



**Vorisoliertes Rohrsystem
ZPU MIĘDZYRZECZ Sp. z o.o.
für unterirdische Fernwärmeleitungen**

Projektierungsrichtlinien

Zakład Produkcyjno Usługowy
Międzyrzecz
POLSKIE RURY PREIZOLOWANE Sp. z o. o.,
66-300 Międzyrzecz, ul. Zakaszewskiego 4
Telefon +48 95 741 25 26, 742 33 00, 742 00 93
Fax. +48 95 742 18 36, 742 33 02
Stand: Januar 2014

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung	1
1.1	Gegenstand der Richtlinien.....	1
1.2	Einsatzbereich.....	1
1.3	Bauplanung	1
2.	Kurzzeichen.....	1
2.1	Geometrische Kennzeichen.....	1
2.2	Belastungen, Schnittkräfte, Tragfähigkeit.....	2
2.3	Spannungen und Festigkeit	2
2.4	Werkstoffkonstanten, Koeffizienten und andere Kurzzeichen	2
3.	Werkstoffe und Produkte	3
3.1	Mediumrohre	3
3.2	Mantelrohre.....	3
3.3	Hartschaum	4
3.4	Verbundrohr	4
4.	Ausgangswerte zur Projektierung.....	5
5.	Projektierungsgrundlagen.....	6
5.1	Dimensionierungstechnik	6
5.2	Beanspruchungen	6
5.2.1	Bodendruck auf das Mantelrohr	6
5.2.2	Reibkraft an der Mantelfläche	6
5.2.3	Normalkraft [N] im Mediumrohr	7
5.3	Kräfte, die vom Innendruck im Mediumrohr ausgehen	7
5.4	Berechnungstragfähigkeit des Mediumrohres	7
6.	Projektierung von Fernwärmeleitungen im System ZPU Międzyrzecz Sp. z o.o.	8
6.1	Technik I - natürlich	8
6.1.1	Maximale Montagenlänge $[L_{max}]$ des geraden Rohrleitungsabschnitt	8
6.1.2	Ausdehnung der Rohrleitung	10
6.2	Technik II - Vorspannung	12
6.2.1	Ausdehnung $[\Delta L_n]$ der nicht eingerdeten Rohrleitung.....	12
6.2.2	Die Ausdehnung (die Stauchung) $[\Delta L_z]$ einer eingerdeten Rohrleitung.....	13
6.3	Metoda II a - Vorspannungen unter Anwendung von Einwegkompensatoren	14
6.4	Verlaufswechsel der Rohrleitung.....	14
6.4.1	Verlaufswechsel der Rohrleitung durch Abfasen der Stahlmediumrohre in der Verbindungsstelle	15
6.4.2	Verlaufswechsel der Rohrleitung durch vorgefertigte vorisolierte Bogen	15
6.4.3	Verlaufswechsel durch die elastische Biegung der Rohrleitung.....	15
6.4.4	Verlaufswechsel durch die gebogene vorisolierte Rohre	16
7.	Ausdehnungskompensation	17
7.1	"L"- Form	18
7.2	"Z" - Form	22
7.3	"U" - Form	24
7.4	Kompensationszonen	26
8.	Der reale vorisolierte Festpunkt	26
8.1	Berechnung von Kräften in einem Festpunkt	27
9.	Die Abzweigungen von Rohrleitungen und Eingänge in die Gebäuden	31
10.	Die Verbindung der vorisolierten Rohrleitung mit einer herkömmlichen Rohrleitung	33

11.	Die Stahlaratur	33
12.	Technische Informationen	34
13	Handelsinformationen.....	34



1. Einführung

1.1 Gegenstand der Richtlinien

Der Gegenstand dieser Richtlinien sind Grundlagen für Berechnung und Projektierung von eingeedeten vorisolierten Rohrleitungen.

1.2 Einsatzbereich

Die Grundlagen für die Berechnung und Projektierung finden Anwendung bei der technischen Planung von Fernwärmeleitungen, die zum Transport des Mediums für eine Lebensdauer von 30 Jahren Gebrauchstemperatur beträgt 152°C.

1.3 Bauplanung

Die Bauplanung soll Baurecht gemäß und nach Bestimmungen dieser Richtlinien erfolgen.

2. Kurzzeichen

2.1 Geometrische Kennzeichen

<i>A</i>	Querschnittfläche des Mediumrohres,
<i>DN</i>	Nominaldurchmesser des Mediumrohres,
<i>D_z</i>	Außendurchmesser des Mediumrohres,
<i>D_{zp}</i>	Außendurchmesser des Mantelrohres,
<i>g</i>	Wandstärke des Mediumrohres,
<i>gp</i>	Wandstärke des Mantelrohres,
<i>H</i>	Tiefe der Rohrleitungsachse,
<i>Hp</i>	Überdeckungshöhe mit Erde,
<i>L, C, D</i>	Länge der Kompensationsschenkel,
<i>L</i>	Abschnittslänge der Rohrleitung,
<i>L_{max}</i>	Länge der Rohrleitung,
<i>ε</i>	Ausdehnung der Rohrleitung pro Einheit,
<i>ΔL</i>	Ausdehnung der Rohrleitung mit einer Länge L, eingeedet,
<i>ΔL_n</i>	Ausdehnung der Rohrleitung mit einer Länge L _n , nicht eingeedet, vorgewärmt bis zur Temperatur [T _p], freie Ausdehnung,
<i>ΔL_z</i>	Dehnung (Stauchung) der Rohrleitung, eingeedet und erhitzt bis zur Temperatur [T].
<i>L_n</i>	Abschnittslänge der Rohrleitung, nicht eingeedet,
<i>l</i>	Länge des vorisolierten Rohres,
<i>r</i>	Biegeradius des vorisolierten Rohres,
<i>β</i>	Biegewinkel des vorisolierten Rohres,



2.2 Belastungen, Schnittkräfte, Tragfähigkeit

V	Bodenlast auf das Mantelrohr
F	Reibkraft auf der Mantelrohrfläche
N	Normalkraft
N_{max}	Max. Normalkraft
N_{PS}	Normalkraft auf dem Festpunkt
N_{RC}	Berechnungstragfähigkeit des Querschnittes bei Stauchung
p	Druck im Mediumrohr

2.3 Spannungen und Festigkeit

σ	Normalspannung
τ	Tangentiale Spannung
R_e	Durch den Hersteller spezifizierte Plastizitätsgrenze (normativ)
R_m	Durch den Hersteller spezifizierte Dehnungsfestigkeit
R_r	Bruchfestigkeit
R_s	Druckfestigkeit
σ_{tr}	Druckspannung beim Transport
σ_H	Radiale Spannung
σ_x	Axialspannung
f_d	Reduzierte Berechnungsfestigkeit von Stahl
f_{dT}	Reduzierte Berechnungsfestigkeit von Stahl bei erhöhter Temperatur
f_d'	Berechnungsfestigkeit von Stahl

2.4 Werkstoffkonstanten, Koeffizienten und andere Kurzzeichen

E	Elastizitätsmodul
E_T	Elastizitätsmodul unter Berücksichtigung der Temperatur
ν	Poisson-Zahl
α	Linearer Wärmedehnungskoeffizient
λ	Wärmeleitfähigkeit
γ	Beanspruchbarkeit
μ	Reibungskoeffizient
ρ	Dichte der Bettung
T	Betriebstemperatur
T_0	Montagetemperatur
T_p	Vorwärmungstemperatur
ΔT	Temperaturdifferenz
A_5	Min. Dehnung prozentuell
ρ_s	Dichte von Stahl
ρ_{PE}	Dichte von hartem Polyethylen
ψ	Reduktionskoeffizient der Berechnungstragfähigkeit des Querschnittes
k	Reibkraftfaktor zwischen Rohr und Boden



3. Werkstoffe und Produkte

3.1 Mediumrohre

Das Mediumrohr ist ein attestiertes nahtloses Stahlrohr gemäß DIN 1629 aus der Stahlsorte St 37.0 oder gemäß PN EN 10216-2 aus der Stahlsorte P235GH oder gemäß 10216-1/A1 aus der Stahlsorte P235TR1 u. P235TR2 ein attestiertes geschweißtes Stahlrohr gemäß DIN 1626 aus der Stahlsorte St 37.0 oder gemäß PN-EN 10217-2/A1 und PN EN 10217-5/A2 aus der Stahlsorte P235GH oder gemäß 10217-1/A1 Stahlsorte P235TR1 u. P235TR2 hergestellt wird.

Zum Transport des Heizwassers werden nahtlose Stahlrohre der Stahlsorte St 37.0 gemäß DIN 1629 oder der Stahlsorte P235GH gemäß PN EN 10216-2, P235TR1/P235TR2 gemäß PN-EN 10216-1, verzinktes Stahlrohr gemäß PN EN 10240, PN EN ISO 1461, PN EN 1179 verwendet.

Mechanische Eigenschaften gemäß PN-90/B-03200, DIN-1629, PN-EN10216-2, PN-EN 10217-2 und PEN-EN 10217-5:

Produkt	Stahlsorte	Mechanische Eigenschaften			
		R _e	R _m	A ₅	f _d '
		MPa	MPa	%	MPa
Rohre, längs- oder spiralgeschweißt	St 37.0 P 235GH	235	350	25	210
Gewälzte Rohre nahtlos	St 37.0 P 235GH	235	345	25	210
Gewälzte Rohre, galvanisch verzinkt	St 37.0 P 235GH	235	345	25	210

Werkstoffkonstanten von Stahl:

$$E = 205 \text{ GPa}$$

$$\nu = 0,3$$

$$\alpha_t = 1,2 \cdot 10^{-5} / ^\circ\text{C}$$

$$\rho_s = 7850 \text{ kg/m}^3$$

Andere Mediumrohre:

Kupferrohre,
 Polyethylenrohre,
 Polypropylenrohre
 Rohre aus Polyvinylchlorid

3.2 Mantelrohre

Das Mantelrohr wird gemäß PN-EN 253 aus Polyethylen hoher Dichte (PEHD) hergestellt:

Produkt	Polyethylen-art	Mechanische Eigenschaften			
		σ_H	R _r	R _s	σ_{tr}
		MPa	MPa	MPa	MPa
Mantelrohr	PEHD	4,0	24,0	37,0	3,0

Werkstoffkonstanten PEHD:

$$E = 1,0 \text{ GPa}$$

$$\lambda = 0,43 \text{ W/mK}$$

$$\alpha_t = 0,2 \cdot 10^{-5} / ^\circ\text{C}$$

$$\rho_{PE} = 950 \text{ kg/m}^3$$

Reibungskoeffizient zwischen Mantelrohr
 und Erde:

$$\mu = 0,3 \div 0,5$$

Andere Mantelrohre

SPIRO-Rohre aus verzinktem Blech oder
 Aluminiumblech (für Freiluftleitungen),
 Rohre aus Polyvinylchlorid,
 Stahlrohre



250	273,0	7,1	5,0	min 5,0	400	4,8	450	7,0
300	323,9	7,1	5,6	min 5,6	450	5,2	500	7,8
350	355,6	8,0	5,6	min 5,6	500	5,6	520	8,2
400	406,4	8,8	6,3	min 6,3	520	5,8	560	8,8
450	457,0	10,0	6,3	min 6,3	560	6,0	630	9,8
500	508,0	11,0	6,3	min 6,3	630	6,6	710	11,1
600	610,0	-	7,1	min 7,1	800	7,9	-	-

Wärmeverlust über vorisolierte Rohrleitungen [W/m]

Tabelle 2

D _z mm	D _{zp} mm	Temperatur der Rohrleitung					
		150 °C	130 °C	110 °C	90 °C	70 °C	50 °C
26,9	75	20,2	17,3	14,5	11,7	8,8	6,0
33,7	90	24,7	21,2	17,7	14,3	10,8	7,3
42,4	110	25,5	21,9	18,3	14,7	11,1	7,5
48,3	110	29,3	25,2	21,1	16,9	12,8	8,7
60,3	125	33,0	28,3	23,7	19,0	14,4	9,8
76,1	140	39,3	33,8	28,2	22,7	17,2	11,6
88,9	160	40,7	35,0	29,2	23,5	17,8	12,0
114,3	200	42,7	36,7	30,7	24,7	18,6	12,6
139,7	225	49,9	42,8	35,8	28,8	21,8	14,7
168,3	250	59,6	51,2	42,8	34,4	26,0	17,6
219,1	315	65,1	56,0	46,8	37,6	28,4	19,3
273,0	400	62,5	53,7	44,9	36,1	27,3	18,5
323,9	450	72,3	62,1	52,0	41,8	31,6	21,4
355,6	500	70,1	60,2	50,4	40,5	30,6	20,7
406,4	560	74,6	64,1	53,6	43,1	32,6	22,1
457,0	630	74,7	64,2	53,7	43,2	32,6	22,1
508,0	710	72,0	61,9	51,8	41,6	31,5	21,3
610,0	800	88,6	76,1	63,6	51,2	38,7	26,2

