

Eenvoudig of uitgebreid?

*Een toelichting op de sterkteberekeningen van ondergrondse leidingen volgens
Pijpleidingcode en NEN 3650 & NEN 3651*

De 1^e Pijpleidingcode verscheen in mei 1968. In deze 1^e revisie van de Pijpleidingcode werd uitgebreid ingegaan op het maken van sterkteberekeningen van ondergrondse stalen leidingen. De 1^e Pijpleidingcode telde 29 bladzijden.

In de aanhef van deze Pijpleidingcode stond: *“Eisen te stellen aan kruisingen van hogedrukleidingen (= 10 ato) voor gas en olie met boezemwateren, waterkeringen en wegen”*

De 7^e revisie van de Pijpleidingcode verscheen in 1992. Op dat moment werd in Nederland gewerkt aan de totstandkoming van de NEN-normen 3650, 3651 en 3652. Deze normen (inclusief de NPR 3659) vervingen in 1998 de Pijpleidingcode.

De 1^e Pijpleidingcode ging alleen over stalen leidingen. De 7^e revisie van de Pijpleidingcode ging over stalen leidingen, kunststofleidingen en betonnen leidingen. Hierbij werden eisen gesteld over zowel lagedruk als hogedruk leidingen (**bedrijfsdruk $\geq 1,0$ MPa (=10 bar)**).

Veel eisen uit de Pijpleidingcode zijn onverkort overgenomen in de NEN 3650 en NEN 3651



Pijpleidingcode 1^e revisie 1968 Schrijvers

Eisen 1^e Pijpleidingcode (kort samengevat)

Door middel van een op een grondmechanisch rapport gebaseerde sterkteberekening moet worden aangetoond, dat in de betreffende kruising annex veiligheidszones gerekend vanaf de droge teen van de kaden een veiligheidsfactor ten opzichte van de breukgrens van het toegepaste pijpstaal aanwezig is (gebaseerd op nominale wanddikte), waarbij behalve de maximale inwendige druk alle uitwendige belastingen en andere invloeden in de berekening moeten worden betrokken.

Er werd geen onderscheid gemaakt in eenvoudige of uitgebreide (volledige) sterkteberekeningen. Alle belastingen moesten vertaald worden in spanningen en die werden dan vervolgens bij elkaar opgeteld.





Pijpleidingcode 2^e revisie 1972

PIJPLEIDING-CODE

(revisie 2, 1 januari 1972)

Eisen te stellen aan pijpleidingen voor het transport van gasen en vloeistoffen.

In de 2^e Pijpleidingcode werden eisen gesteld aan eenvoudige of uitgebreide berekeningen.

De grens lag op 20 ato.

Hierbij werd gekeken naar de druk en de diameter én naar het medium: gas of vloeistof.

De factor HD^2 werd geïntroduceerd.

<u>Lagedrukgasleidingen met barstdruk ≤ 20 ato:</u>		voor alle waterstaatswerken behandelen conform hogedrukleidingen.	
<u>Lagedrukgasleidingen met barstdruk > 20 ato:</u>			
<u>sterkteberekening voor:</u>	boezemkaden c.a.:	volledig	:
	hoofdwatkeringen:	volledig als	: $pd^2 \geq 64$ en $D > 0,20$ m
		vereenvoudigd als	: $pd^2 < 64$ en $D \leq 0,20$ m
	tweede waterkeringen:	volledig als	: $pd^2 \geq 64$ en $D > 0,40$ m
		vereenvoudigd als	: $pd^2 < 64$ en $D \leq 0,40$ m
	provinciale wegen:	volledig als	: $pd^2 \geq 64$ en $D > 0,20$ m
		vereenvoudigd als	: $pd^2 < 64$ en $D \leq 0,20$ m
		overleg als	: $0,20$ m $< D < 0,40$ m en $pd^2 < 64$
<u>damwandconstr. voor:</u>	boezemkaden c.a.:	aanbrengen	: altijd
	hoofdwatkeringen:	aanbrengen als	: $pd^2 \geq 64$ en $D > 0,20$ m
		niet aanbrengen als	: $pd^2 < 64$ en $D \leq 0,20$ m
		overleg als	: $0,20$ m $< D < 0,40$ m en $pd^2 < 64$
	tweede waterkeringen:	aanbrengen als	: $pd^2 \geq 64$ en $D > 0,40$ m
		niet aanbrengen als	: $pd^2 < 64$ en $D \leq 0,40$ m
	provinciale wegen:	geen damwandconstructie	
<u>Lagedruk-vloeistofleidingen:</u>			
<u>sterkteberekening voor:</u>	boezemkaden c.a.:	volledig	:
	hoofdwatkeringen:	volledig als	: $HD^2 \geq 1$ en $D > 0,20$ m
		vereenvoudigd als	: $HD^2 < 1$ en $D \leq 0,20$ m
		overleg als	: $0,20$ m $< D < 0,40$ m en $HD^2 < 1$
	tweede waterkeringen:	volledig als	: $HD^2 \geq 1$ en $D > 0,40$ m
		vereenvoudigd als	: $HD^2 < 1$ en $D \leq 0,40$ m
	provinciale wegen:	volledig als	: $HD^2 \geq 1$ en $D > 0,20$ m
		vereenvoudigd als	: $HD^2 < 1$ en $D \leq 0,20$ m
		overleg als	: $0,20$ m $< D < 0,40$ m en $HD^2 < 1$
<u>damwandconstr. voor:</u>	boezemkaden c.a.:	aanbrengen	: altijd
	hoofdwatkeringen:	aanbrengen als	: $HD^2 \geq 1$ en $D > 0,20$ m
		niet aanbrengen als	: $HD^2 < 1$ en $D \leq 0,20$ m
		overleg als	: $0,20$ m $< D < 0,40$ m en $HD^2 < 1$
	tweede waterkeringen:	aanbrengen als	: $HD^2 \geq 1$ en $D > 0,40$ m
		niet aanbrengen als	: $HD^2 < 1$ en $D \leq 0,40$ m
	provinciale wegen:	geen damwandconstructie	
<u>N.B.</u>	In de formules pd^2 en $L = \frac{1}{4} \sqrt[3]{pd^2}$ is p = ontwerpdruk in ato; D = buisdiameter in cm en L = lengte damwand in m aan één zijde van de buis.		
	In de formules HD^2 en $L = 4 \sqrt[3]{HD^2}$ is H = ontwerpdruk in m vloeistofkolom; D = buisdiameter in m en L = lengte damwand in m aan één zijde van de buis.		
	$L_{max} = 10$ m voor boezemkaden c.a. en hoofdwatkeringen.		

§ 4. Overzicht van de noodzaak van berekening en damwandconstructie

PIJPLEIDING-CODE

(revisie 2, 1 januari 1972)

Eisen te stellen aan pijpleidingen voor het transport van gassen en vloeistoffen.

Pijpleidingcode 2^e revisie 1972



Lagedrukgasleidingen met barstdruk ≤ 20 ato: voor alle waterstaatswerken behandelen conform hogedrukleidingen.

Lagedrukgasleidingen met barstdruk > 20 ato:

<u>sterkteberekening voor:</u>	boezemkaden c.a.:	volledig	:		
	hoofdwaterkeringen:	volledig als	:	$pD^2 \geq 64$ en $D > 0,20$ m	
		vereenvoudigd als	:	$pD^2 < 64$ en $D \leq 0,20$ m	
		overleg als	:	$0,20 \text{ m} < D < 0,40 \text{ m}$ en $pD^2 < 64$	
	tweede waterkeringen:	volledig als	:	$pD^2 \geq 64$ en $D > 0,40$ m	
		vereenvoudigd als	:	$pD^2 < 64$ en $D \leq 0,40$ m	
	provinciale wegen:	volledig als	:	$pD^2 \geq 64$ en $D > 0,20$ m	
		vereenvoudigd als	:	$pD^2 < 64$ en $D \leq 0,20$ m	
		overleg als	:	$0,20 \text{ m} < D < 0,40 \text{ m}$ en $pD^2 < 64$	
<u>damwandconstr. voor:</u>	boezemkaden c.a.:	aanbrengen	:	altijd	$L = \frac{1}{2} \sqrt[3]{pD^2}$
	hoofdwaterkeringen:	aanbrengen als	:	$pD^2 \geq 64$ en $D > 0,20$ m	$L = \frac{1}{2} \sqrt[3]{pD^2}$
		niet aanbrengen als	:	$pD^2 < 64$ en $D \leq 0,20$ m	
		overleg als	:	$0,20 \text{ m} < D < 0,40 \text{ m}$ en $pD^2 < 64$	
	tweede waterkeringen:	aanbrengen als	:	$pD^2 \geq 64$ en $D > 0,40$ m	$L = 4 \text{ m}$
		niet aanbrengen als	:	$pD^2 < 64$ en $D \leq 0,40$ m	
	provinciale wegen:	geen damwandconstructie	:		

In de formules pD^2 en $L = \frac{1}{2} \sqrt[3]{pD^2}$ is p = ontwerpdruk in ato

Eenvoudige of uitgebreide sterkteberekeningen?



