



# Faalkansanalyse dijkontwerp Gorinchem - Waardenburg met kruisende waterleiding

Tweede toepassing  
Veiligheidsraamwerk  
Kabels & Leidingen

**Vastgesteld door de  
stuurgroep Project Overstijgende Verkenning  
Kabels & Leidingen (POV K&L)  
op dinsdag 11 augustus 2020**

Peter Ouwendijk | Hoogheemraadschap van Delfland, *voorzitter*

Jos Teeuwen | Waterschap Limburg

Marjo van Maurik - de Graaff | Waterschap Hollandse Delta

Hennie Roorda | Waterschap Rivierenland

Adri Bom-Lemstra | Provincie Zuid-Holland, *namens IPO*

Ria Doedel | PWN

Han Slootweg | Platform Netbeheerders

Erik Wagener | Hoogwaterbeschermingsprogramma, *agendalid*

**Aldus getekend, namens de stuurgroep POV K&L,**



**Peter Ouwendijk, voorzitter**

## Voorwoord

Voor u ligt het rapport *Faalkansanalyse dijkontwerp Gorinchem-Waardenburg met kruisende waterleiding*.

In het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) werken Rijkswaterstaat en de waterschappen samen aan veilige waterkeringen. In 2050 moeten alle primaire waterkeringen voldoen aan de nieuwe normering voor de waterveiligheid. Deze normering geldt vanaf 1 januari 2017. De ervaring leert dat kabels en leidingen hoog scoren als het gaat om risico op vertraging en aanvullende kosten. Binnen het HWBP is de Project Overstijgende Verkenning Kabels & Leidingen (POV K&L) in 2017 gestart met als belangrijkste doel om de risico's te minimaliseren.

### **Kernboodschap POV K&L**

*Verbinden van de werelden van waterkeringbeheerders en netbeheerders om samen kabels & leidingen zorgvuldig, toekomstbestendig en veilig in te passen in waterkeringen en bij dijkversterkingen tegen de laagst maatschappelijke kosten.*

Voor leidingen vormt de *NEN 3650 reeks* de basis waarin eisen aan leidingen zijn vastgelegd. Met name de *NEN 3651 Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke Waterstaatswerken* is aan de orde bij leidingen in of nabij waterkeringen. De *NEN 3651* stelt aanvullende eisen (bovenop de basiseisen in de *NEN 3650 reeks*) aan ontwerp, aanleg, bedrijfsvoering en bedrijfsbeëindiging van buisleidingsystemen ten behoeve van veiligheid voor mens, milieu en goederen. Afwijken van de (deterministische) eisen in deze norm is mogelijk indien wordt aangetoond dat het vereiste veiligheidsniveau wordt bereikt. Bij de faalkansanalyses van het dijkontwerp voor Gorinchem-Waardenburg is gebruik gemaakt van deze mogelijkheid. Uitgangspunt bij de analyse is dat bij inpassing van de bestaande leidingen in het dijkontwerp aan de ontwerpeisen van de *NEN 3650 reeks* wordt voldaan.

Kabels en leidingen hebben effect op de veiligheid van een waterkering. Het beoordelen van de veiligheid van een waterkering met kabels en leidingen vraagt dan ook om een integrale aanpak waarbij we zowel het gedrag van de kabels en leidingen als die van de waterkeringen beschouwen en de onderlinge beïnvloeding hiervan. Dat betekent dat inzicht nodig is in faalkansen van (met name) leidingen, het effect hiervan op de waterkering, in het bijzonder op de dijkfaalmechanismen en op de kans dat falen van een leiding leidt tot overstroming. Dit vraagt om een nieuwe benadering: het Veiligheidsraamwerk Kabels & Leidingen (K&L) biedt hiervoor de mogelijkheid.

Het Veiligheidsraamwerk K&L is een rekenmethodiek die speciaal is ontwikkeld voor de veiligheidsbeoordeling van waterkeringen met kabels en leidingen volgens de nieuwe normering op basis van overstromingskansen. Het Veiligheidsraamwerk K&L is in samenwerking met Rijkswaterstaat, Deltares en de POV K&L tot stand gekomen. Vanuit de POV K&L passen we het Veiligheidsraamwerk K&L toe in dijkversterkingsprojecten. De ervaringen benutten we om de rekenmethodiek verder te ontwikkelen.

Dit is de tweede keer dat het Veiligheidsraamwerk K&L in de praktijk is toegepast. De resultaten tonen aan dat een ontwerp oplossing met handhaven van de huidige waterleidingen mogelijk is zonder dat constructieve voorzieningen nodig zijn. Een belangrijk uitgangspunt daarbij is dat de waterleidingen worden beheerd op basis van de NEN 3650 reeks. Een dijkontwerp met handhaving van de bestaande waterleidingen zonder toepassing van een damwand of kistdamconstructie is hiermee onder voorwaarden kansrijk gebleken. Hierdoor kunnen kosten worden bespaard.

### **Disclaimer**

De toepassing van het Veiligheidsraamwerk K&L bevindt zich nog in een testfase. Dit betekent dat de resultaten van Gorinchem-Waardenburg niet kunnen worden gebruikt voor andere projecten. De toepassing van het Veiligheidsraamwerk K&L vraagt om maatwerk en specialistische kennis en is vrij complex. We adviseren om het Veiligheidsraamwerk K&L enkel onder deskundige begeleiding te gebruiken.

We zijn bijzonder trots op het resultaat wat er nu ligt. Dit was nooit gelukt zonder de bijdrage van alle betrokkenen. Hierbij willen we dan ook alle betrokkenen hartelijk bedanken voor de open houding, gedrevenheid en inzet om hier een succes van te maken!

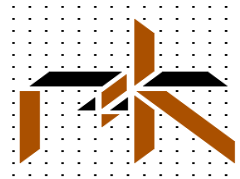
Peter Ouwendijk,  
voorzitter van de stuurgroep POV K&L

# Faalkansanalyse dijkontwerp Gorinchem-Waardenburg met kruisende waterleiding

Referentieproject POV Kabels en Leidingen

**TNO**

**KWR**



Dr. ir. Timo Schweckendiek  
Ir. Anton van der Meer

'In opdracht van POV Kabels en Leidingen'  
opgesteld in samenwerking met:  
TNO  
KWR  
r+k Consulting Engineers  
DNV-GL

**Titel**

Faalkansanalyse dijkontwerp Gorinchem-Waardenburg met kruisende waterleiding

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
Hoogheemraadschap van Delfland, DELFT	11203450-002	11203450-002-GEO-0002	34

**Trefwoorden**

faalkans, waterkering, leiding, waterleiding, kruising

**Samenvatting**

zie hoofdstuk 'Samenvatting'

**Referenties**


- BEV-B (2010). Besluit externe veiligheid buisleidingen, Ministerie van VROM.
- Deltares (2017). Handreiking Faalkansanalyse en Faalkans Updating Groene Versie - Macrostabieliteit Binnenwaarts. Deltares rapport 11200575-016-GEO-0005.
- Deltares (2018a). WBI Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen - Generieke uitgangspunten als vertrekpunt voor nadere uitwerking in (pilot) projecten. Deltares rapport 11202225-005-GEO-0001.
- Deltares (2018b). Faalkansanalyse bij dijkontwerp Zeeburgereiland met parallelle waterleiding. Deltares rapport 11202871-002-GEO-0001-v02-r.
- Deltares (2018c). Zettingsberekeningen Dunea waterleiding ter plaatse van Waaldijk. Deltares memo: 11202640-000-GEO-0005.
- Deltares (2018d). Analyse horizontale vervormingen bij hoogwater. Deltares memo: 11202640-000-GEO-0002.
- Deltares (2018e). Analyse Plaxis naar opbarsten bij lek waterleiding. Deltares memo: 11202640-000-GEO-0004.
- Deltares (2018f). Globaal ontwerp enkele wand in dijk kruising Dunea leidingen. Deltares memo: 11202640-002-GEO-0001.
- DNV-GL (2018). Corrosie monitoring en lekdetectie bij watertransportleidingen. DNV GL rapport: OGNL.177197.
- ENW (2009). Technisch Rapport Actuele sterkte van dijken.
- KWR (2019). Inschatting faalkansanalyse stalen drinkwatertransportleiding Dunea op basis van casuïstiek. KWR memo KWR 2019.008, februari 2019.
- NEN (NEN 3650 reeks, 2020), bestaande uit:  
NEN (2020a). NEN 3650-1, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 1: Algemene eisen,  
NEN (2020b). NEN 3650-2, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 2: Staal,  
NEN (2020c). NEN 3650-3, Kunststof,  
NEN (2020d). NEN 3650-4, Beton,  
NEN (2020e). NEN 3650-5: Gietijzer,  
NEN (2020f). NEN 3651, Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken. Normcommissie 310 004 Transportleidingen.
- POV K&L (2017). Project Overstijgende Verkenning Kabels en Leidingen – Plan van Aanpak. Datum 22 augustus 2017.
- POV-KL (2019). Bepaling impactzone leidingkruising Dunea bij dijkversterking Gorinchem-Waardenburg - Eerste stap richting nieuwe veiligheidszoning gekoppeld aan het BOI. Auteur: H. Schelfhout.
- R+K (2019a). Sterkteberekeningen van twee bestaande 1219 mm stalen Dunea waterleidingen in het dijkversterkingstraject Gorinchem-Waardenburg (NEN-berekeningen). r+k Consulting Engineers, rapport 5-277-482-02.

**Titel**

Faalkansanalyse dijkontwerp Gorinchem-Waardenburg met kruisende waterleiding

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
Hoogheemraadschap van Delfland, DELFT	11203450-002	11203450-002-GEO-0002	34

- R+K (2019b). Sterkteberekeringen van twee bestaande 1219 mm stalen Dunea waterleidingen in het dijkversterkingstraject Gorinchem-Waardenburg .(Variant-berekeningen). r+k Consulting Engineers, rapport 5-277-482-3.
- RHDHV (2018a). Constructieve berekeningen Afgedamde Maasleiding te Vuren. Ontwerputgangspunten voor de vervangende waterkering. 24 april 2018.
- RHDHV (2018b). RAPPORT – DEEL B Constructieve beschouwing dijk kruising van Afgedamde Maasleiding met Noordelijke Waaldijk te Vuren Sterktetechnische beschouwing huidige situatie. RHDHV rapport: WATBF7022R001F1.0.
- Rijkswaterstaat (2017). Handreiking ontwerpen met overstromingskansen – Veiligheidsfactoren en belastingen bij nieuwe overstromingskansnormen. Versie OI204v4, februari 2017.
- WBI (I&M, 2017a). Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 – Bijlage III Sterkte en Veiligheid. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- TAW (1994). Handreiking Constructief ontwerpen. Onderzoek en berekening naar het constructief ontwerp van de dijkversterking.
- TNO (2019). Faalkans leiding t.b.v. Referentieproject GoWa-Dunea voor POV Kabels en Leidingen. TNO 2018 R11602, auteurs: Babette Lassing & Ton Vrouwenvelder.
- WBI (I&M, 2017a). Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 – Bijlage III Sterkte en Veiligheid. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1.0	jan. 2019	dr.ir. T. Schweckendiek	dr. H.M.G. Kruse dr. ir. W. Kanning		ir. drs. J. van Ruijven	
2.0	mei 2019	dr.ir. T. Schweckendiek	dr. H.M.G. Kruse dr. ir. W. Kanning		ir. drs. J. van Ruijven	
3.0	jan. 2020	dr.ir. T. Schweckendiek	dr. H.M.G. Kruse dr. ir. W. Kanning		ir. drs. J. van Ruijven	
4.0	aug. 2020	dr.ir. T. Schweckendiek	 dr. H.M.G. Kruse dr. ir. W. Kanning	 	ing. A.T. Aantjes	

**Status**  
definitief

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
1.1	Probleemstelling	7
1.2	Doelstelling en afbakening	8
1.3	Aanpak op hoofdlijnen en leeswijzer	8
<b>2</b>	<b>Methodiek en uitgangspunten</b>	<b>9</b>
2.1	Normatieve kaders (WBI en NEN 3650 reeks)	9
2.2	Veiligheidsraamwerk	9
2.3	Locatie en dwarsprofiel	11
2.4	Faalkans leiding	12
2.5	Faalmechanismen waterkering	14
2.6	Zone indeling	14
2.7	Faalkanseisen	15
2.8	Zichtjaar	15
<b>3</b>	<b>Faalkans leiding</b>	<b>16</b>
3.1	Uitgangspunten	16
3.2	Aanpak op hoofdlijnen	16
3.3	Resultaten	17
3.4	Samenvatting kansen op gapend en sluipend lek per dijkzone	19
<b>4</b>	<b>Integrale faalkansanalyse waterkering</b>	<b>20</b>
4.1	Generieke gebeurtenissenboom leiding kruising	20
4.2	Kans op hoogwater tijdens hersteltijd gapend lek	21
4.3	Kans op overstromen voorland	21
4.4	Golfoverslag en erosie kruin/binnentalud (GEKB)	22
4.5	Macro-instabiliteit	24
4.6	Interne erosie (STPH)	26
4.7	Samenvatting resultaten	28
4.8	Andere faalmechanismen	29
<b>5</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>31</b>
5.1	Toepassing integrale faalkansanalyse voor kruisende waterleiding	31
5.2	Kansrijkheid ontwerp zonder vervangende waterkering	31
5.3	Ontwerp leidingkruising GoWa-Dunea	32
	<b>BIJLAGEN</b>	<b>36</b>
A	Doorsnede gegevens	
B	Faalkansanalyse dijk	
C	Faalkans leiding (rapport TNO)	
D	Leiding sterkte berekeningen (rapport r+k Consulting Engineers)	
E	Zettingen (notitie Deltares)	
F	Hoogwater vervormingen (notitie Deltares)	
G	Grondwaterstromingsanalyses voor kritieke gat afmetingen (notitie Deltares)	
H	Monitoring (rapport DNV-GL)	
I	Impactzone (notitie POV K&L)	
J	Enkelvoudige damwand (notitie Deltares)	

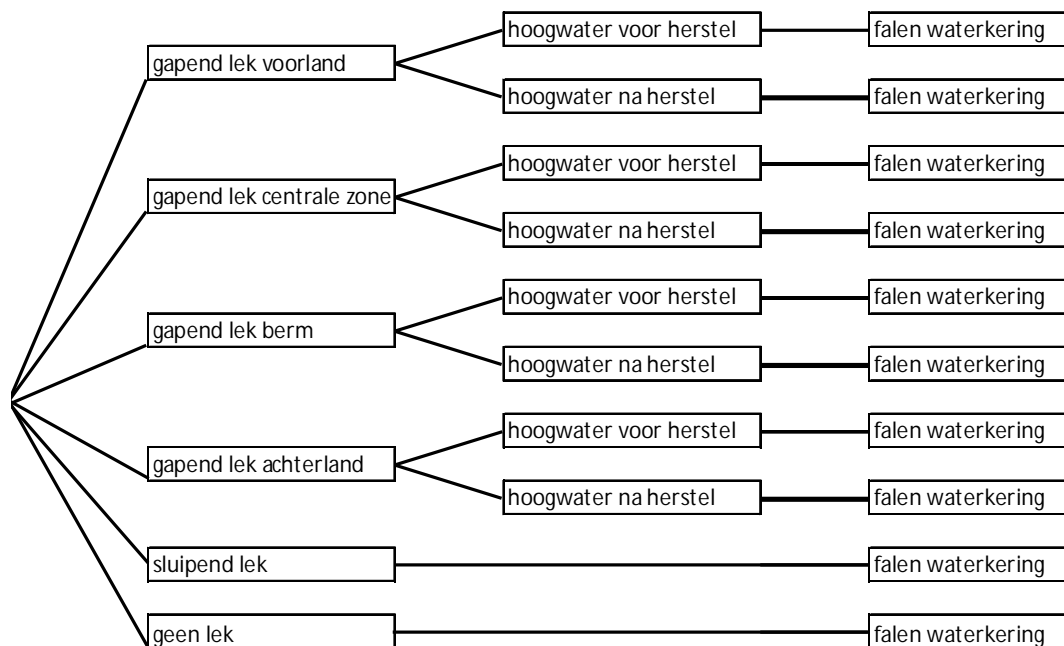


## Afkortingen en symbolen

$\beta$	Betrouwbaarheidsindex (maat voor de faalkans, op jaarbasis)
Bevi	Handleiding Risicoberekeningen Bevi (opgesteld door RIVM)
GEKB	Faalmechanisme hoogte (overloop en golfoverslag, erosie kruin en binnentalud) (toetsspoor)
GEBU	Faalmechanisme erosie buitentalud (toetsspoor)
HWBP	Hoogwaterbeschermingsprogramma
NEN	Nederlandse Norm
NPR	Nederlandse Praktijkrichtlijn
OI	Ontwerpinstrumentarium (regelwerk voor ontwerpen van waterkeringen)
Pf	Faalkans (per jaar)
POV	Projectoverstijgende verkenning (HWBP)
POV-KL	Projectoverstijgende verkenning Kabels & Leidingen (HWBP)
SF	stabiliteitsfactor (verhouding sterkte/belasting in stabiliteitsanalyses)
STBI	Faalmechanisme macro-instabiliteit binnenwaarts (toetsspoor)
STBU	Faalmechanisme macro-instabiliteit buitenwaarts (toetsspoor)
STPH	Faalmechanisme piping (toetsspoor)
STBK	Faalmechanisme bekleding (toetsspoor)
WBI	Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (voor beoordelen veiligheid bestaande waterkeringen)



referentieproject al succesvol is toegepast voor een parallel aan de waterkering gelegen waterleiding. Bij een kruisende leiding kan leidingfalen op verschillende locaties in de dwarsdoorsnede plaats vinden. Hiervoor is de zone-indeling in Figuur S.2 uitgewerkt. Voor elke zone zijn de faalkans van de leiding en van de waterkering bepaald en gecombineerd in gebeurtenissenbomen zoals generiek weergegeven in Figuur S.3. Vervolgens zijn de faalkansen inclusief effect van leiding falen getoetst aan de faalkanseisen voor de waterkering per faalmechanisme.



Figuur S.3 Generieke gebeurtenissenboom voor de leidingkruising met onderscheid faalkans en gevolgen per faalverschijnsel (type lek) en zone

### Faalkans leiding

Voor de invulling van de gebeurtenissenbomen zijn door TNO de faalkansen van de leiding bepaald in de verschillende zones van de waterkering. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen een sluipend lek (leidend tot extra verzadiging van het dijklichaam) en een gapend lek (met een erosiekrater als gevolg).

Voor het bepalen van de faalkans van de leiding is gebruik gemaakt van casuïstiek van faalgevallen van zowel waterleidingen als olie- en gasleidingen. Vervolgens zijn de gegevens uit de casuïstiek locatie-specifiek uitgewerkt en is de kans op leiding falen uitgesplitst in een kans op een sluipend lek en een gapend lek per zone van de waterkering, resulterend in de faalkansen in Tabel S.1.

Tabel S.1 Faalkansen voor sluipend en gapend lek leiding per zone waterkering (TNO, 2019)

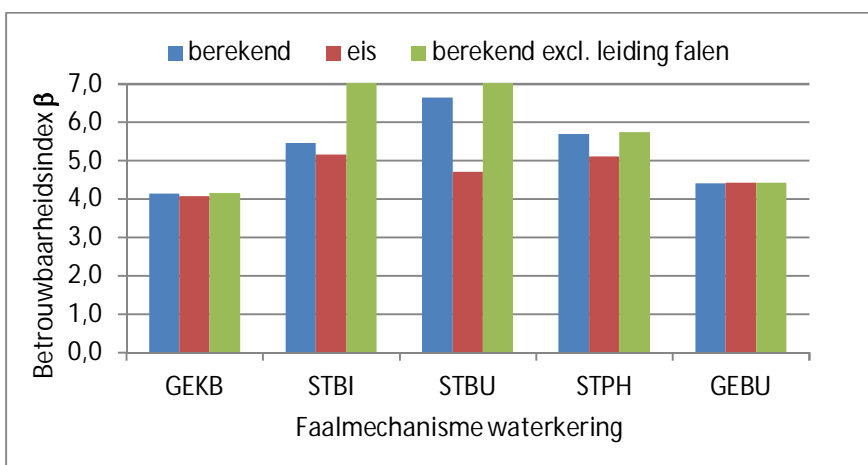
	lengte [m]	Faalkans (per jaar)	
		gapend lek	sluipend lek
Voorland	78	3.1E-05	4.5E-05
Centrale zone	45	1.8E-05	9.7E-05
Berm	31	2.6E-06	7.6E-05
Achterland	116	4.7E-05	6.7E-05

## Integrale faalkansanalyse waterkering

Bij de uitvoering van de integrale faalkansanalyse zijn de faalkansen van de waterkering per faalmechanisme uitgewerkt, rekening houdend met de kans op leiding falen. Door de combinatie van de faalkansen van de leiding en de faalkansen van de waterkering per faalmechanisme is de totale faalkans berekend. De totale faalkansen en betrouwbaarheidsindices per faalmechanisme staan samengevat in Tabel S.2 en in de bijbehorende Figuur S.4.

Tabel S.2 Samenvatting faalkansen per faalmechanisme van de waterkering

	Faalkans Beta berekend		Faalkans Beta eis		Faalkans Beta excl. leiding falen		Bepalend scenario
Overloop / overslag en erosie (GEKB)	1.7E-05	4.1	2.4E-05	4.1	1.7E-05	4.1	geen lek
Macro-instabiliteit binnenwaarts (STBI)	2.4E-08	5.5	1.2E-07	5.2	< 1E-10	> 6	gapend lek in berm zone
Macro-instabiliteit buitenwaarts (STBU)	1.6E-11	6.6	1.2E-06	4.7	< 1E-10	> 6	gapend lek in voorland
Interne erosie (STPH)	6.5E-09	5.7	1.7E-07	5.1	4.6E-09	5.7	geen lek
Graserosie buitentalud (GEBU)	6.0E-06	4.4	5.0E-06	4.4	5.0E-06	4.4	geen lek



Figuur S.4 Berekende en vereiste betrouwbaarheidsindices per faalmechanisme van de waterkering (voor afkortingen zie Tabel S.2)

De belangrijkste faalmechanismen zijn volledig kwantitatief uitgewerkt in de integrale faalkansanalyse. Hierbij is gebruik gemaakt van conservatieve uitgangspunten. Uit de analyse volgt dat de waterkering ter plaatse van de kruising met de twee waterleidingen voldoet aan de benodigde betrouwbaarheid volgens de vanuit waterveiligheid gestelde eisen. Voor de volledigheid zijn enkele faalmechanismen die niet kritisch zijn met betrekking tot waterveiligheid kwalitatief beschouwd. De beschouwing van deze faalmechanismen geeft aan dat de waterkering ter plaatse van de kruising met de twee waterleidingen voldoende veilig is. Het dijkontwerp zonder vervangende waterkering is daardoor kansrijk.

## Conclusies

De integrale faalkansanalyse van de dijk met de twee kruisende vloeistofleidingen is toepasbaar gebleken. De resultaten tonen aan dat een ontwerp oplossing met handhaven van de huidige leiding zonder vervangende waterkering kansrijk is en voldoet aan de eisen die worden gesteld vanuit waterveiligheid is. Voor het mitigeren van zowel interne erosie langs mogelijke holle ruimtes langs te leiding als het optreden van micro-instabiliteit is een kwelscherm in de kruin van de dijk een oplossing. Het ontwerp van de binnenberm bestaat uit 1:20 berm zonder talud, zodat de vervormingen en belastingen op de waterleidingen kunnen worden geminimaliseerd.

Een voorwaarde voor de kruising zonder vervangende waterkering is dat de leidingen voldoen aan de eisen met betrekking tot de sterkte van de leiding zoals beschreven in de NEN 3650 reeks. Zoals beschreven in deze rapportage dienen hiertoe de aanwezige mangaten in de leiding te worden versterkt of verwijderd en nog een aantal aannames, zoals de staalsoorten/-kwaliteiten, de wanddikten en de materiaalovergangen te worden geverifieerd. De integrale faalkansanalyse wijst uit dat de veiligheid van het ontwerp aan de gestelde eis voldoet, maar een voorwaarde daarbij is om vast te stellen dat cruciale uitgangspunten juist zijn en niet afwijken in negatieve zin gedurende de restlevensduur. Een gedetailleerde lijst van te verifiëren uitgangspunten is opgenomen in paragraaf 5.3. Tevens dienen als belangrijkste aspecten de zettingen, de wanddikte (betreft tevens de overgang van de kruising naar de veldstrekking) en de inwendige druk te worden gemonitord om voor de restlevensduur te borgen dat de waterleidingen in een conditie verkeren die het rekenen met de bepaalde faalkansen rechtvaardigt. De zone waar monitoring noodzakelijk is de zogenaamde kritieke impactzone waarin leiding falen tot een overschrijding van de betrouwbaarheidseisen vanuit waterveiligheid kan leiden.

De faalkans van de leidingen is gebaseerd op de veronderstelling dat er maar een leiding tegelijk in bedrijf is. Voor de leidingsterkte en erosiekrater berekeningen wordt de maximaal aanwezige werkdruk van 5,7 bar aangehouden, en niet de ontwerpdruk van 11 bar omdat de werkdruk in de praktijk niet wordt overschreden. Deze aspecten zouden in de vergunning kunnen worden opgenomen. De onderbouwing van de werkdruk en de kans op mogelijk optredende drukfluctuaties in de vorm van een systeemanalyse (incl. beschouwing waterslag) is nog niet uitgevoerd. Deze analyse dient nog te worden uitgevoerd. Uit deze systeemanalyse volgen de grenswaarden voor de pompdrukken, die door middel van monitoring kunnen worden vastgesteld.

Naast de monitoring van de zettingen, de wanddikte en de inwendige druk is in de analyse vastgesteld dat de belangrijkste bijdrage van leiding falen is aan te wijzen als zijnde het scenario van een gapend lek in de centrale zone en de binnenberm van de dijk. Hoewel de situatie voldoet aan de eis is een gerichte monitoring naar het optreden van lekkage een mogelijkheid om de kans op het optreden van een gapend lek zo laag mogelijk te houden. Gerichte monitoring van lekken in de kritieke impactzone (zie bijlage I) is dus aan te bevelen.

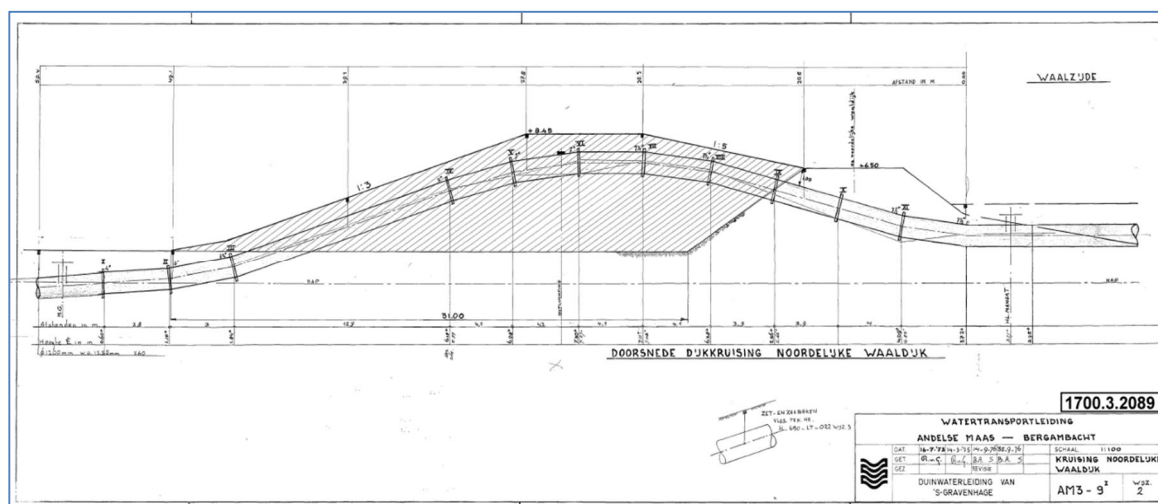
Voor de monitoring zijn voldoende betrouwbare technieken in te zetten. Het wordt aanbevolen een locatie-specifiek monitoringsplan uit te werken.

# 1 Inleiding

De POV Kabels en Leidingen (POV K&L) wordt uitgevoerd binnen het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) met als belangrijkste doel om de risico's van kabels en leidingen bij dijkversterkingsprojecten te minimaliseren (POV K&L, 2017). De POV K&L heeft aan Deltares gevraagd om onderzoek te doen naar de toepassing van een integrale faalkansanalyse van een te versterken dijkvak bij Vuren met twee kruisende waterleidingen, binnen het HWBP-referentieproject Gorinchem-Waardenburg (GoWa). Dit rapport is het resultaat van een studie in samenwerking met TNO uitgevoerd in de periode oktober 2018 tot februari 2019.

## 1.1 Probleemstelling

In het dijkversterkingstraject Gorinchem-Waardenburg bevinden zich meerdere leidingkruisingen, waaronder de onderzochte kruising van twee identieke naast elkaar gelegen transportwaterleidingen van Dunea bij Vuren (zie Figuur 1.1).



Figuur 1.1 *Kruising watertransportleiding Dunea van de noordelijke Waaldijk bij Vuren (ontwerptekening voor aanleg in 1973)*

Aangezien de leidingen op deze locatie onder het ‘ontwerppeil’ (WBN, waterstand bij norm) kruisen zou volgens de standaardprocedure beschreven in NEN 3651 (NEN 2020f) een waterstaatkundige voorziening in de vorm van een damwandconstructie moeten worden toegepast. Bij de aanleg van een damwandconstructie zijn er uitdagingen met betrekking tot het intact laten van de leidingen en het uitvoeren van de overgangen. Ook vereist een damwandconstructie meer onderhoud dan een groene dijk.

In NEN 3651:2020, hoofdstuk 10.5.3 wordt de mogelijkheid gegeven om voor bestaande leidingen bij dijkversterking een faalkansanalyse uit te voeren. Deze benadering sluit aan bij de overstromingskans-benadering voor waterkeringen waarbij voor ontwerp oplossingen aan moet worden getoond dat de dijk met leidingkruising aan de betrouwbaarheidseisen van de overstromingskans-norm voldoet.

In deze studie worden een aantal alternatieve oplossingen beschouwd. Het handhaven van de huidige leidingen met monitoring van de leiding zonder toepassen van een vervangende waterkering is een van de mogelijkheden.

## 1.2 Doelstelling en afbakening

Doel van deze studie is om te verkennen welke alternatieve oplossingen voor een damwandconstructie voldoende betrouwbaar zijn volgens de eisen die worden gesteld vanuit de geldende overstromingskansnorm. Hiervoor wordt in eerste instantie de faalkans van het dijkontwerp (zonder vervangende waterkering) geanalyseerd voor het scenario dat de huidige leidingen worden gehandhaafd. Daarnaast zijn verkennende berekeningen gemaakt die voorzien in toepassing van een enkelvoudige damwand.

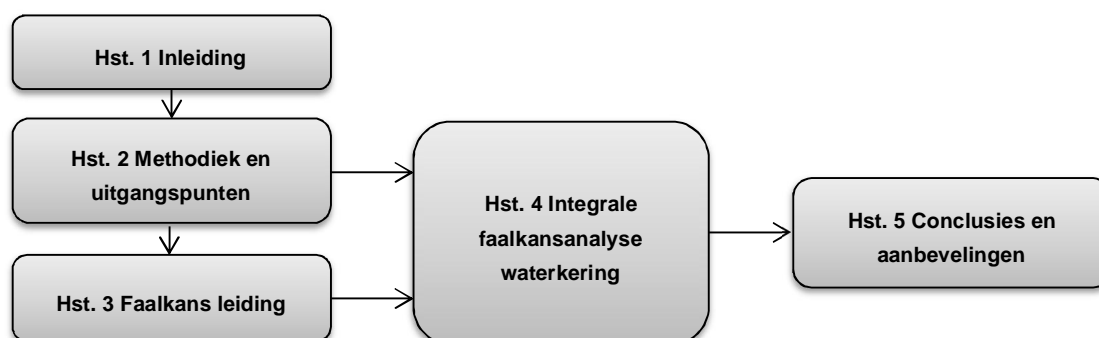
Deze studie beschrijft een verkenning naar de toepasbaarheid en kansrijkheid van alternatieve ontwerpmaatregelen voor de leidingkruising zonder vervangende waterkering door middel van een integrale faalkansanalyse van de leidingkruising. De integrale faalkansanalyse is uitgevoerd op basis van beschikbare data en aannames waar nodig. Cruciale uitgangspunten zullen bij een dijkontwerp op basis van de resultaten moeten worden gecontroleerd (zie paragraaf 5.3).

## 1.3 Aanpak op hoofdlijnen en leeswijzer

Het door WBI ontwikkelde Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen (Deltares, 2018a) beschrijft hoe een integrale faalkansanalyse voor een dijk met invloed van een potentieel falende leiding kan worden uitgevoerd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van gebeurtenissenbomen per faalmechanisme van de waterkering. In principe kan deze aanpak zowel voor de WBI-beoordeling als voor ontwerpen worden toegepast.

Een eerste toepassing betrof een parallelle waterleiding bij de dijkversterking Zeeburgereiland (Deltares, 2018b; referentieproject POV K&L). In deze studie is het veiligheidsraamwerk uitgewerkt voor een leidingkruising, met als voornaamste verschil dat bij een leidingkruising de locatie van leiding falen in de dwarsdoorsnede van de dijk onzeker is en per locatie de kansen en effecten van leiding falen kunnen verschillen.

De nadere invulling van het veiligheidsraamwerk, methodiek en uitgangspunten worden beschreven in hoofdstuk 2, inclusief de zone-indeling van de dijk die gebruikt wordt om kans op en effecten van leiding falen te differentiëren. Hoofdstuk 3 geeft vervolgens een samenvatting van de bevindingen van de door TNO uitgevoerde studie naar de kans op leiding falen in de verschillende zones. In hoofdstuk 4 worden effecten van leiding falen op de faalmechanismen van de waterkering bepaald en geïntegreerd in een integrale faalkansanalyse. Ten slotte presenteert hoofdstuk 5 de conclusies en aanbevelingen.



Figuur 1.2 Visual outline

## 2 Methodiek en uitgangspunten

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de gevolgde methodiek en de belangrijkste uitgangspunten in deze studie. Voor details wordt verwezen naar de bijlagen.

### 2.1 Normatieve kaders (WBI en NEN 3650 reeks)

Sinds 2017 is het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI) van kracht voor het periodiek beoordelen van de veiligheid van primaire waterkeringen. De onderliggende wettelijke waterveiligheidsnormen gaan uit van een overstromingskansbenadering. Voor de beoordeling van de veiligheid van bestaande primaire waterkeringen voorziet het WBI in "Bijlage III Sterkte en veiligheid" van de "Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017" (I&M, 2017a), waarbij wordt gerefereerd naar de veiligheidseisen van de NEN 3650 reeks.

De in de NEN 3650 reeks gestelde eisen aan leidingen zijn (deterministische/semi-probabilistische) veiligheidseisen. Afwijken van de (klassieke c.q. deterministische) eisen in deze norm is mogelijk. Dit rapport beschrijft de 'toets' van de inpassing van een tweetal waterleidingen in het ontwerp van een waterkering. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de systematiek in het WBI Veiligheidsraamwerk K&L (Deltares, 2018) en de koppeling hiervan met onderdelen van de NEN 3650 reeks (NEN, 2020).

De rapportage betreft een uitwerking van de systematiek in het ontwikkelde veiligheidsraamwerk tot een methode waarbij kan worden geverifieerd of het ontwerp van de waterkering inclusief de kruisende water-transportleiding wel of niet voldoet aan de faalkanseisen op basis van overstromingskansen.

Parallel aan de integrale faalkansanalyse voor een situatie zonder vervangende waterkering zijn ook ontwerpberoeeningen gemaakt voor een enkelvoudige damwand met de B-EEM systematiek ontwikkeld door de POV Macrostablieiteit. De verkennende berekeningen staan gerapporteerd in bijlage J.

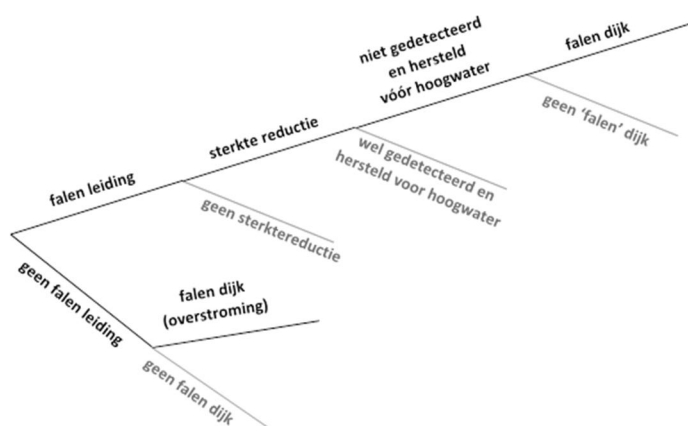
### 2.2 Veiligheidsraamwerk

De veiligheidsbeschouwingen in deze studie hebben betrekking op waterveiligheid. De waterveiligheidsnormen zijn wettelijk vastgelegd en gedefinieerd als toelaatbare overstromingskansen per dijktraject per jaar. Het dijkversterkingstraject GoWa maakt onderdeel uit van het dijktraject 43-6 (lengte 46,9 km) met een signaleringswaarde van 1/30.000 en een maximaal toelaatbare faalkans van 1/10.000 per jaar. De waterkering met de in gebruik zijnde waterleiding in het bewuste dijkvak wordt beschouwd als een dijkontwerp dat in de toekomst periodiek beoordeeld zal worden op basis van deze veiligheidseisen.

Hoe bestaande primaire waterkeringen periodiek te beoordelen op basis van de wettelijk vastgelegde toelaatbare overstromingskansen is uitgewerkt in de systematiek in het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI), althans voor de belangrijkste faalmechanismen op eenvoudig en gedetailleerd niveau (WBI, 2017). Voor complexe condities waarvoor de veiligheid niet direct met het beschikbare instrumentarium aangetoond kan worden, biedt het WBI de mogelijkheid tot het uitvoeren van een 'toets op maat'. Hiervoor kunnen de state-of-the-art kennis en methoden toegepast worden om te onderbouwen of de waterkering al dan niet aan de overstromingskansen voldoet.



Recent is in samenwerking tussen WBI-team en de POV K&L een veiligheidsraamwerk specifiek voor de beoordeling van het effect van kabels en leidingen in primaire waterkeringen opgesteld (Deltares, 2018a), waarin generiek de systematiek beschreven wordt hoe toetsen op maat kunnen worden uitgevoerd. De gehanteerde systematiek kan ook voor ontwerpverificatie worden toegepast. De hoofdlijn van de toetsing is in de gebeurtenissenboom in Figuur 2.1 weergegeven; het betreft een integrale analyse van het falen van een leiding, de gevolgen voor de sterkte van de waterkering, de kans op gelijktijdig optreden van een hydraulische belasting en het uiteindelijk falen van de waterkering.



Figuur 2.1 Generieke gebeurtenissenboom voor het beoordelen van een waterkering met invloed van een falende leiding (Deltares, 2018a)

Dit rapport geeft specifieke invulling aan de toepassing van het generieke veiligheidsraamwerk voor een dijkontwerp voor het referentie project GoWa met als primaire focus om voor verschillende ontwerpvarianten de mogelijkheid te verkennen om de huidige leiding in het dijkversterkingsontwerp te handhaven, vanuit het oogpunt van waterveiligheid. Er wordt dus een ontwerp 'getoetst' aan de vigerende waterveiligheidseisen in het zichtjaar aan het einde van de beoogde ontwerplevensduur.

#### Verificatie veiligheid 'van grof naar fijn'

Risico- en betrouwbaarheidsanalyses worden grofweg voor twee verschillende doeleinden uitgevoerd. Indien het doel is om investeringsbeslissingen te onderbouwen of variantenafwegingen te maken door middel van bijvoorbeeld kosten-baten analyses is het van belang om de relevante faalkansen zo goed mogelijk te schatten, zonder conservatieve 'bias'. In de voorliggende studie gaat het echter om het verifiëren of de beschouwde ontwerpvarianten al dan niet aan de betrouwbaarheidseisen vanuit de geldende overstromingskans-normen voldoen. In deze situatie is het efficiënt om van grof naar fijn te werken door te beginnen met conservatieve uitgangspunten en vervolgens te verfijnen waar nodig en mogelijk. Als een ontwerpvariant met conservatieve uitgangspunten voldoet is immers zeker dat het ook met aangescherpte uitgangspunten zal voldoen. Het nadeel van aangescherpte uitgangspunten is echter dat de inspanning voor de uitwerking doorgaans vele malen groter vergeleken met conservatieve schattingen. In deze studie is dan ook van grof naar fijn gewerkt, zowel voor het onderdeel leiding falen (deelstudie TNO), als voor het falen van de waterkering. In het voorliggende hoofdrapport worden enkel de eindresultaten beschreven die nodig waren voor de verificatie van het veiligheidsniveau, of die haalbaar waren binnen de kaders van deze studie. Het is dan ook mogelijk dat nadere analyse op verschillende onderdelen uiteindelijk kan leiden tot lagere faalkansschattingen (zie aanbevelingen in hoofdstuk 5).

### 2.3 Locatie en dwarsprofiel

De te versterken dijksectie met de leiding kruising bevindt zich bij Vuren aan de noordkant van de Waal (zie Figuur 2.2), aan de buitendijkse kant liggen de leidingen onder een industrieterrein ter plaatse van een hoog voorland.



Figuur 2.2 Ligging leiding tracé van de 2 beschouwde parallel gelegen ruwwater transportleidingen bij Vuren

Voor dit dijkvak heeft de GraafReinaldAlliantie (GRA, uitvoerder dijkversterking GoWa) dwarsprofielen aangeleverd die als representatief worden beschouwd voor de beoogde dijkversterking naast de leiding kruising. Ter plekke van de dijkkruising is de situatie iets afwijkend door de aanwezige leiding terp.

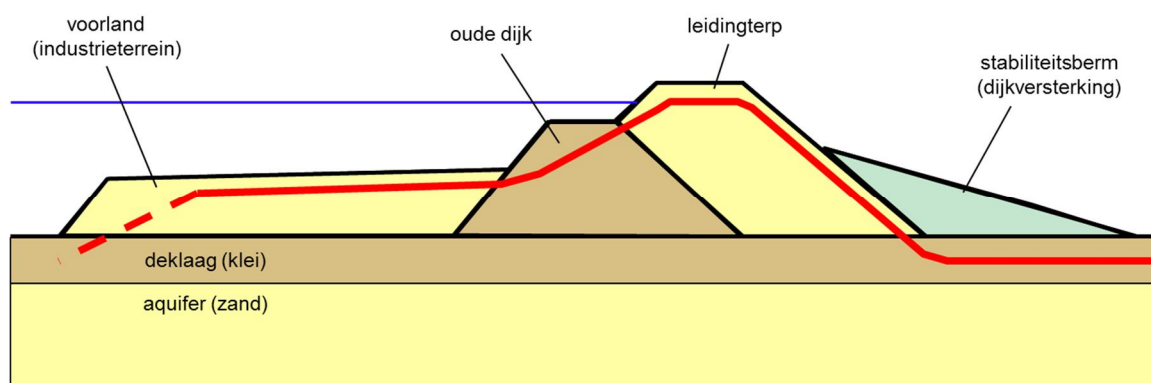
Er zijn geen ontwerptekeningen voor deze specifieke locatie beschikbaar, omdat men er voornamelijk van uit gaat dat hier een damwandconstructie (kistdam) te ontwerpen is. Om toch een integrale analyse te kunnen doen voor het scenario van het handhaven van de huidige leidingen zonder vervangende waterkering is door Deltares het bermontwerp van de naastgelegen dwarsprofielen gemodificeerd (zie Figuur 2.3).

Het verloop en de eigenschappen van de grondlagen in de onderstaande schematisatie zijn ontleend aan het beschikbaar grondonderzoek. Op basis van de beschikbare gegevens is dit een conservatieve schematisatie. Het dient echter te worden opgemerkt dat door het uitvoeren van lokaal grondonderzoek moet worden geverifieerd of de gebruikte schematisatie inderdaad conservatief is.



Figuur 2.3 Dwarsprofiel dijkontwerp ter plaatse van de leiding kruising (nieuw aan te leggen berm in lichtblauw)

Het betreft een aan de leiding aangepaste binnenberm met een constante helling 1:20 zonder bermталud, aansluitend op het huidige binnentalud op NAP + 4,90 m. Deze geometrie is gekozen om de verschilzettingen op de leiding te minimaliseren wat gunstig was voor de leiding. De ligging van de leiding in de dijkdoorsnede is schematisch weergegeven in Figuur 2.4.



Figuur 2.4 Ligging leiding tracé (schematisch) van de 2 beschouwde parallel gelegen watertransportleidingen

## 2.4 Faalkans leiding

Bij de waterleidingen gaat het om een tweetal parallelle transportleidingen met de volgende eigenschappen:

- Bouwjaar: 1973.
- Maximaal aanwezige werkdruk: 5,7 bar (ontwerpdruk 11 bar).
- Diameter (uitwendig) = 1.22 m (RHDHV, 2018).
- Wanddikte = 16 mm (binnen kruising, aansluitende veldstrekking 12 mm).
- Materiaal: staal (staalkwaliteit X60 binnen kruising; veldstrekking: API 5L Gr B).

Volgens de beschikbare informatie is er in het voor overstromingen relevante winterhalfjaar maximaal één van de twee parallelle leidingen in gebruik. Voor het bepalen van de faalkans is er dan ook maar van één leiding uitgegaan (zie TNO (2019) en hoofdstuk 3).

Voor de faalkansanalyse in het algemeen en specifiek de erosiekrater berekeningen wordt de maximaal aanwezige werkdruk van 5,7 bar aangehouden, en niet de ontwerpdruk van 11 bar, omdat bij de faalkansanalyse wordt uitgegaan van een zeer geringe kans op overschrijding van de werkdruk. Een onderbouwing van dit uitgangspunt moet nog worden gedaan. Hiervoor is het noodzakelijk een waterslaganalyse van het leidingsysteem uit te voeren. De maximale werkdruk en de conclusies met betrekking waterslag kunnen in de vergunning worden vastgelegd als de resultaten van deze analyse worden gebruikt ter onderbouwing van de veiligheid. Op deze manier wordt het risico door toekomstige wijzigingen in het drukregime van de leiding voor de veiligheid van de waterkering ondervangen.

Voor de volledigheid wordt aangegeven dat de leidingsterkte berekening conform NEN 3650-2 (NEN 2020b) wel is gebaseerd op de ontwerpdruk van 11 bar. In de leidingsterkte berekeningen is bij belasting combinatie BC4 ook rekening gehouden met het optreden van een onderdruk van 0.8 bar (rapportage R+K bijlage D).

In bijlage D is een leiding sterkte berekening opgenomen conform NEN 3650/3651. In deze norm is een aantal deterministische eisen opgenomen om een voldoende veiligheid te

11203450-002-GEO-0002, versie 4.0, 11 augustus 2020, definitief

waarborgen bij de kruising van waterkeringen en leidingen. Dit betreft onder andere zaken als de minimum wanddikte, een relatieve extra sterkte van de leiding ter plaatse van de waterkering en de importantiefactor.

Deze deterministische eisen worden voor de volledigheid beschreven in Bijlage D maar zijn niet van toepassing bij de in dit rapport gepresenteerde faalkansanalyse. De faalkansanalyse die is uitgevoerd volgens de huidige wetgeving baseert zich op een risico-benadering en daarin is voor expliciete deterministische eisen in beginsel geen plaats. Dit betekent niet dat er geen aandacht wordt besteed aan het basisidee achter de deterministische eisen. Deze eisen maken indirect deel uit van de faalkansanalyse.

In het veiligheidsraamwerk wordt de faalkans uitgerekend voor iedere strekkende meter van de leiding, startend aan de ene kant buiten de veiligheidszone en eindigend buiten de veiligheidszone aan de andere kant. Voor elke locatie wordt ook de kans uitgerekend dat gegeven het falen van de leiding op die plek een vermindering van het waterkerend vermogen optreedt en in combinatie met hoogwater uiteindelijk een overstroming. De totale kans op overstroming is vervolgens een optelsom van de overstromingskansen over de gehele lengte van de leiding (rekening houdend met correlaties). Bij een extra versterkte leiding onder de dijk zal dus juist ter plaatse van de grootste gevolgskans op overstroming de kans op leiding falen klein zijn. Een leiding ontworpen volgens de deterministische eisen volgens NEN 3650/51 zal daarom bij een faalkansanalyse relatief goed scoren.

Dit betekent dat de faalanalyse de deterministische eisen uit de NEN 3650/51 impliciet beschouwd en deze in bijlage D genoemde eisen niet bovenop de resultaten van de faalkansanalyse van toepassing zijn.



Figuur 2.5 Vrijgegraven transportleidingen

De volgende faalscenario's worden voor dit leidingtype relevant geacht voor de invloed op de veiligheid van de waterkering:

- Sluipend lek, met als gevolg verzadiging van het dijklichaam en verhoogde waterspanningen.
- Gapend lek, met als gevolg een erosiekrater c.q. ontgrondingskrater rondom het lek.

Voor het bepalen van de faalkans van de leiding is het van belang om onderscheid te maken tussen de verschillende locaties of zones in de dijkdoorsnede waar faalverschijnselen kunnen optreden. Per zone moet onderscheid worden gemaakt tussen de kans op een gapend lek met als gevolg een erosiekrater, en de kans op een sluipend lek met als gevolg verzadiging van de grond rondom het lek.

De faalkans per type lek is uitgewerkt in TNO (2019) welke is opgenomen als bijlage C bij dit rapport. De bevindingen uit het rapport zijn samengevat in hoofdstuk 3 van dit rapport.

## 2.5 Faalmechanismen waterkering

De volgende faalmechanismen van de waterkering zijn essentieel voor het dijkontwerp als het gaat om de invloed van de waterleiding en worden expliciet uitgewerkt in de integrale faalkansanalyse in hoofdstuk 4:

1. **'Direct falen'** door optreden van een gapend lek met als gevolg een erosiekrater in de 'centrale zone' van de dijk (zie 2.6).
2. **Golfoverslag**, erosie kruin/binnentalud; incl. overloop (**GEKB**)
3. **Macro-instabiliteit** binnenwaarts en buitenwaarts (**STBI en STBU**).
4. **Interne erosie, piping/heave** (**STPH**).
5. **Graserosie buitentalud** (**GEBU**).

Waar de aanwezigheid of het potentieel falen van de leiding mogelijk verder de negatieve invloed kan hebben op andere dan de hierboven genoemde faalmechanismen van de waterkering, zoals bijvoorbeeld voor micro-instabiliteit of interne erosie langs de leiding worden analyses gedaan met aanbevelingen voor ontwerpmaatregelen (zie sectie 4.8).

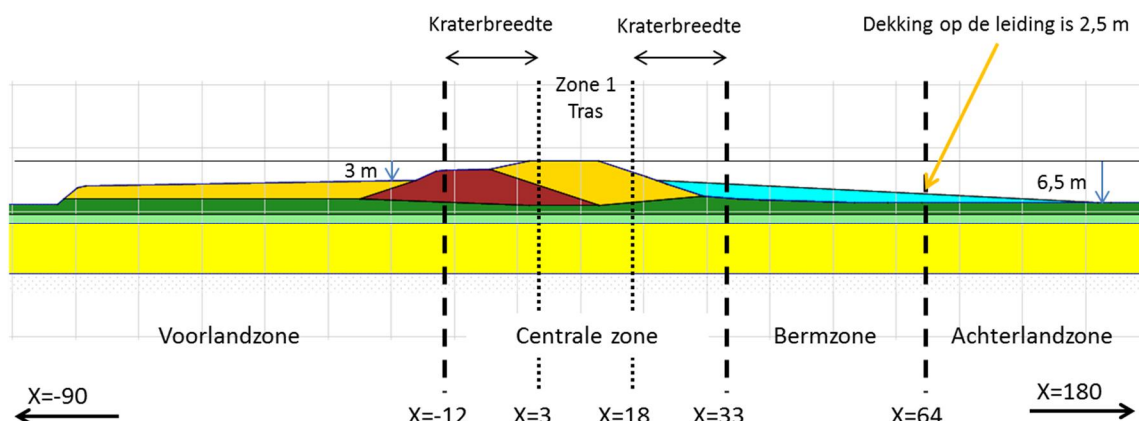
*Opmerking schematiseringsfactor*: In dijkversterkingsontwerpen is het gebruikelijk rekening te houden met de schematiseringsfactor, om onzekerheden in ondergrondopbouw en geohydrologische condities af te dekken, zie OI2014v4 (I&M, 2017b). Bij het beoordelen van de veiligheid van bestaande waterkeringen wordt een dergelijke schematiseringsfactor niet toegepast. Wel wordt er rekening gehouden met in ongunstige zin afwijkende scenario's ten opzichte van het gebruikte basisscenario. In de analyses volgens de systematiek van het WBI Veiligheidsraamwerk K&L in hoofdstuk 4 wordt ervan uitgegaan dat er geen significant ongunstigere afwijkingen van de gebruikte ondergrondschematisering te verwachten zijn.

## 2.6 Zone indeling

Voor de integrale faalkansanalyse en het gezamenlijk beschouwen van leiding falen en dijk falen wordt een zone indeling gehanteerd, welke onderscheid maakt in:

1. **Centrale zone**: Een erosiekrater als gevolg van een gapend lek in de centrale zone (o.b.v. rekenwaarden) leidt tot aantasting van het benodigde restprofiel van de dijk en daarmee tot 'direct falen'.
2. **Voorland- en achterlandzone**: Falen van de leiding in deze zones heeft een negatieve invloed op de faalmechanismen van de waterkering. De gronddekking van de leiding is minimaal 1 m.
3. **Bermzone**: Falen van de leiding in deze zone heeft een negatieve invloed op de faalmechanismen de waterkering. De gronddekking van de leiding is minimaal 2.5 m.
4. Buiten bovenstaande zones is de invloed van leiding falen op de faalmechanismen van de waterkering verwaarloosbaar.

De bepaalde zone indeling is weergegeven in Figuur 2.6; voor details over de definitie en bepaling van de zonegrenzen wordt verwezen naar bijlage B.



Figuur 2.6 Zone-indeling voor analyse faalkansen leiding en waterkering ( $x=0$  ligt 2 m buitendijks van de buitenkruinlijn)

## 2.7 Faalkanseisen

De betrouwbaarheid wordt aangetoond voor de doorsnede van de dijkkruising. Om op doorsnedeniveau te kunnen toetsen wordt de toelaatbare faalkans van een dijktraject doorvertaald naar een faalkanseis per faalmechanisme door toepassing van een faalkansruimtefactor. Vervolgens wordt de faalkans in de doorsnede per faalmechanisme bepaald, rekening houdend met het lengte-effect. Voor de beschouwde dijksectie als onderdeel van dijktraject 43-6 (lengte 46,9 km) met een toelaatbare faalkans van 1/10.000 per jaar zijn de toelaatbare faalkansen en vereiste betrouwbaarheidsindices per faalmechanisme in Tabel 2.1 samengevat.

Tabel 2.1 Faalkanseisen en vereiste betrouwbaarheidsindices (Beta) per faalmechanisme van de waterkering in normtraject 43-6 met standaard faalruimtefactoren en lengte-effect

	Faalkans eis	Beta	Faalkansruimte	Lengte-effect
Overloop / overslag en erosie (GEKB)	2,4E-05	4,1	0,24	1
Macro-instabiliteit binnenwaarts (STBI)	1,2E-07	5,2	0,04	32,3
Macro-instabiliteit buitenwaarts (STBU)	1,2E-06	4,7	0,40	32,3
Interne erosie (STPH)	1,7E-07	5,1	0,24	141,7
Graserosie buitentalud (GEBU)	5,0E-06	4,4	0,05	1

Voor trajecten met meerdere leidingkruisingen (of andere relevante niet-waterkerende objecten) kan een aanscherping van de lengte-effect factoren voor GEKB en GEBU noodzakelijk zijn (zie aanbeveling in sectie 5.3.1).

## 2.8 Zichtjaar

Voor het zichtjaar wordt in het ontwerp uitgegaan van het jaar 2075. Dat is 50 jaar na de geplande oplevering in 2025. Het laatste jaar van de zichtperiode is voor de beschouwde situatie kritiek, vooral vanwege de door (verschil)zettingen veroorzaakte belastingen op de leiding en door degradatie van de leiding (bv. door corrosie).

### 3 Faalkans leiding

Voor de integrale faalkansanalyse voor faalmechanismen van de waterkering onder invloed van mogelijk falen van de leiding is het noodzakelijk om de faalkans van de leiding te bepalen per zone zoals gedefinieerd in sectie 2.6, onderscheid makend tussen een sluipend en een gapend lek. Dit onderdeel van deze studie is uitgevoerd door TNO en gerapporteerd in de rapportage TNO (2019), hier opgenomen als bijlage C. Voor de zelfstandige leesbaarheid van dit rapport is in dit hoofdstuk een samenvatting van de bevindingen op hoofdlijnen opgenomen, inclusief de resultaten die worden gebruikt in de integrale faalkansanalyse van de waterkering in hoofdstuk 4.