4. Ausgangswerte zur Projektierung

Zur Berechnung der Reibungskraft [F], der Normalkraft des Querschnittes [N], der max. Rohrleitungslänge [L_{max}] und Dehnung [ΔL] von Rohrleitungen *ZPU Międzyrzecz Sp. z o.o.* wurden folgende Belastungen und Werkstoffkonstanten angenommen:

Achsentiefe der Rohrleitung	H = 1m
Dichte der Bettung, eingeeidet, verdichtet	ρ = 1650 kg/m ³
Reibungskoeffizient zwischen Mantelrohr und Bettung	μ = 0,35
Druckkoeffizient des Bodens	K = 0,6
Betriebsdruck in der Rohrleitung	p = 1,6 MPa
Reduzierte Berechnungsfestigkeit von Stahl	f _d = 150 MPa
Betriebstemperatur:	
Versand	T = 135°C
Rücklauf	T = 80°C
Montagetemperatur	T ₀ = 8°C
Elastizitätsmodul mit Berücksichtigung der Temperatur	E _T = 204 GPa



Linearer Wärmedehnungskoeffizient	
Bereich 0÷100°C	$a_T = 1,2 \cdot 10^{-5} / ^\circ\text{C}$
Bereich 0÷150°C	$a_T = 1,22 \cdot 10^{-5} / ^\circ\text{C}$
Beanspruchbarkeit:	
Grenzzustand der Tragfähigkeit	$\gamma = 1,1$
Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	$\gamma = 1,0$
Poisson-Zahl	$\nu = 0,3$

5. Projektierungsgrundlagen

5.1 Dimensionierungstechnik

Die Dimensionierung der Rohrkonstruktion wird gem. der Methode der Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit nach PN-76/B-03001, PN-EN 13941, wobei darauf hingewiesen wird, dass während des Rohrleitungsbetriebs die Voraussetzung der Tragfähigkeit der Rohrleitung erfüllt ist.

5.2 Beanspruchungen

Das vorisoliertes Rohr, direkt im Boden gelegt, wird beansprucht durch:

- Reibkräfte an der Mantelfläche,
- Bodendruck auf das Mantelrohr,
- die Kräfte, die vom Druck im Mediumrohr ausgehen,

und außerdem unterliegt es der Einwirkung von Temperaturschwankungen des Heizmediums im Mediumrohr.

Wir haben mit einem statischen System mit beschränktem Grad der freien Ausdehnung zu tun, in dem bei Temperaturerhöhung oder -senkung im Mediumrohr Normalkräfte entstehen, die von den Reibkräften und vom Innendruck im Mediumrohr abhängig sind.

5.2.1 Bodendruck auf das Mantelrohr

Bodenruhedruck auf die Rohrleitung ist gemäß PN-83/B-03010 mit der Formel zu bestimmen:

- vertikale Komponente	$V_z = \gamma \cdot H \cdot \rho \cdot g$	[N/m ²]
- horizontale Komponente	$V_x = \gamma \cdot H \cdot \rho \cdot g \cdot K_0$	[N/m ²]

dabei:

γ - Beanspruchungsfaktor

H - Achsentiefe der Rohrleitung [m]

P - Dichte der Bettung [kg/m³]

g - Erdbeschleunigung [m/s²]

K_0 - Ruhedruckkoeffizient

Für die Bestimmung des Bodendruckes auf die Rohrleitung, gleichmäßig auf ihrer Umfang verteilt, wird der Mittelwert genommen, der folgendermaßen berechnet wird:

$$V = 0,5 \cdot (V_z + V_x)$$

5.2.2 Reibkraft an der Mantelfläche

Die Reibkraft auf der Längeneinheit des Rohres [F] wird mit der Formel berechnet:



$$F = \mu \cdot V \cdot \pi \cdot D_{zp} \quad [\text{N/m}]$$

wobei:

μ - Reibungskoeffizient zwischen Mantelrohr und Bettung

V - Bodendruck auf das Mantelrohr [N/m²]

D_{zp} - Außendurchmesser des Mantelrohres [m]

5.2.3 Normalkraft [N] im Mediumrohr

Normalkraft [N] im Mediumrohr, mit einer Länge [L], von der Beanspruchung mit reibkräften, wird mit der Formel berechnet:

$$N = F \cdot L \quad [\text{N}]$$

wobei:

F - Reibkraft pro Längeneinheit der Rohrleitung [N/m]

L - Länge des Rohrleitungsabschnittes [m]

5.3 Kräfte, die vom Innendruck im Mediumrohr ausgehen

Es wird angenommen, dass das Mediumrohr die Beanspruchung vom Mediumdruck übernimmt. Im Mediumrohr entstehen Spannungen:

- radial $\sigma_H = \frac{p \cdot (D_z - g)}{2 \cdot g} \quad [\text{N/m}^2]$

- axial $\sigma_x = \frac{p \cdot (D_z - g)}{4 \cdot g} \quad [\text{N/m}^2]$

wobei:

p - Druck im Mediumrohr [N/m²]

D_z - Außendurchmesser im Mediumrohr [m]

g - Wandstärke des Mediumrohres [m]

Normalkraft vom Innendruck - axiale Spannung:

$$N_x = \sigma_x \cdot A \quad [\text{N}]$$

wobei:

A - Querschnittfläche des Mediumrohres [m²]

Die Wirkung der Normalkraft, vom Innendruck im Mediumrohr, auf die Berechnungstragfähigkeit des Querschnittes ist gering und kann in weiteren Berechnungen ausgelassen werden.

5.4 Berechnungstragfähigkeit des Mediumrohres

Gemäß PN-90/B-03200 muss die Anforderung erfüllt werden, dass die Normalkraft im Rohr ihre Berechnungstragfähigkeit nicht überschreiten darf, dh:

$$N - N_x \leq N_{RC} \quad [\text{N}]$$

Nach Ersetzen: $N = F \cdot L$, $N_x = \sigma_x \cdot A$ und $N_{RC} = \psi \cdot A \cdot f_d$ kommt:

$$F \cdot L - \sigma_x \cdot A \leq \psi \cdot A \cdot f_d \quad [\text{N}]$$

wobei:



F - Reibkraft pro Einheit	[N/m]
L - Abschnittlänge der Rohrleitung	[m]
ψ - Reduktionskoeffizient der Berechnungstragfähigkeit des Querschnittes	
A - Querschnittfläche des Mediumrohres	[mm ²]
f_d - Reduzierte Berechnungsfestigkeit von Stahl	[MPa]
σ_x - Axialspannung	[N/m ²]

6. Projektierung von Fernwärmeleitungen im System ZPU Międzyrzecz Sp. z o.o.

Die Projektierung hat zu bestimmen :

- Montagelänge der Rohrleitung [L_{max}], für die Normalkraft im Mediumrohr [N_{max}] ihre Berechnungstragfähigkeit [NRC] nicht überschreitet,

- Ausdehnung der Rohrleitung [ΔL] und ihre natürliche Kompensation durch Verlaufswechsel der Rohrleitung (Kompensationsformen) oder mit Kompensatoren.

6.1 Technik I - natürlich

Die Rohrleitung wird nach der Montage und Kontrolle eingeedet.

6.1.1 Maximale Montagelänge [L_{max}] des geraden Rohrleitungsabschnitt

Gemäß Pkt 5.4. wird die Bedingung für Berechnungstragfähigkeit des Querschnittes eines Mediumrohres durch die formel bestimmt:

$$F \cdot L - \sigma_x \cdot A \leq \psi \cdot A \cdot f_d \quad [N]$$

wobei:

F - Reibkraft pro Einheit	[N/m]
L - Länge des Rohrleitungsabschnittes	[m]
ψ - Reduktionskoeffizient der Berechnungstragfähigkeit des Querschnittes	
A - Querschnittfläche des Mediumrohres	[mm ²]
f_d - Reduzierte Berechnungsfestigkeit von Stahl	[MPa]
σ_x - Axialspannungen	[N/m ²]

Wenn $L = L_{max}$ und bei Annahme $\psi = 1$ (Klasse 1 des Querschnittes), beträgt die maximale Montagelänge [L_{max}] :

$$L_{max} = \frac{A \cdot (f_d + \sigma_x)}{F} \quad [m]$$

Maximale Montagelängen [L_{max}] für die in Tabellen 3 und 4 angeführten Durchmesser und Wandstärken von Mediumrohren werden bei Annahme der Achsentiefe der Rohrleitung $H = 1.0$ m und der Ausgangswerte im Pkt 4. angegeben.



Tabelle 3

Nahtloses Mediumrohr			Mantelrohr	Reibkraft	Montagelänge
Dz	g	A	Dzp	F	L _{max}
<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm²</i>	<i>mm</i>	<i>N/m</i>	<i>m</i>
26,9	2,9	219	75	1410	24
33,7	2,9	281	90	1410	31
42,4	2,9	360	110	1723	32
48,3	2,9	414	110	1723	38
60,3	3,2	574	125	1958	46
76,1	3,2	733	140	2193	53
88,9	3,6	965	160	2506	61
114,3	4,0	1386	200	3132	71
139,7	4,0	1705	225	3524	79
168,3	4,5	2316	250	3916	97
219,1	6,3	4212	315	4934	140
273,0	7,1	5931	400	6265	156
323,9	7,1	7066	450	7048	168
355,6	8,0	8736	500	7831	187
406,4	8,8	10992	560	8144	211
457,0	10,0	14043	630	8771	239
508,0	11,0	17175	710	9867	260

Tabelle 4

Geschweißtes Mediumrohr			Mantelrohr	Reibkraft	Montagelänge
Dz	g	A	Dzp	F	L _{max}
<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm²</i>	<i>mm</i>	<i>N/m</i>	<i>m</i>
26,9	2,6	198	75	1410	22
33,7	2,6	254	90	1410	28
42,4	2,6	325	110	1723	29
48,3	2,6	373	110	1723	34
60,3	2,9	523	125	1958	42
76,1	2,9	667	140	2193	49
88,9	3,2	862	160	2506	55
114,3	3,6	1252	200	3132	65
139,7	3,6	1539	225	3524	72
168,3	4,0	2065	250	3916	88
219,1	4,5	3034	315	4934	104
273,0	5,0	4210	400	6265	115
323,9	5,6	5600	450	7048	137
355,6	5,6	6158	500	7831	138
406,4	6,3	7919	560	8144	158
457,0	6,3	8920	630	8771	161
508,0	6,3	9930	710	9867	162



Montagelänge $L_{max}^{H_i}$ und Reibkraft pro Einheit F^{H_i} der Rohrleitung, die auf einer Tiefe H_i gelegt wurde, kann durch die folgenden Formel bestimmt werden:

$$L_{max}^{H_i} = \frac{L_{max}}{H_i} \qquad F^{H_i} = F \cdot H_i$$

zB. für: $D_z = 26,9 \text{ mm}$ $g = 2,9 \text{ mm}$
 $L_{max} = 24 \text{ m}$ $F = 1410 \text{ N/m}$ - gemäß Tabelle 3

für $H_i = 0,6 \text{ m}$ $L_{max}^{0.6} = \frac{24}{0.6} = 40 \text{ m}$ $F^{0.6} = 1410 \cdot 0,6 = 846 \text{ N/m}$

Bei Stahlmediumrohr mit einer anderen Querschnittsfläche (A) als in den Tabellen 3 und 4 angegeben muss L_{max} proportional geändert werden.

