

## Berekeningsgrondslagen

### 7 Berekeningsgrondslagen

#### 7.1 Parameters voor dimensionering van leidingsystemen

Soort beïnvloeding	Symbool	Eenheid
<b>Buitendiameter</b>	$d_e$	mm
<b>Binnendiameter</b>	$d_i$	mm
<b>Inwendige druk</b>	$p_i$	bar
<b>Uitwendige druk</b>	$p_a$	bar
<b>Onderdruk</b>	$p_u$	bar
<b>Vergelijkingsspanning</b>	$\sigma_v$	N/mm <sup>2</sup>
<b>Kruipmodulus</b>	$E_{CR}$	N/mm <sup>2</sup>
<b>Bedrijfstemperaturen</b>		
Laagste bedrijfstemperatuur	$T_{i \text{ min}}$	°C
Hoogste bedrijfstemperatuur	$T_{i \text{ max}}$	°C
Hoogste omgevingstemperatuur	$T_{a \text{ max}}$	°C
Gemiddelde montagetemperatuur	$T_M$	°C
<b>Veiligheidscoëfficiënten</b>		
voor belastingklasse I = 1,3	S	
voor belastingklasse II = 1,8	S	
voor belastingklasse III = 2,0	S	
voor de stabiliteit N = 2,0	S	
<b>rekenkundige temperatuur van de buiswand</b>		
$T_W = 0,9 \cdot T_{\text{doorstroommedium}}$	$T_{W \text{ min}}$ $T_{W \text{ max}}$	°C
<b>maximaal optredend temperatuurverschil</b>		
$\max \Delta\theta = T_0 - T_u$	$\Delta\theta$	K
$T_0$ = bovenste max. waarde		
$T_u$ = onderste max. waarde		
<b>Belastingsperiodes:</b>		
Belasting h/a (= uur/jaar)		
voor min $T_W$	-	h/a
voor max $T_W$	-	h/a
voor $p_i$	-	h/a
voor $p_a$	-	h/a
<b>Rekenkundige levensduur voor de bepaling van de levensduur</b>		
	$t_{LD}$	h
	$t_{LD}$	a
<b>Verminderingsfactor</b>		
Afhankelijk van de tijd (bij gebruik van bijlage A1 is met deze invloedsgrootheid al rekening gehouden!)	$A_1$	-
<b>Verminderingsfactor</b>		
(invloed van het omgevingsmedium) volgens DVS 2205 - Deel 1	$A_2$	-
<b>Verminderingsfactor</b>		
Afhankelijkheid van de temperatuur (bij gebruik van bijlage A1 is met deze invloedsgrootheid al rekening gehouden!)	$A_3$	-
<b>Verminderingsfactor</b>		
(Invloed van de specifieke taaiheid) DVS 2205 - Deel 1 Zie hiervoor tabel 7.12!	$A_4$	-
<b>Doorstroommedium</b>		
<b>Drukverlies per meter buis</b>	$\Delta p$	bar/m
<b>Stroomsnelheid</b>	w	m/s
<b>Volumestroom</b>	$\dot{V}$	m <sup>3</sup> /h

Soort beïnvloeding	Symbool	Eenheid
<b>Drukstootbelasting</b>	$\rho_{\text{stoot}}$	bar
<b>Lasfactoren</b>		
Lasfactor voor de korte termijn	$f_s$	-
Lasfactor voor de lange termijn	$f_l$	-
<i>(De hier gebruikte afkortingen <math>f_s</math> en <math>f_l</math> zijn door Akatherm zelf gekozen afkortingen. In de richtlijn DVS-2205 Deel 1 worden deze resp. <math>f_z</math> (lasfactor voor de korte termijn) en <math>f_l</math> (lasfactor voor de lange termijn) genoemd.)</i>		
<b>Verbindingstechniek</b>		
- Demonteerbare verbinding		
- Schroefkoppelingen		
- Koppelingen		
- Steekverbindingen		
- Flensverbindingen		
- Compressieverbindingen		
- Vaste verbinding		
- Lassen		
o Elektromoflassen	EL	
o Stuiklassen	SL	
o Heteluchttrusielassen	HE	
o Heteluchtdraadlassen met snellas mondstuk	HD	
o Heteluchtdraadlassen met normaal mondstuk	HF	
<b>Montagewijzen:</b>		
- bovengronds met lengtecompensatie	<input type="checkbox"/>	
- in beton gestort	<input type="checkbox"/>	
- ondergronds	<input type="checkbox"/>	
- in de buitenlucht gemonteerd	<input type="checkbox"/>	
- in gebouw gemonteerd	<input type="checkbox"/>	
<b>Extra invloeden</b>		

Tabel 7.1

De opgevoerde gegevens dienen ter oriëntatie bij het verzamelen van belangrijke gegevens en kengetallen, die voor het leggen van een leiding van belang zijn.

**NB** De opgevoerde rekenkundige bewerkingen en wiskundige relaties zijn zoveel mogelijk vereenvoudigd. Kunststofspecifieke kenwaarden en algemeen geldige factoren zijn deels al opgenomen in de berekeningsformules. Van een gedetailleerde afleiding of weergave van afzonderlijke waarden hebben wij omwille van de leesbaarheid van dit hoofdstuk afgezien.

#### 7.2 Berekening van leidingparameters

##### 7.2.1 Toelichting

De berekening van thermoplastische kunststof leidingsystemen is voor de ontwerpende ingenieur van groot belang. In dit hoofdstuk worden grondbeginselen gegeven die voor de dimensionering van kunststof leidingsystemen noodzakelijk zijn. Maar ook de gebruiker moet de mogelijkheid hebben noodzakelijke gegevens en standaardgrootheden van een met inwendige druk belaste leiding relatief gemakkelijk en snel te kunnen bepalen. De rekenkundige bewerkingen worden ondersteund door diagrammen in de bijlage, waarin waarden en gegevens meestal direct kunnen worden afgelezen. De berekening van leidingen van ther-

## Berekeningsgrondslagen

moplastische kunststoffen vindt in principe plaats op basis van lange-termijnwaarden. De vergelijkingsspanning ( $\sigma_v$ ) en de vormvastheid (kruipmodulus  $E_{CR}$ ) van een leidingstelsel zijn afhankelijk van de temperatuur en kunnen worden ontleend aan het levensduurdiagram in bijlage A1 en de kruipmoduluscurve diagram in bijlage A2. De levensduurcurve is bepaald door middel van druktests van leidingproefstukken met water-vulling en geven minimumwaarden weer. Als leidingssystemen niet voor water, maar voor andere doorstroommedia worden geïnstalleerd, moet de invloed van deze doorstroommedia op de vormvastheid afzonderlijk worden beschouwd.

### 7.2.2 Hydraulische grondbeginselen

#### - Berekening van de stroomsnelheid

$$w = 354 \frac{\dot{V}'}{d_i^2} \quad \text{resp.} \quad w = 1275 \cdot \frac{\dot{V}''}{d_i^2}$$

Formule 7.1

$d_i$  = binnendiameter  $\rightarrow d_s = d_e - 2 \cdot e$  (mm)  
 $\dot{V}'$  = volumestroom ( $m^3/h$ )  
 $\dot{V}''$  = volumestroom (l/s)  
 $w$  = stroomsnelheid (m/s)  
 Richtwaarden voor vloeistoffen:  
 $w \approx 0,5 - 1,0$  m/s  $\rightarrow$  zuigzijde  
 $w \approx 1,0 - 3,0$  m/s  $\rightarrow$  perszijde

#### - Berekening volumestroom

De benodigde buisafmetingen blijken uit de stroomsnelheid van het medium en de inwendige doorsnede. De volumestroom voor vloeistoffen wordt als volgt berekend:

$$\dot{V} = A \cdot w = \text{const.}$$

$$A = \frac{d_i^2 \cdot \pi}{4} \quad d_i = d_e - 2 \cdot e$$

Formule 7.2

$d_i$  = binnendiameter (mm)  
 $d_e$  = buitendiameter (mm)  
 $e$  = buiswanddikte (mm)  
 $A$  = doorstroomd doorsnedeoppervlak ( $mm^2$ )  
 $w$  = stroomsnelheid (m/s)  
 $\dot{V}$  = doorstroomvolume ( $m^3/h$ , l/s)

#### - Berekening van de binnendiameter

Is de volumestroom bekend en voegen we de constanten van de voorgaande formules bij elkaar, dan ontstaan de in de praktijk gebruikelijke formules voor de bepaling van de binnendiameter:

$$d_i = 18,8 \cdot \sqrt{\frac{\dot{V}'}{w}} \quad \text{resp.} \quad d_i = 35,7 \cdot \sqrt{\frac{\dot{V}''}{w}}$$

Formule 7.3

$d_i$  = binnendiameter (mm)  
 $w$  = stroomsnelheid (m/s)  
 $\dot{V}'$  = doorstroomvolume ( $m^3/h$ )  
 $\dot{V}''$  = doorstroomvolume (l/s)

Met het afgebeelde nomogram in bijlage A16 (met bijbehorende tabellen A16a, A16b en A16c) kan de desbetreffende diameter direct worden bepaald.

#### - Berekening van het Reynoldsgetal (Re)

Het Reynoldsgetal (Re) geeft de verhouding weer tussen de op de stromingsdeeltjes werkende traagheidskrachten en de taaiheidskrachten. Het Reynoldsgetal is dimensieloos en kan als volgt worden bepaald:

$$Re = \frac{w \cdot d_i}{10^3 \cdot \nu}$$

Formule 7.4

Re = Reynoldsgetal (-)  
 $\nu$  = kinematische viscositeit ( $m^2/s$ )  
 $w$  = stroomsnelheid (m/s)  
 $d_i$  = binnendiameter (mm)

#### - Bepaling van het wrijvingsgetal ( $\lambda_R$ ) van een buis

Ter bepaling van hydraulische verliezen in leidingen is het dimensieloze wrijvingsgetal ( $\lambda_R$ ) van de buis nodig. Voor laminaire stromingen ( $Re < 2320$ ) in cirkelvormige doorsneden geldt:

$$\lambda_R = \frac{64}{Re}$$

Formule 7.5

Re = Reynoldsgetal (-)  
 $\lambda_R$  = wrijvingsgetal van buis (-)

In de meeste gevallen ontstaan er in leidingen turbulente stromingen ( $Re > 2320$ ).

Met behulp van bijlage A3 kan het wrijvingsgetal ( $\lambda_R$ ) voor turbulente stromingen worden bepaald. Voor de bepaling is de ruwheidswaarde ( $k$ ) van de buis doorslaggevend, die op 0,01 kan worden gesteld. In de praktijk mag voor ramingsberekeningen ter bepaling van de hydraulische verliezen  $\lambda_R = 0,02$  worden gebruikt.

#### - Equivalente totale leidinglengte

$$L_{tot} = L_{Buis} + L_{Fitting} + L_{Appendages}$$

Formule 7.6

$$L_{Buis} = \text{totale leidinglengte (rechte leiding)}$$

$$L_{Fitting} = \frac{d_i}{10^3} \cdot \sum \xi_F$$

$$L_{Appendages} = \frac{d_i}{10^3 \cdot \lambda_R} \cdot \sum \xi_A$$

Formule 7.7

$L_{tot}$  = totale leidinglengte (m)  
 $\sum L_{Buis}$  = som van alle leidingonderdelen van het systeem (m)  
 $\sum L_{Fitting}$  = som van alle fittinglengten van het systeem (m)  
 $\sum L_{Appendages}$  = som van alle appendages van het systeem (m)  
 $d_i$  = binnendiameter (mm)  
 $\lambda_R$  = wrijvingsgetal van buis (-)  
 $\sum \xi_F$  = som van afzonderlijke weerstanden van fittingen (-)  
 $\sum \xi_A$  = som van afzonderlijke weerstanden van appendages (-)

Een exacte opgave van drukverliezen bij koppelingen (lasnaden, flensverbindingen, schroefkoppelingen) is niet mogelijk, omdat de verbindingen qua type en uitvoering verschillen vertonen. Een standaardtoeslag van 10% op het berekende totaalverlies lijkt voldoende.