#### 3.1 Uitgangspunten

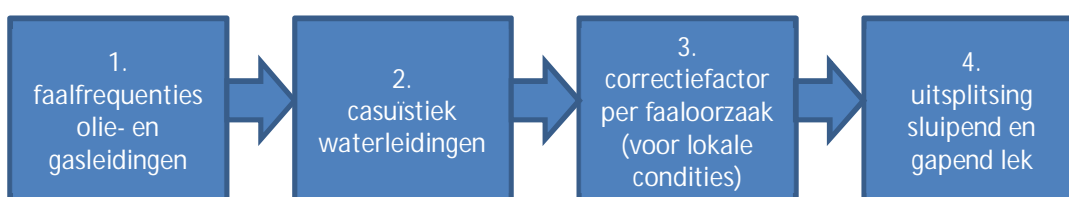
Een belangrijk uitgangspunt voor het hanteren van de hieronder beschreven aanpak en de resulterende faalkansen van de leiding is dat de leiding aan de sterkte-eisen vanuit de NEN 3650 voldoet. Dit is onderzocht door middel van leiding sterkte berekeningen die zijn beschreven in Bijlage D. In de berekening zijn alle belastingen op de leiding meegenomen en zijn ook de tot heden opgetreden en toekomstige zettingen beschouwd. De zettingen zijn gebaseerd op voorspellende zettingsberekeningen die zijn gerapporteerd in Bijlage E. De zettingen zijn berekend op basis van beschikbaar gestelde gegevens over de aanleg van het industrieterrein de bestaande waterkering en de aan te leggen binnendijkse berm. Omtrent belastingen op het buitendijks gelegen industrieterrein zijn geen gegevens beschikbaar gesteld. Aangenomen is dat er geen langdurige belastingen ter plaatse van de leiding aan de orde zijn. Verder is bij de sterkteberekeningen een aantal uitgangspunten gehanteerd, die middels aanvullend veldonderzoek/inspectie in de kritieke impactzonemoeten worden geverifieerd (zie paragraaf 5.3).

De uitkomsten bevestigen dat de leiding aan de sterkte eisen voldoet, op de mangaten aan weerszijden van de dijk na. Na versterking of verwijdering van de mangaten voldoet de leiding kruising aan de eisen conform NEN 3650. Zoals beschreven in sectie 2.4 zijn de deterministische eisen niet separaat van toepassing, omdat deze onderdeel zijn van de faalkansanalyse.

Verder is voor de integrale faalkansanalyse van belang of de vervormingen van de waterkering tijdens hoogwater een significante invloed op het falen van de leiding hebben. Dit aspect is onderzocht in bijlage D door middel van variaties op de leiding sterkte berekeningen gebaseerd op de vervormingsanalyses van de waterkering beschreven in bijlage F. Hierbij is aangetoond dat er geen ongunstige invloed van hoogwater-gerelateerde vervormingen is op de beschouwde leidingen.

#### 3.2 Aanpak op hoofdlijnen

De door TNO gevolgde aanpak berust op een aantal stappen zoals weergegeven in Figuur 3.1.



Figuur 3.1 Hoofdstappen in de faalkansanalyse van de leiding

De stappen omvatten het volgende:

1. **Faalfrequenties olie- en gasleidingen:** Voor olie- en gasleidingen zijn er uitgebreide datasets beschikbaar, gebaseerd op casuïstiek van faalgevallen, inclusief onderscheid tussen faaloorzaken. Deze vormen de basis van de analyse, die gezien de onderliggende data veel beter is uitgewerkt dan wat er voor waterleidingen beschikbaar is. Tevens wordt ingegaan op welke dataset de meest geschikte lijkt voor toepassing bij de beschouwde watertransportleiding.
2. **Casuïstiek waterleidingen:** KWR heeft in het kader van deze studie data uit U-Store (gemeenschappelijke database van een aantal waterleidingbeheerders) geanalyseerd en verrijkt met gegevens uit interviews met waterleidingbeheerders (zie KWR notitie als bijlage in TNO, 2019). Op basis van deze gegevens is een conservatieve schatting van de faalfrequentie voor de beschouwde watertransportleiding gemaakt. De in stap 1 gevonden faalfrequenties per faaloorzaak zijn vervolgens gecorrigeerd (verhoogd) om overeen te komen met deze faalfrequentie voor de waterleiding.
3. **Correctiefactor per faaloorzaak:** Vanwege de bijzonderheden van de beschouwde leiding die afwijken van de gemiddelde populatie van leidingen in de casuïstiek zijn correctiefactoren toegepast gebaseerd op de BEV-B (2010; Besluit Externe Veiligheid Buisleidingen). Bij deze correctie is rekening gehouden met de verschillende zones in de doorsnede van de waterkering (zie 2.6).
4. **Uitsplitsing sluipend versus gapend lek:** Vervolgens is per faaloorzaak de faalkans uitgesplitst in de kans op een sluipend lek en de kans op een gapend lek (vanwege de verschillen in invloed op de faalmechanismen van de waterkering). Hierbij is gebruik gemaakt van de kans op en het effect van verschillende gat afmetingen bij lekkage.

Tevens is door middel van variaties van de leiding sterkteberekeningen volgens NEN 3650 (bijlage D) en een niveau I probabilistische benadering nagegaan of er aanleiding is om de middels casuïstiek gevonden faalfrequenties bij te stellen (te verhogen). Dit was niet het geval, daarom wordt hier in deze samenvatting niet nader op ingegaan. Voor details wordt verwezen naar bijlage C.

### 3.3 Resultaten

#### 3.3.1 Faalkans waterleiding op basis van casuïstiek (stappen 1 en 2)

De totale faalkans (per lengte-eenheid en jaar) voor de beschouwde transportwaterleiding (met ruw water) wordt in TNO (2019) gebaseerd op een combinatie van de meest recente CONCAWE (2012-2016) kentallen en de door KWR voor deze specifieke faalfrequentie gehanteerde waarde van 1 per 1000 km per jaar. Voor de faalkans per faaloorzaak voor de Dunea leiding is dan ook uitgegaan van de relatieve verdeling van de faalkansen per faaloorzaak in de vierde kolom in Tabel 3.1, opgeschaald naar een totale faalfrequentie van de genoemde 1 per 1000 km per jaar.

Tabel 3.1 Incidenten leidingen per 1000 km per jaar voor olie en gas vanuit verschillende studies (TNO, 2019)

Faaloorzaak	EGIG 2012-2016	CONCAWE 1971-2014	CONCAWE 2012-2016	BEVB BEVI	COB
External interference	0,032	0,23	0,078	0,17	10,00
Corrosion	0,027	0,11	0,057	0,18	0,01
Mechanical defects	0,021	0,11	0,051	0,18	0,02
Operational	0,003	0,03	0,011	0,03	0,10
Ground movement	0,031	0,01	0	0,01	2,00
<b>Total</b>	<b>0,114</b>	<b>0,49</b>	<b>0,197</b>	<b>0,57</b>	<b>12,10</b>



### 3.3.2 Correctie voor lokale omstandigheden (stap 3)

Om recht te doen aan de specifieke omstandigheden van de onderzochte leiding kruising zijn enkele correctiefactoren op de generieke faalfrequenties vanuit de casuïstiek toegepast. Deze zijn deels gebaseerd op de BEV-B en samengevat in Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Correctiefactoren voor faalkansen per faaloorzaak en zone waterkering (TNO, 2019)

Faaloorzaak	Factor	Motivatie
External interference	0,1	Voor centrale zone en bermzone, extra wanddikte
	1,0	Voor voor- en achterlandzone, wel dijkomgeving (conservatief)
Corrosion	1,0	Voor de ontgraven centrale zone: er is geen corrosie waargenomen; maar dit wordt niet voldoende geoordeeld voor een reductie; in de waterleiding is ook geen interne cement lining aanwezig.
Mechanical defects	10,0	Bij mijterbochten en verstijvingsringen. Geen separate inwendige inspectie als bij olie-en gastransportleidingen. Met name de lassen zijn daarbij belangrijk.
	1,0	Overige delen
Operational	1,0	
Ground movement	1,0	In Nederland zijn geen grote grondverschuivingen, wel zettingen. Dit wordt meegenomen in de PLE4Winberekeningen.

### 3.3.3 Verdeling faalkans over gapend en sluipend lek (stap 4)

De verdeling van de faalkansen in sluipend versus gapend lek is in eerste instantie gebaseerd op een verdeling van 75%-25% vanuit de BEV-B (2010), welke vervolgens opgesplitst is in de verschillende faaloorzaken, resulterend in Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Faalkans gesplitst naar sluipend/gapend lek (klein/groot) (TNO, 2019)

	Klein - groot (Lek - krater)
	[%]
External interference	50 – 50
Corrosion	90 – 10
Mechanical defects	90 – 10
Operational	90 – 10
Ground movement	50 – 50

De in de tabel gegeven verhoudingen voor 'corrosion' en 'mechanical defects' zijn nader bepaald door middel van de kansverdelingen van de gat afmetingen bij de betreffende faaloorzaken, in combinatie met een bepaling van de kritieke gat afmetingen voor het ontstaan van een gapend lek (afhankelijk van de gronddekking, zoals beschreven in Bijlage G). De resultaten voor een sluipend en een gapend lek zijn samengevat in Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Faalkans gesplitst naar sluipend/gapend lek rekening houdend met gronddekking [%] (TNO, 2019)

Gronddekking	1,0 m	2,5 m	1,0 m	2,5 m
Soort lek	sluipend	sluipend	gapend	gapend
External interference	50	50	50	50
Corrosion	50	90	50	10
Mechanical defects	90	99	10	1
Operational	50	90	50	10
Ground movement	50	50	50	50

### 3.4 Samenvatting kansen op gapend en sluipend lek per dijkzone

Combinatie van de in sectie 3.3 beschreven faalfrequenties, correctiefactoren en uitsplitsing in sluipend en gapend lek per zone resulteert in de faalkansen voor de leiding zoals weergegeven in Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Faalkansen voor sluipend en gapend lek leiding per zone waterkering (TNO, 2019)

	lengte [m]	Faalkans (per jaar)	
		gapend lek	sluipend lek
Voorlandzone	78	3.1E-05	4.5E-05
Centrale zone	45	1.8E-05	9.7E-05
Bermzone	31	2.6E-06	7.6E-05
Achterlandzone	116	4.7E-05	6.7E-05

Deze faalkansen worden in de integrale faalkansanalyse in hoofdstuk 4 gecombineerd met de effecten op de faalmechanismen van de waterkering.

Bovenstaande resultaten zijn gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

- De faalkans is gebaseerd op één leiding, terwijl er twee parallelle leidingen in de kruising aanwezig zijn. Uitgangspunt is dat alleen één leiding tegelijk in gebruik is.
- Uit de sterkte berekening (Bijlage D) blijkt dat de leiding niet voldoet aan de eisen conform NEN 3650-2 (NEN 2020b) ter plaatse van de mangaten. Er is hierbij van uit gegaan dat de mangaten niet versterkt zijn. Dit betekent dat de leidingen ter plaatse van de mangaten nog moeten worden versterkt of verwijderd.
- De locaties van de materiaalovergang van kruising naar veldstrekking zijn niet precies bekend. Hiervoor zijn in de sterkteberekeningen (bijlage D) aannames gedaan op basis van de beschikbare gegevens. Het dient nog te worden nagegaan of de overgang zich inderdaad op de aangenomen locatie bevindt.
- Slechts een klein deel van de leiding is geïnspecteerd. Alhoewel hier geen wanddikte afname is geconstateerd, kan niet op voorhand voor de hele relevante leidingsectie worden geconcludeerd dat er geen significante wanddikte afname aan de orde is. Dat geldt ook voor de aangenomen staalsoorten/-kwaliteiten. Om de berekende faalkansen te kunnen handhaven is het nodig om dit te verifiëren.
- De werkdruk is maximaal 5,7 bar. Uitgangspunt is dat vanuit het leidingsysteem geen overdrukken of onderdrukken (waterslageffecten) te verwachten zijn ter plaatse van de leidingkruising. Er dient nog een systeemanalyse met een waterslagberekening conform NEN 3650-1 (Bijlage C) van de waterleiding te worden uitgevoerd, waaruit blijkt dat dit uitgangspunt juist is. Bij het operationeel beheer kan dit uitgangspunt worden gemonitord.

Aangezien de faalkans van de leiding is gebaseerd op bovenstaande uitgangspunten is nodig om deze aangenomen staat van de leiding(kruising) en het beheer van de leiding door middel van *monitoring* nauwlettend in de gaten te houden. Dit wordt in de aanbevelingen nader omschreven (sectie 5.3.3).

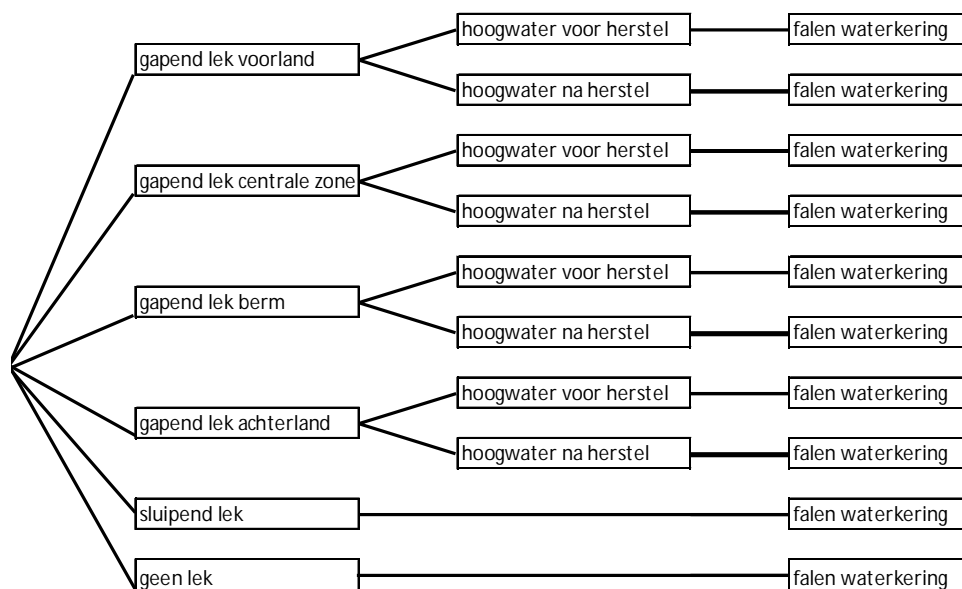
## 4 Integrale faalkansanalyse waterkering

Dit hoofdstuk presenteert de resultaten van de integrale faalkansanalyse van de leidingkruising in het dijkontwerp, gebruik makend van de faalkansen voor de leiding zoals bepaald in TNO (2019) (zie bijlage C) en samengevat in het vorige hoofdstuk 3. Voor een gedetailleerde beschrijving van de integrale faalkansanalyses wordt verwezen naar bijlage B.

Volgens de werkwijze zou van grof naar fijn kunnen worden begonnen met klassieke ontwerpberoeeningen. Bij deze kruising is dit echter niet zinvol, omdat een gapend lek in de centrale zone direct leidt tot een significant verlies van het waterkerend vermogen. Daarom wordt in dit hoofdstuk niet nader ingegaan op klassieke ontwerpberoeeningen.

### 4.1 Generieke gebeurtenissenboom leiding kruising

Voor de integrale faalkansanalyse wordt gebruik gemaakt van gebeurtenissenbomen zoals in generieke vorm gegeven in het Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen (Deltares, 2018a). De gebeurtenissenbomen worden opgesteld en ingevuld per faalmechanisme van de waterkering (zie sectie 2.5), en vervolgens getoetst aan de gerelateerde faalkanseis per faalmechanisme (zie Tabel 2.1). Het bijzondere voor een leiding kruising ten opzichte van een parallelle leiding is dat leiding falen op een willekeurige locatie in de dwarsdoorsnede van de waterkering plaats kan vinden. Zoals in sectie 2.6 beschreven is de dwarsdoorsnede daarom in zones ingedeeld om de analyse mogelijk te maken en overzichtelijk te houden. Figuur 4.1 toont een generieke gebeurtenissenboom voor de kruising en zone-indeling. Deze gebeurtenissenboom wordt per faalmechanisme ingevuld. De invulling is beschreven in de volgende paragrafen. Per paragraaf wordt een faalmechanisme behandeld.



11203450-002-GEO-0002, versie 4.0, 11 augustus 2020, definitief

Voor een sluipend lek is gezien de beperkte invloed op de beschouwde faalmechanismen overigens geen onderscheid gemaakt tussen de zones. Het conservatieve uitgangspunt is hier dat het volledige dijklichaam verzadigd raakt bij optreden van een sluipend lek.

#### 4.2 Kans op hoogwater tijdens hersteltijd gapend lek

Een element dat in de analyse van alle faalmechanismen voorkomt is de kans dat een hoogwater optreedt gedurende de hersteltijd na optreden van een gapend lek met als gevolg een erosiekrater (aanneمة is dat een sluipend lek niet wordt gedetecteerd, zodat herstel hier niet aan de orde is).

Een belangrijk uitgangspunt voor het bepalen van deze kans in deze studie is dat het falen van de leiding in de vorm van een gapend lek onafhankelijk van hoogwater optreedt. De berekeningen van vervormingen van het dijklichaam door hoogwater (bijlage F) en de gerelateerde sterkte berekeningen van de leiding (bijlage D) wijzen uit dat de te verwachten vervormingen tijdens hoogwater beperkt zijn en geen ongunstig effect op de leiding hebben. Daarom is het uitgangspunt van onafhankelijkheid van leiding falen en hoogwater gerechtvaardigd voor deze specifieke situatie<sup>1</sup>.

De uitgangspunten voor het bepalen van optreden van hoogwater voor herstel (of gelijktijdig met) en een erosiekrater door een gapend lek zijn:

- Duur van het hoogwater: 4 weken.
- Duur van herstel: 4 weken.
- Mate van herstel: de sterkte van de dijk wordt verondersteld weer zo aanwezig te zijn als vóór optreden van leiding falen.

Met deze uitgangspunten resulteren de volgende kansen na optreden van een gapend lek (voor alle zones gelijk):

- 'Hoogwater voor herstel': 0.15 (= (4+4)/52 weken)
- Hoogwater na herstel': 0.85 (= 1 – 0.15)

Bovenstaande uitgangspunten zijn bedoeld voor het inschatten van de kansrijkheid van een ontwerp zonder vervangende waterkering. Ze kunnen indien nodig of gewenst verder worden aangescherpt in een definitieve analyse door bijvoorbeeld differentiëren tussen noodherstel en definitief herstel in termen van tijdsduren en effecten.

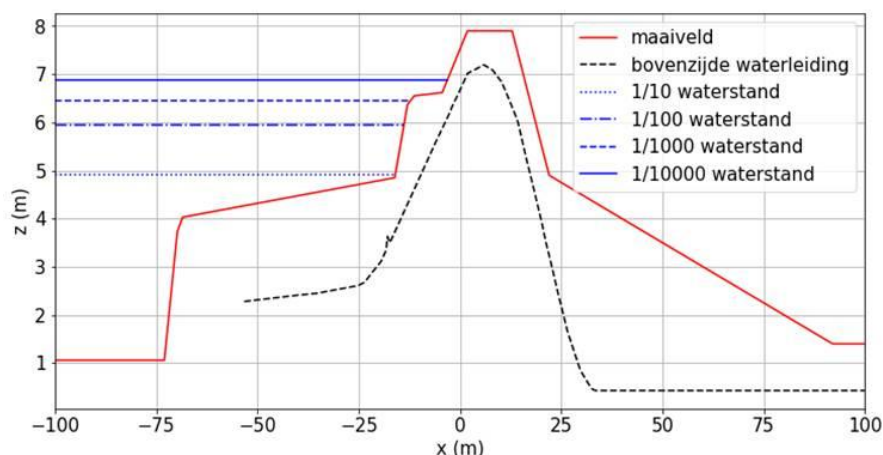
#### 4.3 Kans op overstromen voorland

In de dwarsdoorsnede van de waterkering is een relatief breed en hoog voorland aanwezig. Uitgangspunt in deze studie is dat de voorwaardelijke kans op falen (overstromen) gegeven gapend lek nooit groter kan zijn dan de kans dat bij een hoogwater het voorland onder water komt te staan, mits deze ook in de toekomst aanwezig blijft.

Om de kans op het onder water staan van het voorland te bepalen is een Hydra-NL analyse uitgevoerd (zie B.4.2.2 voor details). De hoogteligging van de dijkteen is NAP+4,9 m. De hoogte aan de rivierzijde van het voorland 70 m buitendijks is NAP+4,0 m. In de afgelopen 37 jaar heeft er één maal water aan de teen van de dijk gestaan, in 1995. De waterstand is tijdens 7 hoogwaterpieken hoger geweest dan NAP+4,0 m (ongeveer eens per 5 jaar). Volgens de Hydra-NL berekeningen is de terugkeertijd van een waterstand van NAP+4,9 m, 10 jaar. Het uitgangspunt voor deze studie is dat de kans op overstromen van het voorland, gegeven hoogwater, maximaal 1/5 is (zie voor een plaatsing van de waterstanden met overschrijdingsfrequenties in de context van het dwarsprofiel ook Figuur 4.2).

<sup>1</sup> In andere gevallen kan het wel noodzakelijk zijn met afhankelijkheid tussen leiding falen en hoogwater rekening te houden in het opstellen van de gebeurtenissenbomen en/of in het bepalen van de deelkansen.

11203450-002-GEO-0002, versie 4.0, 11 augustus 2020, definitief



Figuur 4.2 Ligging leiding tracé (schematisch) van de 2 beschouwde parallel gelegen watertransportleidingen

#### 4.4 Golfoverslag en erosie kruin/binnentalud (GEKB)

##### 4.4.1 Faaldefinitie en modellering effecten van leiding falen per zone

Voor erosie van het binnentalud als gevolg van golfoverslag is de kans op overschrijden van een kritiek overslagdebiet bepaald met Hydra-NL, te weten:

- 5 l/m/s voor een intact binnentalud.
- 0.1 l/m/s voor een door leiding falen beschadigd binnentalud.

In dit faalmechanisme ('hoogte') is ook het 'direct falen' van de waterkering als gevolg van een gapend lek in de centrale zone verwerkt. Bij het ontstaan van een erosiekrater in de centrale zone wordt per definitie het benodigde restprofiel van de waterkering direct aangetast, leidend tot kruinverlaging en verlies van waterkerend vermogen. Zoals in 4.3 uitgewerkt is voor deze situatie een voorwaardelijke faalkans van 1/5 aangehouden. Bij andere faalmechanismen voor een gapend lek in de centrale zone is dit niet meegenomen om 'dubbeltelling' van de gerelateerde faalkans te voorkomen.

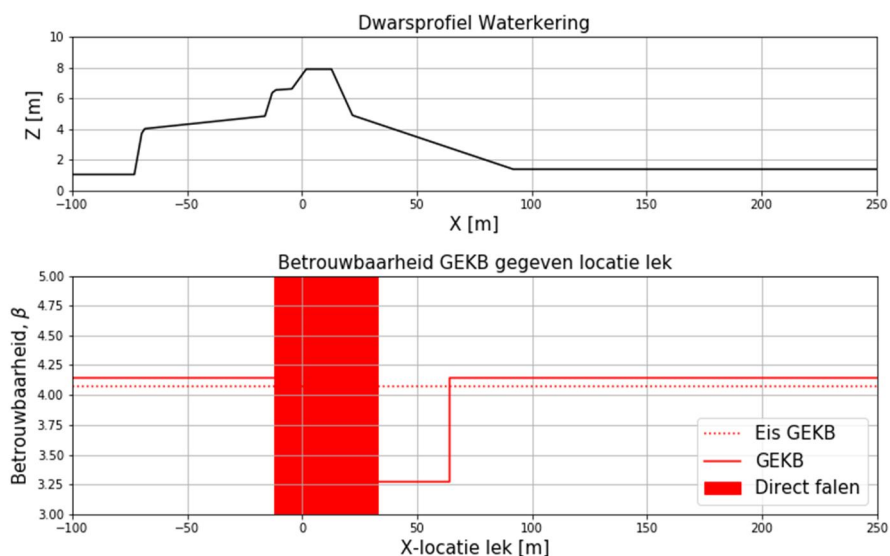
De effecten van leiding falen worden verder per zone als volgt gemodelleerd:

- Sluipend lek: geen effect (binnentalud blijft intact).
- Gapend lek in voorlandzone: aanpassing geometrie buitentalud (steiler: 1:1 in plaats van 1:2) door de erosiekrater op de rand van de centrale zone.
- Gapend lek in berm zone: kritiek overslagdebiet van 0.1 l/m/s door beschadigd binnentalud als gevolg van de erosiekrater.
- Gapend lek in achterlandzone: geen effect.

##### 4.4.2 Gebeurtenissenboom en resultaten

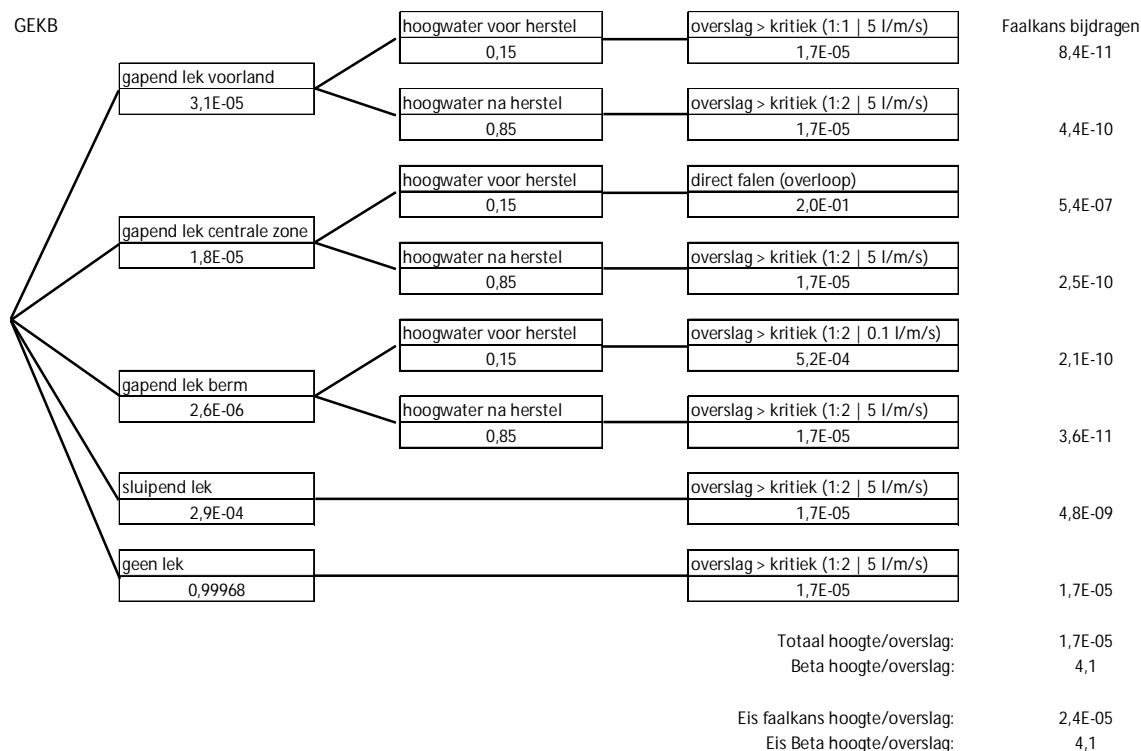
De voorwaardelijke faalkans van de waterkering gegeven een (niet hersteld) gapend lek is weergegeven in Figuur 4.3. Hier is het verloop van de berekende betrouwbaarheidsindex in het dwarsprofiel weergegeven. Het effect van een erosiekrater in het voorland (steiler talud) blijkt verwaarloosbaar. De betrouwbaarheid bij een gapend lek in de berm zone (verlaagd kritiek overslagdebiet) neemt af van ca.  $\beta = 4.2$  naar 3.3 (toename in faalkans met een factor 30).

11203450-002-GEO-0002, versie 4.0, 11 augustus 2020, definitief



Figuur 4.3 Betrouwbaarheidsindex voor golfoverslag en erosie binnentalud gegeven locatie gapend lek. Voor locaties van het lek tussen  $x=-12$  en  $x=33$  is de dijk direct gedefinieerd als gefaald (centrale zone).

De integrale faalkansanalyse voor dit faalmechanisme is weergegeven in de gebeurtenissenboom in Figuur 4.4. De figuur laat zien dat het dijkontwerp voldoet aan de faalkanseis ondanks de kans op leiding falen en de effecten ervan. De totale faalkans wordt gedomineerd door de situatie zonder leiding falen ('geen lek'), waarbij de kruinhoogte in het dijkontwerp een lagere faalkans heeft dan volgens de eis.



Figuur 4.4 Gebeurtenissenboom met resultaten voor golfoverslag en erosie binnentalud (GEKB), inclusief direct falen van de waterkering bij gapend lek in de centrale zone

De extra bijdragen aan de faalkans door leiding falen passen binnen de marge tot de faalkanseis. Dit komt vooral door de betrekkelijk lage faalkans van de leiding. De hoogste bijdrage vanuit leiding falen komt door een gapend lek in de centrale zone, zoals te verwachten bij deze leiding kruising. Deze bijdrage is echter ongeveer een factor 50 lager dan de faalkanseis en daardoor niet kritiek.

Ook de aanname van volledig herstel van de waterkering na een gapend lek in de centrale zone binnen 4 weken blijkt overigens niet kritiek in de voorliggende situatie. Zelfs als zonder herstel voor hoogwater wordt gerekend voldoet de situatie nog aan de faalkanseis (de faalkans wordt dan  $2.0 \times 10^{-5}$  per jaar).

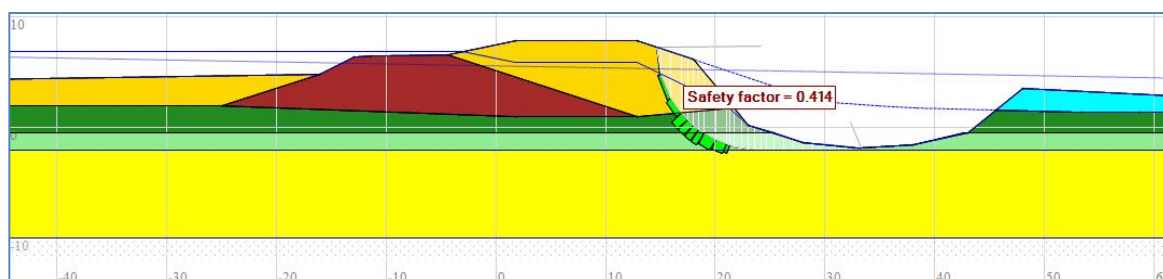
## 4.5 Macro-instabiliteit

### 4.5.1 Faaldefinitie en modellering effecten van leiding falen per zone

Voor macro-instabiliteit (zowel STBI als STBU) zijn stabiliteitsanalyses uitgevoerd met Uplift-Van waarbij alleen glijvlakken zijn beschouwd die het benodigde restprofiel van de dijk aantasten volgens ENW (2009). Toepassen van deze restprofielbenadering met kritieke glijvlakken is noodzakelijk bij stabiliteitsanalyses met erosiekraters door leiding falen, omdat bij de onregelmatige geometrieën van de aangetaste dijkdoorsnedes anders geen betekenisvolle resultaten uit stabiliteitsanalyses kunnen worden afgeleid.

Bij een *sluipend lek* is het dijklichaam als volledig verzadigd aangenomen en is de waterspanning schematisering aldus aangepast. Dit is een conservatief uitgangspunt. Daarom komt de waterspanning schematisering bij een sluipend lek voor aanscherping in aanmerking. In deze studie is het effect van een sluipend lek op macro-instabiliteit echter niet kritiek gebleken en is de aanscherping achterwege gelaten.

Voor een *gapend lek* is per zone de betreffende erosiekrater in de dijkgeometrie geschematiseerd, telkens op de meest ongunstige locatie binnen een zone (zie bijvoorbeeld de erosiekrater in de berm zone op de rand van de centrale zone in Figuur 4.5). Een gapend lek in de centrale zone valt vanwege direct falen onder het GEKB ('hoogte') spoor.

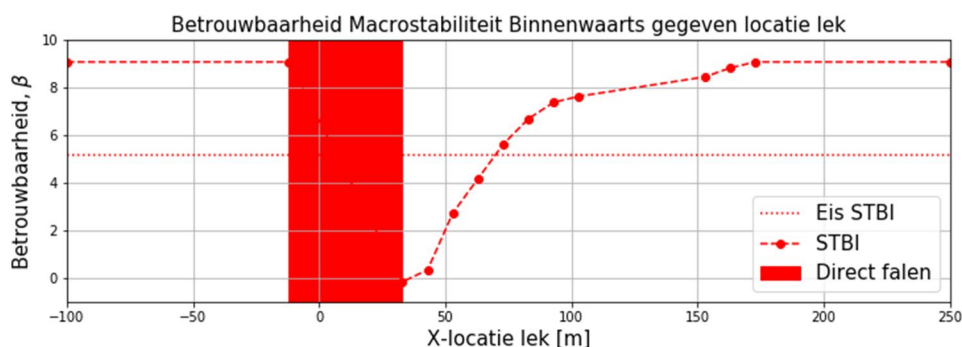


Figuur 4.5 Stabiliteitsanalyse met erosiekrater in berm zone op de rand van de centrale zone (meest ongunstige ligging binnen de berm zone)

### 4.5.2 Gebeurtenissenboom en resultaten

De voorwaardelijke faalkans van de waterkering gegeven een (niet hersteld) gapend lek is weergegeven in Figuur 4.6. Hier is het verloop van de berekende betrouwbaarheidsindex in het dwarsprofiel weergegeven. Deze is gebaseerd op een semi-probabilistische (doorgaans conservatieve) benadering volgens WBI. Het effect van een erosiekrater in de berm zone is een sterke daling van de betrouwbaarheidsindex tot  $\beta = 0$  (faalkans 50%).

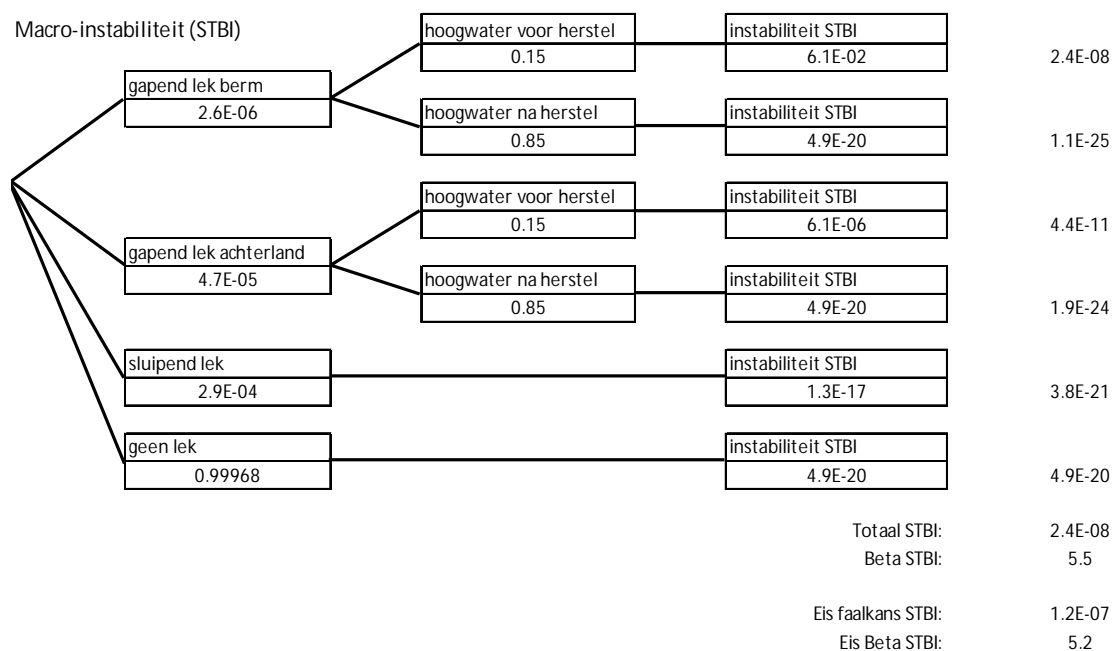
11203450-002-GEO-0002, versie 4.0, 11 augustus 2020, definitief



Figuur 4.6 Betrouwbaarheidsindex voor golfoverslag en erosie binnentalud gegeven locatie gapend lek. Voor x-locaties van het lek tussen  $x=-12$  en  $x=33$  is de dijk direct gedefinieerd als gefaald (centrale zone).

Voor de kritieke berm zone is de semi-probabilistische benadering op de meest kritieke locatie tegen de centrale zone aan uiteindelijk vervangen door een volledig probabilistische stabiliteitsanalyse waarbij de waterstands-afhankelijkheid expliciet in rekening is gebracht (zie bijlage B.7). De aanwezigheid van het hoge voorland kon in de faalkansanalyse in rekening worden gebracht, resulterend in een gunstigere betrouwbaarheidsindex van  $\beta = 1.6$  op de kritieke locatie (rand van de berm zone tot de kern zone).

De integrale faalkansanalyse voor dit faalmechanisme is weergegeven in de gebeurtenissenboom in Figuur 4.7. Deze figuur laat zien dat het dijkontwerp voldoet aan de faalkanseis rekening houdend met leiding falen. De totale faalkans wordt gedomineerd door een potentieel gapend lek in de berm, met een voorwaardelijke faalkans van ca. 6 %. Deze faalkans bijdrage is in sterke mate bepalend voor het eindantwoord en daarmee ook de kans op een gapend lek in de berm zone (zie sectie 3.3).



Figuur 4.7 Gebeurtenissenboom met resultaten voor macro-instabiliteit binnenwaarts (STBI)



De hier berekende faalkansen zijn gebaseerd op de restprofielbenadering volgens ENW (2009). In principe is het denkbaar dat in eerste instantie minder veiligheidsrelevante afschuivingen falen van de leiding kunnen triggeren door extra belasting, waardoor wederom kritieke situaties kunnen ontstaan. Dit soort 'cascade-effecten' zouden in de gebeurtenissenboom kunnen worden geaccommodeerd. Dat is hier echter niet gedaan omdat de alle potentiële glijcirkels voor de voorliggende geometrie een faalkans hebben lager dan de faalkanseis, waardoor de bijdrage van mogelijke cascade-effecten in dit geval verwaarloosbaar is in termen van de faalkansbijdrage.

#### 4.5.3 Macro-instabiliteit buitenwaarts

Macro-instabiliteit buitenwaarts is voor de locatie van de leiding kruising niet kritiek in verband met het hoge en brede voorland (uitgangspunt is dus dat het voorland aanwezig blijft). De analyse heeft geleid tot een betrouwbaarheidsindex van  $\beta = 6.6$  (zie bijlage B). De faalkans voor macro instabiliteit buitenwaarts is twee ordes lager dan voor macro-instabiliteit binnenwaarts. De faalkans wordt bepaald door de situatie met een gapend lek in het voorland grenzend aan de centrale zone.

### 4.6 Interne erosie (STPH)

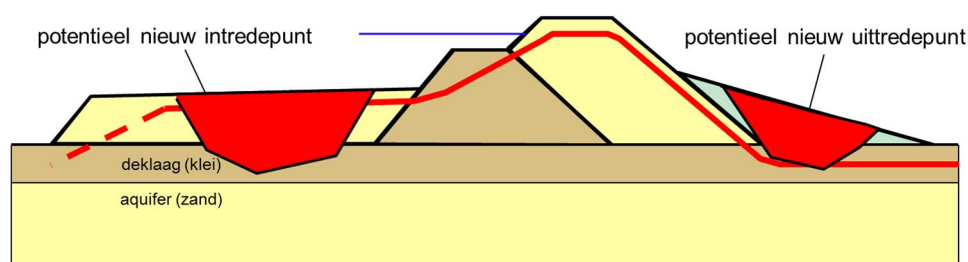
#### 4.6.1 Faaldefinitie en modellering effecten van leiding falen per zone

Voor interne erosie (STPH) zijn de grenstoestanden opbarsten, heave en piping beschouwd met de rekenmodellen volgens WBI, waarbij voor piping met de aangepaste rekenregel van Sellmeijer is gerekend.

Zoals voor macro-instabiliteit is voor piping bij een *sluipend lek* uitgegaan van een waterspanning schematisering voor een volledig verzadigd dijklichaam, onafhankelijk van de leklocatie. Het effect hiervan is overigens beperkt, omdat bij piping toch van een freatisch grondwatervniveau gelijk aan het maaiveld niveau moet worden uitgegaan.

Voor een *gapend lek* zijn de effecten als volgt gemodelleerd per zone (zie ook schematische weergave in Figuur 4.8):

- Een erosiekrater in de voorlandzone vormt een nieuw intredepunt ter plekke van het lek (diepste punt krater). Dit uitgangspunt is conservatief, omdat door de dikte van het voorland boven de watervoerende zandlaag een nieuw intredepunt zeer onwaarschijnlijk is.
- Voor een erosiekrater in de bermzone of achterlandzone is de geometrie voor de aanwezigheid van de krater aangepast. De dikte van het kleipakket in de achterlandzone is niet met zekerheid bekend en dient nog te worden geverifieerd.

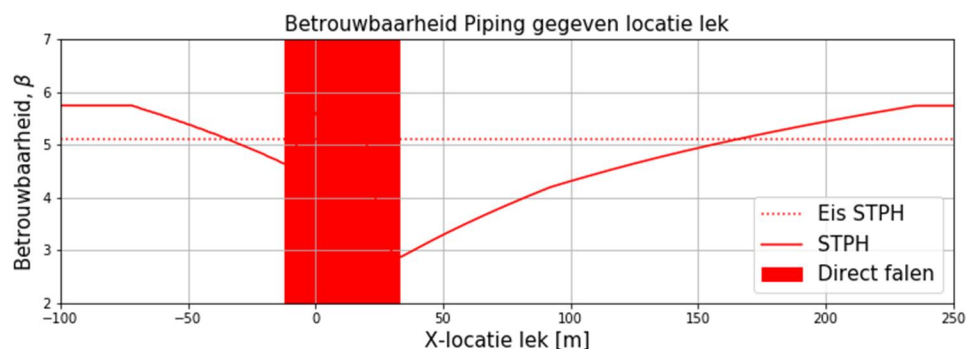


Figuur 4.8 Schematische weergave effecten gapend lek op interne erosie afhankelijk van locatie

Vervolgens is voor de hele doorsnede voor iedere meter een uplift, heave en piping analyse gemaakt, en is de meest kritieke locatie per zone gekozen om de faalkans te bepalen.

#### 4.6.2 Gebeurtenissenboom en resultaten

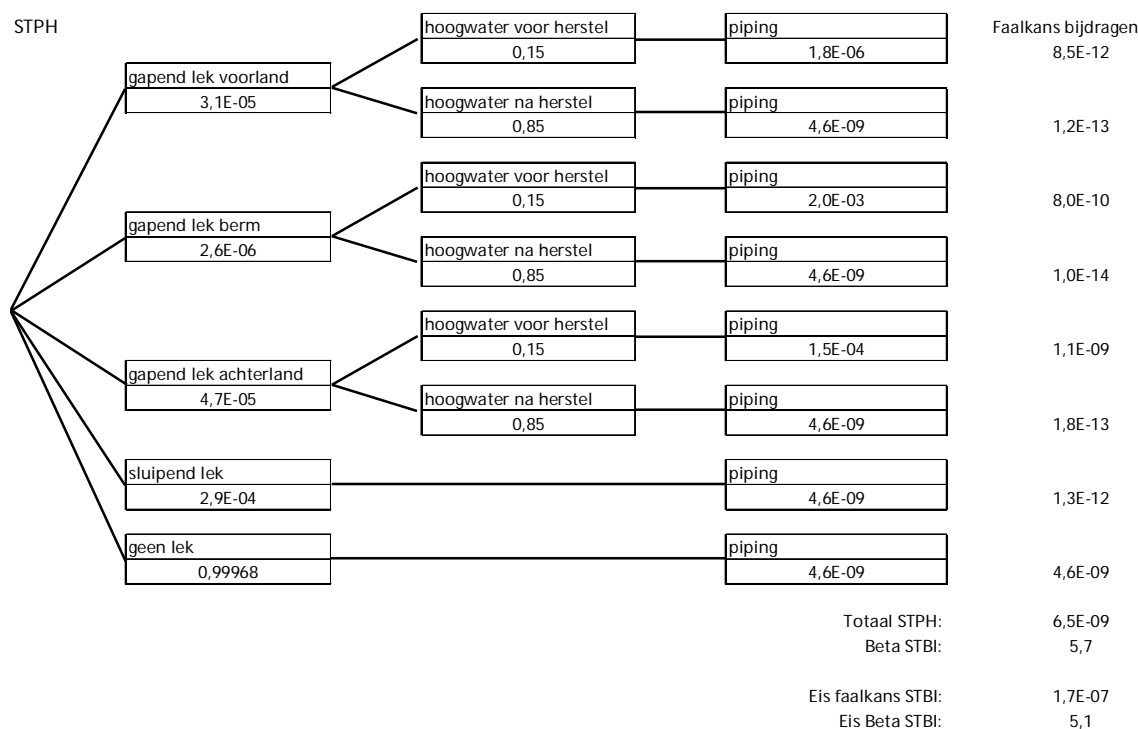
De resultaten van de faalkansanalyse voor piping (volledig probabilistisch, dus ook inclusief volledige kansverdeling waterstanden) gegeven een gapend lek zijn weergegeven in Figuur 4.9. Bij het ontstaan van een nieuw intredepunt door een gapend lek in het voorland zakt de betrouwbaarheid onder de vereiste waarde; bij een gapend lek in de berm zone neemt de betrouwbaarheid verder af.



Figuur 4.9 Voorwaardelijke faalkans interne erosie als functie van de locatie van een gapend lek

In de modellering is bij het bepalen van de kwelweglengte rekening gehouden met de hoogte van het voorland en de dikte van de slecht doorlatende kleilaag. Het intredepunt bij afwezigheid van een gapend lek ligt op  $x = -72$  m.

De gebeurtenissenboom in Figuur 4.10 combineert de resultaten uit Figuur 4.9 met de kansen op leiding falen per zone. De totale faalkans voor interne erosie voldoet aan de gestelde eis. De belangrijkste bijdragen aan de faalkans zijn de scenario's 'geen lek' en niet tijdig herstelde gapende lekken in de berm en achterland zone. Ook voor dit faalmechanisme is de aanname van volledig herstel van de gevolgen van een gapend lek binnen 4 weken niet kritiek, zelfs zonder rekening te houden met de kans op herstel wordt aan de gestelde eis voldaan.



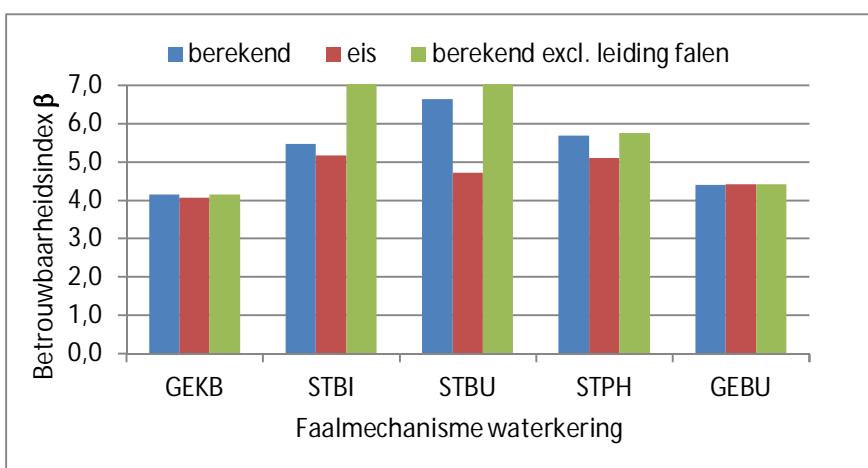
Figuur 4.10 Gebeurtenissenboom met resultaten voor interne erosie (STPH)

#### 4.7 Samenvatting resultaten

De in voorgaande secties berekende faalkansen, rekening houdend met zowel de kans op als de effecten van leiding falen per faalmechanisme van de waterkering, staan samengevat in Tabel 4.1 en in de bijbehorende Figuur 4.11.

Tabel 4.1 Samenvatting faalkansen per faalmechanisme van de waterkering

	Faalkans berekend		Faalkans eis		Faalkans excl. leiding falen		Bepalend scenario
	Beta		Beta		Beta		
Overloop / overslag en erosie (GEKB)	1.7E-05	4.1	2.4E-05	4.1	1.7E-05	4.1	geen lek
Macro-instabiliteit binnenwaarts (STBI)	2.4E-08	5.5	1.2E-07	5.2	< 1E-10	> 6	gapend lek in berm zone
Macro-instabiliteit buitenwaarts (STBU)	1.6E-11	6.6	1.2E-06	4.7	< 1E-10	> 6	gapend lek in voorland
Interne erosie (STPH)	6.5E-09	5.7	1.7E-07	5.1	4.6E-09	5.7	geen lek
Graserosie buitentalud (GEBU)	6.0E-06	4.4	5.0E-06	4.4	5.0E-06	4.4	geen lek



Figuur 4.11 Berekende en vereiste betrouwbaarheidsindices per faalmechanisme van de waterkering (voor afkortingen zie Tabel 4.1)

De betrouwbaarheid voldoet voor alle onderzochte faalmechanismen aan de gestelde eisen. Voor overslag en erosie binnentalud bevat het ontwerp weinig marge, zodat de situatie zonder lekkende leiding de faalkans bepaalt. De extra bijdrage aan de faalkans door een scenario met gapend lek in de centrale zone is de dominante bijdrage door de leiding, maar deze verhoogt de faalkans niet significant, omdat de kans van optreden van een gapend lek laag is. Voor macro-instabiliteit is met toepassen van een restprofielbenadering aangetoond dat het meest kritieke scenario van een gapend lek in de berm een faalkans geeft die voldoet aan de gestelde eis voor macro-instabiliteit. Ook voor interne erosie zijn de extra bijdragen aan de faalkans door het leiding falen niet kritiek, omdat in het ontwerp enige marge aanwezig is door het aanwezige voorland.

Gezien de conservatieve uitgangspunten in de vaststelling van de faalkans van de leiding en de marges in de faalkans van de waterkering is de conclusie dat het huidige ontwerp zonder een vervangende waterkering voldoende veilig is.

Leiding falen met een gapend lek levert een belangrijk aandeel aan de faalkansbijdrage, afhankelijk van het faalmechanisme in verschillende zones. Tabel 4.2 bevat de resultaten van een gevoeligheidsanalyse waarbij de marge op de kans op een gapend lek is bepaald. Deze is uitgedrukt als de ratio van de kans waarmee precies wordt voldaan aan de faalkanseis, en de in de analyse gebruikte faalkans.

Tabel 4.2 Gevoeligheid eindresultaat voor kans op gapend lek: ratio berekende versus kritieke kans op gapend lek per faalmechanisme

Overloop / overslag en erosie (GEKB)	15	(gapend lek in centrale zone)
Macro-instabiliteit binnenwaarts (STBI)	5	(gapend lek in berm)
Interne erosie (STPH)	90	(gapend lek in berm)

De belangrijkste bijdrage van leiding falen is dus duidelijk aan te wijzen als zijnde het scenario van een gapend lek in de centrale zone en de berm van de dijk. Alhoewel de situatie voldoet aan de eis is een gerichte monitoring naar het optreden van lekkage een mogelijkheid om de kans op het optreden van een gapend lek zo laag mogelijk te houden (nader uitgewerkt in sectie 5.3.3).

In de volgende sectie 4.8 wordt ingegaan op andere faalmechanismen die niet volledig kwantitatief zijn uitgewerkt, maar die echter wel aandacht behoeven in een ontwerp oplossing zonder vervangende waterkering.

#### 4.8 Andere faalmechanismen

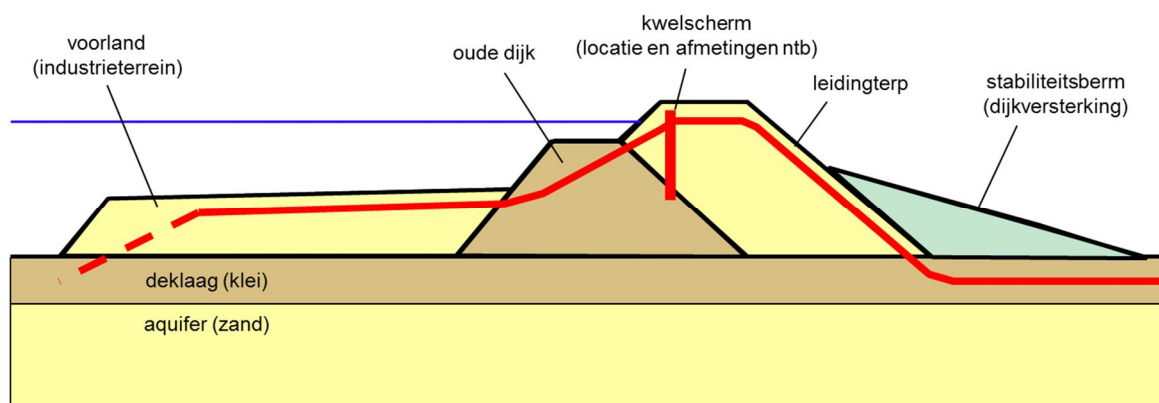
De belangrijke faalmechanismen voor het dijkontwerp zijn in dit hoofdstuk kwantitatief uitgewerkt met een integrale faalkansanalyse. Daarnaast zijn er nog andere faalmechanismen of faalscenario's denkbaar waar in deze sectie kort op wordt ingegaan.

##### Graserosie buitentalud (GEBU)

Het is niet te verwachten dat graserosie een kritiek faalmechanisme wordt voor de beschouwde leiding kruising. De verwachting is dat een sluipend lek beperkte invloed heeft omdat graserosie toch altijd optreedt in een zone waar de grond onder de graszode verzadigd is. Een gapend lek in de berm en achterland zone zijn voor dit faalmechanisme niet relevant. Enkel een gapend lek in het voorland leidt tot een extra bijdrage aan de faalkans. Zoals in bijlage B.9 uitgewerkt leidt deze extra bijdrage niet tot een significante verhoging van de faalkans, zelfs als direct falen bij ontstaan van een gapend lek wordt aangehouden.

##### Interne erosie langs de leiding

Door verschilzettingen tussen leiding en omliggende grond is het mogelijk dat er ruimte ontstaat rondom de leiding in het hoogstaande booggedeelte. Hier zal in het ontwerp rekening mee te moeten worden gehouden bijvoorbeeld door het aanleggen van een kwelscherm zoals schematisch weergegeven in Figuur 4.12.



Figuur 4.12 Schematische weergave kwelscherm ter mitigatie van interne erosie in holle ruimtes rondom de leiding

*Micro-instabiliteit*

Leiding falen in de centrale zone met een gapend lek wordt beschouwd als direct falen en speelt geen rol bij het optreden van micro instabiliteit. Micro-instabiliteit kan mogelijk een rol spelen bij een sluipend lek. Er kunnen dan ter plaatse van het binnentalud hogere waterdrukken ontstaan. Door de hoge ligging van de aan te leggen berm aan de binnendijkse zijde zal het gevolg van enige instabiliteit door deze hogere waterdrukken zeer gering zijn. Bovendien is deze situatie alleen relevant bij hoogwater als het waterniveau stijgt tot boven de oude kleidijk met een zeer kleine kans van voorkomen. Ook voor dit verschijnsel biedt het kwelscherm in Figuur 4.12 een oplossing.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

Dit hoofdstuk bevat de belangrijkste conclusies ten aanzien van de toepasbaarheid van een integrale faalkansanalyse voor de kruisende vloeistofleiding (5.1), de kansrijkheid van een ontwerp oplossing zonder vervangende waterkering (5.2) en de voorwaarden en aanbevelingen voor het ontwerp van de beschouwde leidingkruising zonder vervangende waterkering in het kader van de dijkversterking Gorinchem-Waardenburg (5.3).

### 5.1 Toepassing integrale faalkansanalyse voor kruisende waterleiding

Een integrale faalkansanalyse van een dijk met kruisende vloeistofleiding is mogelijk. De belangrijkste complicatie bij een leiding kruising ten opzichte van een parallelle leiding is dat een sluipend of een gapend lek op meerdere locaties in de dwarsdoorsnede kunnen optreden. Bij de faalkansanalyse is voor de waterkering een zone indeling toegepast waarbij binnen elke zone de kans op leiding falen en de gevolgen van leiding falen kunnen worden bepaald. Indien nodig zou een dergelijke zone-indeling nog verder worden verfijnd als de faalkansen van de leiding en de waterkering binnen de zones verschillen.

Er is van grof naar fijn gewerkt door onder andere de faalkans per dijkfaalmechanisme op de meest ongunstige locatie binnen een zone te bepalen; verfijning van de zone-indeling is hierbij niet nodig gebleken.

De TNO deelstudie was gericht op het vaststellen van de faalkans van de grote diameter watertransportleiding. Door de beperkte casuïstiek van faalgevallen van waterleidingen met grote diameters is gebruik gemaakt van faalgevallen van waterleidingen met kleinere diameters. Een combinatie van de beschikbare data van waterleidingen en de uitgebreidere casuïstiek van olie- en gasleidingen heeft het mogelijk gemaakt om een (conservatieve) schatting van de faalkans te realiseren. Deze is vervolgens nog meer in detail uitgewerkt om recht te doen aan locatie-specifieke kenmerken. De faalkans is bepaald voor een situatie met een sluipend lek en een gapend lek.

### 5.2 Kansrijkheid ontwerp zonder vervangende waterkering

#### 5.2.1 Conclusie omtrent ontwerp

De leiding kruist de waterkering onder het ontwerppeil (waterstand bij de norm). Volgens de standaard eisen in de NEN 3651 (NEN 2020f) is een waterstaatkundige voorziening in vorm van een damwandconstructie nodig. Met betrekking tot de standaard eisen in de NEN 3651 voldoet de leiding ook niet aan de eisen ten aanzien van de importantiefactor en de relatieve sterkte. De resultaten van de in dit rapport beschreven integrale faalkansanalyse tonen echter aan dat een ontwerp oplossing met handhaven van de huidige leiding en zonder damwandconstructie voldoet aan de gestelde faalkanseis met betrekking tot waterveiligheid. Een dijkverbeteringsontwerp zonder damwandconstructie is daarom kansrijk. Voorwaarde is dat de uitgangspunten in de faalkansanalyse worden geverifieerd door monitoring en dat de leiding wordt versterkt ter plaatse van de mangaten zodat deze voldoet aan de eisen voor de sterkteberekeningen volgens NEN 3650.