6.1.2 Ausdehnung der Rohrleitung

Die Ausdehnung $[\Delta L]$ der eingedeten Rohrleitung mit einer Montagelänge $[L]$ wird als Differenz zwischen der freien Ausdehnung durch Temperaturanstieg und der Ausdehnung durch die Reibkräfte bezeichnet:

$$\Delta L = \alpha_t (T - T_0) \cdot L - \frac{F \cdot L^2}{2 \cdot E_T \cdot A}$$

wobei:

α_t - linearer Wärmedehnkoeffizient	[1/°C]
T - Betriebstemperatur	[°C]
T_0 - Montagetemperatur	[°C]
L - Länge des Rohrleitungsabschnittes	[m]
F - Reibkraft pro Einheit	[N/m]
E_T - Elastizitätsmodul	[N/m ²]
A - Querschnittsfläche des Mediumrohres	[m ²]

Auf Grund der angenommenen Ausgangswerte (Pkt. 4.) bekommen wir vereinfachte Formel für die Ausdehnung $[\Delta L]$ in [mm] :

für $T = 80^\circ\text{C}$	$\Delta L = 0,864 \cdot L - W \cdot H \cdot L^2$	[mm]
für $T = 135^\circ\text{C}$	$\Delta L = 1,549 \cdot L - W \cdot H \cdot L^2$	[mm]

wobei:

0,864 und 1,549 - Konstanten	[mm/m]
W - Faktor abhängig von dem Querschnitt des Mediumrohres, angegeben in den Tabellen 5 und 6.	[mm/m ³]
H - Achsentiefe der Rohrleitung	[m]
L - Länge des Rohrleitungsabschnittes	[m]



Faktor "W" für die Ausdehnung der Rohrleitung

Tabelle 5

Nahtloses Mediumrohr			Faktor	
			Isolierung STANDARD	Isolierung PLUS
Dz	g	A	W	W
mm	mm	mm ²	mm/m ³	mm/m ³
26,9	2,9	219	0,0144	0,0176
33,7	2,9	281	0,0112	0,0137
42,4	2,9	360	0,0107	0,0121
48,3	2,9	414	0,0093	0,0105
60,3	3,2	574	0,0076	0,0085
76,1	3,2	733	0,0067	0,0076
88,9	3,6	965	0,0058	0,0072
114,3	4,0	1386	0,0050	0,0057
139,7	4,0	1705	0,0046	0,0051
168,3	4,5	2316	0,0038	0,0047
219,1	6,3	4212	0,0026	0,0029
273,0	7,1	5931	0,0024	0,0026
323,9	7,1	7066	0,0022	0,0025
355,6	8,0	8736	0,0020	0,0021
406,4	8,8	10992	0,0017	0,0018
457,0	10,0	14043	0,0014	0,0016
508,0	11,0	17175	0,0013	0,0014

Tabelle 5

Geschweißtes Mediumrohr			Faktor	
			Isolierung STANDARD	Isolierung PLUS
Dz	g	A	W	W
mm	mm	mm ²	mm/m ³	mm/m ³
26,9	2,6	198	0,0158	0,0193
33,7	2,6	254	0,0124	0,0151
42,4	2,6	325	0,0118	0,0134
48,3	2,6	373	0,0103	0,0117
60,3	2,9	523	0,0083	0,0093
76,1	2,9	667	0,0073	0,0084
88,9	3,2	862	0,0065	0,0081
114,3	3,6	1252	0,0056	0,0063
139,7	3,6	1539	0,0051	0,0057
168,3	4,0	2065	0,0042	0,0053
219,1	4,5	3034	0,0036	0,0041
273,0	5,0	4210	0,0033	0,0037
323,9	5,6	5600	0,0028	0,0310
355,6	5,6	6158	0,0028	0,0029
406,4	6,3	7919	0,0023	0,0025
457,0	6,3	8920	0,0022	0,0025
508,0	6,3	9930	0,0022	0,0025
610,0	7,1	13448	0,0021	0,0000



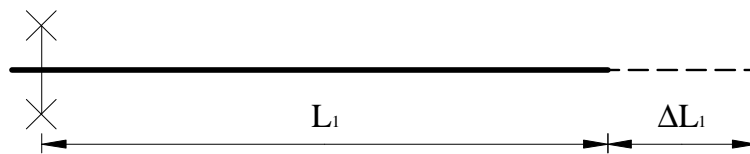
6.2 Technik II - Vorspannung

Die Rohrleitung wird nach der Montage und Kontrolle vor dem Einerden vorgewärmt. Nach dem Erreichen der geforderten Ausdehnung wird die Rohrleitung eingeerdet.

Die Vorwärmungstemperatur $[T_p]$ wird so angenommen, dass nach der Abkühlung der eingeerdeten Rohrleitung zur Montagetemperatur $[T_o]$ und nach der erneuten Aufwärmung zur Betriebstemperatur $[T]$ die Axialspannungen $[\sigma]$ die Berechnungsfestigkeit des Stahlrohres auf Stauchung und Dehnung $[fd]$ nicht überschreiten.

6.2.1 Ausdehnung $[\Delta L_n]$ der nicht eingeerdeten Rohrleitung

Die vorgewärmte Rohrleitung zur Temperatur $[T_p]$, nicht eingeerdet:



Die Ausdehnung $[\Delta L_n]$ der Rohrleitung mit einer Länge $[L_n]$ vorgewärmt zur Temperatur $[T_p]$, nicht eingeerdet - also freie Ausdehnung - wird mit der Formel berechnet :

$$\Delta L_n = k \cdot \alpha_t \cdot (T_p - T_o) \cdot L_n \quad [\text{m}]$$

wobei:

k - Reibkraftfaktor zwischen Rohr und Boden k=0,7÷0,8

α_t - linearer Wärmedehnungskoeffizient [1/°C]

T_p - Vorwärmungstemperatur [°C]

T_o - reale Montagetemperatur [°C]

L_n - Länge des Rohrleitungsabschnittes, nicht eingeerdet [m]

Die freie Ausdehnung einer vorgewärmten Rohrleitung kann als Produkt aus der Ausdehnung pro Einheit $[\epsilon]$ und der Rohrleitungslänge $[L_n]$ bezeichnet werden:

$$\Delta L_n = \epsilon \cdot L_n \quad [\text{mm}]$$

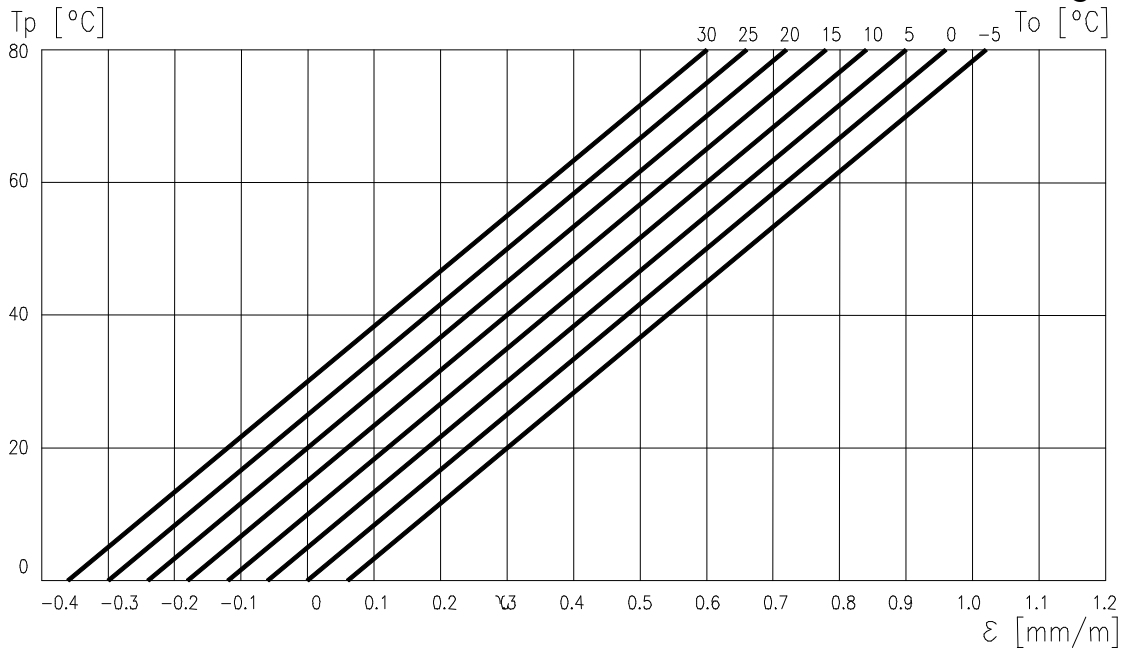
Die Ausdehnung pro Einheit einer Rohrleitung:

$$\epsilon = \alpha_t \cdot (T_p - T_o) \quad [\text{mm/m}]$$



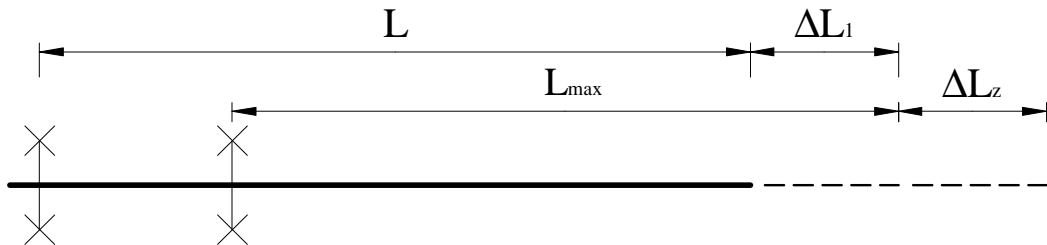
Die Ausdehnung pro Einheit einer Rohrleitung

Diagramm 1



6.2.2 Die Ausdehnung (die Stauchung) $[\Delta L_z]$ einer eingedeten Rohrleitung

Die eingedete Rohrleitung, vorgewärmt bis zur Betriebstemperatur $[T]$:



Die Ausdehnung (die Stauchung) einer eingedeten Rohrleitung $[\Delta L_z]$ wird mit der Formel berechnet:

$$\Delta L_z = \alpha_t \cdot (T - T_p) \cdot L_{\max} - \frac{F \cdot L_{\max}^2}{2 \cdot E_T \cdot A} \quad [\text{m}]$$

wobei:

- α_t - linearer Wärmedehnungskoeffizient [1/°C]
- T - Betriebstemperatur [°C]
- T_p - Vorwärmungstemperatur [°C]
- L_{\max} - Montagelänge der Rohrleitung [m]
- F - Reibkraft pro Einheit [N/m]
- E_T - Elastizitätsmodul unter Berücksichtigung der Temperatur [N/m²]
- A - Querschnittfläche des Mediumrohres [m²]

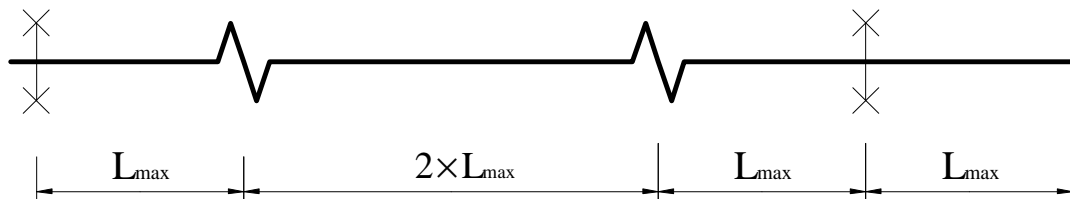


Bei der Berechnung der Stauchung nach der obengenannten Formel sind die entsprechende Temperaturwerte einzusetzen. Die Montagelänge der Rohrleitung L_{max} ist nach der Formel Punkt 6.1.1. zu berechnen.

6.3 Metoda II a - Vorspannungen unter Anwendung von Einwegkompensatoren

Die Rohrleitung mit Kompensatoren wird nach der Kontrolle eingerdet mit Ausnahme von Kompensatorenstellen und vorgewärmt.

Der Abstand zwischen Kompensatoren soll nicht größer sein als doppelte Montagelänge [$2 L_{max}$], die im Pkt 6.1 festgelegt wurde, und der Abstand zwischen Kompensatoren und dem tatsächlichen oder virtuellen Festpunkt nicht größer sein als Montagelänge [L_{max}], die gemäß Pkt p.6.1.1 berechnet wurde.



Die Einstellung von Kompensator, der die Ausdehnung der vorgewärmten Rohrleitung [ΔL] aufnehmen soll, und in der Betriebstemperatur [T] arbeitet, wird mit der Formel berechnet:

$$\Delta L = \alpha_t \cdot (T - T_0) \cdot L - \frac{F \cdot L^2}{4 \cdot E_T \cdot A} \quad [\text{m}]$$

gdzie:

α_t - linearer Wärmedehnungskoeffizient	[1/°C]
T - Betriebstemperatur	[°C]
T_0 - Vorwärmungstemperatur	[°C]
L - Länge des Rohrleitungsabschnittes	[m]
F - Reibkraft pro Einheit	[N/m]
E_T - Elastizitätsmodul unter Berücksichtigung der Temperatur	[N/m ²]
A - Querschnittsfläche des Mediumrohres	[m ²]

6.4 Verlaufswechsel der Rohrleitung

Der Verlaufswechsel der Rohrleitung kann durchgeführt werden durch:

- Abfasen von Stahlmediumrohren in der Verbindungsstelle,
- vorgefertigte vorisolierte Bogen,
- elastische Biegung der Rohrleitung auf der Baustelle,
- gebogene vorisolierte Rohre.

Der Verlaufswechsel um einen Winkel $\alpha < 10^\circ$ gilt als gerade Strecke.



6.4.1 Verlaufswechsel der Rohrleitung durch Abfasen der Stahlmediumrohre in der Verbindungsstelle

Max. Temperaturunterschied	Max. Biegegrad	Bemerkung:
90 K	2°	Maximale Gradabweichung mit Vermeidung von Toleranz der Montage soll nicht $\pm 0.25^\circ$ überschritten.
100 K	1°	
110 K	0,5°	Minimaller Abstand zwischen geschraegten Rohrverbindungen soll 6 m betragen.
> 110 K	0°	

6.4.2 Verlaufswechsel der Rohrleitung durch vorgefertigte vorisolierte Bogen

Der Verlaufswechsel der Rohrleitung mit vorisolierten Bogen mit Winkeln: 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90° wird für vollen Durchmesserbereich durchgeführt.

