuss (Flussmittel gelangt in das Rohrinne)
- Falsche Werkstoff-Löt-Paarung, falsches Flussmittel
- Nichteinhalten der Arbeitstemperatur
- Nichteinhalten der Spaltbreite
- Hartlöten ohne Schutzgas (Zunderbildung)

2.3.5 Löten von Rohren aus Stahl, K65 und Aluminium

- **Löten von Stahlrohren**

- Für NH₃ (R717); cadmiumfreie NH₃-beständige Silberlote

Werkstoff	Lot	Flussmittel	Arbeitstemperatur
Baustahl	Hartlot 7291 von Degussa 72% Ag, 28% Zn	F-SH1	730°C
Cr-Ni-Stahl	Hartlot 8500 von Degussa 85% Ag, 15% Zn	F-SH2	850°C

- **Löten von Rohren aus K65**

Phosphorfreie Silberlote (siehe Tabelle 14)

- **Löten von Rohren aus Aluminium**

Es werden Lotringe aus AlSi12 (Al mit 12% Silizium) eingesetzt

- Nicht korrosives Flussmittel verwenden
- Propan- oder Acetylen-Sauerstoffflamme
- Schmelzpunkt des Lotringes: 580°C
- Aluminium nicht überhitzen!

Das Material geht direkt von fest in flüssig über ohne zu glühen.

2.4 Schweißen von Rohren aus Bau- oder Edelstahl

Für das Schweißen von Baustahl können die Verfahren Gas-Schweißen mit Acetylen/Sauerstoff oder Lichtbogen-Handschweißen eingesetzt werden.

Für das Schweißen von Edelstählen wird in erster Linie das WIG-Schweißen (Wolfram-Inertgasschweißen) mit Wolfram-Elektrode und Argon als Schutzgas eingesetzt.

Für druckbeanspruchte Leitungen ist unbedingt eine Rohrschweißerprüfung erforderlich.

Auf die einzelnen Verfahren wird hier nicht weiter eingegangen. Es wird auf das Merkblatt 823 der Informationsstelle "Edelstahl Rostfrei" in Düsseldorf verwiesen.

Auch für das Schweißen von Aluminium-Rohren wird das WIG-Schweißverfahren angewandt.

2.5 Kleben von Rohrleitungen

Rohre aus Kupfer oder Edelstahl können mit kältemittelbeständigen Klebstoffen auf Epoxidharz-Basis geklebt werden. Festigkeit ähnlich dem Hartlöten.

Ein Verbund-Kältesatz wurde bei der Fa. Teko zusammen mit dem ILK Dresden mit Klebverbindungen erprobt.

Das Verfahren sollte auf den Werkstattbereich beschränkt werden (hoher Aufwand für Reinigung der Fügestellen).

2.6 Preß- und Steckverbindungen

2.6.1 LOKRING-Technik für Kältemittelleitungen

- Für Rohraußendurchmesser von 6 bis 35mm
- Komplettes Sortiment an Gerad- und T-Verbindungen sowie Bögen
- Metall/Metall-Verbindung durch axiales Verpressen mit einer Zange (Bild 3)
- Zusätzlich Dichtmittel "LOKPREP" zum Verschließen von Riefen
- Absolute Kältemitteldichtheit
- Betriebsdrücke bis 40bar
- Spezielle Anschlüsse für Hermetikverdichter und Filtertrockner
- Für Rohre aus Kupfer, Stahl und Aluminium

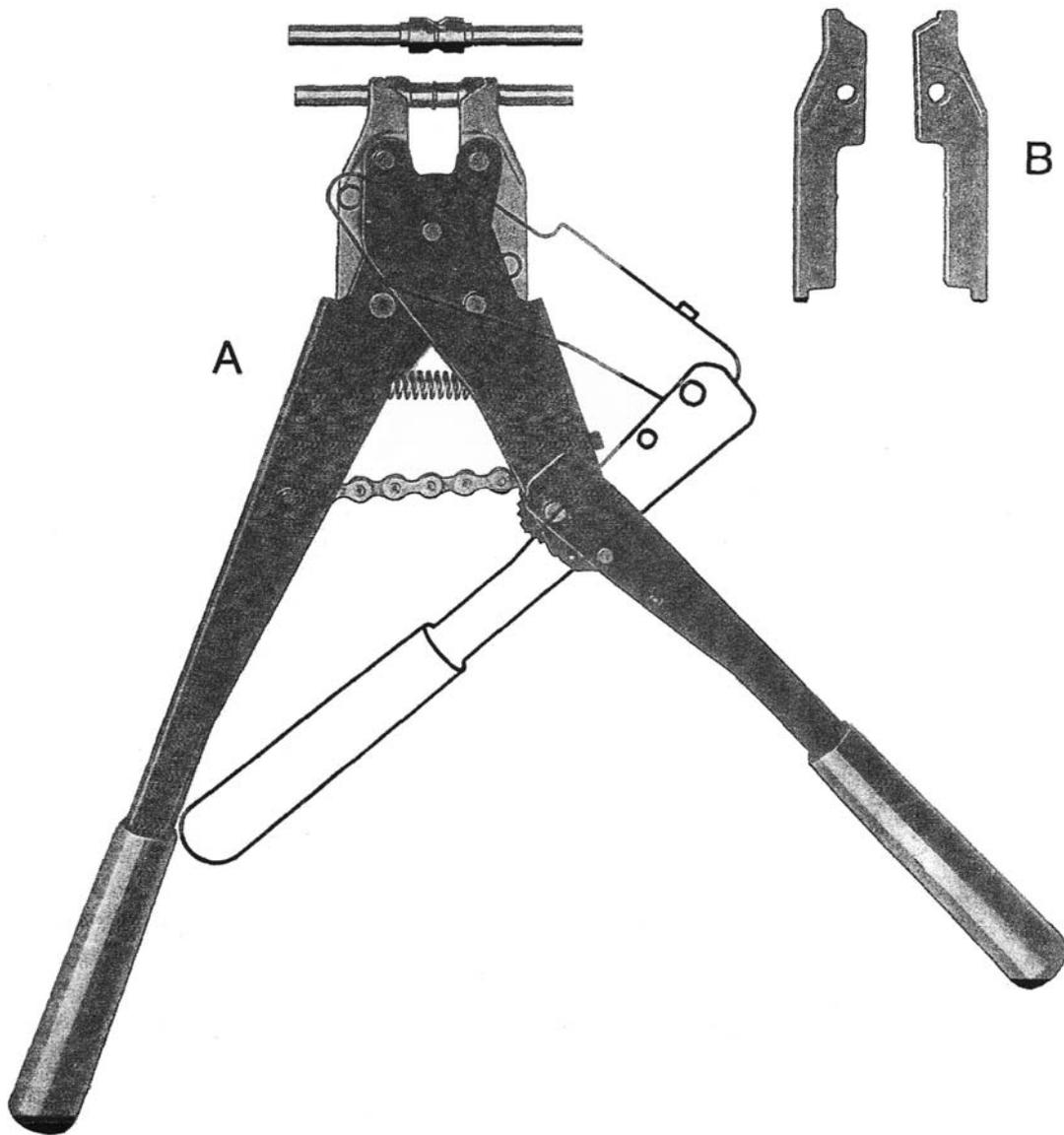
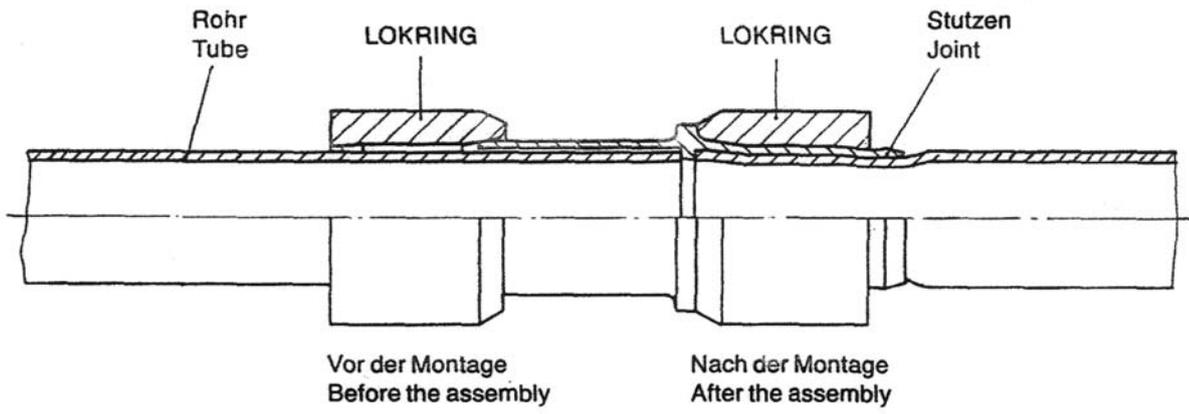
2.6.2 Conex Push-Fit-Steckfittings für wasserführende Rohre