## Berekeningsgrondslagen

### - Bepaling van het totale drukverlies

Bij de bepaling van het totale drukverlies moeten de verschillende afzonderlijke drukverliezen worden opgeteld. Het totaal van de afzonderlijke drukverliezen volgt uit:

$$\Delta p_{tot} = \Sigma \Delta p_R + \Sigma \Delta p_{RF} + \Sigma \Delta p_{RA} + \Sigma \Delta p_{RV}$$

Formule 7.8

- $\Sigma \Delta p_{tot}$  = totaal van afzonderlijke drukverliezen (bar)
- $\Sigma \Delta p_R$  = totaal van drukverliezen in rechte leidingdelen (bar)
- $\Sigma \Delta p_{RF}$  = totaal van drukverliezen in fittingen (bar)
- $\Sigma \Delta p_{RA}$  = totaal van drukverliezen in appendages (bar)
- $\Sigma \Delta p_{RV}$  = totaal van drukverliezen in koppelingen (bar)

### - Drukverlies in rechte leidingdelen

Het drukverlies in rechte leidingdelen wordt bepaald met de hiernavolgende formule:

$$\Delta p_R = \lambda_R \cdot \frac{L_R}{d_i} \cdot \frac{\rho_F}{2 \cdot 10^5} \cdot w^2$$

Formule 7.9

- $\Delta p_R$  = drukverlies in afzonderlijk leidingtraject (bar)
- $\lambda_R$  = wrijvingsgetal van buis (-)
- $L_R$  = lengte van leidingtraject (m)
- $d_i$  = binnendiameter van buis (mm)
- $\rho_F$  = dichtheid doorstroommedium (kg/m<sup>3</sup>)
- $w$  = stroomsnelheid (m/s)

### - Drukverlies in fittingen

Omdat in fittingen (bijv. T-stukken, aftakkingen, bochten) aanzienlijke wrijvings-, afbuig- en loslaatverliezen optreden, vormen deze afzonderlijke verliezen een niet-onaanzienlijk aandeel in het totale drukverlies van een leidingsysteem. De drukverliezen zijn te berekenen met de volgende formule:

$$\Delta p_{RF} = \zeta_{RF} \cdot \frac{\rho_F}{2 \cdot 10^5} \cdot w^2$$

Formule 7.10

- $\Delta p_{RF}$  = drukverlies in de fittingen (bar)
- $\rho_F$  = dichtheid doorstroommedium (kg/m<sup>3</sup>)
- $w$  = stroomsnelheid (m/s)
- $\zeta_{RF}$  = weerstandsggetallen voor fittingen (-)

Weerstandsggetallen voor fittingen worden in de tabellen 7.2 t/m 7.7 weergegeven.

### - Drukverlies in buisverbindingsstukken

Ook in buisverbindingsstukken treden drukverliezen op. Deze zijn echter niet exact te karakteriseren, omdat ze door de geometrische afmetingen (bijv. lasrillen) zeer verschillende uitvallen. DVS 2210 Deel 1 adviseert voor koppelingen in kunststof leidingsystemen, zoals stuik- en moflassen, alsmede voor flensverbindingen de berekening van het drukverlies te baseren op een weerstandsggetal van  $\zeta_{RV} = 0,1$  (-). Voor de drukverliezen in verbindingstukken betekent dat:

$$\Delta p_{RV} = \zeta_{RV} \cdot \frac{\rho_F}{2 \cdot 10^5} \cdot w^2$$

Formule 7.11

- $\Delta p_{RV}$  = drukverlies in verbindingstukken (bar)
- $\rho_F$  = dichtheid doorstroommedium (kg/m<sup>3</sup>)
- $w$  = stroomsnelheid (m/s)
- $\zeta_{RV}$  = weerstandsggetallen voor fittingen = 0,1 (-)

Ter verkrijging van een geraamde berekening van de drukverliezen in de verbindingstukken, hoeft er slechts te worden gerekend met een toeslag van 15% op het drukverlies in rechte leidingdelen  $\zeta_R$  en van de fittingen  $\zeta_{RF}$ .

### - Drukverlies in appendages

De drukverliezen in de appendages kunnen met de Formule hieronder worden bepaald:

$$\Delta p_{RA} = \zeta_{RA} \cdot \frac{\rho_F}{2 \cdot 10^5} \cdot w^2$$

Formule 7.12

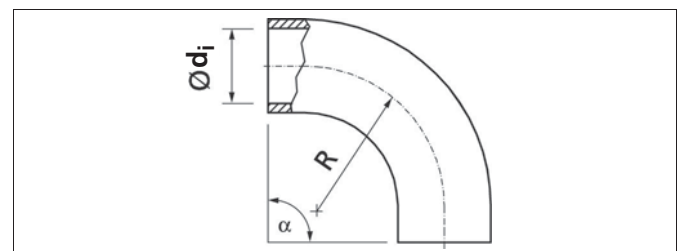
- $\Delta p_{RA}$  = drukverlies in appendages (bar)
- $\rho_F$  = dichtheid doorstroommedium (kg/m<sup>3</sup>)
- $w$  = stroomsnelheid (m/s)
- $\zeta_{RA}$  = weerstandsggetallen voor appendages (-)

Weerstandsggetallen voor appendages zijn te vinden in tabel 7.10.

### - Weerstandsggetallen

Drukverliezen in een leidingsysteem treden op door wrijvings-, afbuig- en loslaatverliezen. Om de grootte van het totale drukverlies in een leidingsysteem te kunnen bepalen, is kennis nodig van weerstandsggetallen ( $\zeta_F$ ) voor fittingen, verbindingstukken en appendages. Hieronder worden de belangrijkste weerstandsggetallen genoemd.

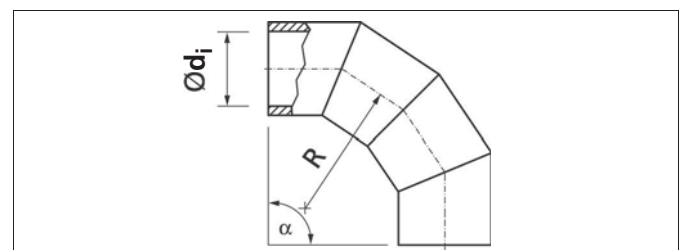
#### - $\zeta_F$ -waarden voor naadloze bochten



$\alpha$ \ R/d <sub>i</sub>	1	1,5	2	4
30°	0,23	0,19	0,14	0,11
45°	0,34	0,27	0,20	0,15
60°	0,41	0,33	0,24	0,19
90°	0,51	0,41	0,34	0,23

Tabel 7.2  $\zeta_F$ -waarden voor naadloze bochten

#### - $\zeta_F$ -waarden voor segmentbochten



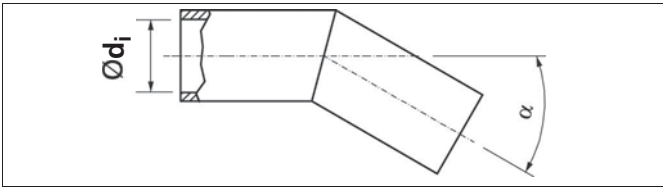
Afbeelding 7.2 Segmentbochten

$\alpha$ \ R/d <sub>i</sub>	1,5	3	4	6
30°	0,10	0,10	0,11	0,11
45°	0,14	0,15	0,16	0,17
60°	0,19	0,20	0,22	0,23
90°	0,24	0,26	0,28	0,29

Tabel 7.3  $\zeta_F$ -waarden voor segmentbochten

## Berekeningsgrondslagen

### - $\zeta_F$ -waarden voor voor knieën

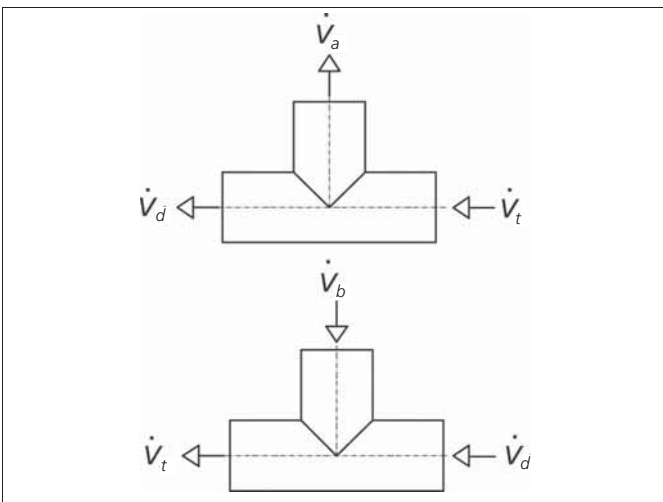


Afbeelding 7.3 Knieën

$\alpha$	10°	15°	20°	30°	45°
$\zeta_F$	0,04	0,05	0,05	0,14	0,30

Tabel 7.3  $\zeta_F$ -waarden voor knieën

### - $\zeta_F$ -waarden voor voor T-stukken



Afbeelding 7.4 T-stuk voor stroomscheiding en stroomvereninging

$\dot{V}_b/\dot{V}_t$	Stroomvereninging $\dot{V}_t = \dot{V}_a + \dot{V}_d$		$\dot{V}_a/\dot{V}_t$	Stroomscheiding $\dot{V}_t = \dot{V}_a + \dot{V}_b$	
	$\zeta_z$	$\zeta_d$		$\zeta_a$	$\zeta_s$
0,0	-1,20	0,06	0,0	0,97	0,10
0,2	-0,40	0,20	0,2	0,90	-0,10
0,4	0,10	0,30	0,4	0,90	-0,05
0,6	0,50	0,40	0,6	0,97	0,10
0,8	0,70	0,50	0,8	1,10	0,20
1,0	0,90	0,60	1,0	1,30	0,35

Tabel 7.5  $\zeta_F$ -waarden voor T-stukken

$\dot{V}_t$  -> totale doorstromende volumestroom (l/s - m<sup>3</sup>/h)

$\dot{V}_d$  -> doorgaande volumestroom (l/s - m<sup>3</sup>/h)

$\dot{V}_a$  -> afsplitsende volumestroom (l/s - m<sup>3</sup>/h)

$\dot{V}_b$  -> bijkomende volumestroom (l/s - m<sup>3</sup>/h)

De positieve waarden betekenen drukverlies, de negatieve waarden drukstijging.