Tabelle 6

Durchmesser	Stahlsorte	Biegeradius (r)
DN 20 bis DN 80	R - 35 oder P 235GH	3 × Dz
DN 100 bis DN 300	St 37.0 oder P 235GH	1,5 × DN

Dz - Außendurchmesser des Stahlrohres.

6.4.3 Verlaufswechsel durch die elastische Biegung der Rohrleitung

Die über dem Graben zusammengebaute Rohrleitung aus den Rohren mit einer Länge $l = 6.00$ oder 12.00 m wird in den Graben gesenkt und elastisch gebogen. Der Mindestbiegeradius und der entsprechende Biegewinkel (β) werden in der Tabelle in der Abhängigkeit von Durchmesser und Länge der vorisolierten Rohre dargestellt.

Tabelle 7

Stahlmediumrohr		Mantelrohr	Biegeradius	Biegewinkel	
Durchmesser				Rohrenlänge	
Nominal	Außen			6,00 m	12,00 m
DN	Dz	Dzp	r	β	β
mm	mm	mm	m	Grad	Grad
20	26,9	75	17	20,0	—
25	33,7	90	20	17,0	—
32	42,4	110	24	14,0	28,0
40	48,3	110	28	12,0	24,0
50	60,3	125	34	10,0	20,0
65	76,1	140	42	8,0	16,4
80	88,9	160	49	7,0	14,0
100	114,3	200	65	5,3	10,6



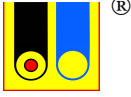
125	139,7	225	76	—	9,0
150	168,3	250	97	—	7,1
200	219,1	315	123	—	5,6
250	273,0	400	153	—	4,5
300	323,9	450	182	—	3,8
350	355,6	500	200	—	3,4
400	406,4	560	224	—	3,1
450	457,0	630	251	—	2,7
500	508,0	710	283	—	2,4
600	610,0	800	343	—	2,0

6.4.4 Verlaufswechsel durch die gebogene vorisolierte Rohre

Die geraden Rohrstangen mit einer Länge $l = 6,00$ oder $12,00$ m, werden mit der Maschine zu einem geforderten Winkel gebogen. Die gebogenen vorisolierten Rohre können zur Optimalisierung des Rohrleitungsverlaufes oder anstelle der Bogen eingesetzt werden. Der zulässige Mindestradius (r_{min}) und der entsprechende Maximalwinkel (β) der Biegung des Rohres mit einer Länge $l = 12,00$ m in der Abhängigkeit von dem Durchmesser des Mediumrohres (D_z) und der Abdecktiefe mit Erde (H) und bei Annahme, dass die Spannung im Stahlrohr nicht $f_d = 150$ MPa überschreitet, werden in der Tabelle dargestellt. *) - Biegeradius gilt für die Rohre mit einer Länge von $l = 6,00$ m.

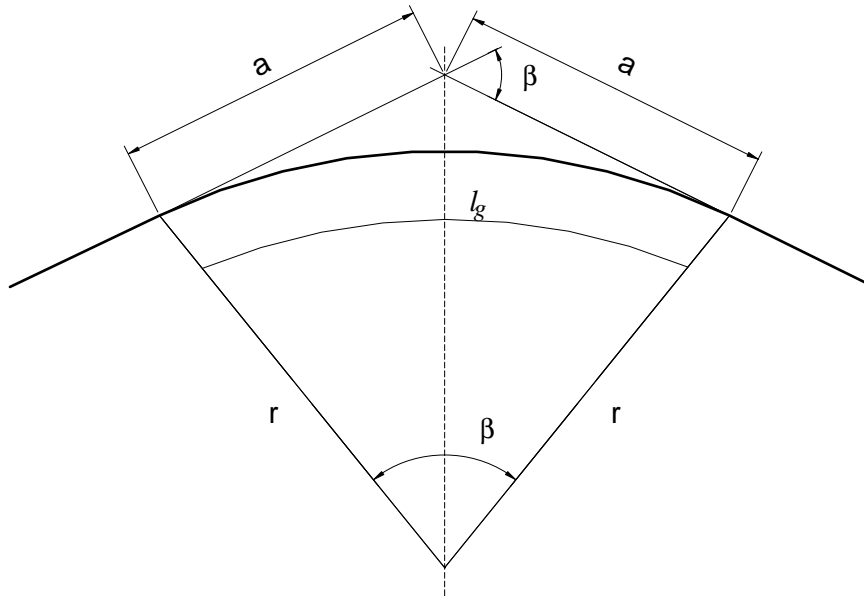
Tabelle 8

Stahlmediumrohr		Mantelrohr r	Abdecktiefe der Rohrleitung [m]											
Nominal	Außen		0,5		0,6		0,7		0,8		0,9		1,0	
	DN	Dz	Dzp	r	β	r	β	r	β	r	β	r	β	r
mm	mm	mm	m	Grad	m	Grad	m	Grad	m	Grad	m	Grad	m	Grad
20	26,9 ^{*)}	75	6,5	—	5,4	—	4,7	—	4,1	—	3,6	—	3,3	—
25	33,7 ^{*)}	90	8,4	—	7,0	—	6,0	—	5,3	—	4,7	—	4,2	—
32	42,4	110	8,8	—	7,3	—	6,3	—	5,5	—	4,9	—	4,4	—
40	48,3	110	10,1	—	8,4	—	7,2	—	6,3	—	5,6	—	5,0	—
50	60,3	125	12,3	—	10,3	—	8,8	—	7,7	—	6,9	—	6,1	—
65	76,1	140	14,0	—	11,7	—	10,1	—	8,8	—	7,8	—	7,0	—
80	88,9	160	16,2	—	13,5	—	11,6	—	10,2	—	9,0	—	8,1	—
100	114,3	200	18,5	37	15,5	44	13,3	52	11,7	59	10,4	66	9,3	74
125	139,7	225	20,3	34	16,9	41	14,6	47	12,7	54	11,4	61	10,1	68
150	168,3	250	24,8	28	20,7	33	17,8	39	15,6	44	13,9	50	12,4	56
200	219,1	315	25,8	27	21,6	32	18,5	37	16,2	42	14,4	48	12,9	53
250	273,0	400	28,2	24	23,6	29	20,2	34	17,7	39	15,8	43	14,1	49
300	323,9	450	33,3	21	27,9	25	23,9	29	21,0	33	18,7	37	16,7	41



Die Hilfsformel und die Richtlinien zur Bestimmung des Rohrleitungsverlaufes mit gebogenen Rohren oder durch elastische Biegung der Rohrleitung

Aus dem Projekt wird der Winkel (β) für Verlaufswechsel bestimmt.



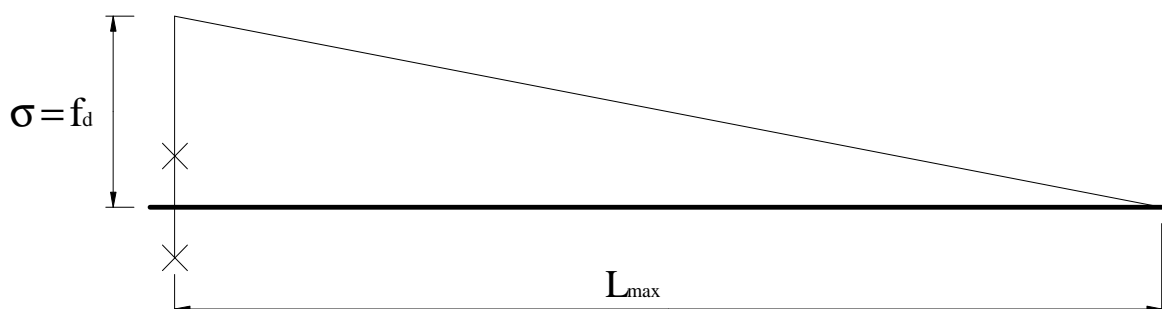
Tangentenlänge: $a = r \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}$ [m]

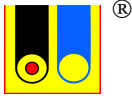
Biegeradius: $r = \frac{360 \cdot l_g}{2 \cdot \pi \cdot \beta}$ [m]

Rohrleitungslänge (l_g) in der Kurve ist das Vielfache von Rohrstangen $l = 6,00 \text{ m}$ für Durchmesser $DN 20$ und $DN 25$ und $l = 12,00 \text{ m}$ für Durchmesser $DN 32$ und darüber. Bei elastischer Biegung wird die Rohrleitungslänge in der Kurve (l_g) nach Bestimmung des Verlaufswinkel im Projekt ermittelt.

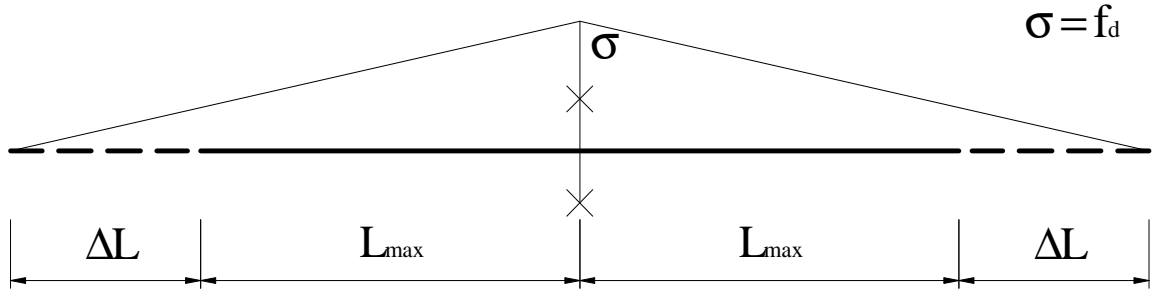
7. Ausdehnungskompensation

Normalspannungen $[\sigma]$ und Ausdehnung $[\Delta L]$ der Rohrleitung (eingesetzt und in der Temperatur T betrieben) mit der Montagelänge $[L_{max}]$, in der die reduzierte Berechnungsfestigkeit von Stahl $[f_d]$ für das Mediumrohr nicht überschritten wird, wird auf dem Diagramm dargestellt:





Die Länge von geraden Abschnitten der Rohrleitung soll $2 \times L_{max}$ nicht überschreiten, wobei die Ausdehnung in der Mitte der Strecke beträgt $\Delta L = 0$ und es wird ein virtuelle Fixpunkt festgesetzt - die Rohrleitung wird fixiert und an den freien Enden kommt es zur Ausdehnung $[\Delta L]$.



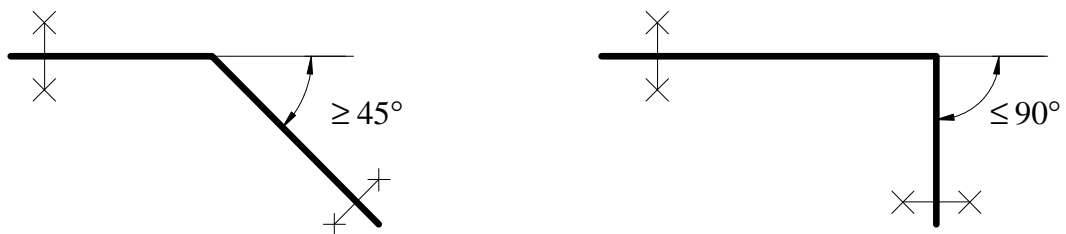
Die Ausdehnungen in den Rohrleitungen werden durch den Verlaufswechsel (natürliche Kompensation) oder durch Kompensatoren kompensiert.

Als natürliche Kompensation finden die folgenden geometrischen Formen beim Verlaufswechsel Anwendung:

- "L" - Form,
- "Z" - Form,
- "U" - Form.

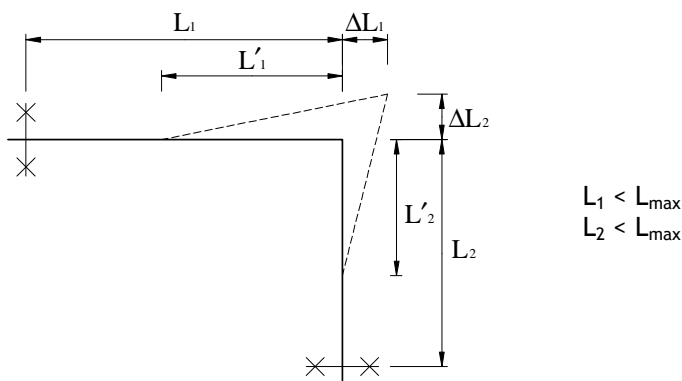
7.1 "L"- Form

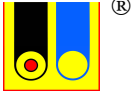
Die Kompensation in der "L" - Form lässt den Verlauf der Rohrleitung von 45° bis 90° wechseln.