PIJPLEIDING-CODE

(revisie 2, 1 januari 1972)

Eisen te stellen aan pijpleidingen voor
het transport van gasen en vloeistoffen.

Vereenvoudigde rekenwijze voor op staal gefundeerde (stalen) hogedrukleidingen (bedrijfsdruk > 10 ato) met een gronddekking tussen 1 en 3 m.

De methode impliceert berekening op uitsluitend inwendige druk (maximale bedrijfsdruk bij het pompstation) met een wanddiktetoeslag ter compensatie van de (neutrale) grondbelasting en toevallige verkeersbelasting c.q. drukstoten.

Bij gronddekkingen < 1 m en > 3 m is een volledige berekening - in verband met de dan zeer belangrijke spanningsbijdrage van respectievelijk de toevallige verkeerslast en de neutrale grondbelasting - vereist.

Pijpleidingcode 2^e revisie 1972



Lagedruk-vloeistofleidingen:

sterkteberekening voor: boezemkaden c.a.: volledig

hoofdwaterkeringen: volledig als : $HD^2 \geq 1$ en $D > 0,20$ m
vereenvoudigd als : $HD^2 < 1$ en $D \leq 0,20$ m
overleg als : $0,20 \text{ m} < D < 0,40 \text{ m}$ en $HD^2 < 1$
tweede waterkeringen: volledig als : $HD^2 \geq 1$ en $D > 0,40$ m
vereenvoudigd als : $HD^2 < 1$ en $D \leq 0,40$ m
provinciale wegen: volledig als : $HD^2 \geq 1$ en $D > 0,20$ m
vereenvoudigd als : $HD^2 < 1$ en $D \leq 0,20$ m
overleg als : $0,20 \text{ m} < D < 0,40 \text{ m}$ en $HD^2 < 1$

damwandconstr. voor: boezemkaden c.a.: aanbrenge

hoofdwaterkeringen: aanbrenge als : $HD^2 \geq 1$ en $D > 0,20$ m
niet aanbrenge als: $HD^2 < 1$ en $D \leq 0,20$ m
overleg als : $0,20 \text{ m} < D < 0,40 \text{ m}$ en $HD^2 < 1$
tweede waterkeringen: aanbrenge als : $HD^2 \geq 1$ en $D > 0,40$ m
niet aanbrenge als: $HD^2 < 1$ en $D \leq 0,40$ m
provinciale wegen: geen damwandconstructie

$$L=4 \sqrt[3]{HD^2}$$
$$L=4 \sqrt[3]{HD^2}$$

$$L=4 \text{ m}$$

In de formules HD^2 en $L = 4 \sqrt[3]{HD^2}$ is H = ontwerpdruk in m vloeistofkolom; D = buisdiameter in m en L = lengte damwand in m aan één zijde van de buis.

L_{max} = 10 m voor boezemkaden c.a. en hoofdwaterkeringen.

Pijpleidingcode 2^e revisie 1972



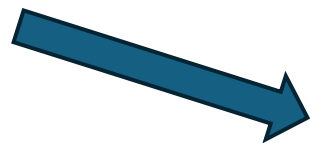
In de formules HD^2 en $L = 4 \sqrt[3]{HD^2}$ is H = ontwerpdruk in m vloeistofkolom; D = buisdiameter in m en L = lengte damwand in m aan één zijde van de buis.
 $L_{\max} = 10$ m voor boezemkaden c.a. en hoofdwaterkeringen.

Formule bij vloeistofleidingen: HD^2

Hierin is:

H = ontwerpdruk in m vloeistofkolom

D = buisdiameter in m

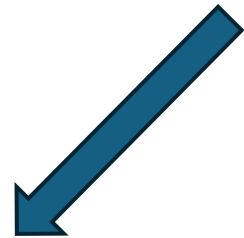


D = inwendige diameter in m

Stel D = buisdiameter = 0,323 m staal met een wanddikte van 5 mm dan is de inwendige diameter 0,313 m en de ontwerpdruk = 30 m vloeistofkolom dan volgt: $30 \times 0,313^2 = 30 \times 0,097969 = 2,94$. Dus uitgebreid berekenen.

Pijpleidingcode 6^e revisie 1990



 $p < 10 \text{ bar}$

Voor zowel gas- als vloeistoflagedrukleidingen geldt dat de vereenvoudigde systeemberekening slechts mag worden toegepast, indien sprake is van (karakteristieke) primaire zettingsverschillen welke niet groter zijn dan 0,1 m (exclusief uitvoeringszakkingsverschil, inclusief onzekerheidsfactor (dus maximaal $0,10 + 0,10 = 0,20 \text{ m}$)).

Deze vereenvoudigde berekening geldt niet voor bestuurbaar horizontaal te boren kruisingen. Na analyse van een voldoende aantal volledige berekeningen van dergelijke boringen, zal t.z.t. een specifieke vereenvoudigde berekening worden ontwikkeld.

Pijpleidingcode 6^e revisie 1990



V.3. VLOEISTOFLEIDINGEN

a. Lagedrukvlloeistofleidingen in waterstaatswerken kunnen worden berekend met de *vereenvoudigde sterkteberekening* (zie V.4.), wanneer $HD_i^2 < 1$ (H = max. bedrijfsdruk p_{\max} . in m vloeistofkolom en D_i = inwendige buisdiameter in m). Zie ook d. van deze §.

b. *Afleiding*: $H \cdot D_i^2 = 1$. (bij een erosiekrater met $R_B = 2$ m).

$$R_B = \frac{1}{4} \cdot 8\sqrt[3]{H \cdot D_i^2} = 2\sqrt[3]{H \cdot D_i^2}$$

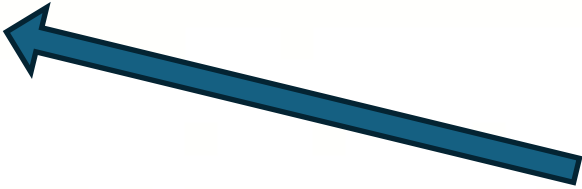
waarin: $R_B = 2$ m. $2 = 2\sqrt[3]{H \cdot D_i^2}$.

$$\sqrt[3]{H \cdot D_i^2} = 1 \rightarrow H \cdot D_i^2 = 1, \text{ q.e.d.}$$

c. De factor $\frac{1}{4}$ in de formule voor R_B gaat uit van het feit dat de oorspronkelijke formule (dus zonder $\frac{1}{4}$) een $4\times$ te hoge uitkomst *kan* geven. Het is echter niet zeker dat dit in alle gevallen zo is, maar indien $HD_i^2 < 4$ is dat toelaatbaar.

Indien $H \cdot D_i^2 \geq 4$, is delen door 4 niet toegestaan. Een andere mogelijkheid is dan het toepassen van de uitgebreidere formule van art. III.I.C.3.

Indien $H \cdot D_i^2 < 4$ geldt $R_B = 2\sqrt[3]{H \cdot D_i^2}$



R_B = haaks op
de leiding

Pijpleidingcode 6^e revisie 1990



- d. Lagedrukvlloeistofleidingen in waterstaatswerken moeten volgens de zogenaamde ‘gestyleerde berekening’ (zie compendium Geo-tubomechanica deel II, IV.2.7.2. en 3.) worden berekend indien $1 \leq H \cdot D_i^2 < 4$ en het zettingsverschil + uitvoeringszakkingsverschil $< 0,2$ m. Door deze beperkingen (geen grondbreuk/portaalwerking) kan, onder verwaarlozing van expansie en met toepassing van stress-intensificatiefactoren, ook gerekend worden volgens de ‘standaard-handberekening voor wegkruisingen’ (zie compendium II, IV.1.). Hierbij kan gebruik worden gemaakt van de grafiek van XI.10.A., waar de maatgevende momenten als functie van λL kunnen worden afgelezen ($q_z < q_p$). De provincie Zuid-Holland is bezig deze quasi-gestyleerde berekening te automatiseren. In afwachting daarvan mag in de bovengenoemde categorie ook met de vereenvoudigde sterkteberekening worden gerekend.

Aangezien o.a. al duidelijk was dat de Pijpleidingcode vervangen ging worden door NEN-normen heeft de provincie Zuid-Holland deze quasi gestyleerde berekening nooit geautomatiseerd. Deze berekeningsmethode zit wel in het programma Sigma.

Pijpleidingcode 7^e revisie 1992



Bericht van de provincie Zuid-Holland op 1 juni 1992:

Toen in 1990 de zesde revisie van de Pijpleidingcode verscheen en tevens TAW-leidraad werd, was de verwachting dat deze geruime tijd ongewijzigd gehandhaafd kon blijven.

In het kader van het streven naar Europese eenwording echter is men begonnen aan het vervaardigen van een Euronorm op pijpleidinggebied. Nederland mag hieraan bijdragen door een voorstel te leveren voor de berekeningen voor veldleidingen en kruisingen.