### - $\zeta_F$ -waarden voor tankaansluitingen

kraag ->  $\zeta_F = 2,0$

spie ->  $\zeta_F = 0,3$

afgerond ->  $\zeta_F = 0,05$

### - $\zeta_F$ -waarden voor doorsnedeanderingen

#### a) Buisverwijdingen, haaks

$d_{e1} / d_{e2}$	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
$\zeta_F$	0,07	0,15	0,24	0,46	0,56

Tabel 7.6 Buisverwijdingen, haaks

#### b) Buisversmallingen, haaks

$d_{e1} / d_{e2}$	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
$\zeta_F$	0,10	0,22	0,29	0,33	0,35

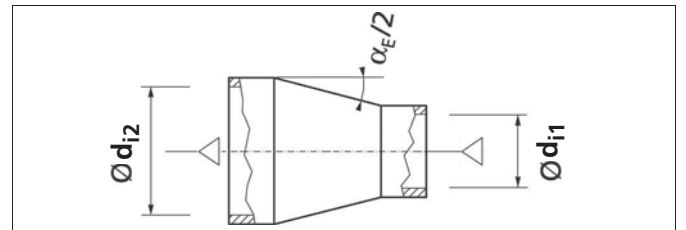
Tabel 7.7 Buisversmallingen, haaks

#### c) Buisverwijdingen, conisch $\zeta$ -waarden voor $\lambda_R = 0,025$

$d_{e2}/d_{e1}$	$\zeta_F$ -waarden voor verwijdingshoek $\alpha_E$		
	4 - 8°	16°	24°
1,2	0,10	0,15	0,20
1,4	0,20	0,30	0,50
1,6	0,50	0,80	1,50
1,8	1,20	1,80	3,00
2,0	1,90	3,10	5,30

Tabel 7.8 Buisverwijdingen, conisch

$\alpha_E$  is de verwijdingshoek. De  $\zeta$ -waarden hebben betrekking op de snelheid ( $w_2$ ). De conische lengte ( $l$ ) wordt bepaald door de verwijdingshoek ( $\alpha_E$ ) en de diameterverhouding  $d_{e2}/d_{e1}$ . De optimale verwijdingshoek ( $\alpha_E$ ), waarbij de straal van het doorstromende medium nog niet van de buiswand loskomt, is ca. 7 tot 8°.

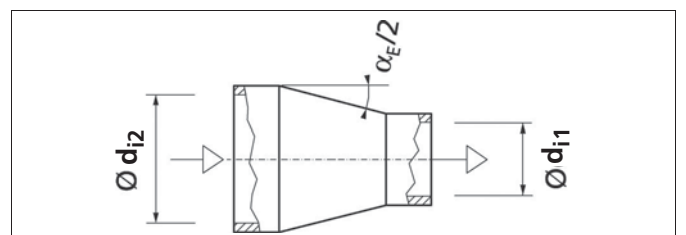


Afbeelding 7.5 Conische verwijding van de stromingsdoorsnede

#### d) Buisversmallingen, conisch $\zeta$ -waarden voor $\lambda_R = 0,025$

$d_{e2}/d_{e1}$	$\zeta_F$ -waarden voor verwijdingshoek $\alpha_E$		
	4°	8°	24°
1,2	0,046	0,023	0,210
1,4	0,067	0,033	0,013
1,6	0,076	0,038	0,015
1,8	0,031	0,041	0,016
2,0	0,034	0,042	0,017

Tabel 7.9 Buisversmallingen, conisch



Afbeelding 7.6 Conische versmalling van de stromingsdoorsnede

## Berekeningsgrondslagen

### - $\zeta_A$ -waarden voor appendages

Nominale diameter DN	Weerstandsgetal ( $\zeta$ )									
	membraanafsluiter	terugslagklep	schuivrijstroomafsluiter	schuifafsluiter (zonder vernauwing)	kogelkraan	vliederklep	vrijstroomafsluiter	terugslagklep		
25	4,0	2,1	3,0	0,1...0,3	0,1...0,15	0,3...0,6	2,5	1,9		
32	4,2	2,2	3,0	0,1...0,3	0,1...0,15	0,3...0,6	2,4	1,6		
40	4,4	2,3	3,0	0,1...0,3	0,1...0,15	0,3...0,6	2,3	1,5		
50	4,5	2,3	2,9	0,1...0,3	0,1...0,15	0,3...0,6	2,0	1,4		
65	4,7	2,4	2,9	0,1...0,3	0,1...0,15	0,3...0,6	2,0	1,4		
80	4,8	2,5	2,8	0,1...0,3	0,1...0,15	0,3...0,6	2,0	1,3		
100	4,8	2,4	2,7	0,1...0,3	0,1...0,15	0,3...0,6	1,6	1,2		
125	4,5	2,3	2,3	0,1...0,3	0,1...0,15	0,3...0,6	1,6	1,0		
150	4,1	2,1	2,0	0,1...0,3	0,1...0,15	0,3...0,6	2,0	0,9		
200	3,6	2,0	2,4	0,1...0,3	0,1...0,15	0,3...0,6	2,5	0,8		

Tabel 7.10  $\zeta$ -waarden voor appendages

### - $\zeta$ -waarden voor compensatoren

Golfcompensator :  $\zeta = 2,0$  per golf  
 Rubbercompensatoren :  $\zeta = 3,0$

### - $\zeta$ -waarden voor lasnaden

Moflassen :  $\zeta = 0,05$   
 Stuijklassen :  $\zeta = 0,1$

### - $\zeta$ -waarden voor achter elkaar geplaatste bochten

180°-bocht :  $\zeta = 2,0 \cdot \zeta_{90^\circ}$   
 Etage m. 2 x 90°-bochten :  $\zeta = 2,5 \cdot \zeta_{90^\circ}$   
 ruimtelijke etage m. 2 x 90°-bochten :  $\zeta = 3,0 \cdot \zeta_{90^\circ}$

### 7.2.3 Drukstootonderzoek

De verandering van stationaire toestanden in een leidingstelsel, bijv. door bediening van een afsluiter of bij uitval van een pomp, genereert een drukgolf, die door reflectie in bochten, reduceringen e.d. tot interferentie leidt, die een veelvoud van de bedrijfsdruk kan vormen. De grootste druktoename doet zich voor als het sluiten van afsluiters en bij het resttransport na uitval van een pomp onder de zogenaamde reflectietijd ligt. Als zich in een leidingstelsel extern gestuurde appendages of snelsluitende appendages bevinden, dient te worden gecontroleerd of de sluittijd langer is dan de reflectietijd. In geval van een drukstoot moet het effect in de vorm van een korteduurspanningsberekening en een stabiliteitsbewijs worden onderzocht.

*Opmerking: Niet altijd wordt de drukstoot voldoende uitgedrukt door de hiernavolgende formules. Met name bij langere of vertakte leidingssystemen moet nader onderzoek worden gedaan om zo mogelijk alle grootheden die van invloed zijn in aanmerking te kunnen nemen en te kunnen beoordelen.*

Belangrijke invloedsgrontheden zijn:  
 Bedrijfsdruk, pompdruk =  $p_B$  (bar)  
 Stroomsnelheid =  $w_0$  (m/s)  
 E-modulus van het materiaal =  $E_{CR}$  (N/mm<sup>2</sup>)  
 (kortetijd-E-modulus = kruipmodulus tussen 1 en 10 min)  
 E-modulus van het doorstroommedium =  $E_F$  (N/mm<sup>2</sup>)  
 (voor water van 20°C ->  $E_F \approx 2100$  N/mm<sup>2</sup>)  
 Dichtheid van het doorstroommedium =  $\rho_F$  (g/cm<sup>3</sup>)

### - Bepaling van de voortplantingssnelheid van de drukgolf (a)

$$a = \frac{a_0}{\sqrt{1 + 2 \cdot \frac{E_F}{E_{CR}} \cdot \frac{\eta^2 + 1}{\eta^2 - 1}}}$$

Formule 7.13

De genoemde weerstandsgetalen zijn richtwaarden en dienen voor de raming van drukverliezen. Voor projectgerelateerde berekeningen dienen de gegevens van de desbetreffende appendagefabrikant als basis te worden genomen.

$$a_0 = 31,3 \cdot \sqrt{\frac{E_F}{\rho_F}}$$

Formule 7.14

$$\eta = \frac{d_e}{d_i}$$

Formule 7.15

$a$  = voortplantingssnelheid drukgolf (m/s)  
 $a_0$  = geluidssnelheid (m/s)  
 $d_e$  = buitendiameter (mm)  
 $d_i$  = binnendiameter (mm)  
 $\eta$  = correctiefactor (-)  
 $E_{CR}$  = kruipmodulus van het materiaal (N/mm<sup>2</sup>)  
 $E_F$  = E-modulus van het doorstroommedium (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\rho_F$  = dichtheid doorstroommedium (g/m<sup>3</sup>)

### - Maximale drukstoot voor $\Delta w = w_0$

$$p_{StoB} = p_B \pm \frac{a}{100} \cdot \Delta w$$

Formule 7.16

$a$  = voortplantingssnelheid drukgolf (m/s)  
 $p_{Stoot}$  = drukstoot (bar)  
 $p_B$  = pompdruk, bedrijfsdruk (bar)  
 $\Delta w$  =  $w_0 - w_1$  (met  $w_1$  = stroomsnelheid bij de reflectiepositie) (m/s)

Bij korte leidingen met een lengte kan er rekening mee worden gehouden dat er een kleinere drukstoot plaatsvindt.

$$L_{buis} \leq \frac{a \cdot t_s}{2}$$

Formule 7.17

$t_s$  = sluittijd van de afsluitinrichting resp. duur van resttransport pomp na uitval (s)  
 $L_{buis}$  = leiding lengte (m)  
 $a$  = voortplantingssnelheid drukgolf (m/s)

De drukstootreductiefactor bedraagt:

$$Z_s = \frac{2 \cdot L_{buis}}{a \cdot t_s} \geq 1$$

Formule 7.18

$Z_s$  = drukstootreductiefactor (-)  
 $L_{buis}$  = leiding lengte tussen sluis resp. pomp en reflectiepunt (m)  
 $t_s$  = sluittijd van de afsluitinrichting resp. duur van resttransport pomp na uitval (s)  
 $a$  = voortplantingssnelheid drukgolf (m/s)

## Berekeningsgrondslagen

De volledige met de snelheidsverandering ( $\Delta_w$ ) overeenkomende drukwijziging ( $\Delta_p$ ) wordt geëffectueerd als de sluittijd ( $t_s$ ) korter is dan de reflectietijd ( $t_R$ ). De reflectietijd ( $t_R$ ) wordt berekend met:

$$t_R = \frac{2 \cdot L_{\text{buis}}}{a}$$

Formule 7.19

$t_R$  = reflectietijd (s)  
 $L_{\text{buis}}$  = leiding lengte tussen sluitorgaan resp. pomp en reflectiepunt (m)  
 $a$  = voortplantingssnelheid drukgolf (m/s)

Voor een grove inschatting van het drukstootrisico kan de volgende vuistregel worden aangehouden:

$$K_s = \frac{L_{\text{buis}} \cdot w_0}{\sqrt{H_p}}$$

Formule 7.20

$H_p$  = opvoerhoogte pomp (m)  
 $K_s$  = drukstootkenwaarde (-)  
 $L_{\text{buis}}$  = leiding lengte tussen sluitorgaan resp. pomp en reflectiepunt (m)  
 $w_0$  = stroomsnelheid (m/s)

Voor  $K_s > 70$  en bij gelijktijdig gebruik van snel sluitende appendages wordt een afzonderlijke drukstootberekening geadviseerd.