Berechnung der Ausdehnung und der Länge von Kompensationsschenkeln

Kompensation L90 - Verlaufswechsel 90°





Die Länge von Kompensationsschenkel $[L']$ wird mit den Formeln berechnet:

$$L_1^{\odot} = 1,2 \cdot \sqrt{\frac{1,5 \cdot E_T}{f_d} \cdot \sqrt{D_z \cdot \Delta L_2}} \quad [\text{m}]$$

$$L_2^{\odot} = 1,2 \cdot \sqrt{\frac{1,5 \cdot E_T}{f_d} \cdot \sqrt{D_z \cdot \Delta L_1}} \quad [\text{m}]$$

wobei:

D_z - Außendurchmesser des Mediumrohres [m]

f_d - Reduzierte Berechnungsfestigkeit von Stahl [MPa]

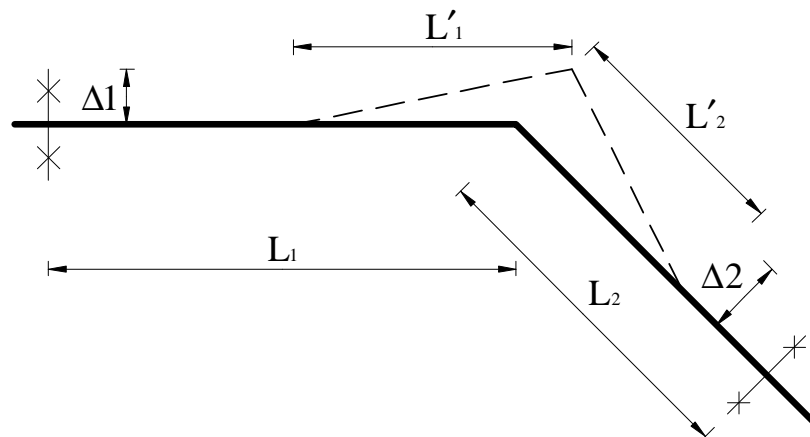
E_T - Elastizitätsmodul [MPa]

ΔL_1 - Ausdehnung des Abschnittes L_1 (berechnen wie im Pkt 6.1.2.) [m]

ΔL_2 - Ausdehnung des Abschnittes L_2 (berechnen wie im Pkt 6.1.2.) [m]

Die Länge von Kompensationsschenkeln $[L']$, für die Mediumrohre mit Durchmesser $[D_z]$ und für die Ausdehnung $[\Delta L]$, kann aus dem Diagramm Nr. 2 entnommen werden.

Die Kompensation $L \geq 45^\circ$ - Verlaufswchsel $\geq 45^\circ$



Die Länge von Kompensationsschenkel $[L'_1]$ und $[L'_2]$ wird mit der Berücksichtigung von reduzierten Ausdehnungen $\Delta 1$ und $\Delta 2$, mit der Formel berechnet:

$$L_1^{\odot} = 1,2 \cdot \sqrt{\frac{1,5 \cdot E_T}{f_d} \cdot \sqrt{D_z \cdot \Delta 2}} \quad [\text{m}]$$

$$L_2^{\odot} = 1,2 \cdot \sqrt{\frac{1,5 \cdot E_T}{f_d} \cdot \sqrt{D_z \cdot \Delta 1}} \quad [\text{m}]$$

wobei:

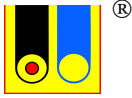
D_z - Außendurchmesser des Mediumrohres [m]

f_d - Reduzierte Berechnungsfestigkeit von Stahl [MPa]

E_T - Elastizitätsmodul [MPa]

$\Delta 1$ - reduzierte Ausdehnung des Abschnittes L_1 [m]

$\Delta 2$ - reduzierte Ausdehnung des Abschnittes L_2 [m]



Die reduzierte Ausdehnung wird mit der Formel berechnet:

$$\Delta L = \frac{\Delta L_2}{\operatorname{tg} \alpha} + \frac{\Delta L_1}{\sin \alpha} \quad [\text{mm}]$$

$$\Delta L_2 = \frac{\Delta L_2}{\sin \alpha} + \frac{\Delta L_1}{\operatorname{tg} \alpha} \quad [\text{mm}]$$

wobei:

α - Winkel

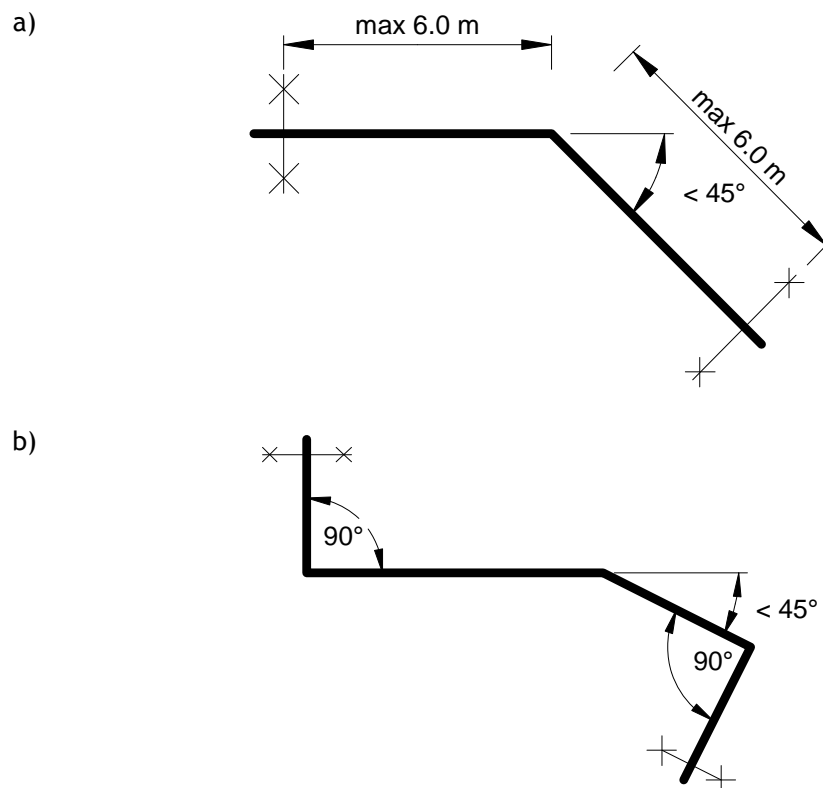
ΔL_1 - Ausdehnung L_1 (berechnet wie im Pkt 6.1.2.) [m]

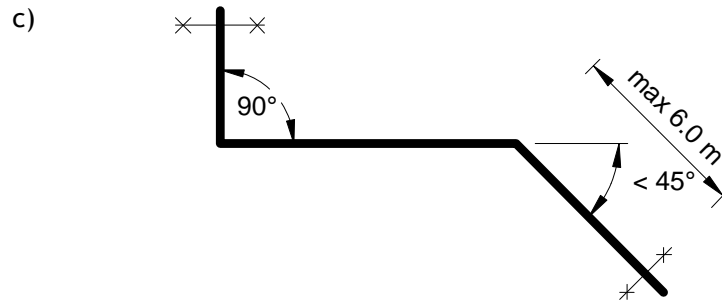
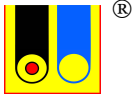
ΔL_2 - Ausdehnung L_2 (berechnet wie im Pkt 6.1.2.) [m]

Die Länge von Kompensationsschenkel [L'_1] und [L'_2] für die Mediumrohre mit Durchmesser [D_z] in der Abhängigkeit von den reduzierten Ausdehnungen [ΔL] und [ΔL_2] kann aus dem Diagramm Nr. 2 entnommen werden.

Sonderanforderungen

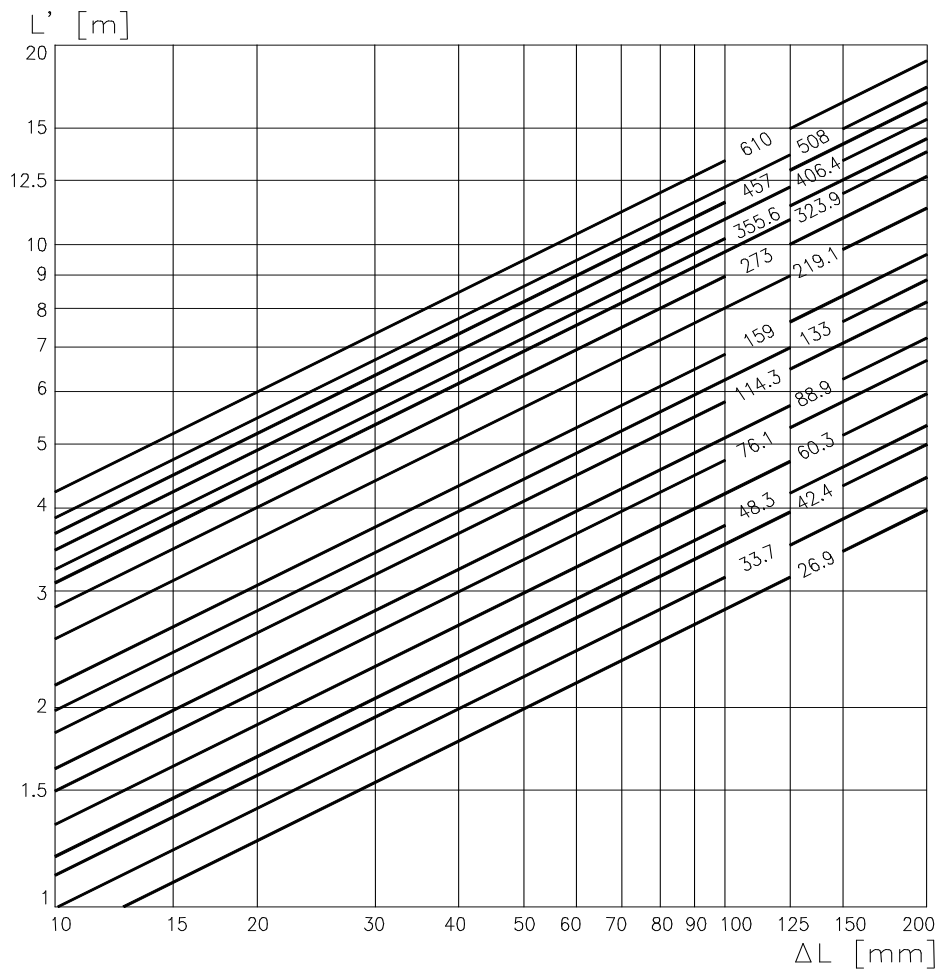
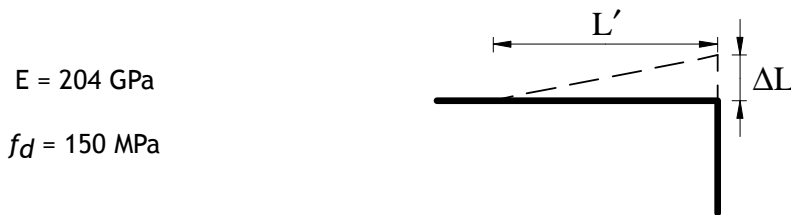
Beim Verlaufswechsel $8^\circ < \alpha < 45^\circ$ ist das System nicht kompensationsfähig. In diesem Fall muss das System durch Einbau eines Festpunktes im Abstand **max L = 6,0 m** oder durch Kompensation L 90 im Abstand nicht weiter als $0,5 \cdot L_{\max}$ gegen Überlastung gesichert werden.

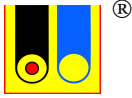




“L”-Form

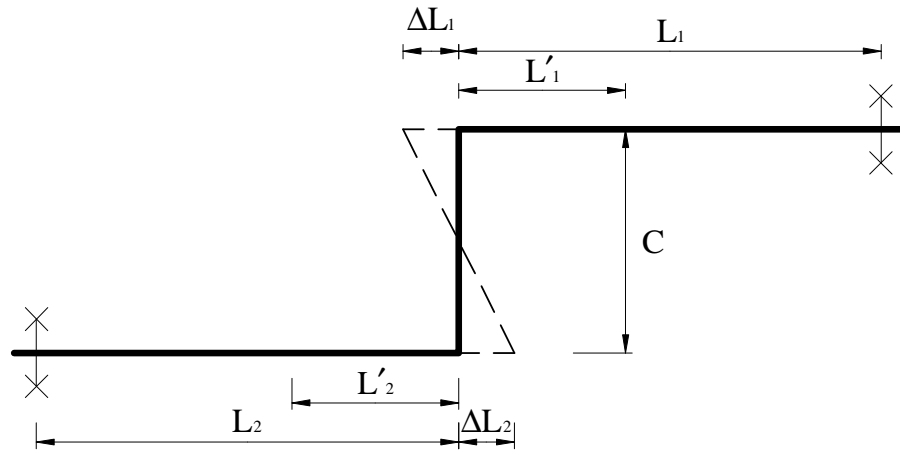
Die Länge von Kompensationsschenkel [L'] in der Abhängigkeit von der Ausdehnung [ΔL].