De gevoeligheidsanalyse ten aanzien van de kans op een gapend lek in de kritieke zones per faalmechanisme geeft tevens aan dat bovenstaande conclusie als robuust te beschouwen is. Dit wordt ondersteund door het feit dat in de werkwijze van grof naar fijn nog niet alle mogelijkheden tot aanscherping van de faalkans van de waterkering zijn benut. Met andere woorden betekent dit dat er nog betrouwbaarheidsmarges zijn die zouden kunnen worden

gebruikt als de situatie niet aan de eis zou voldoen. Om een voorbeeld te noemen zijn alle analyses in 2D gedaan. Dat betekent dat bijvoorbeeld in stabiliteitsanalyses wordt verondersteld dat eventuele erosiekrater oneindig lang is in lengterichting van de dijk terwijl de afmetingen beperkt zijn (ca. 15 m). Dit is een geringe afstand waardoor in werkelijkheid 3D effecten gunstig werken die niet in de analyse zijn beschouwd.

#### 5.2.2 Mogelijke aanscherpingen van de modellering

In de werkwijze van 'grof naar fijn' is de analyse tot een detailniveau doorgezet waarmee een robuuste conclusie voor deze situatie met de huidige uitgangspunten kon worden getrokken. Bij veranderende uitgangspunten of voor verdere onderbouwing van de betrouwbaarheidsmarges kan verder worden verfijnd. Hieronder worden enkele mogelijkheden tot aanscherping benoemd:

- 1 Voor zover nog niet gebeurd kunnen de faalmechanismen *volledig probabilistisch* worden geanalyseerd in plaats van semi-probabilistische benaderingen. De verwachting is dat vooral het expliciet rekenen bij verschillende waterstanden tot een nog gunstiger beeld zal leiden in verband met het hoge en brede voorland.
- 1 De afmetingen van de *erosiekrater* berusten nu op rekenwaarden; ook deze kunnen volledig probabilistisch worden gemodelleerd.
- 2 Gezien de beperkte invloed van een *sluipend lek* is gerekend met een volledig verzadigd dijklichaam onafhankelijk van de locatie van het lek. Een realistischere modellering is mogelijk, ook rekening houdend met verschillende effecten per zone.
- 3 Voor een *gapend lek* is per zone uitgegaan van de locatie met de meest negatieve invloed op het beschouwde faalmechanisme. Indien nodig kan de zone indeling worden verfijnd, of kan met 'uitmiddeling' van de faalkans binnen een zone rekening worden gehouden.

Deze verfijningsmogelijkheden zijn overigens breder toepasbaar en niet beperkt tot te specifiek beschouwde leiding kruising.

### 5.3 Ontwerp leidingkruising GoWa-Dunea

Zoals in de conclusies beschreven is de integrale faalkansanalyse voor de beschouwde leiding kruising mogelijk en is een ontwerp zonder vervangende waterkering kansrijk. In deze sectie worden voorwaarden beschreven ten aanzien van het uit te werken dijkontwerp (5.3.1), verdere aandachtspunten voor het ontwerp zelf (5.3.2), en monitoring (5.3.3).

#### 5.3.1 Te verifiëren uitgangspunten

Bij de voorliggende studie is gebruik gemaakt van op korte termijn beschikbare data. Waar nodig, bijvoorbeeld bij gebrek aan data, zijn conservatieve aannames gemaakt. Voor de nadere uitwerking van een ontwerp zonder damwandconstructie is het belangrijk voor de ontwerpende partij, de waterkeringbeheerder en de leidingbeheerder om alle uitgangspunten te verifiëren. Aanbevolen wordt om dit ook in het kader van de vergunningverlening vast te leggen.

Hieronder worden de belangrijkste aandachtspunten benoemd:

- 1 De *ondergrondschematisering* en grondeigenschappen zijn conservatief aangenomen op basis van beschikbare gegevens in de buurt van de leidingkruising. In het kader van deze studie is geen aanvullend grondonderzoek uitgevoerd. Dit zal in het vervolgtraject nog moeten worden geverifieerd op basis van lokaal grondonderzoek. Indien nodig is dan met meerdere ondergrond-scenario's rekening te houden voor macro-instabiliteit en interne erosie. In deze studie is ervan uitgegaan dat in ongunstige zin afwijkende ondergrondscenario's zeer onwaarschijnlijk zijn.

11203450-002-GEO-0002, versie 4.0, 11 augustus 2020, definitief

- 2 Voor het faalmechanisme golfoverslag en erosie kruin/binnentalud (en andere faalmechanismen met lange auto-correlatielengtes) kan het in algemene zin noodzakelijk zijn bij aanwezigheid van meerdere leidingkruisingen (of andere voor het faalmechanisme relevante NWO's) de lengte-effect factor ter bepaling van de betrouwbaarheidseis te verhogen. Falen van de verschillende leidingkruisingen (of andere NWO's) is immers grotendeels onafhankelijk van elkaar, waardoor er een groter lengte-effect ontstaat dan bij een groene dijk. Voor deze specifieke leidingkruising is de bijdrage van leiding falen op golfoverslag en erosie binnentalud gering en daarmee verwaarloosbaar voor het lengte-effect. Wel wordt aanbevolen om in ontwerp en beoordeling vanaf het begin rekening te houden met de aanwezigheid van NWO's in het betreffende dijktraject bij het vaststellen van de betrouwbaarheidseisen.
- 3 De faalkans is nu gebaseerd op een van de *twee parallelle leidingen* in de veronderstelling dat er maar een leiding tegelijk in bedrijf is. Indien toch nodig kan ook met de faalkans van twee leidingen rekening worden gehouden. De faalkans wordt dan maximaal een factor 2 groter (bij sterke correlatie minder). Uitgangspunt van de analyse is ook dat er geen andere relevante leidingen in de invloed zone van de Dunea waterleidingen aanwezig zijn.
- 4 In de bepaling van de kans op hoogwater voor herstel van een erosiekrater door een gapend lek wordt een hersteltijd van 4 weken aangehouden, uitgaande van een herstel gelijkwaardig aan de dijk vóór optreden van schade door leiding falen. Door de waterkeringbeheerder is een inschatting te maken of dit haalbaar is en welke eisen aan het herstel en aan de calamiteitenorganisatie te stellen zijn. Volledig herstel van het waterkerend vermogen is overigens niet per se nodig. Per faalmechanisme kan worden uitgewerkt welke maatregelen met welke *hersteltijd* nodig zijn om aan de faalkanseisen te voldoen.
- 5 Voor leidingsterkte en erosiekrater berekeningen wordt de maximaal aanwezige *werkdruk* van 5,7 bar aangehouden, en niet de ontwerpdruk van 11 bar omdat de werkdruk in de praktijk niet wordt overschreden. Er dient nog een systeemanalyse van de waterleiding te worden uitgevoerd, waaruit blijkt dat dit uitgangspunt juist is. In deze analyse kunnen waterslag effecten worden meegenomen. Bij het operationeel beheer kan dit uitgangspunt worden gemonitord door drukmetingen ter plaatse van het pompstation. Het is eventueel te overwegen om de maximale werkdruk in de vergunning vast te leggen als de resultaten van deze analyse worden gebruikt ter onderbouwing van de veiligheid van concrete dijkversterkings-maatregelen. De drukbeveiliging/afstelling dient hiermee dan in overeenstemming te worden gebracht.
- 6 De locatie van de *staalsoort/-kwaliteit, wanddikten en materiaalovergangen* van de kruising naar de veldstrekking is niet precies bekend en nu aangenomen bij de buitenteen van de oude dijk en bij de binnenteen van de huidige dijk. Indien de aanname niet juist is zullen de leidingsterkte-berekeningen moeten worden aangepast. Dit moet worden geverifieerd binnen de kritieke impactzone (zie bijlage I).
- 7 Er is geen *wanddikte afname* geconstateerd ter plaatse van een in de kruin vrij gegraven deel van de leiding. Voor het overige deel van de leiding is de wanddikte niet gemeten. Dit dient nog te worden gedaan. De kritieke impactzone waarin de meting nodig is wordt beschreven in bijlage I.
- 8 De aanwezige mangaten in de leiding moeten worden aangepast, vervangen of verwijderd.
- 9 Modelmatige reconstructie van de zettingen was nodig omdat de beschikbare zettingsmetingen inconsistenties vertonen en daarom niet betrouwbaar worden geacht. De *zettingen* die effect hebben op de leiding zijn berekend aan de hand van beschikbare gegevens. Naast grondparameters betreft het gegevens over in het verleden uitgevoerde ophogingen en bovenbelastingen. Bovenbelastingen vanuit eventuele permanente opslag bij de fabriek in het voorland zijn hier door gebrek aan data nog niet bij betrokken.



11203450-002-GEO-0002, versie 4.0, 11 augustus 2020, definitief

- Er zal moeten worden nagegaan of er permanente opslag heeft plaats gevonden en of deze belastingen een significant effect hebben.
- 10 Voor macro-instabiliteit zijn de kritieke glijcirkels op basis van de *restprofielbenadering* volgend TRAS (ENW, 2009) gedefinieerd. Voor situaties met erosiekraters in de geometrie is een dergelijke aanpak noodzakelijk om relevante glijvlakken te hanteren. Tegelijk maakt het dijkversterkingsproject mogelijk andere keuzes te maken ter bepaling van kritieke glijvlakken, bijvoorbeeld voor de situaties zonder erosiekrater.
  - 11 In de analyses is rekening gehouden met het huidige aanwezige *voorland*, zowel voor de piping analyse (STPH) als voor de kans op falen met een gapend lek in de centrale zone. Om te waterkerende functie van het voorland te borgen zijn maatregelen door de waterkeringbeheerder nodig.

### 5.3.2 Aandachtspunten

De volgende voorwaarden voor een ontwerp zonder vervangende waterkering zijn uit de uitgevoerde analyses naar voren gekomen:

- 1 In de analyses is uitgegaan van een berm met relatief flauwe helling (1:20) zonder bermshoulder omdat deze geometrie gunstig bleek te zijn in termen van verschilzettingen en de gerelateerde belasting op de leiding. Het *bermontwerp* kan nog worden geoptimaliseerd, zowel in technisch opzicht als qua landschappelijke inpassing.
- 2 De flauwe bermhelling heeft als aanvullend voordeel dat er geen glijcirkels zijn die in eerste instantie niet kritiek zijn volgens de faaldefinitie met restprofiel, maar die wel een hogere kans van optreden hebben en vervolgens extra belasting op de leiding tot gevolg zouden kunnen hebben. Een eventueel aangepast bermontwerp is op dergelijke tweede orde effecten te controleren.
- 3 Voor het mitigeren van zowel interne erosie langs mogelijke holle ruimtes langs te leiding als micro-instabiliteit moet een *kwelscherm* worden geplaatst (zie 4.8).

### 5.3.3 Monitoring

Indien gekozen wordt voor een oplossing zonder vervangende waterkering zou dit een bijzondere situatie zijn. Door de toepassing van het veiligheidsraamwerk waarbij de toepassing van de integrale faalkansanalyse uitwijst dat de veiligheid van het ontwerp aan de gestelde eis voldoet is het noodzakelijk om vast te stellen dat cruciale uitgangspunten juist zijn en niet afwijken in negatieve zin gedurende de restlevensduur. Dit kan doormiddel van monitoring.

Zoals aangegeven in hoofdstuk 3 dienen de volgende uitgangspunten te worden gemonitord:

#### A. Inwendige druk

De werkdruk is maximaal 5,7 bar. In de analyse is uitgegaan van een maximale druk van 6 bar. Zoals in 5.3.1 aangegeven kan worden overwogen om dit in de vergunning vast te leggen en de drukbeveiliging daarop af te stemmen. In dit kader zou in aansluiting op de resultaten van een systeemanalyse van de waterleiding met de grenswaarden van de pompdrukken, het monitoren van de drukken bij de pompen op overschrijding kunnen worden opgenomen.

#### B. Zettingen

Uitgangspunt is dat de leiding moet voldoen aan de NEN 3650 sterkteberekeningen. Hierbij spelen optredende zettingen een belangrijke rol. Aanbevolen wordt om de zettingen jaarlijks in te meten om adequate gegevens voor de 12-jaarlijkse beoordeling van de waterkering te genereren. Aangezien de grondvervormingen als uitgangspunt zijn gebruikt in de analyse is het nodig om de grondvervormingen te monitoren. Direct na aanleg van de binnenberm is mogelijk een hogere meetfrequentie wenselijk.

### *C. Wanddikte*

Corrosie en de gerelateerde afname in wanddikte leiden tot afname van de sterkte van de leiding. Bij watertransportleidingen ontbreekt de periodieke verificatie op wanddikte veelal, zoals in de olie- en gaswereld in de vorm van periodiek 'intelligent pigging' en is in feite sprake van een ontbrekende barrière. De afname in wanddikte sinds aanleg van de leiding is verwaarloosbaar klein op basis van de beschikbare metingen. De beschikbare meetgegevens zijn echter beperkt en gezien de veiligheidsrelevantie is het van belang om de wanddikte periodiek voor de hele kruising betrouwbaar in kaart te brengen. Als belangrijke randvoorwaarde voor de periodieke herbeoordeling geldt in ieder geval dat dit voor de 12-jaarlijkse beoordeling moet worden gedaan. Bijvoorbeeld toepassing van NEN 3655 (NTA 8000) kan tot kortere termijnen aanleiding geven.

Naast de controle van de uitgangspunten is in de analyse vastgesteld dat de belangrijkste bijdrage van leiding falen duidelijk is aan te wijzen als zijnde het scenario van een gapend lek in de centrale zone en de berm van de dijk. Hoewel de situatie voldoet aan de eis is een gerichte monitoring naar het optreden van lekkage een mogelijkheid om de kans op het optreden van een gapend lek zo laag mogelijk te houden. Gerichte monitoring van lekken is dus een aanbeveling.

#### *Lekdetectie*

Aangezien de effecten van een gapend lek bij deze dijk kruising invloed hebben op de waterkering is het aan te bevelen lekkages te monitoren, bijvoorbeeld door middel van glasvezelkabels. Als verhoging van waterspanningen wordt gedetecteerd duidend op de aanwezigheid van een sluipend lek, kan mogelijk worden ingegrepen voordat het lek groter wordt en overgaat in een gapend lek met een groot uitstroomdebiet.

#### *Monitoringplan*

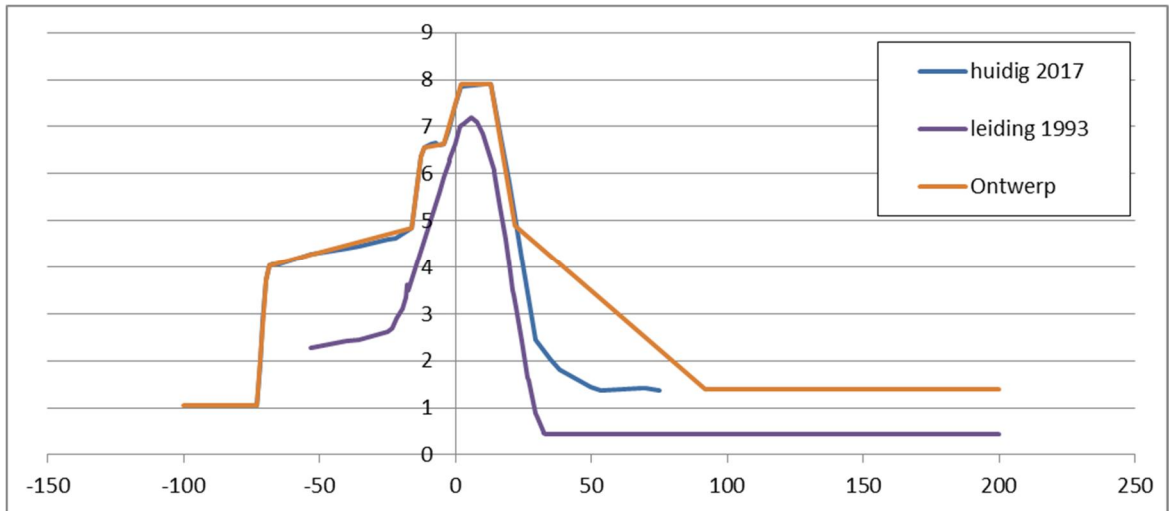
Voor de monitoring zijn voldoende betrouwbare technieken in te zetten. Tevens is een locatie-specifiek monitoringsplan uit te werken met signaleringswaarden en interventie waarden. Het rapport DNV-GL (2018), opgenomen als bijlage H, biedt hier concrete aanknopingspunten en een uiteenzetting van de meest voor de hand liggende opties qua monitoring technieken. De zone waarin monitoring nodig is, is de zone waarin de impact van lekkage van de leiding een negatieve impact heeft op de waterkering. De omvang van deze kritieke impactzone is beschreven in bijlage I.

## **BIJLAGEN**

- A Doorsnede gegevens
- B Faalkansanalyse dijk
- C Faalkans leiding (rapport TNO)
- D Leiding sterkte berekeningen (rapport r+k Consulting Engineers)
- E Zettingen (notitie Deltares)
- F Hoogwater vervormingen (notitie Deltares)
- G Grondwaterstromingsanalyses voor kritieke gat afmetingen (notitie Deltares)
- H Monitoring (rapport DNV-GL)
- I Impactzone (notitie POV K&L)
- J Enkelvoudige damwand (notitie Deltares)



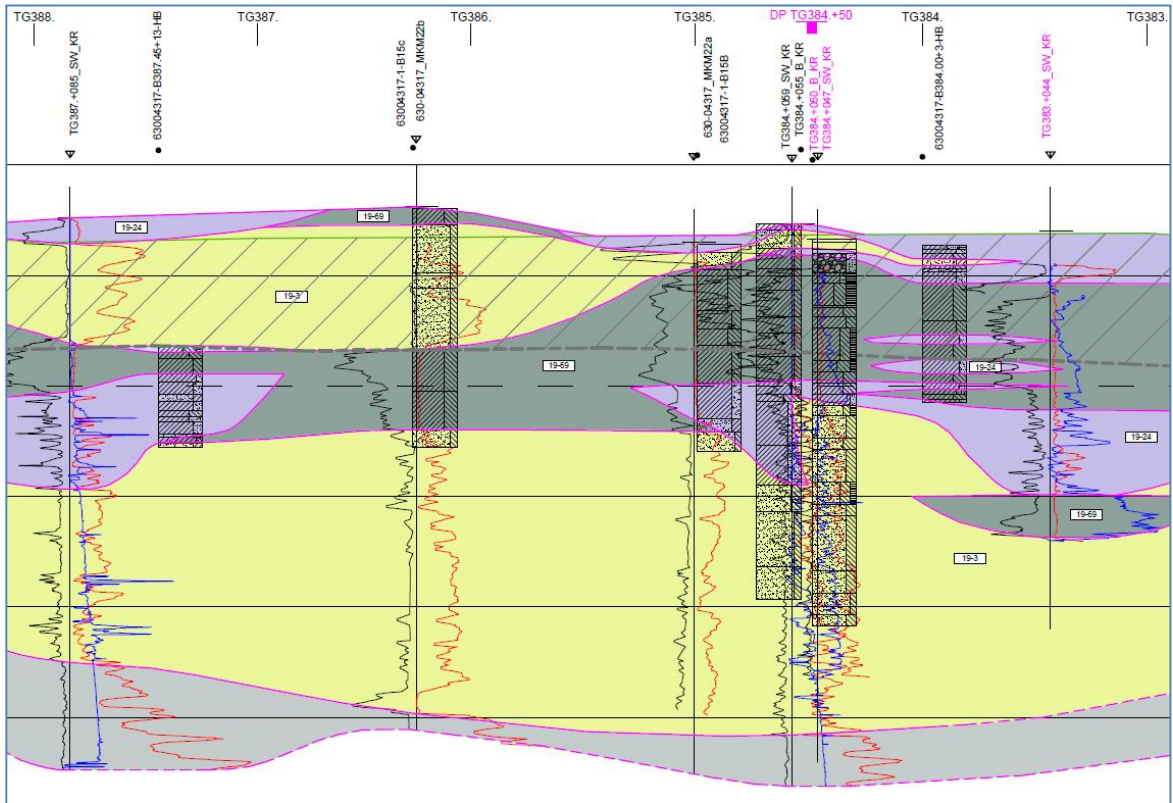
voor de dijkversterking in 2025 zijn in Figuur A.3 opgenomen. Het ontwerpprofiel betreft een berm met een 1:20 talud.



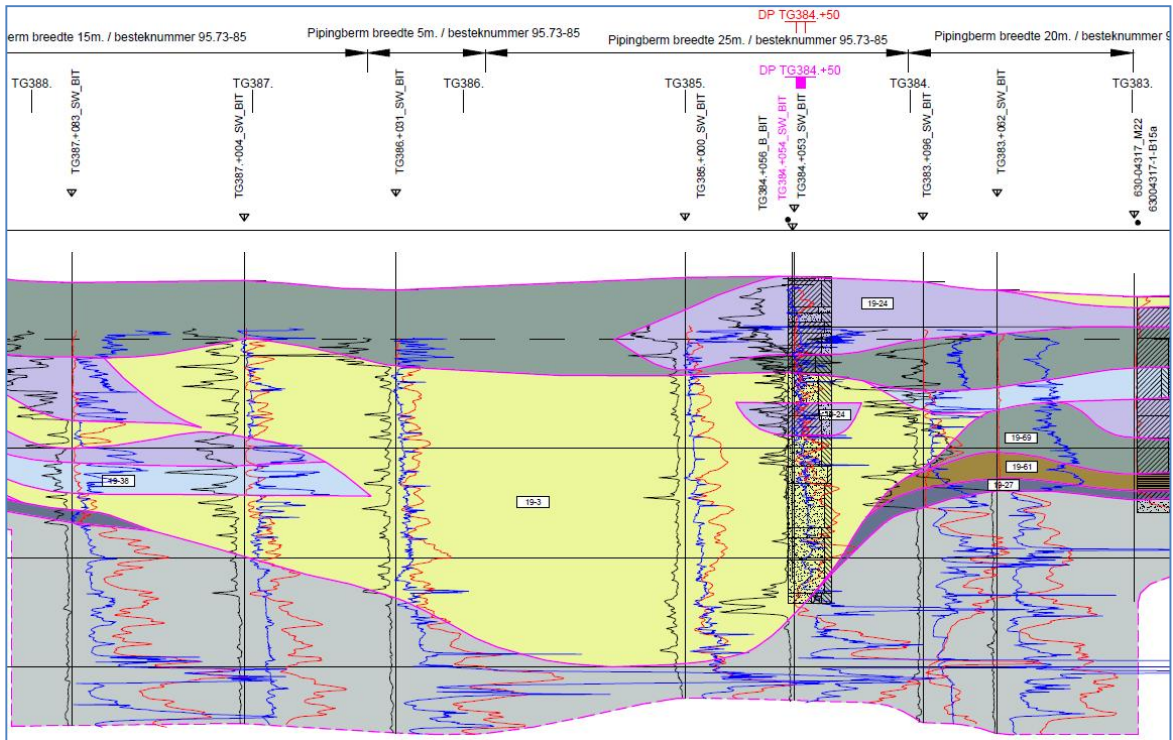
Figuur A.3 Profiel en ligging top van de leiding. Niet op schaal.

#### A.1.3 Grondopbouw

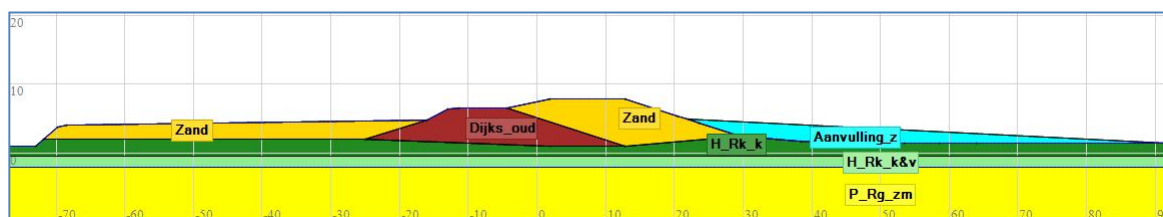
De grondopbouw is afgeleid op basis van de aangeleverde D-GEO berekening *gvS\_TG386\_STBI\_UpI\_MHW\_B 30x2\_S0.32.sti* en de geotechnische lengteprofielen (Figuur A.4 en Figuur A.5). Het materiaal van de leidingterp is op basis van het geotechnisch lengteprofiel en de foto's van de ontgraving van de leiding (Figuur A.7) vastgesteld als zand. De ophoging van het voorland (uit 1969) is aangenomen zijnde zand, aangezien het hier gaat om de fundering van het bedrijfsterrein van de steenfabriek. De aangenomen grondopbouw in het profiel is opgenomen in Figuur A.6. In het kader van dit rapport is geen aanvullend grondonderzoek uitgevoerd. Er zijn bij de uitwerking conservatieve aannames gedaan op basis van beschikbare informatie in de buurt van de leidingkruising. Dit zal in het vervolgtraject nog moeten worden geverifieerd op basis van lokaal grondonderzoek.



Figuur A.4 Geotechnisch lengteprofiel op de kruin van de dijk.



Figuur A.5 Geotechnisch lengteprofiel aan de teen van de dijk.



Figuur A.6 Profiel en grondopbouw ter plaatse van de leidingkruising. Op schaal.

## A.2 Leiding

De twee kruisende leidingen transporteren ruwwater van Brakel naar Bergambacht. De algemene gegevens van de leiding zijn opgenomen in Tabel A.1. Een foto van de ontgraven leiding is opgenomen in Figuur A.7

Tabel A.1 Gegevens kruisende waterleiding.

Parameter	Waarde	Bron
Bouwjaar	1974	<i>RAPPORT – DEEL B Constructieve beschouwing dijk kruising van Afgedamde Maasleiding met Noordelijke Waaldijk te Vuren Sterktetechnische beschouwing huidige situatie</i> <i>Referentie: WATBF7022R001F1.0</i> <i>Datum: 4 april 2018</i>
Ontwerpdruk	11 bar	Idem
Maximaal aanwezige druk	5,7 bar	“De Afgedamde Maasleidingen transporteren ruwwater van Brakel naar Bergambacht. In Brakel heeft Dunea twee pompen staan, te weten Pomp 10 en Pomp 40. De maximale druk in de leidingen ter plaatse van de pompen is 5,7 barg. Hoewel de druk ter plaatse van de dijk kruising ten gevolge van het hydraulische verlies, lager zal zijn, is de straal van de ontgrondingskuil bepaald met 5,7 barg.” <i>RHDHV (2018). Constructieve berekeningen Afgedamde Maasleiding te Vuren. Ontwerpuitgangspunten voor de vervangende waterkering. 24 april 2018</i>
Diameter leiding (uitwendig)	1,219 m	<i>RHDHV (2018). Constructieve berekeningen Afgedamde Maasleiding te Vuren. Ontwerpuitgangspunten voor de vervangende waterkering. 24 april 2018</i>

Voor de details verwijzen naar de betreffende bijlagen.



*Figuur A.7 Vrijgegraven leiding ter plaatse van de kruin van de waterkering, november 2017.*



## B Faalkansanalyse dijk

In deze bijlage is de integrale faalkansanalyse van de dijk beschouwd. Achtereenvolgens is het volgende opgenomen:

- Berekening van de erosiekrater.
- Faalkanseis.
- Zone indeling van de dijkdoorsnede.
- Hydraulische randvoorwaarden.
- Faalmechanisme *Gras erosie kruin en binnentalud* (GEKB).
- Faalmechanisme *Interne erosie, piping/heave* (STPH).
- Faalmechanisme *Macro-instabiliteit binnenwaarts* (STBI).
- Faalmechanisme *Macro-instabiliteit buitenwaarts* (STBU).
- Faalmechanisme *Graserosie buitentalud* (GEBU).

### B.1 Erosiekrater bij gapend lek

De afmetingen van de erosiekrater zijn ontleend aan Constructieve berekeningen Afgedamde Maasleiding te Vuren Ontwerpuitgangspunten voor de vervangende waterkering bijlage 3 (RHDHV, 2018 kenmerk: WATBF7022N002F0.1), zie Figuur B.1. De berekening van RHDHV is uitgezonderd van de afvoercoëfficiënt uitgevoerd volgens de NEN 3651 (NEN 2020f). Om aan te sluiten bij de NEN 3651 zijn de afvoercoëfficiënten ten opzichte van de RHDHV berekening aangepast volgens:

$$\mu = 0,0002h^2 - 0,02h + 1 \quad \text{voor } 0 < h \leq 50 \text{ mwk}$$

$$\mu = 0,50 \quad \text{voor } h > 50 \text{ mwk}$$

waarin  $h$  de druk in de leiding in meter waterkolom (mwk). De resultaten zijn per gatgrootte opgenomen in Tabel B.1.


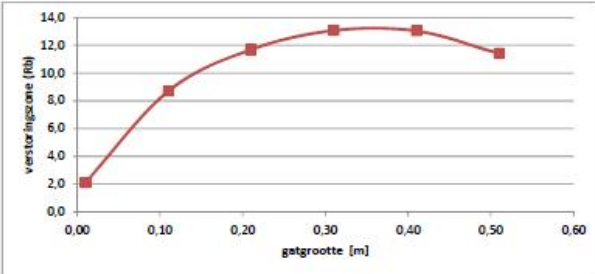
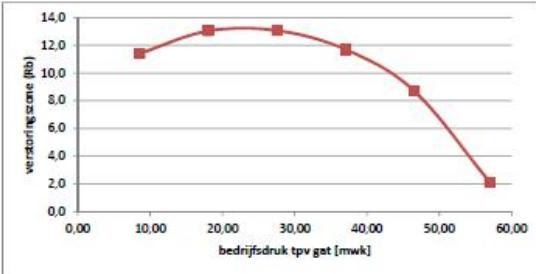
Tabel B.1 Straal erosiekrater.

Gatgrootte	Afvoercoëfficiënt RHDHV	Afvoercoëfficiënt NEN3651	Karakteristieke straal krater RHDHV	Aangepaste karakteristieke straal krater
0,01 m	0,60	0,50	2,1 m	2,4 m
0,11 m	0,70	0,50	8,7 m	9,9 m
0,21 m	0,80	0,53	11,7 m	13,5 m
0,31 m	0,90	0,60	13,1 m	<b>15,0 m</b>
0,41 m	1,00	0,70	13,0 m	14,6 m
0,51 m	1,00	0,84	11,4 m	12,0 m

De karakteristieke straal van de erosiekrater is 15,0 meter. Zoals gebruikelijk is deze rekenwaarde van de straal conservatief bepaald bij de gatgrootte die tot de grootste straal leidt, niet bij de werkelijk verwachte gatgrootte. Indien nodig, kan op dit aspect worden verfijnd door de kansverdeling van de straal probabilistisch te bepalen, o.a. door de kansverdeling van de verwachte gatgrootte te gebruiken. De straal van de erosiekrater in de lengte en breedterichting zijn gelijk aangenomen ( $R_B = R_L$ ). De diepte van de erosiekrater is afhankelijk van de gronddekking op de leiding en is per locatie berekend met de bijbehorende vergelijking uit de NEN3651:

$$D_k = 1,2(D_0 + H)$$

waarin  $D_0$  de uitwendige diameter van de leiding en  $H$  de dekking op de kruin van de leiding. De vergelijkingen voor de kraterafmetingen uit de NEN3651 zijn in principe alleen bedoeld voor een horizontaal maaiveld. Aangezien de relevante kraters in de doorsnede uit dit rapport zich voornamelijk op de nagenoeg horizontale (1:20) berm bevinden is dit niet problematisch. Voor kraters op de kruin en het binnentalud is de dijk, onafhankelijk van de exacte kraterafmeting, direct al gedefinieerd als gefaald (zie B.3).

BEREKENING VERSTORINGSZONE VOOR VLOEISTOFLEIDINGEN			
Project:	Kruising Afgedamde Maasleidingen met Noordelijke Waaldijk		
Betreft:	Bepaling verstoringszone conform NEN 3651 paragraaf A.2.2		
d.d.:	19-4-2018		
Status revisie:	versie 0.2_20-04-2017		
<b>BASISGEGEVENS</b>			
inwendige druk	mwk	57	
uitwendige diameter	m	1,219	
wanddikte	m	0,016	
<b>VERSTORINGSZONE</b>			
Conform NEN3651, bijlage A.2.2			
inwendige diameter van leiding	$D_i$	m	1,19
inwendige oppervlak van de leiding	$A_i$	m <sup>2</sup>	1,11
debiet van het water door de leiding	$q$	m <sup>3</sup> /uur	12500
snelheid van het water door de leiding	$v$	m/s	3,13
dichtheid van de vloeistof	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	1000
versnelling van de zwaartekracht	$g$	m/s <sup>2</sup>	9,81
diameter van gat in leiding ( $d_g$ )	$d_g$	m	0,01    0,11    0,21    0,31    0,41    0,51
gatgrote als percentage van leidingdiameter	%	1%	9%    18%    26%    35%    43%
debiet van het water door het gat	$q$	m <sup>3</sup> /s	0,003    0,287    0,934    1,755    2,485    2,646
bedrijfsdruk ter plaatse van het gat	$h$	mwk	57,00    46,55    37,05    27,55    18,05    8,55
hydraulisch vermogen uitstroming	$P$	W	1469    131152    339414    474257    439938    221921
afvoercoëfficiënt van het gat	$\mu$	-	0,80    0,70    0,80    0,90    1,00    1,00
(0,5 voor klein gat bij hoge druk, 1 voor groot gat bij lage druk)			
verstoringszone straal $R_b$	m	2,1	8,7    11,7    13,1    13,0    11,4
			
resulterende verstoringszone ( $R_b$ )	m	13,1	

Figuur B.1 Berekeningen kraterbreedte RHDHV.N.B.: Omdat de bedrijfsdruk bij een groter gat afneemt worden afvoercoëfficiënten groter dan  $\mu = 0,5$  gehanteerd.

## B.2 Faalkanseis

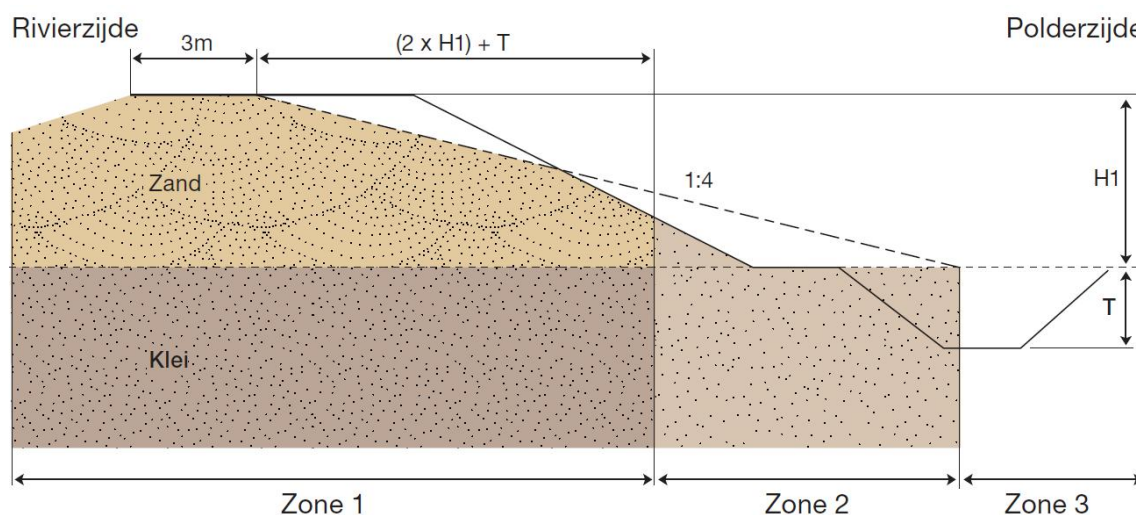
Per faalmechanisme is de faalkanseis opgenomen in Tabel B.2, waarbij gebruik is gemaakt van de default faalkansruimte verdeling volgens WBI.

Tabel B.2 Faalkanseisen per faalmechanisme

	Traject	43-6			
	Norm	1/10000			
	Lengte traject	46,9 km			
	Faalkans eis	Beta	Faalkansruimte	Lengte-effect	
Overloop / overslag en erosie (GEKB)	2,4E-05	4,1	0,24	1	
Macro-instabiliteit binnenwaarts (STBI)	1,2E-07	5,2	0,04	32,3	
Macro-instabiliteit buitenwaarts (STBU)	1,2E-06	4,7	0,40	32,3	
Interne erosie (STPH)	1,7E-07	5,1	0,24	141,7	
Graserosie buitentalud (GEBU)	5,0E-06	4,4	0,05	1	

## B.3 Zone indeling

De dijk is gedefinieerd als gefaald indien de 'kernzone' van de dijk is aangetast. De kernzone is gedefinieerd als zone 1 volgens de handreiking constructief ontwerpen TAW (1994), zie Figuur B.2. Falen van de dijk kan 1) direct doordat de erosiekrater van de gefaalde waterleiding de 'kernzone' bereikt; 2) door falen van de waterleiding (leidend tot een krater of toegenomen waterspanningen) en vervolgens optreden van een faalmechanisme; 3) door optreden van een faalmechanisme zonder dat de leiding faalt.



Figuur B.2 Definitie kernzone ENW (2009), wederom gebaseerd op TAW (1994).

Globaal kunnen er dus drie zones onderscheiden worden:

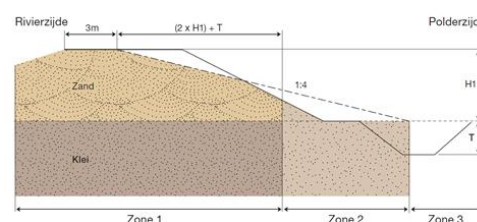
- 1 Een zone waarbinnen leiding falen direct leidt tot falen van de waterkering. Deze zone is alleen maar relevant voor een gapend lek. Een sluipend lek leidt nooit tot direct falen van de waterkering. De grenzen van deze zone zijn de grenzen van de kernzone plus de straal van de erosiekrater. Naar deze zone wordt verwezen als 'centrale zone';
  - De grenzen van de kernzone zijn  $x=3$  tot  $x=18$  (Figuur B.3);
  - De grenzen van de 'centrale zone' zijn 15 m verder  $x=-12$  tot  $x=33$  (Figuur B.3);

- 2 Een zone waarbinnen leiding falen niet direct leidt tot falen van de waterkering, maar wel een negatieve invloed heeft op een faalmechanisme. Deze zone verschilt per faalmechanisme en type leidingfalen (gapend of sluipend). Deze zone is opgesplitst in drie zones: de 'voorlandzone', 'bermzone' en 'achterlandzone'. Er is onderscheid gemaakt omdat het effect van falen in de afzonderlijke zones verschillend is.
- De buitengrenzen van deze zones zijn  $X=-90$  en  $X=180$ . Vanaf deze coördinaten heeft een gapend lek een verwaarloosbaar effect op de betrouwbaarheid van de waterkering. Het effect van de x-locatie van het lek op de betrouwbaarheid is per faalmechanisme gegeven in Figuur B.5, Figuur B.6, Figuur B.9 en Figuur B.17;
  - Aangezien het effect van macrostabiliteit sterk afneemt naarmate het lek zich verder van de kern van de waterkering bevindt en de gronddekking op de leiding effect heeft op de kans op een sluipend of gapend lek, is onderscheid gemaakt tussen de 'bermzone' en 'achterlandzone' (zie Figuur B.9 voor het effect van de x-locatie van het lek op de betrouwbaarheid van STBI). Tevens heeft de grotere gronddekking in het bereik van de berm een bepalende invloed op de kans op een gapend lek. De grens tussen de bermzone en de achterlandzone is gedefinieerd op de locatie waar de dekking op de leiding gelijk is aan 2,5 m.
- 3 Een zone waarbinnen leiding falen geen invloed heeft op de waterkering. Deze zone is niet relevant en niet verder beschouwd.

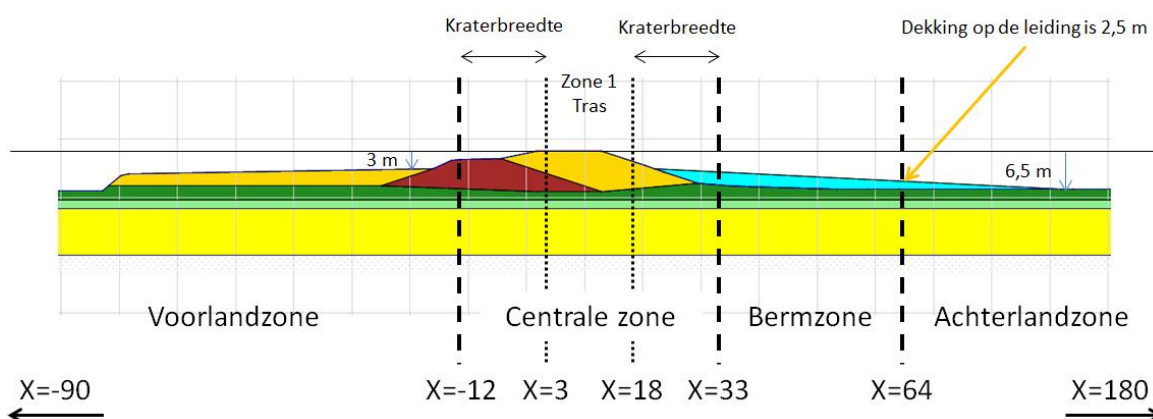
De zones zijn opgenomen in Figuur B.3 en de grenzen zijn opgenomen in Tabel B.3.

#### UITGANGSPUNTEN

- min. rest-kruinbreedte: 3 m (zanddijk)
- breedte zone 1 =  $3\text{ m} + 2 \times H$  (H: hoogte talud)
- straal erosiekrater: 15 m (14,97 m)
- afronding op hele meters



Figuur 4  
Zonering volgens de 'Handreiking Constructief Ontwerpen' [14]



Figuur B.3 Grenzen centrale zone.

Tabel B.3 Gedefinieerde zonegrenzen.

Zone	X-coördinaat begin [m]	X-coördinaat eind [m]
Voorland	-90	-12
Centrale zone	-12	33
Berm zone	33	64
Achterland zone	64	180

## B.4 Hydraulische randvoorwaarden

De hydraulische randvoorwaarden benodigd voor de faalkansanalyse zijn:

- De waterstand bij norm.
- De kansverdeling van de waterstand (jaarmaxima).
- De overschrijdingsfrequentie van verschillende overslaggebieden (gegeven de huidige dijkhoogte), te weten:
  - 0,1 l/s/m;
  - 5,0 l/s/m.
- De frequentie van water aan de dijk (c.q. overstromen voorland).

### B.4.1 Uitgangspunten

De berekeningen zijn uitgevoerd met Hydra-NL op basis van de uitgangspunten in Tabel B.4.

Tabel B.4 Uitgangspunten Hydra-NL berekeningen.

Parameter	Waarde	Bron
Profiel	1:2 talud	TG386_1op2.prfl
Oriëntatie dijprofiel	151°N	TG386_1op2.prfl
Dijkhoogte 2075	NAP+7,6 m	1700_3_8002 lengteprofielen huidige situatie.pdf (NAP+7,9 m – 0,3 m)
Hydra-versie	Hydra-NL versie	Hydra-NL versie 2.3.1 (juni 2017)
Hydraulische database	WBI2017_Bovenrijn_43-6_v04.sqlite	ftp://wbi2017.nl/
Statistiek windsnelheid	Ovkanswind_Deelen_2017_metOnzHeid.txt	Hydra statistiek
Statistiek windrichting	Richtingskansen_Deelen_2017.txt	Hydra statistiek
Statistiek afvoer Lobith	Ovkans_Lobith_piekafvoer_OI_2014_W_2050_metOnzHeid; Ovkans_Lobith_piekafvoer_OI_2014_W_2100_metOnzHeid	Hydra statistiek
Onzekerheden	Met onzekerheden uit de database (*.sqlite)	ftp://wbi2017.nl/
Kritiek overslagdebiet bij intact binnentalud	5,0 l/s/m bij intact binnentalud	Uitgangspunt dijkversterking Gorinchem-Waardenburg
Kritiek overslagdebiet bij aangetast binnentalud	0,1 l/s/m bij aangetast binnentalud	OI2014v4

### B.4.2 Resultaat

De waterstand bij norm is NAP+6,9 m, Tabel B.5.

Tabel B.5 Waterstand bij norm en hydraulisch belastingniveau berekend met Hydra-NL.

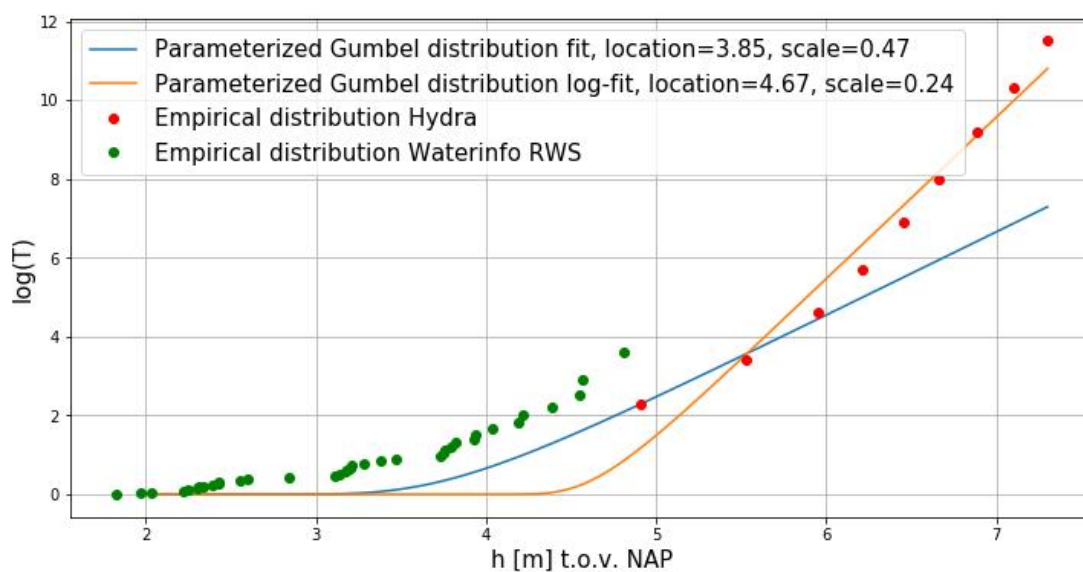
Parameter	Waarde
Waterstand bij norm, 1/(10.000 jaar) zichtjaar 2075	NAP+6,89 m
HBN bij doorsnedeneis GEKB en q=0,1 l/s/m, 1/(41.667 jaar) zichtjaar 2075	NAP+8,46 m
HBN bij doorsnedeneis GEKB en q=5,0 l/s/m, 1/(41.667 jaar) zichtjaar 2075	NAP+7,53 m

### B.4.2.1 Verdeling waterstand

De kansverdeling van de waterstand (jaarmaxima) als berekend met de uitgangspunten uit Tabel B.4 zijn opgenomen in Tabel B.6. Een Gumbel-verdeling is gefit door deze uitkomsten en de logaritme van de uitkomsten, inclusief klimaattoeslag, en opgenomen in Figuur B.4. De gemeten extremen zijn in Figuur B.4 vergeleken met de Hydra-resultaten. Hieruit volgt dat de waterstand die sinds 1980 één maal is overschreden in 2075 volgens Hydra met klimaatscenario eens in de 10 jaar wordt overschreden. Uiteindelijk is in de analyses gerekend met de logaritmische fit (oranje lijn in Figuur B.4).

Tabel B.6 Waterstandsverdeling berekend met Hydra-NL.

Terugkeertijd	Waterstand zichtjaar 2075 (Hydra uitkomst)
10	4,91
30	5,53
100	5,95
300	6,21
1000	6,45
3000	6,66
10000	6,89
30000	7,10
100000	7,30



Figuur B.4 Waterstandsverdeling berekend met Hydra-NL en de gefitte Gumbel verdelingen (inclusief klimaattoeslag, vandaar verschil met waargenomen waterstanden bij Vuren).

### B.4.2.2 Water aan de dijk

De hoogteligging van de dijkteen is NAP+4,9 meter. De hoogte van de rivierzijde van het voorland 70 meter buitendijks is NAP+4,0 m. In de afgelopen 37 jaar heeft er één maal water aan de teen van de dijk gestaan, in 1995. De waterstand is 7 hoogwaterpieken hoger geweest dan NAP+4,0 m (ongeveer eens per 5 jaar). Volgens de Hydra-NL berekeningen is de terugkeertijd van een waterstand van NAP+4,9 m, 10 jaar. Terugkeertijden lager dan 10 jaar kunnen met Hydra-NL niet worden berekend. Bij lagere waterstanden dan NAP+4,9 m zouden

golven wel de teen van de dijk kunnen bereiken. Er wordt rekening gehouden dat de dijk eens in de 5 jaar belast wordt (conservatief uitgangspunt).

## B.5 Faalmechanisme *Graserosie kruin en binnentalud* (GEKB)

### B.5.1 Uitgangspunten

De uitgangspunten betreffende de belasting zijn opgenomen in B.2. Voor het buitentalud is in overeenstemming met het aangeleverde profiel (TG386\_1op2.prf) een 1:2 buitentalud aangehouden. Gegeven een krater in het voorland is met een steiler 1:1 talud gerekend.

### B.5.2 Resultaat

De resultaten zijn opgenomen in Tabel B.7. Te zien is dat een steiler buitentalud nauwelijks effect heeft op de betrouwbaarheid van de dijk. Dit is te verklaren doordat de invloed van de waterstand veel groter is dan de invloed van de golfhoogte.

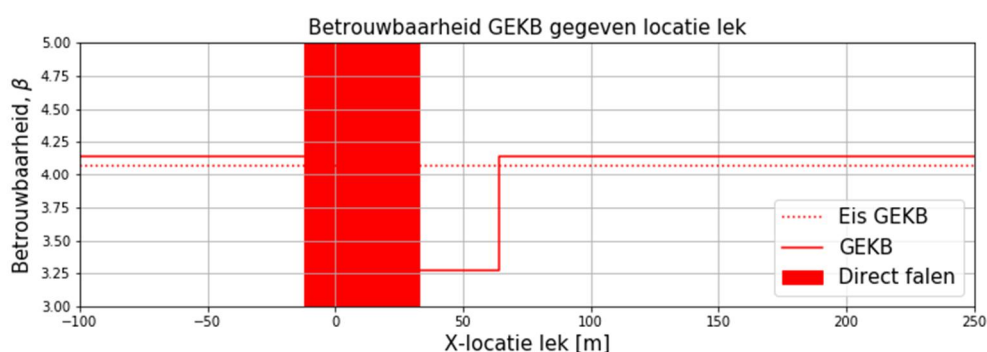
Tabel B.7 Terugkeertijd overslagdebiet voor verschillende relevante scenario's.

Buitentalud	Overslagdebiet [l/s/m]	Terugkeertijd [jaar]	Betrouwbaarheid [per jaar]
1:2	0,1	1908	3,28
1:2	5,0	59677	4,15
1:1	5,0	57165	4,14

De resultaten uit Tabel B.7 zijn gekoppeld aan de gedefinieerde zones en opgenomen in de Tabel B.8. In Figuur B.5 is de conditionele betrouwbaarheid uitgezet tegen de x-locatie van het lek.

Tabel B.8 Betrouwbaarheid GEKB per zone.

Zone	Betrouwbaarheidsindex gegeven gapend lek in zone	Opmerkingen
geen lek	4,15	Kritiek overslagdebiet: 5 l/m/s
voorlandzone	4,14	Steiler buitentalud
centrale zone	n.v.t. ( $-\infty$ )	Direct falen dijk gegeven hoogwater
bermzone	3,28	Verlaagd toelaatbaar overslagdebiet (0,1 l/m/s)
achterlandzone	4,15	Geen invloed erosiekrater op betrouwbaarheid GEKB (5 l/m/s)



Figuur B.5 Betrouwbaarheid GEKB gegeven de locatie van het lek. Voor x-locaties van het lek tussen  $x=-12$  en  $x=33$  is de dijk direct gedefinieerd als gefaald.

## B.6 Faalmechanisme *Piping en heave* (STPH)

### B.6.1 Uitgangspunten

De invoerparameters inclusief bronvermelding zijn opgenomen in Tabel B.9. Het profiel en de waterspanningen zijn opgenomen in Figuur B.7.

Tabel B.9 *Uitgangspunten STPH.*

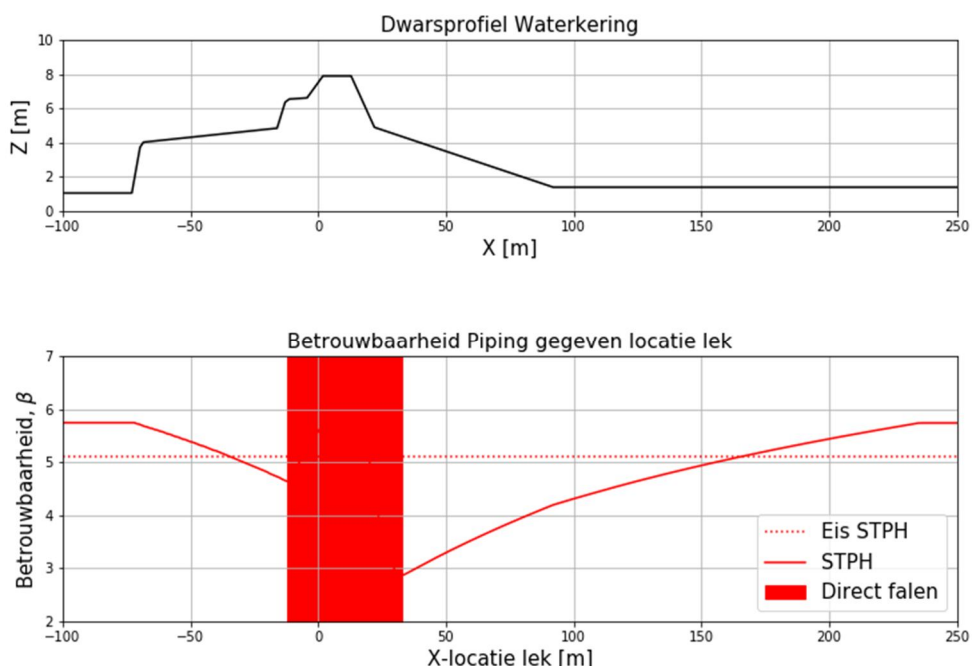
	Waarde	Bron/Opmerkingen
Waterstand bij norm	NAP+6,90 m	Bijlage B.4
Peil binnenwaarts	maaiveld	Een teensloot is afwezig, het peil in het achterland is gelijk aan maaiveld aangenomen.
Profiel	Figuur B.7	Bijlage A
Waterspanningen	Figuur B.7	De freatische lijn is identiek aangenomen als voor STBI. De stijghoogte in de zandlaag is gelijk aan de buitenwaterstand aangenomen bij de teen van de dijk met een gradiënt van 1:50.
Erosiekrater	Rb = 15,0 m	Bijlage B.1
Volumegewicht deklaag	15,6 kN/m <sup>3</sup>	gvS_TG386_STBI_Upl_MHW_B 30x2_S0.32.sti
Korrel diameter, d <sub>70</sub>	260 µm	STPH-overzicht.xlsx
Doorlatendheid, k	42,5 m/dag	STPH-overzicht.xlsx
Bovenzijde piping-gevoelige laag	NAP-2,00 m	gvS_TG386_STBI_Upl_MHW_B 30x2_S0.32.sti
Dikte piping-gevoelige laag	20 m	STPH-overzicht.xlsx
Locatie intredepunt	x = -72	Het intredepunt is aangenomen aan de rivierzijde van het voorland. Het voorland is dus meegenomen als kwelweglengte.

De betrouwbaarheid van de waterkering voor het faalmechanisme piping is berekend volgens de methodiek uit het WBI2017. Voor elke meter binnendijks is de stabiliteitsfactor voor opbarsten, heave en terugschrijdende erosie berekend. De stabiliteitsfactoren zijn met de kalibratievergelijkingen uit het WBI2017 omgerekend naar een betrouwbaarheid. De laagste betrouwbaarheid (parallel systeem) voor opbarsten heave en terugschrijdende erosie is de betrouwbaarheid voor het faalmechanisme piping (bovengrensbenadering voor de faalkans). Deze procedure is uitgevoerd voor elke mogelijke locatie van het gapend lek, ofwel erosiekrater.

### B.6.2 Resultaat

De resultaten zijn opgenomen in Figuur B.6. Te zien is dat de betrouwbaarheid afneemt indien de krater aan de buitenzijde van de dijk ligt dan het oorspronkelijke intredepunt (x=-72). Hoe dichterbij de dijk hoe lager de betrouwbaarheid. Een krater aan de binnenzijde van de dijk heeft echter meer effect. De krater zorgt voor een dunnere deklaag, vrijwel zeker opbarsten en heave, en een betrouwbaarheid voor terugschrijdende erosie die langzaam toeneemt naarmate het lek zich verder van de dijk bevindt. Vanaf x=240 heeft een lek geen invloed meer op het faalmechanisme piping.