### - Bepaling van de drukstoot voor het geldigheidsgebied

$L_{\text{buis}} \leq 500 \cdot d_e$

Bij formule 7.21 gaat het om een empirische berekeningsformule. Deze formule mag dan ook alleen worden gebruikt als er eenvoudige leidingsystemen, zonder fittingen, bij benadering moeten worden berekend.

$$p_{\text{stoot}} = p_B \cdot \left[ 1 + \frac{100 \cdot w \cdot \rho_F}{\varphi \cdot p} \cdot \left( 1 + 0,2 \cdot \sqrt{p_B} \right) \right]$$

Formule 7.21

$p_{\text{stoot}}$  = drukstoot (bar)  
 $p$  = pompdruk, bedrijfsdruk (bar)  
 $w$  = stroomsnelheid (m/s)  
 $\rho_F$  = dichtheid doorstroommedium (g/cm<sup>3</sup>)  
 $\varphi$  = stootfactor (-)

Voor  $\varphi$  kunnen in het algemeen de volgende waarden worden gekozen:

$\varphi = 25$  voor snel sluitende appendages  
 $\varphi = 50$  voor normaal sluitende appendages  
 $\varphi = 75$  voor langzaam sluitende appendages

De bij drukstoten vaak optredende belastingen door vacuüm kunnen in sommige gevallen leiden tot plaatselijke indeuking van de leiding. De stabiliteit, dat wil zeggen, de deukbestendigheid van de in aanmerking komende reeks buizen moet in voorkomende gevallen worden aangetoond.

$$p_k = 2,9 \cdot E_{CR} \cdot \left( \frac{2 \cdot e}{d_s} \right)^3$$

Formule 7.22

$p_k$  = kritische onderdruk (bar)  
 $E_{CR}$  = elasticiteitsmodulus (tussen 1...10 min) (N/mm<sup>2</sup>), zie bijlage A2.  
 $e$  = buiswanddikte (mm)  
 $d_i$  = binnendiameter (mm)

Daaruit volgt:

$$SF = \frac{p_k}{p_u} \geq 2$$

Formule 7.23

$p_u$  = onderdruk uit drukstootberekening (bar)  
 $p_k$  = kritische onderdruk (bar)  
 $SF$  = veiligheidscoëfficiënt (-)

NB

De bijlage B9 en B10 tonen de toelaatbare uitwendige druk- ( $p_a$ ) resp. onderdrukbelasting ( $p_u$ ) bij kortstondige waarnemingen ( $t = 100$  h) en langdurige waarnemingen ( $t = 25a$ ) voor PE van verscheidene SDR-niveaus.

### 7.2.4 Bepaling van de toelaatbare spanning

Om de toelaatbare spanning te bepalen, moeten er verschillende reductiefactoren bij de berekening worden betrokken. De betekenis van de afzonderlijke reductiefactoren wordt in hoofdstuk 7.2.6 behandeld. De toelaatbare spanning kan met de volgende formule worden bepaald:

$$\sigma_{\text{toel}} = \frac{\sigma_v \cdot f_{s,l}}{A_2 \cdot A_4 \cdot S}$$

Formule 7.24

$\sigma_{\text{toel}}$  = toelaatbare spanning (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_v$  = vergelijkingsspanning (N/mm<sup>2</sup>), zie bijlage A2.  
 $f_l$  = lasfactor voor de lange termijn (-)  
 $f_s$  = lasfactor voor de korte termijn (max. 1 h) (-)  
 $A_2$  = reductiefactor voor de invloed van het doorstroommedium (zie tabel 2.3) (-)  
 $A_4$  = reductiefactor voor de specifieke taaheid van het materiaal (-)  
 $SF$  = veiligheidscoëfficiënt voor de desbetreffende belastingssituatie (zie tabel 7.13) (-)

### 7.2.5 Lasfactoren

De grootte van de lasfactor is afhankelijk van de betreffende lasmethode. Bovendien wordt er onderscheid gemaakt tussen lasfactoren voor de korte termijn ( $f_s$ ) en voor de lange termijn ( $f_l$ ). Voor componentberekeningen mag alleen de lasfactor voor de lange termijn worden gebruikt. De bepaling van de lasfactoren wordt behandeld in DVS 2203 Deel 2. Tabel 7.11 bevat de betreffende factoren voor stuiklassen (SL) (DVS 2203 Deel 1) en voor elektromoflassen (EL) (DVS 2212 Deel 1). De afkortingen  $f_s$  en  $f_l$  zijn door Akatherm zelf gekozen (in de literatuur vindt men hiertoe de aanduidingen  $f_5$  en  $f_2$ ).

Materiaal	Lasfactor	PE
Stuiklassen	$f_s$	0,9
	$f_l$	0,8
Elektromoflassen	$f_s$	0,9
	$f_l$	0,8

Tabel 7.11 Lasfactoren  $f_s$  en  $f_l$

### 7.2.6 Reductiefactoren

#### - Reductiefactor $A_1$

De reductiefactor  $A_1$  (tijdsafhankelijkheid) houdt rekening met de afhankelijkheid van de vastheid van het materiaal van de belastingduur. Deze waarde is opgenomen in de levensduurcurves (bijlage A1). Bij gebruik van dit diagram vervalt een afzonderlijke beschouwing.

## Berekeningsgrondslagen

### - Reductiefactor $A_2$

Deze reductiefactor geeft de invloed aan van het bedrijfsmedium (chemische bestendigheidsfactor) op de levensduur van de thermoplastische kunststof. De betreffende waarden kunnen aan tabel 2.3 in hoofdstuk 2 worden ontleend.

### - Reductiefactor $A_3$

In reductiefactor ( $A_3$ ) wordt in aanmerking genomen in hoeverre de vastheid afhangt van de bedrijfstemperatuur. Ook deze waarde is reeds opgenomen in de levensduurcurves (in bijlage A1). Bij gebruik van dit diagrammen vervalt een afzonderlijke beschouwing.

### - Reductiefactor $A_4$

Deze factor houdt rekening met de specifieke taaiheid van het materiaal afhankelijk van de bedrijfstemperatuur en wordt daarom afgeleid van waarden voor de kerfslagvastheid. De betreffende waarden voor de reductiefactor ( $A_4$ ) zijn te vinden in tabel 7.12.

Materiaal	Temperatuur van de buiswand			
	-10°C	20°C	40°C	60°C
PE100	1,2	1	1	1

Tabel 7.12 Reductiefactor  $A_4$

Factoren voor tussenliggende temperaturen kunnen worden geïnterpoleerd.

### 7.2.7 Veiligheidscoëfficiënt (SF)

Belastingsklasse		
I	Gelijkmatige belasting van de leiding bij montage in gebouwen. Bij schade geen gevaar voor personen, zaken en milieu mogelijk.	1,3
II	Belasting van de leiding onder wisselende bedrijfsomstandigheden bij montage buiten gebouwen. Bij schade geen gevaar voor personen te verwachten. Effect op zaken en milieu beperkt. (*)	1,8
III	Belasting van de leiding onder wisselende bedrijfsomstandigheden bij binnen- en buitenmontage. Bij letsel-gevaar voor personen en controleplichtige installaties.	$\geq 2,0$

Tabel 7.13 Veiligheidscoëfficiënt (SF) van verschillende belastingsituaties

(\*) In tegenstelling tot de algemene opgave in de literatuur (bijv. DVS 2205 Deel 1), waarin maar twee belastingsituaties worden onderscheiden, heeft Akatherm met betrekking tot grotere belastingen, die bij montage buiten gebouwen op een leidingsysteem kunnen inwerken, deze extra belastingsklasse ingevoerd.

### 7.2.8 Minimale wanddikten

#### - Rechte buizen

$$e_0 = \frac{d_e \cdot p_i}{20 \cdot \sigma_{toel} + p_i}$$

Formule 7.25

$e_0$  = minimumwanddikte (mm)  
 $d_e$  = buitendiameter (mm)  
 $p_i$  = inwendige druk (bar)  
 $\sigma_{toel}$  = toelaatbare spanning (N/mm<sup>2</sup>)

### - Naadloze en segmentgelaste bochten

Voor de binnenkant van de bocht geldt:

$$e_i = \frac{d_e \cdot p_i}{20 \cdot \sigma_{toel} + p_i} \cdot f_{Bi}$$

Formule 7.26

$e_i$  = Wanddikte binnenkant bocht (mm)  
 $f_{Bi}$  = Factor voor de binnenkant bocht, tabel 7.14 (-)  
 $p_i$  = inwendige druk (bar)  
 $d_e$  = buitendiameter (mm)  
 $\sigma_{toel}$  = toelaatbare spanning (N/mm<sup>2</sup>)

Voor de buitenkant van de bocht geldt:

$$e_a = \frac{d_e \cdot p_i}{20 \cdot \sigma_{toel} + p_i} \cdot f_{Ba}$$

Formule 7.27

$e_a$  = wanddikte buitenkant bocht (mm)  
 $f_{Ba}$  = factor voor de buitenkant bocht, tabel 7.14 (-)  
 $p_i$  = inwendige druk (bar)  
 $d_e$  = buitendiameter (mm)  
 $\sigma_{toel}$  = toelaatbare spanning (N/mm<sup>2</sup>)

### - Factoren ( $f_{Bi}$ ) en ( $f_{Ba}$ ) ter bepaling van de bochtwanddikten

		Radius R			
		$1,0 \cdot d_e$	$1,5 \cdot d_e$	$2,0 \cdot d_e$	$2,5 \cdot d_e$
Naadloze bochten	$f_{Bi}$	1,27	1,22	1,15	1,12
	$f_{Ba}$	0,92	0,93	0,95	0,96
Segment-bochten	$f_{Bi}$	1,59	1,50	1,44	1,40
	$f_{Ba}$	1,15	1,16	1,19	1,20

Tabel 7.14 Factoren ter bepaling van de bochtwanddikte

### - Gelaste aftakkingen (T-stukken)

Uitsnijdingen in leidingen vormen principieel een verzwakking. Dit gegeven bewerkstelligt dat onversterkte, gelaste T-stukken niet voldoen aan de nominale druk van de buis. Gelaste T-stukken kunnen uitsluitend aan een verlaagde drukbelasting worden blootgesteld. Een verbetering van de drukbelastbaarheid van de binnenzijde buis kan worden bereikt door middel van een vergroting van de buiswanddikte van het aansluitstuk of door middel van een dienovereenkomstige versterking van de lasnaden.

### - Wanddikten van aftakkingen:

$$e_0 = \frac{d_e \cdot p_i}{(20 \cdot \sigma_{toel} + p_i) \cdot v_{RF}}$$

Formule 7.28

$e_0$  = wanddikte (mm)  
 $d_e$  = buitendiameter (mm)  
 $p_i$  = inwendige druk (bar)  
 $\sigma_{toel}$  = toelaatbare spanning (N/mm<sup>2</sup>)  
 $v_{RF}$  = verzwakkingsfactor van de fitting (-)

Waarden voor de verzwakkingsfactor ( $v_{RF}$ ) kunnen uit bijlage B2 worden geïnterpreteerd.

De verminderde inwendige drukbelastingen voor de van buissegmenten gelaste fittingen kunnen aan bijlage B2 worden ontleend.

## Berekeningsgrondslagen

### 7.2.9 Inwendige drukbelastbaarheid van gelaste en gespuitsgiete fittingen

#### - Gespuitsgiete fittingen

Bij gespuitsgiete fittingen hoeven er over het algemeen geen beperkingen met betrekking tot een verminderde inwendige drukbelastbaarheid in acht te worden genomen. Zij zijn dus bestand tegen dezelfde inwendige drukbelasting als een buis van hetzelfde SDR-niveau.

#### - Segmentgelaste T-stukken

De inbouw van onversterkte, gelaste T-stukken in een willekeurig leidingsysteem heeft een vermindering van de aanvaardbare bedrijfsdruk tot gevolg. De dienovereenkomstige reductiefactor is sterk temperatuurafhankelijk, dat wil zeggen, de inwendige drukbelastbaarheid daalt met een stijgende bedrijfstemperatuur. Informatie over de inwendige drukbelastbaarheid van segmentgelaste T-stukken is te vinden in bijlage B2.