Dit voorstel dient in de vorm van een Nederlandse Norm te worden gepresenteerd en men is daarom druk bezig zulk een norm samen te stellen: NEN 3650 voor veldleidingen en NEN 3651 voor kruisingen.

Bij het samenstellen houdt men rekening met de diverse reeds in Nederland verschenen publicaties, zoals onder meer de Leidraad voor Oliepijpleidingen, de TGSL-1986, NEN 1091, de TTT-richtlijnen, het HOBU-rapport en de Pijpleidingcode.

Naar verwachting wordt de Europese norm in 1995 van kracht en de Nederlandse norm in 1992 (NEN 3650) resp. 1993 (NEN 3651). Op dit laatste tijdstip kan er voor vele zaken die in de Pijpleidingcode staan vermeld, worden verwezen naar de Nederlandse norm.

Pijpleidingcode 7^e revisie 1992



V.3. VLOEISTOFLEIDINGEN

a. Lagedrukvloeistofleidingen in waterstaatswerken kunnen worden berekend met de *vereenvoudigde sterkteberekening* (zie V.A.), wanneer $H^3 \cdot D_i^5 < 40$. Hierin is H de maximale bedrijfsdruk p_{\max} in m vloeistofkolom en D_i de inwendige buisdiameter in m.

b. *Afleiding*: In revisie 6 van 1990 bestonden er 2 grenzen, te weten $H \cdot D_i^2 = 1$ en $H \cdot D_i^2 = 4$. De eerste grens is vervallen en de tweede grens is gewijzigd.

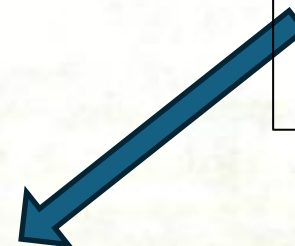
De oude formule was $R_B = \frac{1}{4} \cdot 8 \cdot \sqrt[3]{H \cdot D_i^2}$

De nieuwe formule is $R_B = \frac{1}{4} \cdot 8 \cdot \sqrt[8]{H^3 \cdot D_i^5}$ (zie III.1.C.3.)

R_B volgens de oude formule = 3,17 m indien $H \cdot D_i^2 = 4$

uit $3,17 = \frac{1}{4} \cdot 8 \cdot \sqrt[8]{H^3 \cdot D_i^5}$ volgt $H^3 \cdot D_i^5 = 40$; dit is de nieuwe grenswaarde.

$R_B = 3,17$ m
bepaalt dus de
grenswaarde



Pijpleidingcode 7^e revisie 1992



c. De factor $\frac{1}{4}$ in de oude formule voor R_B gaat uit van het feit dat de oorspronkelijke formule (dus zonder $\frac{1}{4}$) een 4 x te hoge uitkomst kan geven. Het is niet zeker dat dit in alle gevallen zo is, maar indien $H.D_i^4 < 4$ is dat toelaatbaar. Aangenomen wordt dat deze gedachtengang ook geldt bij de nieuwe formule.

Indien $H^3.D_i^5 \geq 40$ is delen door 4 dus niet toegestaan. Een andere mogelijkheid is dan het toepassen van de uitgebreidere formule van III.1.C.3.

Indien $H^3.D_i^5 < 40$ geldt $R_B = 2 \cdot \sqrt[8]{H^3.D_i^5}$

R_B dus factor 4 lager bij "kleine" leidingen

NEN 3651:2020



Fragment van A.2.2 Breedte ontgrondingskuil bij vloeistofleidingen

De halve breedte van de geërodeerde kuil, gemeten loodrecht op de lengte-as van de buisleiding kan worden beschreven met de volgende formule:

$$R_B = 7,8 \times d_g \times \left(\frac{P}{\rho \times g^{1,5} \times \mu \times d_g^{3,5}} \right)^{0,243}$$

Deltares heeft zowel voor gasleidingen als voor vloeistofleidingen naar de berekeningen van de ontgrondingskraters gekeken en hierover aan Rijkswaterstaat en de NEN-commissie rapporten uitgebracht.

NEN 3651:2020



Randvoorwaarden voor eventueel toepassen van vereenvoudigde sterkteberekeningsmethode

8.5.1 Randvoorwaarden

Indien wordt voldaan aan de onderstaande voorwaarden mag de toetsing op de grenstoestandspanningen voor kruisingen met waterstaatswerken volgens de vereenvoudigde sterkteberekening volgens 8.5.2 worden uitgevoerd.

OPMERKING 1 Voor uit te voeren toetsing op andere grenstoestanden dan de grenstoestandspanningen wordt verwezen naar hoofdstuk 11.

De voorwaarden voor de grenstoestandspanningen zijn:

- de ontwerpdruk is kleiner dan of gelijk aan 1 MPa (=10 bar of 1 N/mm²);
- de te verwachten zettingsverschillen (gemiddelde waarden) zijn niet groter dan 100 mm (zie ook opmerking 2);
- de leiding wordt niet door bestuurbaar horizontaal boren aangelegd;
- voor een gasleiding wordt voldaan aan $\Phi < 600$ (voor berekening Φ , zie noot bij tabel 3);
- voor een vloeistofleiding wordt voldaan aan $h^3 \times D_i^5 < 40 \text{ m}^8$ (h is de maximale drukhoogte, in m, D_i is de inwendige middellijn van de leiding, in m);

NEN 3651:2020



Randvoorwaarden voor eventueel toepassen van vereenvoudigde sterkteberekeningsmethode

$$h^3 \times D_i^5 < 40 \text{ m}^8$$

Deze waarde van 40 is dus een vertaling van een krater met een R_B van 3,17 m. Door de provincie Zuid-Holland is tijdens de Pijpleidingcode (en de NEN-normen 3650 en 3651 die later verschenen) altijd als uitgangspunt genomen dat een dergelijk gat nog redelijk snel te repareren is, maar een groter gat dus niet. Daarom is gekozen voor zekerheid om dergelijke leidingen dan uitgebreid op sterkte te berekenen. In Nederland wordt voor dergelijke sterkteberekeningen vaak het programma PLE4Win gebruikt.

Berekeningen zoals met het programma Sigma gemaakt zijn gestyleerde berekeningen. Dat wil niet zeggen dat grotere leidingen niet met het programma kunnen worden berekend. Hangt met name af van de complexiteit van de configuratie in relatie tot zettingen.

NEN 3651:2020



Randvoorwaarden voor eventueel toepassen van vereenvoudigde sterkteberekeningsmethode

$$h^3 \times D_i^5 < 40 \text{ m}^8$$

Er zijn situaties waarbij een krater van 3,17 m breed geen enkel probleem is. Gestyleerde berekeningen (Sigma) zijn dan prima. Dit moet bespreekbaar zijn.

Wanneer er grote zettingsverschillen zijn in combinatie met veel bochten dan is een uitgebreide sterkteberekening (dus PLE4Win) nodig.

Maar bij een dekking van 1 m zonder veel zettingen of veel bochten dan hebben we eigenlijk alleen over grondbelasting en verkeersbelasting. In dat geval zijn de berekeningsresultaten van PLE4Win en Sigma vergelijkbaar. In het algemeen zijn de spanningen in Sigma hoger dan de spanningen in PLE4Win. Voldoet een leiding in Sigma dan voldoet deze (meestal) ook in PLE4Win.

Gestyleerde (vereenvoudigde) sterkteberekening

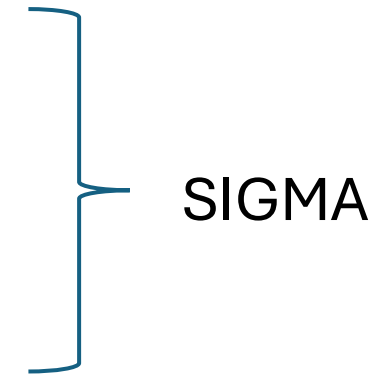


In de Pijpleidingcode rev. 1992 is in hoofdstuk V.4.A de gestyleerde sterkteberekening voor doorgelaste in een sleuf gelegde leidingen, met een continu verlopen zakkingsprofiel uitgewerkt.

V.4.A.1 heeft betrekking op stalen leidingen

V.4.A.2 heeft betrekking op doorgelaste kunststofleidingen (PE MRS).

V.4.A.3 heeft betrekking op het berekenen van zinkers



Deze rekenmethoden zijn in 2024 (op sommige punten wat aangepast) nog steeds van toepassing.

In de NEN 3650:2020 is in bijlage E de berekeningsmethode voor een horizontaal gestuurde boring vermeld. Dit is ook een gestyleerde (vereenvoudigde) sterkteberekening.