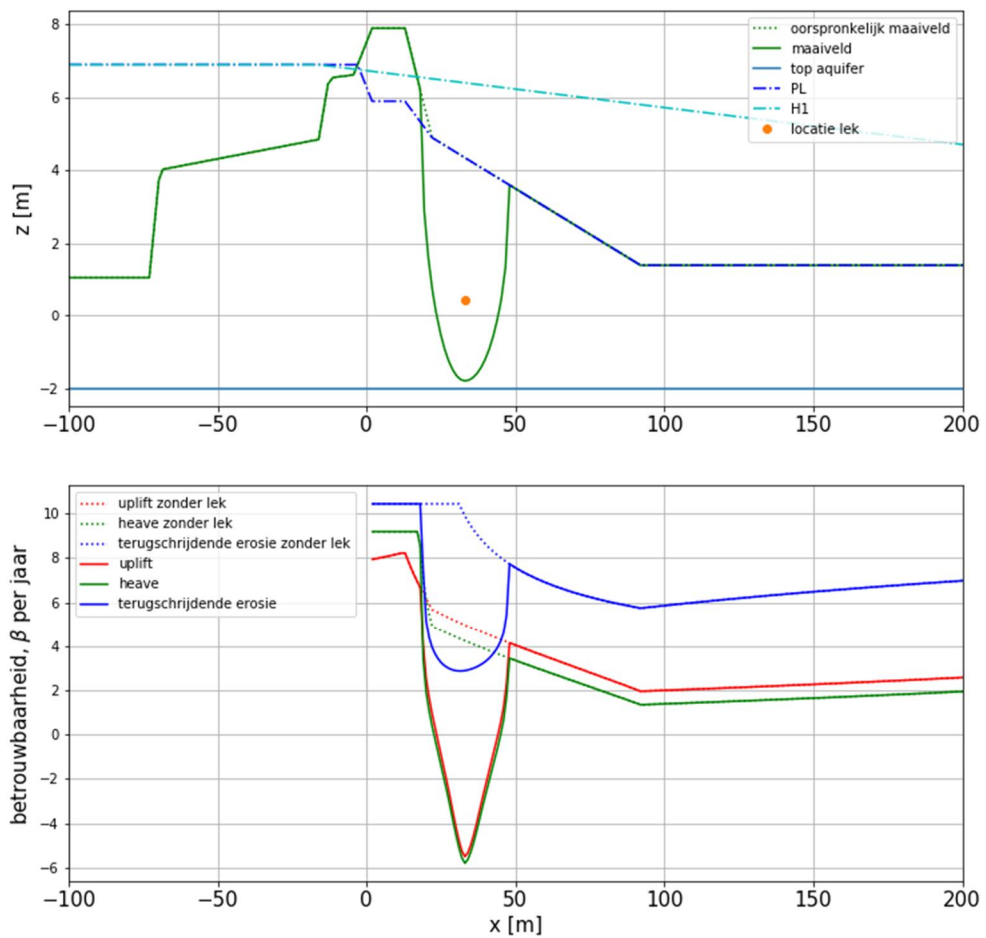
Figuur B.6 Betrouwbaarheid voor het faalmechanisme STPH tegen de locatie van het gapend lek. Voor x-locaties van het lek tussen  $x=-12$  en  $x=33$  is de dijk direct gedefinieerd als gefaald.

De resultaten (Figuur B.6) zijn gekoppeld aan de gedefinieerde zones met de faalkans op de meest kritieke plek binnen elke zone, en opgenomen in Tabel B.10.

Tabel B.10 Betrouwbaarheid STPH per zone.

Zone	Betrouwbaarheid gegeven gapend lek in zone	Opmerkingen
geen lek	5,7	
voorlandzone	4,6	Nieuw intredepunt.
centrale zone	n.v.t. (valt onder GEKB)	Direct falen dijk gegeven hoogwater.
bermzone	2,9	Nieuw uittredepunt dicht bij de dijk met vrijwel zeker opbarsten en heave. Betrouwbaarheid ontleend aan terugschrijdende erosie.
achterlandzone	3,6	Nieuw uittredepunt met vrijwel zeker opbarsten en heave. Betrouwbaarheid ontleend aan terugschrijdende erosie.

Ter illustratie is in Figuur B.7, gegeven een lek op  $x=33$  (de maatgevende locatie), de betrouwbaarheid ruimtelijk uitgezet. Te zien is dat opbarsten en heave vrijwel zeker plaatsvindt en dat terugschrijdende erosie een betrouwbaarheid heeft van  $\beta=2,9$ .



Figuur B.7 Betrouwbaarheid voor opbarsten, heave en terugschrijdende erosie voor elke locatie in de dwarsdoorsnede gegeven een lek op x-locatie 33 (rand van de berm zone).

## B.7 Faalmechanisme *Macro-instabiliteit binnenwaarts* (STBI)

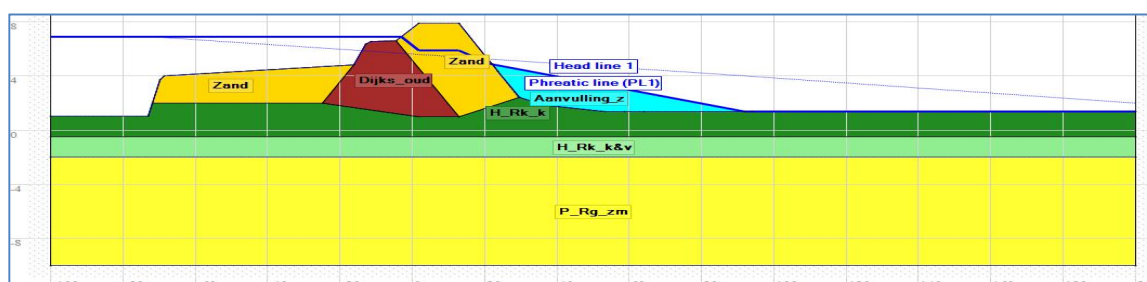
### B.7.1 Uitgangspunten

De betrouwbaarheid van de waterkering voor de faalmechanismen macro-instabiliteit zijn berekend volgens de methodiek uit het WBI2017. De stabiliteitsfactoren zijn berekend met het glijvlakmodel Uplift-Van (D-Geostability v518). De stabiliteitsfactoren zijn met de kalibratievergelijkingen uit het WBI2017 omgerekend naar een betrouwbaarheidsindex. Deze procedure is uitgevoerd voor de situatie zonder lek, mogelijke locaties van het gapend lek en voor een sluipend lek (aannahme volledige verzadiging). De invoerparameters inclusief bronvermelding zijn opgenomen in de onderstaande tabel. Het profiel en de waterspanningen zijn opgenomen in Figuur B.8.

Tabel B.11 *Uitgangspunten STBI.*

Parameter	Waarde	Bron/Opmerkingen
Waterstand bij norm	NAP+6,9 m	§ B.4
Waterstandsverdeling	Gumbel Figuur B.4	§ B.4
Profiel	Figuur B.8	Bijlage A
Erosiekrater	Rb = 15,0 m	Bijlage B.1
Freatische lijn	Figuur B.8	Op basis van de aangeleverde D-Geo berekening <i>gvS_TG386_STBI_Upl_MHW_B 30x2_S0.32.sti</i>
Stijghoogte aquifer	Figuur B.8	Op basis van <i>gvS_TG386_STBI_Upl_MHW_B 30x2_S0.32.sti</i>
Grondopbouw	Figuur B.8	Op basis van de aangeleverde D-Geo berekening <i>gvS_TG386_STBI_Upl_MHW_B 30x2_S0.32.sti</i>
Materiaaleigenschappen determinist	Tabel B.13	<i>gvS_TG386_STBI_Upl_MHW_B 30x2_S0.32.sti</i>
Materiaaleigenschappen stochast	Tabel B.14	Teruggerekend van de deterministische materiaaleigenschappen met de onzekerheden conform het WBI2017.
Software	D-Geo Stability (beta) versie 18.1.0.482	Projectsoftware Deltares
Modelfactor determinist	1,06 (lift-van)	WBI2017
Modelfactor stochast	NORM $\mu=1,005$ ; $\sigma=0,033$ (lift-van)	WBI2017

In de berekeningen is in eerste instantie geen rekening gehouden met de verkeersbelasting. De resultaten van de integrale faalkansanalyse laten ook zien dat de faalkansbijdrage vanuit STBI niet bepalend is. In het uiteindelijke ontwerp zal waarschijnlijk wel met een verkeersbelasting gerekend worden, althans voor de situatie zonder erosiekrater door een gapend lek.



Figuur B.8 Grondopbouw en waterspanningen gegeven een buitenwaterstand van NAP+6,9 m (peil bij norm).

De sterkte-eigenschappen zijn opgenomen in de onderstaande twee tabellen. Deze waarden zijn afkomstig uit de technische uitgangspuntennotitie, *TUN fase 4.docx*, en de ons ter beschikking gestelde D-Geostability berekening van het versterkingsproject Gorinchem-Waardenburg, *gvS\_TG386\_STBI\_UpI\_MHW\_B 30x2\_S0.32.sti*.

Tabel B.12 Materiaaleigenschappen (rekenwaarden)

Grondsoort	$\gamma_{\text{droog}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{\text{nat}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$	S	m
H_Rk_k	18,3	18,3	29,3	0,25	0,89
H_Rk_k&v	15,6	15,6	n.v.t.	0,25	0,78
Oud_dijks	18,92	18,92	30,7	0,32	0,86
Zand	18,0	20,0	30,0	n.v.t.	n.v.t.
Aanvulling_z	17,0	19,0	30,0	n.v.t.	n.v.t.
P_Rg_zm	17,7	20,0	30,0	n.v.t.	n.v.t.

Tabel B.13 POP (rekenwaarde)

Grondsoort	Naam in tabel 7.3 van de SH Macro-instabiliteit	Karakteristieke waarde POP
H_Rk_k	Echteld klei ondiep	15
H_Rk_k&v	Echteld klei ondiep	15
Oud_dijks	Dijksmateriaal	7

De stochastische sterkte-eigenschappen zijn opgenomen in de onderstaande tabel. Deze waarden zijn teruggerekend op basis van de rekenwaarden uit de bovenstaande tabellen en default waarden voor de onzekerheid uit het WBI2017. Het volumegewicht,  $\gamma$ , en de sterkte-toename exponent,  $m$ , zijn in de probabilistische berekeningen beschouwd als deterministisch. Alle stochasten zijn gemodelleerd met een lognormale verdeling.

Tabel B.14 Kansverdelingen materiaaleigenschappen (o.b.v. laaggemiddelden, dus inclusief uitmiddeling)

Grondsoort	Parameter	$\mu$	$\sigma/VC$	karakteristiek
H_Rk_k	$\phi$	35	VC=0,1	29,6
Oud_dijks	$\phi$	36	VC=0,1	30,4
Zand	$\phi$	35	VC=0,1	29,6
Aanvulling_z	$\phi$	35	VC=0,1	29,6
H_Rk_k	S	0,33	$\sigma=0,05$	0,25
H_Rk_k&v	S	0,33	$\sigma=0,05$	0,25
Oud_dijks	S	0,40	$\sigma=0,05$	0,32
H_Rk_k	POP	25	VC=0,3	15
H_Rk_k&v	POP	25	VC=0,3	15
Oud_dijks	POP	12	VC=0,3	7

## B.7.2 Resultaat (semi-probabilistische benadering)

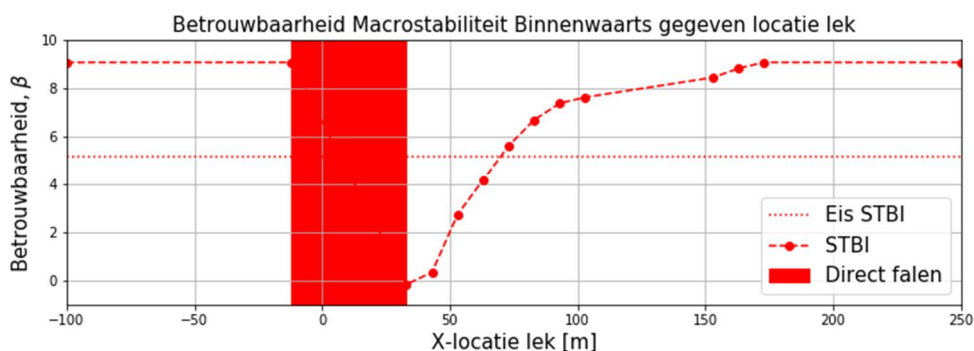
De resultaten zijn opgenomen in Figuur B.9 en Tabel B.15. Voor elk punt in de grafiek is een berekening met D-Geo Stability uitgevoerd.

Tabel B.15 Resultaten berekeningen D-Geo Stability.

Scenario	Stabiliteitsfactor	Schadefactor*	Betrouwbaarheid**
Gapend lek X=33	0,41	0,387	-0,15
Gapend lek X=43	0,49	0,462	0,35
Gapend lek X=53	0,87	0,821	2,74
Gapend lek X=64	1,13	1,066	4,37
Gapend lek X=73	1,33	1,255	5,63
Gapend lek X=83	1,50	1,415	6,70
Gapend lek X=93	1,61	1,519	7,39
Gapend lek X=103	1,65	1,557	7,64
Gapend lek X=153	1,78	1,679	8,46
Gapend lek X=163	1,84	1,736	8,84
Gapend lek X=173	1,88	1,774	9,09
Geen lek	1,88	1,774	9,09
Sluipend lek	1,78	1,679	8,46

\* Stabiliteitsfactor gedeeld door de modelfactor (1,06).

\*\* Schadefactor omgezet met de kalibratievergelijking uit het WBI2017 ( $\beta = (y - 0,41) / 0,15$ ).



Figuur B.9 Betrouwbaarheid voor het faalmechanisme STBI tegen de locatie van het gapend lek. Voor x-locaties van het lek tussen x=-12 en x=33 is de dijk direct gedefinieerd als gefaald.

De resultaten (Figuur B.9) zijn gekoppeld aan de gedefinieerde zones middels de laagste betrouwbaarheidsindex per zone en opgenomen in Tabel B.16.

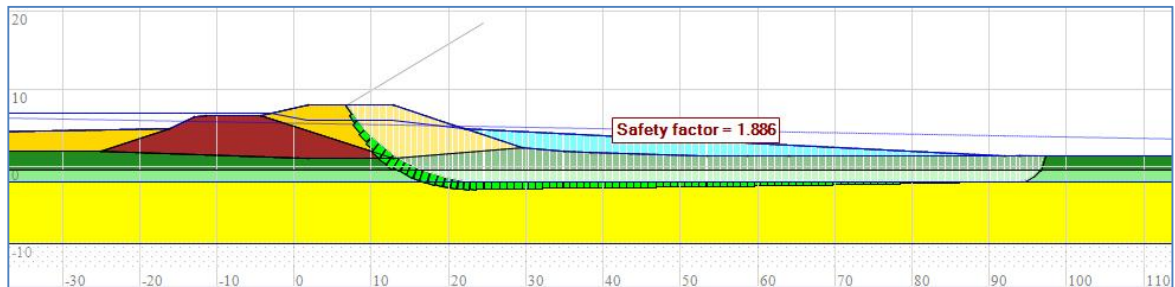
Tabel B.16 Betrouwbaarheid STBI per zone op basis van semi-probabilistische berekeningen.

Zone	Betrouwbaarheid gegeven gapend lek in zone	Opmerkingen
geen lek en voorlandzone	9,09	Geen invloed
centrale zone	n.v.t.	Direct falen dijk gegeven hoogwater
bermzone	-0,15 (1,55)*	Locatie lek op x=33
achterlandzone	4.37	Locatie lek op x=64
sluipend lek	8,46	Verzadigde dijk

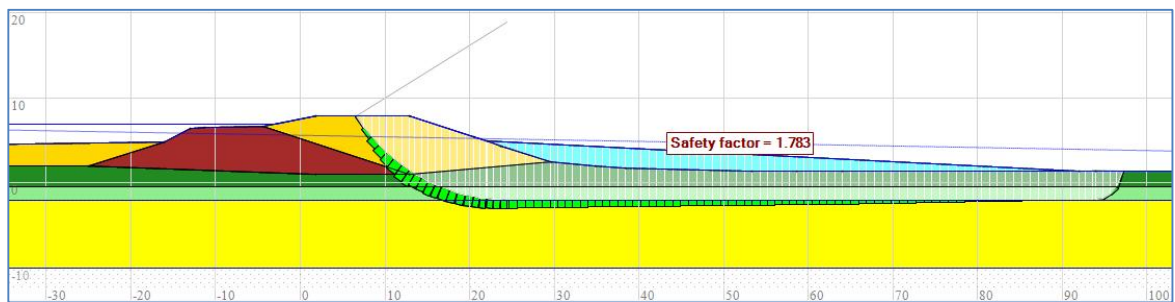
\*  $\beta=1,55$  o.b.v. van probabilistische berekening.

### B.7.3 Screenshots berekeningen D-Geo Stability (met rekenwaarden)

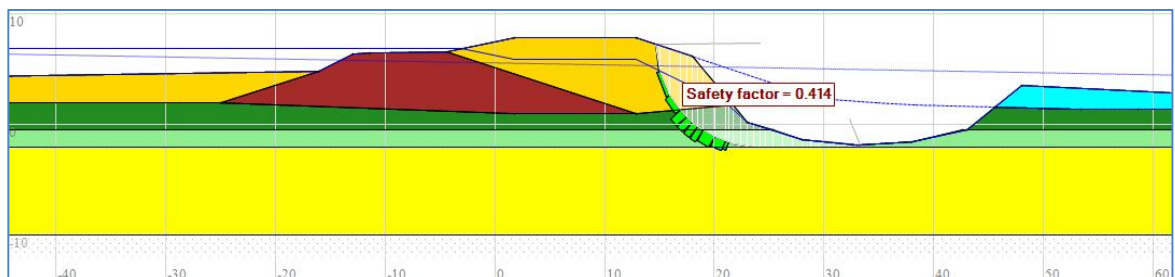
De screenshots van de maatgevende glijvlakken voor de bermzone, achterland zone, gegeven sluipend lek en gegeven geen lek zijn hieronder opgenomen.



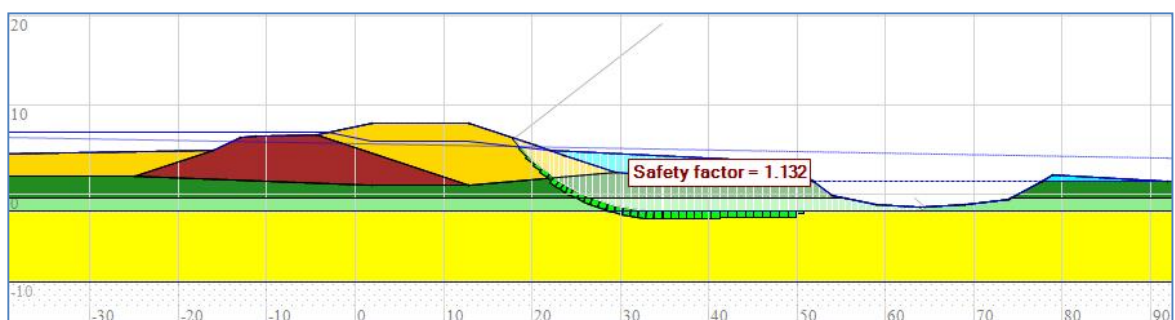
Figuur B.10 Berekening STBI gegeven geen falen leiding. Op schaal.



Figuur B.11 Berekening STBI gegeven sluipend lek (volledige verzadiging). Op schaal.



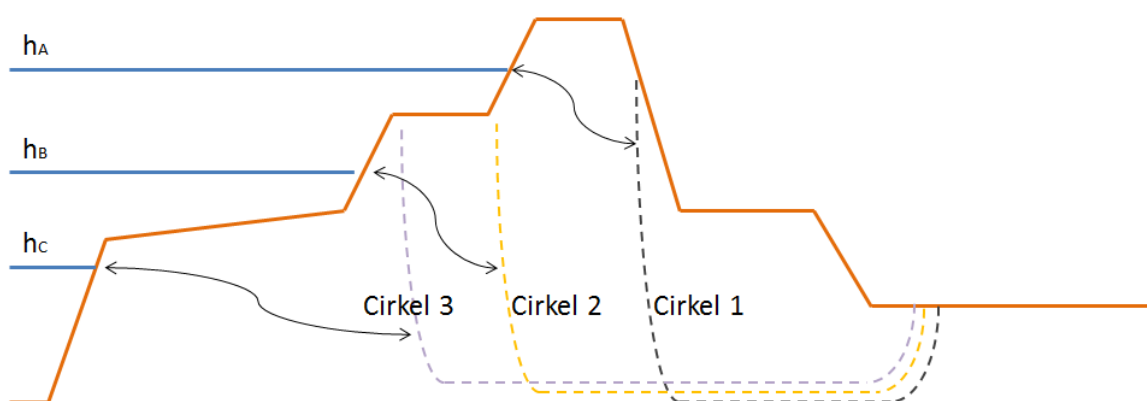
Figuur B.12 Berekening STBI gegeven gapend lek op  $x=33m$ . Grens centrale zone en bermzone. Maatgevende situatie voor de bermzone. Op schaal.



Figuur B.13 Berekening STBI gegeven gapend lek op  $x=64m$ . Grens bermzone en achterlandzone. Maatgevende situatie voor de achterlandzone. Op schaal.

#### B.7.4 Faalkansanalyse STBI met waterstandsafhankelijke faaldefinitie

De kans dat een erosiekrater samenvalt met het jaarlijks hoogwater is al in rekening gebracht in de gebeurtenissenboom. De hoogte van het jaarlijks hoogwater heeft een effect op de waterspanningen in de dijk en dus de stabiliteit. In het geval van de beschouwde doorsnede met erosiekrater heeft de hoogte van het jaarlijks hoogwater ook significant invloed op de kritieke glijvlakken die tot overstroming kunnen leiden. In de faaldefinitie is ervan uitgegaan dat er een minimaal dijklichaam aanwezig moet zijn na een eventuele instabiliteit. Dit minimaal vereiste dijklichaam is bepaald op basis van een waterstand die voor het zichtjaar 2075 gemiddeld eens in de 10.000 jaar wordt overschreden. Gegeven een lagere waterstand is het minimaal vereiste restprofiel kleiner en zijn andere glijcirkels relevant. Figuur B.14.



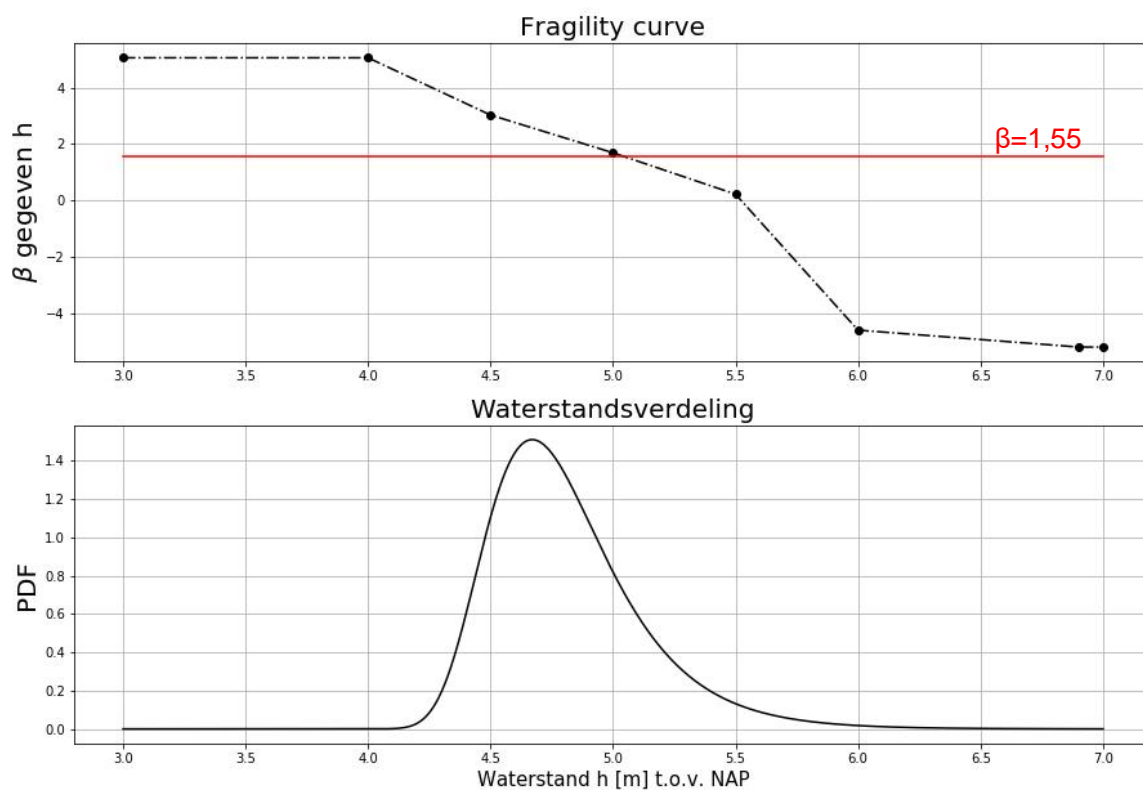
Figuur B.14 Aangepaste faaldefinitie voor waterstand-afhankelijke faalkansanalyse macro-instabiliteit (schematisch)

In de volledig probabilistische faalkansanalyse is de faaldefinitie afhankelijk gemaakt van de buitenwaterstand. De vereiste kruinhoogte is in deze 1,0 meter hoger aangehouden dan de buitenwaterstand (i.v.m. o.a. golfaanval). Als weergegeven in Figuur B.2 wordt vervolgens de grens van zone 1 berekend met de vergelijking:  $grens\ zone\ 1 = x_{loc} + 3 + 2 * (h_{kr} - h_{maaiveld})$ , analoog aan de restprofielberekening volgens TRAS. Bij een glijcirkel door zone 1 is de dijk gedefinieerd als gefaald. De buitenwaterstand, benodigde kruinhoogte en grens van zone 1 zijn opgenomen in Tabel B.17.

Met de kansverdelingen van de sterkteparameters (Tabel B.14) is per buitenwaterstand de betrouwbaarheidsindex/faalkans berekend (Tabel B.17) voor de dominante situatie met een erosiekrater door lek op  $x = 33m$  (grens bermzone). Deze conditionele faalkansen vormen samen de fragility curve (Figuur B.15).

Tabel B.17 De betrouwbaarheid per waterstand met een erosiekrater door lek op  $x = 33m$  (grens bermzone)

Buitenwaterstand	Benodigde kruinhoogte	Grens zone 1	Stabiliteitsfactor deterministisch	Betrouwbaarheid probabilistisch
4,0	5,0	X=-5	1,35	5,06
4,5	5,5	X=-3	1,02	3,03
5,0	6,0	X=-1	0,92	1,69
5,5	6,5	X=2	0,80	0,22
6,0	7,0	X=12	0,50	-4,63
6,9	7,9	X=18	0,45	-5,23



Figuur B.15 Fragility curve voor een erosiekrater door lek op  $x = 33\text{m}$  (grens bermzone) en waterstandsverdeling. De fragility curve geïntegreerd met de waterstandsverdeling geeft de totale faalkans. De totale faalkans ( $\beta=1,55$ ) is in rood weergegeven.

Integratie van de fragility curve met de waterstandsverdeling (§ B.4.2.1) levert de faalkans van de dijk voor het mechanisme macrostabiliteit binnenwaarts op. De betrouwbaarheid en faalkans zijn opgenomen in Tabel B.18.

Tabel B.18 Resultaat probabilistische ten opzichte van semi-probabilistische berekening met een erosiekrater door lek op  $x = 33\text{m}$  (grens bermzone)

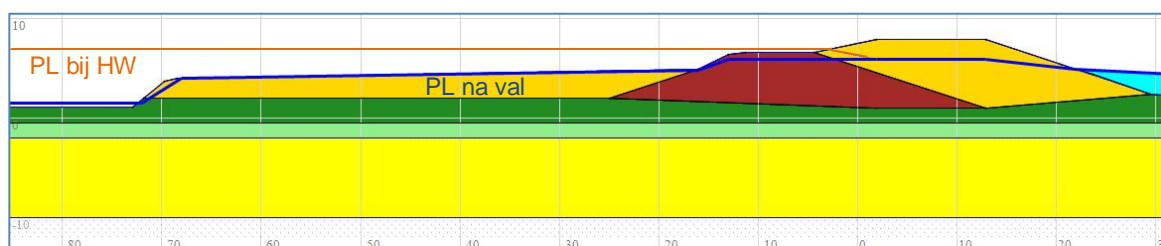
	Semi-probabilistisch	Probabilistisch
Faalkans	5,6E-01	6,1E-02
Betrouwbaarheid, $\beta$	-0,15	1,55



## B.8 Faalmechanisme *Macro-instabiliteit buitenwaarts* (STBU)

### B.8.1 Uitgangspunten

De uitgangspunten zijn afgezonderd van de waterspanningen gelijk aan de uitgangspunten van STBI (§ B.7.1). De waterspanningen zijn opgenomen in Figuur B.16.



Figuur B.16 Waterspanningen bij hoogwater (peil bij norm) en bij val na hoogwater (peil na val). Niet op schaal.

### B.8.2 Resultaat

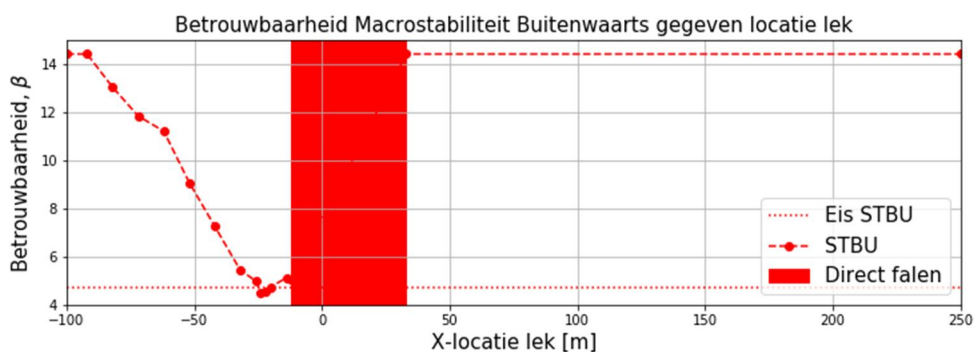
De resultaten zijn opgenomen in Figuur B.17 en Tabel B.15. Voor elk punt in de grafiek is een berekening met D-Geo Stability uitgevoerd.

Tabel B.19 Resultaten STBU berekeningen D-Geo Stability.

Scenario	Stabiliteitsfactor	Schadefactor*	Betrouwbaarheid**
Gapend lek X=-12	1,24	1,170	5,07
Gapend lek X=-14	1,25	1,179	5,13
Gapend lek X=-20	1,19	1,123	4,75
Gapend lek X=-22	1,16	1,094	4,56
Gapend lek X=-24	1,15	1,085	4,50
Gapend lek X=-26	1,23	1,160	5,00
Gapend lek X=-32	1,30	1,226	5,44
Gapend lek X=-42	1,59	1,500	7,27
Gapend lek X=-52	1,88	1,774	9,09
Gapend lek X=-62	2,22	2,094	11,23
Gapend lek X=-72	2,32	2,189	11,86
Gapend lek X=-82	2,51	2,368	13,05
Gapend lek X=-92	2,73	2,575	14,44
Geen lek	2,73	2,575	14,44
Sluipend lek	2,35	2,217	12,05

\* Stabiliteitsfactor gedeeld door de modelfactor (1,06).

\*\* Schadefactor omgezet met de kalibratievergelijking uit het WBI2017 ( $\beta = (\gamma - 0,41) / 0,15$ ).



Figuur B.17 Betrouwbaarheid voor het faalmechanisme STBU tegen de locatie van het gapend lek. Voor x-locaties van het lek tussen  $x=-12$  en  $x=33$  is de dijk direct gedefinieerd als gefaald.

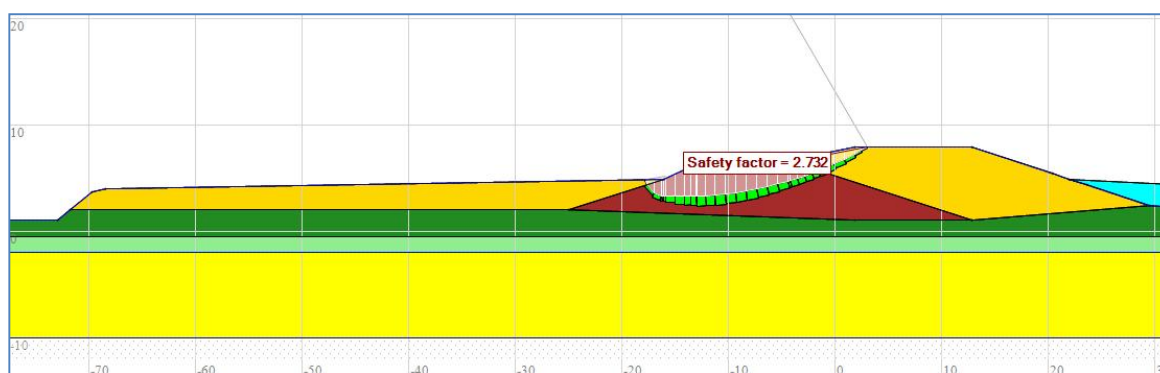
De resultaten (Figuur B.17) zijn gekoppeld aan de gedefinieerde zones en opgenomen in Tabel B.20.

Tabel B.20 Betrouwbaarheid STBU per zone.

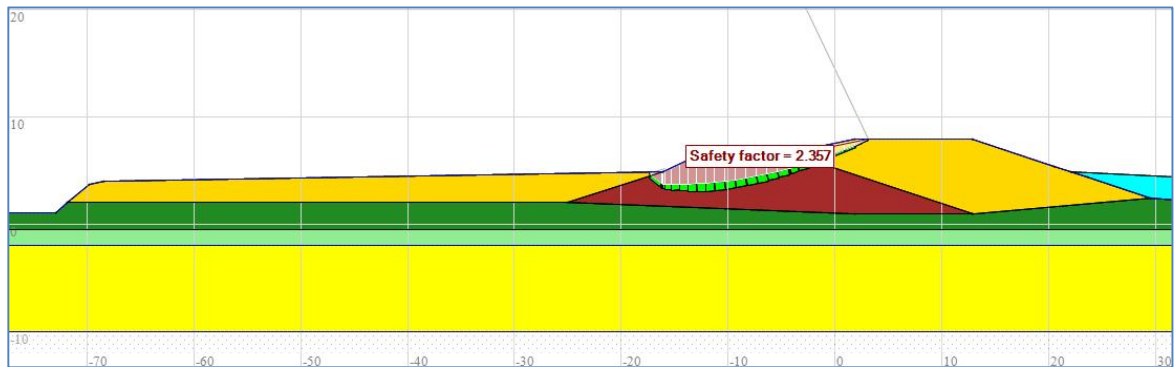
Zone	Betrouwbaarheid gegeven gapend lek in zone	Opmerkingen
voorlandzone	4,50	
centrale zone	n.v.t.	Direct falen dijk gegeven hoogwater
bermzone	14,44	Geen invloed
achterlandzone	14,44	Geen invloed
sluipend lek	12,05	Verzadigde dijk
geen lek	14,44	

### B.8.3 Screenshots berekeningen D-Geo Stability

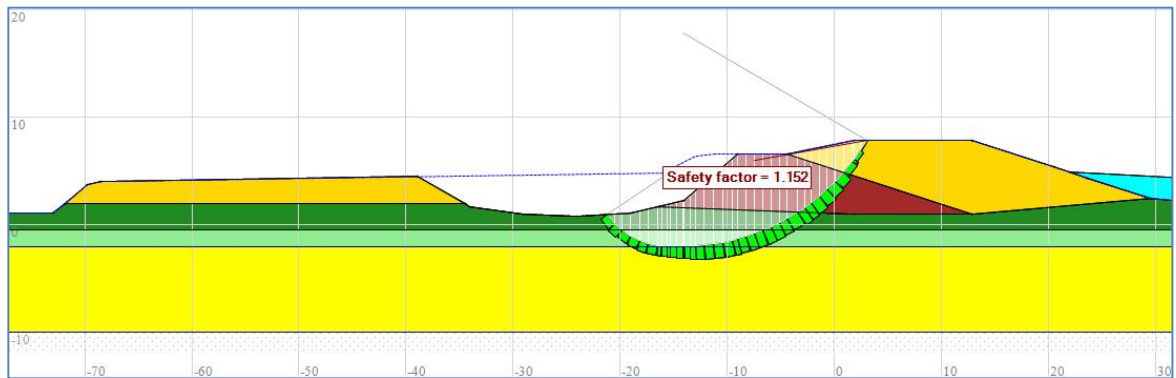
De screenshots van de maatgevende glijvlakken voor de voorlandzone, gegeven sluipend lek en gegeven geen lek zijn hieronder opgenomen.



Figuur B.18 Berekening STBI gegeven geen leiding falen. Op schaal.

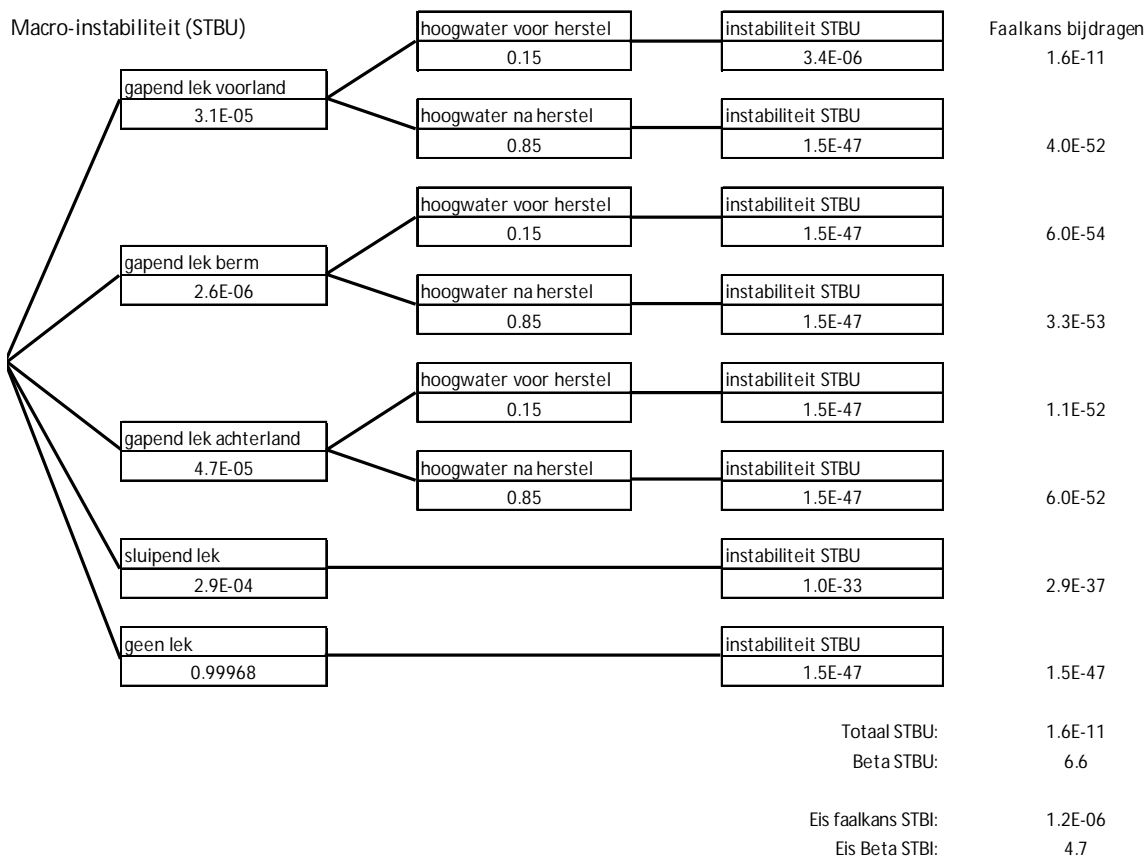


Figuur B.19 Berekening STBI gegeven sluipend lek (volledige verzadiging). Op schaal.



Figuur B.20 Berekening STBI gegeven gapend lek op  $x=-24m$ . Maatgevende situatie voorlandzone. Op schaal.

## B.8.4 Gebeurtenissenboom met resultaten



Figuur B.21 Gebeurtenissenboom STBU met resultaten

## B.9 Faalmechanisme Graserosie buitentalud (GEBU)

### B.9.1 Uitgangspunten

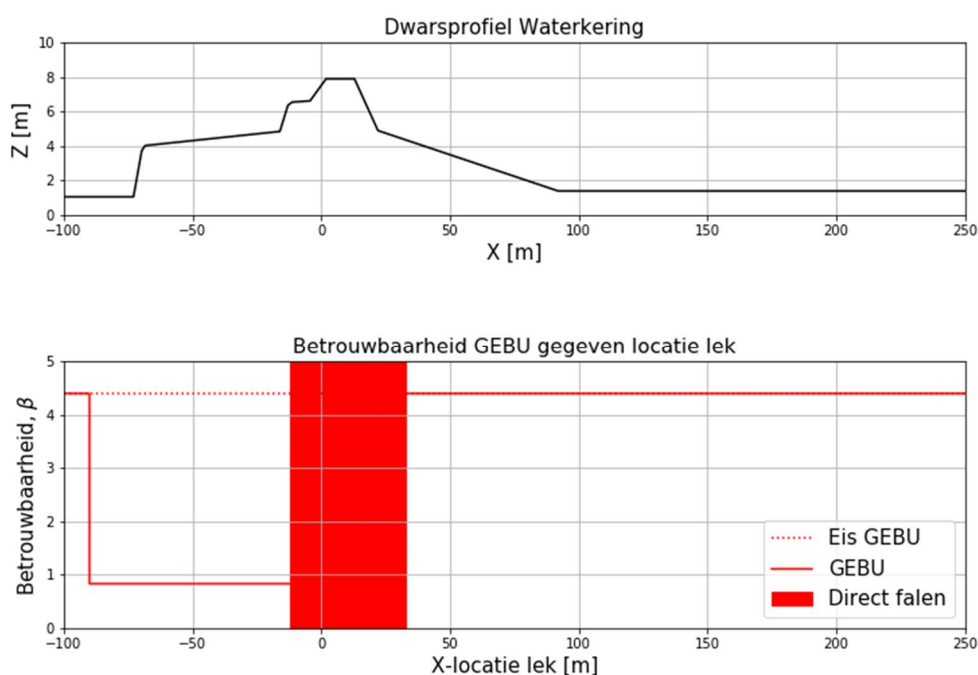
In dit rapport wordt ervan uitgegaan dat de bekleding op het buitentalud na oplevering van de dijkversterking voldoet aan de norm met  $P_f = P_{f,eis} = 5E-6$  per jaar ofwel  $\beta = \beta_{eis} = 4,4$ . Gegeven een gapend lek dat de bekleding op het buitentalud van de dijk aantast wordt conservatief aangenomen dat de dijk bij iedere belasting zal falen op STBK. De dijk wordt eens in de vijf jaar belast (§ B.4.2.2). Gegeven een gapend lek dat de bekleding op het buitentalud van de dijk aantast is de faalkans  $2E-1$  per jaar ofwel  $\beta = 0,84$ . Conservatief is aangenomen dat elk lek in de voorlandzone het buitentalud van de dijk aantast.

### B.9.2 Resultaat

De resultaten, gekoppeld aan de gedefinieerde zones, zijn opgenomen in Tabel B.21 en Figuur B.22.

Tabel B.21 Betrouwbaarheid GEBU/STBK per zone.

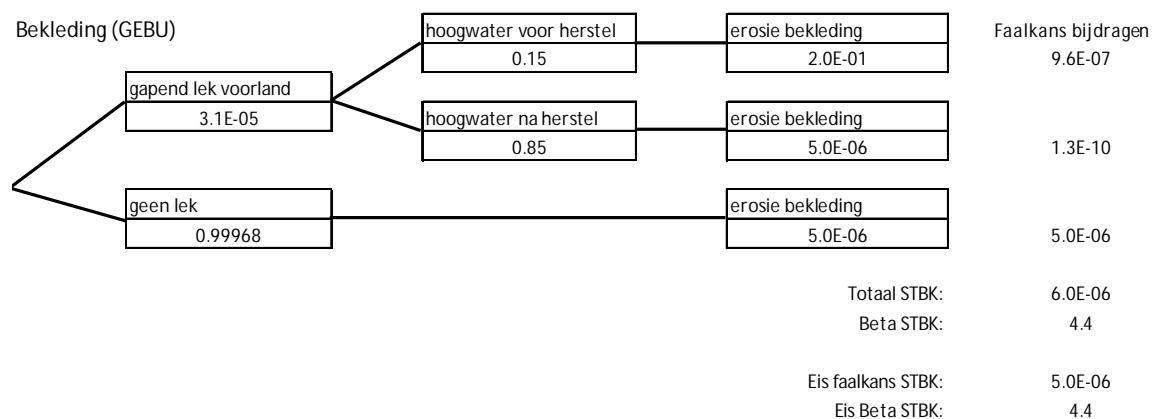
Zone	Betrouwbaarheid gegeven gapend lek in zone	Opmerkingen
voorlandzone	0,84	Indien water op het voorland, dan faalt de dijk
centrale zone	minus oneindig	Direct falen dijk gegeven hoogwater
bermzone	4,4	Geen invloed
achterlandzone	4,4	Geen invloed
sluipend lek	4,4	Geen invloed verzadigde dijk
geen lek	4,4	



Figuur B.22 Betrouwbaarheid voor het faalmechanisme GEBU tegen de locatie van het gapend lek. Voor x-locaties van het lek tussen  $x = -12$  en  $x = 33$  is de dijk direct gedefinieerd als gefaald.

### B.9.3 Gebeurtenissenboom met resultaten

Geconcludeerd wordt dat een gapend lek in het voorland weliswaar tot een hoge voorwaardelijke faalkans leidt; de totale bijdrage aan de faalkans is echter verwaarloosbaar, rekening houdend met de kans op leiding falen en de kans op hoogwater voor herstel.



Figuur B.23 Gebeurtenissenboom GEBU met resultaten

## **C Faalkans leiding (TNO rapport)**

De faalkans van de leiding is geanalyseerd door TNO in onderstaand rapport welke als bijlage bij dit rapport is opgenomen:

*TNO (2019). Faalkans leiding t.b.v. Referentieproject GoWa-Dunea voor POV Kabels en Leidingen. TNO 2018 R11602A.*

Het TNO rapport bevat in de bijlage een notitie opgesteld door KWR over casuïstiek van waterleidingen:

*KWR (2019). Inschatting faalkansanalyse stalen drinkwatertransportleiding Dunea op basis van casuïstiek. KWR memo KWR 2019.008, februari 2019.*

## TNO-rapport

TNO 2018 R11602A

# Faalkans leiding t.b.v. Referentieproject GoWa-Dunea voor POV Kabels en Leidingen

### Buildings, Infrastructure & Maritime

Stieltjesweg 1  
2628 CK Delft  
Postbus 155  
2600 AD Delft

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 88 866 20 00

Datum 7 januari 2020  
Auteur(s) Prof.ir. A.C.W.M. Vrouwenvelder  
Dr.ir. S.H.J. van Es

Exemplaarnummer  
Oplage  
Aantal pagina's 89 (incl. bijlagen)  
Aantal bijlagen 6  
Opdrachtgever Deltares  
Projectnaam POV K&L Case Study 2  
Projectnummer 060.36580

Alle rechten voorbehouden.

Dit TNO rapport is een bijlage bij het Deltares rapport met nummer 11203450-002, dat is uitgebracht in opdracht van het Hoogheemraadschap van Delfland voor de Projectoverstijgende Verkenning Kabels en Leidingen van het Hoogwaterbeschermingsprogramma.

Het ter inzage geven van dit TNO-rapport door het Hoogheemraadschap van Delfland aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2019 TNO



# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Uitgangspunten .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Algemeen kader .....</b>	<b>5</b>
3.1	Regelgeving .....	5
3.2	Het veiligheidsraamwerk voor kabels en leidingen .....	5
3.3	Leidingfalen volgens NEN3650 .....	7
3.4	Leidingfalen in relatie tot hoogwater .....	9
3.5	Sluipend of gapend lek .....	9
3.6	Gegevens en berekeningsmodellen .....	9
3.7	Bepaling faalkansen .....	10
<b>4</b>	<b>Stappen in de bepaling van leidingfalen GoWa .....</b>	<b>11</b>
4.1	Beschikbare/benodigde gegevens en uitgangspunten .....	11
4.2	Gegevens o.b.v. casuïstiek .....	14
4.3	Berekeningen o.b.v. NEN 3650/3651 .....	20
<b>5</b>	<b>Resultaten .....</b>	<b>23</b>
5.1	Resultaten globale analyse .....	23
5.2	Resultaten NEN 3650 berekeningen en faalkansanalyses .....	24
5.3	Invloed hoogwater .....	25
<b>6</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen .....</b>	<b>26</b>
<b>7</b>	<b>Referenties .....</b>	<b>28</b>
<b>8</b>	<b>Ondertekening .....</b>	<b>30</b>
	<b>Bijlage(n)</b>	
	A Casuïstiek t.b.v. faalkans GoWa	
	B Beschouwing lekgrootte	
	C Onderbouwing faalkansanalyse stalen transportleiding Dunea	
	D Berekeningen met Ple4Win om beta te schatten	
	E Verfijning faalkansberekening	
	F Ideeën voor monitoring	

# 1 Inleiding

In het kader van de POV Kabels en Leidingen [Plan van Aanpak, POV-K&L (2017)] is in 2018 een eerste case (pilot) study uitgevoerd naar een leiding in de langsricting in de kruin van een primaire waterkering ter plaatse van het Zeeburgereiland [Deltares (2018b)]. Een tweede case betreft twee vloeistofleidingen van Dunea die een primaire waterkering kruisen in het dijkversterkings-traject Gorinchem – Waardenburg. De POV Kabels en Leidingen noemt de beschouwing van de ruwwater transportleidingen die deze waterkering kruisen het referentieproject GoWa.

De integrale faalkansanalyse voor deze tweede case study wordt uitgevoerd door Deltares op basis van een generiek WBI-veiligheidsraamwerk [Deltares (2018a)]. Het onderhavige rapport betreft de werkzaamheden die TNO heeft uitgevoerd met betrekking tot het onderdeel leidingfalen. Opzet en uitwerking daarvan heeft plaatsgevonden in overleg met Deltares, KWR en ir. J. Spiekhout (zelfstandig consultant, oud-Gasunie en DNV.GL). De sterkteberekeningen van de leiding zijn uitgevoerd door bureau r+k Consulting Engineers uit Rijswijk.

## Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de uitgangspunten bij de analyse naar het leidingfalen gegeven. In hoofdstuk 3 wordt de aanpak van de bepaling en bepaling van de faalkans in algemene zin toegelicht en in hoofdstuk 4 wordt specifiek voor deze case het stappenplan uitgewerkt dat leidt tot de resultaten die in hoofdstuk 5 worden beschreven. Dit betreffen de volgende stappen:

1. Verzamelen beschikbare gegevens en uitgangspunten (o.a. situatie, dijkprofiel, leiding)
2. Verzamelen en bestuderen beschikbare en benodigde gegevens en bepalen faalkansen o.b.v.:
  - a. Casuïstiek
  - b. NEN3650/3651
  - c. Berekeningen met Ple4Win <sup>1</sup>
3. Resultaten van de gevoeligheidsberekeningen

Voor de gegeven kruising worden de kansen op een gapend en een sluipend lek bepaald voor de periode van een jaar, waarbij de kans afhankelijk is van de locatie.

---

<sup>1</sup> Ple4Win staat voor Pipeline Engineering for Windows, een programma voor de analyse van de sterkte, spanning, stabiliteit en veiligheid van pijpleidingen in de grond.

## 2 Uitgangspunten

De volgende uitgangspunten zijn aangehouden:

- Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI) (met name Bijlage III bij de Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017), Min. I&M (2016);
- NEN 3650 serie voor beoordeling van kabels en leidingen (zie hoofdstuk 7 Referenties van de verschillende delen);
- Veiligheidsraamwerk voor beoordeling kabels en leidingen (ontwikkeld voor POV K&L): Generieke uitgangspunten als vertrekpunt voor nadere uitwerking in (pilot) projecten, Deltares (2018a);
- Methodiek "Falen waterkering als gevolg van falen pijpleiding", fase 1, TNO-rapport 2016 R11806, TNO & Deltares (2017).

Bij de opzet van de bepaling van de faalkans van de waterleidingen is in grote lijnen aangesloten bij:

- Faalkansanalyse parallelle waterleiding in dijkontwerp Zeeburgereiland, Deltares/POV K&L, Deltares (2018b).

Uiteraard is rekening gehouden met het feit dat het hier gaat om een kruisende leiding; verder is op een aantal punten (casuïstiek en verhouding sluipend versus gapend lek) een meer diepgaande analyse uitgevoerd.

Gegevens over de relevante geometrie, materialen en belastingen zijn ontleend aan de voorbereiding van het dijkversterkingstraject Gorinchem-Waardenburg en opgenomen in het Deltares hoofdrapport [Deltares (2018c)], deze betreffen de:

- a. Situatietekening en dwarsprofiel (hm 386);
- b. Sterkteberekening leiding van 1995;
- c. Constructieve beoordeling dijk kruising door RHDHV;
- d. Locatietekening e.d.

## 3 Algemeen kader

### 3.1 Regelgeving

De meeste buisleidingen moeten voldoen aan de eisen ten aanzien van externe veiligheid en milieu die worden gesteld in hoofdstuk 6 van NEN 3650-1 (Algemene eisen). Voor leidingen in en nabij waterstaatwerken gelden bovendien de aanvullende eisen in NEN 3651. In 2017 heeft de NEN 3650 serie een beperkte herziening gekregen.

Voor de beoordeling van waterkeringen bestaat een wettelijk beoordelings-instrumentarium (WBI) [Min.I&M (2016)]. Hierin zijn voorschriften opgenomen voor het beoordelen van de primaire waterkeringen. In de Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid, zijn de verschillende toets-sporen opgenomen. In hoofdstuk 25 staat het Toetsspoor Niet-waterkerende Objecten (NWO). Dit toetsspoor betreft de beoordeling van de invloed van niet waterkerende objecten op de mechanismen die leiden tot falen van de waterkering. Dit wordt een indirect mechanisme genoemd. Voor kabels en leidingen wordt in de regeling verwezen naar de NEN 3651 en de Leidraad Kunstwerken [TAW (2003)], die momenteel een revisie ondergaat tot Werkwijzer Kunstwerken. Uit het WBI kan een maximaal aanvaardbare faalkans per mechanisme in een doorsnede worden afgeleid met behulp van een verdeling over de mechanismen. De beheerder van de waterkering mag echter per traject afwijken van de standaardverdeling die in het Ontwerpinstrumentarium en in het WBI wordt gegeven. Het huidige Toetsspoor NWO sluit echter (nog) niet goed aan op de overstromingskansbenadering en dat geldt daarmee ook voor kabels en leidingen.

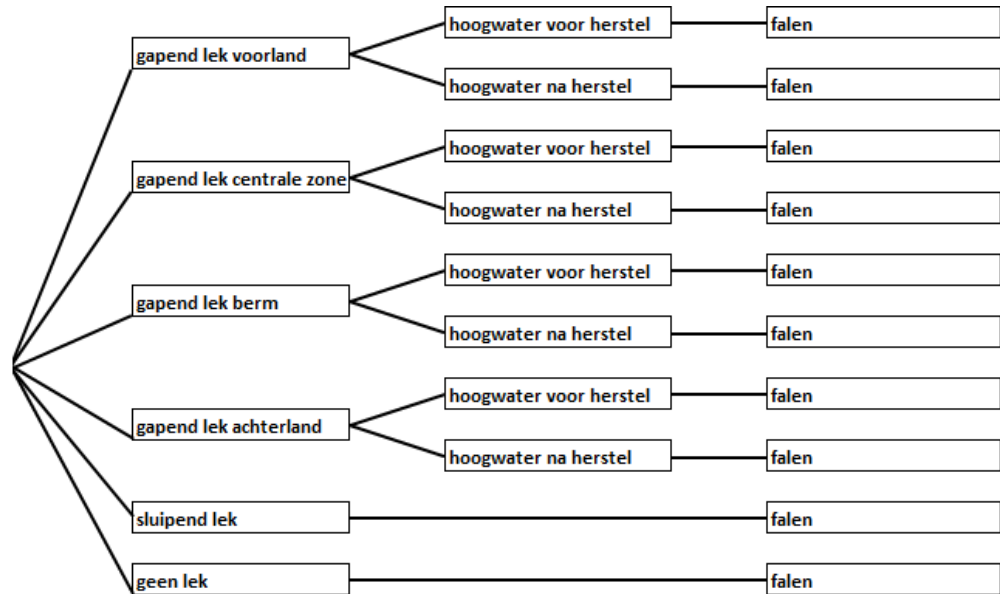
De maximaal toegestane faalkans per hoogwater gedreven mechanisme in een doorsnede kan in het WBI worden gebruikt voor een semi-probabilistische of een probabilistische beoordeling.

Falen of bezwijken van een transportleiding zal niet altijd tot falen van de waterkering en tot een overstroming leiden. Daarvoor is nodig dat de schade die het falen van de leiding aanricht, door bijvoorbeeld een langzaam maar voortdurende lekkage of door een kortdurende erosie bij een vloeistofleiding, voldoende ernstig is. Verder moet ook sprake zijn van een hoogwater tijdens de gebeurtenis of in ieder geval voordat (provisoirisch) herstel van de waterkering heeft kunnen plaats vinden. Dit wordt verder uitgewerkt in de volgende paragraaf.

Het langzaam optreden van lekkage gebeurt bij een zogenaamd sluipend lek in de leiding, terwijl erosie optreedt bij een gapend lek.

### 3.2 Het veiligheidsraamwerk voor kabels en leidingen

De generieke gebeurtenissenboom voor het beoordelen van een waterkering met invloed van een falende leiding en beschouwing van de gelijktijdigheid van leiding falen en hoogwater zien eruit zoals weergegeven in Figuur 3-1:



Figuur 3-1 Gebeurtenissenboom voor de dijkmechanismen binnen- en buitenwaartse macro-instabiliteit uit case study 1 Zeeburgereiland.

Bij een sluipend lek ontstaat verzadiging van de dijk. Mogelijk kan daarbij ook micro-instabiliteit ontstaan. Ook voor dit mechanisme kan een gebeurtenissenboom worden samengesteld.

In een probabilistische overstromingskansbenadering wordt de kans op een overstroming voor een bepaalde periode (bijvoorbeeld een jaar) berekend met de volgende vergelijking:

$$P(\text{overstroming}) = P(\text{falen leiding}) \times P(\text{falen kering} \mid \text{falen leiding}) \times P(\text{hoogwater voor herstel}).$$

Bij de uitwerking van deze formule moet er rekening mee worden gehouden dat het falen van een kering via verschillende faalscenario's en mechanismen kan verlopen met elk hun eigen mate van beschadiging en hersteltijd; elk faalverloop kan dan worden voorgesteld door een afzonderlijke tak in de boom en de vergelijking wordt dan doorgerekend voor elke tak; aan het eind van de analyse worden de per tak berekende overstromingskansen bij elkaar opgeteld.