7.2 "Z" - Form

Die Länge des Kompensationsschenkels [C] in der Z- Form wird mit der Formel berechnet:



$$C = \sqrt{\frac{1,5 \cdot E_T}{f_d} \cdot \sqrt{D_z \cdot \Delta L}} \quad [\text{m}]$$

wobei:

D_z - Außendurchmesser des Mediumrohres [m]

f_d - Reduzierte Berechnungsfestigkeit von Stahl [MPa]

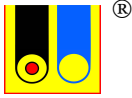
E_T - Elastizitätsmodul [MPa]

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2$$

ΔL_1 - Ausdehnung des Abschnittes L_1 (berechnet wie im Pkt 6.1.2.) [m]

ΔL_2 - Ausdehnung des Abschnittes L_2 (berechnet wie im Pkt 6.1.2.) [m]

Die Länge von Kompensationsschenkel [C] in der Z - Form für die Durchmesser von Mediumrohren und für die Ausgangswerte in der Abhängigkeit von der Ausdehnung [ΔL] können aus dem Diagramm Nr. 3 entnommen werden.



"Z" - Form

Die Länge von Kompensationsschenkel [C] in der Abhängigkeit von der Ausdehnung [ΔL].

$$E = 204 \text{ GPa}$$

$$f_d = 150 \text{ MPa}$$

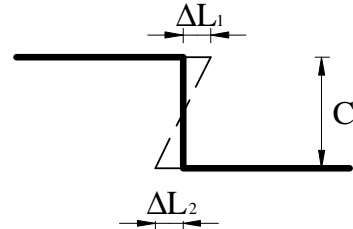
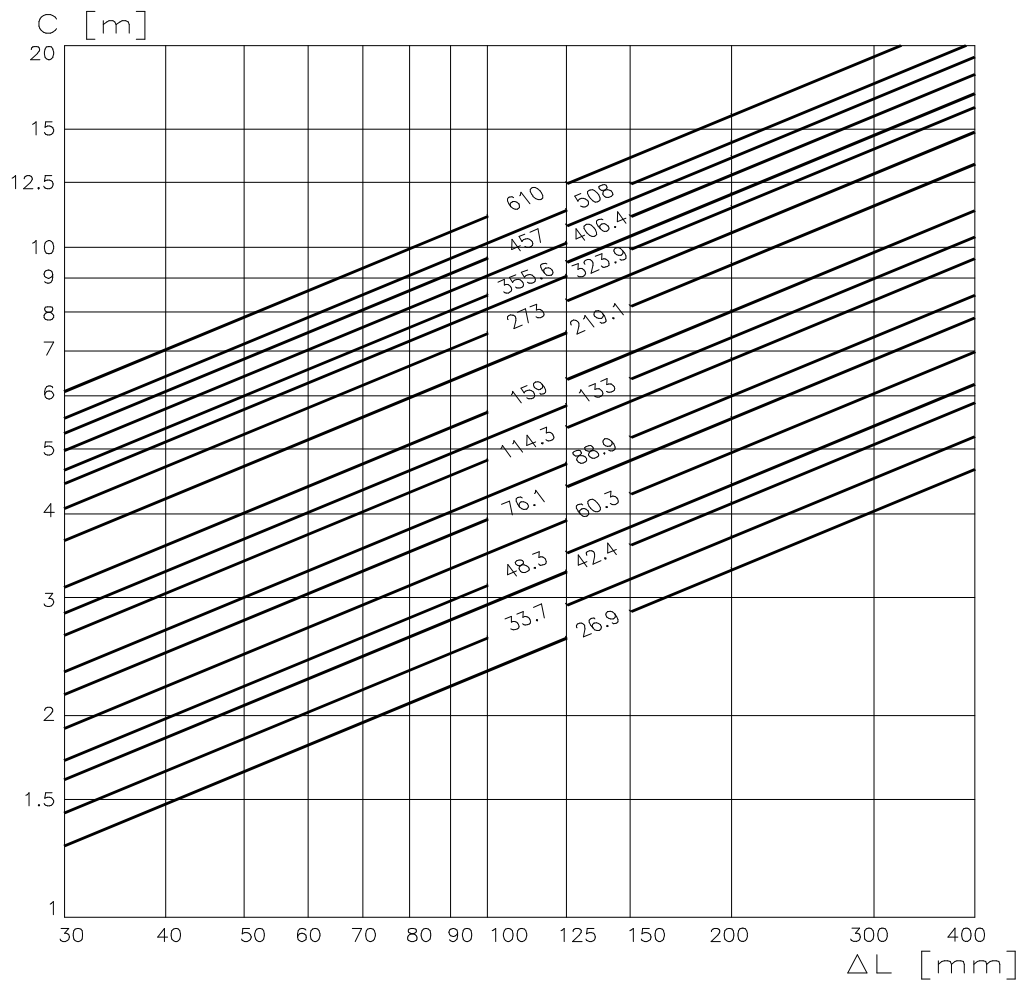
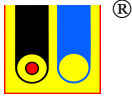


Diagramm NR 3

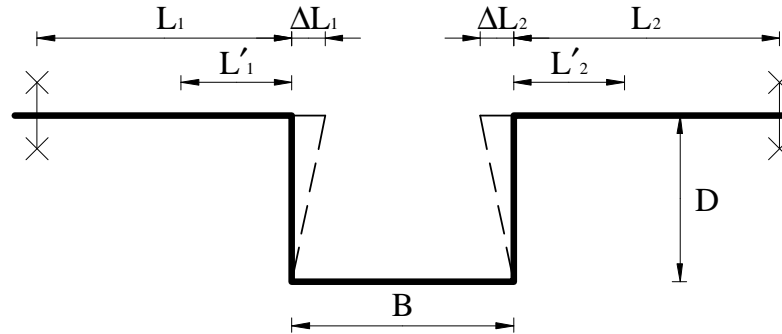




7.3 "U" - Form

Bei der "U"- Form liegt die Schenkellänge [D] in den Grenzen:

$$B \leq D \leq 2 * B$$



Die Länge des Kompensationsschenkels [D] in der "U"-Form wird mit der Formel berechnet:

$$D = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{1,5 \cdot E_T}{f_d}} \cdot \sqrt{D_z \cdot \Delta L} \quad [\text{m}]$$

wobei:

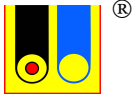
D_z - Außendurchmesser des Mediumrohres	[m]
f_d - Reduzierte Berechnungsfestigkeit von Stahl	[MPa]
E_T - Elastizitätsmodul	[MPa]

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2$$

ΔL_1 - Ausdehnung L_1 (berechnet wie im Pkt.6.1.2.) [m]

ΔL_2 - Ausdehnung L_2 (berechnet wie im Pkt.6.1.2.) [m]

Die Länge von Kompensationsschenkel [D] in der U - Form für die Durchmesser von Mediumrohren und für die Ausgangswerte in der Abhängigkeit von der Ausdehnung [ΔL] können aus dem Diagramm Nr. 4 entnommen werden.



"U" - Form

Die Längen von Kompensationschenkeln [D] in der Abhängigkeit von der Ausdehnung [ΔL].

$E = 204 \text{ GPa}$
 $f_d = 150 \text{ MPa}$

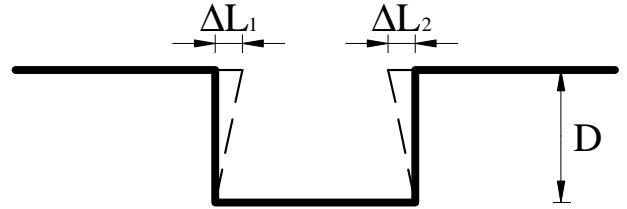
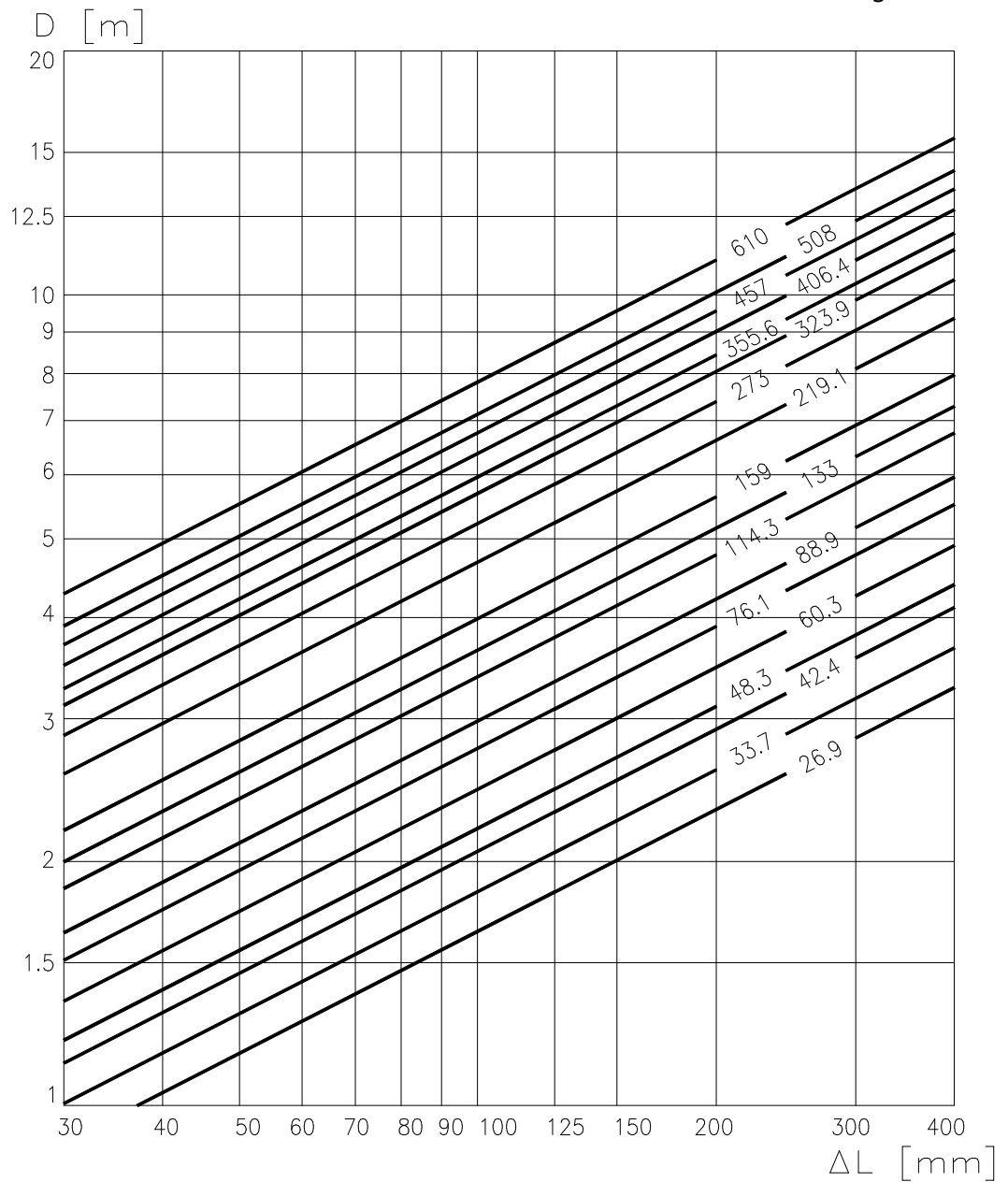
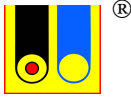


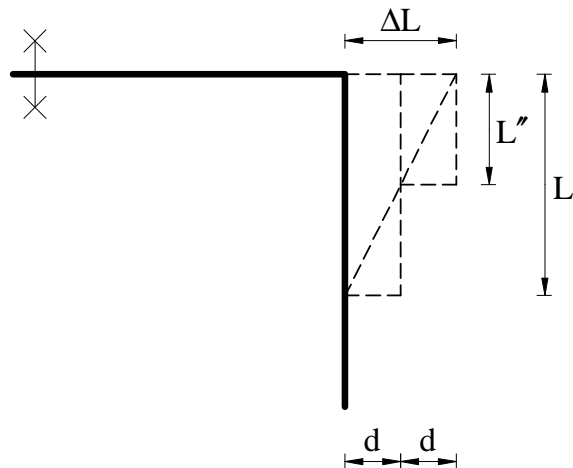
Diagramm NR 4





7.4 Kompensationszonen

Unter einer Kompensationszone versteht man einen Raum an der Rohrleitung, der durch die Länge von Kompensationsschenkeln [L'] und die auftretenden Ausdehnungen [ΔL] begrenzt ist, und in dem die Druckentlastung der Rohrleitung oder der Bögen auf die Erde erfolgen soll. Wir empfehlen, dass die Kompensationszone auf der Strecke $L = 2/3L'$ gefüllt wird.