Sichere wieder lösbare Verbindung auch unterschiedlicher Werkstoffe untereinander. Dauerhaft dicht aber nicht fixiert, da sich das Rohr drehen lässt.

Technische Daten und Anwendungsbereiche siehe Tabelle 15.

Tabelle 15: Push-Fit-Steckfittings von Conex/Bänninger				
Technische Daten	Anwendungsbereich			
Verbindungsart	Dauerhaft dichte und zugfeste Verbindungen aus Steckfittings, geprüft nach DVGW-Arbeitsblatt W 534.			
Dichtungsart	Die Dichtheit der Verbindung bewirkt ein Dichtelement aus hochwertigem EPDM (Äthylen-Propylen-Dien-Kautschuk). Dieser Werkstoff ist warmwasser-, chemikalien- und alterungsbeständig. Das Dichtelement entspricht den KTW-Empfehlungen.			
Verwendbare Rohre	Kupfer: nach DIN EN 1057, DVGW GW 392 Edelstahl: nach DIN EN 10088, DVGW GW 541 C-Stahl: nach DIN EN 10305-3 (DIN 2394)			
Abmessungen	DN 10 bis DN 20, Ø 12mm bis Ø 22mm			
Einsatzbereich	Sanitär	Heizung	Regenwasser	Raumkühlung
Betriebs-temperatur	95°C (110°C*)	95°C (110°C*)	30°C	-25°C
Max. Betriebsdruck	6bar	6bar	16bar	10bar
Prüfdruck	16bar / 30°C	16bar / 30°C	16bar / 30°C	16bar / 30°C
* Kurzzeitig für diese Temperatur geeignet				

Bild 3: Lokring-Verbindung und Zange



3. Energetisch optimierte Auslegung von Rohrsystemen

3.1 Rohrleitungsdimensionierung

Zur Auslegung von Kältemittelleitungen stehen dem Anlagenplaner zur Verfügung:

- Rechenprogramme für Rohrleitungen und komplette Rohrnetze
- Tabellen (siehe Anhang) oder Nomogramme
- Formeln für die Nachrechnung von Geschwindigkeiten

Besonders zu beachten ist dabei, dass viele Kälteanlagen auch im Teillastbereich (Verbundschaltungen, Zylinderabschaltungen, Drehzahlregelung u.a.) betrieben werden.

Die Druckabfälle sind dem Quadrat der Kältemittelgeschwindigkeit und damit der Kälteleistung \dot{Q}_0 proportional:

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} \cdot w^2 \sim \dot{Q}_0^2$$

ρ - Dichte des Kältemittels

w - Geschwindigkeit

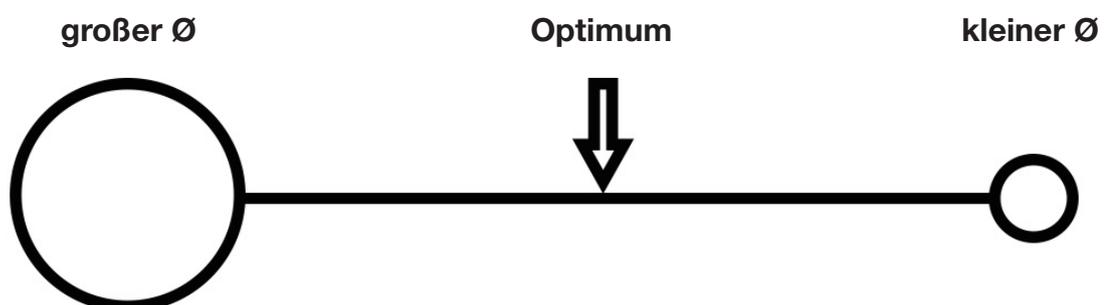
Δp - Druckabfall

d.h. halbe Kälteleistung = halbe Geschwindigkeit

doppelte Geschwindigkeit = 4facher Druckabfall

Andererseits müssen zur Sicherung der Ölrückführung die Mindestgeschwindigkeiten im Teillastbereich eingehalten werden.

Die Auslegung der Rohrleitungen ist somit eine Optimierungsaufgabe, da auch die Investitionskosten beachtet werden müssen.



hohe Investitionskosten
niedrige Geschwindigkeit
schlechterer Öltransport
niedriger Druckabfall
geringe Energiekosten

geringe Investitionskosten
hohe Geschwindigkeit
guter Öltransport
hoher Druckverlust
hohe Energiekosten

3.2 Richtwerte für Geschwindigkeiten und Druckabfälle in Rohrleitungen für F-Gase

Strömungsgeschwindigkeiten bei einem Temperaturabfall von 1-2K:

Flüssigkeitsleitung: $w = 0,8 - 1,0\text{m/s}$

Kondensatleitung: $w = 0,5\text{ m/s}$

Druckleitung: $w = 5 - 14\text{m/s}$

Saugleitung: $w = 5 - 15\text{m/s}$

Ein Temperaturabfall von 1K entspricht je nach Kältemittel und Temperatur einem Druckverlust von 0,1 bis 0,5bar.

Bei sehr großen Kälteleistungen und bei Grenzwerten zur Ölrückführung können diese Werte auch überschritten werden.

Ein Temperaturabfall von 1K in der Saugleitung entspricht im NK-Bereich einer Reduzierung der Kälteleistung um 3-4% und im TK-Bereich um 6 - 8%.