#### - Segmentgelaste bochten

Evenals de genoemde T-stukken zijn ook segmentgelaste bochten (hoek > 30°) onderworpen aan een verminderde inwendige drukbelastbaarheid ten opzichte van een rechte buis. De verzwakkingsinvloed van gestuikelaste segmentbochten is even afhankelijk van de temperatuur-omstandigheden als hiervoor beschreven bij de segmentgelaste T-stukken. De daadwerkelijke waarden voor de inwendige drukbelastbaarheid kunnen worden ontleend aan bijlage B2.

### 7.2.10 Lengteverandering als gevolg van verwarming en inwendige druk

#### - Thermische lengteverandering

Als een leidingsysteem aan verschillende temperaturen wordt blootgesteld (bijv. omgevings-, bedrijfstemperaturen), dan verandert zijn toestand in overeenstemming met de uitzettingsmogelijkheden van de afzonderlijke leidingtrajecten. Onder het leidingtraject wordt de afstand verstaan van het beschouwde systeempunt tot het desbetreffende vastpunt. De thermische lengteverandering ( $\Delta l_{\vartheta}$ ) van de afzonderlijke leidingtrajecten wordt als volgt bepaald:

$$\Delta l_{\vartheta} = L_{\text{buis}} \cdot \alpha_{\vartheta} \cdot \Delta \vartheta_{\text{max}} \cdot 10^3$$

Formule 7.29

- $\Delta l_{\vartheta}$  = thermische lengteverandering (mm)
- $L_{\text{buis}}$  = leiding lengte (m)
- $\alpha_{\vartheta}$  = thermische lengte-uitzettingscoëfficiënt ( $K^{-1}$ )
- $\Delta \vartheta_{\text{max}}$  = max. temperatuurverschil (K)

Voorbeelden voor de bepaling van  $\Delta \vartheta_{\text{max}}$ :

$$\Delta \vartheta_{\text{max}} = T_{W \text{ max}} - T_{W \text{ min}}$$

of

$$\Delta \vartheta_{\text{max}} = T_{W \text{ max}} - T_M$$

of

$$\Delta \vartheta_{\text{max}} = T_{W \text{ max}} - T_a$$

$\Delta \vartheta_{\text{max}}$  = temperatuurverschil (K)

$T_{W \text{ min}}$  = minimale buiswandtemperatuur (°C)

$T_M$  = gemiddelde montagetemperatuur (°C)

$T_{W \text{ max}}$  = maximale buiswandtemperatuur (°C)

$T_a$  = laagste omgevingstemperatuur (°C)

#### - Lengteverandering door inwendige drukbelastingen

Voor een willekeurige, gesloten leidingdeel ontstaat er op basis van optredende inwendige drukbelastingen als volgt een rek in lengterichting:

$$\Delta l_p = \frac{0,1 \cdot p_i}{E_{cR}} \cdot \frac{(1 - 2 \cdot \mu)}{\left(\frac{d_e}{d_i}\right) - 1} \cdot L_{\text{buis}}$$

Formule 7.30

$\Delta l_p$  = lengteverandering door inwendige druk (mm)

$p_i$  = inwendige druk (bar)

$E_{cR}$  = kruipmodulus van het materiaal ( $N/mm^2$ )

$d_e$  = buitendiameter (mm)

$d_i$  = binnendiameter (mm)

$L_{\text{buis}}$  = buislengte ( $L_1, L_2, \dots, L_x$ ) (mm)

$\mu$  = dwarscontractiegetal (-)

#### - Bepaling van de expansiebochtafmetingen

Lengteverandering ( $\Delta l_{\vartheta}$ ):

$$\Delta l_{\vartheta} = L_{\text{buis}} \cdot \alpha_{\vartheta} \cdot \Delta \vartheta \cdot 10^3$$

Formule 7.31

$L_{\text{buis}}$  = leiding lengte (m)

$\alpha_{\vartheta}$  = thermische lengte-uitzettingscoëfficiënt ( $K^{-1}$ )

$\Delta \vartheta$  = temperatuurverschil (K)

$\Delta l_{\vartheta}$  = thermische lengteverandering (mm)

Bij de bepaling van het temperatuurverschil ( $\Delta \vartheta$ ) dient erop te worden gelet dat hierbij de laagste en hoogste temperatuur (montage, bedrijf, stilstand) maatgevend is. Bij benadering wordt doorgaans gerekend met de temperatuur van het doorstroommedium of de omgevingstemperatuur. De gemakkelijkste manier om lengteveranderingen in thermoplastische leidingen te compenseren vindt plaats door middel van uitzettingsbochten in L-vorm (90° richtingswijziging). De L-bocht wordt ook expansiebocht genoemd. De minimumafmetingen van een expansiebocht volgens afbeelding 7.7 komen voort uit de volgende formule:

$$L_{B1,2} = \sqrt{\frac{3 \cdot d_e \cdot L_{1,2} \cdot \varepsilon \cdot E_{cR}}{\sigma_{b \text{ toel}}}}$$

Formule 7.32

$L_B$  = lengte expansiebocht (mm)

$L_{1,2}$  = systeemlengten van de uitzettingsbocht (mm)

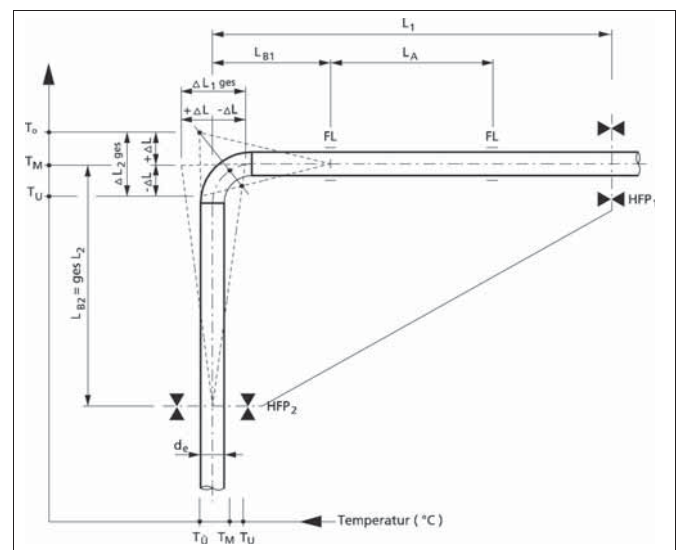
$d_e$  = buitendiameter (mm)

$\varepsilon$  = uitzetting (-)

$E_{cR}$  = (gemiddelde) buigkruipmodulus van het materiaal voor  $t=25a$  ( $N/mm^2$ )

$\sigma_{b \text{ toel}}$  = toel. buigspanningsaandeel voor  $t=25a$  ( $N/mm^2$ )

Expansiebochtlengten voor L-, Z- en U-bochten zijn grafisch weergegeven in bijlage B5 t/m B8 en de desbetreffende waarden zijn direct af te lezen.



Afbeelding 7.7 Expansiebocht (L-bocht)

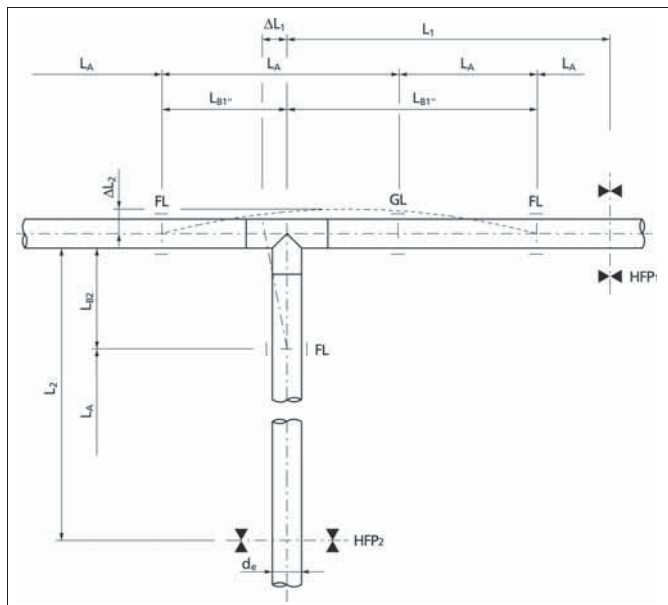


## Berekeningsgrondslagen

### - Leidingtrajecten voor de opname van lengteveranderingen

Zoals in afbeelding 7.8 weergegeven, worden de leidingtrajecten door de lengteverandering op buiging belast.

De dimensionering van de expansiebocht ( $L_B$ ) vindt plaats volgens de relatie:



Afbeelding 7.8 Leidingtraject voor de opname van lengteveranderingen

$$L_B = \sqrt{\frac{3 \cdot d_e \cdot L_{1,2} \cdot \varepsilon \cdot E_{cr}}{\sigma_{b \text{ toel}}}}$$

Formule 7.33

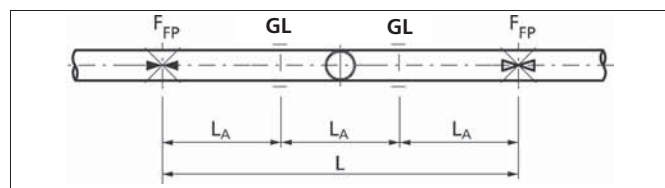
- $L_B$  = lengte expansiebocht (mm)
- $d_e$  = buitendiameter (mm)
- $L_{1,2}$  = systeemlengten van de uitzettingsbocht (mm)
- $\varepsilon$  = uitzetting (-)
- $E_{cr}$  = (gemiddelde) buigkruipmodulus van het materiaal voor  $t=25a$  (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{b \text{ toel}}$  = toel. buigspanningsaandeel voor  $t=25a$  (N/mm<sup>2</sup>)

### - Aansluitleidingen

Bij leidingtrajecten die axiaal over de lengte kunnen bewegen moet er eveneens op worden gelet dat er in aftakkende buisleidingen niet al te hoge buigbelastingen ontstaan. De minimumafstand tussen T-stuk en eerste geleidingsbeugel komt overeen met de lengte van de expansiebocht ( $L_B$ ). Met behulp van bijlage B5 t/m B8 kan de vereiste lengte van de expansiebocht ook grafisch worden bepaald.

### 7.2.11 Bepaling van krachten op vastpunten

Vastpunten in leidingen zijn beugels die de leiding in X-, Y- en Z-richting fixeren. De krachten die op deze vastpunten werken zijn afhankelijk van het type van het desbetreffende leidingsysteem. Hoe 'zachter' het leidingverloop tussen twee vastpunten is, des te geringer zijn de reactiekrachten als gevolg van de vervorming. De exacte berekening van de krachtcomponenten voor een willekeurig leidingsysteem is zeer gedetailleerd. De berekening wordt vergemakkelijkt door het gebruik van geschikte pc-software voor thermoplastische leidingsystemen.