Gestyleerde (vereenvoudigde) sterkteberekening



De belangrijkste spanningen op ondergrondse leidingen worden veroorzaakt door:

- Inwendige druk ten gevolge van het medium (gas of vloeistof)
- Grondbelasting (zand, klei, grind, leem en veen of mengels hiervan)
- Verkeersbelasting (grafiek I, grafiek II of grafiek $\frac{1}{2} \times II$)
- Zettingen (uitvoeringszakkingsverschil en zettingsverschil)
- Temperatuurverschil (tussen aanleg en bedrijfsvoering)

Wanneer bochten in de leidingen zijn opgenomen dan worden spanningen die optreden in de rechte delen van de leidingen ten gevolge van zetting overgebracht op de bochten. Vaak zijn de bochten maatgevend.

Gestyleerde (vereenvoudigde) sterkteberekening



Stel de volgende leiding:

Materiaal: PE SDR 11

Uitwendige middellijn en wanddikte: 630 mm x 57,53 mm

Gronddekking: 1,0 m

Grondsoort: Zand

Verkeersbelasting: Grafiek I (zwaarste verkeersbelasting)

Uitvoeringszakkingsverschil volgens Tabel C9: 5 mm

Zettingsverschil langere termijn: 0 mm

Inwendige druk: 0,3 N/mm² (3 ato)

Temperatuurverschil (tussen aanleg en bedrijfsvoering): 10 graden

Bochtstraal: 3,5 x uitwendige middellijn

Invoer (vereenvoudigde) sterkteberekening Sigma



Leiding- en materiaalgegevens	Importatiefactor	Grondmechanische gegevens
Materiaal: PE	1.0 (selected) 0.95 0.90 0.85 0.80 0.75	Grondwater: <input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nee
Kwaliteit: PE 100	Aanleggegevens	Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld [m]: 1,00
Uitwendige middellijn [mm]: 630,00	Ligging	Grondsoort: Zand
Wanddikte [mm]: 57,30	<input type="radio"/> Kruising met een waterstaatswerk	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]: 18,00
Dikte bekleding [mm]: 0,00	<input checked="" type="radio"/> Evenwijdig aan een waterstaatswerk	Inwendige wrijvingshoek grond [°]: 32,50
Bocht of T-stuk in constructie: <input type="radio"/> Nee <input checked="" type="radio"/> Glad <input type="radio"/> Mijter <input type="radio"/> T-stuk	<input type="radio"/> Zinkerconstructie	Effectieve cohesie [kN/m ²]: 0,00
Wanddikte bocht [mm]: 57,30	Uitvoeringszakkingverschil [mm]: 5,00	Ongedraineerde schuifsterkte [kN/m ²]: 0,00
Bochtstraal [mm]: 2205,00	Zettingsverschil [mm]: 0,00	E-modulus ondergrond [MN/m ²]: 45,00
Verkeersbelasting	Klinkpercentage [-]: 0,020	Minimale verticale beddingconstante [N/mm ³]: 0,0080
Verkeersbelasting: Grafiek I	Marstonfactor [-]: 0,30	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]: 0,0110
Ontlastende invloed t.g.v. wegdek	Opleghoeken	Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd: <input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nee
<input checked="" type="radio"/> Geen ontlastende invloed	Horizontale steundruk: <input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nee	Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone
<input type="radio"/> Tweelagen structuur	Belastinghoek [°]: 180	Waterstaatswerk: <input checked="" type="radio"/> Verheeld <input type="radio"/> Niet Verheeld
<input type="radio"/> Drielagen structuur	Ondersteuningshoek [°]: 70	
	Medium	
	Medium: <input checked="" type="radio"/> Vloeistof <input type="radio"/> Gas <input type="radio"/> Drukloos	
	Ontwerpdruk [N/mm ²]: 0,3	
	Volumieke massa medium [kg/m ³]: 1000,000	
	Temperatuurverschil [°C]: 10,00	
	Aanvullende pomp-/lekgegevens: <input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nee	

Resultaten (vereenvoudigde) sterkteberekening Sigma



2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan

Voor vloeistofleidingen geldt: $H^3 \cdot D_i^5$ moet kleiner dan 40 m^8 zijn.

H is de druk in meters vloeistofkolom.

Rekening houdende met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ volgt:

$$h = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$$

$$h = \frac{300.000}{1.000 \cdot 9,81} = 30,58 \text{ m} \rightarrow h^3 \cdot D_i^5 = 30,58^3 \cdot 0,52^5 = 1040,11 \text{ m}^8$$

De factor $h^3 \cdot d_i^5$ is duidelijk hoger dan 40 m^8 , namelijk $1040,11 \text{ m}^8$

3. Berekening van de veiligheidszone

$$R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{h^3 \cdot D_i^5}$$

$$R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{30,58^3 \cdot 0,52^5} = 19,06 \text{ m}$$

$$\text{Veiligheidszone} = 4 \cdot H_{\text{werk}} + R_B = 4 \cdot 0,00 + 19,06 = 19,06 \text{ m}$$

$$\text{Diepte erosiekrater} = D_K = 1,2 \cdot (D_0 + H) = 1,2 \cdot (0,63 + 1) = 1,96 \text{ m}$$

De krater R_B is conservatief berekend op $19,06 \text{ m}$

Resultaten (vereenvoudigde) sterkteberekening Sigma



4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk

$D_g/d_n = 572,70/57,30 = 9,99 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding

$$\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$$

$$\sigma_p = \frac{315,00^2 + 257,70^2}{315,00^2 - 257,70^2} \cdot 0,3 = 1,51 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{p(bi)} = \frac{2 \cdot R - 0,5 \cdot D_e}{2 \cdot R - D_e} \cdot \sigma_p$$

$$\sigma_{p(bi)} = \frac{2 \cdot 2205 - 0,5 \cdot 630}{2 \cdot 2205 - 630} \cdot 1,51 = 1,64 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{p(bu)} = \frac{2 \cdot R + 0,5 \cdot D_e}{2 \cdot R + D_e} \cdot \sigma_p$$

$$\sigma_{p(bu)} = \frac{2 \cdot 2205 + 0,5 \cdot 630}{2 \cdot 2205 + 630} \cdot 1,51 = 1,42 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_{p(bi)} = 1,64 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,51 = 0,60 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \sigma_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = 8,00 \text{ N/mm}^2$$

1^e controle volgens NEN-normen:
Toetsing of spanningen ten gevolge van
inwendige druk lager zijn dan de
toelaatbare spanning.

De maximale spanning is 1,64 N/mm².

De toelaatbare spanning is 8,0 N/mm².

Bij rivierwaterkeringen (importantiefactor
0,75) is de toelaatbare spanning 0,75 x 8
N/mm² = 6,0 N/mm²)

Resultaten (vereenvoudigde) sterkteberekening Sigma



22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (12,47 + \frac{1}{2} \cdot 32,08) - 0,095 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot (12,47 + \frac{1}{2} \cdot 32,08) + 0,048 \cdot 0,47) \cdot 286,35^3}{350 \cdot 15.677,71} = 5,59 \text{ mm (= 0,98\%)}$$

$$\text{Toelaatbare deflectie} = 8,00\% \cdot \text{importantiefactor } S \cdot D_g = 0,08 \cdot 1 \cdot 572,70 = 45,82 \text{ mm}$$

Controle volgens NEN-normen:
Toetsing of optredende vervorming (deflectie) lager is dan te toelaatbare vervorming (8% van de gemiddelde leidingdiameter).

De optredende deflectie is 5,59 mm (= 0,98%).

De toelaatbare deflectie is 45,82 mm.

Bij rivierwaterkeringen (importantiefactor 0,75) is de toelaatbare deflectie
 $0,08 \times 0,75 \times 572,70 \text{ mm} = 34,36 \text{ mm}$

Resultaten (vereenvoudigde) sterkteberekening Sigma



23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

$$\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx})$$

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (4,12 + 1,11 \cdot 0,02) = \mathbf{2,69 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

$$\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$$

$$\sigma_x = 0,66 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,02 + 1,56 = \mathbf{2,23 \text{ N/mm}^2}$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$$

Zodra de leiding is aangelegd en de sleuf is aangevuld, is er sprake van het inklinken van de sleuf. Dit betekent extra grondbelasting op de leiding. De σ_q van $4,12 \text{ N/mm}^2$ bestaat voornamelijk uit grondbelasting (met inklink-effect) en verkeersbelasting

De maximaal optredende spanning is $2,69 \text{ N/mm}^2$.

De toelaatbare spanning is $8,0 \text{ N/mm}^2$.

Bij rivierwaterkeringen (importantiefactor $0,75$) is de toelaatbare spanning $8,0 \times 0,75 = 6,0 \text{ N/mm}^2$

Resultaten (vereenvoudigde) sterkteberekening Sigma



24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

$$\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx})$$

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (3,80 + 1,11 \cdot 0,02) = \mathbf{2,48} \text{ N/mm}^2$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

$$\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$$

$$\sigma_x = 0,66 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,02 + 1,56 = \mathbf{2,23} \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00} \text{ N/mm}^2$$

Na 2 jaar is het inklink-effect voorbij en wordt met neutrale grondbelasting op de leiding gerekend. We zien dan een lagere σ_q . Deze is nu 3,8 N/mm².