3.3 Mindestgeschwindigkeiten für den Öltransport

Waagerechte Saug- und Druckleitungen: $w = 2 \dots 3\text{m/s}$

Senkrechte Saug- und Druckleitungen: $w = 5 \dots 7\text{m/s}$

Die Mindestgeschwindigkeit in Saugleitungen kann auch über die Jacobs Gleichung berechnet werden:

$$w_{\min} = 0,92 \cdot \frac{\sqrt{g \cdot d \cdot (\rho_{\text{ÖL}} - \rho_{\text{K}})}}{\sqrt{1000 \cdot \rho_{\text{K}}}}$$

w_{\min} = Mindestgeschwindigkeit in m/s

g = Erdbeschleunigung = $9,81\text{m/s}^2$

d = Innendurchmesser in mm

$\rho_{\text{ÖL}}$ = Dichte des Kältemaschinenöls
in Kg/dm^3

ρ_{K} = Dichte des Kältemittels
in Kg/dm^3

Beispiel: R507-Kälteanlage:

$t_0 = -30^\circ\text{C}$

$t_{\text{oh}} = -15^\circ\text{C}$

$d = 32\text{mm}$

$\rho_{\text{ÖL}} = 1,0\text{kg/dm}^3$ für BSE 32

$\rho_{\text{K}} = 0,011\text{kg/dm}^3$ aus $\log p, h$ -Diagramm

$$w_{\min} = 0,92 \cdot \frac{\sqrt{9,81 \cdot 32 \cdot (1,0 - 0,011)}}{\sqrt{1000 \cdot 0,011}} \approx 5,3\text{m/s}$$

Aus der Formel geht hervor:

Je geringer t_0 und je größer d , desto größer muss w_{\min} sein!

3.4 Nachrechnung der Strömungsgeschwindigkeit

Die Geschwindigkeit errechnet sich aus der Kontinuitätsgleichung:

$$\dot{V} = A \cdot w \text{ (m}^3\text{/s)}$$

A = Freier Rohrquerschnitt in m²

w = Geschwindigkeit in m/s

\dot{V} = Volumenstrom in m³/s

... und dem Massenstrom des Verdichters $\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho$ (kg/s) aus der Software des Verdichterherstellers:

$$w = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot A}$$

Beispiel:

Kälteleistung $\dot{Q}_0 = 15\text{kW}$

$t_0 = -40^\circ\text{C}$

$t_k = +45^\circ\text{C}$

$t_{\text{oh}} = -20^\circ\text{C}$

$\dot{m} = 0,17\text{kg/s}$

Kältemittel R507

Saugleitungs- $\emptyset = 54 \times 2\text{mm} \triangleq A = 0,001963\text{m}^2$ aus Rohrleitungstabelle

ρ aus Logp,h-Diagramm

$$w = \frac{0,17\text{kg/s}}{7,14\text{kg/m}^3 \cdot 0,001963\text{m}^2} = 12,13\text{m/s}$$

Die Geschwindigkeit ist optimal. Bei einer Teillast von 33% würde $w = 4,0\text{m/s}$, d.h. in einer Steigleitung bestehen Probleme in der Ölrückführung.

Lösung:

- Steigleitung reduzieren auf $\emptyset 42 \times 1,5$ (erhöhter Druckabfall bei Volllast)
- Oder Doppelsteigleitung $\emptyset 42 \times 1,5 = 0,001195\text{m}^2$
und $\emptyset 35 \times 1,5 = \frac{0,000804\text{m}^2}{0,001999\text{m}^2}$

3.5 Druckverluste in Flüssigkeitsleitungen und erforderliche Unterkühlung

Zum Druckverlust in steigenden Flüssigkeitsleitungen durch die Strömung des Kältemittels muss unbedingt die statische Druckdifferenz durch den Höhenunterschied addiert werden:

$$\Delta p = g \cdot \rho \cdot h \quad [\text{Pa}]$$

g = Erdbeschleunigung $9,81\text{m/s}^2$

ρ = Dichte des Kältemittels in kg/m^3

h = Höhendifferenz in m

Zum Vergleich:

$10\text{mWs} \triangleq 1\text{bar}$

Um eine Dampfblasenbildung in Flüssigkeitsleitungen zu vermeiden, muss bei größeren Steighöhen das Kältemittel unterkühlt werden. Die folgende Tabelle gibt Anhaltswerte für die erforderliche Unterkühlung

Höhenunterschied h (m)		2	4	6	10	15
R134a	Druckverlust Δp (bar)	0,25	0,50	0,70	1,30	1,85
	Unterkühlung Δt (K)	1,30	2,60	4,20	7,40	11,50
R507	Druckverlust Δp (bar)	0,22	0,45	0,65	1,20	1,65
R404A	Unterkühlung Δt (K)	0,80	1,60	2,20	4,30	6,00

Bei dem Druckabfall wurde der Anteil durch Rohrreibung berücksichtigt.

4. Schäden in Rohrleitungssystemen

4.1 Schäden durch Längendifferenzen bei großen Temperaturdifferenzen

Lange gerade Rohrleitungsabschnitte führen bei großen Temperaturdifferenzen zu beträchtlichen Längenänderungen von Cu-Rohren, die Verformungen und Risse hervorrufen können.

Der Materialausdehnungskoeffizient von Cu-Rohren beträgt:

$$\lambda = 0,0165\text{mm/mK}$$

Dazu ein Beispiel:

Gegeben: Gerade Saugleitungslänge $L = 30\text{m}$, $t_o = -40^\circ\text{C}$, $t_R = +25^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned}\text{Längenänderung } \Delta L &= \lambda \cdot L \cdot \Delta t \\ &= 0,0165\text{mm/m} \cdot 30\text{m} \cdot 65\text{K} \approx 32,2\text{mm}\end{aligned}$$

Bei einer Heißgasabtauung wird diese Längenänderung noch wesentlich größer sein.

Abhilfe:

- Elastische Befestigung der Rohrleitung
- Eventuell Ausgleichsbögen anbringen

4.2 Schäden durch Schwingungen und Pulsationen

4.2.1 Schwingungen und Pulsationen durch Verdichter

Verdichter erzeugen mechanische Schwingungen (unter 16Hz, nicht hörbar) durch freie Kräfte aus Momenten, die auf die Rohrleitungen übertragen werden.

Zusätzlich entstehen durch den diskontinuierlichen Ausstoßbetrieb insbesondere bei Kolbenverdichtern Gaspulsationen.

Besonders Einzylinder-Hubkolbenverdichter und 2-stufige Verdichter erzeugen große Amplituden.

Die Grundfrequenz der Anregung ergibt sich dabei aus:

$$f = \frac{n}{60} \cdot z \cdot i \quad (\text{Hz})$$

n = Drehzahl in min^{-1}

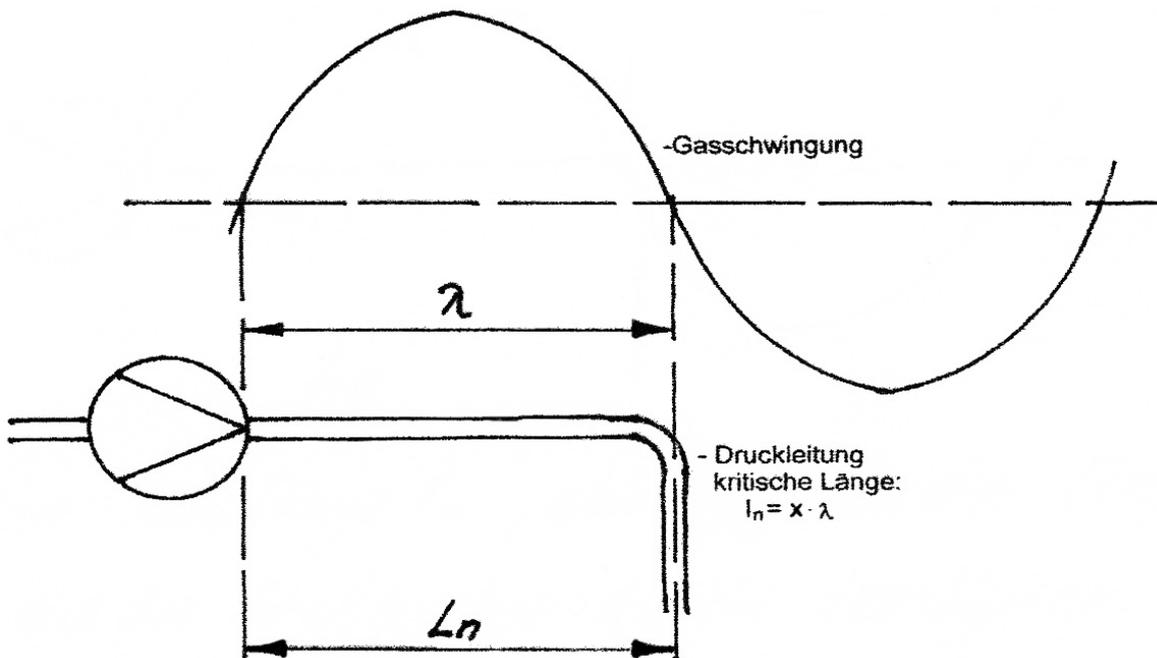
z = Zylinderanzahl

i = ganzzahliges Vielfaches
(harmonische Erregung)

Unterscheidung:

Wird durch leichtes Drosseln des Druckabsperrentiles am Verdichter der Lauf ruhiger, und die Rohrleitungsschwingungen nehmen ab, handelt es sich eindeutig um Gas pulsation.

Besonders kritisch ist der Resonanzfall, d.h. die Wellenlänge der Erregerfrequenz ist gleich der ersten geraden Rohrlänge der Druckleitung. Dann "schaukelt" sich die Schwingung immer mehr auf, bis die Rohrleitung abreißt.



Die kritische Rohrlänge L_n ist von der Anschubfrequenz des Verdichters und der Schallgeschwindigkeit des Kältemittels abhängig:

$$L_n = \frac{a}{2 \cdot m \cdot f} \text{ [m]}$$

$$a = \sqrt{K \cdot R \cdot T}$$

$$f = \frac{n \cdot z}{60} \text{ [Hz]}$$

a = Schallgeschwindigkeit in m/s

K = Isentropenexponent

R = spez. Gaskonstante in J/kg · K

T = absol. Temperatur in K

f = Ausschubfrequenz in Hz

n = Drehzahl in min^{-1}

z = Zylinderanzahl

m = Ordnungszahl abhängig von Zylinderzahl

Schwingungen und Pulsationen führen zu Rohrleitungsrissen und Kältemittelverlust, sowie Schallausbreitung im Baukörper und müssen vermieden bzw. reduziert werden.

Tabelle 16 gibt einen Überblick über Rohrleitungsschwingungen und deren Bekämpfung.

Tabelle 16: Rohrleitungsschwingungen			
Art der Schwingung	Erreger	Probleme Folgen	Dämmung Vermeidung
Mechanische Schwingung	Verdichter, Pumpen, Ventilatoren, kritische Frequenzen bei Drehzahlregelung	Rohrleitungs- vibrationen, Rohrbrisse, undichte Lötstellen, Leckagen an luftgekühlten Verflüssigern, Kältemittelverlust	Schwingungsdämpfer, flexible Rohrleitungen, massive Maschinenrahmen, kritische Frequenzen an FU ausblenden
Schwingung von Gassäulen	Pulsation durch Verdichtungsprozesse, Zu große Rückschlagventile Strömungsabrisse durch scharfe Kanten und Umlenkungen, zu kleine Rohrquerschnitte	Rohrrisse, Kältemittelverlust, Geräuschentwicklung	Muffler, Drosselblenden, richtige Dimensionierung von RV und Rohrleitungen (Danven-Programm), Vermeidung zu hoher Verflüssigungsdrücke

Hinweise:

- Gaspulsationen sind in erster Linie von der Zylinderanzahl und dem Verflüssigungsdruck abhängig (Schwerpunkt sind 2-stufige Verdichter).
- Faustformel für Schwingungsabbau im Maschinenrahmen:
Rahmengewicht \approx Gewicht der Verdichter.
Bei zu leichtem Rahmen kann die Anbringung einer Stahlplatte Abhilfe schaffen.
- Das Drosseln des Gasstromes am Druckabsperrenteil des Verdichters gibt Aufschluss, ob es sich um mechanische- oder Gas-Schwingungen handelt.
- Die Drosselblenden, zum Beispiel in Dorin-Verdichtern erzeugen Druckabfälle von 0,5 bis 1,0bar.
- Kritische Rohrschwingungen können mit einem Schwingungsmessgerät festgestellt werden (die zulässige Schwingungsgeschwindigkeit beträgt 15 bis 30mm/s).

Schwingungsdämpfung:

Die Übertragung von Schwingungen (Körperschall) auf Fundamente und den Baukörper lässt sich durch geeignete Maschinenrahmen und deren Aufstellung auf Schwingungsdämpfern vermeiden bzw. reduzieren.

Als Faustformel für Grundrahmen von Verbundsätzen gilt:

Rahmengewicht = Gewicht aller Verdichter

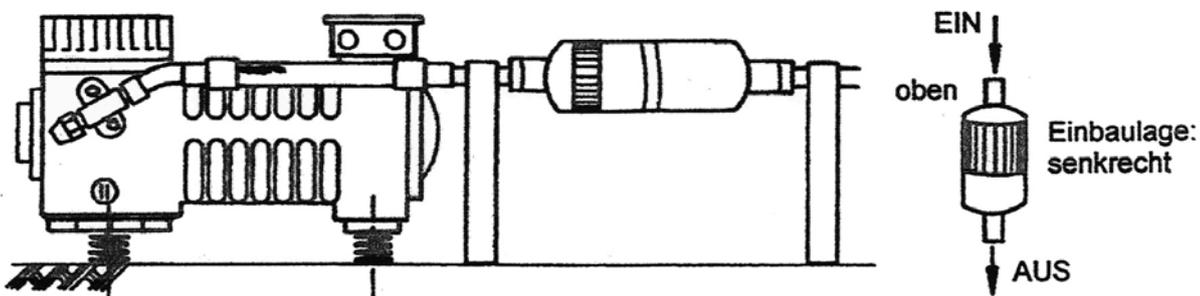
Mechanische Schwingungen - Schwingungsdämpfer
(flexible Wellrohre oder Kunststoff-Schläuche)

Schwingungsdämpfer nicht in axialer Richtung belasten, notfalls zwei Schwingungsdämpfer um 90° versetzt anordnen!