In dit rapport wordt een schatting gemaakt van op de jaarkans van falen van de leiding ( $P(\text{falen leiding})$ ) voor verschillende delen van de leiding op basis van NEN 3650 en beschikbare casuïstiek.

*Opmerking 1:*

Bepaald wordt dus de faalkans (dimensieloos) voor de periode van een jaar; men kan in dit verband ook spreken van een frequentie (dimensie [1/jaar]). In dit rapport komt ook net als in veel andere probabilistische verhandelingen de term "kans per jaar" voor, hetgeen strikt genomen niet helemaal correct is. Hetzelfde geldt voor de uitdrukking "kans per km". In feite is dit een kans voor een strekking van een km of

een ruimtelijke frequentie met dimensie [1/km]. In dit rapport wordt echter eenvoudigheidshalve gewerkt met kansen per jaar en per km. De auteurs verwachten dat dat nergens tot misverstanden zal leiden.

*Opmerking 2:*

In de bovenstaande formule wordt een chronologische volgorde aangehouden waarbij eerst de leiding faalt, als gevolg daarvan de dijk beschadigd raakt en tenslotte voor het uiteindelijk herstel heeft kunnen plaatsvinden een zodanig hoogwater voorkomt dat inundatie optreedt. In de boom van Figuur 3-1 is de volgorde net even anders: na het falen van de leiding via een gat of lek wordt eerst de kans op optreden van een hoogwater voor het herstel verwerkt en pas daarna de kans dat de dijk faalt gegeven dat hoogwater. Bij de aangehouden schematisering is er geen verschil in eindresultaat. Voor verdere toelichting op de figuur wordt verwezen naar het hoofdrapport [Deltares, 2019].

De volgende primaire faalscenario's worden in Figuur 3-1 voor dit leidingtype en in deze dijkconfiguratie relevant geacht voor de dijkveiligheid:

- 1) Een sluipend lek, met als gevolg extra verzadiging van het dijklichaam en verhoogde waterspanningen;
- 2) Een gapend lek, met als gevolg een erosiekrater (ontgrondingskuil) rondom het lek.

Voor de betreffende kruising worden de kansen op beide gebeurtenissen bepaald voor de periode van een jaar. In eerste instantie wordt uitgegaan van hetzelfde uitgangspunt als bij de Faalkansanalyse Zeeburgereiland:

“In de NPR 3659 wordt geen onderscheid gemaakt tussen een gapend en een sluipend lek. In de BEVI (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, 2015) wordt wel onderscheid gemaakt tussen een breuk van de leiding en een lek met een effectieve diameter van 20 mm. Van de totale faalkans wordt 75% aan het kleine lek toegekend en 25% aan het grote lek. Voor de opsplitsing van de kans op een lek in de kans op een gapend en sluipend lek is van deze ratio gebruik gemaakt.”

In de onderhavige studie is echter ook nadere informatie over dit onderwerp verzameld en meegenomen (zie hoofdstuk 3.5).

### **3.3 Leidingfalen volgens NEN3650**

Voor het falen van de leiding worden in overeenstemming met bijlage L van de NEN3650-1 de volgende faaloorzaken aangehouden:

- Ontwerpfouten in de constructie;
- Fouten tijdens de aanleg (waaronder constructiefouten en lasfouten);
- Operationele fouten (overschrijding ontwerpwaarden druk, temperatuur, wisselingen);
- Zettings- en zakkingsverschillen en grondvervorming;
- Beheerfouten (inspectie, onderhoud, zorgsysteem, o.a. niet goed functioneren en/of niet goed opvolgen van kathodische beschermingsmetingen);

- Bedreigingen vanuit de omgeving, bijv. te grote grondbelastingen door grondophoging naderhand of schade door graafwerkzaamheden van derden (abusievelijk contact met de leiding);
- Tijdsafhankelijke degradatie van het materiaal door inwerkingen van binnenuit en/of buitenaf (bijv. inwendige en/of uitwendige corrosie en erosie);
- Materiaalfouten (buismateriaal, verbinding, appendages, bekleding).

De NEN noemt niet specifiek als faaloorzaak grondvervormingen door hoogwater. Dit wordt wel in deze studie wel onderzocht. Het is met name relevant voor de bepaling van de kans op het optreden van hoogwater voor herstel heeft plaatsgevonden (zie hoofdstuk 3.4).

Een deel van de genoemde oorzaken kan rekenkundig worden behandeld. De andere oorzaken worden geacht afgedekt te worden via de gegevens volgend uit de casuïstiek, al dan niet gecorrigeerd voor de specifieke kenmerken van dit project.

In overeenstemming met NEN 3650-2, §7.6.2 zullen de volgende uiterste grenstoestanden worden geanalyseerd:

- Openscheuren van de buiswand;
- Vervormingen;
- Verlies van evenwicht van de buisleiding of van de ondersteuning;
- (Sluipende) Lekkage anders dan door het openscheuren van de buis.

Hiermee samenhangend zullen de volgende (afgeleide) uiterste grenstoestanden worden onderzocht:

- Spanningen groter dan sterkte;
- Rekken groter dan rekapaciteit, met name in de (verstek)bochten;
- Excessieve vervormingen door ovalisering/plooiën/knik/implosie/plastisch bezwijken die plaatselijk leiden tot overschrijding van de rekapaciteit;
- Verplaatsingen onder invloed van de omringende grond of het omringende water.

Voor de rekenkundige afhandeling van de daarmee corresponderende sterkteberekeningen is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van al elders in het project gemaakte PLE-leidingberekeningen, zie bijlage D [r+k (2018a)] bij hoofdrapport [Deltares, 2019]. Dat is één van de redenen waarom de overige in de NEN3650-2 benoemde grenstoestanden niet beschouwd zijn.

Op basis van een Unity Check van een standaard semi-probabilistische verificatieberekening is een eerste schatting gemaakt van faalkans van de leiding. Op basis van enkele aanvullende berekeningen [r+k (2018b)] met een specifiek aan deze case gerelateerde invoer is deze schatting aangepast. Een volledige FORM of Niveau III benadering (vergelijkbaar met [TNO & Deltares (2017)]) is niet uitgevoerd. Dit vergt een onevenredig aantal Ple4Win berekeningen.

### 3.4 Leidingfalen in relatie tot hoogwater

De hoogwaterstand is, zoals eerder vermeld, een relevante variabele in de sterkteberekening van de leiding. Als zodanig is het logisch dat deze wordt meegenomen. Omdat het hier een waterkering betreft is de gevoeligheid voor hoogwater van bijzonder belang. Bij falen gedurende hoogwater is er geen mogelijkheid tot een tijdig herstel. Naast invloed op de grondwaterstand geeft hoogwater ook aanleiding tot horizontale drukken op de leiding. De invloed hiervan moet in de sterkteberekening worden meegenomen.

Bij een negatieve invloed van de grondvervormingen die optreden als gevolg van hoogwater op de toestand van de leiding dienen de faalpaden volgens het veiligheidsraamwerk te worden aangepast en dient in de bepaling van de faalkans van de waterkering rekening te worden gehouden met afhankelijkheid van hoogwater. Indien er geen negatieve invloed bij hoogwater wordt vastgesteld is aanpassing van de faalpaden volgens het veiligheidsraamwerk kabels en leidingen niet nodig. In verband daarmee zijn variantberekeningen uitgevoerd om de invloed van hoogwater op de faalkans van de leiding vast te stellen.

### 3.5 Sluipend of gapend lek

Van belang bij leidingfalen is aan te geven wanneer een relatief groot gat ontstaat (leidend tot kratervorming) en wanneer een klein gat (sluipend lek leidend tot verzadiging van de waterkering).

In het project Zeeburgereiland werd uitgegaan van de Handleiding Risicoberekeningen van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM (2017a) en werd onderscheid gemaakt tussen een breuk en een lek met een effectieve diameter van 20 mm als grenswaarde. Van de totale faalkans werd 75% aan het kleine lek toegekend (sluipend lek) en 25% aan het grote lek (gapend lek). Voor dit project is een andere benadering gekozen die nader wordt toegelicht onder 4.2.4 van dit rapport. Uitgangspunt daarbij is het onderscheid tussen lekkages, waarbij grond wegspoelt of waarbij alleen de waterspanningen veranderen. Zo maakt het verschil of er een grote of kleine dekking aanwezig is.

### 3.6 Gegevens en berekeningsmodellen

Beschrijving van grenstoestanden en kwantitatieve modellen zijn overeenkomstig de NEN 3650-serie toegepast. Voor de stalen leiding, waarvan in het GOWA project sprake is, zijn van toepassing NEN 3650-1 (Algemene eisen), NEN 3650-2 (Aanvullende eisen voor leidingen van staal) en NEN 3651 (Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken). Als aanvulling of alternatief voor formules worden in de NEN 3650 serie ook numerieke rekenmodellen beschreven. Tot de minimaal toe te passen berekeningsmodellen behoort een elastisch of elastoplastisch balk- en beddingmodel voor de spanningen en vervormingen in een leiding die zowel wordt ondersteund door de grond als belast vanuit de grond. Hiervoor is gebruik gemaakt van het programma PLE en de schematisering als gekozen door ingenieursbureau r+k Consulting Engineers in bijlage D [r+k (2018 a)] bij het hoofdrapport [Deltares, 2019].



De specifieke gegevens van de case die betrekking hebben op de nominale geometrie en materiaaleigenschappen van de dijk, de grondlagen, de leiding, de drukbeheersing in de leiding en de grond-leiding-interactie zijn aangeleverd door de opdrachtgever.

Verder is een numeriek model toegepast voor het berekenen van de (tijdsafhankelijke) zetting van grond, onder invloed van ophoging en andere belastingen, of voor drukstoten in leidingen. Het voert binnen dit kader te ver om voor al deze formules en numerieke rekenmodellen ook de benodigde invoerparameters te geven. Alleen de maatgevende te toetsen grenstoestanden voor het ontwerp zijn beschouwd, dus niet alle faaloorzaken, zoals genoemd in bijlage L van de NEN 3650-1.

### **3.7 Bepaling faalkansen**

Voor de berekening van de faalkansen in de gebeurtenissenboom is gebruik gemaakt van:

- Casuïstiek volgens EGIG, CONCAWE, BEVI en COB voor olie en aardgasleidingen;
- Casuïstiek voor waterleidingen volgens USTORE, KWR en Vloerbergh & Beuken, 2011);
- Aanvullende gegevens o.b.v. door KWR gehouden interviews met leidingbeheerders (KWR 2018);
- De uitgangspunten voor de berekening van de kansverdeling voor de ontgrondingsstraal bij een gapend lek in een waterleiding worden vastgelegd in overeenstemming met bijlage A van de NEN 3651;
- Uitgangspunten bij het opstellen van de NEN 3650 serie volgens [Guijt et al. (2004) en Korff et al. (2001)].

## 4 Stappen in de bepaling van leidingfalen GoWa

### 4.1 Beschikbare/benodigde gegevens en uitgangspunten

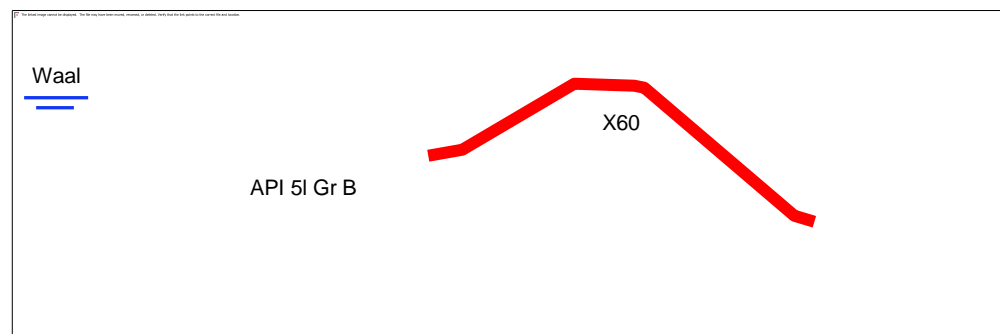
#### 4.1.1 Situatie (zie Figuur 4-1 en Figuur 4-2)

De case study betreft een tweetal op korte afstand van elkaar gelegen ruwwater transportleidingen van Dunea die de primaire waterkering kruisen. De locatie is het dijkversterkingstraject Gorinchem – Waardenburg (project GoWa), dat in beheer is bij Waterschap Rivierenland. De leidingen kruisen de waterkering loodrecht zonder enige vorm van extra veiligheidsvoorzieningen.

De leidingen vervoeren ruw water. Daarom en vanwege het feit dat de leiding droog kan komen te staan, is inwendige corrosie van de leiding mogelijk.



Figuur 4-1 Situatieschets.



Figuur 4-2 Schematisch dwarsprofiel.

De waterleidingen hebben een nominale uitwendige diameter van 1219 mm en ontwerpdruk (maximale bedrijfsdruk) van 1,1 MPa. (of 11 bar overdruk). Gebruikelijk is een bedrijfssituatie met een buis op 0,6 MPa (6 bar overdruk) en de andere buis leeg of in ieder geval zonder overdruk. Berekeningen in dit rapport zijn uitgevoerd met zowel 0,6 MPa als drukloos, waarbij overigens de drukloze situatie maatgevend blijkt. Dit lijkt gunstig, omdat er dan geen water uitstroomt, maar dat kan natuurlijk wel op een later tijdstip gebeuren. Gezien verder de afwisselende belastingsituatie is het voor het lengte-effect ook voldoende om bij de analyse uit te gaan van een enkele leiding. Mocht in de toekomst het waterleidingbedrijf Dunea behoefte hebben de druk voor korte of lange tijd verder op te voeren is een aanvullende check op zijn plaats. Door dichten van afsluiters kunnen ook lokaal door cavitatie kortdurende onderdrukken optreden. Ook kan pompuitval optreden. Een en ander wordt geacht afgedekt te worden door de categorie "operationele fouten" en wordt daarom niet als expliciete belasting in de leidingberekening meegenomen<sup>2</sup>. De leidingen zijn tegen uitwendige corrosie beschermd door een bitumen bekleding en kathodische bescherming (KB-systeem middels opgedrukte stroom, zonder opofferingsanode). Er lijkt overigens geen aanleiding te zijn om de gehanteerde kansen te laten afhangen van de details van het KB-systeem. De leiding is in de bochten opgebouwd uit rechte segmenten van circa 4 m die onderling met lassen aan elkaar verbonden zijn (zgn. mijterbochten of segmentbochten). Ter beperking van ovalisering zijn verstijvingen in de vorm van rondgaande I-profielen aangebracht. Deze vallen niet onder de KB-bescherming, omdat er een isolerende laag tussen de verstijvingsringen en de buis aanwezig is.

Voor de kruising<sup>3</sup> kunnen de volgende uitgangspunten<sup>4</sup> worden gemeld:

- Er is een horizontale bocht in het achterland aanwezig op ongeveer 45 meter achter de dijk;
- Er zijn mangaten (uitwendig  $\varnothing$  609 mm) op de leiding gelast, die niet zijn versterkt (wanddikte 8 mm);
- Tijdens visuele inspectie ter plaatse van de kruin van de dijk zijn er geen bijzonderheden op de verstijvingsringen geconstateerd;
- Ter plaatse van de dijkkruising heeft de leiding (uitwendig  $\varnothing$  1219 mm) binnen de kritieke impactzone (zie Figuur 4-2) twee wanddikten, namelijk 15,58 mm in de staande boog tussen de beide mangaten en 12 mm daarbuiten;
- De staalsoort van de leidingen in de staande boog tussen de mangaten is X60 en daarbuiten API 5L Gr B;

De veldstrekking heeft een wanddikte van 12 mm. Deze wanddikte is volgens Bijlage 1 nog steeds "krasbestendig". Verder komt bij Grade B het soort lasfouten als bij X60 veel minder voor (zie Bijlage 1).

---

<sup>2</sup> Volgens de NEN 3650 moeten alle mogelijke voorkomende bedrijfssituaties (ook pompuitval en het sluiten van afsluiters) worden geanalyseerd. Echter een waterslagberekening is nog niet uitgevoerd en moet voor de volledigheid nog wel plaatsvinden. Uit mededeling van Dunea is gebleken dat er geen voorzieningen ter voorkoming van onderdruk en/of waterslag aanwezig zijn.

<sup>3</sup> In NEN 3651 worden de algemene eisen voor een kruising van de leiding met de waterkering beschreven, in Bijlage I van het hoofdrapport [Deltares, 2019] worden specifiek de impact zones van deze leiding op de waterkering aangegeven

<sup>4</sup> De uitgangspunten zijn aangeleverd door Deltares. Verificatie van de uitgangspunten valt buiten de scope van dit rapport.

De mangaten blijven in deze analyse verder buiten beschouwing; deze dienen adequaat versterkt te worden of verwijderd en vervangen door een buisstuk.

Voor het zichtjaar wordt uitgegaan van het zichtjaar dat wordt gebruikt in de case study (project GoWa). Dat is 100 jaar na de geplande oplevering in 2021. De effecten van het zichtjaar op het waterpeil zijn in de hydraulische belastingen verwerkt en zettings-/vervormingsberekeningen maken onderdeel uit van de NEN sterkteberekeningen. In het hoofdrapport [Deltares, 2019] wordt aangegeven dat de uitgangspunten voor de beschouwing van de leidingkruising moeten worden geverifieerd. Er wordt aangegeven dat de te verwachten zettingen zullen moeten worden geverifieerd. Dit kan aan de hand van monitoring.

"Hiertoe moet een plan van aanpak worden opgesteld dat voorziet in de juiste locatie en uitvoering van de meetpunten, tijdige plaatsing (voor aanvang 1e ophogingen, intensief meetprogramma in de eerste maanden vanaf de eerste ophogingen, aanpassing van meetintensiteit op basis metingen 1e periode en strakke uitvoeringsbegeleiding van de ophogingen en inmetingen. De eerste dagen/weken na de start van elke ophoging zijn cruciaal voor de juiste extrapolatie en interpretatie van de metingen naar de lange termijn van de metingen." Tevens moeten ook de uitgangspunten met betrekking tot de inwendige druk worden nagegaan. Dit kan door middel van een systeemanalyse. Alle mogelijke voorkomende bedrijfssituaties (ook pompuitval en het sluiten van afsluiters) moeten hierbij worden geanalyseerd. Eventueel kan hierbij ook monitoring worden ingezet (meting van waterdrukken op geschikte plaatsen in het leidingsysteem).

#### 4.1.2 Indeling in faalorzaken

In de GoWa case study van de POV Kabels en Leidingen wordt uitgegaan van de faalorzaken conform NEN 3650. Om aan te kunnen sluiten bij de indelingen zoals gehanteerd in verschillende databases verdelen we die als volgt onder in een vijftal categorieën (Tabel 4-1):

Tabel 4-1 Indeling in faalorzaken

Categorie	Omschrijving
External interference	Graafwerkzaamheden van derden <sup>5</sup> (abusievelijk contact met de leiding)
Corrosion	Degradatie van het materiaal door inwendige en/of uitwendige corrosie Beheerfouten (inspectie, onderhoud, zorgsysteem, KB-systeem)
Mechanical defects	Materiaalfouten (buismateriaal, verbinding, appendages, bekleding), Ontwerpfouten in de constructie, Fouten tijdens de aanleg (waaronder constructiefouten en lasfouten), Beheerfouten (inspectie, onderhoud, zorgsysteem)
Operational	Operationele fouten (overschrijding ontwerpwaarden druk, temperatuur-wisselingen)
Ground movement	Zettings- en zakkingsverschillen, Horizontale druk bij hoogwater

<sup>5</sup> Dit betreft alle grondroeractiviteiten. NB Voor een dijk kruising geldt dat de faalfrequentie door graafwerkzaamheden door derden veel geringer is dan voor een veldstrekking. Door de toegepaste reductiefactoren volgens BEVB wordt het aandeel nihil.

## 4.2 Gegevens o.b.v. casuïstiek

### 4.2.1 Gas-/olieleidingen

Er is slechts beperkte casuïstiek beschikbaar voor watertransportleidingen. Daarom is besloten ook te kijken naar de casuïstiek voor andere leidingen en deze te bewerken, zodat de gegevens ook kunnen worden gebruikt voor stalen watertransportleidingen. Een nadere toelichting op de casuïstiek is gegeven in Bijlage A.

Er zijn faalstatistieken beschikbaar voor aardgastransportleidingen in Europa (EGIG<sup>6</sup>) en voor olietransportleidingen in Europa (Concawe<sup>7</sup>). Voor buisleidingen respectievelijk inrichtingen zijn er van RIVM de Handleidingen Risicoberekeningen Bevb en Bevi<sup>8</sup> [RIVM (2017a en b)] met relevante informatie. Daarnaast is er een rapport van het Centrum voor Ondergronds Bouwen [COB (2006)], dat geheel gebaseerd is op ruwe schattingen zonder er waarnemingen in te betrekken. Vermoedelijk hebben de ruwe schattingen ook (grotendeels) betrekking op het distributienet en niet op grote transportleidingen. Deze COB-schattingen zijn wel opgenomen in Tabel 4-2, maar zullen niet verder worden beschouwd.

In de geraadpleegde databestanden zijn de volgende faalkansen (feitelijk faalfrequenties) per 1000 km per jaar gevonden:

Tabel 4-2 Incidenten leidingen per 1000 km per jaar

	<b>EGIG 1970-2016</b>	<b>EGIG 2012-2016</b>	<b>Concawe 1971-2016</b>	<b>Concawe 2012-2016</b>	<b>BEVB BEVI</b>	<b>COB</b>
External interference	0,144	0,032	0,23	0,078	0,17	10,00
Corrosion	0,052	0,027	0,11	0,057	0,18	0,01
Mechanical defects (construction defects/ material failure)	0,051	0,021	0,11	0,051	0,18	0,02
Operational (incl. Hot tap, made by error)	0,014 <sup>6</sup>	0,003 <sup>9</sup>	0,03	0,011	0,03	0,10
Ground movement <sup>10</sup>	0,026	0,031	0,01	0	0,01	2,00
<b>Total</b>	<b>0,287</b>	<b>0,114</b>	<b>0,49</b>	<b>0,197</b>	<b>0,57</b>	<b>12,10</b>

De getallen van EGIG en CONCAWE, eerste kolom, zijn gebaseerd op incidenten in een lange periode. EGIG en CONCAWE, tweede kolom, geven de resultaten

<sup>6</sup> European Gas Pipeline Incident Data Group

<sup>7</sup> Oil Companies' International Study Group for Conservation of Clean Air and Water in Europe

<sup>8</sup> Besluit externe veiligheid buisleidingen resp. inrichtingen

<sup>9</sup> Hot tap (bv. gasdistributie of waterleiding die een hogedruk gasleiding aanboort) is in feite geen 'operations error', maar zou eigenlijk bij 'external interference' horen (beschadiging van buitenaf door derden)

<sup>10</sup> Er is onderzoek gedaan naar falen door 'ground movement'. De statistiek van het Department of Transportation in de Verenigde Staten laat zien dat gevallen van falen door 'ground movement' te koppelen zijn aan cases van aardverschuivingen (zie National Transportation Safety Board). Deze grondvervormingen bij aardverschuivingen zijn in veel gevallen aanzienlijk. Daardoor heeft falen door 'ground movement' deels een belastinggestuurd karakter, terwijl zettingen in Nederland vaak leiden tot relatief geringe grondvervormingen, zodat deze gevallen verplaatsingsgestuurd zijn. En is een aardverschuiving een snel proces, terwijl zetting een geleidelijk proces is (waarbij herverdeling van belasting mogelijk is). Bovendien geldt dat dijkkrusingen speciaal worden ontworpen en berekend op zettingen.

voor de periode 2012-2016. Geconcludeerd kan worden dat de getallen over de periode 2012-2016 een factor 2 tot 3 lager uitkomen dan de getallen over de periode 1970-2016. Dit heeft verschillende oorzaken. Concawe en EGIG betreffen een groot deel van Europa, dus niet alleen Nederland. In de laatste 10-20 jaar is veel aandacht besteed aan de invoering van Pipeline Management Systems (PMS/PIMS). Ook is er overal een druk geweest en nog steeds, om graafactiviteiten beter te controleren (o.a. vanwege Wet informatie-uitwisseling bovengrondse en ondergrondse netten en netwerken). En verder zijn veel meer leidingen gepigged en zijn er schema's binnen de bedrijven gekomen ook leidingen te piggen. Bij de olieleidingen is er daarnaast veel aandacht geweest voor het voorkomen van lekkages (milieu en schadeclaims). Er is dus een trend waarneembaar naar lagere faalkansen. Voor een deel hangt dat samen met controleprocedures en inspectietechnieken, die wel in de olie-en gassector zijn genomen, maar nog niet (overal) bij transportleidingen voor water. Dit pleit ervoor bij deze case de lange-termijn waarden aan te houden.

Opgemerkt wordt verder dat het mechanisme 'ground movement' in deze statistieken betrekking heeft op met name leidingen in (berg)hellingen en niet zozeer op zettingen van de grond door bovenbelasting. Bij het optreden van grondvervormingen bij berghellingen zijn de vervormingen in veel gevallen aanzienlijk, zodat er sprake is van belastinggestuurde situaties. Bij zettingen in Nederland zijn de grondvervorming relatief gering, dit leidt er toe dat in veel gevallen sprake is van vervorminggestuurde situaties (bij grotere zettingen kunnen ook in Nederland belastinggestuurde situaties ontstaan). Door de verschillen in grondvervormingen is de statistiek minder relevant (zie ook voetnoot 10). De statistiek is dus feitelijk niet relevant voor de leiding in de beschouwde dijkkruising; om die reden wordt daarom in dit rapport een schatting gemaakt van de faalkans bij de optredende zetting. Dat zou aanleiding kunnen geven de getallen uit Concawe op dit punt aan te passen.

#### 4.2.2 *Waterleidingen*

Op basis van de aangeleverde gegevens en analyse van KWR Watercycle Research Institute zijn faalfrequenties afgeleid voor waterleidingen. In Bijlage C is een faalfrequentie, voorgesteld van  $1 \cdot 10^{-3}$  per km per jaar voor stalen drinkwaterleidingen vanaf  $\varnothing$  500 mm en aangelegd vanaf 1960. Hierbij moet worden opgemerkt dat het getal dat wordt voorgesteld gebaseerd is op een zeer beperkte database. Deze faalfrequentie is van dezelfde orde grootte als die voor stalen leidingen uit Concawe en EGIG, maar lager dan de faalfrequentie, zoals is bepaald met behulp van USTORE. Concawe en EGIG geven verder aan dat er een duidelijke afname is van de faalfrequentie bij toenemende diameter. Dit komt ondanks de beperkte database ook tot uiting in Tabel 3 in Bijlage C. Voor waterleidingen wordt daarom in deze studie uitgegaan van een generieke faalkans van 1 per 1000 km jaar.

In Bijlage A wordt bestaande casuïstiek voor andere leidingen genomen en bewerkt voor stalen watertransportleidingen. Voor de onderverdeling naar de faaloorzaken wordt Concawe aangehouden. Hier volgt een faalkans uit die ligt tussen 0,271 en 0,6 per 1000 km.jaar.

Ook in de Nederlandse praktijkrichtlijn NPR 3659, "Ondergrondse pijpleidingen- Grondslagen voor de sterkteberekening", uitgave 2006 [NPR(2006)] zijn faalkansen opgenomen. In hoofdstuk 5 "Bestaande leidingen in primaire waterkeringen" van dit document is een toelichting op risico-analyse opgenomen inclusief een tabel met Tentatieve lekkagefrequenties van veldleidingen.

Tabel 4-3 Tentatieve lekkagefrequenties van veldleidingen periode 1965-1980

Buismateriaal	Faalkans [per meter per jaar]
staal (hoge druk)	$0,8 \cdot 10^{-6}$
staal (lage druk)	$2,5 \cdot 10^{-4}$
grijs gietijzer	$5,0 \cdot 10^{-4}$
nodulair gietijzer	$0,5 \cdot 10^{-4}$
PVC	$1,5 \cdot 10^{-4}$
PE	$1,0 \cdot 10^{-4}$
gewapend beton zonder plaatstalen kern	$0,5 \cdot 10^{-4}$
gewapend beton met plaatstalen kern	$0,1 \cdot 10^{-4}$
asbestcement	$0,5 \cdot 10^{-4}$

Opgemerkt moet worden dat de onderbouwing van Tabel 4-3, afkomstig van Provinciale Waterstaat Zuid-Holland niet kon worden achterhaald. Naar de huidige inzichten is het onderscheid "hogedruk" versus "lage druk" voor stalen leidingen niet relevant voor de faalkans, maar zijn dit veeleer factoren als diameter, wanddikte, diepteligging, mate van corrosiebescherming en wijze van beheer. Een mogelijke verklaring voor het grote verschil in de tabel tussen staal (hoge druk) en staal (lage druk) kan zijn, dat in het cijfer voor lage druk stalen leidingen casuïstiek is verwerkt, die behoort bij de voormalige stadsgasnetten, vaak daterend uit de jaren dertig tot vijftig van de 20e eeuw (die in de jaren zestig van de twintigste eeuw door de Gasunie zijn overgenomen). De waarde voor 'Staal, lage druk' (in NEN 3651 en NPR 3659 betekent dit een druk  $\leq 1,0$  MPa ofwel 10 bar) is daardoor minder representatief en lijkt in deze toepassing (doorsnede 1000 mm en het jaar 2018) onrealistisch hoog.

De faalkans van  $0,8 \cdot 10^{-6}$  per meter per jaar (0,8 incidenten per 1000 km per jaar) voor staal (hoge druk) ligt in dezelfde orde als de waarde gevonden in Bijlage C. De andere getallen zijn in deze case niet van toepassing.

De keuze voor Concauwe boven EGIG) is tamelijk arbitrair gemaakt en is alleen van belang voor de relatieve onderverdeling van de faalkans naar oorzaak. Gekozen is voor Concauwe, omdat het vloeistofleidingen betreft die daardoor voor een aantal aspecten meer met waterleidingen gemeen hebben. Basis voor de kansberekening in de foutenboom wordt daarmee de eerste CONCAWE-kolom in Tabel 4-2, vermenigvuldigd met (ongeveer) een factor 2 om  $10^{-3}/\text{km}/\text{jaar}$  te bereiken. Hanteren van de tweede CONCAWE-kolom met een factor 5 (eveneens om  $10^{-3}/\text{km}/\text{jaar}$  te bereiken) levert vrijwel gelijke waarden op, behalve voor het mechanisme 'ground movement'. Gezien de opmerking aan het eind van 4.2.1 is dat voor Nederland toch van minder betekenis. Voor mogelijke schade door zettingen wordt in deze case study daarom ook mede gekeken naar de resultaten van grond-leiding-interactie-berekeningen volgens de NEN 3650 serie.

#### 4.2.3 Van generiek naar case specifiek

Om verschillende redenen kunnen de generieke faalkansen meer of minder geschikt zijn voor toepassing in deze case study. Het kan daarom zinvol zijn hierop correcties aan te brengen, die ook nog per zone in de dwarsdoorsnede van de waterkering kunnen verschillen. De gehanteerde correcties, inclusief een korte motivatie is aangegeven in Tabel 4-4; voor meer toelichting zie Bijlage A.

Tabel 4-4 Correctiefactoren voor faalkansen

	Factor	Motivatie
External interference	0,1	Voor centrale zone en bermzone, extra wanddikte (zie ook Bijlage A)
	1,0	Voor- en achterland, wel dijkomgeving (conservatief)
Corrosion	1,0	Voor de ontgraven centrale zone: er is geen corrosie waargenomen; maar dit wordt niet voldoende geoordeeld voor een reductie; in de waterleiding is ook geen interne cementlining aanwezig.
Mechanical defects	10,0	Bij mijterbochten en verstijvingsringen. Geen separate inwendige inspectie als bij olie-en gastransportleidingen. Met name de lassen zijn daarbij belangrijk.
	1,0	Overige delen
Operational	1,0	
Ground movement	1,0	In Nederland zijn geen grote grondverschuivingen, wel zettingen. Dit wordt meegenomen in de PLE4Win-berekeningen.

Verder is sprake van een dubbele leiding, waarvan er blijkens mededeling van Dunea in beginsel altijd maar één operationeel is en onder druk staat. De situatie zonder overdruk is de meest gevaarlijke (zie ook voetnoot 2 op pagina 12), maar leidt bij bezwijken niet direct tot grote problemen, juist omdat de waterdruk laag is. Als echter een klein gat ontstaat kan in een later stadium als de leiding weer onder druk wordt gezet wel degelijk een sluipend lek optreden. De “niet gebruikte leiding” kan dus niet zonder meer verwaarloosd worden. Aan de andere kant gaat het primair om het winterhalfjaar (gesloten seizoen) waarin problemen kunnen optreden. Per saldo lijkt het redelijk uit te gaan van één leiding die het volle jaar gebruikt wordt.

#### 4.2.4 Sluipend of gapend lek

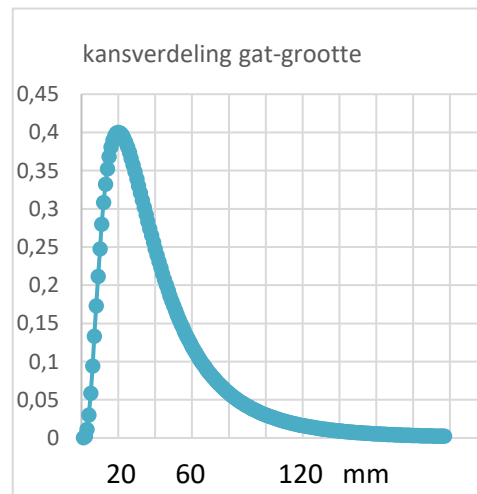
In paragraaf 3.5 is aangegeven dat er onderscheid wordt gemaakt tussen sluipend en gapend lek en dat als eerste inschatting 75% van de totale faalkans aan sluipend en 25% aan gapend lek wordt toegekend. Het lijkt echter zinvol deze schatting te splitsen naar de faaloorzaak, zoals gepresenteerd in Tabel 4-5. Hierbij is dezelfde indeling aangehouden als in faalstatistieken van EGIG en Concawe (zie Tabel 4-2). Deze indeling wordt ook verder in dit rapport toegepast. Tabel 4-5 is opgesteld op basis van de casuïstiek, zoals opgenomen in Bijlage A (staafdiagrammen EGIG). Daarbij is geen grotere verfijning nagestreefd dan ongeveer gelijke orde (50%-50%) of overwegend een van de twee (90%-10%).



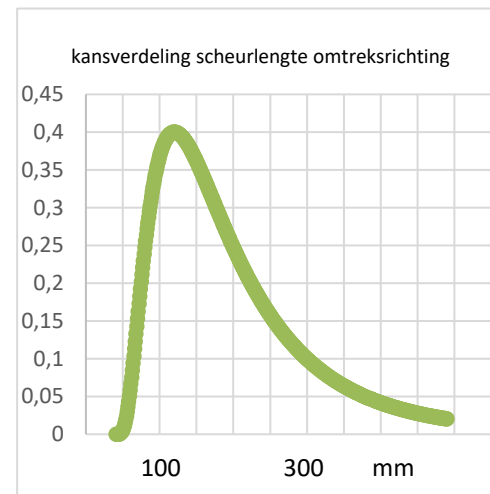
Tabel 4-5 Faalkans gesplitst naar sluipend/gapend lek

	Klein - groot (Lek - krater)
	[%]
External interference	50 – 50
Corrosion	90 – 10
Mechanical defects	90 – 10
Operational	90 – 10
Ground movement	50 – 50

Op basis van een analyse van Spiekhout en Vrouwenvelder (zie Bijlage B), is voor deze specifieke case study een verdere verfijning doorgevoerd op Tabel 4-5, waarin de faalkans is gesplitst naar sluipend/gapend lek. Het resultaat is weergegeven in Figuur 4-3 en geeft de kansverdeling voor de gatgrootte voor het mechanisme corrosie. Figuur 4-4 geeft de kansverdeling van de lengte van de scheur bij een lasfout in de verbinding tussen twee buisdelen.



Figuur 4-3 Kansverdeling gat-grootte (corrosie)



Figuur 4-4 Kansverdeling scheurlengte (lasfout)

Voor deze specifieke case study geldt dus dat bij corrosie het gemiddelde gat in de orde van 30 mm (diameter) is en bij een scheur in omtreks-richting (bij de las) 150 mm, maar dat de breedte veel minder (ordegrootte 2 mm) is.

Op basis van breukmechanicaberekeningen kan bepaald worden of instabiele breuk kan optreden of een lek (lek voor breuk). Dit lek kan groter of kleiner zijn. Of een lek sluipend is, dan wel aanleiding geeft tot kratervorming, is mede afhankelijk van de gronddekking. Dit is uitgezocht door Deltares in bijlage G bij hoofdrapport [Deltares (2019)]. In de betreffende dijk kruising varieert de dekking. Er zijn twee gronddekkingen te onderscheiden, een geringe dekking van 1 m en een grote dekking van 2,5 m. Voor deze twee dekkingen zijn uit de door Deltares beschreven berekeningen de omstandigheden bepaald waarbij bezwijken van de grond optreedt en er dus sprake is van de overgang van een sluipend naar een gapend lek. De sommen zijn gemaakt voor een cirkelvormig gat.

Bij 1 m dekking bedraagt de gatdiameter waarbij een sluipend lek overgaat in een gapend lek 38 mm (ca. 1200 mm<sup>2</sup>). Bij corrosie is de kans op een gapend lek daarmee in de orde van 50%. De equivalente kritieke scheurlengte in Figuur 4-4 ligt uitgaande van 3 mm (zie Bijlage B) scheurbreedte in de orde van 400 mm (ca. 1200 mm<sup>2</sup>). Bij een lasfout is de kans op een gapend lek dus klein. In de praktijk kan dit echter wel optreden indien in combinatie daarmee ook sprake is van een ongelukkig ontwerp en zettingsverschillen.

Bij een grotere dekking van 2,5 m bedraagt de gatdiameter waarbij een sluipend lek overgaat in een gapend lek 98 mm. De equivalente kritieke scheurlengte bij 3 mm scheurbreedte komt dan in de orde van 2,5 m (ca. 7500 mm<sup>2</sup>). Ook dit is dus vrijwel uit te sluiten.

#### *Samenvattend:*

In dit rapport wordt alleen gekeken naar de faaloorzaak van de leiding en het directe gevolg. De gatgrootte en gronddekking bepalen of een lekkage leidt tot het wegspoelen van grond (gapend lek) of alleen tot een verandering in waterspanningen (sluipend lek). De verdere gevolgen zitten in de faalkansanalyse van Deltares.

In het deel van de leiding met een dekking van 1 m geldt:

- Bij corrosie is er een kans van 50% op sluipend lek en 50% op gapend lek;
- Bij een lasfout is altijd een sluipend lek (90%-10%).

In het deel van de leiding met een dekking 2,5 mm (onder de nieuwe berm):

- Bij corrosie is het lek meestal sluipend (90%-10%);
- Bij een lasfout is een gapend gat vrijwel uitgesloten (99%-1%).

Op basis daarvan wordt Tabel 4-5 als volgt aangepast:

Tabel 4-6 Faalkansverdeling naar faaloorzaak leiding en vervolgcans op sluipend/gapend lek in de waterkering, rekening houdend met gronddekking [%]

	<b>Gronddekking</b>	<b>1,0 m</b>	<b>2,5 m</b>	<b>1,0 m</b>	<b>2,5 m</b>
	<b>Lek (in waterkering)</b>	<b>sluipend</b>	<b>sluipend</b>	<b>gapend</b>	<b>gapend</b>
<b>Faaloorzaak leiding</b>	External interference	50	50	50	50
	Corrosion	50	90	50	10
	Mechanical defects	90	99	10	1
	Operational	50	90	50	10
	Ground movement	50	50	50	50

De verdeling sluipend versus gapend lek voor de mechanismen corrosie en mechanische defecten volgt dus uit voorgaande analyse. Operationele fouten zullen vaak via zwakke plekken (bijvoorbeeld als gevolg van corrosie) tot uiting komen. Daarom is daar dezelfde verdeling toegepast als bij corrosie. Bij 'external interference' en 'ground movement' speelt de dekking een andere rol en wordt de verdeling volgens Tabel 4-5 aangehouden.

### 4.3 Berekningen o.b.v. NEN 3650/3651

#### 4.3.1 Berekningen volgens het NEN-model en standaard invoer

In deze stap gaat het om het doen van een schatting van de faalkansen voor het mechanisme “ground movement” ofwel “zetting” op basis van NEN 3650 en NEN 3651. De vraag is in hoeverre deze berekeningen ertoe kunnen leiden de op basis van de algemene casuïstiek ingeschatte kansen bijgesteld worden.

De sterkte van leidingen wordt standaard geverifieerd op basis van NEN 3650 / NEN 3651 voor de in paragraaf 3.3 genoemde grenstoestanden onder de belastingen van zettingen, inwendige druk, grondbelasting, verkeer en hoogwater. Hiertoe wordt de Unity Check (UC) bepaald voor elk punt op de leiding. Daarbij geldt op basis van de achtergrond van deze code [Guijt et al. (2004), Korff et al. (2001)] dat een UC = 1,0 correspondeert met de faalkansen als aangegeven in Tabel 4-7:

Tabel 4-7 Uitgangspunten van de NEN 3650/3651

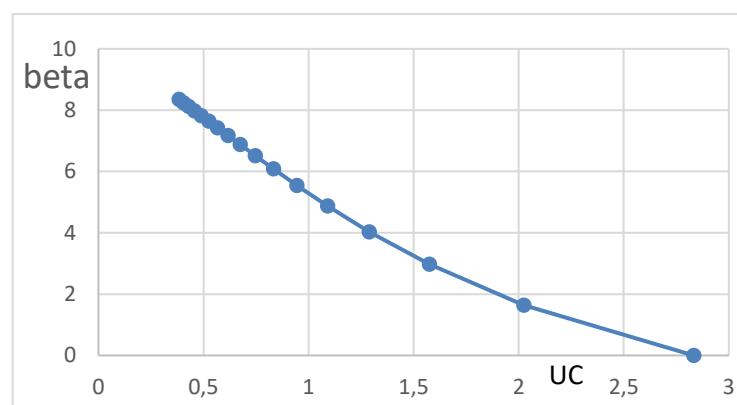
		Lengte [m]	Betrouwbaarheids- index $\beta$	Ontwerpperiode	
				30 jaar $P_f$	1 jaar $P_f$
Veld	Globaal	5000	3,6	$1,6 \times 10^{-4}$	$5,3 \times 10^{-6}$
	Lokaal	50	4,7	$1,6 \times 10^{-6}$	$5,3 \times 10^{-8}$
Kruising	Globaal	100	4,7	$1,6 \times 10^{-6}$	$5,3 \times 10^{-8}$
	Lokaal	10	5,1	$1,6 \times 10^{-7}$	$5,3 \times 10^{-9}$

Voor een standaard-veldsectie van 5 km geldt dus een faalkans van  $1,6 \times 10^{-4}$  voor 30 jaar ofwel een kans van  $5,3 \times 10^{-6}$  per 5000 km per jaar of ongeveer 0,001 per 1000 km per jaar. Dit getal geldt in de NEN 3650 serie per mechanisme (rek, plooi, ovalisering, etcetera) en per belasting-combinatie (zetting, uitvoeringszakking, inwendige druk, verkeer, grond, temperatuur, etcetera). Afhankelijk van de situatie komt de uiteindelijke faalkans daarmee een factor 1 tot zeg maximaal 10 hoger uit. Ter vergelijking: volgens Tabel 4-2 komt Concawe (eerste kolom) op 0,01 per 1000 km per jaar voor falen door ‘ground movement’. Daarbij moet worden aangetekend dat de omstandigheden van de schadegevallen binnen Concawe niet van een vergelijkbare aard zijn als die van een dijk kruising in Nederland. De schadegevallen in Concawe betreffen vooral grondverschuivingen in bergachtig gebied. Behoudens een verschillende verhouding van potentieel gevaarlijke gebieden is er ook een verschil in primair belasting-gestuurd (grondverschuiving) en primair vervorming-gestuurd (bij zettingen), zie voetnoot 10 en tekst op pagina 14.

Voor een kruising gaat de NEN 3650 serie voor de bepaling van de partiële factoren ter plaatse van de waterkering dus uit van  $\beta = 5,1$  per 30 jaar per leidingsectie van 10 m lengte. Bij een vereiste UC van 1,0 zou dan per leidingsegment van 10 m vanuit moeten worden gegaan van een vereiste faalkans van  $5,3 \times 10^{-8}$  per jaar. Voor deze case study moet rekening worden gehouden met het aantal leidingsegmenten in de invloedzone van een bepaald dijkmechanisme en de UC per leidingsegment. Ook hier moet nog een factor overheen als verschillende faalmechanismen gelijktijdig dominant zijn. Wel is in de NEN rekening gehouden met vrij conservatief lengte-effect.

Formeel moet in het leidingdeel waar de kleinere wanddikte en lagere vloeispanning aanwezig is rekening worden gehouden met een hogere faalkans. Gezien de lengte daarvan kan dit leiden tot ongeveer een verdubbeling van de faalkans van  $5 \times 10^{-8}$  naar  $10^{-7}$  per jaar. Namelijk uit Tabel 4-7 (Kruising Globaal) volgt een doelkans van  $5,3 \times 10^{-8}$  voor een kruising met een representatieve lengte van 100 m. Uit de huidige analyse volgt dat de kritieke impactzone een lengte van 200 m heeft<sup>11</sup>, waardoor we uitkomen op orde  $10^{-7}$ .

Bij waarden van UC hoger dan 1 (overschrijding van de rekenwaarden van de sterkte) kan bezwijken van de leiding door gronddrukken en dergelijke natuurlijk wel van belang worden. Onderstaande figuur geeft voor een gestileerd geval ( $Z = R - S$ , variatiecoëfficiënten van 10% voor de sterkte (R) en 20% voor het effect van de belasting (S)) en een streefwaarde voor  $\beta$  van 5,1 een beeld:



Figuur 4-5 Unity Check en bijbehorende betrouwbaarheidsindex  $\beta$  (gestileerd geval),  $\beta$  - UC relatie.

Als de Unity Check bijvoorbeeld op 1,5 i.p.v. 1,0 uitkomt door het effect van grondzettingen/-vervormingen daalt de betrouwbaarheidsindex met ongeveer een factor 2 en daarmee wordt bezwijken van de leiding door 'ground movement' wel een dominant mechanisme in de orde van grootte van de faalkansen van de andere oorzaken.

Gezien de door r+k Consulting Engineers gevonden maximale UC van net boven de 1,0 [r+k (2018a)], moet rekening worden gehouden met iets kleinere  $\beta$ -waarden (iets grotere faalkansen), maar de verschillen zijn verwaarloosbaar. Deze hoogste waarden zijn te vinden bij het binnendijkse mangat en t.p.v. de verstijvingsringen. Buiten deze leidingdelen zijn de UC's veel lager.

#### 4.3.2 Berekeningen volgens het NEN-model en locatie-specifieke invoer

Om de rekenkundige faalkansen voor elk van de vier onderscheiden zones (voorland, kern, berm, achterland) beter te kunnen vaststellen dan op basis van een standaard Niveau I-som volgens de NEN 3650/3651 is feitelijk een Niveau II (First Order Reliability Method) of Niveau III (Monte Carlo)-analyse nodig. In dit project is echter een vereenvoudigde schatting gevolgd die het midden houdt tussen de niveaus I en II.

<sup>11</sup> De kritieke impactzone ligt 35 m buitenwaarts en 165 m binnenwaarts uit het nulpunt van het ontwerp-profiel, zoals afgeleid in Bijlage I van het hoofdrapport [Deltares, 2019]

Bepaald zijn de Unity Checks voor een invoer van belastingen, leidingsterkte en grondparameters in de PLE berekeningen met rekenwaarden horende bij  $\beta = 4,1$  en  $\beta = 5,1$ . De rekenwaarden  $X_d$  volgen (bij een normale respectievelijk lognormale verdeling) dan uit:

$$X_d = \mu(X) \{1 - \alpha(X) \beta V(X)\}$$

$$X_d = \mu(X) \exp \{-\alpha(X) \beta V(X)\}$$

Gemiddelden  $\mu(X)$  en variatiecoëfficiënten  $V(X)$  voor iedere variabele worden bekend verondersteld en staan weergegeven in de tabel in Bijlage D. Ze komen in grote lijnen overeen met de invoer van de destijds uitgevoerde achtergrondberekeningen [Guijt et al. (2004) en (Korff et al. (2001))]. De  $\alpha$ -waarden zijn geschat op hun standaardwaarden volgens Eurocode en ISO 2394, waarbij voor de keuze van dominant versus ondergeschikt is aangesloten bij de achtergrond voor de NEN 3650 serie. De keuze is eveneens weergegeven in Bijlage D.

Een belangrijk verschil tussen een standaardberekening en deze dijk kruising specifieke berekening is de lokaal lagere variatiecoëfficiënt voor de zettingen:

- De zetting is voor deze locatie door Deltares bepaald aan de hand van een regionale proevenverzameling<sup>12</sup> met een andere variatiecoëfficiënt voor de samendrukkingsparameters dan uit de standaard tabel (Bijlage B) van NEN 3650, namelijk variatiecoëfficiënt  $V = 0,08$ .
- De laagdikte variaties zijn bepaald op basis van de lokale geologische omstandigheden (er is hier een dunne samendrukbare laag van ca. 3 m met geringe dikte variatie)
- Het effect van de belastinggeschiedenis leidt tot verschillende variatiecoëfficiënten ( $V = 0,1$  en  $0,5$ , waarbij  $0,1$  geldt voor de locatie met de grootste zetting).

Uit de r+k berekeningen blijkt dat het gevolg is een lagere UC en daarmee ook een lagere faalkans dan uit de standaardanalyse op basis van de waarden uit NEN 3650 Bijlage D volgt.

#### 4.3.3 *Invloed hoogwater*

In afzonderlijke berekeningen is het effect nagegaan van hogere buitenwaterstand op de Waal via horizontale gronddrukken; in de standaard NEN-analyse wordt dit effect niet meegenomen omdat er in de berekeningen geen significant ongunstig effect van hoogwater-gedreven vervormingen op de leiding is vastgesteld.

#### 4.3.4 *Aanvullende analyses*

In Bijlage E zijn tenslotte enkele verdere gedachten uitgewerkt die bij andere cases mogelijk van nut zouden kunnen zijn, maar waar het in het kader van deze case niet nodig was om daar verder op in te gaan.

<sup>12</sup> Traject Gorichem – Waardenburg, 238 proeven

## 5 Resultaten

### 5.1 Resultaten globale analyse

De leidingkruising wordt ten behoeve van de berekening volgens het Veiligheidsraamwerk (Deltares 2018c) opgedeeld in 4 impactzones, waarbinnen falen van de leiding impact heeft op de faalmechanismen en de bijbehorende faalkans van de dijk:

- Voorlandzone;
- Centrale zone;
- Bermzone;
- Achterlandzone.

Voor elk van deze impactzones wordt de kans op falen berekend op basis van de volgende vijf stappen:

- Startpunt is de kans op falen per faalcategorie in [per 1000 km per jaar] volgens de eerste kolom Concauwe van Tabel 4-2.
- Een vermenigvuldiging met een factor 2 om de totale kans op afgeronde conservatieve waarde van 1.0 per 1000 km per jaar te brengen.
- De correctiefactor volgens Tabel 4-4, afhankelijk van de impactzone en categorie faaloorzaak.
- De conditionele kans op een sluipend lek of gapend lek volgens Tabel 4-5, afhankelijk van de dekking en daarmee van de zone 2,5 m bij de ophoging van de berm, elders 1 m); de kans op een sluipend gat kan iets overschat worden, omdat sommige (vooral kleine) sluipende gaten nooit in de database van faalgebeurtenissen zullen komen.
- De lengte van de leiding in de impactzone.

Een en ander is uitgewerkt in een spreadsheet gebaseerd op Tabel 4-2 en Tabel 4-5. Het resultaat is weergegeven in Tabel 5-1.

Tabel 5-1 Resultaat faalkansanalyse voor falen leiding door gapend / sluipend lek

Impactzone	Lengte [m]	PF gapend lek [a <sup>-1</sup> ]	PF sluipend lek [a <sup>-1</sup> ]
Voorlandzone	78	3,1 E-05	4,5 E-05
Centrale zone	45	1,8 E-05	9,7 E-05
Bermzone	31	0,3 E-05	7,6 E-05
Achterlandzone	116	4,7 E-05	6,7 E-05
Totaal	270	9,8 E-05	28,5E-05

Deze getallen worden door Deltares in bijlage D van het hoofdrapport [Deltares (2019)] gecombineerd met de mogelijke beschadiging van de waterkering, de herstelperiode en de kans op hoogwater.

## 5.2 Resultaten NEN 3650 berekeningen en faalkansanalyses

De UC-waarden voor BC 3 (drukloze buis) en BC 4 (buis onder druk) zijn weergegeven in Bijlage D in dit rapport en gebaseerd op de sommen en uitgangspunten, zoals gerapporteerd in [r+k (2018a en b)]. Dit is bijlage D bij het hoofdrapport [Deltares, 2019]. De maximale waarden worden (afgezien van het mangat dat verder buiten beschouwing blijft, omdat het vervangen moet worden) bereikt bij de verstijvingsringen, waarbij bij de locatie  $X = 125000$  mm de allerhoogste waarden worden gevonden. Daarbij wordt opgemerkt dat de modellering van deze ringen van belang is voor de grootte van de spanningen. De algemene indruk is echter dat de schematisering aan de conservatieve kant is.

Gevonden zijn:

beta	UC (rek)	UC (plooi)
0	0,56	0,58
4.1	0,75	0,76
5.1	0,77	0,78

Het verloop is nagenoeg lineair. Extrapolatie naar UC=1 levert beta-waarden in de orde van 10 op. Merk op dat de berekening in dit speciale geval bij  $\beta = 5,1$  niet leidt tot UC=1,0, maar tot een lagere waarde. Dit is te herleiden tot het bovengrenskarakter van de benaderingen die bij het opstellen van voorschriften worden gehanteerd.

De UC-waarden zijn dus lager en de beta-waarden hoger dan op grond van de NEN 3650 invoer (zie hoofdstuk 4.3) was te verwachten. De belangrijkste oorzaak is, zoals al aangegeven in hoofdstuk 4.4, de invoer voor de zetting van de ondergrond. Bij de standaardinvoer van de NEN 3650 is uitgegaan van een variatiecoëfficiënt van 0,19 en een daarmee corresponderende veiligheidsfactor van 2.0. In de case-specifieke invoer voor deze studie is conform NEN 3650 uitgegaan van een locatie afhankelijke variatiecoëfficiënt gebaseerd op locatie specifieke gegevens. De waarden van de gebruikte variatiecoëfficiënten zijn ontleend aan een proevenverzameling van 238 proeven bij Gorkum-Waardenburgen variëren tussen 0,10 en 0,50. Het effect van de 0,10-waarde overheerst.

Ten behoeve van de omrekening van een enkele lokale beta naar een systeem-beta valt op dat er eigenlijk maar één enkele dominant belaste doorsnede is, dit is onder de kruin bij  $X = 125000$  mm (zie de figuur in Bijlage D in dit rapport). Er is daardoor geen lengte-effect. Wel zijn er twee mechanismen (rek en plooi) die gecombineerd moeten worden. We gaan daarbij uit van de bovengrensbepaling en komen analoog aan de eerdere bepaling van de beta-waarden dan nog steeds uit op beta in de orde van 10, ofwel een verwaarloosbare faalkans, uiteindelijk dus voor alle vier de impactzones.

Feitelijk is de kans zelfs alleen van toepassing op het laatste jaar, omdat de zetting en daarmee de belasting op de leiding geleidelijk toeneemt. Mogelijk mag de kans ook nog verdeeld worden over een periode van enkele jaren. Dit is verder niet onderzocht, omdat de faalkansen al klein genoeg waren om tot de conclusies voor deze leidingkruising te komen.

Het resultaat van de berekening tenslotte is dat er geen reden is de schatting voor 'ground movement' volgens Hoofdstuk 4 en Tabel 5-1 aan te passen: de tabel is voor deze case conservatief.

### **5.3 Invloed hoogwater**

In afzonderlijke PLE4Win-berekeningen is het effect nagegaan van een extreme hoog buitenwaterstand op de Waal. Het bleek dat de hoge rivierwaterstand per saldo een gunstig effect had op de Unity Checks. De horizontale vervormingen van de grond rondom de leiding bij hoog water blijken in de berekeningen beschreven in bijlage F bij het GoWa-hoofdrapport van Deltares [r+k (2018b)] tot lagere spanningen en rekken in de leiding te leiden.



## 6 Conclusies en aanbevelingen

### Samenvatting en conclusies

Het veiligheidsraamwerk bleek een prima uitgangspunt voor de uit te voeren analyses. De vraag binnen het deelproject Leidingfalen was om jaarkansen aan te leveren voor een gapende en een sluipend lek in de leiding voor elk van de vier onderscheiden zones (voor- en achterland, centrale zone en nieuwe berm).

De kansen bleken voor een belangrijk deel ontleend te moeten worden aan de casuïstiek. Voor grote stalen watertransportleidingen zijn weliswaar enige gegevens voorhanden, maar er is ook gekeken naar de faalstatistiek van olie- en gasleidingen. Op basis van deze gegevens is de faalkans van de waterleiding vastgesteld. Voor de verdeling van de faalkans van de leiding over de verschillende mogelijke onderliggende faaloorzaken, is eveneens gebruik gemaakt van de beschikbare casuïstiek van olie- en gasleidingen. Door het ontbreken van gerichte casuïstiek van leidingen gelegen in, en kruisend met waterkeringen is gebruik gemaakt van project specifieke correcties van de generieke waarden. Dit is per mechanisme en per zone gedaan op basis van 'expert judgement' gecombineerd met enkele aanvullende berekeningen. In het bijzonder is aandacht gegeven aan de schatting van de verhouding sluipend versus gapend lek. De daarbij gemaakte keuzes kunnen als licht conservatief worden aangemerkt.