De maximaal optredende spanning is 2,49 N/mm².

De toelaatbare spanning is 8,0 N/mm².

Bij rivierwaterkeringen (importantiefactor 0,75) is de toelaatbare spanning $8,0 \times 0,75 = 6,0$ N/mm²

Resultaten (vereenvoudigde) sterkteberekening Sigma



Projectgegevens		
Naam van het project: Voorbeeld vereenvoudigde berekening		
Projectonderdeel: Sterkteberekening PE Ø630 mm		
Leiding- en materiaalgegevens		
Materiaal	PE	
Kwaliteit	PE 100	
Uitwendige middellijn [mm]	630,00	
Wanddikte [mm]	57,30	
Dikte bekleding [mm]	0,00	
Bocht of T-stuk in constructie	<input type="radio"/> Nee <input checked="" type="radio"/> Glad <input type="radio"/> Mijter <input type="radio"/> T-stuk	
Wanddikte bocht [mm]	57,30	
Bochtstraal [mm]	2205,00	
Verkeersbelasting		
Verkeersbelasting: Grafiek I		
Ontlastende invloed t.g.v. wegdek		
<input checked="" type="radio"/> Geen ontlastende invloed		
<input type="radio"/> Tweelagen structuur		
<input type="radio"/> Drielagen structuur		
Importantiefactor		
<input checked="" type="radio"/> 1.0 <input type="radio"/> 0.95 <input type="radio"/> 0.90 <input type="radio"/> 0.85 <input type="radio"/> 0.80 <input type="radio"/> 0.75		
Aanleggegevens		
Ligging		
<input type="radio"/> Krusing met een waterstaatswerk		
<input checked="" type="radio"/> Evenwijdig aan een waterstaatswerk		
<input type="radio"/> Zinkerconstructie		
Uitvoeringszakkingverschil [mm]	5,00	
Zettingsverschil [mm]	0,00	
Klinkpercentage [-]	0,020	
Marstonfactor [-]	0,30	
Opleghoeken		
Horizontale steundruk <input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nee		
Belastinghoek [°]	180	
Ondersteuningshoek [°]	70	
Medium		
Medium <input checked="" type="radio"/> Vloeistof <input type="radio"/> Gas <input type="radio"/> Drukloos		
Ontwerpdruk [N/mm ²]	0,3	
Volumieke massa medium [kg/m ³]	1000,000	
Temperatuurverschil [°C]	10,00	
Aanvullende pomp-/lekgegevens	<input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nee	
Grondmechanische gegevens		
Grondwater <input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nee		
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld [m]: 1,00		
Grondsoort: Zand		
Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]: 18,00		
Inwendige wrijvingshoek grond [°]: 32,50		
Effectieve cohesie [kN/m ²]: 0,00		
Ongedraineerde schuifsterkte [kN/m ²]: 0,00		
E-modulus ondergrond [MN/m ²]: 45,00		
Minimale verticale beddingconstante [N/mm ³]: 0,0080		
Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]: 0,0110		
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd <input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nee		
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone		
Waterstaatswerk <input checked="" type="radio"/> Verheeld <input type="radio"/> Niet Verheeld		

Conclusie: Leiding Ø630 mm SDR voldoet ruimschoots aan de NEN 3650:2020.

De hoogste spanning is in dit voorbeeld 2,69 N/mm², dit is aanzienlijk lager dan de toelaatbare spanning van 8,0 N/mm².

Dit geldt ook voor de vervorming (de deflectie). Deze bedraagt 5,59 mm (0,98%) terwijl 45,82 mm (8%) toegestaan is.

Aanpassing (vereenvoudigde) sterkteberekening Sigma



Leiding- en materiaalgegevens Materiaal: PE Kwaliteit: PE 100 Uitwendige middellijn [mm]: 630,00 Wanddikte [mm]: 57,30 Dikte bekleding [mm]: 0,00 Bocht of T-stuk in constructie: <input type="radio"/> Nee <input checked="" type="radio"/> Glad <input type="radio"/> Mijter <input type="radio"/> T-stuk Wanddikte bocht [mm]: 57,30 Bochtstraal [mm]: 2205,00	Importatiefactor <input checked="" type="radio"/> 1.0 <input type="radio"/> 0.95 <input type="radio"/> 0.90 <input type="radio"/> 0.85 <input type="radio"/> 0.80 <input type="radio"/> 0.75 Aanleggegevens Ligging <input type="radio"/> Krusing met een waterstaatswerk <input checked="" type="radio"/> Evenwijdig aan een waterstaatswerk <input type="radio"/> Zinkerconstructie Uitvoeringszakkingverschil [mm]: 5,00 Zettingsverschil [mm]: 0,00 Klinkpercentage [-]: 0,020 Marstonfactor [-]: 0,30 Opleghoeken Horizontale steundruk: <input checked="" type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Nee Belastinghoek [°]: 180 Ondersteuningshoek [°]: 70 Medium Medium: <input checked="" type="radio"/> Vloeistof <input type="radio"/> Gas <input type="radio"/> Drukloos Ontwerpdruk [N/mm ²]: 0,3 Volumieke massa medium [kg/m ³]: 1000,000 Temperatuurverschil [°C]: 10,00 Aanvullende pomp-/lekgegevens: <input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nee	Grondmechanische gegevens Grondwater: <input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nee Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld [m]: 1,00 Grondsoort: Zand Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]: 18,00 Inwendige wrijvingshoek grond [°]: 32,50 Effectieve cohesie [kN/m ²]: 0,00 Ongedraineerde schuifsterkte [kN/m ²]: 0,00 E-modulus ondergrond [MN/m ²]: 45,00 Minimale verticale beddingconstante [N/mm ³]: 0,0080 Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]: 0,0110 Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd: <input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nee Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone Waterstaatswerk: <input checked="" type="radio"/> Verheeld <input type="radio"/> Niet Verheeld
Verkeersbelasting Verkeersbelasting: Grafiek I Ontlastende invloed t.g.v. wegdek <input type="radio"/> Geen ontlastende invloed <input type="radio"/> Tweelagen structuur <input checked="" type="radio"/> Drielagen structuur Dikte deklaag [mm]: 250 Dikte fundering [mm]: 300 E-modulus deklaag [N/mm ²]: 500 E-modulus fundering [N/mm ²]: 600 E-modulus ondergrond [N/mm ²]: 100		

Het is toegestaan om met horizontale steundruk te rekenen. In Sigma berekenen we het effect daarvan.

Ook is het mogelijk om met ontlastende invloed van de wegconstructie te gaan rekenen.

De optredende spanningen worden dan aanmerkelijk lager.



Resultaten (aangepaste) sterkteberekening Sigma

14. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (12,47 + \frac{1}{2} \cdot 23,44) - 0,095 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot (12,47 + \frac{1}{2} \cdot 23,44) + 0,048 \cdot 0,47) \cdot 286,35^3}{350 \cdot 15.677,71} = 4,76 \text{ mm (= 0,83%)}$$

$$\text{Toelaatbare deflectie} = 8,00\% \cdot \text{importantiefactor } S \cdot D_g = 0,08 \cdot 1 \cdot 572,70 = 45,82 \text{ mm}$$

Controle volgens NEN-normen:
Toetsing of optredende vervorming (deflectie) lager is dan te toelaatbare vervorming (8% van de gemiddelde leidingdiameter).

De optredende deflectie is nu 4,76 mm (= 0,83%) in plaats van 5,59 mm. Dit komt door het in rekening brengen van de reducerende invloed van het wegdek.



Resultaten (aangepaste) sterkteberekening Sigma

24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

$$\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$$

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (2,51 + 1,35 \cdot 0,02) = \mathbf{1,65 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

$$\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot i_x \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$$

$$\sigma_x = 0,66 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,02 + 1,56 = \mathbf{2,23 \text{ N/mm}^2}$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$$

We zien hier $\sigma_q = 2,51 \text{ N/mm}^2$ in plaats van $4,12 \text{ N/mm}^2$. Dit komt door een lagere invloed van de verkeersbelasting.

De maximaal optredende spanning in omtreksrichting is nu $1,65 \text{ N/mm}^2$ in plaats van $2,69 \text{ N/mm}^2$.

We zien nu dat de spanning in langsrichting de hoogste spanning is. Namelijk $2,23 \text{ N/mm}^2$.

De toelaatbare spanning is $8,0 \text{ N/mm}^2$.



Resultaten (aangepaste) sterkteberekening Sigma

25. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

$$\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$$

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (2,28 + 1,35 \cdot 0,02) = \mathbf{1,50 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

$$\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot i_x \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$$

$$\sigma_x = 0,66 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,02 + 1,56 = \mathbf{2,23 \text{ N/mm}^2}$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$$

De maximaal optredende spanning in omtreksrichting is nu $1,50 \text{ N/mm}^2$.

We zien ook nu dat de spanning in langsrichting de hoogste spanning is. Namelijk $2,23 \text{ N/mm}^2$.