Gaspulsation - Pulsationsdämpfer (Muffler), auch einstellbar
- Drosselblenden

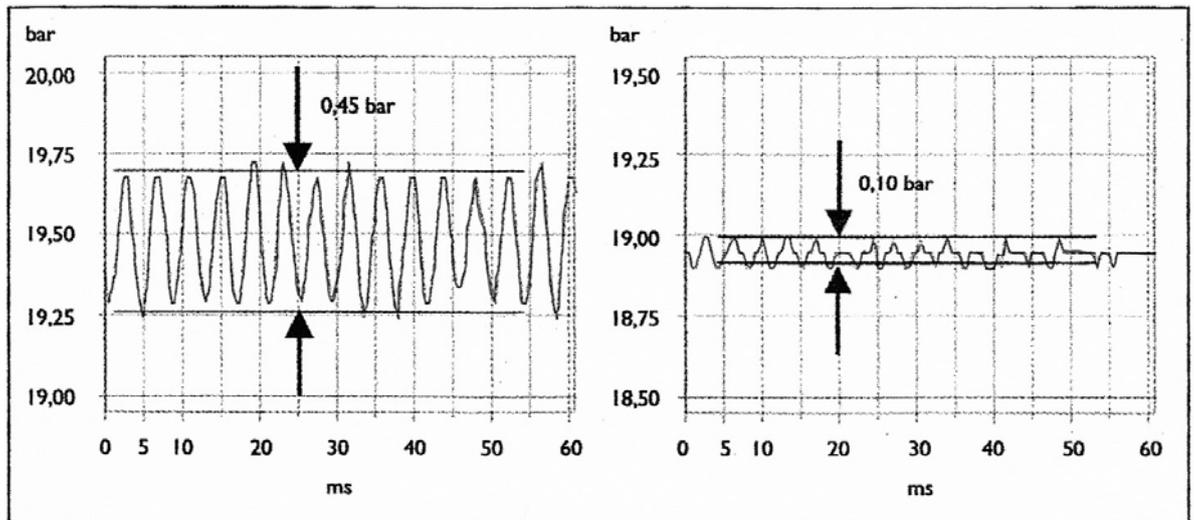
Auf richtige Befestigung und Anordnung achten! (siehe Bild 4)

Bild 4: Richtige Montage von Pulsationsdämpfern:



- Schalldämpfer unmittelbar nach Schwingungsdämpfer montieren
- Schalldämpfer am Ein- und Ausgang durch genügend breite Stützen befestigen (Laschenbreite ca. 2x Rohrdurchmesser).
- Schalldämpfer waagrecht oder senkrecht nach unten in Druckleitung einbauen, damit abgeschiedenes Öl nicht zum Verdichter zurücklaufen kann.

Bild 5: Wirkung eines Pulsationsdämpfers



Druckpulsation ohne/mit Muffler

Beispiel für R-404, -10°C / 45°C

Nach Bitzer

4.2.2 Pulsieren und Takten von Ventilen

• Rückschlagventile

Rückschlagventile in Druckleitungen von Verdichtern müssen unter Beachtung der Betriebsbedingungen und der minimalen Teillast ausgelegt werden.

Zu groß ausgelegte Rückschlagventile führen zu taktenden Geräuschen (Klopfen, Pfeifen), die sich als Luftschall und Körperschall im Rohrsystem ausbreiten.

Typische Schadensfälle:

- Zerstörung der Ventilsitze und Rückschlagplatten
- Schwingungsbrüche in der Rohrleitungen

Ursachenbehebung:

- Kleinere Ventile einbauen
- Einbau von Ventilen mit verstärkter Feder

Als Faustformel gilt:

Ventilgröße mindestens eine Dimension kleiner als die richtig dimensionierte Druckleitung. Es ist besser ein Auslegungsprogramm zu benutzen.

4.2.3 Pulsieren von servogesteuerten Magnetventilen

Servogesteuerte Magnetventile für Kältemittel benötigen eine Druckdifferenz zum Öffnen des Ventiles, da die Kraft der Magnetspule nicht ausreicht.

Der minimale Öffnungsdifferenzdruck beträgt je nach Hersteller 0,05bar, bei großen Ventilen bis zu 0,2bar.

Die Standardauslegung der Ventile in den Herstellerkatalogen liegt bei 0,15bar.

Bei der Ventilauslegung ist unbedingt die Teillast zu beachten!

Es gilt: Die Druckdifferenz Δp ist dem Quadrat des Volumenstromes und damit der Kälteleistung \dot{Q}_0 proportional:

$$\Delta p_B = \Delta p_N \cdot \left(\frac{\dot{Q}_{0B}}{\dot{Q}_{0N}} \right)^2$$

d.h. bei 50% Kälteleistung beträgt die Öffnungsdruckdifferenz nur 25%.

Bei Standardauslegung von 0,15bar sind das nur 0,0375bar.

Das Ventil öffnet nicht oder pulsiert mit den bekannten Folgen.

Abhilfe:

- Bei geringer Unterschreitung von Δp ein kleineres Magnetventil einsetzen = größerer Druckabfall und Energiebedarf.
- Zwei Magnetventile parallel einsetzen, z.B. 30 / 70%.
- Einsatz zwangsservogesteuerter Magnetventile

4.2.4 Schwingungen von themostatischen Expansionsventilen bei extremer Unterkühlung des Kältemittels

Durch starke Unterkühlung des Kältemittels kann ein beträchtlicher Kältegewinn einer Anlage erzielt werden. Bei der Auslegung der Anlage muss aber gesichert werden, dass am Austritt des Expansionsventiles je nach Fabrikat 15 bis 30% Dampfanteil entstehen.

Ist der Anteil zu klein, wird zwischen Ventilkegel und -sitz nur ein enger Ringspalt freigegeben, den das Kältemittel mit hoher Geschwindigkeit passiert.

Folge:

- Starke Vibrationen, die Kegel und Sitz des Ventiles zerstören
- Starke Schwingungen der Anschlußleitungen, besonders bei zu großer Ventilauslegung, Rohrleitungsbrüche

Abhilfe:

- Unterkühlung verkleinern
- Richtige Ventilauslegung
- Einsatz von elektronischen pulsbreitenmodulierenden Ventilen

4.3 Schäden durch beschleunigte Flüssigkeiten

In Flüssigkeitsleitungen von Kälteanlagen können schlagartige, extreme Drucksteigerungen durch plötzliche Verzögerung beschleunigter Flüssigkeiten auftreten, die als Druckstoß oder hydraulischer Stoß bezeichnet werden.

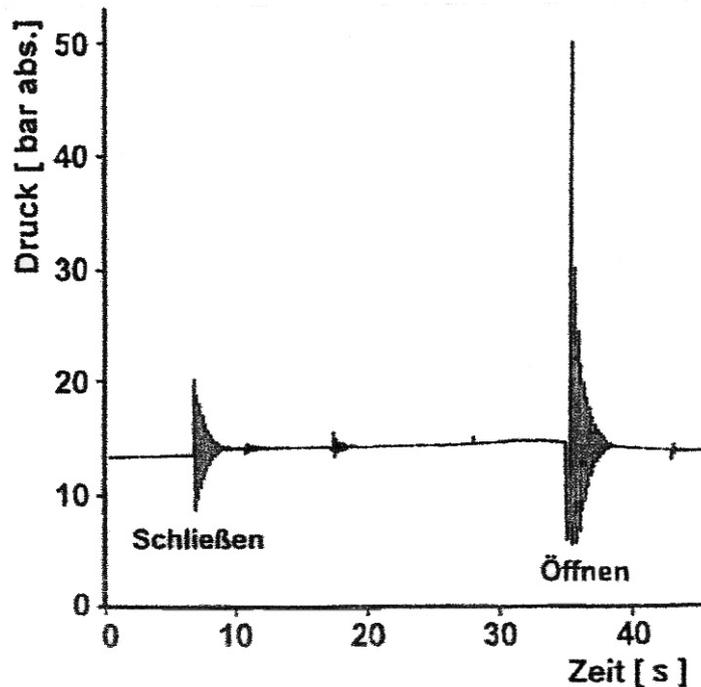
Ein typischer Fall ist das Aufprallen der Flüssigkeitssäule auf das Expansionsventil nach dem Öffnen des Magnetventiles.