Wir empfehlen:

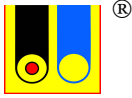
Die richtige Füllung der Kompensationszone, z.B. mit Mineralwolleplatten oder mit Schaumplatten soll stufenweise erfolgen. Wenn eine Mattenschicht der Dicke [d] nimmt die Ausdehnung [ΔL] auf der Länge [L'] auf, die nächste Mattenschicht soll die Länge [L''] haben:

$$L'' = \frac{\Delta L - d}{\Delta L} \cdot L' \quad [\text{m}]$$

8. Der reale vorisolierte Festpunkt

Die Festpunkte in der vorisolierten Rohrleitungen werden angewandt für:

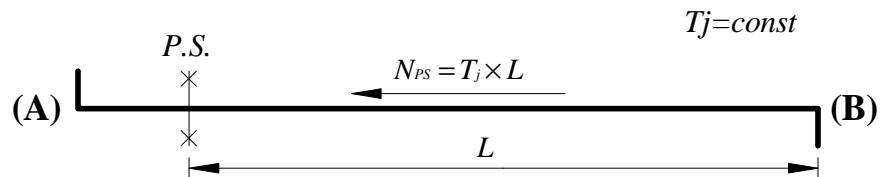
- die Entlastung von anderen vorisolierten Bauteilen, die konstruktionsmäßig zur Belastung nicht ausgelegt sind, z.B. die Abzweigungen von vorisolierten T-Stücken, die Rohrleitungseingänge in die Gebäuden, die Übergänge von herkömmlichen Rohrleitungen in die vorisolierten Rohrleitungen;
- das Schaffen von geforderten Ausdehnungen, wenn z.B. der Kompensationsschenkel eines vorisolierten Bogens die reale Ausdehnung wegen Umgebungsverhältnissen nicht aufnimmt.



8.1 Berechnung von Kräften in einem Festpunkt

Festpunkt - entlastet

Der Festpunkt vollentlastet einseitig unterliegt Einwirkung einer einseitigen Axialkraft. Wir haben mit der einseitigen Belastung eines Festpunktes zu tun, wenn an einer Seite des Festpunktes eine gerade Strecke mit der Länge L verläuft und an anderer Seite kommt es zum Verlaufswechsel der Rohrleitung z.B. mit einem Bogen 90° . Es ist wichtig, dass die gerade Strecke zwischen dem Kompensationsbogen 90° (A) - und dem Festpunkt unbeachtet kurz ist. Die Situation wird nachstehend dargestellt:



Die Axialkraft $[N_{PS}]$, die auf dem Festpunkt wirkt, wird durch die Formel ausgedrückt:

$$N_{PS} = T_j \times L \quad [\text{N}]$$

wobei:

T_j - Bodenreibungskraft pro Einheit, die auf das vorisolierte Rohr wirkt $[\text{N}/\text{m}]$

L - Die Rohrleitungslänge von Festpunkt bis Kompensationsbogen (B) $[\text{m}]$

Der Festpunkt - teilweise entlastet

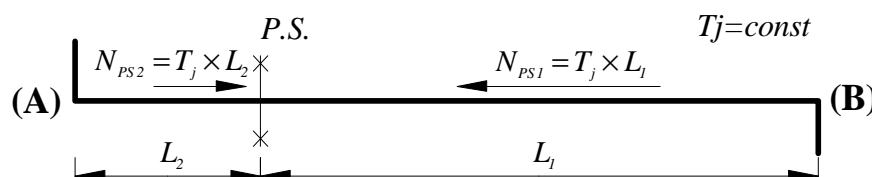
Der Festpunkt teilweise entlastet unterliegt der Einwirkung einer Axialkraft, die durch Reibung zwischen dem Mantel eines vorisolierten Rohres und der Sandverfüllung entsteht:

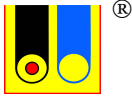
$$N_{PS1} = T_j \times L_1 \quad [\text{N}]$$

bestimmt auf der Länge L_1 zwischen dem Festpunkt und dem Kompensationsbogen (B), ist teilweise durch die gegenwirkende Axialkraft von der Bodenreibung auf den Festpunkt reduziert:

$$N_{PS2} = T_j \times L_2 \quad [\text{N}]$$

bestimmt auf der Länge L_2 zwischen dem Festpunkt und Kompensationsbogen im Punkt (A). Die Situation wird nachstehend dargestellt:





Die gesamate Axialkraft [N_{PS}], die auf dem Festpunkt wirkt, wird durch die Formel ausgedrückt:

$$N_{PS} = N_{PS1} - N_{PS2} \quad [N]$$

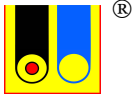
$$N_{PS} = T_j \times (L_1 - L_2) \quad [N]$$

(Bezeichnungen wie auf der obenstehenden Darstellung)

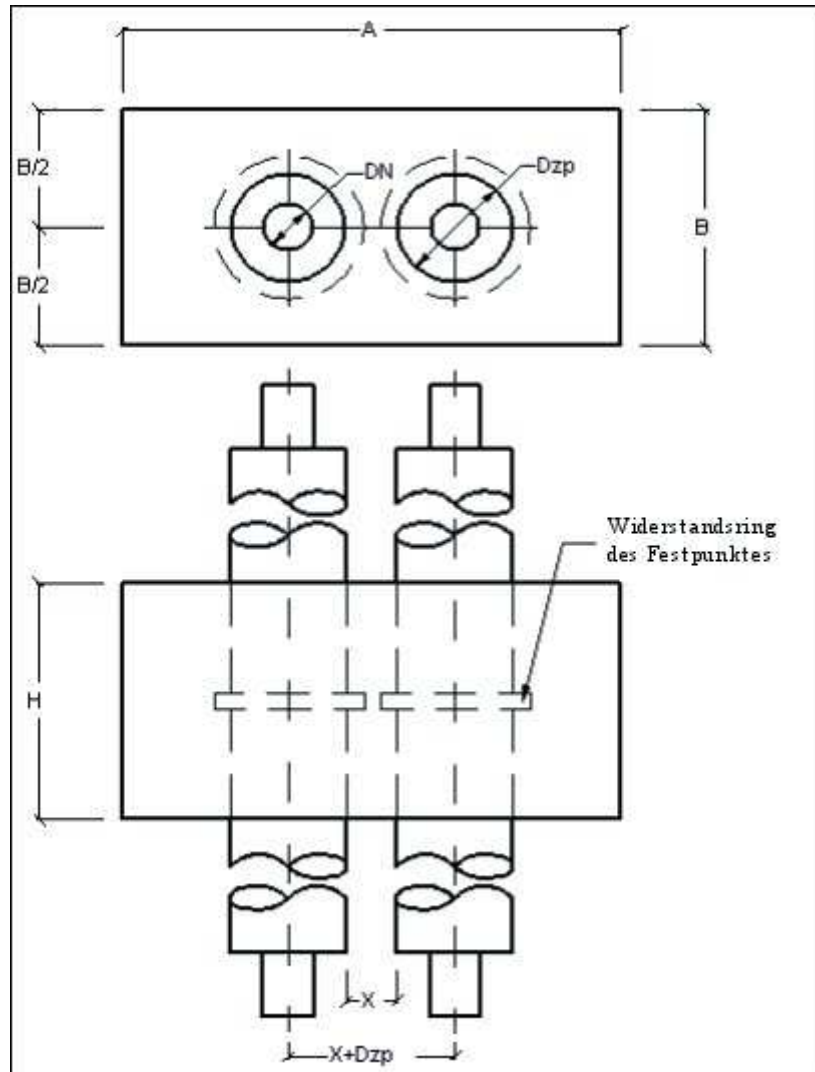
In der Tabelle Nr. 12 wurden die maximalen Abmessungen der Betonblöcke von Festpunkten dargestellt. Die Axialkräfte, die auf den Festpunkt wirken, wurden unter folgenden Annahmen berechnet:

- Aschentiefe der Rohrleitung unter dem Bodenniveau $H=1,0$ m;
- Festpunkt vollentlastet einseitig;
- Streckenlänge, wo die Axialkräfte berechnet wurden, die auf den Festpunkt wirken, beträgt L_{max} , Stahlsorte St 37,0; Isolierung Standard;
- Zur Dimensionierung von Betonblöcken wurde die doppelte Axialkraft [N_{PS}] angenommen, wegen der Wechselwirkung von Vorlauf- und Rücklaufrohr auf den Betonblock;
- Der Gegendruck des Bodens pro Einheit bei der Dimensionierung von Betonblock wurde 150 kPa gemäß PN-81/B-03020 angenommen.

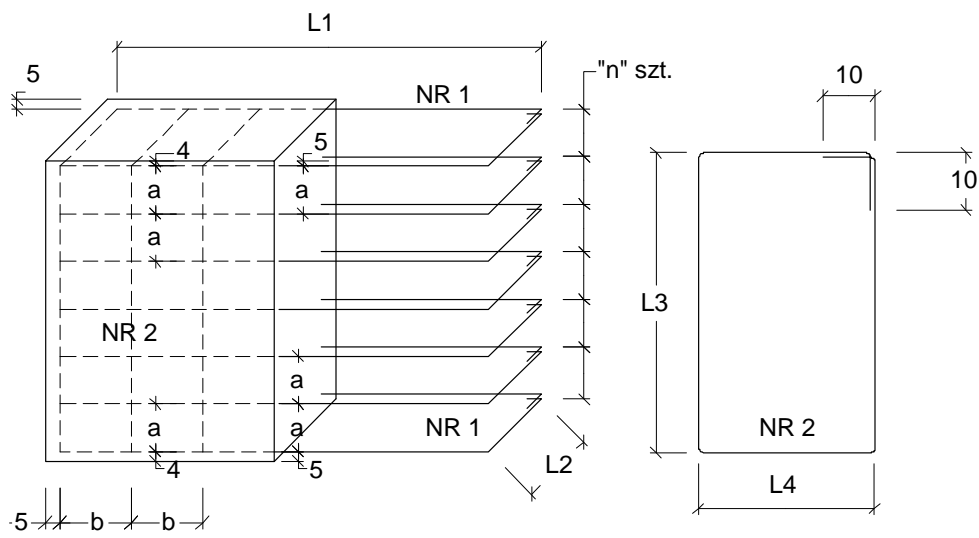
Die Betonblöcke der Festpunkte sollen aus Beton Klasse mindestens B-15, mit Rüstungsstahl der Klasse A-III in der Stahlsorte 34 GS projiziert und erstellt werden.



Die Abmessungen des Betonblockes von einem Festpunkt



Die Rüstung des Betonblockes



Abmessungen
der Rüstung
in
[cm]

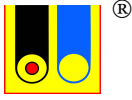


Die maximale Abmessungen der Betonblöcken von Festpunkten

TABELLE 12

Durchmesser		Max. Kraft, die durch Betonblock übertragen wird	Abmessungen von Betonblock			Rüstung von Betonblock						
Stahlrohr	Mantelr ohr		[NPS] dN	A	B	H	Nr Stab	Durchme sser ∅	Meng e n	L1	L2	L3
Außen												
Dz/g	Dzp		cm	cm	cm		mm	szt.	cm	cm	cm	cm
26,9/2,6	75	6030	80	50	30	1	8	4	70	20		
						2	6	5			42	22
33,7/2,6	90	7530	105	50	30	1	8	4	95	20		
						2	6	6			42	22
42,4/2,6	110	10800	110	60	30	1	8	4	100	20		
						2	6	5			52	22
48,3/2,6	110	11730	130	60	30	1	8	4	120	20		
						2	6	5			52	22
60,3/2,9	125	15870	150	70	40	1	10	5	140	30		
						2	6	6			62	32
76,1/2,9	140	20580	165	80	40	1	10	6	155	30		
						2	6	7			72	32
88,9/3,2	160	27520	170	100	50	1	10	8	160	40		
						2	6	7			92	42
114,3/3,6	200	40970	205	120	70	1	10	10	195	60		
						2	6	8			112	62
139,7/3,6	225	48430	240	125	70	1	10	10	230	60		
						2	6	9			117	62
168,3/4	250	65050	280	140	100	1	12	10	270	90		
						2	8	11			132	92
219,1/4,5	315	90760	390	150	100	1	1	12	380	90		
						2	8	15			142	92
273,0/5	400	124863	446	180	100	1	14	14	435	90		
						2	10	17			172	92
323,9/5,6	450	173730	541	190	150	1	14	16	530	140		
						2	10	20			182	142

Achtung : Die Abmessungen von Fundamenten müssen individuell unter Berücksichtigung der realen Normalkraft in der Rohrleitung und unter der Überprüfung des Grenzzustandes der Tragfähigkeit des Bodens gemäß PN-81/B-03020 bestimmt werden.