De toelaatbare spanning is $8,0 \text{ N/mm}^2$.

Conclusie: Hoewel volgens de NEN 3650:2020 en de NEN 3651:2020 een leiding $\varnothing 630 \text{ mm}$ uitgebreid berekend moet worden blijken de optredende spanningen zeer laag te zijn wanneer SDR 11 wordt toegepast. Een vereenvoudigde sterkteberekening is een conservatieve berekeningsmethode, wanneer de leiding dan voldoet, dan voldoet deze zeker bij een uitgebreide sterkteberekening.

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2025 1.3 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project	: Voorbeeld vereenvoudigde berekening		
Projectonderdeel	: Sterkteberekening PE Ø630 mm zonder reducerende factoren		
Importatiefactor S	: 1		
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 630,00	mm
Wanddikte	d _n	= 57,3	mm
Wanddikte bocht	t	= 57,3	mm
Bochtstraal	R	= 2.205,00	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p _d	= 0,3	N/mm ²
Volumieke massa medium	ρ	= 1000	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δt	= 10	°
Aanleggegevens			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 40.000	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 1	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 5	mm
Zettingsverschil	f _z	= 0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,02	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Verheeld			
		21-04-2025 12:04:04	



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2025 1.3 ©	
Grondmechanische gegevens			
Grondsoort		= Zand	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 18	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 32,5	°
Effectieve cohesie	c'	= 0	kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 0	kN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,008	N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,011	N/mm ³
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 45	MN/m ²
Niet rekenen met horizontale steundruk			
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
Verkeersbelasting			
Grafiek I:		Fatigue Load Model 3	
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek			
		21-04-2025 12:04:04	



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2025 1.3 ©	
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 515,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i) / 2$	= 572,70	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 630,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 315,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 257,70	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 286,35	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 4.268.958.539,00	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 13.552.249,33	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 15.677,71	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 547,22	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
Voor vloeistofleidingen geldt: $H^3 \cdot D_i^5$ moet kleiner dan 40 m ⁸ zijn. H is de druk in meters vloeistofkolom. Rekening houdende met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ volgt:			
$h = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$			
$h = \frac{300.000}{1.000 \cdot 9,81} = 30,58 \text{ m} \rightarrow h^3 \cdot D_i^5 = 30,58^3 \cdot 0,52^5 = 1040,11 \text{ m}^8$			
3. Berekening van de veiligheidszone			
$R_B = 8 \cdot \sqrt[3]{h^3 \cdot D_i^5}$			
$R_B = 8 \cdot \sqrt[3]{30,58^3 \cdot 0,52^5} = 19,06 \text{ m}$			
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_B = 4 \cdot 0,00 + 19,06 = 19,06 \text{ m}$			
Diepte erosiekrater = $D_K = 1,2 \cdot (D_o + H) = 1,2 \cdot (0,63 + 1) = 1,96 \text{ m}$			
4. Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk			
$D_g/d_n = 572,70/57,30 = 9,99 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding			
$\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$			
$\sigma_p = \frac{315,00^2 + 257,70^2}{315,00^2 - 257,70^2} \cdot 0,3 = 1,51 \text{ N/mm}^2$			
$\sigma_p(\text{bi}) = \frac{2 \cdot R - 0,5 \cdot D_e}{2 \cdot R - D_e} \cdot \sigma_p$			
$\sigma_p(\text{bi}) = \frac{2 \cdot 2205 - 0,5 \cdot 630}{2 \cdot 2205 - 630} \cdot 1,51 = 1,64 \text{ N/mm}^2$			
$\sigma_p(\text{bu}) = \frac{2 \cdot R + 0,5 \cdot D_e}{2 \cdot R + D_e} \cdot \sigma_p$			
$\sigma_p(\text{bu}) = \frac{2 \cdot 2205 + 0,5 \cdot 630}{2 \cdot 2205 + 630} \cdot 1,51 = 1,42 \text{ N/mm}^2$			
$\sigma_{y1} = \sigma_p(\text{bi}) = 1,64 \text{ N/mm}^2$			
$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,64 = 0,66 \text{ N/mm}^2$			
Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$			



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2025 1.3 ©
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}	
$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_v}{E \cdot I_w} \right)$ $f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 286,35^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 15.677,71} \right) = 0,91$	
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n	
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 1 = 19,80 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 19,80 \cdot 10^{-3} \cdot 630 = 12,47 \text{ N/mm}^1$	
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p	
$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o} \right)$ $q_p = 19,80 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{1}{0,63} \right) = 29,23 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 29,23 \cdot 10^{-3} \cdot 630 = 18,41 \text{ N/mm}^1$	
8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k	
$\kappa = 1 - \sin(\varphi) = 1 - \sin(32,5) = 0,463$ $\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa} = \frac{0,463}{1 + 0,463} = 0,32$ $E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5} = 45 \cdot (19,80/100)^{0,5} = 20,02 \text{ MN/m}^2$ $E_1 = E_{100, \text{norm}} / \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$ $E_1 = 20,02 / \frac{1 - 0,32 - 2 \cdot 0,32^2}{1 - 0,32} = 28,31 \text{ MN/m}^2$ $z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{0,63}{28,31^{0,5} \cdot \sqrt{1/0,63}} = 0,019 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\text{max}}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\text{max}} \cdot k_{v, \text{min}}}}$ $q_k = 19,80 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,63}{0,019} \cdot (29,23 - 19,80)}{1 + \frac{29,23 - 19,80}{0,019 \cdot 0,0080 \cdot 10^6}} = 25,75 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 25,75 \cdot 10^{-3} \cdot 630 = 16,22 \text{ N/mm}^1$	
1.3.0.0/02-2025/93-259692-99	21-04-2025 12:04:04



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2025 1.3 ©
9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek I NEN 3650-1:C.17	
<p>Niet rekenen met ontlastende invloed</p> $q_v = 50,93 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 50,93 \cdot 10^{-3} \cdot 630 = 32,08 \text{ N/mm}^1$	
10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding I	
$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,gem}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda = \sqrt[4]{\frac{630 \cdot 0,011}{4 \cdot 975 \cdot 4.268.958.539,00}} = 0,00080 \text{ mm}^{-1}$	
11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)	
<p>Zettingslengte $L = 40.000 \text{ mm}$</p> $\lambda \cdot L = 0,00080 \cdot 40.000 = 32,13$ <p>$i = 0,936$ (= 93,6 % inklemming)</p> <p>$B_z = 0,0000717$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)</p> $Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,0000717 \cdot 5 \cdot 630 \cdot 0,011 = 0,0025 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$ $Q_d = 0,0025 \cdot 0,00080 \cdot 40.000 \cdot \left(0,936 + \frac{0,936 \cdot 0,00080 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,47 \text{ N/mm}^1$	
12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)	
$Q_z = B_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,0000717 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot 630 \cdot 0,011 = 0,0025 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$ $Q_d = 0,0025 \cdot 0,00080 \cdot 40.000 \cdot \left(0,936 + \frac{0,936 \cdot 0,00080 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,47 \text{ N/mm}^1$	
	21-04-2025 12:04:04

13. Berekening evenwichtsdragvermogen en controle met bovenbelastingen

Berekening evenwichtsdragvermogen

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 24,58$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 22,54$$

$$B = D_o = 0,63 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 1,00 + 0,63 / 2 = 1,32 \text{ m}$$

$$S_y = 1 - 0,4 \cdot B/L = 0,96$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,31$$

$$\gamma'_{gem} = (q_n + \gamma \cdot \gamma_d \cdot D_o / 2) / Z = 19,80 \text{ kN/m}^3$$

$$P_{we} = 0,95 \cdot (0,5 \cdot \gamma'_{gem} \cdot D_o \cdot N_y \cdot S_y \cdot d_y + S_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot (q_n + c' \cdot \cot(\varphi)) - c' \cdot \cot(\varphi))$$

$$P_{we} = 764,89 \text{ kN/m}^2 = 0,76 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,76 \cdot 630,00 = 481,88 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdragvermogen

<i>Situatie 1^e en 2^e jaar</i>	<i>Conclusie:</i>	<i>Situatie na 2 jaar</i>	<i>Conclusie:</i>
$Q_k = 16,22 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing	$Q_n = 12,47 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing
$Q_v = 32,08 \text{ N/mm}^1$	van Q_d nodig	$Q_v = 32,08 \text{ N/mm}^1$	van Q_d nodig
$Q_d = 0,47 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,47 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 48,78 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 45,03 \text{ N/mm}^1$	

14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1^e en 2^e jaar)

Moment t.g.v. Q_k en Q_v

$$M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$$

$$M_q = 0,177 \cdot (16,22 + 32,08) \cdot 286,35$$

$$M_q = 2.448,31 \text{ Nmm/mm}^1$$

Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$$

$$\sigma_q = 0,91 \cdot (2.448,31 + 16,59) / 547,22 = 4,12 \text{ N/mm}^2$$

Moment t.g.v. Q_d

$$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$$

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,47 \cdot 286,35$$

$$M_{qd} = 16,59 \text{ Nmm/mm}^1$$

15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)