Die ausgelösten Druckwellen breiten sich etwa mit Schallgeschwindigkeit in der Rohrleitung aus.

Die erreichbare Geschwindigkeit ist nahezu proportional der Laufstrecke zwischen Magnetventil und Expansionsventil.

Auch beim Schließen des Magnetventils entsteht eine Druckwelle.

Bild 6: Druckstöße in der Flüssigkeitsleitung, direkt vor dem Trockner gemessen
nach D. Korn / Danfoss in KI 10/2000, S. 486



Einen wesentlichen Einfluss auf den Druckstoß hat auch die starke Unterkühlung des Kältemittels. Bei geringerer Unterkühlung kann sich bei der Beschleunigung des Kältemittels eher Drosseldampf mit dämpfender Wirkung bilden.

Schäden durch Druckstöße:

- Rohrleitungsrisse
- Risse an Filtertrockner-Gehäusen, Wärmetauschern zur Unterkühlung
- Schäden an Magnetventilen und Expansionsventilen

Abhilfe:

- Abstand zwischen Magnetventil und Expansionsventil so klein wie möglich halten
- Überdimensionierung von Armaturen vermeiden
- Druckausgleich über Bypass-Magnetventil und Zeitrelais
- Bildung von Flüssigkeitssäcken in Dampfleitungen vermeiden

4.4 Brüche durch eingeschlossenes Kältemittel

Wird flüssiges Kältemittel in Rohrleitungen oder Behältern eingeschlossen, so kommt es bei Wärmeeinfall aus der Umgebung zu unzulässigen Drucksteigerungen, die zur Zerstörung des Materials führen können.

Die Drucksteigerung erfolgt durch die Ausdehnung der eingeschlossenen Flüssigkeit wesentlich schneller und stärker als die Erhöhung des Dampfdruckes.

Der Druckanstieg kann über die Volumenausdehnung und die Kompressibilität der Flüssigkeit berechnet werden.

Beispiel:

R134a wird in einem Abschnitt der Flüssigkeitsleitung abgesperrt

Verflüssigungstemperatur $t_c = +30^\circ\text{C}$

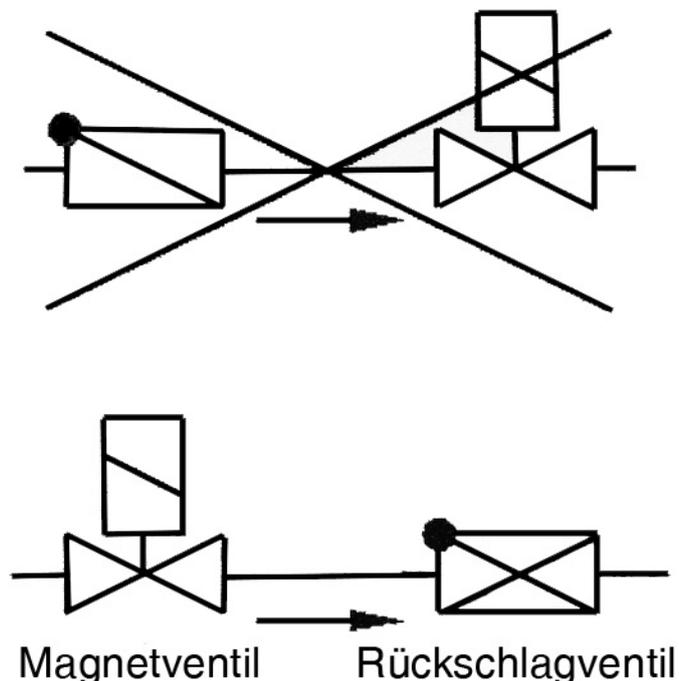
Erwärmung des Kältemittels durch Sonneneinstrahlung auf $+35^\circ\text{C}$

Die Drucksteigerung Δp beträgt 33bar!

Abhilfe:

- Kältemittelsammler die ein- und ausgangsseitig mit Absperrorganen versehen sind (auch Rückschlagventile zählen dazu), müssen unabhängig von der Größe nach EN 378 mit einem Sicherheits- oder Überstromventil gesichert werden.
- Das gilt auch für Rohrleitungsabschnitte von Flüssigkeitsleitungen, z.B. bei falscher Einbaureihenfolge von Rückschlag- und Magnetventil (siehe Bild 7)

Bild 7: Einbaureihenfolge in einer Flüssigkeitsleitung



4.5 Rohrleitungsschäden durch Korrosion

Durch die vielfältigen Formen von chemischen und elektrochemischen Korrosionsvorgängen werden Schäden an Rohrleitungen und damit Kältemittelverluste hervorgerufen.

Erinnert sei nur an die Zerstörung von Cu-Rohren durch Essigsäure aus Marinaden und Salaten.

Im Rahmen dieses Vortrages kann auf dieses Thema nicht weiter eingegangen werden.

Kältemittel R 404A / R 507

Saugleitung

t_0 [°C]	+5					±0					-5					-10					-30														
\dot{Q}_0	gleichwertige Rohrlänge [m]																																		
[W]	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50					
800	10	10	12	12	12	10	12	12	12	12	10	12	12	12	12	10	12	12	12	12	12	16	12	12	12	12	12	16	16	16	16	16			
1000	10	12	12	12	12	10	12	12	12	12	12	12	12	12	16	12	12	12	12	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	18		
1.200	10	12	12	12	16	12	12	12	16	16	12	12	16	16	16	12	12	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	18	18	18	18		
1.500	12	12	16	16	16	12	16	16	16	16	12	16	16	16	16	12	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	18	18	22	22	22		
2.000	12	16	16	16	16	12	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	18	18	22	22	22		
2.500	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	18	18	22	22	28	
3.000	16	16	16	18	18	16	16	16	18	18	16	18	18	18	22	16	18	18	18	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	28	28		
4.500	16	18	18	22	22	16	18	22	22	22	18	22	22	22	22	18	22	22	22	22	18	22	22	22	22	22	22	22	22	22	28	28	28	28	
6.000	18	18	22	22	22	18	22	22	22	22	18	22	22	22	28	22	22	22	28	28	22	22	22	28	28	28	28	28	28	28	35	35	35		
8.000	18	22	22	28	28	22	22	22	28	28	22	22	28	28	28	22	28	28	28	28	22	28	28	28	28	28	28	28	35	35	35	35	35		
10.000	22	22	28	28	28	22	28	28	28	28	22	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	35	35	35	35	42	
12.000	22	28	28	28	28	22	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	35	35	42	42	42	
15.000	28	28	28	28	35	28	28	28	35	35	28	28	35	35	35	28	35	35	35	35	28	35	35	35	35	35	35	35	35	35	42	42	42	54	
20.000	28	28	35	35	35	28	35	35	35	35	28	35	35	35	42	35	35	35	42	42	35	35	35	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	54	
25.000	28	35	35	35	42	28	35	35	42	42	35	35	42	42	42	35	35	42	42	42	35	35	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	54	
30.000	35	35	35	42	42	35	35	42	42	42	35	42	42	42	42	35	42	42	42	42	35	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	54
45.000	35	42	42	54	54	42	42	42	54	54	42	42	54	54	42	42	54	54	54	42	42	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
60.000	42	42	54	54	54	42	54	54	54	54	42	54	54	54	42	54	54	54	54	42	42	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
80.000	42	54	54	54	64	54	54	54	54	54	42	54	54	64	64	54	54	64	64	64	54	54	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
100.000	54	54	54	64	64	54	54	64	64	64	54	64	64	64	76	64	64	64	76	76	64	64	64	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	