Afbeelding 7.9 Ingeklemd leidingstreng

### - Maximale kracht op vastpunt zonder compensatie van de lengteverandering

De grootste belasting van een vastpunt doet zich voor bij een ingeklemde leidingstreng. Deze belasting wordt als volgt bepaald:

$$F_{FP} = A_R \cdot \varepsilon \cdot E_{cr}$$

Formule 7.34

$$\text{Belasting warmte-uitzetting: } \varepsilon = \alpha_{\vartheta} \cdot \Delta\vartheta \quad (35)$$

$$\text{Belasting inwendige druk: } \varepsilon = \frac{0,1 \cdot p_i \cdot (1 - 2 \cdot \mu)}{E_{cr} \cdot \left( \frac{d_e^2}{d_i^2} - 1 \right)} \quad (36)$$

$$\text{Belasting zwelling: } \varepsilon = 0,025 \dots 0,040 \quad (37)$$

Formule 7.35-7.37

Verklaring van tekens in de formules 7.34 t/m 7.37

- $F_{FP}$  = belasting vastpunten in ingeklemde leidingstreng (N)
- $A_R$  = ringoppervlak buiswand (mm<sup>2</sup>)
- $\varepsilon$  = verhinderde lengteverandering (-)
- $\alpha_{\vartheta}$  = thermische lengte-uitzettingscoëfficiënt (K<sup>-1</sup>)
- $\Delta\vartheta$  = maximaal temperatuurverschil tussen  $T_U$  en  $T_0$  (K)
- $p_i$  = inwendige druk (bar)
- $E_{cr}$  = (gemiddelde) kruipmodulus van het materiaal voor  $t = 100$  min (N/mm<sup>2</sup>)
- $d_e$  = buitendiameter (mm)
- $d_i$  = binnendiameter (mm)
- $\mu$  = dwarscontractiegetal (-)

Omdat de kruipmodulus tijds-, temperatuur- en spanningsafhankelijk is, wordt gerekend met een gemiddelde belastingstijd van 100 min. De dienovereenkomstige kengetallen kunnen aan bijlage A2 worden ontleend. De bepaling van de krachten op de vastpunten kan ook grafisch plaatsvinden met behulp van bijlage B9.

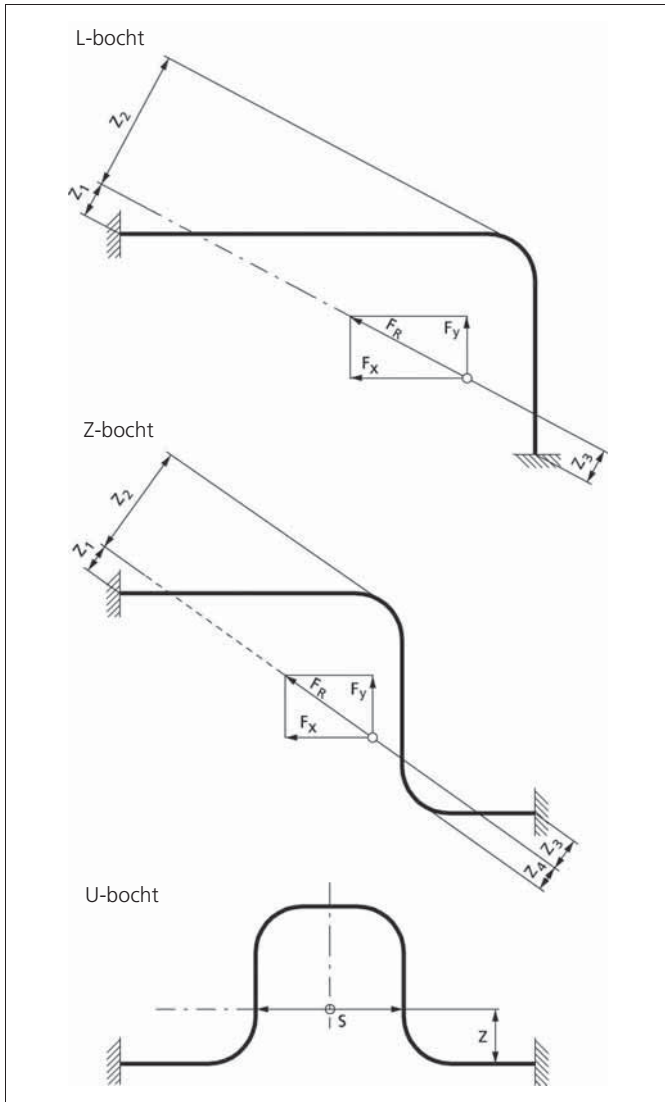
### - Systeemafhankelijke kracht op vastpunten

Thermoplastische kunststof leidingen worden doorgaans zo gemonteerd dat de compensatiemogelijkheden van de richtingsveranderingen kunnen worden gebruikt voor de opname van lengteveranderingen.

De daaruit voortvloeiende krachten op vastpunten zijn systeemafhankelijk. Meestal zijn zij geringer dan de bepaalde vastpuntbelasting volgens hoofdstuk 7.2.14. In de praktijk wordt echter, omwille van de vereenvoudiging, de dimensionering van de constructie van vastpunten volgens de maximaal mogelijke belasting uitgevoerd. Als de krachten vanwege de begrenzing van de belastingopname niet willekeurig groot mogen zijn, bijv. bij leidingbruggen, metselwerk, tank- en pompaansluitstukken, is een systeemafhankelijke bepaling binnen een statische berekening absoluut noodzakelijk. Hiervoor zijn weer computerprogramma's beschikbaar.

## Berekeningsgrondslagen

### - Compensatievormen vlakke leidingsystemen



Afbeelding 7.10 Compensatievormen vlakke leidingsystemen

Verklaring bij afbeelding 7.10:

$F_x, F_y, F_z$  = krachtcomponenten

$F_y, F_x$  =  $F_Q$  bij vastpunt 'A' en 'B'

$F_Q$  = dwarskracht

$F_R$  = resultante totaalkracht

$Z_1, Z_2, Z_3$  = afstanden van de systeempunten van de werklijn

$S$  = systeemzwaartepunt

Uit de afstand ( $Z$ ) (hefboomarm) en de resultante totaalkracht ( $F_R$ ) volgt het moment ( $M$ )

$$M = F_R \cdot Z$$

Formule 7.38

op een willekeurige plaats van het desbetreffende leidingsysteem.

$M$  = draaimoment (Nm)

$F_R$  = resultante kracht (N)

$Z$  = hefboomarm (m)

### - Raming van de kracht op vastpunten bij de L-bocht:

$$F_{LB} = \frac{12 \cdot \Delta l \cdot E_{cR} \cdot J_R}{L_B^3}$$

Formule 7.39

$F_{LB}$  = belasting vastpunten bij (L, Z, U)-bocht ->  $F_y$  of  $F_x$  (N)

$\Delta l$  = lengteverandering (mm)

$E_{cR}$  = (gemiddelde) kruipmodulus van het materiaal voor  $t = 100$  min ( $N/mm^2$ )

$J_R$  = traagheidsmoment van buis ( $mm^4$ )

$L_B$  = lengte expansiebocht (mm)

$$J_R \approx \frac{d_e^4 - d_i^4}{20}$$

Formule 7.40

$J_R$  = traagheidsmoment van buis ( $mm^4$ )

$d_e$  = buitendiameter (mm)

$d_i$  = binnendiameter (mm)

### - Kracht op vastpunten bij verhinderde lengteverandering op basis van inwendige drukbelasting

$$F_{FP} = A_R \cdot \sigma_a \text{ met } A_R = \frac{(d_e^2 - d_i^2) \cdot \pi}{4}$$

Formule 7.41

$\sigma_a$  = axiale spanning ( $N/mm^2$ )

$A_R$  = ringoppervlak buiswand ( $mm^2$ )

$F_{FP}$  = kracht op vastpunt (N)

$d_e$  = buitendiameter (mm)

$d_i$  = binnendiameter (mm)

### - Kracht op vastpunten bij inbouw van compensatoren of expansiemoffen

$$F_{FP} = 0,1 \cdot A_K \cdot p_i \text{ met } A_K = \frac{d_i^2 \cdot \pi}{4}$$

Formule 7.42

$A_K$  = drukbelast oppervlak ( $mm^2$ )

$p_i$  = inwendige druk (bar)

$d_i$  = binnendiameter (mm)

$F_{FP}$  = kracht op vastpunt (N)

### - Resulterende kracht op vastpunten

Beugels worden zowel horizontaal als verticaal belast. Bij gelijktijdig aangrijpen van de belasting ontstaat er een resultante totaalkracht ( $F_R$ ).

$$F_R = \sqrt{F_H^2 + F_V^2}$$

Formule 7.43

$F_H$  = axiale vastpuntkracht ( $F_{FP}$ ) of wrijvingsweerstand ( $F_{\mu}$ ) bij lengteverandering van de leidingstreng.

$F_V$  = dwarskracht ( $F_{QV}$ ) uit vastpuntbelasting en/of leidinggewicht ( $F_G$ ) tussen twee beugelpunten, met of zonder extra belasting.

## Berekeningsgrondslagen

### 7.2.12 Elasticiteitsonderzoek

Elasticiteitsonderzoek aan leidingsystemen dient overwegend ter bepaling van krachtheffecten en spanningen.

Spanningen ontstaan op basis van:

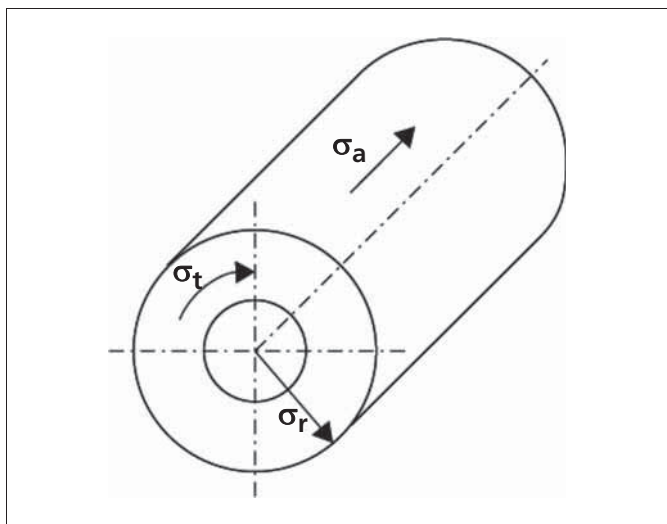
- inwendige drukbelastingen
- verhinderde lengtebeweging bij temperatuurverandering
- buiging bij de bochtstukken door opname van de lengteveranderingen

De op de vastpunten aangrijpende krachten veroorzaken niet alleen buigmomenten in de bochtstukken, maar ook bij de inkleemplaats. In ruimtelijke systemen wordt de leidingstreng bovendien op torsie (verdraaiing) belast.

Voor installaties die voldoen aan de belastingsklasse II en III (tabel 7.13) of die in het algemeen zijn onderworpen aan de controleplicht of bewaking, is de elasticiteitsberekening niet alleen een criterium voor een zorgvuldig projectontwerp, maar deels ook voorgeschreven.

### 7.2.13 Bepaling van optredende spanningen in een leidingsysteem

Leidingsystemen staan doorgaans bloot aan een meerassige spanningstoestand. De bij de levensduurdrukproef bepaalde vormvastheid (bijlage A1) is de basis voor de dimensionering van thermoplastische kunststof leidingsystemen. Het leggen van leidingen vindt over het algemeen plaats op basis van de inwendige drukbelasting, die overeenkomt met de belasting in de levensduurdrukproef.



Afbeelding 7.11 Radiale ( $\sigma_r$ ), axiale- ( $\sigma_a$ ) en tangentiële spanningen ( $\sigma_t$ )

In een leidingsysteem ontstaan er naast de weergegeven spanningen in axiale, radiale en tangentiële richting ten opzichte van de leidinggas, welke in de regel hun oorsprong hebben in de inwendige druk- en warmtebelasting, ook andere spanningen (bijv. buigspanningen), zodat een rekenkundig onderzoek van alle spanningenvoor een statisch bewijs noodzakelijk wordt. Om de meerassige spanningstoestand te kunnen vaststellen, dient de resultante spanning ( $\sigma_{res}$ ) te worden bepaald en met de waarde voor ( $\sigma_{toel}$ ) te worden vergeleken. Vooral het negeren van de buigspanningen ter hoogte van de uitzettingsbochten en van de trekspanningen als gevolg van verhinderde warmteuitzetting kan leiden tot falen van een voor het overige met weinig inwendige druk belaste leiding.