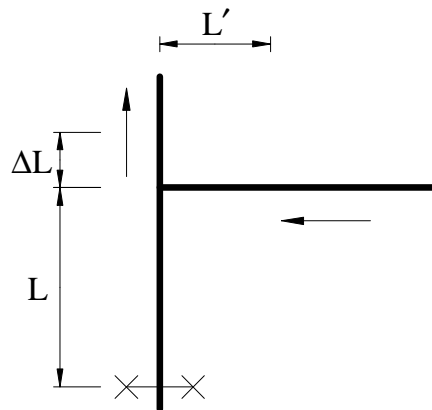


9. Die Abzweigungen von Rohrleitungen und Eingänge in die Gebäuden

Die Abzweigungen im System *ZPU Międzyrzecz Sp. z o.o.* sind mit den T-Stücken zu erstellen.

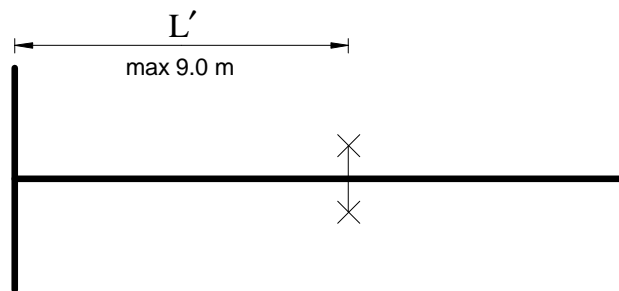
Auf die Abzweigung wirkt die Ausdehnung der Hauptrohrleitung (wie auf der Abbildung). Ausserdem die Abzweigung (Seitenleitung) unterliegt ebenfalls der thermischen Ausdehnung, die auf die Hauptrohrleitung wirkt.

Die Länge der Kompensationszone [L'] und der Ausdehnung [ΔL], wird wie für die Kompensationsform L90 berechnet.

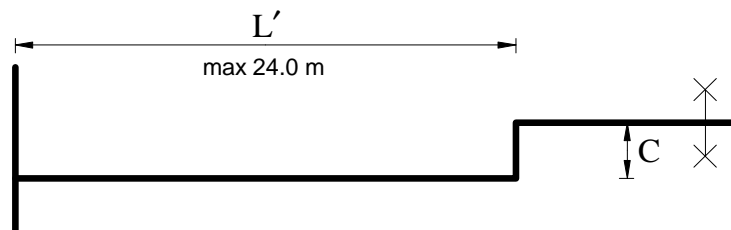


Die Wirkungsfolgen der thermischen Ausdehnung der Seitenabzweigung auf die Hauptrohrleitung können verringert werden durch:

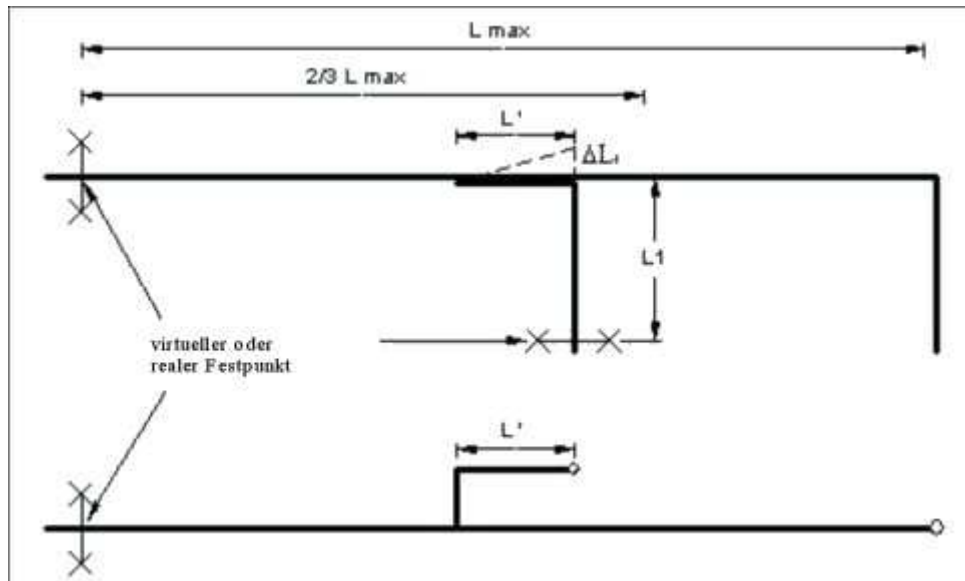
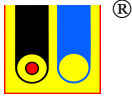
Den Einbau eines realen Festpunktes an der Abzweigung im Abstand max. 9.0 m von der Achse der Hauptrohrleitung:



durch die Anwendung der Kompensation in der "Z" - Form im Abstand max 24.0 m:

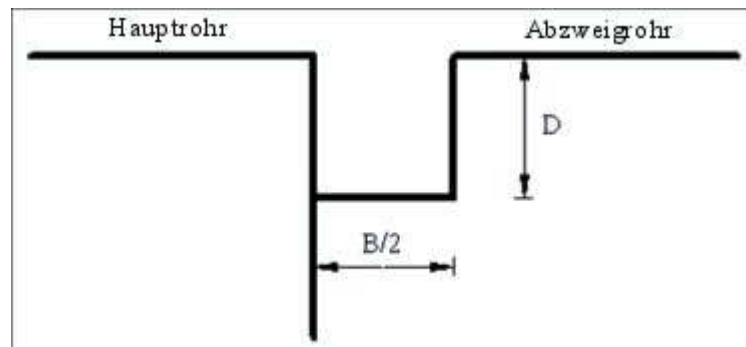


durch die Anwendung von parallelen Abzweigungen zum Hauptrohr auf einer Strecke $2/3 L_{\max}$ vom Festpunkt (real oder virtuell).



Die Länge des Kompensationsschenkels [L'] für die parallele Abzweigung wird wie für die Kompensation in der "L" - Form berechnet, dh die Ausdehnung ΔL_1 des Abschnittes L_1 und wir finden den Schenkel L' abhängig von ΔL_1 im Diagramm auf der Seite 21.

Wenn die Abzweigung die Verlängerung des Hauptrohres bildet, soll die Hälfte der "U"-Form projiziert werden.

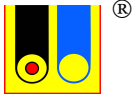


Die parallele Abzweigung als die Verlängerung des Hauptrohres darf nicht unter Anwendung eines parallelen T-Stückes projiziert werden.

Auf der unterstehenden Abbildung wird nicht richtig projizierte Rohrleitung dargestellt..

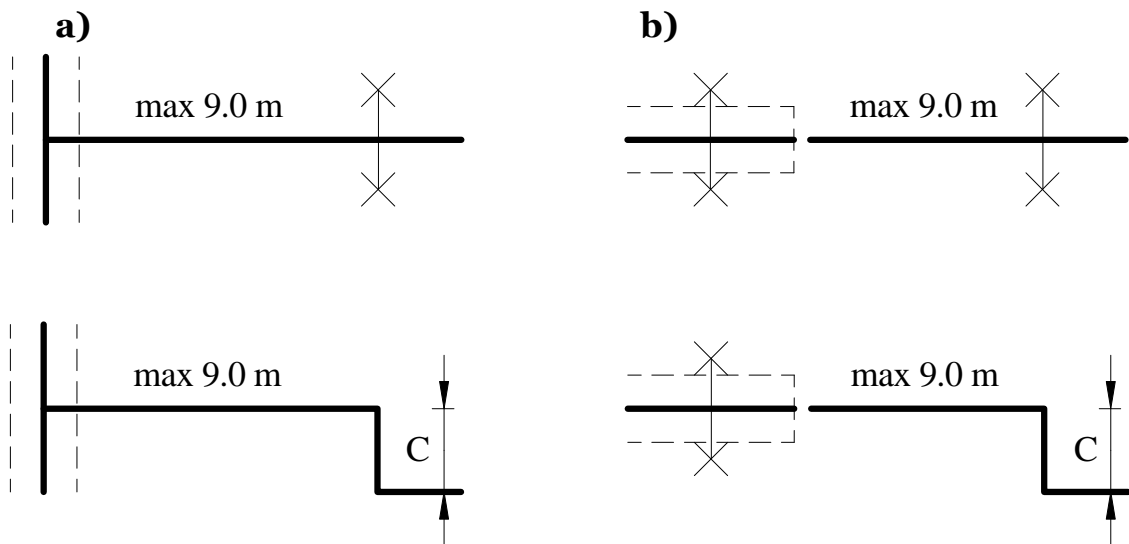


In den Kompensationszonen sollen die vorisolierte Armatur zum Absperrern, zur Entlüftung und zur Entwässerung sowie die vorisolierten Abzweigungen nicht montiert werden.



10. Die Verbindung der vorisolierten Rohrleitung mit einer herkömmlichen Rohrleitung

Die Ausdehnungsfolgen einer vorisolierten Rohrleitung werden durch den Einbau eines Festpunktes oder der Kompensation in der „Z“-Form im Abstand max. 9.0 m von der Achse der herkömmlichen Rohrleitung verringert.

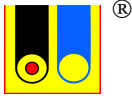


11. Die Stahlarmatur

Bei Projektierung der vorisolierten Stahlarmatur - Absperrventile, Ventile mit Entlüftung und Entwässerung soll beachtet werden:

- die Armatur nicht in der Nähe von Kompensationsbögen zu lokalisieren (Kompensatoren in der Form L,Z,U),
- den Zugang zum Ventilkörper durch einen Strassenkasten oder Mantelrohr oder durch einen Schacht aus den Betonringen mit einem Durchmesser mind. 600 mm freihalten,
- den Ventilkörper im Boden mit Kompensationsmatten sichern,
- die Absperrventile mit Entlüftung und Entwässerung in den Schächten aus Betonringen mit einem Durchmesser mind. 1000 mm oder in den Betonkammern lokalisieren.

Die Absperrarmatur wird zur Durchflussabspernung des Mediums in den einzelnen Abschnitten der Rohrleitung eingesetzt. Die Entwässerungsventile sollen in den niedrigsten Stellen und die Entlüftungsventile in den höchsten Stellen der Rohrleitung oder entsprechend bei den Absperrventilen projektiert werden.



12. Technische Informationen

Die Einzelheiten zur Projektierung, Montage und Abnahme von Rohrleitungen sind in den folgenden Begleitmaterialien zu finden:

1. Richtlinien Projektierungsrichtlinien
Systemu ZPU Międzyrzecz Sp. z o. o.
2. Anleitung Leckageortung. Anschluss des Impulswarnsystems[Systembeschreibung]
[Montage- und Bedienungsanleitung]
Systemu ZPU Międzyrzecz Sp. z o. o.
3. Anleitung Anleitung zur Montage und Abnahme
Systemu ZPU Międzyrzecz Sp. z o. o.
4. Anleitung Thermoisolierung und Abdichtung der Verbindungsstelle
Systemu ZPU Międzyrzecz Sp. z o. o.
5. Anleitung Schweißen von Stahlrohren
Systemu ZPU Międzyrzecz Sp. z o. o.
6. Anleitung Qualitätskontrolle der geschweißten Verbindungen von Stahlrohren
Systemu ZPU Międzyrzecz Sp. z o. o.
7. Anleitung Hartlöten von verzinkte Stahlrohren
Systemu ZPU Międzyrzecz Sp. z o. o.
8. Anleitung Elektroschweißverbindung DX
Systemu ZPU Międzyrzecz Sp. z o. o.
9. Anleitung Elektrogeschweißte Schrumpfverbindung DT
Systemu ZPU Międzyrzecz Sp. z o. o.

Hinweis: Wir passen Ihre Projekte von Fernwärmeleitungen in anderen Systemen an die Systemanforderungen ZPU Międzyrzecz Sp. z o.o. kostenlos an.

13. Handelsinformationen

Hersteller und Lieferant:

Zakład Produkcyjno Usługowy
Międzyrzecz
POLSKIE RURY PREIZOLOWANE Sp. z o. o.,
ul. Zakaszewskiego 4
66-300 Międzyrzecz

Telefon: +48 95 741 25 26, 742 33 00 742 00 93
Fax: +48 95 742 33 01, 742 33 02
Handelsbüro: +48 95 742 33 23, 742 33 38
Vertriebsbüro: +48 95 742 33 46, 742 33 56
e-mail : zpu@zpum.pl <http://www.zpum.pl>

Bei Bestellungen der vorisolierten Produkte sind die Katalogbezeichnung sowie die Stahlsorte des Mediumrohres (St - 37.0 oder P235GH), der Isolierungstyp, Angaben zum Leckwarnsystem, und bei Rohren auch ihre Länge anzugeben. Die Bestellung von wunschgemäßen Produkten mit abweichenden geometrischen Abmessungen müssen individuell vereinbart werden.