Flüssigkeitsleitung

\dot{Q}_0	Rohrlänge [m]					
[W]	10	20	30	40	50	*)
800	6	6	8	8	8	8
1.000	6	8	8	8	8	8
1.200	6	8	8	8	8	10
1.500	8	8	8	8	8	10
2.000	8	8	8	10	10	10
2.500	8	10	10	10	10	10
3.000	10	10	10	10	10	12
4.500	10	10	12	12	12	12
6.000	12	12	12	12	12	16
8.000	12	12	12	16	16	16
10.000	12	12	16	16	16	18
12.000	16	16	16	16	16	18
15.000	16	16	16	18	18	22
20.000	18	18	18	18	22	28
25.000	18	18	18	22	22	28
30.000	22	22	22	22	22	28
45.000	22	22	28	28	28	35
60.000	28	28	28	28	28	42
80.000	28	28	35	35	35	54
100.000	35	35	35	35	35	54

Druckleitung

\dot{Q}_0	Rohrlänge [m]				
[W]	10	20	30	40	50
800	8	10	10	10	10
1.000	10	10	10	10	10
1.200	10	10	10	12	12
1.500	10	10	12	12	12
2.000	10	12	12	12	12
2.500	12	12	12	12	16
3.000	12	12	16	16	16
4.500	12	16	16	16	16
6.000	16	16	16	18	18
8.000	16	16	18	18	18
10.000	16	18	18	22	22
12.000	18	18	22	22	22
15.000	18	22	22	22	28
20.000	22	22	28	28	28
25.000	22	28	28	28	28
30.000	22	28	28	28	35
45.000	28	28	35	35	35
60.000	28	35	35	42	42
80.000	35	35	42	42	42
100.000	35	42	42	54	54

*) Leitungsquerschnitt für Kondensatleitungen

Kältemittel R 134a

Saugleitung

t_0 [°C]	+5					±0					-5					-10					-30					
\dot{Q}_0 [W]	gleichwertige Rohrlänge [m]																									
	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	
800	10	12	12	12	12	12	12	12	12	16	12	12	12	16	16	12	12	16	16	16	16	16	16	18	18	22
1000	12	12	12	16	16	12	16	16	16	16	12	16	16	16	16	12	16	16	16	16	16	16	18	18	22	22
1.200	12	12	16	16	16	12	16	16	16	16	12	16	16	16	16	16	16	16	18	18	18	18	22	22	22	28
1.500	12	16	16	16	16	16	16	16	16	18	16	16	16	18	18	16	16	18	18	18	18	22	22	22	22	28
2.000	16	16	16	18	18	16	16	18	18	18	16	18	18	18	22	16	18	22	22	22	22	22	22	28	28	28
2.500	16	16	18	18	22	16	18	18	18	18	22	16	18	22	22	18	22	22	22	22	22	22	28	28	28	28
3.000	16	18	18	22	22	16	18	22	22	22	18	22	22	22	18	22	22	22	22	22	22	28	28	28	28	35
4.500	18	22	22	22	28	18	22	22	22	28	22	22	28	28	28	28	28	28	28	28	28	35	35	35	35	35
6.000	22	22	28	28	28	22	22	28	28	28	22	28	28	28	28	28	28	28	35	35	35	35	35	42	42	42
8.000	22	28	28	28	35	22	28	28	28	35	28	28	28	35	35	28	28	35	35	35	35	35	42	42	42	42
10.000	28	28	28	28	35	28	28	28	28	35	28	28	35	35	35	28	35	35	42	42	42	42	42	42	54	54
12.000	28	28	35	35	35	28	28	35	35	35	28	35	35	35	42	35	35	35	42	42	42	42	42	54	54	54
15.000	28	35	35	35	42	28	35	35	35	42	35	35	35	42	42	35	35	42	42	42	42	54	54	54	54	54
20.000	35	35	42	42	42	35	35	42	42	42	35	42	42	42	42	42	42	54	54	54	54	54	54	64	64	64
25.000	35	42	42	42	54	35	42	42	42	54	42	42	42	54	54	42	42	54	54	54	64	64	64	64	64	64
30.000	42	42	42	54	54	42	42	42	54	54	42	42	54	54	54	54	54	54	54	64	64	64	64	64	76	76
45.000	42	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	64	64	64	64	64	64	64	76	76	76	76	89	89
60.000	54	54	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	76	76	89	89	89	89	89
80.000	54	64	64	64	64	64	64	64	64	76	64	64	64	76	76	76	76	76	76	76	89	89	89	108	108	108
100.000	64	64	64	76	76	64	64	76	76	76	76	76	76	76	76	76	89	89	89	89	89	108	108	108	108	108

Flüssigkeitsleitung

\dot{Q}_0 [W]	Rohrlänge [m]					
	10	20	30	40	50	*)
800	6	6	6	8	8	8
1.000	6	6	8	8	8	8
1.200	6	8	8	8	8	8
1.500	8	8	8	8	8	10
2.000	8	8	8	8	10	10
2.500	8	8	8	10	10	10
3.000	8	10	10	10	10	12
4.500	10	10	10	12	12	12
6.000	10	10	12	12	12	16
8.000	10	12	12	12	16	16
10.000	12	12	12	16	16	16
12.000	12	16	16	16	16	18
15.000	12	16	16	16	18	18
20.000	16	16	16	18	18	22
25.000	16	18	18	22	22	22
30.000	16	18	22	22	22	28
45.000	18	22	28	28	28	35
60.000	22	28	28	28	28	35
80.000	28	28	35	35	35	42
100.000	28	35	35	35	35	54

Druckleitung

\dot{Q}_0 [W]	Rohrlänge [m]				
	10	20	30	40	50
800	8	10	10	10	12
1.000	10	10	12	12	12
1.200	10	12	12	12	12
1.500	10	12	12	12	12
2.000	12	12	12	16	16
2.500	12	12	16	16	16
3.000	12	16	16	16	16
4.500	16	16	16	18	18
6.000	16	16	18	18	22
8.000	16	18	22	22	22
10.000	18	22	22	22	28
12.000	18	22	22	28	28
15.000	22	22	28	28	28
20.000	22	28	28	28	35
25.000	28	28	28	35	35
30.000	28	28	35	35	35
45.000	35	35	42	42	42
60.000	35	42	42	42	42
80.000	42	42	54	54	54
100.000	42	54	54	54	54