#### - Axiale spanning (x-as) door inwendige druk

$$\sigma_i = \frac{p_i}{10} \cdot \frac{1}{\left(\frac{d_e}{d_i}\right)^2 - 1} \hat{=} \sigma_i$$

Formule 7.44

#### - Tangentiële spanning (y-as) als gevolg van inwendige overdruk

$$\sigma_u = \frac{p_i}{10} \cdot \frac{\left(\frac{d_e}{d_i}\right)^2 + 1}{\left(\frac{d_e}{d_i}\right)^2 - 1} \hat{=} \sigma_y$$

Formule 7.45

#### - Radiale spanning (z-as) door inwendige overdruk

$$\sigma_r = -\frac{p_i}{10} \hat{=} \sigma_z$$

Formule 7.46

#### - Buigspanning in lengterichting (x-as) in rechte buis tussen de beugels

$$\sigma_b = \frac{q \cdot L_A^2}{8 \cdot W_R} \hat{=} \sigma_x$$

Formule 7.47

#### - Buigspanning in bochten

$$\sigma_b = \sigma_0 \cdot \frac{2}{1 + 12 \cdot \lambda_B^2} \cdot \left[ 9 \cdot \lambda_B + (1 + 6 \cdot \lambda_B^2) \cdot \frac{r_m}{R} \right]$$

Formule 7.48

$M_b$  uit waarneming elasticiteit

$$\sigma_0 = \frac{M_b \cdot d_e}{20 \cdot J_R}$$

Formule 7.49

$$\lambda_B = \frac{R \cdot e}{r_m^2}$$

Formule 7.50

$$r_m = \frac{d_e - e}{2}$$

Formule 7.51

#### - Spanningen door verhinderde warmteuitzetting

Max. spanningswaarde bij kortstondige waarneming:

$$\sigma_{\vartheta_{max}} = \pm \alpha_{\vartheta} \cdot \Delta \vartheta \cdot E_{c_R} \hat{=} \sigma_x$$

Formule 7.52

bij langdurige waarneming:  
spanning voor temperatuur = constant

$$\sigma_{\vartheta} = 0,5 \cdot \sigma_{\vartheta_{max}}$$

Formule 7.53

## Berekeningsgrondslagen

spanning voor temperatuur = variabel

$$\sigma_{\vartheta} = 0,67 \cdot \sigma_{\vartheta_{max}}$$

Formule 7.54

Trekspanningen ontstaan als de duur van de lage bedrijfstemperatuur ( $t_{koud}$ ) korter is dan de duur van de hoge bedrijfstemperatuur ( $t_{warm}$ ), dat wil zeggen,  $t_{koud} < t_{warm}$

$$\sigma_z = -0,33 \cdot \sigma_{\vartheta_{max}}$$

Formule 7.55

**- Normalspanningen door temperatuurverschillen tussen binnen- en buitenwand buis**

$$\sigma_{\vartheta} = 0,81 \cdot E_{cR} \cdot \alpha_{\vartheta} \cdot (T_{sR} - T_{eR})$$

Formule 7.56

**- Bepaling van de resultante spanning**

$$\sigma_{res} = 0,71 \cdot \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2}$$

Formule 7.57

$$\sigma_x \leq \sigma_{toel} = \sigma_j + \sigma_b \pm \sigma_{\vartheta}$$

Formule 7.58

$$\sigma_y \leq \sigma_{toel} = \sigma_u$$

Formule 7.59

$$\sigma_y \leq \sigma_{toel} = \sigma_r$$

Formule 7.60

$$\sigma_{res} \leq \sigma_{toel}$$

Formule 7.61

Verklaring van tekens in de formules 7.44 t/m 7.61

- $W_R$  = weerstandsmoment van de buis (cm<sup>3</sup>)
- $M_b$  = buigmoment als gevolg van de op de leidingarmen aangrijpende trek- of drukkkrachten (Nm)
- $L_A$  = beugelafstand (m)
- $J_R$  = traagheidsmoment van buis (cm<sup>4</sup>)
- $R$  = buigradius van bocht (mm)
- $r_m$  = gemiddelde buisradius (mm)
- $q$  = gewicht van gevulde leiding (N/m)
- $e$  = buiswanddikte (mm)
- $d_e$  = buitendiameter (mm)
- $d_i$  = binnendiameter
- $E_{cR}$  = gemiddelde kruipmodulus van het materiaal (N/mm<sup>2</sup>)
- $\rho_i$  = inwendige druk (bar)
- $\sigma_0$  = spanning in rechte buis (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_1$  = axiale spanning (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_u$  = tangentiale spanning (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_r$  = radiale spanning (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_b$  = buigspanning (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{\vartheta}$  = axiale spanning als gevolg van verhinderde warmteuitzetting (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{\vartheta_{max}}$  = maximale axiale spanning als gevolg van verhinderde warmteuitzetting (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{res}$  = resultante spanning (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{x,y,z}$  = richtingsafhankelijke spanning (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{toel}$  = toelaatbare spanning (N/mm<sup>2</sup>)
- $T_{sR}$  = temperatuur van de inwendige buiswand (°C)

- $T_{eR}$  = temperatuur van de uitwendige buiswand (°C)
- $\lambda_B$  = bochtfactor (-)
- $\alpha_{\vartheta}$  = thermische lengte-uitzettingscoëfficiënt (K-1)

### 7.2.14 Uitzetting

Blijft de vervorming in de leiding onder bepaalde uitzettingsgrenzen, dan ontstaan er vloeizones en microscheurtjes dwars op de uitzettingsrichting. Voor het gebruikelijke toepassingsgeval wordt de vervorming van de buizen als volgt berekend:

$$\epsilon_{\sigma x} = \frac{100}{E_{cR}} \cdot \left[ \sigma_x - \mu \cdot (\sigma_y - \sigma_z) \right]$$

Formule 7.62

$$\epsilon_{\sigma y} = \frac{100}{E_{cR}} \cdot \left[ \sigma_y - \mu \cdot (\sigma_x + \sigma_z) \right]$$

Formule 7.63

$\epsilon_{\sigma x}, \epsilon_{\sigma y}$  = uitzetting in de spanningsrichtingen x en y bij meerassige belasting (-)

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  = spanning in x-, y- en z-richting (N/mm<sup>2</sup>)

$E_{cR}$  = gemiddelde kruipmodulus van het materiaal (N/mm<sup>2</sup>)

$\mu$  = dwarscontractiegetal = 0,38 (-)

De grootste uitzetting moet worden bepaald en worden vergeleken met de grenswaarde ( $\epsilon_F$ ) volgens tabel 7.15. De voorwaarde luidt:

$$\frac{\epsilon_F}{\epsilon_{max}} \geq 1,3$$

Formule 7.64

$\epsilon_F$  = grenswaarde uitzetting (-)

$\epsilon_{max} = \epsilon_{\sigma x}$  of  $\epsilon_{\sigma y}$  (-)

Materiaal	PE
grenswaarde uitzetting $\epsilon_F$	3%

Tabel 7.15 Uitzettingsgrenzen voor PE

Indien de samenhang tussen spanning en uitzetting moet worden weergegeven, kan dit volgens de volgende relatie worden gerealiseerd:

$$\sigma_0 = \epsilon \cdot E_{cR} \text{ resp. } \epsilon = \frac{\sigma_0}{E_{cR}} \cdot 100\%$$

Formule 7.65

$E_{cR}$  = gemiddelde kruipmodulus van het materiaal (N/mm<sup>2</sup>)

$\epsilon$  = uitzetting (-)

$\sigma_0$  = spanning (N/mm<sup>2</sup>)

### 7.2.15 Raming van de levensduur

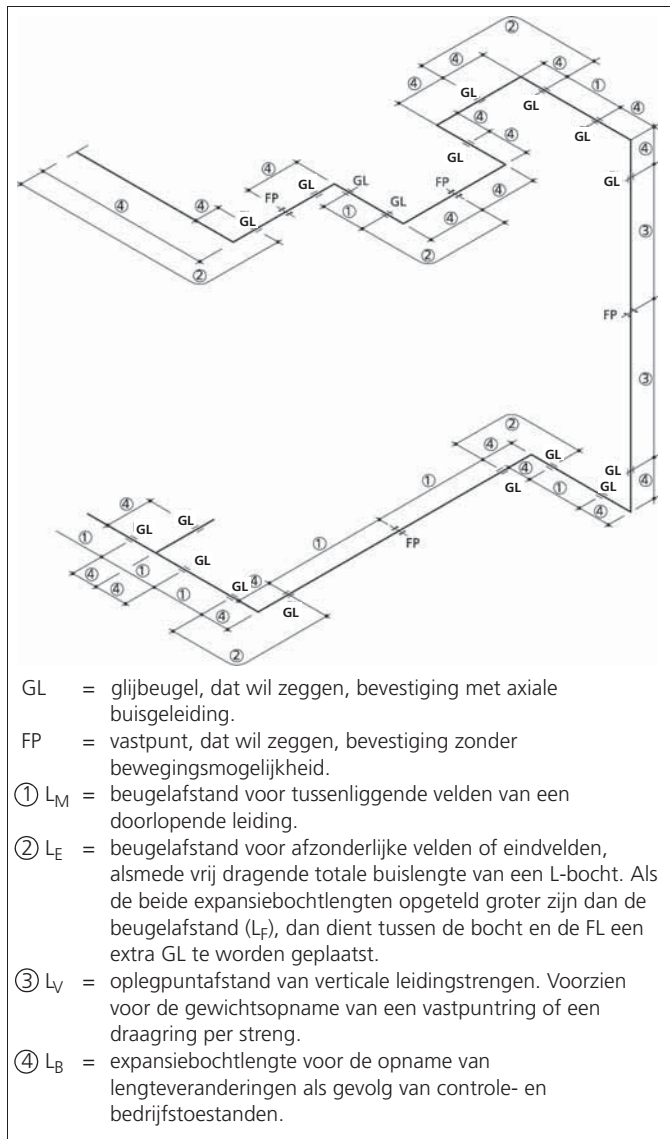
Zijn van een leidingsysteem de berekeningsgrootheden en temperaturen, alsmede de inwerkijd met betrekking tot de aangenomen totale belastingsperiode bekend, dan kan daarmee de verwachte levensduur (bedrijfsduur) worden bepaald. De bepaling van de bedrijfsduur vereist echter een grote rekenkundige inspanning. Daarom wordt ervan afgezien nader op de berekening van de levensduur van een leidingsysteem in te gaan. Bij de berekening van de levensduur mag niet worden vergeten dat de bedrijfsduur van het leidingsysteem ook kan worden bekoort door chemisch en/of fysisch tweegebrachte verouderingsprocessen (bijv. zwelling of UV-straling). Een uitvoerige behandeling van het onderwerp levensduur incl. voorbeelden is te vinden in de Richtlijn DVS 2205-1. De bepaling van de bedrijfsduur bij wisselende belastingen veronderstelt een grondige kennis

## Berekeningsgrondslagen

van de omgang met kunststoffen. Een waardevolle hulp hierbij zijn computerprogramma's, met behulp waarvan ook mensen met minder ervaring berekeningen kunnen uitvoeren.