De standaard sterkteberekeningen van de leiding volgens de NEN 3650, uitgevoerd met het programma PLE4Win, gaven als resultaat dat de leiding op de meeste plaatsen royaal en op enkele locaties precies voldoet aan de gestelde eisen (de mangaten buiten beschouwing gelaten). Daarbij is dus rekening gehouden met belastingen ten gevolge van zetting, inwendige druk en verkeer, maar niet met zaken als corrosie, graafwerkzaamheden of uitvoeringsfouten. Gegeven de achtergrond van de NEN houdt dit resultaat in dat de leiding voldoende veilig is (dat wil zeggen zeer kleine faalkansen heeft) voor genoemde belastingen.

Nadere meer case specifieke invoer bracht verder aan het licht dat de veiligheid voor dit mechanisme feitelijk nog hoger ligt; de buis blijkt uitstekend bestand tegen de belasting door de voorgenomen grondaanvulling ten behoeve van de extra berm. Ook de aanwezigheid van hoogwater op de rivier heeft geen nadelige invloed op de leiding. Een aantal mogelijk verfijndere analyses ter aanscherping van de resultaten is om die reden achterwege gelaten, maar de principes zijn wel in een bijlage gerapporteerd.

De resultaten zijn door Deltares verder verwerkt in het hoofdrapport [Deltares 2018c].

### Aanbeveling

De veronderstellingen in de studie van dit rapport zijn uiteraard een cruciaal element in de beschouwing van de overstromingskans van het betreffende dijkvak met de leidingkruising. Omdat afwijkingen van veronderstellingen altijd mogelijk zijn en verder wordt afgeweken van de gangbare oplossing, verdient het aanbeveling deze veronderstellingen zoveel mogelijk op hun correctheid te toetsen.

Naast verificatie binnen de kritieke impactzone, wijst dit ook in de richting van een monitoringprogramma. Eerste ideeën zijn gegeven in Bijlage F en een eerste korte uitwerking daarvan is gegeven in [DNV.GL(2018)]. Dit is bijlage H bij het hoofdrapport [Deltares (2019)].

Omdat er geen lokaal grondonderzoek beschikbaar is, wordt aanbevolen om aanvullende sterkteberekeningen te maken o.b.v. lokaal grondonderzoek conform de NEN 3650 serie.

## 7 Referenties

- Centrum voor Ondergronds Bouwen, COB (2006), Risicoanalyse en risicobeoordeling van bundeling van kabels en leidingen, COB O13-06-0
- Deltares (2019), Faalkansanalyse dijkontwerp Gorinchem - Waardenburg met kruisende leiding, Deltares rapport 11203450-002-GEO-0002, Auteurs: Timo Schweckendieck et al.
- Deltares (2018a), WBI Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen, Deltares rapport 11202225-005-GEO-0001 Auteur: Timo Schweckendieck
- Deltares (2018b), Faalkansanalyse parallelle waterleiding in dijkontwerp Zeeburgereiland, Deltares rapport 11202871-002-GEO-0001, Auteurs: Timo Schweckendieck en Anton van der Meer
- Deltares (2018c), Hoogwater vervormingen, Deltares notitie 11202640-000-GEO-0002, Auteur: Dirk de Lange
- Deltares (2018d), Analyse Plaxis naar opbarsten bij lek waterleiding, Deltares notitie 11202640-000-GEO-0004, Auteur: Hans Teunissen
- Deltares (2018f), Zettingen en variaties in zettingen, Deltares notitie 11202640-000-GEO-0005, Auteur: Geeralt van den Ham
- DNV.GL (2018), Monitoring, DNV GL notitie OGNL.177197, Auteur: Victoria Monsma
- Guijt et al. (2004), Safety Concept in The New Dutch Pipeline Standard NEN 3650, ISOPE, Toulon 2004, Auteurs: Guijt W., T. Vrouwenvelder, N. Gresnigt, G. Dijkstra
- Korff et al. (2001), Achtergrond herziening NEN 3650, TNO, Delft, 2001, Auteurs: Korff M., H. Hergaarden, A. Vrouwenvelder
- Ministerie van Infrastructuur & Milieu, Min.I&M (2016), Regeling veiligheid primaire waterkering 2017, IENM/BSK-2016/283517
- NEN 3650-1 (2012 C1\_2017 nl), Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 1: Algemene eisen
- NEN 3650-2 (2012 C1\_2017 nl), Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 2: Aanv. eisen voor leidingen van staal
- NEN 3650-3, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 3: Aanvullende eisen voor leidingen van kunststof
- NEN 3650-4, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 4: Aanv. eisen voor leidingen van beton
- NEN 3650-5, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 5: Aanvullende eisen voor leidingen van gietijzer
- NEN 3651, Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken
- NPR (2006), NPR, 3659/A1:2003/C1, Praktijkrichtlijn Ondergrondse pijpleidingen - Grondslagen voor de sterkteberekening, Correctieblad, januari 2006
- POV-K&L (2017), Project Overstijgende Verkenning Kabels en Leidingen – Plan van Aanpak, Nisa Nurmohamed et al., 22 augustus 2017
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM (2017a), Handleiding Risicoberekeningen Bevb
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM (2017b), Handleiding Risicoberekeningen Bevi
- r+k Consulting Engineers (2018a), Sterkteberekeningen van twee bestaande  $\varnothing 1219$  mm stalen Dunea waterleidingen in het dijkversterkingstraject Gorinchem -

- Waardenburg (NEN – berekeningen), r+k rapport 5-277-482-02, Auteur:  
Marco Lammers
- r+k Consulting Engineers (2018b), Variant-berekeningen stalen leiding ter plaatse  
van de Noordelijke Waaldijk te Vuren, r+k rapport 5-277-482-03, Auteur:  
Marco Lammers
- TAW (2013), Leidraad Kunstwerken, TAW-rapport DWW2003-059, Auteurs: Marco  
Veendorp en Hans Niemeijer
- TNO & Deltares (2017), Methodiek "Falen waterkering als gevolg van falen  
pijpleiding", fase 1, TNO 2016 R11806A, Ton Vrouwenvelder et al., 23 juni  
2017.

## 8 Ondertekening


Delft, januari 2020



Prof.ir. A.W.M.W. Vrouwenvelder  
Auteur



Drs. B.L. Lassing-van der Spek  
Reviewer



Dr. P.C. Rasker  
Research manager  
Structural Reliability

## A Casuïstiek t.b.v. faalkans GoWa

### Faalkans GoWa

Opsteller: J. Spiekhout

Ten behoeve van: POV Kabels en Leidingen

Datum: 08-05-2019

Status: Definitief, rev. 1

### Inleiding

Er is zeer beperkte casuïstiek voor watertransportleidingen. Voorgesteld wordt om als basis daarom een bestaande casuïstiek voor andere leidingen te nemen en deze te bewerken voor stalen watertransportleidingen. Er is casuïstiek voor aardgastransportleidingen in Europa (EGIG) en voor olietransportleidingen in Europa (Concawe).

De volgende tabel opgesteld door EGIG (ref.1) geeft de faalfrequentie van gastransportleidingen opgesplitst naar oorzaak. De faalfrequentie omvat kleine lekken, lekken en bezwijken.

Cause	Primary failure frequency			
	1970-2016 per 1,000 km·yr	1997-2016 per 1,000 km·yr	2007-2016 per 1,000 km·yr	2012-2016 per 1,000 km·yr
External interference	0.144	0.064	0.043	0.032
Corrosion	0.052	0.034	0.037	0.027
Construction defect / Material failure	0.051	0.022	0.027	0.021
Hot tap made by error	0.014	0.006	0.006	0.003
Ground movement	0.026	0.023	0.022	0.031

Tabel 1 – Faalfrequenties opgesplitst naar oorzaak (ref.1)\*

De faaloorzaak beschadiging door derden (graafwerkzaamheden) vormt een grote bijdrage.

De volgende grafiek geeft de verdeling aan van klein lek, lek en bezwijken. De faalfrequentie voor bezwijken is klein.

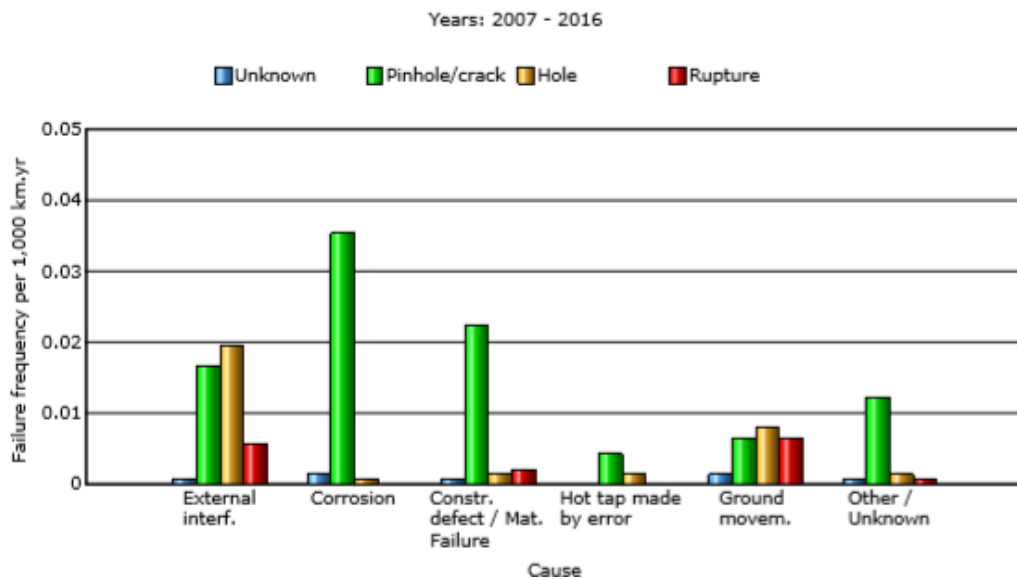


Fig. 1 – Faaloorzaak gastransportleidingen opgesplitst naar gevolg - klein lek, lek, bezwijken (EGIG)\*

\* - Hot tap (bv. gasdistributie of waterleiding die een hogedruk gasleiding aanboort) is in feite geen operations error maar zou eigenlijk bij external interference horen (beschadiging van buitenaf door derden)

De volgende tabel is afgeleid uit Concawe (ref.2 – uit tabel 2) geeft de verdeling van de faalfrequenties naar oorzaak voor olietransportleidingen.

	<b>Concawe 2012-2016</b>
External interference	0,078
Corrosion	0,057
Mechanical defects	0,051
Operational	0,011
Ground movement	0
<b>Totaal</b>	<b>0,197</b>

Tabel 2 – Faalfrequenties olietransportleidingen opgesplitst naar oorzaak (Concawe)

In de volgende figuur is voor olietransportleidingen de lekfrequentie als functie van de diameter aangegeven.

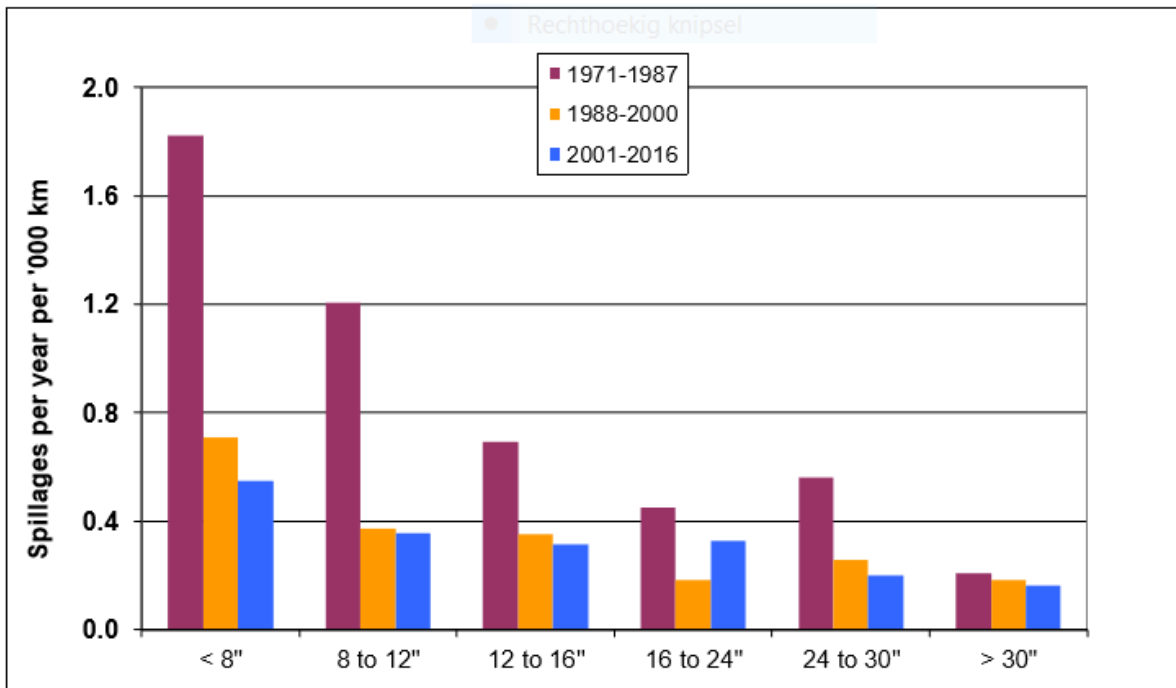


Fig. 2 – Lekfrequentie olietransportleidingen als functie van de diameter (Concawe)

De trend bij zowel gastransportleidingen als olietransportleidingen is min of meer gelijk. De lekfrequentie van grote diameters is kleiner dan van kleine diameters. In het verleden lagen de faalfrequenties bij Concawe aanzienlijk hoger dan bij EGIG, terwijl de verschillen nu niet meer zo groot zijn. Deze verschillen worden kwalitatief verklaard in de volgende paragraaf.

### **Kwalitatieve vergelijking Concawe – EGIG op hoofdlijnen**

Concawe betreft ca. 37.500 km transportleiding voor olieproducten, diameter van  $\frac{3}{4}$  inch tot en met 44 inch. De olieproducten variëren van ruwe olie tot kerosine, zowel koude leidingen als warme leidingen. Deze laatste categorie leidingen is gevoeliger voor corrosie zowel inwendige als uitwendige (bv. corrosie onder isolatie). Ook de incidenten op pompstations en tussenstations worden meegenomen. Op stations is een verhoogde kans op corrosie bv. overgang ondergronds naar bovengronds. Bij pompstations spelen trilling issues en daarmee vermoeiingsproblemen.

EGIG betreft ca. 142.800 km gastransportleiding. Het medium is droog niet corrosief aardgas (behoudens incidentele doorslip zuurstof en een te hoog dauwpunt vanuit de gasbehandeling bij exploratie en productie op sommige plekken). De diameterrange is van 2 tot en met 48 inch (er zijn onlangs 56 inch leidingen bijgekomen). Incidenten op compressorstations en overige stations zijn niet in de EGIG-database opgenomen.



Zowel EGIG als Concawe hebben leidingen uit de vroegere Oostbloklanden in hun databestanden. Bekend is dat daar door achterstallig onderhoud de nodige corrosieproblemen geweest zijn. Concawe heeft een groter aantal Oostbloklanden in zijn databestand dan EGIG. Niet bekend is of het vroegere Oost-Duitsland in het EGIG databestand is opgenomen. Voor West-Duitsland is Open Grid in de database opgenomen. Het Oost Duitse VNG is onlangs door Open Grid (vroeger Ruhrgas) overgenomen, maar is niet separaat vermeld. Bekend is dat er veel corrosieproblemen bij VNG waren.

Bij olietransportleidingen speelt vanwege de ouderdom op dit moment vermoeiing. Wat betreft een programma voor levensduurverlenging is Duitsland Nederland al voorgegaan (ref. TÜV-Nord). Olieleidingen zijn onderhevig aan meer en grotere drukwisselingen (ook drukstoten).

#### Verschillen frequentie faalorzaken Concawe versus EGIG.

In alle gevallen is bij vrijwel alle faalorzaken de faalfrequentie bij Concawe groter dan bij EGIG.

*Externe beschadigingen* (External interference) – gastransportleidingen hebben gemiddeld genomen een grotere wanddikte dan olietransportleidingen (veel landen hebben voor gastransportleidingen een lagere ontwerpfactor hetgeen tot een grotere wanddikte en dus een grotere weerstand tegen beschadiging leidt – bv. NL oude gebiedsklasse indeling met ontwerpfactoren 0,72, 0,67, 0,55 en 0,45. Engeland ontwerpfactoren 0,72 en 0,30. Toelichting over ontwerpfactor – Ontwerpfactor is de ratio van toelaatbare spanning uit inwendige druk versus de gespecificeerde minimum rekgrens. In de voorgangers van NEN 3650 werd deze term toegepast en ook in buitenlandse buisleidingnormen wordt deze term “design factor” heden ten dage nog steeds toegepast).

*Corrosie* (Corrosion) – is met eerdere beschrijving voldoende verklaard.

*Mechanisch falen* (Mechanical defects) – Bij gastransportleidingen is in veel landen sprake van extra overheidstoezicht, Third Party of toezicht door een Eigen Inspectiedienst. Dit is niet altijd het geval voor olietransportleidingen. Voor bijvoorbeeld exploratieleidingen, die onder de Mijnbouwwet vallen, is wel weer Third Party inspectie van toepassing)

CEOC rapporteert in het aanpalend gebied van drukvaten en installaties vaststelling van ca. 0,3% veiligheidsbedreigende manco's. Een inspectiedienst werkzaam op het gebied van leidingen en installaties rapporteert 2% afkeur. Nadere informatie is niet gevonden. Er wordt vanuit gegaan dat de manco's meestal afwijkingen van de normen betreffen. Een bepaald gedeelte van de manco's zal tot falen leiden. In een onderzoek van AEA Technology in opdracht van de ECUI (European Committee of User Inspectorates - de organisatie van Eigen Inspectiediensten) ten behoeve van onderbouwing van de positie van de Eigen Gebruikers Inspectiediensten en de Inspectiediensten bij de fabrikanten in de Pressure Equipment Directive (PED), in Nederland geïmplementeerd in het Warenwetbesluit Drukapparatuur), werd op basis van casuïstiek geconcludeerd dat in 0.01% van de drukvaten die in gebruik worden genomen, manco's aanwezig zijn die tot bezwijken aanleiding geven. Voorgaande heeft dus betrekking op mechanisch falen en geeft een indicatie over de toegevoegde waarde

van een onafhankelijke inspectie bovenop het normale constructietoezicht ook voor buisleidingen.

*Natuurlijke oorzaken* (ground movement) – Dit wordt met name bepaald door de gebieden welke worden doorkruist. Dit speelt met name in gebieden met veel geotechnische problemen. Opgemerkt wordt dat bezwijken van leidingen voor kan komen bij grote verplaatsingen, zoals grondverschuivingen (landslide) en mijnverzakkingen.

*Bediening* (operations)– Bij olieleidingen worden meer handelingen verricht zoals inbrengen van ballen om batches met verschillende olie te scheiden, starten en stoppen van pompen e.d.

### **Toepassing handleiding BEVB RIVM**

In de handleiding onder ref. 3 geeft RIVM een manier om voor bepaalde leidingen en afhankelijk van exploitant (beheerssysteem e.d.) te komen tot faalfrequenties voor toepassing in risicoberekeningen ter bepaling van de zogenaamde  $10^{-6}$  risicocontour.

Het voorstel om in dezelfde geest de faalfrequenties voor de kruising van de GoWa watertransportleidingen in de dijk vast te stellen, is als volgt:

#### **Beschadigingen van buitenaf**

- Cluster 1 – regelgeving en casuïstiek
  - A. WION wetgeving – factor 0,4
  - B. Leidingexploitant – factor 1,0
  - C. Actief appel – factor 1,0

- Cluster 2 - Afdekking  
De dekking is in de bestaande situatie relatief gering – factor 2,0.

Na dijkversterking neemt op veel plaatsen de dekking toe. Dit zou nader geëvalueerd kunnen worden. Omdat uit de latere resultaten blijkt dat de bijdrage van beschadigingen door graafwerkzaamheden gering is, wordt dit niet in detail geëvalueerd.

- Cluster 3 – Beheermaatregelen  
In een dijk mag niet worden gegraven of geboord – factor 0,1
- Cluster 4 - Fysieke barrières op het maaiveld  
Er is sprake van een dijklichaam – factor 0,1
- Toevoeging – Cluster Constructieve maatregelen  
De wanddikte in de dijk kruising bedraagt 15,58 mm en daarbuiten 12,0 mm. De mate van weerstand tegen uitwendige beschadiging geeft nog een extra reductie. De vormen van beschadiging (graafwerkzaamheden) welke op kunnen treden zijn kras, deuk, kras-deuk combinaties die kunnen bezwijken (lek of breuk) of lek door doorpensen.

Er is veel onderzoek gedaan naar de weerstand van gastransportleidingen tegen graafwerkzaamheden. Hierbij gaat het met name om de weerstand tegen krassen en doorpensen. Referenties 4 en 5 van deze bijlage bevatten een lijst van literatuur met de achtergronden over dit onderwerp. Boven een bepaalde wanddikte bij een gegeven graafwerktuig kan geen bezwijken of lekkage meer plaats vinden. Voor moderne staal-soorten als heden ten dage toegepast (grote beuktaaiheid) bij gastransportleidingen kan gesteld worden dat bij wanddiktes groter dan 10 mm een gemiddelde hydraulische graafmachine niet in staat is deze leiding te doen bezwijken. De leiding zal krassen overleven en doorpensen zal niet plaats vinden. Een kras-deuk combinatie zal zich gedragen als een kras. Voor wanddiktes groter dan 9,5 mm is de leidingen volgens

referenties 4 en 5 van deze bijlage bestand tegen doorponzen. In deze referenties is ook de EGIG incidentenstatistiek beschouwd. Daaruit blijkt eenzelfde trend. Voor verdere achtergronden wordt men dan ook naar deze referenties verwezen.

Omdat het in dit geval een oudere leiding betreft waarvan de taaiheidseigenschappen niet bekend zijn moet de krasbestendig apart worden geëvalueerd. Dit is geëvalueerd in bijlage 1A.

Uit de evaluatie en voorgaande kan gesteld worden dat de transportleiding in de dijk bestand is tegen krassen en doorponzen. Alleen een kras-deuk combinatie is bedreigend. Geconcludeerd mag worden dat de weerstand tegen beschadiging van deze transportleiding in ieder geval sterk verhoogd is. Daarom wordt een reductiefactor 0,1 voorgesteld

## **Corrosie**

Onderscheid moet worden gemaakt tussen interne corrosie en uitwendige corrosie. Aardgastransportleidingen vervoeren zoet droog niet corrosief aardgas. Inwendige corrosie kan daar dus niet voorkomen en de casuïstiek vermeldt alleen uitwendige corrosie. Voor deze watertransportleiding is in de dijk kruising bij inspectie geen wanddikteafname ten gevolge van inwendige corrosie gemeten (op die plaatsen waar gemeten is). Wat betreft uitwendige corrosie geeft de casuïstiek aan dat het voornamelijk kleinere lekken betreft.

## **Constructiefouten en materiaalfouten**

Alle materialen en met name lassen bij gastransportleidingen worden naast het normale constructietoezicht apart geverifieerd door een onafhankelijke instantie. Dit is een overheidsinstelling, een door de overheid aangewezen inspectie instelling of zogenaamde Eigen Inspectiedienst. In de watertransportleidingwereld is dit niet het geval. Dit betekent dat daar de kans op onterechte goedkeuring, welke later resulteert in falen, groter is. Hiervoor wordt een factor 10 voor watertransportleidingen ten opzichte van aardgastransportleidingen gehanteerd (zie ook eerder).

In dit geval is voor de ringverstijfde mijterbochten nog een extra risico aanwezig. De leidingkruising is volgens opgave uitgevoerd in X60. Zulke hogere sterktestalen zijn gevoelig voor koudscheuren (waterstofscheurtjes), zie ook ref. 10. Het gaat dan om scheurtjes van ca. 1,5 mm diepte vanuit de binnenkant. De oorzaak van deze scheurtjes is (vaak) tegenlassen vanuit de buis zonder voorverwarming geweest (volgens de regels mag er niet tegen worden gelast - V-naad - en als dit toch moet, moet dit volgens een procedure gebeuren en moet in ieder geval worden voorverwarmd – de lasser vindt dit echter niet zo prettig). Dit speelt met name bij situaties met onrondheid en verbindingen dik op dun, geometrieveranderingen dus. In de situatie van grotere langs buigspanningen kan dan scheuren optreden resulterend in lekkage. Hiervan zijn er gevallen geweest (o.a. dijk kruising Moordrecht). Meestal komen

zulke lekkages na melding van een agrariër na een periode van veel regen (“er staat iets in mijn land te borrelen”). Volgens ervaring van J. Spiekhout komt dit 1 keer in de ca. 10 jaar voor en treedt dit op binnen 3 jaar na constructie. De 3 jaar is verklaarbaar vanuit het feit dat dan een groot deel van de uitvoeringszetting heeft plaatsgevonden. Indien een nieuwe ophoging plaatsvindt waarbij nieuwe zettingen optreden, is in de eerste drie jaar na ophoging een verhoogde kans op een lek in een rondlas aanwezig.

De lassen tussen de leidingsegmenten van de Dunea/GoWa dijk kruising zijn analoog aan de eerdergenoemde geometrie gevallen en hebben daardoor, ook omdat het een al wat oudere leiding in X 60 materiaal betreft, mogelijk een verhoogd risico op lekkage als de belasting ten gevolge van dijkversterking toe gaat nemen, gedurende de eerste 3 jaar na aanbrengen van de dijkversterking.

Als bijvoorbeeld de spanning in de onderbochten gaat toenemen na dijkversterking zou er een hogere kans zijn dat daar (in de eerste 3 jaar na versterking) lekkage optreedt. Deze lekkage kan vertaald worden in gevolgen voor de dijkstabiliteit. Voor de bochten wordt voor dit geval een factor 10 ten opzichte van standaard bochten (koud gebogen, inductiebochten of uit halve schalen samengestelde bochten genomen).

### **Hot-tap**

Hot-tap wordt in een dijk normaal niet uitgevoerd. Voor de betrokken leidingen bestaan ook geen plannen die daartoe aanleiding zouden geven.

### **Grondbeweging**

Zie ook eerder (bij natuurlijke oorzaken – ground movement). De oorzaken van de in de databases van Concawe gerapporteerde bezwijkgevallen zijn niet bekend (zijn vertrouwelijk). Bekend is dat er enkele grondverschuivingen geweest zijn met bezwijken van de leiding tot gevolg, o.a. in Italië in de Apennijnen. DNV.GL heeft in opdracht van een klant onderzoek verricht naar o.a. databases in de VS waarbij de oorzaak achterhaald kon worden. Dit betrof alle grondverschuivingen in bergachtig gebied.

## Evaluatie

Met de EGIG-faalkansen als basis leidt de bewerking voor stalen watertransportleidingen tot het volgende:

Oorzaak	Factor	EGIG Faalkans per 1000 km.jaar	Faalkans gecorrigeerd per 1000 km.jaar
External interference		0,032	Verwaarloosbaar klein
- Cluster 1			
o A	0,4		
o B	1,0		
o C	1,0		
- Cluster 2	2,0		
- Cluster 3	0,1		
- Cluster 4	0,1		
- Cluster constructief	0,1		
Corrosion	1,0	0,027	0,027
Mechanical defects	10,0	0,021	0,210
Hot-tap	1,0	0,003	0,003
Ground movement	1,0	0,031	0,031
<b>Totaal</b>		<b>0,114</b>	<b>0,271</b>

Te zien is dat de bijdrage door materiaal- en constructiefouten het grootst is. De oorzaak is dat in de waterleidingtransportwereld geen aparte onafhankelijke inspectie bovenop het constructietoezicht plaats vindt. Wel is te zien dat de verreweg de het grootste deel van de gevolgen zich beperkt tot een klein lek.

De bijdrage in falen ten gevolge beschadiging van buitenaf wordt verwaarloosbaar klein.

Voor bochten die door de dijkversterking extra worden belast komt er nog een kansdeel bij.

Er is geen gedetailleerde analyse met de Concawe data uitgevoerd. Omdat Constructie en Materiaalfouten (Concawe noemt deze Mechanical Defects) bepalend is voor de dijk kruising zou de evaluatie met Concawe data tot tenminste een verdubbeling van de faalkans leiden en uitkomen op rond 0,6 per 1000 km.jaar.

## Conclusie

Voor de Gowa dijk kruising moet vanuit EGIG een faalkans van 0,271 per 1000 km.jaar worden gehanteerd. Voor Concawe is dit een faalkans van tenminste 0,6 per 1000 km.jaar.

## **Referenties**

- 1 - EGIG; “Gas pipeline incidents, 10th report of the European Gas Pipeline Incident Data Group, period 1970-2016”
- 2 - Concawe; “Performance of European cross-country oil pipelines – Statistical summary of reported spillages in 2016 and since 1971”, Report no. 6/18
- 3 - RIVM; “Handleiding Risicoberekeningen Bevb”, versie 2.0, 1 juli 2014
- 4 - J. Spiekhout: "The design of transmission pipelines to be resistant to external interference", page 427-441, 3rd International Conference on Pipeline Technology, Brugge, Belgium, May 21-24, 2000. Editor: R. Denys, Elsevier, Amsterdam, ISBN: 0-444-50271-8.
- 5 - J. Spiekhout, M. Gielisse; “Deterministischer und probabilistischer Ansatz im Rohrleitungsentwurf – was sind die Unterschiede – wie wichtig ist das Endergebnis? Die vorgehensweise in den Niederlanden“, Oldenburger Rohrleitungsforum 2013, Rohrleitungen im Zeichen des Klimawandels, Tagungsband zum 27. Oldenburger Rohrleitungsforum, IRO Band 38, Vulkan Verlag, pp. 495-505

Ook veel achtergrondinfo in:

- [http://www.hse.gov.uk/research/crr\\_pdf/2001/crr01372.pdf](http://www.hse.gov.uk/research/crr_pdf/2001/crr01372.pdf)

- <http://www.hse.gov.uk/research/rpdf/rr1035.pdf>

## **Bijlage 1A – Krasbestendigheid**

### **Inleiding**

Er is veel experimenteel en theoretisch onderzoek aan cilindrische vaten verricht. Met name kunnen hier genoemd worden onderzoek ten behoeve van kernreactoren (reactorvaten en koelwaterleidingen) en onderzoek ten behoeve van pijpleidingen (veel onderzoek verricht ten behoeve van onder andere het huidige Pipeline Research Committee International).

### **Kerftaaiheid leidingmateriaal**

Omdat het in dit geval een oudere leiding betreft waarvan de taaiheidseigenschappen niet bekend zijn moet de krasbestendig apart worden geëvalueerd. Verondersteld wordt dat het buismateriaal een kerftaaiheid heeft van tenminste 27 Joule (Charpy-V). Bekend is dat voor hogere sterkte buismaterialen van voor 1972 de kerftaaiheid lager kan zijn (vanaf 1972 is er X60, daarvoor was allen X 56 verkrijgbaar. Zie hiertoe ook referentie 11).

### **Bestandheid tegen krassen**

Krasbestendigheid betekent dat een leiding een kras van 2,5 mm moet kunnen doorstaan. Dit is gebleken uit beproeving. Zie hiertoe referentie 9.

### **Formules**

Voor de achtergronden van de toe te passen formules wordt verwezen naar referenties 6, 7 en 8.

Voor het gebied waar de breuktaaiheid bepalend is voor het bezwijkgedrag (het zogenaamde ‘toughness-criterium’), kan de bezwijkspanning worden berekend met de volgende formules:

$$\sigma_b = \frac{2}{\pi} \frac{\sigma_{flow}}{M_p} \arccos \exp \left[ - \frac{2C_V \cdot E \cdot \pi \cdot 10^3}{8A_c \cdot \ell \cdot \sigma_{flow}^2} \right]$$

waarin:

$$M_T = \left( 1 + 1,255 \frac{\ell^2}{4Re} - 0,0135 \frac{\ell^4}{16R^2 e^2} \right)^{0,5}$$

$$M_p^{-1} = \frac{1-t/e}{1-t/(M_T \cdot e)}$$



$\sigma_b$	- bezwijkspanning	( $N/mm^2$ )
$\sigma_{flow}$	- "flow"-spanning ( $\sigma_{flow} = (\sigma_y + UTS)/2$ )	( $N/mm^2$ )
$\sigma_y$	- vloeispanning	( $N/mm^2$ )
$UTS$	- breukspanning	( $N/mm^2$ )
$l$	- defectlengte	( $mm$ )
$t$	- defecthoogte	( $mm$ )
$e$	- wanddikte	( $mm$ )
$R$	- halve diameter	( $mm$ )
$E$	- elasticiteitsmodulus	( $N/mm^2$ )
$C_v$	- kerfslagwaarde (Charpy-V)	( $J$ )
$A_c$	- breukdoorsnede kerfslagstaafje	( $mm^2$ )

### Gegevens leiding

Diameter: 1219 mm

Wanddikte: 15,58 mm en 12,0 mm

Staalkwaliteit: X60 resp. Grade B

Ontwerpdruk: 11 bar

Medium: Ruw water t.b.v. drinkwaterbereiding

De leiding voldoet aan de Pijpleidingcode Zuid-Holland

Opmerking: De leiding is wat betreft sterkte ontworpen volgens de Pijpleidingcode Zuid-Holland. Achteraf gezien zijn bij de sterkteberekening de onversterkte mangaten achterwege gelaten. Er wordt vanuit gegaan dat deze mangaten zullen worden versterkt of vervangen door een buisstuk. De evaluatie gaat ervan uit dat het manco van de mangaten niet aanwezig is.

X60 (gedeelte in de eigenlijke dijk kruising):

$$\sigma_y = 413 \quad N/mm^2$$

$$UTS = 517 \quad N/mm^2$$

$$\sigma_{flow} = 465 \quad N/mm^2$$

Grade B (veldsectie):

$$\sigma_y = 241 \quad N/mm^2$$

$$UTS = 413 \quad N/mm^2$$

$$\sigma_{flow} = 327 \quad N/mm^2$$

### Uitwerking formules

Bij  $l = 1000$  mm,  $M_T = 5,0$ ,  $M_p = 0,87$  resp.  $0,82$ , dan  $\sigma_b \approx 177$  N/mm<sup>2</sup> resp.  $\sigma_b \approx 177$  N/mm<sup>2</sup>  $160 >$  ringspanning bij 11 bar (43 resp. 56 N/mm<sup>2</sup>).

### Conclusie

De transportleiding in de dijk en de veldsectie zijn bestand tegen krassen.

### Referenties bij Bijlage 1A

- 6 - E.S. Folias; "On the theory of fracture of curved sheets", Engineering Fracture Mechanics, 1970, Volume 2, pages 151-164.
- 7 - W.A. Maxey; "Fracture initiation, propagation and arrest", 5th Symposium on Line Pipe Research, Houston, 1974.
- 8 - J. Spiekhout; "Evaluatie barstproeven - naar aanleiding van de stuurgroepvergadering NIL-breuktaaiheid op 22 oktober 1986 te Delft", 6 november 1986.
- 9 - J. Spiekhout, A.M. Gresnigt, C. Koning en H. Wildschut: "Calculation models for the evaluation of the resistance against mechanical damage of pipelines", 3R International, 25. Jahrgang, Heft 4 April 1986, pp 198 - 203.
- 10 - E. Romeijn, T. Luijendijk; "Constructie hoge sterkte staal stelt andere eisen aan het lassen", Metaalmagazine 9, 2009, pp. 30-32
- 11 - Niemeyer, G. Vogt, H.A. Wessel; "75 Jahre Stahlforschung in Duisburg-Huckingen – 1934-2009 vom Hüttenlabor zum modernen Entwicklungszentrum“, Salzgitter Mannesmann Forschung

## B Beschouwing lekgrootte

### **Beschouwing lekgrootte kruising Dunea transportwaterleiding met de Waaldijk bij Vuren**

Opsteller: J. Spiekhout, A.C.W.M. Vrouwenfelder

Ten behoeve van: POV Kabels en Leidingen

Datum: 08-05-2019

Status: Definitief, versie 3

#### **Inleiding**

Ten behoeve van de evaluatie van de dijkversterking voor de Waaldijk, in het kader van de “POV Kabels en Leidingen (POV-KL)”, dienen de lekgroottes van de waterleiding, voor de berekening van “sluipend lek” en “gapend lek”, te worden bepaald.

#### **Gegevens leiding**

Diameter: 1219 mm

Wanddikte: 15,58 mm en 12,0 mm

Staalsoort: X60 resp. Grade B

Ontwerpdruk: 11 bar

Medium: Ruw water ten behoeve van drinkwaterbereiding

Er is oorspronkelijk gesteld dat de leiding wat betreft sterkte is ontworpen volgens de Pijpleidingcode Zuid-Holland. Achteraf gezien is geen rekening gehouden met de schadefactor (nu importantiefactor), de minimum wanddikte-eis, de 20% eis voor relatieve sterkte en zijn bij de sterkteberekening de onversterkte mangaten achterwege gelaten. Er wordt vanuit gegaan dat deze mangaten zullen worden versterkt of vervangen door een buisstuk. De evaluatie gaat ervan uit dat het manco van de mangaten niet aanwezig is. Verder is op dit ogenblik nog niet duidelijk waar de wanddikte- en materiaalovergang precies ligt en of deze wel of niet buiten de veiligheidszone ligt.

## Vraagstelling

De vraag is of een plotseling gapend lek kan ontstaan of niet en wat het oppervlakte is van de lekopening. Het gaat daarom om zowel de vraag of ten gevolge van de inwendige druk een plotseling gapend lek kan ontstaan of dat een gapend lek kan ontstaan bij uitwendige krachten.

## Aanpak

Met behulp van de breukmechanica kan inzicht in het bezwijkgedrag worden verkregen. In het verleden is veel onderzoek gedaan naar het barst gedrag, instabiele breuk, scheurpropagatie, scheurstop en lekgrootte van onder andere aardgastransportleidingen en voor leidingwerk in nucleaire toepassingen. Dit alles biedt goede aanknopingspunten voor deze evaluatie. Mogelijke defectgroei ten gevolge van vermoeiing wordt niet beschouwd.

## Evaluatie

In bijlage 2A zijn de benodigde breukmechanica formules aangegeven met referenties wat betreft achtergronden. Met de gegeven formules kan de bezwijkspanning bij (plotselinge) instabiele breuk worden berekend. In bijlage 2B worden de benodigde parameters aan de hand van de formules uit bijlage 2A en de berekeningsresultaten vermeld.

Verondersteld wordt dat het buismateriaal een kerftaaiheid heeft van tenminste 27 Joule (Charpy-V). Bekend is dat voor hogere sterkte buismaterialen van voor 1972 de kerftaaiheid lager kan zijn. In de tegenwoordige praktijk zijn kerftaaiheden rond de 100 Joule geen uitzondering bij buizen zoals die worden verworven. De kerftaaiheid kan worden omgerekend naar een breukmechanische parameter ( $K_c$ ). Voor de rondlassen wordt een conservatieve waarde voor de CTOD (Crack Tip Opening Displacement) van 0,075 mm aangehouden (zie Bijlage 1, ref. 6).

Onderscheid moet worden gemaakt tussen inwendige druk (leiding als drukvat) en uitwendige belastingen (leiding als ligger in de grond).

## Inwendige druk

Er wordt een scheurlengte van > 350 mm voor de X60 15,58 mm wanddikte en >250 mm voor de Grade B 12,0 mm wanddikte berekend, waarbij voor deze situatie (plotselinge) instabiele breuk op kan treden (ringspanning bij 11 bar is 43 N/mm<sup>2</sup> voor de 15,58 mm wanddikte en 56 N/mm<sup>2</sup> voor de 12,0 mm wanddikte).

Een eventueel aanwezig groot defect vanuit de aanleg wordt bij de sterktebeproeving gedetecteerd (Volgens de Pijpleidingcode is dit een hogedrukleiding en er zal dan op 90% vloeï, betrokken op de nominale wanddikte, beproefd moeten zijn). Dit betekent dat een groot

defect zou moeten ontstaan in de bedrijfsvoering fase. Dit is alleen denkbaar vanuit een klein defect welke eerst zal leiden tot een klein lek welke in de tijd uit zou moeten groeien tot de lengte waarbij instabiele breuk optreedt, als die al op kan treden. Een corrosieplek is het meest waarschijnlijk. De afmeting zullen tot zo'n 10 mm tot 30 mm rond bedragen. Zo'n corrosieplek zal niet tot instabiele breuk leiden. Alleen in geval van meerdere corrosieplekken in elkaars interactiegebied is dit denkbaar. Meerdere corrosieplekken bij elkaar zijn bekend uit de praktijk, zie fig. 1. De afmeting van 350 mm en 250 mm is dan groot en zo'n clustering van corrosie zal zeker bij de reguliere inspecties ontdekt moeten zijn. Voor de case van de parallellegging in de dijk van het Zeeburgereiland was een lengte > 1000 mm berekend. Het is zeer onwaarschijnlijk dat een cluster van corrosieplekken deze lengteafmeting bereikt. Voor 350 resp. 250 mm lengte moet het onwaarschijnlijk worden geacht dat zo'n cluster deze lengte bereikt.

Toelichting: Er zijn recente wanddiktemetingen gerapporteerd. Daar was geen sprake van wanddikteafname (lag binnen de meettolerantie). Voor zover er van reguliere inspecties geen sprake is, is het van belang deze voor het vervolg in te gaan stellen (inspectiemethodieken met inspectietermijnen of monitoring).



Fig. 1 – Bezweken cluster corrosieplekken, geen instabiele breuk (ref. 9 )

### Uitwendige belastingen

Met name gaat het hier om de rondlassen, waarbij onontdekte koudscheuren aan de binnenkant aanwezig kunnen zijn (V-naad). Dit is een bekend fenomeen bij transportleidingen uit hogere sterkte stalen uit die tijd. Onvoldoende voorverwarmen voor het lassen, het lassen met cellulose beklede elektrodes en ook geometrie overgangen spelen hierbij een rol (zie ook ref. 10 in Bijlage 1). De spanningen in langsrichting zijn hoofdzakelijk buigspanningen ten

gevolge van zettingen. Er wordt vanuit gegaan dat een las (is 'overmatched' in sterkte) maximaal de vloeispanning uit het buismateriaal over moet kunnen brengen. Uitgaande van defectdiepte van 3 mm wordt een defectlengte  $>44$  mm berekend nodig voor het ontstaan van lekkage. Bij Grade B is dit een aanzienlijk grotere defectlengte omdat daar plastisch bezwijken het maatgevend breukmechanisme is. Bezwijken van Grade B bij de berekende lengte voor verder scheuren is dan ook onwaarschijnlijk.



Fig.2 – Gescheurde las ten gevolge van buigspanningen (uit presentatie Yong-Yi Wang van CRES)

In geval van afschuiving van de dijk, daar hoeft volgens de NEN 3651 geen rekening mee gehouden te worden, is het denkbaar dat grotere trekkrachten optreden en de las geheel doen bezwijken. Dit is echter een belasting gestuurde situatie terwijl de situatie met zettingen grotendeels vervorming gestuurd is. In de vervorming gestuurde situatie zal niet echt plotselinge instabiele breuk optreden, maar zal dit meer in lijn met de zettingssnelheid zijn na overschrijden van een zekere grens wat betreft zetting.

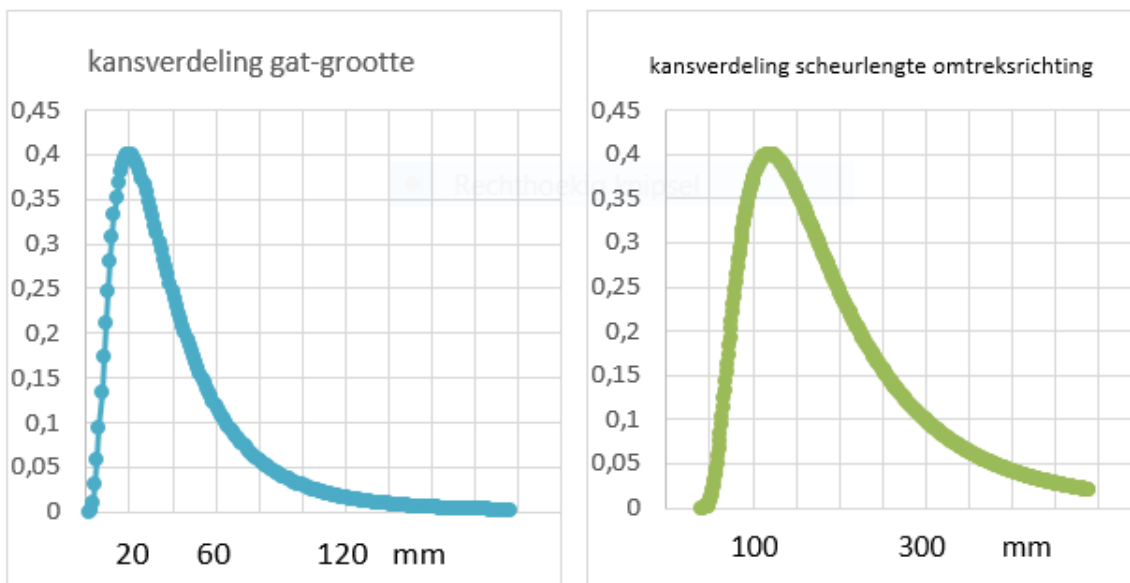


Fig. 3 – Gescheurde rondlas ten gevolge van grondverzakking door mijnbouw (ref. 9)

### Grootte van de uitstroomopening

Wat betreft inwendige druk is in voorgaande de kleinste kritieke scheurlengte berekend, uitgaande van een conservatieve ondergrens voor de breuktaaiheid. Kleinere lengtes zijn alleen denkbaar bij doorpensen van de wanddikte, wat bij de aanwezige wanddiktes onwaarschijnlijk is. Corrosie kan bij ontstaan van een klein lek uitgroeien tot een groter lek. De kritiek lengte voor een groot lek kan in dit geval alleen worden veroorzaakt door een cluster van corrosieplekken, hetgeen niet erg waarschijnlijk is. De uiteindelijke gecumuleerde kans moet overeenstemmen met de overeenkomende (lek-) kansen uit de leidingcasuïstiek voor defecten met een afmeting in langsricting, zoals met name de incidenten met graafschade en die veroorzaakt door corrosie.

Bij defecten in omtreksrichting kan de kleinste defectlengte, waarvan het meest waarschijnlijk defecttype een rondlasdefect betreft, worden berekend uitgaande van conservatieve materiaaleigenschappen voor de rondlassen in het betreffende materiaal (X60 of Grade B). Verder speelt de belastingsituatie die bij zettingen, die overwegend vervormingsgestuurd zal zijn. Ook hier moet de uiteindelijke kans weer overeenstemmen met de gecumuleerde kans uit de leidingcasuïstiek voor defecten met een afmeting in omtreksrichting zoals incidenten met grondverschuiving en incidenten ten gevolge van aanleg (veel lasfouten).



Bij corrosie is het gemiddelde gat in de orde van 20 mm (diameter) , bij een scheur in omtreks-richting (bij de las) is dit 100 mm, maar bij de las is de breedte is veel minder (1-2 mm in geval van vervormingsgestuurd).

## Conclusie

Voor de beschouwde leiding is, behoudens inwerking van buitenaf zoals bijvoorbeeld ten gevolge van graafwerkzaamheden of plotselinge afschuiving, plotselinge instabiele breuk onwaarschijnlijk. Plotselinge instabiele breuk zou bij deze leiding een grote (en diepe) aanwezige defectlengte (groter dan 0,35 respectievelijk 0,25 meter lengte) vereisen (wanddikteafname door kras of corrosie). Vanuit de aanleg kan zo'n defect niet aanwezig zijn omdat deze zeker bij de sterktebeproeving gedetecteerd zou zijn. In de bedrijfsvoering fase kan zo'n defect ontstaan door groei vanuit een klein defect die in eerste instantie tot een klein lek zal leiden. Bij deze leiding is een plotseling gapend lek zonder inwerking van buitenaf alleen mogelijk vanuit een cluster van corrosieplekken met een lengte > 350 mm resp. 250 mm, of door bezwijken van een rondlas. Het scenario van een groot cluster van corrosieplekken van de genoemde afmetingen is echter onwaarschijnlijk. Het bezwijken van een rondlas is in dit geval vervormingsgestuurd en een ontstane lek zal langzaam groter worden groter worden in lijn met de zetting. Voor Grade B is vanwege de benodigde lengte voor verder scheuren een lek van de rondlas erg onwaarschijnlijk.

In onderstaande tabellen worden de berekende lekgrootte oppervlakken voor de verschillende gevallen aangegeven.

$e(mm)$	$l(mm)$	$A(mm^2)$
15,58 (X60)	350	141
12,0 (Grade B)	250	77
	Rond 10 - 30	79 <b>707</b>

Tabel 1 – Lekgrootte oppervlak inwendige druk

$e(mm)$	$l(mm)$	$A(mm^2)$
15,58 (X60)	44	7
12,0 (Grade B)	277	<b>537</b>

Tabel 2 - Lekgrootte oppervlak uitwendige belastingen



## Bijlage 2A – Formules berekening plotseling bezwijken

Er is veel experimenteel en theoretisch onderzoek aan cilindrische vaten verricht. Met name kunnen hier genoemd worden onderzoek ten behoeve van kernreactoren (reactorvaten en koelwaterleidingen) en onderzoek ten behoeve van pijpleidingen (veel onderzoek verricht ten behoeve van onder andere het huidige Pipeline Research Committee International). De volgende formule is van belang (achtergronden zie ref. 1 – 3):

### Inwendige druk

Door-de-dikte defecten:

$$\sigma_b = \frac{2 \sigma_{flow}}{\pi M_T} \arccos \exp \left[ -\frac{2K_c^2 \cdot \pi}{8l \cdot \sigma_{flow}^2} \right]$$

waarin (de Folias factor of “bulging”- factor):

$$M_T = \left( 1 + 1,255 \frac{l^2}{4Re} - 0,0135 \frac{l^4}{16R^2 e^2} \right)^{0,5}$$

$\sigma_b$	- bezwijkspanning	(N/mm <sup>2</sup> )
$\sigma_{flow}$	- "flow"-spanning	(N/mm <sup>2</sup> )
$\sigma_y$	- vloeispanning	(N/mm <sup>2</sup> )
UTS	- breukspanning	(N/mm <sup>2</sup> )
$l$	- defectlengte	(mm)
$t$	- defecthoogte	(mm)
$e$	- wanddikte	(mm)
$R$	- halve diameter	(mm)
$K_c$	- kritieke spanningsintensiteitsfactor	(N/mm <sup>1.5</sup> )
$E$	- elasticiteitsmodulus	(N/mm <sup>2</sup> )

Tussen de breukmechanica parameter  $K_c$  en de kerfslag waarde  $C_v$  is er een relatie (zie hiertoe ref. 4), als volgt:

$$K_c = \sigma_y \sqrt{0,646 \left( \frac{C_v}{\sigma_y} - 9,832 \right)}$$

waarin:

$K_c$	- kritische spanningsintensiteitsfactor	$(N/mm^{1.5})$
$C_v$	- kerfslagwaarde	$(J)$
$\sigma_y$	- vloeispanning	$(N/mm^2)$

### Uitwendige belastingen

Uitgangspunt is een uittredende fout met een hoogte van 3 mm in een rondlas van een transportleiding bij een CTOD-waarde van 0,075 mm (zie ref. 5, 6). De CTOD-waarde van 0,075 mm is bepaald voor gastransportleidingen uitgevoerd in hogere sterkte staal en hangt samen met het gebruikte lasproces (handlassen, cellulose beklede electrode, lasvorm V – naad). Voor Grade B ligt de CTOD-waarde een stuk hoger en is bij de fouthoogte van 3 mm plastisch bezwijken bepalend voor de toelaatbare foutgrootte.

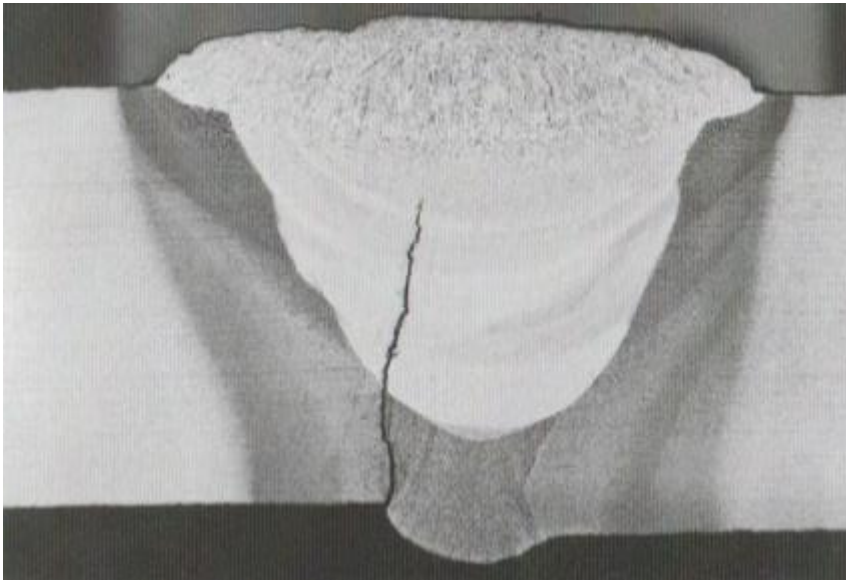


Fig. 3 – Las met koudscheur - tegenlassen, onvoldoende voorverwarming (ref. 9)

De uittredende fout is aan de binnenzijde, de hoogte bedraagt veelal 1,5 – 2,5 mm. De fouthoogte van 3 mm kan daarom als conservatief worden bestempeld (hangt samen met de hoogte van een laslaag).

De watertransportleiding is wat betreft materiaal en aanleg analoog aan een gastransportleiding. Er is uitgegaan van een spanningsniveau gelijk aan de vloeispanning van het buismateriaal. In

ref. 6 wordt daarmee een toelaatbare foutlengte van ca. 22 mm. berekend. Gerekend is daar met het zogenaamde CTOD-concept volgens BS PD 6493 (Guidance on methods for assessing the acceptability of flaws in fusion welded structures). Deze BS PD 6493 is ondertussen opgevolgd door de BS 7910 (Guidelines to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures). In de 2005 versie van BS 7910 was dit CTOD nog toepasbaar. In de 2013 versie van BS 7910 wordt dit CTOD-“design curve”-concept als zodanig niet meer genoemd. Voor de doelstellingen van dit document wordt de gehanteerde methodiek echter voldoende nauwkeurig geacht. In de CTOD-design curve is een veiligheidsfactor 2 à 3 aanwezig (zie ref. 11). Omdat de waarde van 0,075 mm. laag is en dicht bij het gebied van toepassing van de lineair elastische breukmechanica ligt wordt de veiligheidsfactor 2 gehanteerd. Dit betekent dan dat in het X60 gedeelte de kritieke lengte 44 mm bedraagt bij de CTOD-breuktaaiheidsondergrens van 0,075 mm.

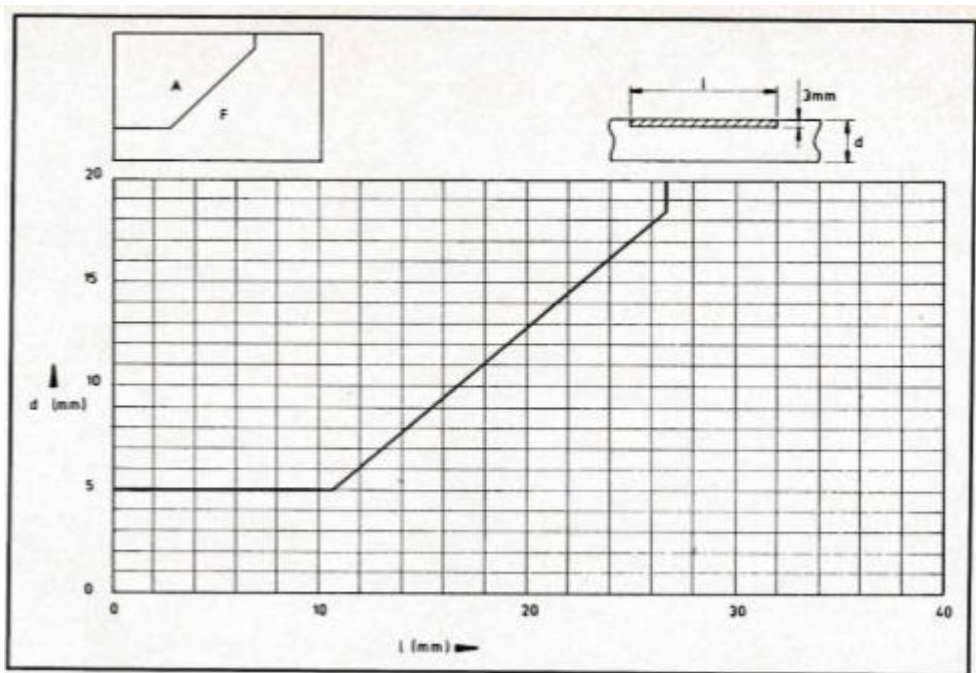


Fig. 4 – Grafiek toelaatbare foutgrootte uittredende fout rondlas X60 (ref. 6)

Voor Grade B is plastisch bezwijken maatgevend. De kritieke lengte kan berekend worden met de volgende formule:

$$\frac{l \cdot t}{R \cdot e} = 0,1136$$

waarin:

- $l$  - defectlengte in omtreksrichting
- $t$  - defectdiepte
- $R$  - halve diameter
- $e$  - wanddikte

Voor de afleiding en achtergronden wordt verwezen naar ref. 6. Ref. 6 bevat ook de lijst met verdere achtergrondliteratuur.