*) Leitungsquerschnitt für Kondensatleitungen

Kältemittel R 407C

Saugleitung

t_0 [°C]	+5					±0					-5					-10					-30														
\dot{Q}_0	gleichwertige Rohrlänge [m]																																		
[W]	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50					
800	10	10	10	12	12	10	10	12	12	12	10	12	12	12	12	10	12	12	12	12	10	12	12	12	12	10	12	12	12	12	16	16	16	16	16
1000	10	10	12	12	12	10	12	12	12	12	10	12	12	12	16	12	12	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	18
1.200	10	12	12	12	12	10	12	12	16	16	12	12	16	16	16	12	12	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	18	18	
1.500	10	12	12	12	16	12	12	16	16	16	12	16	16	16	16	12	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	18	18	18	22
2.000	12	12	16	16	16	12	16	16	16	16	12	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	18	18	22	22
2.500	12	16	16	16	16	12	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	18	18	22	22
3.000	12	16	16	16	16	16	16	16	18	18	16	16	18	18	22	16	18	18	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	28	28	
4.500	16	18	18	18	18	16	18	18	22	22	16	18	22	22	22	18	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
6.000	16	18	22	22	22	18	22	22	22	22	18	22	22	22	28	22	22	22	28	22	22	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	35	35	35
8.000	18	22	22	22	22	18	22	22	28	28	22	22	28	28	28	22	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
10.000	18	22	22	28	28	22	22	28	28	28	22	22	28	28	28	22	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
12.000	22	22	28	28	28	22	22	28	28	28	22	22	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
15.000	22	28	28	28	28	28	28	28	35	35	28	28	35	35	35	28	35	35	35	35	28	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
20.000	28	28	28	35	35	28	28	35	35	35	28	35	35	35	42	35	35	35	42	35	35	35	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
25.000	28	28	35	35	35	28	35	35	35	42	35	35	42	42	42	35	35	42	42	42	35	35	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
30.000	28	35	35	35	42	35	35	35	42	42	35	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
45.000	35	35	42	42	42	35	42	42	42	54	42	42	54	54	54	42	54	54	54	54	42	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
60.000	35	42	42	54	54	42	54	54	54	54	42	54	54	54	54	42	54	54	54	54	42	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
80.000	42	54	54	54	54	54	54	54	54	64	54	54	64	64	64	54	64	64	64	64	54	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
100.000	54	54	54	64	64	54	64	64	64	64	54	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64

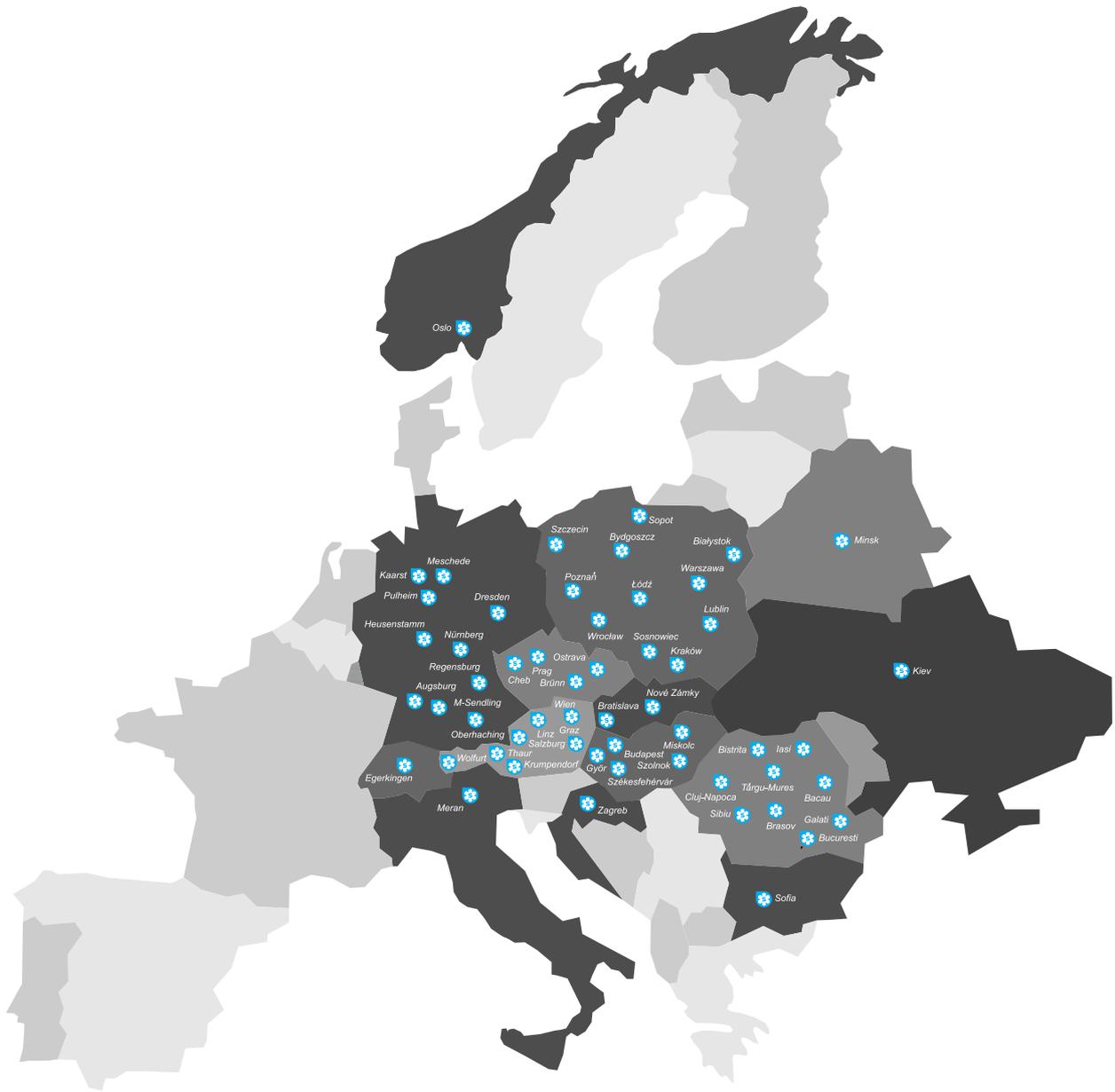
Flüssigkeitsleitung

\dot{Q}_0	Rohrlänge [m]					
[W]	10	20	30	40	50	*)
800	6	6	6	6	8	8
1.000	6	6	6	8	8	8
1.200	6	6	8	8	8	10
1.500	6	8	8	8	8	10
2.000	8	8	8	8	8	10
2.500	8	8	8	8	10	10
3.000	8	8	10	10	10	10
4.500	10	10	10	10	10	12
6.000	10	10	10	10	12	16
8.000	10	10	12	12	12	16
10.000	12	12	12	12	12	18
12.000	12	12	12	16	16	18
15.000	12	12	16	16	16	22
20.000	16	16	16	16	16	28
25.000	16	16	16	16	18	28
30.000	16	16	18	18	18	28
45.000	18	18	22	22	22	35
60.000	22	22	28	28	28	42
80.000	22	28	28	28	28	54
100.000	28	28	28	35	35	54

Druckleitung

\dot{Q}_0	Rohrlänge [m]				
[W]	10	20	30	40	50
800	8	10	10	10	10
1.000	10	10	10	10	10
1.200	10	10	10	10	10
1.500	10	10	10	10	12
2.000	10	10	12	12	12
2.500	10	12	12	12	12
3.000	10	12	12	12	16
4.500	12	12	16	16	16
6.000	12	16	16	16	16
8.000	16	16	16	18	18
10.000	16	16	18	18	18
12.000	16	18	18	22	22
15.000	16	18	22	22	22
20.000	18	22	22	28	28
25.000	18	22	28	28	28
30.000	22	28	28	28	28
45.000	28	28	35	35	35
60.000	28	35	35	35	35
80.000	35	35	42	42	42
100.000	35	42	42	42	54

*) Leitungsquerschnitt für Kondensatleitungen



SCHIESSL

www.schiessl-kaelte.com