### 7.2.16 Rekenvoorbeeld

Aan de hand van het isometrisch weergegeven leidingsysteem kunnen verschillende elementen worden berekend.



Afbeelding 7.12 Leidingisometrie

Verklaring van de aanduidingen ① ② ③ ④, die voor de formules 7.66 t/m 7.73 staan:

De nummering en symbolen geven uitsluitel over welke grootheden worden berekend en waar zij in de isometrische weergave te vinden zijn. De weergave dient dus als oriëntatiehulp en ondersteunt de gebruiker bij de totale beschouwing en calculatie van een leidingsysteem.

#### 1. Belasting van de beugels

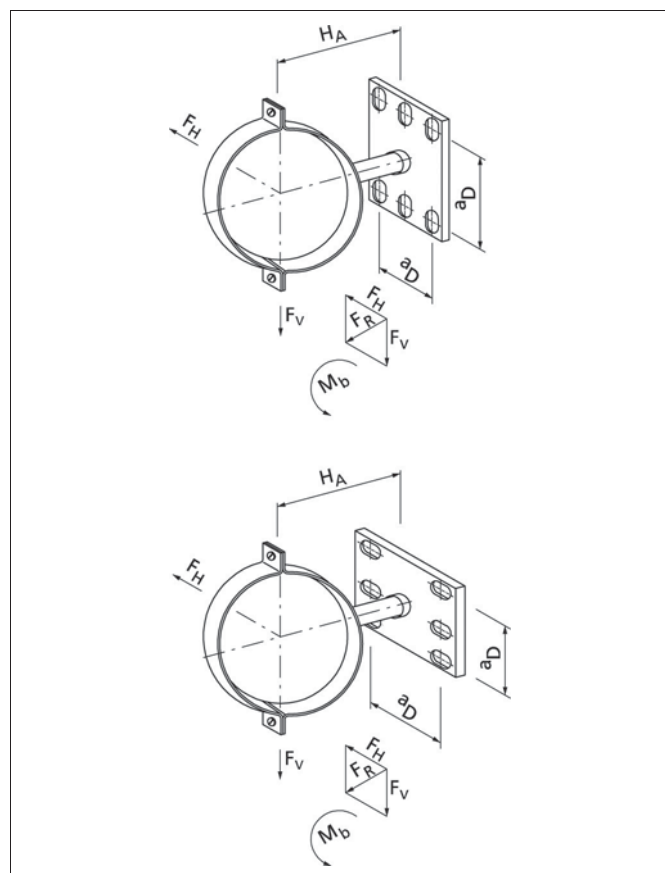
Beugels worden zowel horizontaal als verticaal belast. Bij gelijktijdig aangrijpen van de belasting ontstaat er een resultante totaalcracht ( $F_R$ ), die met de hiernavolgende formule 7.66 kan worden bepaald. Afbeelding 7.13 toont een beugel met de krachten die er op werken, alsmede de te bepalen beugelafstand ( $H_A$ ).

$$F_R = \sqrt{F_H^2 + F_V^2}$$

Formule 7.66

$F_H$  = axiale vastpuntkracht ( $F_{FP}$ ) of wrijvingsweerstand ( $F_{\mu}$ ) bij lengteverandering van de leidingstreng.

$F_V$  = dwarskracht ( $F_{QV}$ ) uit vastpuntbelasting en/of leidinggewicht ( $F_G$ ) tussen twee beugelpunten, met of zonder extra belasting.



Afbeelding 7.13 Beugelbelasting

#### Bepaling van de krachtcomponenten

$F_{FP}$  = zie formule 7.34

$$F_{\mu} = F_G \cdot \mu$$

$F_Q$  = obv systeemberekening

$$F_G = F_{G(\text{buis})} + F_{G(\text{vulling})} + F_{G(\text{extra belasting})}$$

Formule 7.67

$\mu_R$	= wrijvingscoëfficiënt doorgaans tussen 0,3 en 0,5
$F_{FP}$	= kracht op vastpunt (N)
$F_G$	= gewicht (N)
$F_{QV}$	= dwarskracht (N)
$F_{G(\text{buis})}$	= gewicht (eigengewicht buis) (N)
$F_{G(\text{vulling})}$	= gewicht (gewicht vulmedium) (N)
$F_{G(\text{extra belasting})}$	= gewicht (gewicht extra belasting) (N)

## Berekeningsgrondslagen

### 2. Beugelafstanden ( $H_A$ )

De bevestigingsafstanden van een kunststof leiding dienen zo te worden bepaald, dat er zowel onder bedrijfsomstandigheden als tijdens het afpersen geen spanningoverschrijding ontstaat. Eveneens dient op de begrenzing van de leidingdoorbuiging te worden gelet. De plaatsing van verschillende beugels en hun onderlinge afstanden worden duidelijk in het getoonde voorbeeld (afbeelding 7.12), waarin een leidingisometrie wordt weergegeven.

### 3. Bepaling toelaatbare beugelafstanden

$$L_M = 1,86 \cdot \sqrt[4]{\frac{E_{CR} \cdot f_{toel} \cdot (d_e^4 - d_i^4) \cdot 10^5}{(d_e - d_i) \cdot e \cdot \rho_R + \frac{d_i^2}{2} \cdot \rho_F}}$$

Formule 7.68

$L_M$  = beugelafstand voor tussenliggende velden van doorlopende leidingen (mm)

$E_{CR}$  = kruipmodulus van het materiaal voor  $t = 25$  a ( $N/mm^2$ )

$f_{toel}$  = toelaatbare doorbuiging van de leiding volgens advies in tabel 7.16 (mm)

$d_e$  = buitendiameter (mm)

$d_i$  = binnendiameter (mm)

$e$  = buiswanddikte (mm)

$\rho_R$  = dichtheid van materiaal ( $g/cm^3$ )

$\rho_F$  = dichtheid van doorstroommedium ( $g/cm^3$ )

$$L_E = 0,67 \cdot L_M$$

Formule 7.69

$$L_V = Y \cdot L_M$$

Formule 7.70

Waarden voor Y:  $\leq \varnothing d_e$  110 mm  $\rightarrow Y=1,1$   
 $\varnothing d_e$  125 - 200 mm  $\rightarrow Y=1,2$   
 $\leq \varnothing d_e$  225 mm  $\rightarrow Y=1,3$

$L_B$  = Rekenkundige bepaling in formule 7.28 resp. met bijlage B3 t/m B7

Formule 7.71

Verklaring van tekens in de formules 7.69 t/m 7.71:

$L_M$  = beugelafstand voor tussenliggende velden van doorlopende leidingen (mm)

$L_E$  = beugelafstand voor afzonderlijke velden en eindvelden, alsmede vrij dragende totale buis lengte van een L-bocht (mm)

$L_V$  = oplegpuntafstand van verticale leidingstrengen (mm)

$L_B$  = lengte expansiebocht (mm)

Y = factor (afhankelijk van buisafmetingen) (-)

Voor de berekening van de beugelafstanden worden de volgende doorbuigingen als toelaatbare waarden geadviseerd:

$\varnothing d_e$	20 - 110	125 - 200	225 - 355	400 - 600
$f_{toel}$	2 - 3 mm	3 - 5 mm	5 - 7 mm	7 - 10 mm

Tabel 7.16 Doorbuiging  $f_{toel}$  voor leidingen

Als grotere doorbuigingen worden toegelaten, mag de leiding niet axiaal worden ingeklemd.

### 4. Controle van de toelaatbare kniklengte

Als leidingen zo worden gelegd dat de axiale uitzetting van alle of van afzonderlijke strengen niet meer mogelijk is (axiale inklemming), dan moet de berekende bevestigingsafstand op zijn knikbestendigheid worden gecontroleerd. Ter voorkoming van knikrisico door een verhinderde warmteuitzetting, mag de leidinglengte tussen twee geleidingsbeugels maximaal  $L_K$  bedragen.

$$L_{K_{toel}} \leq 1,12 \cdot \sqrt{\frac{d_e^2 - d_i^2}{\alpha_g \cdot \Delta\vartheta}}$$

Formule 7.72

Zie ook bijlage B10.

$L_{K_{toel}}$  = toelaatbare kniklengte tussen twee geleidingsbeugels (mm)

$\alpha_g$  = thermische lengte-uitzettingcoëfficiënt ( $K^{-1}$ )

$\Delta\vartheta$  = temperatuurverschil (K)

$d_e$  = buitendiameter (mm)

$d_i$  = binnendiameter (mm)

Voor alle leidingsystemen zonder lengtecompensatie geldt dus:

$$L_{A_{toel}} \leq L_{K_{toel}}$$

Formule 7.73

Waarden voor LF zijn in de bijlage B10 te vinden:

$L_{F_{toel}}$  = toelaatbare buislengte tussen twee geleidingsbeugels (mm)

$L_{A_{toel}}$  = beschikbare of berekende beugelafstand volgens de formules ① ② ③ (formules 7.68 t/m 7.70)

$d_e$  = buitendiameter (mm)

$d_i$  = binnendiameter (mm)

$\alpha_g$  = thermische lengte-uitzettingcoëfficiënt ( $K^{-1}$ )

$\Delta\vartheta$  = temperatuurverschil (K)

### Opmerking bij de formules 7.72 en 7.73

Worden axiaal ingeklemde leidingsystemen bij verhoogde temperaturen gebruikt of moet rekening worden gehouden met een vermindering van de kruipmodulus ( $E_{CR}$ ) door chemische inwerking, dan bestaat er een toenemend knikgevaar.

Als verhoogde bedrijfstemperaturen gelden:

PE  $\rightarrow T_{krit} \geq 45^\circ C$

PP  $\rightarrow T_{krit} \geq 60^\circ C$

Het knikgevaar wordt nog versterkt door de buiging van de leidingas door onvoldoende geleiding bij de oplegging van de buizen. De buiging kan het gevolg zijn van te grote steunafstanden, onjuiste oplegging van de buizen en niet goed uitgerichte buisnaden bij lassen.

In zulke gevallen wordt geadviseerd de berekende of volgens bijlage B10 bepaalde kniklengten te verminderen met de factor 0,8. Leidingsystemen met  $d_e \leq 50$  mm moeten om economische redenen met een doorlopende ondersteuning worden uitgerust.

### 5. Bepaling van de leidingdoorbuiging voor beschikbare beugelafstanden

De doorbuiging van de leiding voor de vastgestelde beugelafstanden ( $L_M$ ) (bepaald volgens formule 7.68) wordt met behulp van de volgende formule bepaald.

De doorbuiging van de leiding met de vastgestelde beugelafstanden ( $L_E$ ) (bepaald volgens formule 7.69), kan met behulp van formule 7.74 worden bepaald.

## Berekeningsgrondslagen

$$\textcircled{1} \quad f_B = \frac{2,6 \cdot q \cdot L_M^4}{E_{cR} \cdot J_R} \quad \textcircled{2} \quad f_B = \frac{5,4 \cdot q \cdot L_E^4}{E_{cR} \cdot J_R}$$

Formule 7.74

- q = gewicht van de gevulde leiding, evt. met isolatie (N/mm<sup>2</sup>)  
E<sub>cR</sub> = kruipmodulus van het materiaal (N/mm<sup>2</sup>)  
L<sub>M</sub>, L<sub>E</sub> = beugelafstand (m)  
L<sub>A</sub> = toelaatbare beugelafstand (m)  
J<sub>R</sub> = traagheidsmoment van buis (mm<sup>4</sup>)  
f<sub>B</sub> = doorbuiging (mm)

Bij positie  $\textcircled{3}$  wordt de leiding niet op buiging, maar op knik belast.