#### Oppervlak van de lekopening

Bij door de wand breken van een oppervlaktedefect of een ingebed defect kan stabiele breuk optreden met alleen lekkage, of kan instabiele breuk optreden. Als de lengte van het defect kleiner is dan de kritieke lengte van een door-de-dikte defect treedt stabiele breuk op. De lengte benodigd voor scheurstop bij instabiele breuk (scheurvoortplanting) is naast de breuktaaiheid van het materiaal afhankelijk van het medium. In geval van water zal de zogenaamde scheuraandrijvende kracht in de vorm van inwendige druk snel weg zijn. Bij instabiele breuk kan de lopende scheur stoppen of kan doorscheuren (scheurpropagatie) optreden. Bij instabiele breuk gaat het om grote uitstroomopeningen (vaak groter dan de doorsnede van het vat of buis). Ingeval van uitwendige belastingen zal bij belasting gestuurde situaties bezwijken optreden. Bij vervormingsgestuurde situaties zoals bij zettingen zal de scheuruitbreiding stoppen en veel geleidelijker plaatsvinden

Onder de aanname van een parabolische vorm ( $\subset \supset$ ) van de scheuropening kan het oppervlak van de lekopening worden berekend.

Voor de verschillende geometrieën zijn deze oppervlakken A als volgt (ref. 7 en 8):

- brede plaat - lineair elastisch materiaalgedrag

$$A_{el} = \frac{4}{3} \sqrt{2} \times \frac{\sigma l^2}{E}$$

waarin:

$\sigma$	- spanning	(N/mm <sup>2</sup> )
$E$	- elasticiteitsmodulus	(N/mm <sup>2</sup> )
$l$	- defectlengte	(mm)

- brede plaat - elasto-plastisch materiaalgedrag

$$A_{pl} = \frac{1-x^3}{(1-x^2)^2} \cdot A_{el}$$

met:

$$x = 0,5 \sqrt{2} \cdot \sigma / \sigma_{flow}$$

$\sigma_{flow}$  - de "flow"-spanning

- cilindervormig vat

$$A_{cyl} = \alpha \cdot A_{pl}$$

voor defecten in langsrichting

$$\alpha = 1 + 0,1\lambda + 0,16 \lambda^2$$

voor defecten in omtreksrichting

$$\alpha = (1 + 0,117\lambda^2)^{0,5}$$

$$\lambda^4 = 12(1 - \nu^2)l^4 / (16R^2 \cdot e^2)$$

waarin:

$R$	- halve diameter	( $mm$ )
$e$	- wanddikte	( $mm$ )
$l$	- defectlengte	( $mm$ )
$\nu$	- contractiecoëfficiënt	(-)

Ten behoeve van koelwaterleidingen voor kernreactoren zijn experimenten en eindige elementen computerberekeningen uitgevoerd om de uitkomst van deze theoretische berekeningen te verifiëren. Daarbij bleek het oppervlak van de werkelijke lekopeningen te variëren tussen 1 à 3 \* de theoretische berekende waarde bij oppervlakken in de orde van 10% van de pijpdoorsnede.

## Referenties

- 1 - E.S. Folias; "On the theory of fracture of curved sheets", Engineering Fracture Mechanics, 1970, Volume 2, pages 151-164.
- 2 - W.A. Maxey; "Fracture initiation, propagation and arrest", 5th Symposium on Line Pipe Research, Houston, 1974.
- 3 - J. Spiekhout; "Evaluatie barstproeven - naar aanleiding van de Stuurgroep vergadering NIL - breuktaaiheid op 22 oktober 1986 te Delft", 6 november 1986.
- 4 - I.M. Barsom, S.T. Rolfe: "Correlations between KIC and Charpy V-notch test results in the transition temperature range", Impact Testing of Metals, ASTM STP 466, American Society for Testing and Materials, 1970, pages 281-302.
- 5 - J. Spiekhout: "Backgrounds of criteria for fitness for purpose in in-service gas transmission pipelines", ECF6 "Fracture control of engineering structures", 6th Biennial European Conference on Fracture, Amsterdam, June 1986, EMAS, pages 761 - 775.
- 6 - J. Spiekhout; "Fitness for purpose assessment of weld flaws-application of various fracture mechanics codes", Welding Journal Volume 67, Number 9, September 1988, pages 55-65.
- 7 - C. Wüthrich; "Crack opening areas in pressure vessels and pipes", Engineering Fracture Mechanics Volume 18, Number 5, 1983, pages 1049-1057.
- 8 - G. Bartholomé, E. Keim, G. Senski; "Experimental and theoretical determination of leakage areas due to subcritical cracks", 6th Biennial European Conference on Fracture-ECF6, Amsterdam, 1986, pages 919-931.
- 9 - Macaw's Pipeline Defects
- 10 - E. Romeijn, T. Luijendijk; "Constructie hoge sterkte staal stelt andere eisen aan het lassen", Metaalmagazine 9 2009, pages 30-32
- 11 - M.S. Kamath: "The COD design curve, an assessment of validity using wide plate tests", International Journal of Pressure Vessels&Piping, 1981, pages 79-105

## Bijlage 2B - Uitwerking formules

### Gegevens leiding

Diameter:	1219 mm
Wanddikte:	15,58 mm resp. 12,0 mm
Staalsoort:	X60 resp. Grade B
Ontwerpdruk:	11 bar
Medium:	Ruw water t.b.v. drinkwaterbereiding

### Staalsterktes

X60:

$\sigma_y$	=	413	$N/mm^2$
UTS	=	465	$N/mm^2$
$\sigma_{flow}$	=	517	$N/mm^2$

Grade B:

$\sigma_y$	=	241	$N/mm^2$
UTS	=	413	$N/mm^2$
$\sigma_{flow}$	=	327	$N/mm^2$

### Berekening scheurlengtes voor instabiele breuk

Onderstaand worden de scheurlengtes berekend bij de inwendige druk van 11 bar

X60

Bij  $C_v = 27$  Joule,  $K_c = 2351 N/mm^{1.5}$

Bij  $l = 350$  mm,  $M_T = 2,22$ , dan  $\sigma_b \approx 45 N/mm^2 \approx$  ringspanning bij 11 bar

Grade B

Bij  $C_v = 27$  Joule,  $K_c = 1906 N/mm^{1.5}$

Bij  $l = 250$  mm  $M_T = 1,90$ , dan  $\sigma_b \approx 50 N/mm^2 \approx$  ringspanning bij 11 bar



Berekening lekopening

In de volgende tabel worden voor de verschillende gevallen de lekopeningen berekend met de formules uit bijlage 2A.

## Inwendige druk

$e(mm)$	$l(mm)$	$x(-)$	$\lambda^4 (-)$	$\alpha(-)$	$A_{el}(mm^2)$	$A_{pl}(mm^2)$	$A(mm^2)$
15,58	350	0,065	114	3,0	47	47	141
12,0	250	0,121	50	2,4	31	32	77
Putcorr.	Rond 10 - 30	-	-	-	-	-	79 - 707

## Uitwendige belastingen

$e(mm)$	$l(mm)$	$x(-)$	$\lambda^4 (-)$	$\alpha(-)$	$A_{el}(mm^2)$	$A_{pl}(mm^2)$	$A(mm^2)$
15,58	44	0,065	0,03	1,0	7	7	7
12,0	277	0,121	75	3,1	166	171	537

## C Onderbouwing faalkansanalyse stalen transportleiding Dunea



### Inschatting faalkansanalyse stalen ruwwatertransportleiding Dunea op basis van casuïstiek

KWR 2019.008 | februari 2019

**Auteur**

ir. R.H.S. (Ralph) Beuken

**Opdrachtgever**

Project Overstijgende Verkenning Kabels en Leidingen (POV K&L)

**Projectmanager**

ir. A. (Andreas) Moerman

**Kwaliteitsborger**

dr. ir. E.J.M. (Mirjam) Blokker

**Opdrachtnummer**

402621

**Meer informatie**

Ir. Ralph Beuken  
T 0306069758  
E ralph.beuken@kwrwater.nl

### Samenvatting

Binnen de POV Kabels en Leidingen is een methode opgesteld voor het uitvoeren van een integrale faalkansanalyse van de waterveiligheid voor kabels en leidingen in primaire waterkeringen. Deze methodiek is getoetst in het referentieproject GoWa waar twee parallelle ruwwater transportleidingen van Dunea een primaire waterkering kruisen die binnenkort versterkt zal worden. De leidingen zijn aangelegd in 1973, van staal en hebben een uitwendige diameter van 1219 mm.

Voor toetsing van de methode op deze specifieke situatie is meer kennis nodig over het falen van stalen waterleidingen. Om hierin te voorzien heeft KWR een analyse uitgevoerd naar geregistreerde storingen aan stalen drinkwaterleidingen en heeft zij interviews uitgevoerd met experts van drinkwaterbedrijven.

Omdat er relatief weinig storingen optreden op stalen transportleidingen is er geen betrouwbare faalfrequentie (storingfrequentie genaamd door drinkwaterbedrijven) vast te stellen. Om toch te komen tot een ordegrrootte-getal, wordt op basis van de USTORE storingsregistratie en praktijkervaringen een faalfrequentie voorgesteld van  $1 \cdot 10^{-3}$  stor./km/jr voor stalen drinkwaterleidingen aangelegd vanaf 1960 en met een diameter vanaf 500 mm. Opgemerkt wordt dat deze waarde vanuit statistisch oogpunt niet voldoende is onderbouwd en dat dit een veilige inschatting is. Op basis van de storingsregistratie is te zien dat de faalfrequentie afneemt bij toenemende diameter, wat ook blijkt uit de registraties van CONCAWE en EGIG. De faalfrequentie van de Dunea-leiding met een diameter van 1219 mm zal dus waarschijnlijk lager zijn dan de hier gehanteerde schatting. Een betere inschatting op basis van meer en meer gedetailleerde data is derhalve aan te bevelen.

Experts van PWN, Waternet, WML en Oasen die betrokken zijn bij het beheer van stalen leidingen beschouwen deze leidingen als veilig. Dit geldt nog meer voor stalen leidingen in waterkeringen, waar een zwaarder beheerregime geldt. De belangrijkste barrières waarmee de kans op falen van stalen leidingen wordt verminderd zijn: de aanwezigheid van interne en externe bekleding, het jaarlijks monitoren van de kathodische bescherming en het monitoren van grondroeringen door derden.

KWR 2018.112 | december 2018

Inschatting faalkansanalyse stalen transportleiding Dunea

## Inhoud

1	Inleiding	3
2	Overzicht stalen leidingen in Nederland	3
3	Faalfrequentie van stalen leidingen	4
4	Beschouwing over lekverliezen en sluipende lekken	6
5	Ervaringen drinkwaterbedrijven met stalen leidingen	6

Jaar van publicatie  
2019

**Meer informatie** Ir. Ralph Beuken  
T 0306069758  
E [ralph.beuken@kwrwater.nl](mailto:ralph.beuken@kwrwater.nl)

Postbus 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511  
F +31 (0)30 60 61 165  
E [info@kwrwater.nl](mailto:info@kwrwater.nl)  
I [www.kwrwater.nl](http://www.kwrwater.nl)

**KWR** Watercycle  
Research  
Institute

KWR 2019.012, Februari, 2019 © KWR

Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd,  
opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand,  
of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze,  
hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën,  
opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande  
schriftelijke toestemming van de uitgever.

## 1 Inleiding

De Project Overstijgende Verkenning Kabels en Leidingen (POV-KL) wordt uitgevoerd binnen het Hoogwaterbeschermingsprogramma met als belangrijkste doel om de risico's van kabels en leidingen in of nabij dijken bij de uitvoering van dijkversterkingsprojecten in beeld te brengen en te minimaliseren<sup>1</sup>. Hiervoor is onder andere een methode opgesteld voor het uitvoeren van een integrale faalkansanalyse voor de beoordeling van de invloed van kabels en leidingen op de faalmechanismen van primaire waterkeringen. Om deze methodiek te toetsen en na te gaan of er voldoende draagvlak voor is, wordt deze toegepast in referentieprojecten. Voor het referentieproject GoWa is de methode toegepast op een dijkversterking in het traject Gorinchem-Waardenburg, nabij Vuren, waar twee ruwwatertransportleidingen van Dunea een primaire waterkering kruisen. Deze leidingen zijn van staal en hebben een diameter van 1219 mm. De leidingen zijn aangelegd in 1973.

Voor de toepassing van de methode op deze specifieke situatie is meer kennis nodig over het falen van stalen waterleidingen, in het bijzonder: de mate van falen, de wijze van falen en responsstrategieën van drinkwaterbedrijven.

KWR heeft in 2009 in samenwerking met de drinkwaterbedrijven USTORE opgezet<sup>2</sup>. Hieraan nemen thans acht drinkwaterbedrijven deel die storingen aan leidingen ten behoeve van de drinkwatervoorziening op uniforme wijze registreren en deze gegevens verzamelen in een centrale database. Omdat stalen leidingen weinig storen, zijn er in USTORE maar weinig storingen van geregistreerd. Daarom is het niet mogelijk een betrouwbare uitspraak af te leiden over de mate en de eigenschappen van falen. Om die reden is besloten om naast een beperkte analyse van storingen ook informatie te verzamelen over het beheer van stalen leidingen bij vier drinkwaterbedrijven.

## 2 Overzicht stalen leidingen in Nederland

Vewin publiceert regelmatig de Drinkwaterstatistieken, een overzicht van de karakteristieken van de drinkwatervoorziening. In de laatste versie is aangegeven dat de totale lengte van het leidingnet 120.061 km beslaat en dat daarvan 2.758 km (2,3%) bestaat uit stalen leidingen<sup>3</sup>. De meeste stalen leidingen zijn in beheer bij Evides (37%) en bij WML (31%). Dunea heeft slechts een beperkt aandeel stalen leidingen met een gezamenlijke lengte van 34 km (1,2%). Overigens worden stalen leidingen in de praktijk onderscheiden in twee groepen, namelijk 'oud staal' en 'nieuw staal'. Oude stalen leidingen zijn aangelegd voor 1970 en zijn in het algemeen distributieleidingen met een kleine diameter. Oude stalen leidingen worden van oudsher veel toegepast in het Zuiden van Limburg (WML) en kennen aanzienlijk meer storingen dan leidingen van 'nieuw staal'. Nieuwe stalen leidingen zijn transportleidingen die voornamelijk na 1960 zijn aangelegd. Vanuit materiaalkundig opzicht is het verschil tussen oud staal en nieuw staal te verklaren door verbeterde productiemethoden waarbij de taaiheid van het materiaal is verbeterd en die vanaf 1972 hebben plaatsgevonden<sup>4</sup>. Het onderscheid tussen 'oud staal' en 'nieuw staal' is van belang omdat dit in USTORE als één materiaalsoort wordt geregistreerd.

<sup>1</sup> <http://www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl/Projecten/Projectoverstijgende+Verkenningen+POV/default.aspx>

<sup>2</sup> <https://www.kwrwater.nl/Tools-producten/ustore/>

<sup>3</sup> Vewin (2017). Drinkwaterstatistieken 2017. <http://www.vewin.nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/Cijfers/Drinkwaterstatistieken-2017-NL.pdf>

<sup>4</sup> Mondelinge toelichting Jan Spiekhout

In 2018 is informatie verzameld over alle drinkwaterleidingen in Nederland<sup>5</sup>. In [Tabel 1](#) is voor stalen leidingen de lengte weergegeven voor diverse diameterklassen en perioden van aanleg (de aangeleverde leidinglengtes betreffen afhankelijk van het bedrijf het jaar 2016 of 2017). Uit deze tabel blijkt dat 12% van de totale leidinglengte bestaat uit leidingen groter dan 1000 mm.

Om een conservatieve inschatting te maken van het aandeel leidingen van 'nieuw staal' worden ook de leidingen aangelegd na 1960 tot deze categorie gerekend. 1598 km (57%) van deze leidingen is te karakteriseren als 'nieuw staal' (groter dan 200 mm en aangelegd na 1960).

[Tabel 1 Stalen leidingen in Nederland, uitgesplitst naar diameter en periode van aanleg \(overzicht uit 2016 en 2017\). De totale lengte wijkt iets af van die van de Vewin Drinkwaterstatistieken. Leidingen van 'nieuw staal' hebben voornamelijk betrekking op de grijs gemarkeerde cellen.](#)

	<200 mm	200 - 499 mm	500 - 799 mm	≥800 mm	Som	
tot 1959	472	147	21	27	666	24%
1960 - 1972	404	94	68	106	672	24%
1973 - 1999	90	199	331	288	907	33%
vanaf 2000	24	104	229	180	537	19%
Som	990	544	649	600	2783	
	36%	20%	23%	22%		

### 3 Faalfrequentie van stalen leidingen

Een storing in het kader van USTORE is gedefinieerd als een lekkage aan een leiding waarover een melding heeft plaatsgevonden en waarvan door monteurs is bevestigd dat dit een lekkage betrof van het leidingnet. Het repareren en registreren van storingen maakt deel uit van de werkprocessen van drinkwaterbedrijven. We mogen er van uitgaan dat alle gemelde en bevestigde storingen worden opgenomen in USTORE. In de registratie die tot 2018 heeft plaatsgevonden is er geen mogelijkheid om aan te geven of een storing heeft plaatsgevonden in een waterkering. Het is daarom binnen de scope van dit onderzoek niet mogelijk om een storingsfrequentie te bepalen in of nabij waterkeringen. Dit is wel mogelijk met behulp van een meer uitgebreide GIS-analyse. Opgemerkt wordt echter dat (1) het overgrote deel van de leidinglengte veldstrekkingen betreft wat kan leiden tot een verminderde representativiteit en dat (2) de totale lengte grote stalen leidingen in waterkeringen beperkt is wat kan leiden tot een beperkte statistische betrouwbaarheid.

In deze notitie is niet het door drinkwaterbedrijven gehanteerde begrip storingsfrequentie gehanteerd maar faalfrequentie. Hiermee wordt aangesloten bij de in het rapport van TNO gehanteerde definities. Faalfrequenties voor drinkwaterleidingen hebben betrekking op functioneel falen als gevolg van een geconstateerde lekkage.

De totale lengte stalen leidingen in USTORE bedraagt 1578 km (69% van de totale lengte van de stalen leidingen), zie ook

[Tabel 2](#). 603 km (38%) van deze leidingen is te karakteriseren als 'nieuw staal'.

<sup>5</sup> Beuken, R.H.S. (2018). Intelligent pigging: Inspectiebehoefte en technische randvoorwaarde, Rapport nr. KWR 2018.012, KWR, Nieuwegein.

Tabel 2 Stalen leidingen in USTORE (lengte in km). Leidingen van 'nieuw staal' hebben voornamelijk betrekking op de grijs gemarkeerde cellen.

	<200 mm	200 - 499 mm	500 - 799 mm	≥800 mm	Som	
tot 1959	458	55	16	0	529	33%
1960 - 1972	390	35	74	2	501	32%
1973 - 1999	51	105	194	27	377	24%
vanaf 2000	6	46	96	24	172	11%
Som	905	241	379	53	1578	
	57%	15%	24%	3%		

In Tabel 3 zijn de storings op stalen leidingen weergegeven zoals deze tussen 2010 en 2017 in USTORE zijn geregistreerd. Slechts 67 storings (4%) van deze storings zijn opgetreden op 'nieuw staal'. In de onderste rij is de faalfrequentie weergegeven vanaf 1960 voor de vier diametergroepen<sup>6</sup>. Er is sprake van een afnemende storingsfrequentie bij een toenemende diameter. Er zijn in deze registratie geen storings opgetreden in stalen leidingen met een diameter vanaf 800 mm. De storingsfrequentie van alle stalen leidingen aangelegd vanaf 1960 en met een diameter groter of gelijk aan 200 mm bedraagt  $21 \cdot 10^{-3}$  st /km/jr. De storingsfrequentie van alle stalen leidingen aangelegd vanaf 1960 en met een diameter groter of gelijk aan 500 mm bedraagt  $0,8 \cdot 10^{-3}$  st/km/jr of afgerond  $1 \cdot 10^{-3}$  st/km/jr.

Tabel 3 Storings op stalen leidingen in USTORE (situatie in 2015). Leidingen van 'nieuw staal' hebben voornamelijk betrekking op de grijs gemarkeerde cellen. De faalfrequentie betreft de met USTORE berekende faalfrequentie.

	<200 mm	200 - 499 mm	500 - 799 mm	≥800 mm	Som	
tot 1959	702	57	0	0	759	50%
1960 - 1972	646	56	1	0	704	46%
1973 - 1999	50	7	0	0	57	4%
vanaf 2000	2	2	1	0	5	0%
Som	1400	122	2	0	1524	
	92%	8%	0%	0%		
Faalfrequentie >= 1960 (st/km/jr)	$222 \cdot 10^{-3}$	$81 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$0 \cdot 10^{-3}$		

In de USTORE registratie houden drinkwaterbedrijven ook de faaloorzaak bij. Voor 67 faalincidenten in leidingen van 'nieuw staal' geldt dat:

- 78% is veroorzaakt door uitwendige aantasting;
- 4% door uitwendige belasting
- 3% door een externe oorzaak;
- 15% door een onbekende oorzaak.

<sup>6</sup> De storingsfrequentie wordt berekend door jaarlijks het aantal storings te delen door de geregistreerde leidinglengte. Omdat sommige bedrijven later zijn begonnen met registratie, omdat van één bedrijf de registraties als te beperkt betrouwbaar worden geacht en door beperkte fluctuaties in de leidinglengte wijkt de storingsfrequentie af van het getal berekend uit het aantal storings gedeeld door het aantal registratiejaren en de leidinglengte in 2015.

De voorgestelde faalfrequente van  $1 \cdot 10^{-3}$  st/km/jr is gebaseerd op een registratie van beperkte omvang voor stalen drinkwaterleidingen aangelegd vanaf 1960 en met een diameter vanaf 500 mm. Een faalfrequente van  $1 \cdot 10^{-3}$  st/km/jr voor de stalen ruwwatertransportleiding van Dunea met een diameter van 1219 mm en een aanlegjaar van 1972, kan op basis van de bovenstaande analyse gezien worden als een veilige aanname gebaseerd op een dataset van slechts beperkte omvang.

#### 4 Beschouwing over lekverliezen en sluipende lekken

Het Niet-in-rekening-gebracht-gebruik (NIRG) is het berekende volume bestaande uit lek- en spui verliezen, niet-verrekenende verkoop (bijvoorbeeld bluswater) en meetverschillen. In de Kernegegevens Drinkwater van 2018 is een NIRG gegeven van  $67 \text{ Mm}^3$  per jaar<sup>7</sup>. Dit komt overeen met 6% van de totale hoeveelheid afgeleverd drinkwater. Een realistische schatting is dat het lekverlies 4% bedraagt van de afgeleverde hoeveelheid. Dit komt overeen met  $45 \text{ Mm}^3/\text{jr}$ . Bij een totale lengte van het drinkwaterleidingnet van 120.061 km komt dit overeen met lekverlies van  $375 \text{ m}^3/\text{km}/\text{jr}$  of  $43 \text{ l}/\text{km}/\text{uur}$ . Dit volume moet gezien worden als een orde grootte omvang. Dit geschatte lekvolume bestaat uit gapende en sluipende lekken, het aandeel van sluipende lekken zal hier dus slechts een deel van zijn. Dit kengetal is een gemiddelde voor alle leidingen en voor stalen leidingen kan worden aangenomen dat lekvolume aanzienlijk lager is dan het gemiddelde.

#### 5 Ervaringen drinkwaterbedrijven met stalen leidingen

Om meer inzicht te krijgen in het functioneren van stalen leidingen en het beheer door drinkwaterbedrijven zijn oriënterende interviews gehouden met PWN (Piet Beers op 11-10-2018), Waternet (Albert Clement en Joost Louter op 15-10-2018), WML (Dré Hendriks op 15-10-2018) en Oasen (Kees Zijderfeld op 17-10-2018). De verslagen zijn als bijlage toegevoegd aan deze notitie (Bijlage 3A).

Bij geen van de drinkwaterbedrijven komt een situatie voor die vergelijkbaar is met de ruwwaterleiding van Dunea die in het referentieproject wordt beschouwd. In het geval er sprake is van een stalen leiding in een waterkering, betreft dit meestal ingegraven zinkers onder een waterkering (en niet zoals het geval is bij de leiding van Dunea meegelegd met het talud van de waterkering). Vanaf de jaren negentig worden leidingen onder watergangen en waterkeringen vooral aangelegd als horizontaal gestuurde boring.

In geen van de gesprekken heeft de geïnterviewde weet van het optreden van een lekkage aan een stalen leiding in een waterkering. Zij geven aan dat er sowieso zeer weinig storingen optreden in stalen transportleidingen ('nieuw staal'). In de vier interviews werd één storing genoemd aan een ontlufter op een stalen leiding. Verder kwam bij Oasen een incident ter sprake waar een paal op een stalen leiding werd geslagen zonder dat dit tot lekkage leidde.

Drie drinkwaterbedrijven geven aan dat zij te maken hebben met meerdere waterschappen met verschillende wijzen van beheer en vergunningsverlening. In het algemeen geldt dat de relatie met beheerders van waterkeringen goed is. De relatie met vergunningsverleners van waterschappen wordt als lastiger omschreven door de vaak strikte focus op regels.

Stalen transportleidingen hebben inwendige en uitwendige bekleding. Bij leidingen aangelegd voor ca. 1970 is de inwendige bekleding van bitumen of koolteer, daarna van cement. De uitwendige bekleding is voor ca. 1980 van bitumen of koolteer en daarna van PE of epoxy.

De dekking van stalen leidingen is in minimaal 1 meter.

<sup>7</sup> Vewin (2018). Kernegegevens Drinkwater 2018: <http://www.vewin.nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/Cifera/Kernegegevens2018-NL-web.pdf>.

Stalen transportleidingen hebben kathodische bescherming (KB) die eens per jaar wordt gecontroleerd en in sommige gevallen twee keer per jaar.

Tijdens de interviews kwamen er 4 inwendige inspecties op stalen leidingen ter sprake. In alle gevallen was de geïnspecteerde leiding in goede staat. Binnen de reikwijdte van deze interviews was het niet mogelijk een nadere analyse te maken van de inspecties.

Monitoring van zettingen is mogelijk door het plaatsen van zakbakens. Dit vindt bij Waternet, PWN en WML op een beperkt aantal locaties plaats. Oasen heeft vanwege de zettingsgevoelige ondergrond een uitgebreid monitoringsprogramma van zakbakens.

Afsluiters op transportleidingen worden afhankelijk van het toegekende risico eens per jaar of eens per twee jaar gecontroleerd. Deze controle vindt plaats op vindbaarheid, toegankelijkheid en draaibaarheid. Controle op afsluitbaarheid vindt niet plaats bij reguliere controle. Dit omdat controle op afsluitbaarheid moeilijk is uit te voeren en afsluitbaarheid moeilijk is vast te stellen.

Alle pompstations zijn voorzien van installaties om de gevolgen van waterslag te beperken. Bedrijven hebben werkinstructies opgesteld om te voorkomen dat afsluiters te snel worden gesloten en daarmee drukstoten kunnen initiëren.

In geval van een calamiteit hebben drinkwaterbedrijven protocollen waarin de handelwijze en mate van escalatie zijn aangegeven. Bij de vier bedrijven is aangegeven dat er binnen 1 uur na melding van een storing een monteur ter plekke moet zijn. In geval van een lekkage van een grote stalen leidingen wordt in principe een reparatiemanchet geplaatst en wordt later een nieuwe buis ingelast. Voor alle typen leidingen zijn reparatiesets aanwezig.

Staal wordt door de geïnterviewden gezien als een zeer betrouwbaar leidingmateriaal. Eventuele aandachtspunten zijn ontluchters, aansluitingen met andere leidingmaterialen, plaatsen waar zettingsverschillen kunnen ontstaan en verouderde externe bekleding. Dit laatste is echter te monitoren met behulp van KB. In een leiding in goede staat met bekleding en KB zullen volgens de geïnterviewden in principe geen defecten optreden. Fouten door werkzaamheden derden zijn nooit uit te sluiten. Aanleg- of fabricagefouten kunnen optreden maar worden in het algemeen tijdens het aanlegproces opgespoord met testen (laskeuringen / bekledingstesten / hydrostatische beproevingen). Door het regelmatig checken van KB kunnen eventuele problemen vroegtijdig onderkend worden.

Om storingen als gevolg van activiteiten door derden te voorkomen is een goede locatiebepaling van leidingen noodzakelijk. Oasen is bezig om van alle leidingen in dijk kruisingen de positie exact vast te leggen met georadar. Voor de grootste leidingen is dit uitgevoerd. De beheerders geven aan dat bij risicovolle drinkwaterbedrijven toezicht plaatsvindt op werkzaamheden van derden nabij leidingen.

Als meest waarschijnlijke verschijningsvorm van falen wordt een deuk of een kras als gevolg van een externe oorzaak (bijv. graafwerkzaamheden) genoemd<sup>8</sup>. Door de elasticiteit van staal zal dit eerder tot een vervorming leiden dan tot een lekkage. De vervorming kan betekenen dat de bekleding wordt aangetast, wat uiteindelijk tot corrosie kan leiden. Normaliter zal dit voortijdig door de KB onderkend worden. Mocht er een lekkage optreden dan is dit vrijwel altijd van een beperkte afmeting. Een grote scheur of groot gat treedt in een stalen leiding vrijwel niet op. Ontluchters zijn altijd geplaatst op een hoog punt, bijvoorbeeld de kruin van een kruising. Ontluchters hebben minder dekking en zijn daardoor kwetsbaarder in geval van grondroering. Beheerders geven aan

---

<sup>8</sup> Deze constatering wordt overigens niet ondersteund door de USTORE storingsregistratie.



dat in geval dat de ontluchter niet goed afsluit er een klein gat ("spuitertje") optreedt dat snel wordt herkend.

Oasen heeft door de Gasunie een risicoanalyse laten uitvoeren voor zijn belangrijkste transportleiding (staal deels 600 en 700 mm uit begin jaren 90) waarbij een kans op leidingbreuk is vastgesteld. Uit deze analyse volgt dat de faalkans voor het grootste gedeelte wordt bepaald door externe omstandigheden zoals werkzaamheden van derden. Op basis van kennis van gasleidingen wordt aangenomen dat elke 0,10 m extra gronddekking een faalkansreductie geeft van circa 20%. De berekende faalkansen zijn weergegeven in Hoofdstuk 3.

**Jaar van publicatie**  
2019

**Meer informatie**

Ir. Ralph Beuken  
T 0306069758  
E [ralph.beuken@kwrwater.nl](mailto:ralph.beuken@kwrwater.nl)

Postbus 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511  
F +31 (0)30 60 61 165  
E [info@kwrwater.nl](mailto:info@kwrwater.nl)  
I [www.kwrwater.nl](http://www.kwrwater.nl)

**KWR 2019.008 | Februari 2019 © KWR**

Alle rechten voorbehouden.

### *Gesprek met Piet Beers van PWN op 11 oktober 2018*

Piet is beheerder van de transportleidingen van PWN. Hij is sinds 2011 in dienst bij PWN. Daarvoor werkte hij bij Defensie Pijpleidingen Organisatie (DPO), waar hij zich vanaf ca. 2000 bezig hield met transportleidingen.

Doel gesprek: Verzamelen van expertkennis over het beheer van stalen drinkwater transportleidingen ter onderbouwing van een probabilistische faalkansberekening van een stalen leiding van Dunea (Referentieproject GoWa-Dunea voor POV Kabels en Leidingen).

PWN heeft niet een situatie die direct vergelijkbaar is met die kruising van de waterkering van Dunea. Om die reden is het gesprek met name gegaan over de ervaringen van PWN met stalen leidingen en de wijze waarop PWN het beheer vormgeeft. Onderstaande punten zijn hierbij aan de orde gekomen.

1. PWN heeft te maken met drie vergunningverleners voor waterkeringen: Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, AGV en Rijnland. Er is de laatste jaren met name veel geïnvesteerd in de relatie met HHNK. Dit heeft geleid tot betere communicatie en meer bekendheid met elkaars organisaties. In een enkel geval ook tot creatieve oplossingen met als gevolg lagere maatschappelijke kosten.
2. PWN heeft veel leidingen die kruisen met waterkeringen, echter niet veel met primaire waterkeringen. Deze liggen aan de randen van het voorzieningsgebied (Noodzeekanaal zijn boringen). PWN heeft een beperkt aantal transportleidingen in lengterichting van waterkeringen. Voor 1990 legde PWN voornamelijk betonnen of Asbest-Cement transportleidingen aan met stalen zinkers. Daarna zijn de leidingen vaker in zijn geheel in staal uitgevoerd.
3. De grootste diameters stalen leidingen heeft PWN in de WRK-leiding van Andijk naar Heemskerk/Hoogovens. Deze leiding is grotendeels van 1400 mm beton, maar bijzondere constructies zoals kruisingen zijn uitgevoerd in staal. De leiding is aangelegd in de jaren 1976-1980. De stalen delen zijn aangelegd verdiept aangelegd, onder keringen en watergangen door. Er hebben zich in deze stalen delen voor zo ver hem bekend nooit lekkages/problemen voorgedaan.
4. Alle zinkers zijn voorzien van uitwendige bekleding, voor 1990 was dit bitumen daarna PE. Alle zinkers hebben inwendige cement bekleding, oudere zinkers hebben nog wel eens een bitumen binnenbekleding.
5. Op alle stalen zinkers is KB aanwezig. PWN controleert deze jaarlijks.
6. Een vervangende waterkering (damwand) die wordt aangelegd bij een zinker kan eventueel tot problemen leiden als een zinker gaat zakken en op de damwand gaat 'hangen'.
7. De dekking boven een transportleiding is 1 meter. In het geval een leiding door bouwland gaat waar men (eventueel) gaat draineren dan wordt de leiding dieper aangelegd.
8. Inspecties:
  - Bij aanleg van een stalen leiding worden in een kruising met een waterstaatswerk (NEN3650/3651) alle lassen geïnspecteerd, in strekkingen is dit in 10% van de verbindingen. Deze inspectie kan plaatsvinden met radiografie of TOFD. Voor ingebruikneming wordt een leiding afperst met een druk van 1,5\* de bedrijfsdruk.
  - De stalen leiding naar Texel die recent is aangelegd middels HDD techniek, is voor het intrekken en bij ligging in een bocht, visueel geïnspecteerd op scheuren in de inwendige coating. Die bleken er niet te zijn.
  - Inspectie met een zakbaak is mogelijk, PWN doet dit beperkt, op een aantal locaties zitten pendelstukken, hier worden zakbakens gemeten. Dit zijn geen locaties in waterkeringen.

- Monitoring van risicovolle locaties is mogelijk door het plaatsen van flowmeters en of akoestische lekdetectie, al dan niet met het automatische sluiten van afsluiters in geval van onregelmatigheden. Dit zijn systemen waar bij PWN wel onderzoek naar wordt gedaan maar nog niet in gebruik zijn.
9. In een leiding in goede staat, met bekleding en KB, treden in principe geen defecten op. Een gelaste stalen leiding wordt als uiterst bedrijfszeker gezien. Fouten door werkzaamheden derden zijn nooit uit te sluiten, verder is een aanleg-/fabricagefout mogelijk al worden deze veelal tijdens het aanleg proces opgespoord door diverse testen (laskeuringen / bekledingstesten / hydrostatische beproevingen). Door het regelmatig checken van KB kunnen problemen vroegtijdig onderkend worden.
- Een belangrijk voordeel van staal is de hoge elasticiteit, waardoor het veel bodemvervormingen kan opnemen. Omdat een stalen leiding relatief licht is, is onderheien veelal niet noodzakelijk. Piet heeft in zijn ervaring van 20 jaar bij DPO/PWN zelden tot nooit meegemaakt dat er lekkage heeft opgetreden in een stalen leiding als gevolg van corrosie in het buismaterialen of als gevolg van problemen met de lassen. Een flensverbinding kan wel eens lekken. Hij heeft in één geval (bij DPO) ervaring met een leiding waar m.b.v. Intelligent pigging bleek dat de wanddikte voor 80% was gecorrodeerd, zonder dat dit tot lekkage had geleid.
10. Er is door Piet een inschatting gemaakt in mogelijke faaloorzaken van stalen leidingen. Hij geeft onderstaande verdeling:
- Oorzaak derden: 70%
  - Spanningen veroorzaakt door verschilzettingen: 20%
  - Corrosie, constructie, aanleg, 10%
- (Opgemerkt wordt dat niet ieder falen ook een breuk/lekkage betekent. Graafschade kan een deuk veroorzaken maar de leiding hoeft niet direct te bezwijken)
11. De meest waarschijnlijke verschijningsvorm van falen is een deuk of een kras als gevolg van een externe oorzaak (bijv. graven). Door de elasticiteit van staal zal dit veelal eerder tot een vervorming leiden dan tot een lekkage. De vervorming kan betekenen dat de bekleding wordt aangetast, wat uiteindelijk tot corrosie kan leiden. Normaliter zal dit door de KB onderkend worden voordat problemen optreden. Mocht er een gat optrede dan is dit klein. Een grote scheur komt bij staal vrijwel niet voor.
12. Piet geeft aan dat een uniform afwegingskader zoals de NEN3650 noodzakelijk is, maar dat er iedere keer met verstand van zaken gekeken moet worden naar de situatie. Elke situaties is anders. Door strikt regels te hanteren, maak je het probleem bureaucratisch maar bereik je niet perse de maatschappelijk optimale oplossing. Het is vaak beter om de zaken risicogericht te benaderen in plaats van normgericht. Bij een zeer brede robuuste of verheelde kering hoeft een leidingbreuk niet te leiden tot falen van de kering / inundatie. In deze gevallen zou een waterschap een leiding kunnen toestaan.
13. PWN heeft in 2000 op eigen initiatief een project uitgevoerd waar alle leidingen  $\geq 500$  mm in veiligheidszones opnieuw zijn getoetst. Tebodin heeft ca. 25 kruisingen onderzocht die zijn aangelegd voor 1971, in eerste instantie met een vereenvoudigde berekening en waar nodig met een aanvullende sterkteberekening. De meeste leidingen voldeden aan de huidige regelgeving en waar nodig zijn aanpassingen uitgevoerd. De analyse is uitgevoerd op basis van bestaande tekeningen, er zijn, behoudens enkele nametingen van de ligging en KB, geen (inwendige) inspecties uitgevoerd.
14. Project (Druk)proef op de som is een project van PWN waarin wordt getest of leidingen de druk aan kunnen die incidenteel voorkomt in geval van calamiteiten situaties. PWN is hiermee vanaf 2013 bezig. Omdat de testen alleen uitgevoerd kunnen worden als er geen andere werkzaamheden in het net of aan installaties plaats vinden, is er een behoorlijke doorlooptijd. Het idee is dat door

het uitvoeren van drukproeven zwakkere plekken in het net in een gecontroleerde situatie opgespoord kunnen worden waarmee het risico voor de omgeving tot het minimum beperkt wordt. Met een leidingnetberekingsmodel wordt bepaald wat de maximale druk is die in calamiteiten situaties kan optreden en op deze druk wordt het net beproefd. Het afpersen vindt plaats in twee fasen:

- Fase 1: risicovolle leidingen, die worden afgeblokt van het net en individueel worden afgeperst.
- Fase 2: Gebiedsgewijs afpersen

PWN heeft fase 1 nagenoeg afgerond in voorzieningsgebied Bergen en is dit aan het opstarten in voorzieningsgebied HAU (Hoofddorp, Aalsmeer, Uithoorn). In 2020 wil men fase 2 in VG Bergen hebben uitgevoerd.

Piet is van mening dat PWN op een verantwoorde wijze de toestand van het net in kaart brengt. Er is over de uitvoering uitvoerig contact met beheerders (waaronder waterschappen) en merkt op dat er bij waterschappen toch de nodige weerstand is over deze aanpak.

15. Afsluiters op transportleidingen worden jaarlijks gecontroleerd op vindbaarheid en draaibaarheid. Testen op afsluitbaarheid is in de praktijk moeilijk uit te voeren omdat de leiding dan drukloos gemaakt moet worden wat niet wenselijk is.
16. Alle pompstations zijn voorzien van installaties om de gevolgen van waterslag te beperken. Afsluiters op transportleidingen zijn in principe altijd handbediend en sluiten daardoor niet heel snel. Drukstoten in het leidingnet leveren geen problemen op.
17. Een zwak punt in een stalen leiding zijn ontluchters. Deze zijn in principe altijd geplaatst in de kruin van een kruising. Zij hebben minder dekking en zijn daardoor kwetsbaarder in geval van grondroering. In geval dat de ontluchter niet goed afsluit treedt een klein gat ("spuitertje") op in de kruin, dat snel wordt herkend.
18. Piet geeft aan dat hij ervaart dat er soms verschillen van inzichten zijn tussen beheerders. Als voorbeeld, drinkwaterbedrijven passen steeds vaker biaxiaal verstrekt PVC toe. Beheerders van waterkeringen vinden dit materiaal ongewenst omdat zij van mening zijn dat er voor dit materiaal geen trekvaste koppelingen zijn. Hier lijkt betere afstemming gewenst.

### *Gesprek met Albert Clement en Joost Louter van Waternet op 15 oktober 2018*

Doel gesprek: Verzamelen van expertkennis over het beheer van stalen drinkwater transportleidingen ter onderbouwing van een probabilistische faalkansberekening van een stalen leiding van Dunea.

1. Waternet heeft meerdere kruisingen van stalen leidingen met waterkeringen. Dit betreffen in veel gevallen stalen zinkers in een leiding die verder van beton is. De volgende situaties zijn kort beschouwd:
  - WRK1, 1500 mm beton met stalen kern, aangelegd: stalen zinkers bij Nieuwegein en onder de Amstel.
  - WRK2, 1200 mm beton met stalen kern, aangelegd jaren 60: stalen zinkers bij de Amstelveense weg, Ringvaart Haarlemmermeer, de Poel, Amstel, de Waver en , Zwanenburgerdijk.
  - Drinkwaternet: grote stalen zinkers bij Ringvaart en uitgaand PS Amstelveenseweg. Verder zijn er in het distributienet tientallen stalen kruisingen in waterkeringen.

Er is geen situatie die direct vergelijkbaar is met de kruising bij Dunea.

2. Waternet (drinkwater) heeft te maken met drie vergunningverleners voor waterleidingen in waterkeringen: AGV, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier en Rijnland. Vanuit de beheerorganisatie Waternet is er veel afstemming met AGV. Geconstateerd wordt dat er bij waterschappen een verschil is in werkwijze tussen dijkbeheerders die meestal goed meedenken over een technische inpassing en vergunningverleners die strikt regels toepassen.
3. De stalen zinkers zijn in het algemeen aangelegd voor 1970 en hebben een inwendige bekleding van bitumen of koolteer.
4. Op alle grote stalen leidingen zit KB. Deze wordt eens of twee mal per jaar gecontroleerd.
5. Afsluiters op grote transportleidingen worden eens per 2 jaar gecontroleerd op vindbaarheid en draaibaarheid. Voor de WRK-leidingen gebeurt dit eens per jaar.
6. Bij Waternet zijn geen lekages bekend op grotere stalen zinkers. Staal wordt gezien als een leidingmateriaal waar geen problemen optreden. Als zwakste plekken worden ontluchters en de aansluitingen met de aangrenzende betonnen leiding gezien. Verder is de toestand van kwelschermen en damwanden moeilijk te controleren. Problemen kunnen ontstaan bij zakkingsverschillen tussen een leiding en de omliggende kering. Dit kan leiden tot een beperkte verdichting onder de kruisende leiding. Omdat het leidingnet van Waternet zich overwegend in een stedelijk gebied bevindt, is de ervaring dat lekken snel door het publiek gesignaleerd worden.
7. Waternet heeft de ervaring dat het in een stedelijke omgeving vaak lastig is voldoende ruimte te vinden om een leiding in te passen. Om die reden is het niet altijd mogelijk om buiten waterkeringen te liggen.
8. Waternet heeft een storingsprotocol dat voorschrijft dat een monteur binnen 1 uur na een lekkage op de plek aanwezig moet zijn. Binnen 2 uur na de melding dient de leiding afgesloten te zijn. Voor alle typen leidingen zijn reparatiesets aanwezig. In geval van een lekkage van een grote stalen leidingen wordt een reparatiemanchet geplaatst en wordt later een nieuwe buis ingelast.
9. Inspecties:
  - Er worden sporadisch inspecties uitgevoerd van stalen zinkers. Het slechtste resultaat dat bekend is betrof een zinker uit 1911 met een diameter van 770 mm en een wanddikte van 12 mm. Hier werd putcorrosie geconstateerd van 4-5 mm. Er was hier KB aanwezig, maar er bleek sprake te zijn van slechte isolatie. In deze zinker was geen lekkage opgetreden.

- Ongeveer 10 jaar geleden is een inspectie uitgevoerd in een stalen zinker (1000 mm uit 1965) onder het Noordzeekanaal met een ultrasoon pig. Er werd hier geen corrosie geconstateerd. De gemeten wanddikte bevond zich binnen de productie-toleranties.

### *Telefoongesprek met Dré Hendriks van WML op 15 oktober 2018*

Doel gesprek: Verzamelen van expertkennis over het beheer van stalen drinkwater transportleidingen ter onderbouwing van een probabilistische faalkansberekening van een stalen leiding van Dunea.

1. WML heeft een stalen 1000 mm transportleiding met een lengte van 18 km uit 1975. Deze leiding vormde de kern van het interview. Deze leiding heeft een kruising onder het Julianakanaal.
2. Zo ver Dré weet, heeft er zich de laatste 20 jaar 1 keer een kleine lek voorgedaan aan een ontluchter. Dit komt orde grootte overeen met 1 lekkage per 0,003 km per jaar (aan deze waarde kan geen verdere betekenis worden gegeven).
3. De leiding is inwendig en uitwendig voorzien van een bekleding van bitumen.
4. In 2011 heeft er een omleiding plaatsgevonden nabij Born, waarbij visuele schouw is uitgevoerd. De bekleding leek nog in goede staat en op het staal was geen sprake van corrosie.
5. De leiding heeft KB die jaarlijks wordt gecheckt. Dré ziet jaarlijks de rapporten en die zijn altijd in orde.
6. De afsluiters worden jaarlijks gecontroleerd op vindbaarheid en draaibaarheid.
7. Bij de kruising met het Julianakanaal is een vast meetpunt om zakkingen te meten. Dit als eis van RWS. Er treden hier geen zakkingen op.
8. WML heeft in totaal 865 km stalen leidingen. Dit zijn echter voornamelijk (ca 80%) kleine stalen leidingen (die zijn aangelegd voor 1950 en met name in Zuid Limburg).
9. WML heeft een storingsprotocol, waarin geldt dat binnen 1 uur na melding een monteur ter plaatse moet zijn. In geval van een leidingbreuk in een stalen transportleiding, dan is deze binnen 24 uur (tijdelijk) gerepareerd en weer in gebruik.

### Gesprek met Kees Zijderveld van Oasen op 17 oktober 2018

Doel gesprek: Verzamelen van expertkennis over het beheer van stalen drinkwater transportleidingen ter onderbouwing van een probabilistische faalkansberekening van een stalen leiding van Dunea.

1. Oasen is een relatief klein drinkwaterbedrijf dat in zijn geheel is gelegen in zettingsgevoelige bodems en waarin zich een groot aantal waterkeringen bevinden. Vanwege de bodem heeft Oasen een andere filosofie op leidingbeheer dan de meeste andere bedrijven. Er wordt gekozen voor de toepassing van PE en alle nieuwe transportleidingen worden standaard als zinker aangelegd.
2. In totaal heeft Oasen ongeveer 200 km stalen transportleidingen. Oasen heeft een belangrijke transportleiding (de zogenaamd slagader), die de zuidelijk gelegen pompstations verbindt met het noordelijk deel van het voorzieningsgebied. De slagader is een enkele leiding van 600 mm staal en aangelegd in begin jaren 90. Voor alle kruisingen met waterkeringen zijn boringen aangelegd.
3. Oasen heeft nog slechts 1 stalen ingegraven zinker in een transportleiding bij de Grecht uit begin jaren 70. Deze zinker heeft een diameter van 800 mm en is uitwendig bekleed met bitumen. In de waterkeringen zijn damwanden aangelegd en ter plaatse van de doorvoer aan de buiten zijde is een rubber kwelscherm. De damwanden bestaan uit een kuip in de kruin en een scherm van 30 meter lang in de lengterichting van de kering. Er heeft zich nooit een lekkage voorgedaan.
4. De stalen leidingen bij Oasen hebben bekleding, inwendig van cement, uitwendig is dit voor 1970 bitumen en daarna PE.
5. Alle stalen leidingen hebben KB. Kees onderstreept het belang van goed beheer van KB. Oasen is bezig het KB onderhoud te intensiveren. Door inzicht in de stroomvraag is de staat van de uitwendige bekleding goed te monitoren, oa met DCVG.
6. Voor de slagader is door Gasunie een analyse uitgevoerd waarvoor kansen op leidingbreuk zijn vastgesteld. De onderbouwing hiervan was niet bij Kees bekend en zal door Harry Schelfhout bij Gasunie worden opgevraagd.  
De faalkans is voor verschillende onderdelen van de slagader vastgesteld tussen de 500 en de 2.375 jaar. Hierbij is uitgegaan van de standaard beheersmaatregelen. De faalkans wordt voor het grootste deel bepaald door bedreigingen van buitenaf zoals werkzaamheden van derden. Hierbij is ook de diepteligging van invloed. Vastgesteld is dat 10 cm extra gronddekking circa 20% verbetering geeft van de faalkans.  
De gehanteerde faalkansen betreffen 0,000143 - 0,000179 stor/km/jaar.
7. Kees kan zich geen grote lekkage heugen in de laatste 20 jaar in een stalen leiding. Hij heeft weet van een kleine lekkage ter plaatse van een kraan voor het bemonsteren van drinkwater. Ook kent hij een geval waar een verbinding met gietijzer niet goed was geïsoleerd tbv KB, wat leidde tot putcorrosie van enkele millimeters, maar niet tot een lek. Er hebben zich in oude stalen distributieleidingen door putcorrosie wel enkele lekken voorgedaan. In geen van de gevallen leidde dit tot een groot lek. Deze leidingen zijn of worden vervangen.
8. Als voornaamste oorzaak van falen gelden externe invloeden.
9. Er heeft zich in de slagader wel een incident voorgedaan waar een paal op de leiding werd geheid. Dit leidde echter niet tot lekkage. Vanwege opgetreden spanningen en vervormingen en beschadiging van de bekleding is het leidingdeel vervangen.
10. Op de belangrijkste leidingen, waaronder de slagader zijn zakbaken geplaatst om de zetting te monitoren.



11. In het geval van een lekkage hanteert Oasen een calamiteitenhandboek. Hierin zijn alle leidingen van enig belang beschreven. Er is aangegeven dat binnen 1,5 uur na binnenkomst van een melding een monteur ter plaatse van het lek moet zijn en in principe na 2-3 uur de situatie beheersbaar moet zijn. Overigens kan zoeken naar een lek in de natte omgeving van Oasen nogal eens moeilijk zijn.
12. Oasen zoekt actief naar lekken, oa door volumestroommetingen en de inrichting van dma's. Door deze actieve houding worden de laatste jaren meer lekken gevonden, dit geldt met name voor het distributienet. Lekdetectie in dma's is eenvoudig omdat het nachtverbruik laag is en individuele lekken goed te onderscheiden zijn. In transportleidingen is dit lastiger, aangezien lekken van tot tientallen m<sup>3</sup>/h niet zijn te onderscheiden van meetfouten.
13. Oasen heeft een project in uitvoering waar van alle leidingen in dijkkruisingen de positie nauwkeurig word vastgesteld. Voor de grootse leidingen is dit uitgevoerd.
14. Een optimaal beheerprogramma voor stalen leidingen is mogelijk door:
  - Monitoren van KB
  - Monitoren van zakbaken
  - Nauwkeurige vastlegging van de locatie van leidingen
  - Inwendige inspectie
  - Controle ligging door vergelijking achtereenvolgende hoogte- en/of satellietmetingen
  - Actieve monitoring van graafwerkzaamheden derden
  - Monitoren omgeving op zwerfstromen
  - Omwonenden betrekken bij signaleren lekkage

## D Berekningen met Ple4Win om beta te schatten

### Algemeen

Berekend worden de Unity Checks voor twee invoerfiles: een op basis van beta = 5,1 en een op basis van beta = 4,1. Deze waarden zijn representatief voor een referentieperiode van 30 jaar. De resulterende invoerwaarden zijn aangegeven in de bijgaande EXCEL-tabel (gele markering). Bij deze berekeningen mogen bij de invoer en bij inwendige Ple4Win-berekeningen geen verdere partiële factoren ongelijk 1,0 worden toegevoegd. Indien het programma dit automatisch doet dient een correctie vooraf te worden toegevoegd.

De invoerwaarden voor de stochasten worden in geval van normale respectievelijk lognormale verdelingen bepaald uitgaande van:

$$X_{di} = \mu_i - \alpha_i \beta_d \sigma_i = \mu_i (1 - \alpha_i \beta_d V_i) \quad X_{di} = \mu_i \exp(-\alpha_i \beta_d V_i)$$

$\beta_d$  = minimaal vereiste betrouwbaarheidsindex

$\alpha_i$  = probabilistische invloedscoëfficiënt

$\mu_i$  = gemiddelde waarde van de stochastische variabele  $X_i$

$\sigma_i$  = standaardafwijking van de stochastische variabele  $X_i$

$V_i$  = variatiecoëfficiënt

Als de alfa-waarden correct worden ingeschat zijn dit rekenwaarden. De alfa-waarde zijn echter intuïtief en conservatief vastgesteld op basis van EN 1990 en de achtergronden van NEN 3650; eventueel is hier nog een verificatie mogelijk via aanvullende berekeningen. Waar de spreiding kan worden verwaarloosd wordt direct een nominale waarde genomen. Dit geldt voor de wanddikte en de diameter.

Waar over gemiddelden en spreidingen onvoldoende achtergrond bestaat, maar NEN 3650 wel een rekenwaarde geeft, wordt rechtstreeks van de deze rekenwaarde gebruik gemaakt. Mogelijk kan hier in een later stadium nog eens meer aandacht aan worden gegeven. Dit geldt onder andere voor de rekenwaarde van de rek voor het staal in een plastische berekening.

### Verdere toelichting per variabele (zie tabel volgende pagina):

Van de grondeigenschappen inwendige wrijving, cohesie en E-modulus worden alleen de gemiddelde waarde gegeven. Deze worden ingevoerd in de formules van NEN 3650 om de veercharacteristieken (helling en plateau) te bepalen. Daarna wordt de spreiding toegevoegd.

Bij de zetting en uitvoeringszakking is in beide gevallen de maximale waarde over de lengte van de leiding ingevuld. Hier hoort een hele zettingslijn bij (Deltares (2018f)). De waarden op andere locaties kunnen lineair worden mee-geschaald.