Moment t.g.v. Q_n en Q_v

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$$

$$M_q = 0,177 \cdot (12,47 + 32,08) \cdot 286,35$$

$$M_q = 2.258,39 \text{ Nmm/mm}^1$$

Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$$

$$\sigma_q = 0,91 \cdot (2.258,39 + 16,59) / 547,22 = 3,80 \text{ N/mm}^2$$

Moment t.g.v. Q_d

$$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$$

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,47 \cdot 286,35$$

$$M_{qd} = 16,59 \text{ Nmm/mm}^1$$



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2025 1.3 ©
16. Berekening van de spanning S_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00929 \cdot 5 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,011}{57,3}} = \mathbf{0,02 \text{ N/mm}^2}$	
17. Berekening van de spanning S_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00929 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,011}{57,3}} = \mathbf{0,02 \text{ N/mm}^2}$	
18. Berekening van de spanning S_{ax} t.g.v. temperatuurverschil	
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{1,56 \text{ N/mm}^2}$	
19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht of T-stuk	
<p>Berekening van de factoren i_x, i_{xp}, i_y en i_{yp} van de bocht:</p> $r = \left(\frac{D_e}{2} + \frac{D_e - 2 \cdot t}{2} \right) / 2 = 286,35 \text{ mm}$ $h = \frac{t \cdot R}{r^2} = \frac{57,3 \cdot 2205}{286,35^2} = 1,54$ $k = \frac{1,65}{h} = \frac{1,65}{1,54} = 1,07$ $c_1 = 1 + 6 \cdot (p_d/E) \cdot (r/t)^{(7/3)} \cdot (R/r)^{(1/3)}$ $c_1 = 1 + 6 \cdot (0,3/975) \cdot (286,35/57,3)^{(7/3)} \cdot (2.205,00/286,35)^{(1/3)} = 1,16$ $k_p = \frac{k}{c_1} = \frac{1,07}{1,16} = 0,93$ $i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} = \frac{0,9}{1,54^{(2/3)}} = 0,67$ $c_2 = 1 + 3,25 \cdot (p_d/E) \cdot (r/t)^{(5/2)} \cdot (R/r)^{(2/3)}$ $c_2 = 1 + 3,25 \cdot (0,3/975) \cdot (286,35/57,3)^{(5/2)} \cdot (2.205,00/286,35)^{(2/3)} = 1,22$ $i_{xp} = \frac{i_x}{c_2} = \frac{0,67}{1,22} = 0,55$ $i_y = 2 \cdot i_x = 2 \cdot 0,67 = 1,35$ $i_{yp} = 2 \cdot i_{xp} = 2 \cdot 0,55 = 1,11$ $i_x < 1 \rightarrow i_x = 1,00$ $i_{xp} < 1 \rightarrow i_{xp} = 1,00$	
20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N	
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{15.677,71}{572,7^3} = 0,0814 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,38 \text{ kN/m}^2}$ <p>Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²</p>	
	21-04-2025 12:04:04

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2025 1.3 ©
21. Toetsing op implosie (bedrijfsfase): berekening van de alzijdige overdruk	
<p>Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$</p> $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 15.677,71}{572,70^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 15.677,71}{572,70^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ <p>Conclusie: Kans op implosie bij 27,82 m grondwater boven de leiding</p>	
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (12,47 + \frac{1}{2} \cdot 32,08) - 0,095 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot (12,47 + \frac{1}{2} \cdot 32,08) + 0,048 \cdot 0,47) \cdot 286,35^3}{350 \cdot 15.677,71} = 5,59 \text{ mm} (= 0,98\%)$ <p>Toelaatbare deflectie = 8,00% · importantiefactor S · D_g = 0,08 · 1 · 572,70 = 45,82 mm</p>	
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (4,12 + 1,11 \cdot 0,02) = 2,69 \text{ N/mm}^2$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,66 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,02 + 1,56 = 2,23 \text{ N/mm}^2$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = 8,00 \text{ N/mm}^2$</p>	
24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (3,80 + 1,11 \cdot 0,02) = 2,48 \text{ N/mm}^2$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,66 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,02 + 1,56 = 2,23 \text{ N/mm}^2$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = 8,00 \text{ N/mm}^2$</p>	
	21-04-2025 12:04:04



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2025 1.3 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project	: Voorbeeld vereenvoudigde berekening		
Projectonderdeel	: Sterkteberekening PE Ø630 mm met reducerende factoren		
Importatiefactor S	: 1		
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 630,00	mm
Wanddikte	d _n	= 57,3	mm
Wanddikte bocht	t	= 57,3	mm
Bochtstraal	R	= 2.205,00	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p _d	= 0,3	N/mm ²
Volumieke massa medium	ρ	= 1000	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δt	= 10	°
Aanleggegevens			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 40.000	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 1	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 5	mm
Zettingsverschil	f _z	= 0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,02	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Verheeld			
		21-04-2025 12:03:14	



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2025 1.3 ©	
Grondmechanische gegevens			
Grondsoort		= Zand	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 18	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 32,5	°
Effectieve cohesie	c'	= 0	kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 0	kN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,008	N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,011	N/mm ³
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 45	MN/m ²
Rekenen met horizontale steundruk			
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
Verkeersbelasting			
Grafiek I:		Fatigue Load Model 3	
Rekenen met ontlastende invloed wegdek:		Drielagen structuur	
Dikte deklaag	H_1	= 250	mm
Dikte fundering	H_2	= 300	mm
Elast. mod. deklaag	E_1	= 500	MPa
Elast. mod. fundering	E_2	= 600	MPa
Elast. mod. ondergrond	E_3	= 100	MPa



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2025 1.3 ©	
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 515,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i) / 2$	= 572,70	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 630,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 315,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 257,70	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 286,35	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 4.268.958.539,00	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 13.552.249,33	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 15.677,71	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 547,22	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
Voor vloeistofleidingen geldt: $H^3 \cdot D_i^5$ moet kleiner dan 40 m ⁸ zijn. H is de druk in meters vloeistofkolom. Rekening houdende met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ volgt:			
$h = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$			
$h = \frac{300.000}{1.000 \cdot 9,81} = 30,58 \text{ m} \rightarrow h^3 \cdot D_i^5 = 30,58^3 \cdot 0,52^5 = 1040,11 \text{ m}^8$			
3. Berekening van de veiligheidszone			
$R_B = 8 \cdot \sqrt[3]{h^3 \cdot D_i^5}$			
$R_B = 8 \cdot \sqrt[3]{30,58^3 \cdot 0,52^5} = 19,06 \text{ m}$			
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_B = 4 \cdot 0,00 + 19,06 = 19,06 \text{ m}$			
Diepte erosiekrater = $D_K = 1,2 \cdot (D_o + H) = 1,2 \cdot (0,63 + 1) = 1,96 \text{ m}$			
4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk			
$D_g/d_n = 572,70/57,30 = 9,99 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding			
$\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$			
$\sigma_p = \frac{315,00^2 + 257,70^2}{315,00^2 - 257,70^2} \cdot 0,3 = 1,51 \text{ N/mm}^2$			
$\sigma_p(\text{bi}) = \frac{2 \cdot R - 0,5 \cdot D_e}{2 \cdot R - D_e} \cdot \sigma_p$			
$\sigma_p(\text{bi}) = \frac{2 \cdot 2205 - 0,5 \cdot 630}{2 \cdot 2205 - 630} \cdot 1,51 = 1,64 \text{ N/mm}^2$			
$\sigma_p(\text{bu}) = \frac{2 \cdot R + 0,5 \cdot D_e}{2 \cdot R + D_e} \cdot \sigma_p$			
$\sigma_p(\text{bu}) = \frac{2 \cdot 2205 + 0,5 \cdot 630}{2 \cdot 2205 + 630} \cdot 1,51 = 1,42 \text{ N/mm}^2$			
$\sigma_{y1} = \sigma_p(\text{bi}) = 1,64 \text{ N/mm}^2$			
$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,64 = 0,66 \text{ N/mm}^2$			
Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$			



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2025 1.3 ©
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}	
$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_v}{E \cdot I_w} \right)$ $f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 286,35^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 15.677,71} \right) = 0,91$	
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n	
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 1 = 19,80 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 19,80 \cdot 10^{-3} \cdot 630 = 12,47 \text{ N/mm}^1$	
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p	
$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o} \right)$ $q_p = 19,80 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{1}{0,63} \right) = 29,23 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 29,23 \cdot 10^{-3} \cdot 630 = 18,41 \text{ N/mm}^1$	
8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k	
$\kappa = 1 - \sin(\varphi) = 1 - \sin(32,5) = 0,463$ $\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa} = \frac{0,463}{1 + 0,463} = 0,32$ $E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5} = 45 \cdot (19,80/100)^{0,5} = 20,02 \text{ MN/m}^2$ $E_1 = E_{100, \text{norm}} / \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$ $E_1 = 20,02 / \frac{1 - 0,32 - 2 \cdot 0,32^2}{1 - 0,32} = 28,31 \text{ MN/m}^2$ $z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{0,63}{28,31^{0,5} \cdot \sqrt{1/0,63}} = 0,019 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\text{max}}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\text{max}} \cdot k_{v, \text{min}}}}$ $q_k = 19,80 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,63}{0,019} \cdot (29,23 - 19,80)}{1 + \frac{29,23 - 19,80}{0,019 \cdot 0,0080 \cdot 10^6}} = 25,75 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 25,75 \cdot 10^{-3} \cdot 630 = 16,22 \text{ N/mm}^1$	
1.3.0.0/02-2025/93-259692-99	21-04-2025 12:03:14



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2025 1.3 ©
9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek I NEN 3650-1:C.17	
<p>Ontlastende invloed t.g.v. wegdek: Drielagen structuur</p> $H_{1eq} = 0,9 \cdot H_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_3}} = 0,9 \cdot 250 \cdot \sqrt[3]{\frac{500}{100}} = 384,74 \text{ mm}$ $H_{2eq} = 0,9 \cdot H_2 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_2}{E_3}} = 0,9 \cdot 300 \cdot \sqrt[3]{\frac{600}{100}} = 490,62 \text{ mm}$ <p>Fictieve dekkingshoogte: $H_{eq} = H_{1eq} + H_{2eq} + H - H_1 - H_2$ $H_{eq} = 384,74 + 490,62 + 1000 - 250 - 300 = 1.325,37 \text{ mm} = 1,33 \text{ m}$ Gelet op de fictieve dekkingshoogte volgt: $q_v = 37,21 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 37,21 \cdot 10^{-3} \cdot 630 = 23,44 \text{ N/mm}^1$</p>	
10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding I	
$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,gem}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda = \sqrt[4]{\frac{630 \cdot 0,011}{4 \cdot 975 \cdot 4.268.958.539,00}} = 0,00080 \text{ mm}^{-1}$	
11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)	
<p>Zettingslengte $L = 40.000 \text{ mm}$ $\lambda \cdot L = 0,00080 \cdot 40.000 = 32,13$ $i = 0,936$ (= 93,6 % inklemming) $B_z = 0,0000717$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5) $Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,0000717 \cdot 5 \cdot 630 \cdot 0,011 = 0,0025 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$ $Q_d = 0,0025 \cdot 0,00080 \cdot 40.000 \cdot \left(0,936 + \frac{0,936 \cdot 0,00080 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,47 \text{ N/mm}^1$</p>	
12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)	
<p>$Q_z = B_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,0000717 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot 630 \cdot 0,011 = 0,0025 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$ $Q_d = 0,0025 \cdot 0,00080 \cdot 40.000 \cdot \left(0,936 + \frac{0,936 \cdot 0,00080 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,47 \text{ N/mm}^1$</p>	
1.3.0.0/02-2025/93-259692-99	21-04-2025 12:03:14

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2025 1.3 ©

13. Berekening evenwichtsdragvermogen en controle met bovenbelastingen

Berekening evenwichtsdragvermogen

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 24,58$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 22,54$$

$$B = D_o = 0,63 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 1,00 + 0,63 / 2 = 1,32 \text{ m}$$

$$S_y = 1 - 0,4 \cdot B/L = 0,96$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,31$$

$$\gamma'_{gem} = (q_n + \gamma \cdot \gamma_d \cdot D_o / 2) / Z = 19,80 \text{ kN/m}^3$$

$$P_{we} = 0,95 \cdot (0,5 \cdot \gamma'_{gem} \cdot D_o \cdot N_y \cdot S_y \cdot d_y + S_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot (q_n + c' \cdot \cot(\varphi)) - c' \cdot \cot(\varphi))$$

$$P_{we} = 764,89 \text{ kN/m}^2 = 0,76 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,76 \cdot 630,00 = 481,88 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdragvermogen

Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	Situatie na 2 jaar	Conclusie:
$Q_k = 16,22 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing	$Q_n = 12,47 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing
$Q_v = 23,44 \text{ N/mm}^1$	van Q_d nodig	$Q_v = 23,44 \text{ N/mm}^1$	van Q_d nodig
$Q_d = 0,47 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,47 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 40,14 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 36,39 \text{ N/mm}^1$	

14. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (12,47 + \frac{1}{2} \cdot 23,44) - 0,095 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot (12,47 + \frac{1}{2} \cdot 23,44) + 0,048 \cdot 0,47) \cdot 286,35^3}{350 \cdot 15.677,71} = 4,76 \text{ mm} (= 0,83\%)$$

$$\text{Toelaatbare deflectie} = 8,00\% \cdot \text{importantiefactor } S \cdot D_g = 0,08 \cdot 1 \cdot 572,70 = 45,82 \text{ mm}$$

15. Toetsing toepassen steundruk bij niet drukloze buis

$$\delta_{Y1} = \frac{(0,089 \cdot Q + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_{Y1} = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_{Y1} = \frac{(0,089 \cdot (12,47 + \frac{1}{2} \cdot 23,44) + 0,048 \cdot 0,47) \cdot 286,35^3}{350 \cdot 15.677,71} = 9,31 \text{ mm}$$

$$\frac{\delta_{Y2}}{\delta_{Y1}} = \frac{4,76}{9,31} = 0,51$$

$$f_{rr} \geq \frac{\delta_{Y2}}{\delta_{Y1}} \rightarrow 0,91 \geq 0,51 \rightarrow \text{Neutrale horizontale steundruk toegestaan, maar } f_{rr} = 1$$



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2025 1.3 ©
16. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1^e en 2^e jaar)	
<p><i>Moment t.g.v. Q_k en Q_v</i></p> $M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (16,22 + 23,44) \cdot 286,35 - 0,143 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (16,22 + 23,44) \cdot 286,35$ $M_q = 1.359,41 \text{ Nmm/mm}^1$ <p><i>Moment t.g.v. Q_d</i></p> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,47 \cdot 286,35$ $M_{qd} = 16,59 \text{ Nmm/mm}^1$ <p><i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i></p> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (1.359,41 + 16,59) / 547,22 = \mathbf{2,51 \text{ N/mm}^2}$	
17. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)	
<p><i>Moment t.g.v. Q_n en Q_v</i></p> $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (12,47 + 23,44) \cdot 286,35 - 0,143 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (12,47 + 23,44) \cdot 286,35$ $M_q = 1.230,98 \text{ Nmm/mm}^1$ <p><i>Moment t.g.v. Q_d</i></p> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,47 \cdot 286,35$ $M_{qd} = 16,59 \text{ Nmm/mm}^1$ <p><i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i></p> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (1.230,98 + 16,59) / 547,22 = \mathbf{2,28 \text{ N/mm}^2}$	
18. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00929 \cdot 5 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,011}{57,3}} = \mathbf{0,02 \text{ N/mm}^2}$	
19. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00929 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,011}{57,3}} = \mathbf{0,02 \text{ N/mm}^2}$	
	21-04-2025 12:03:14



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2025 1.3 ©
20. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil	
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = 1,56 \text{ N/mm}^2$	
21. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht of T-stuk	
<p>Berekening van de factoren i_x, i_{xp}, i_y en i_{yp} van de bocht:</p> $r = \left(\frac{D_e}{2} + \frac{D_e - 2 \cdot t}{2} \right) / 2 = 286,35 \text{ mm}$ $h = \frac{t \cdot R}{r^2} = \frac{57,3 \cdot 2205}{286,35^2} = 1,54$ $k = \frac{1,65}{h} = \frac{1,65}{1,54} = 1,07$ $i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} = \frac{0,9}{1,54^{(2/3)}} = 0,67$ $i_y = 2 \cdot i_x = 2 \cdot 0,67 = 1,35$ $i_x < 1 \rightarrow i_x = 1,00$ <p>Wel steundruk toegepast, maar geen rerounding</p>	
22. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N	
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{15.677,71}{572,7^3} = 0,0814 \text{ N/mm}^2 = 81,38 \text{ kN/m}^2$ <p>Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²</p>	
23. Toetsing op implosie (bedrijfsfase): berekening van de alzijdige overdruk	
<p>Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$</p> $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 15.677,71}{572,70^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 15.677,71}{572,70^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ <p>Conclusie: Kans op implosie bij 27,82 m grondwater boven de leiding</p>	
1.3.0.0/02-2025/93-259692-99	21-04-2025 12:03:14



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2025 1.3 ©
24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (2,51 + 1,35 \cdot 0,02) = \mathbf{1,65 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot i_x \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,66 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,02 + 1,56 = \mathbf{2,23 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$</p>	
25. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (2,28 + 1,35 \cdot 0,02) = \mathbf{1,50 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot i_x \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,66 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,02 + 1,56 = \mathbf{2,23 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 1,00 = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$</p>	
1.3.0.0/02-2025/93-259692-99	21-04-2025 12:03:14