De getallen in de veermodellen representeren zowel de variatie rond het gemiddelde als de modelonzekerheid. De spreidingen onderaan de tabel zijn afkomstig van de ruimtelijke spreiding in de grondeigenschappen die in de waarden voor inwendige wrijving, cohesie en E-modulus grond zijn verwaarloosd.

		nom	$\gamma$	$X_d$	Gem/nom	$X_m$	V	alfa	beta	$X_d$	beta	$X_d$
Wanddikte	mm	15,20										
Diameter	mm	1219										
Vloiegrens staal	MPa	413	1,10	375	1,10	454,3	0,06	0,8	5,1	343	4,1	365
Rekgrens staal bij trek	–			0,005							4,1	
E-staal	GPa	207										
Inwendige wrijving klei	graad					22,5						
Cohesie klei	Mpa					5						
E-grond klei	MPa					0,6						
Inwendige wrijving zand	graad					30						
Cohesie zand	Mpa					0						
E-grond zand	MPa					5						
Inwendige waterdruk	MPa	0,6	1,15	0,69	1,00	0,6	0,08	-0,7	5,1	0,7714	4,1	0,73776
Verkeer	kN/m <sup>2</sup>			25/12,5								
Zetting	mm	389	2,00	778	0,90	350,1	0,08	-0,7	5,1	450,09	4,1	430,483
Uitvoeringszakking	mm	15	1,50	22,5	1,00	15	0,10	-0,3	5,1	17,295	4,1	16,845
Gewicht grond	kN/m <sup>2</sup>	18	1,10	19,8	1,00	18	0,05	-0,3	5,1	19,377	4,1	19,107
Gewicht staal	kN/m <sup>3</sup>	78										
Gewicht bekleding	kN/m <sup>3</sup>	15	1,20	18	1,00	15	0,20	-0,3	5,1	19,59	4,1	18,69
Gewicht water binnen	kN/m <sup>3</sup>	10	1,10	11	1,00	10	0,00	0	5,1	10	4,1	10
Waterdruk buitenkant	kN/m <sup>2</sup>	nvt										
Temperatuur	°C	10	1,10	11								
Model draagkracht	–	1										
Model grondbelasting.	–	1										
Veermodellen												
Veer omhoog	–	1	1,16	0,86207	1,00	1	0,10	0,3	5,1	0,8581	4,1	0,877
Veer omlaag	–	1	1,83	0,54645	1,00	1	0,30	0,8	5,1	0,2941	4,1	0,016
Veer opzij	–	1	1,25	0,8	1,00	1	0,15	0,3	5,1	0,7949	4,1	0,8155
Veer axiaal	–	1	1,25	0,8	1,00	1	0,15	0,3	5,1	0,7949	4,1	0,8155
Veer max omhoog	–	1	1,35	0,74074	1,00	1	0,20	0,3	5,1	0,7364	4,1	0,754
Veer max opzij	–	1	1,16	0,86207	1,00	1	0,10	0,3	5,1	0,8581	4,1	0,877
Veer max omlaag	–	1	1,35	0,74074	1,00	1	0,20	0,8	5,1	0,4422	4,1	0,344
Veer max axiaal	–	1	1,25	0,8	1,00	1	0,15	0,3	5,1	0,7949	4,1	0,8155
Spreiding globaal												
Veer omhoog	–	1	1,2	0,83333	1,00	1	0,15	0,3	5,1	0,7949	4,1	0,8155
Veer omlaag	–	1	1,1	0,90909	1,00	1	0,15	0,3	5,1	0,7949	4,1	0,8155
Veer opzij	–	1	1,4	0,71429	1,00	1	0,15	0,3	5,1	0,7949	4,1	0,8155
Veer axiaal	–	1	1,1	0,90909	1,00	1	0,15	0,3	5,1	0,7949	4,1	0,8155
Veer max omhoog	–	1	1,5	0,66667	1,00	1	0,20	0,3	5,1	0,7364	4,1	0,754
Veer max opzij	–	1	1,4	0,71429	1,00	1	0,20	0,3	5,1	0,7364	4,1	0,754

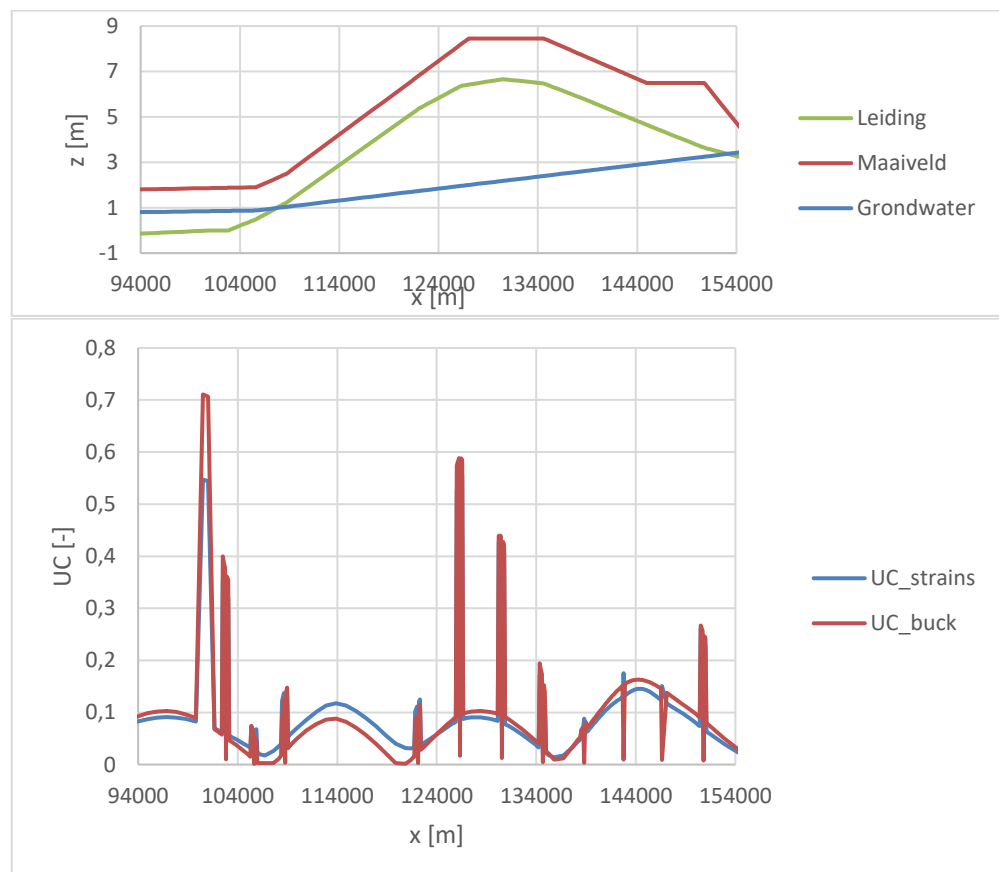
Veer max omlaag	-	1	1,5	0,66667	1,00	1	0,20	0,3	5,1	0,7364	4,1	0,754
Veer max axiaal	-	1	1,1	0,90909	1,00	1	0,10	0,3	5,1	0,8581	4,1	0,877

## Resultaten

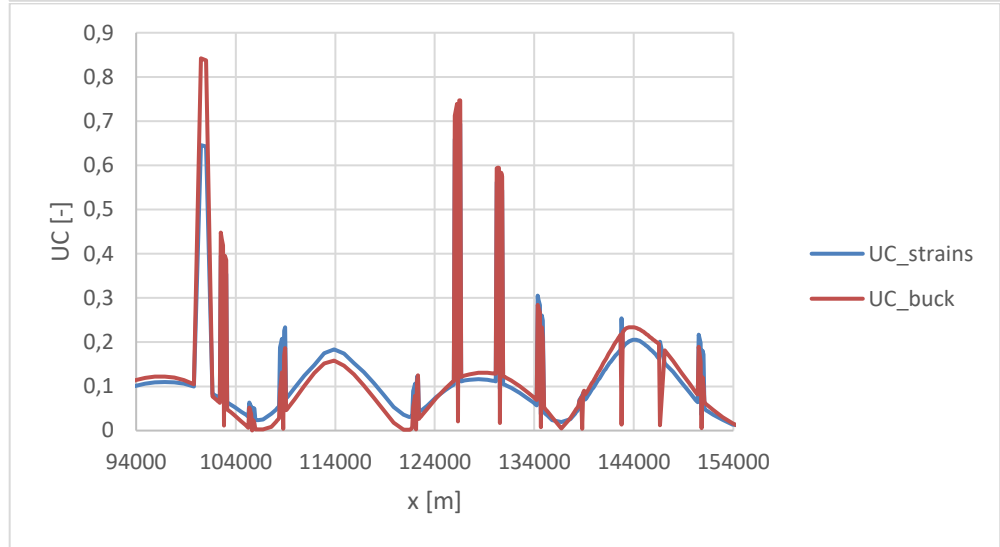
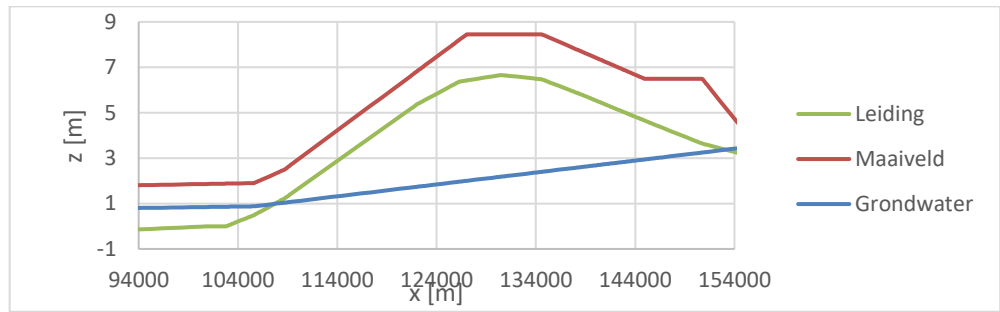
In onderstaande grafieken zijn de resultaten van het programma Ple4Win weergegeven conform [r+k (2018a en b)]. Dit is bijlage D bij het hoofdrapport [Deltares, 2019]. Bovenaan is schematisch de situatie weergegeven van de leiding in de dijk en ten opzichte van het grondwater. In de grafieken is de unity check UC langs de leiding gegeven voor de drukloze leiding (BC3) en de leiding met druk (BC4) en voor drie verschillende betrouwbaarheidsindices, als ook conform de NEN 3650.

### BC 3 (drukloos)

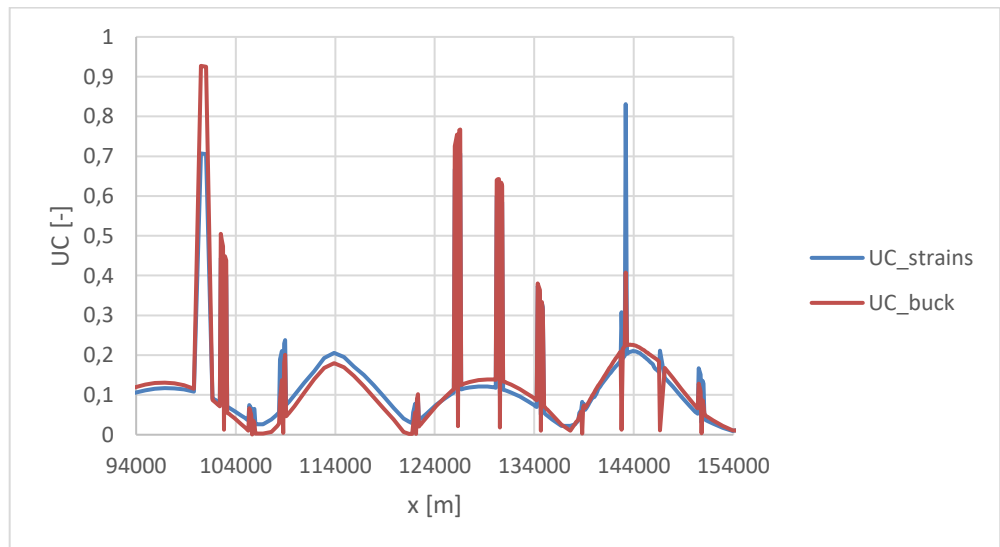
In onderstaande grafieken zijn de resultaten van de unity check met het programma Ple4Win weergegeven voor de drukloze leiding BC3 bij een betrouwbaarheidsindex  $\beta = 0.0$ ,  $\beta = 4.1$ ,  $\beta = 5.1$  en conform de NEN 3650.



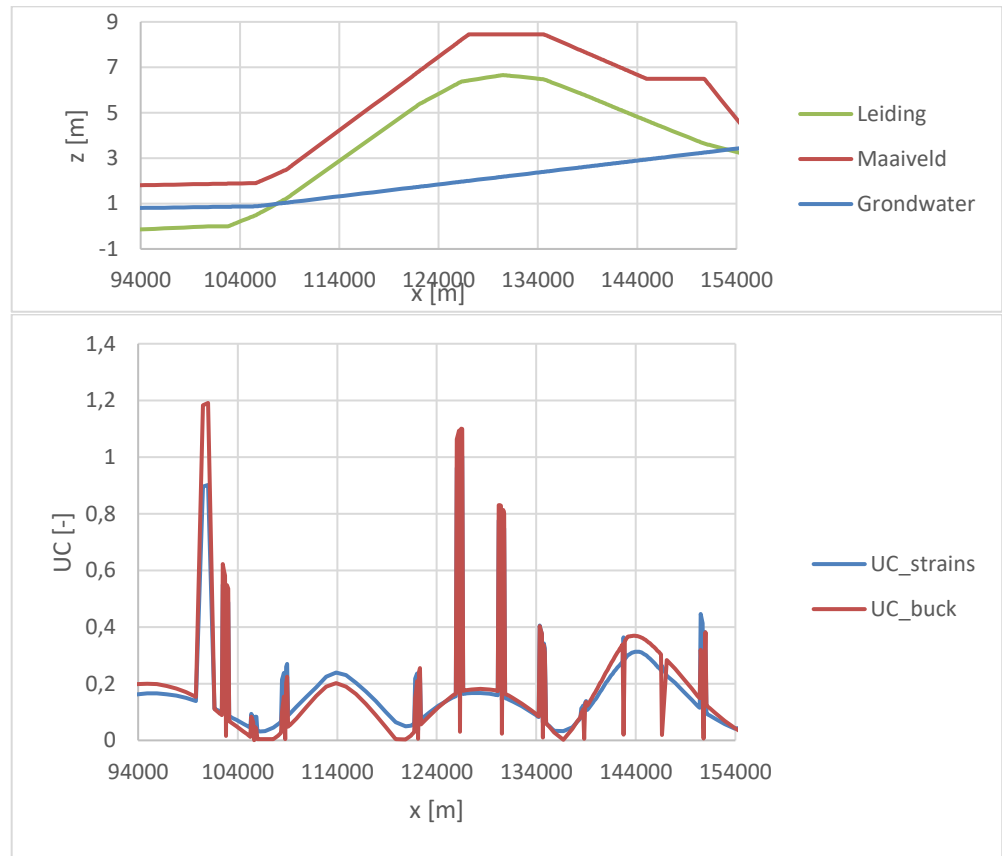
Figuur 8-1  $\beta = 0.0$ , maximale UC = 0,710629.



Figuur 8-2  $\beta = 4.1$ , maximale UC = 0,842114.



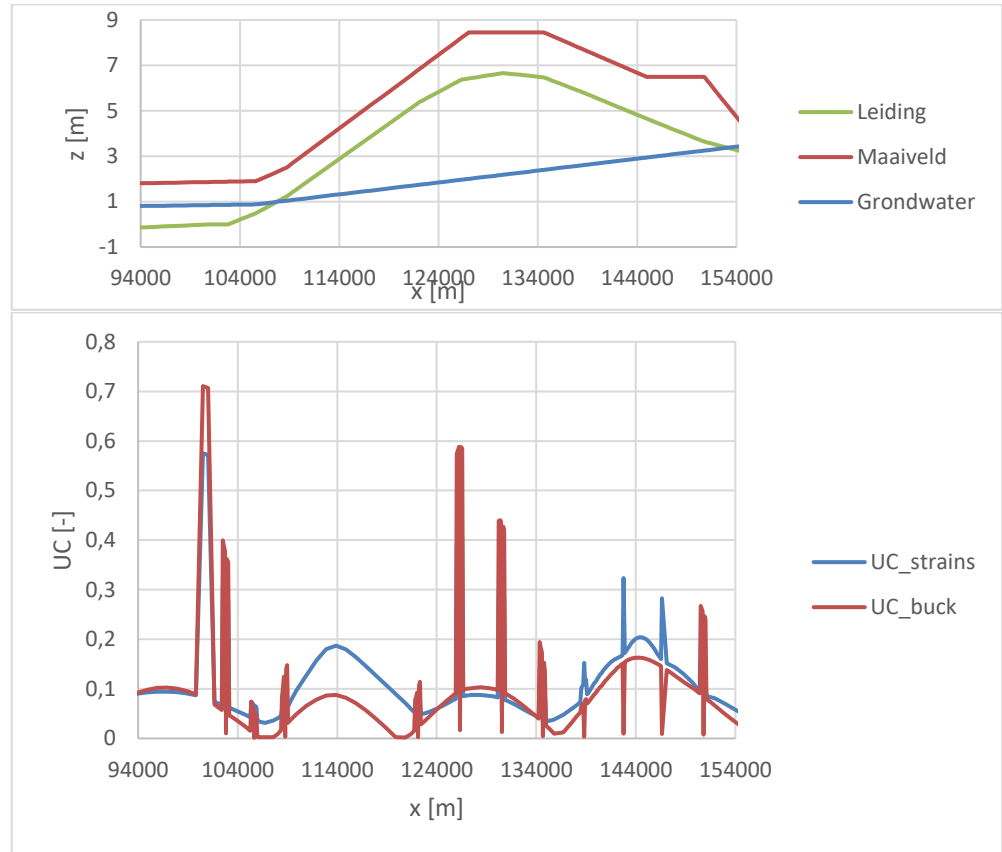
Figuur 8-3  $\beta = 5.1$ , maximale UC = 0,927167.



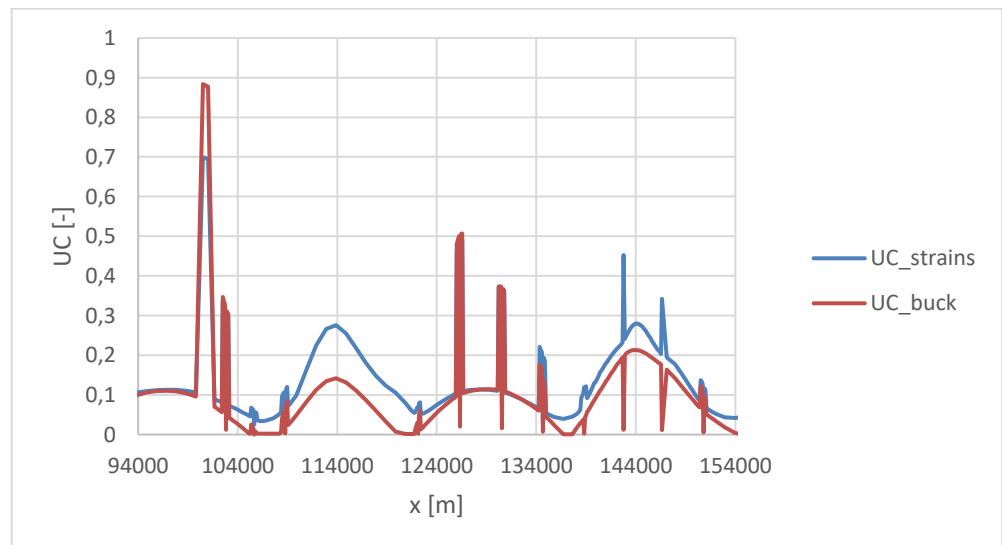
Figuur 8-4 NEN3650, maximale UC = 1,19111.

**BC 4 (met druk)**

In onderstaande grafieken zijn de resultaten van de unity check met het programma PLE weergegeven voor de leiding BC4 met druk bij een betrouwbaarheidsindex  $\beta = 0.0$ ,  $\beta = 4.1$ ,  $\beta = 5.1$  en conform de NEN 3650.

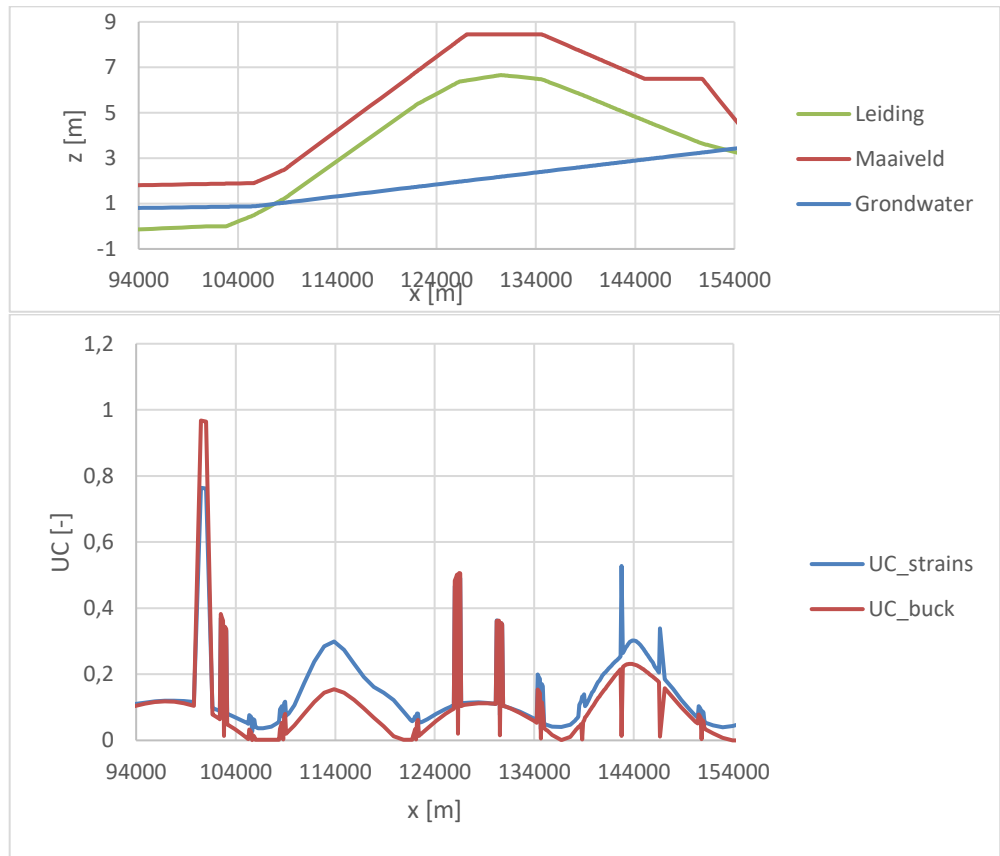


Figuur 8-5  $\beta = 0.0$ , maximale UC = 0,728091.

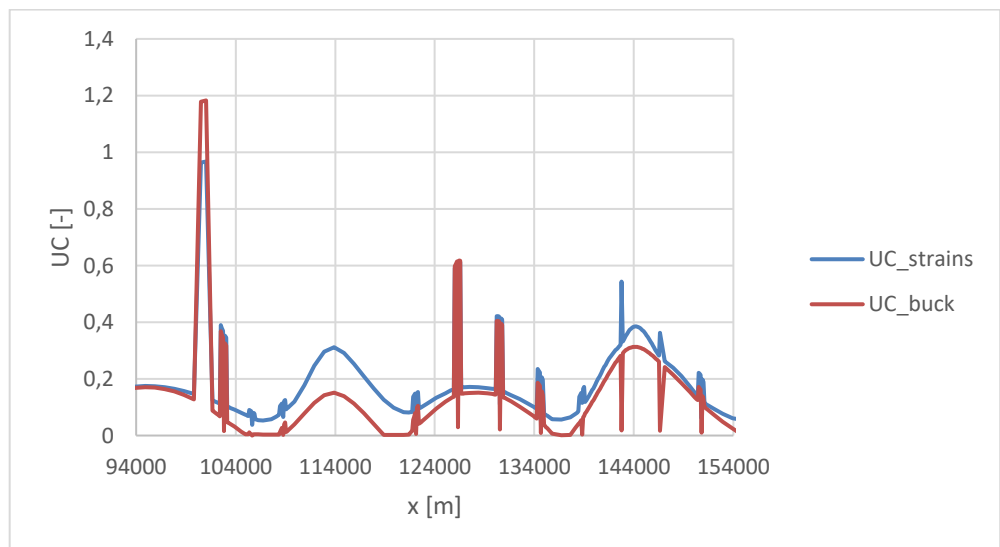


Figuur 8-6  $\beta = 4.1$ , maximale UC = 0,883467.



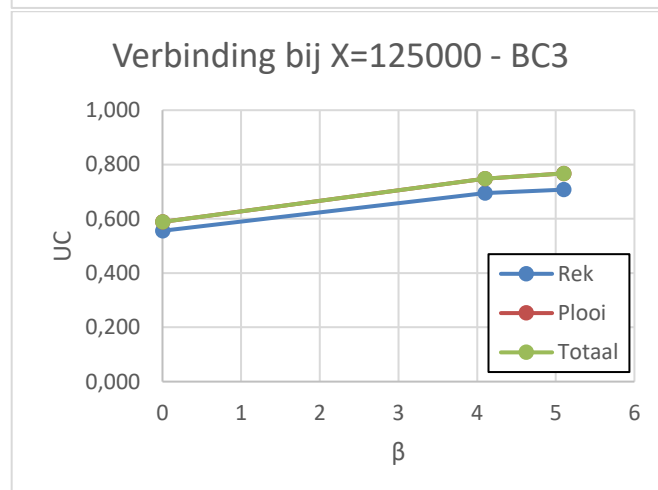
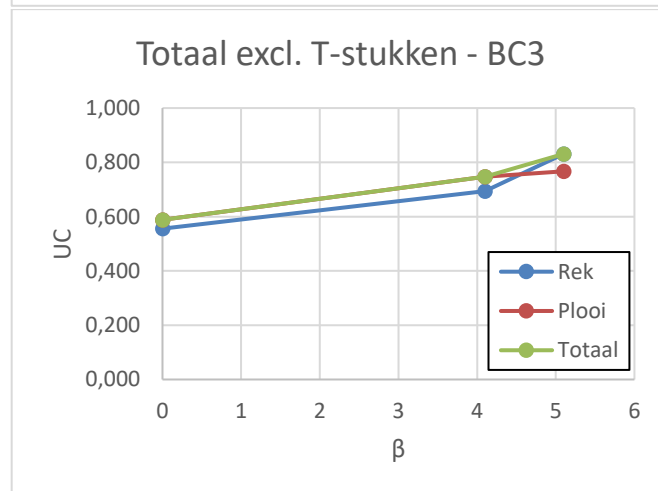
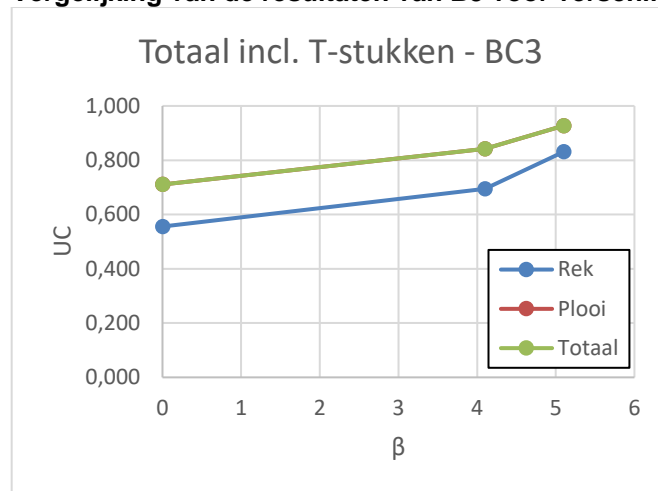


Figuur 8-7  $\beta = 5.1$ , maximale UC = 0,967679.

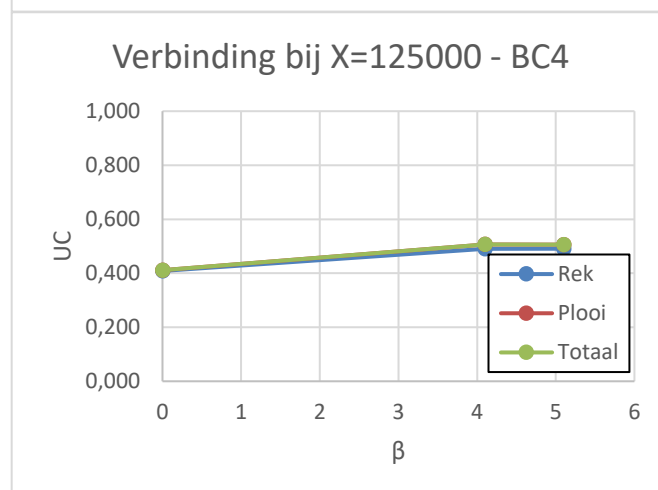
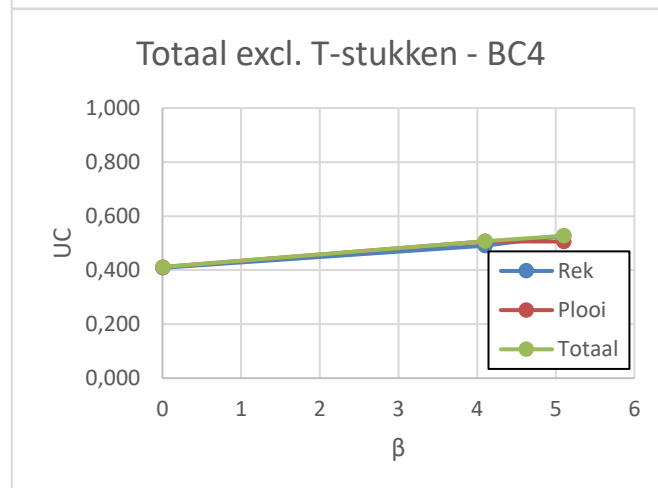
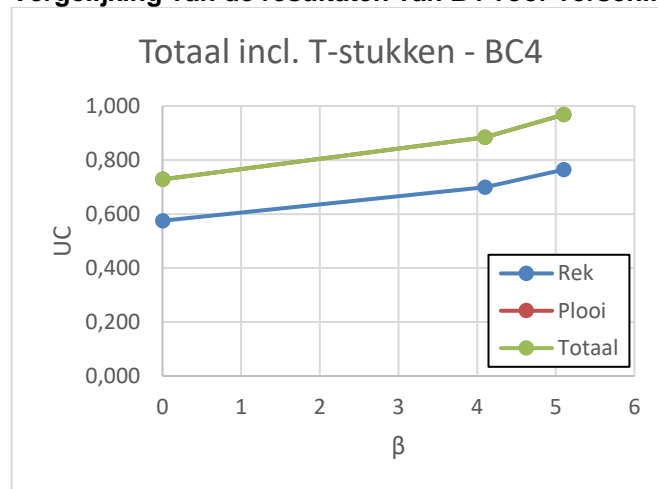


Figuur 8-8 NEN3650, maximale UC = 0,967679.

**Vergelijking van de resultaten van B3 voor verschillende situaties**



**Vergelijking van de resultaten van B4 voor verschillende situaties**



## E Verfijning faalkansberekening

### Relatie UC- $\beta$

Voor de relatie UC- $\beta$  kunnen we twee  $\beta$ -waarden kiezen en bij een geschatte set  $\alpha$ -waarden voor elke random grootheid de rekenwaarde bepalen. De daarbij aan te houden partiële factoren worden gegeven door:

$$\gamma = X_{\text{nom}} / X_d = X_{\text{nom}} / [\mu \cdot (1 + \alpha \beta V)]$$

Men kan er uiteraard ook voor kiezen de grootheden  $X_d$  direct in te voeren en alle veiligheidsfactoren op 1.0 te stellen. Daarna wordt met PLE4Win in beide gevallen de unity checks bepaald (voor de onderliggende berekeningen bij deze case study zie [r+k (2018a+b)] bijlage D bij het hoofdrapport [Deltares, 2019]. en rechtlijnig geïnter- of geëxtrapoleerd Het snijpunt met UC =1 is het design point en levert dus een schatting van de betrouwbaarheidsindex. Uiteraard is dit alleen het juiste antwoord als de set  $\alpha$ -waarden correct is geschat. In deze studie zijn de alfa-waarden gekozen overeenkomstig de conservatieve schattingen in ISO 2394 en de voorinformatie uit de achtergrond van NEN 3650.

### Extra Gevoeligheidsanalyses

Als via een extra-PLE4Win-berekening de gevoeligheid van de UC voor een bepaalde variabele is vastgesteld kan de schatting van alfa in bovenstaande worden gecheckt of verbeterd. De standaard formule voor  $\alpha$  van  $X$  luidt:

$$\alpha = (dZ/dX) (\sigma_X / \sigma_Z)$$

In dit geval is  $Z = 1 - UC$  en gaat bovenstaande over in:

$$\alpha = (dUC/dX) (\sigma_X / \sigma_Z)$$

Voor  $\sigma_Z$  kunnen we uitgaan van:

$$\sigma_Z = \mu_Z / \beta = (1 - \mu(UC)) / \beta = dUC/d\beta$$

zijnde de helling van de  $\beta$  - UC relatie.

Corrigeer vervolgens de UC volgens de beide eerdere sommen via

$$UC(\text{nieuw}) = UC(\text{oud}) + dUC/dX * (X_d(\text{nieuw}) - X_d(\text{oud}))$$

met  $X_d(\text{nieuw}) = \mu X + \alpha(\text{nieuw}) \beta V$

Er kan natuurlijk aanleiding zijn ook andere  $\alpha$ -waarden te wijzigen.

### Volledige FORM-berekening

Als van veel variabelen met  $dZ/dX$  bekend, kan een volledige niveau II berekening worden uitgevoerd met

$$X = X_d$$

(of beter nog  $X=\mu+0,5\alpha\beta V$ ) voor de overige variabelen.

### Lengte-effect

Voor de inschatting van het *lengte-effect* voor de omrekening van lokaal naar globaal moet voor elke stochastische variabele naast het gemiddelde en de standaardafwijking ook een correlatie-lengte worden geschat, ofwel een schatting van de correlatie tussen twee buiselementen van 4 m. Via standaardformules (outcrossing approach) is dan de kans op falen over een bepaalde lengte (van een zone) uit te rekenen.

In feite is het niet eens voldoende om de faalkans voor een leidingsegment (zone of onderdeel daarvan) uit te rekenen. Het gaat om de kans dat falen optreedt in een zone (of onderdeel daarvan) en niet ergens anders. Falen in onderdeel j is dus niet gelijk aan

$$P(Z_j < 0)$$

maar aan

$$P(Z_j < 0 \text{ en } Z_j < Z_1 \text{ en } Z_j < Z_2 \dots).$$

Bij een gapend lek is dit voldoende. Bij een sluipend lek is de toestand nog iets gecompliceerder, omdat er wel degelijk meerdere lekken kunnen zijn. Dit wordt voorlopig echter niet meegenomen.

NB1: Grootheden kunnen tijdsafhankelijk en tijdsonafhankelijk zijn; bij de statistische beschrijving van de tijdsafhankelijke grootheden is de referentieperiode van een jaar aangehouden; de gevonden faalkansen gelden derhalve voor de periode van een jaar en kunnen dus vergeleken worden met in de wet vereiste waarden.

NB2: Zaken als corrosie en beheerfouten kunnen in de eigenschappen van variabelen als wanddikte en inwendige druk worden ondergebracht; in dit project gaan we dat niet doen, deze zaken worden afgedekt door de andere faaloorzaken.

NB3: In de belastingen op de grond is, zoals eerder vermeld, de hoogwaterstand is een relevante variabele in de probabilistische berekening. Als zodanig is het logisch dat deze wordt meegenomen. In deze case is gebleken dat de vervormingen van de waterkering bij hoogwater geen negatief effect hadden op de leiding. Bij een andere case zou het kunnen dat er wel een effect op de leiding is. Bij een grote mate van gevoeligheid bij hoogwater is de kans groot dat leidingfalen optreedt tijdens hoogwater. Bij een kleine gevoeligheid is dat minder. Dit is dus van belang voor de kans op overstroming gegeven leidingfalen. Het kan ertoe leiden dat er twee faalscenario's beschouwd moeten worden: een waarbij falen met een kleine kans optreedt bij hoogwater direct gevolgd door overstroming en een tweede waarbij met een grotere kans falen optreedt bij een lagere waterstand, maar overstroming alleen optreedt bij een eventueel later optredend extreem hoogwater.

## F Ideeën voor monitoring

### Algemeen

De berekeningen in dit rapport hebben geresulteerd in een numerieke waarde voor de faalkans van de leiding ten gevolge van verschillende oorzaken. Deze faalkans is tot stand gekomen door berekeningen die in veel gevallen worden ondersteund door historische data en aannames. Deze zijn beschreven in het rapport. De resultaten van de berekeningen, hoewel valide, moeten daarom met de nodige voorzichtigheid worden behandeld. Omdat afwijkingen van veronderstellingen altijd mogelijk zijn en verder wordt afgeweken van de gangbare oplossing, verdient het aanbeveling deze veronderstellingen zoveel mogelijk op hun correctheid te toetsen. Naast verificatie binnen de kritieke impactzone, wijst dit ook in de richting van een monitoringprogramma. In deze bijlage worden ideeën voor monitoring gegeven. Het gaat hierbij om monitoring in de kritieke impactzone van 200 m (35 m buitenwaarts en 165 m binnenwaarts uit het nulpunt van het ontwerpprofiel), zoals afgeleid in Bijlage I van het hoofdrapport [Deltares, 2019].

### Veiligheidsniveau

Bij olie- en gastransportleidingen wordt, afhankelijk van de te verwachten wanddikte afname, elke ca. 5 of 10 jaar een intelligent pig inspectie uitgevoerd. Voor een kruising van een watertransportleiding met een primaire waterkering is het risicopotentiaal ter plaatse van de waterkering in dezelfde orde grootte als bij een olie- of gastransportleiding. De resultaten van inspectie en monitoring van watertransportleidingen zullen dan ook gelijkwaardig moeten aan die van inspectie en monitoring bij olie- en gasleidingen in beschouwd tijdsinterval.

Watertransportleidingen zullen veelal niet 'piggable' zijn en ook moeilijk 'piggable' te krijgen zijn, wat gepaard gaat met relatief hoge kosten. Alternatieve inspectiemogelijkheden en lekdetectie worden dan belangrijk. Dit gaat specifiek om:

- Monitoring van de wanddikteafname ter voorkoming van lekkage
- Lekdetectie om optredende lekkages vroegtijdig te kunnen vaststellen

Monitoring van de corrosie en lekdetectie zijn verder uitgewerkt in [DNV.GL (2018)] bijlage H van het hoofdrapport [Deltares, 2019].

Verder moet er nog aandacht worden besteed aan:

- Monitoring van waterspanningen in de dijk;
- (Geavanceerde) monitoring van zettingen, zakkingen en vervormingen.

Bij elk van deze technieken dient er rekening te worden gehouden met het feit dat de monitoring over een periode na dijkversterking van vele jaren in bedrijf zal zijn.

Bij het ontwerpen en realisatie van het monitoringssysteem en de keuze voor monitoringstechniek zal hier rekening mee gehouden moeten worden.

### Monitoring van waterspanningen in de dijk

In geval van een sluipend lek treedt niet direct zichtbare schade op aan de dijk. Een manier om sluipende lekken vast te kunnen stellen is door middel van het monitoren van waterspanningen in de dijk. Hiertoe moeten dan op verschillende

locaties langs de leiding de waterspanning worden gemeten. Tevens kan op enige afstand van de leiding de waterspanning gemeten worden. Indien in de nabijheid van de leiding een toename van de waterspanning wordt gedetecteerd die op afstand niet optreedt, is nader onderzoek in de vorm van bijvoorbeeld een inspectie raadzaam.

### **Monitoring van zakkingen, zettingen en vervormingen**

Zoals ook voor deze kruising gebleken is treden er door de tijd heen problemen op met zak- en zetbakens. Desondanks, in de voor de extrapolatie zo belangrijke eerste periode (vooraf, tijdens en direct na de verschillende fasen van de ophogingen) wordt aanbevolen dagelijks en daarna wekelijks te meten. Waar mogelijk kunnen deze metingen vanaf het begin en zeker later worden aangevuld met andere meetmethoden, die heden ten dage voorhanden zijn om dit soort metingen of metingen voor gerelateerde parameters te doen, zoals satelliet voor zettingen (Actueel Hoogtebestand Nederland). Daarbij zal ook nagedacht moeten worden over hoe de eventuele ruimte tussen onderkant buis en bodem te bepalen, indien relevant. Bijvoorbeeld leidingzoekapparatuur, waarmee ook de dekking gemeten kan worden, kan daarbij een rol spelen.



## **D Leiding sterkte berekeningen (r+k notities)**

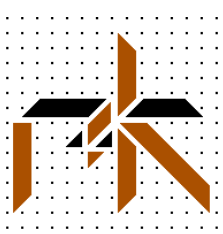
Door r+k Consulting Engineers zijn leiding sterkte berekeningen volgens NEN 3650 uitgevoerd, inclusief variatieberekeningen, gebruikt door TNO ter onderbouwing van de faalkans van de leiding. De bevindingen zijn opgenomen in onderstaande notities, welke als bijlagen onderdeel uitmaakt van deze studie:

### **Bijlage D.1**

*R+K (2019a). Sterkteberekeningen van twee bestaande 1219 mm stalen Dunea waterleidingen in het dijkversterkingstraject Gorinchem-Waardenburg (NEN-berekeningen). r+k Consulting Engineers, rapport 5-277-482-02 rev 5.*

### **Bijlage D.2**

*R+K (2019b). Sterkteberekeningen van twee bestaande 1219 mm stalen Dunea waterleidingen in het dijkversterkingstraject Gorinchem-Waardenburg (Variant-berekeningen). r+k Consulting Engineers, rapport 5-277-482-03 rev 3.*



**Sterkteberekeningen van twee bestaande**  
**Ø 1219 mm stalen Dunea waterleidingen**  
**in het dijkversterkingstraject**  
**Gorinchem - Waardenburg**  
**(NEN – berekeningen)**

**rapport 5-277-482-02**

**In opdracht van:**



**POV Kabels & Leidingen**

5	AANGEPASTE DEFINITIEVE UITGAVE	18 sept. 2019	Ir. M. Lammers	√		
4	AANGEPASTE DEFINITIEVE UITGAVE	3 juli 2019	Ir. M. Lammers	√		
3	AANGEPASTE DEFINITIEVE UITGAVE	14 mei 2019	Ir. M. Lammers	√		
2	DEFINITIEVE UITGAVE	29 april 2019	Ir. M. Lammers	√		
1	AANGEPASTE UITGAVE	6 maart 2019	Ir. M. Lammers	√	A. Tesfaye	√
0	INITIELE UITGAVE	2 jan. 2019	Ir. M. Lammers	√	A. Tesfaye	√
REVISIES		DATUM	AUTEUR	QA CONTROLE		
Client ref.: e-mail van Martijn de Koning d.d. 24 september 2018		r+k project: 5-277-482				

**INHOUD**

pagina

1.	Inleiding	2
2.	Uitgangsgegevens sterkteberekeningen	3
2.1	Leidingconfiguratie	3
2.1.1	Verstijvingsringen	3
2.1.2	Mijterbochten	4
2.1.3	Mangaten	4
2.2	Materiaal- en doorsnedegegevens	4
2.2.1	Relatieve sterkte	4
2.3	Grondmechanische parameters	5
2.4	Externe randvoorwaarden	5
2.5	Belastingen	5
2.6	Uitgangspunten voor spanningsberekeningen	6
2.7	Inspectie van de buisleiding	6
3.	Uitgevoerde berekeningen	8
4.	Resultaten, samenvatting en conclusies, aanbevelingen	9
4.1	Resultaten van de berekeningen van serie 1	9
4.2	Resultaten van de berekeningen van serie 2	10
4.3	Samenvatting	11
4.4	Conclusies	12
4.5	Aanbevelingen	12
	Referenties	13
	Figuren 1 t/m 9 (plotuitvoer <i>Ple4Win</i> )	14
Bijlagen:		
A.	Leidingtekeningen	20
B.	Geotechnische gegevens	24
C.	Korte beschrijving <i>Ple4Win</i>	26
D.	Computer in- en uitvoer <i>Ple4Win</i>	31
	D1 – Vuren BC3 v2, combinatie zonder interne druk en temperatuur	32
	D2 – Vuren BC4 v2.1, combinatie met interne druk en temperatuur	49
	D3 – Vuren BC3 v4.1P, materiaalplasticiteit, zettingen x 2 van 2019	51
	D4 – Vuren BC3 v5.1P, materiaalplasticiteit, zettingen x 2 van 2119	68
E.	Validatie van plastische berekeningen in <i>Ple4Win</i>	70

*Noot:* In bijlage D1 en D3 is alle invoer en een relevant deel van de uitvoer opgenomen. In bijlage D2 zijn alleen tabellen opgenomen die verschillen t.o.v. bijlage D1, in bijlage D4 zijn alleen tabellen opgenomen die verschillen t.o.v. bijlage D3.

## 1. INLEIDING

Ter plaatse van de kruising van twee bestaande ruwwater transportleidingen van Dunea met de Noordelijke Waaldijk wordt de dijk versterkt t.b.v. het dijkversterkingstraject Gorinchem – Waardenburg. Deze versterking zal, naast een extra belasting op de leiding door het gewicht van de aan te brengen grond, vooral zorgen voor extra zettingen. De leiding zal in de nieuwe situatie moeten voldoen aan de eisen van de NEN 3650 [1], [2] en de NEN 3651 [3]. Er speelt echter nog meer: de faalkans van de dijk zal worden bepaald en de faalkans van deze twee leidingen zal de faalkans van de dijk beïnvloeden. Er zal daarom een integrale faalkansanalyse worden uitgevoerd van de dijk en de leidingen. Een toetsing van de leiding aan de NEN 3650 serie geeft onvoldoende informatie over de faalkans. Er kan echter wel informatie worden verkregen door verschillende belastingvarianten op de leiding te berekenen. In dit rapport worden alleen de NEN 3650 berekeningen besproken.

De stalen ruwwater transportleidingen hebben een uitwendige diameter van 1219 millimeter en bij aanleg een wanddikte van 15,58 of 12 millimeter. Bij wanddiktemetingen van de leiding t.p.v. de kruin van de dijk in 2017 is een wanddikte gemeten van minimaal 15,2 millimeter. De ontwerpdruk bedraagt 11 bar en de maximale bedrijfsdruk 6 bar\*. De materiaalkwaliteit van het staal is API-5L grade X60 ter plaatse van de dijk kruising en grade B daarbuiten. Er zullen uitgebreide berekeningen worden gemaakt om de vervormingen, spanningen of rekken en ovalisaties te bepalen en de leiding te toetsen. Hoewel het hier twee leidingen betreft met een h.o.h.-afstand van 5 m, zal naar één enkele leiding worden gekeken. De leidingen zijn identiek qua uitvoering en ontwerp, zodat bij de berekeningen de resultaten bruikbaar zijn voor beide leidingen. Uitgangspunt is dat in de praktijk slechts één van de twee leidingen operationeel in gebruik is.

POV K&L (Project Overstijgende Verkenning Kabels en Leidingen) heeft r+k raadgevend ingenieurs- en konstruktieadviesbureau b.v. te Rijswijk gevraagd de berekeningen voor het betreffende leidingtraject te maken voor de bestaande leiding in de huidige situatie en de toekomstige situatie 50 jaar na dijkversterking (2075). In eerste instantie is hierbij gebruik gemaakt van eerder gemaakte berekeningen en bijbehorende uitgangspunten [4]. De sterkteberekeningen zijn, bij serie 1, uitgevoerd op basis van de normenserie NEN 3650 voor een tweetal belastingcombinaties. Daarna zijn varianten berekend met een aantal zettingsprofielen (serie 2). Deze zettingen zijn bepaald a.d.h.v. historische gegevens m.b.t. ophogingen of aanpassingen die vanaf 1970 ter plaatse zijn uitgevoerd (zie Bijlage E bij hoofdrapport van Deltares). De grondzetting- en leidingzakkingsmetingen die in het verleden ook zijn uitgevoerd, bleken niet bruikbaar om een goede zettingsprognose te maken. Daarnaast is er tevens een prognose gemaakt van de extra belasting op de leiding door horizontale vervormingen van de dijk bij extreem hoogwater (zie Bijlage F bij hoofdrapport van Deltares). De leiding is wederom getoetst aan de normenserie NEN 3650. Deze twee series leidingberekeningen worden in dit rapport (5-277-482-02) besproken. Van belang is hierbij wel dat de mangaten aangepast dienen te worden; indien de mangaten onversterkt aanwezig blijven, zijn de berekeningen in dit rapport niet toepasbaar!

Vervolgens is een serie leidingberekeningen gemaakt (serie 3) om de gevoeligheid van de leiding voor bepaalde belastingen te bepalen en om input te leveren voor de faalkansberekeningen. Hierbij zijn verschillende zaken gevarieerd: zettingen, grondparameters en de (hoog)waterstand op de rivier. De laatste serie berekeningen (serie 4) was nodig om de parameters van de faalkansberekening nauwkeuriger te bepalen. Hierbij zijn alle belasting- en onzekerheidsfactoren die in de NEN 3650 serie worden genoemd en gebruikt, vervangen door factoren die behoren bij de faalkansbepaling. Hier zijn tevens een aantal variaties bekeken. Deze twee series worden in een ander rapport (5-277-482-03) besproken. De benodigde uitgangsgegevens -voor beide rapporten- worden in het tweede hoofdstuk besproken.

Aan r+k raadgevend ingenieurs- en konstruktieadviesbureau zijn gegevens verstrekt over de ligging van de leiding, zie hiervoor de tekeningen in bijlage A. Tevens zijn gegevens verstrekt over de opbouw van de grond in het te beschouwen gebied [4]. De grondparameters zijn bepaald door r+k met de “Soil Wizard” van *Ple4Win* [5]. Van de geotechnische aspecten zijn de belangrijkste zaken tevens in bijlage B opgenomen.

De sterkteberekeningen, zoals beschreven in hoofdstuk 3, zijn door r+k uitgevoerd met *Ple4Win*, een computerprogramma voor het bepalen en controleren van het gedrag en de veiligheid van transportpijpleidingen onder en/of boven de grond. Een korte beschrijving van de achtergrond en de opties van het programma is in bijlage C opgenomen. In bijlage E is een deel van de verificatie-rapportage opgenomen waarmee de resultaten van de plastische berekeningen in *Ple4Win* zijn gevalideerd.

De relevante berekeningsresultaten zijn (numeriek) samengevat in de eerste twee paragrafen van hoofdstuk 4 en grafisch weergegeven in de figuren aan het eind van het rapport. Een selectie van de numerieke computer in- en uitvoer staat in bijlage D. De berekende spanningen, rekken en vervormingen van de leiding in het traject zijn in dit rapport getoetst aan de criteria van de NEN 3650 serie.

Tenslotte wordt in paragraaf 3 en 4 van hoofdstuk 4 een samenvatting gegeven en worden conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan ten aanzien van de sterkte en stabiliteit van het onderhavige leidingtraject.

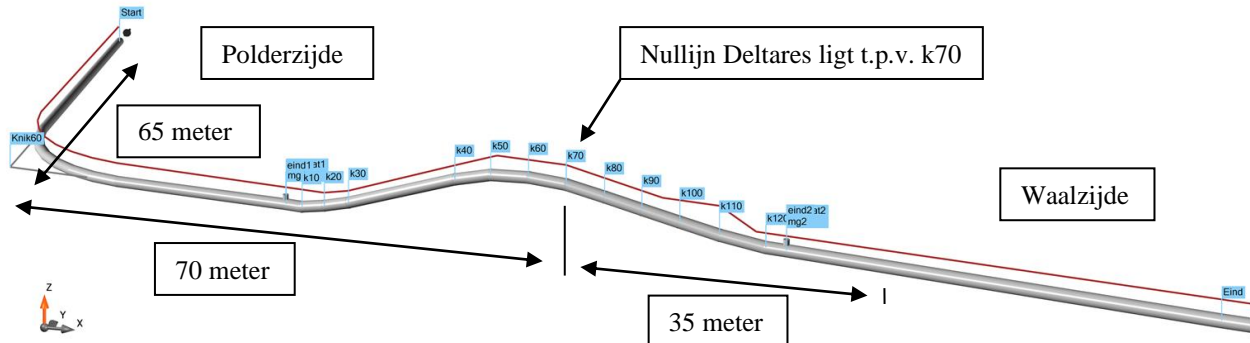
\* De maximale bedrijfsdruk is nog niet aangetoond door de leidingeigenaar. Een aanvullende waterslagberekening op basis van de pomp- en afsluiterkarakteristieken moet nog beschikbaar komen.

## 2. UITGANGSGEGEVENS STERKTEBEREKENINGEN

De gegevens nodig voor de sterkteberekeningen van de leiding zijn ontleend aan tekeningen, rapporten, correspondentie en telefonische informatie, verstrekt door de opdrachtgever en/ of verzameld door r+k zelf.

### 2.1 Leidingconfiguratie

De betreffende leidingsectie staat aangegeven op de volgende tekeningen van Duinwaterleiding van 's Gravenhage (tegenwoordig Dunea): "Routekaart nr 05, transportleiding Andelse Maas - Bergambacht", tekening nr. AM 3-05, d.d. augustus 1972, wijz. 5, d.d. 30-09-1976 en "Kruising Noordelijke Waaldijk, Watertransportleiding Andelse Maas - Bergambacht", tekening nr. AM 3-9<sup>1</sup>, d.d. 16-7-1973, wijz. 2, d.d. 30-09-1976. Zie tevens bijlage A.



De grens van de veiligheidszone ligt aan de Waalzijde 35 meter vanaf de nullijn van Deltares, aan de polderzijde ligt deze grens op 165 meter vanaf de nullijn. Het begin van het model (Start) ligt daarmee binnen de veiligheidszone. Het beginpunt van het model (Start) ligt binnendijks op een afstand van bijna 110 meter van de binnendijkse teen van de dijk. Deze teen ligt t.h.v. knikpunt k20 (zie figuur hierboven). Het eindpunt van het model (Eind) ligt op een afstand van 40 meter van de buitendijkse teen van de dijk, nabij knikpunt k120. De totale lengte van het in het model ingevoerde leidingdeel bedraagt bijna 200 meter. In dit deel is een 60° segmentbocht en zijn een tiental segmentbochten met een kleine knikhoek opgenomen. Tevens zijn er elf verstijvingsringen rondom de leiding aangebracht. Deze ringen vallen vaak samen met de korte segmentbochten en bevinden zich nabij de binnendijkse teen van de dijk en in de kruin van de dijk. Nabij de teen van de dijk, zowel binnen- als buitendijks, is een mangat aanwezig. Twee wanddikte- en materiaalovergangen (van 12 mm grade B naar 15,2 mm grade X60 en omgekeerd) liggen in dit model op 20 meter vanaf de tenen van de dijk. De precieze locatie van deze overgangen zal nog vastgesteld moeten worden door de leidingbeheerder. De segmentbochten, verstijvingsringen en de mangaten zijn in het model opgenomen. Het verloop van de leiding, zoals ingevoerd via tabellen ORIGIN en POLYDIF, is in figuren 1a t/m 1c weergegeven.

Specifieke punten van de configuratie en overige in te voeren gegevens worden met een naam (IDENT) aangeduid, die een indicatie van de locatie geeft. Bij het samenstellen van de configuratie worden door het programma automatisch knooppuntnummers gegenereerd. De ingevoerde elementlengte is minder dan éénmaal de diameter van de leiding, waardoor de berekeningsonnauwkeurigheid kleiner dan 5% is. Dit volgt uit een vergelijk met het analytische model van een elastisch ondersteunde ligger met de onderhavige buis- en grondkarakteristieken.

#### 2.1.1 Verstijvingsringen

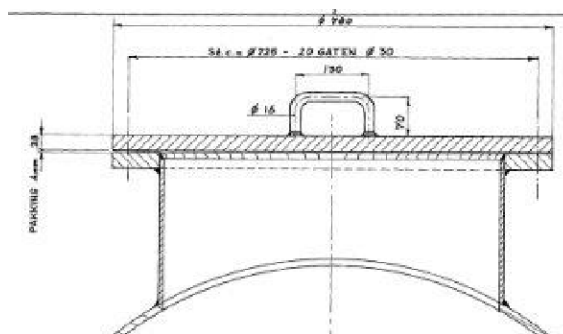
De verstijvingsringen bestaan uit een I-profiel dat rondom de leiding is aangebracht, zie hiervoor de tekening in bijlage A. Dit profiel is in het PLE programma niet als zodanig in te voeren. We kunnen in het model wel de diameter, de wanddikte en het materiaal (en de materiaaleigenschappen) aanpassen. In dit geval is gekozen voor het verhogen van de wanddikte met als uitgangspunt een equivalente buigstijfheid: de buis met de grotere wanddikte heeft dezelfde buigstijfheid als de buis met het I-profiel. De elementlengte is ter plaatse van de verstijvingsringen een stuk kleiner gemaakt, zodat deze lengte ongeveer overeenkomt met de breedte van het I-profiel. Er zijn verschillende I-profielen toegepast, maar voor de wanddikte zijn we uitgegaan van een profiel van 200 mm hoog, 80 mm breed, wanddikte lijf van 8 mm en wanddikte flens van 10 mm. De verstijvingsring is om de buis heen geklemd en zal in axiale buisrichting weinig krachten op kunnen nemen. Bij de in dit model gebruikte verhoging van de wanddikte zullen de langseffecten wel beïnvloed kunnen worden, maar deze beïnvloeding zal, door de beperkte lengte van het element met de grotere wanddikte, zeer gering zijn. Hoewel deze modellering niet in alle aspecten optimaal zal zijn, is het wel belangrijk dat de effecten die in omtreksrichting door deze ringen beïnvloed worden, worden meegenomen. In dit geval zijn de verstijvingsringen meegenomen door lokaal een hogere wanddikte met een equivalente buigstijfheid toe te passen. Er wordt bij deze modellering geen rekening gehouden met een verhoogde axiale (grond)weerstand.

## 2.1.2 Mijterbochten

De mijterbochten in het model zijn berekend met PLE, waarbij gebruik is gemaakt van een nieuw moduul in PLE (moduul I) voor het berekenen van mijterbochten. Het aantal knikken, de bochtstraal of de afstand tussen twee knikpunten kan worden opgegeven en de bijbehorende bochtfactoren en spanningsfactoren zullen bij de berekening van de leiding en de spanningen worden toegepast. In de help file van PLE, die online kan worden geraadpleegd, is meer informatie te vinden over het programma en zijn werking en specifieke informatie o.m. over de mijterbochten. Ga naar <https://www.ple4win.nl/wp-content/uploads/help/> om de help file te bekijken en [deze link](#) om het stuk over de mijterbochten te lezen.

## 2.1.3 Mangaten

De mangaten hebben een uitwendige diameter van 609,6 millimeter en een wanddikte van 8 millimeter. Het mangat is zonder versterkingen op de doorgaande buis gelast, voor het pijpleidingmodel is daarom gekozen voor een "unreinforced T". Aan het uiteinde van het mangat is een flens aangebracht waarop een deksel met handgrepen m.b.v. bouten is bevestigd. Zie ook nevenstaande afbeelding. Het is ons niet bekend of er een beheerdersoordeel (van Dunea) van de mangaten is: de huidige staat van de mangaten zou iets kunnen zeggen over de belastingen en vervormingen die het mangat ondergaat / heeft ondergaan. Zonder dit oordeel voldoet de leiding niet aan de NEN 3650 serie. Het mangat is feitelijk een T-stuk met een flens. Hier is rekening mee gehouden m.b.t. de spanningsverhoging en buigstijfheidsreductie. De toetsing is volgens tabel 3 van NEN 3650-2.



## 2.2 Materiaal- en doorsnedegegevens

Voor de materiaal- en geometriegegevens van het leidingtraject is van de volgende waarden uitgegaan:

Leidinggegevens	naam	waarde	eenheid
Uitwendige diameter	$D_o$	1219	mm
Wanddikte*	$t_n$	15,2 (X60) of 12 (B)	mm
Fabricagetolerantie wanddikte	-	-12,5	%
Staalkwaliteit	-	API 5L gr. X60 of gr. B	
Rekgrens	$R_e$	413 (X60) of 241 (B)	N/mm <sup>2</sup>
Rekgrens bij maximum temperatuur (20°C)	$R_e(\theta)$	413 (X60) of 241 (B)	N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus staal	E	207.000	N/mm <sup>2</sup>
Dwarscontractiecoëfficiënt staal	$\nu$	0,3	
Volumieke massa staal	$\rho_s$	7850	kg/m <sup>3</sup>

\* De wanddikte van het grade X60 staal bedroeg bij aanleg 15,58 millimeter. Bij recente wanddiktemetingen bleek dat er lokaal kleine wanddikteafnames voorkomen. Om deze reden is gekozen voor een wanddikte van 15,2 millimeter, dit is het minimum dat ter plaatse van de kruis is gemeten. Deze wanddikte is representatief gesteld voor het gedeelte van de leidingkruising tussen de mangaten. Voor het gedeelte daarbuiten is op basis van de oorspronkelijke ontwerptekeningen uitgegaan van grade B staal met een wanddikte van 12 mm.

### 2.2.1 Relatieve sterkte

In paragraaf 6.6 van de NEN 3651 staat:

#### 6.6 Relatieve sterkte

De leidingstrekking in de kruising met een waterkering inclusief de veiligheidszones (primaire waterkering, boezemwaterkering en secundaire waterkering), moet 20 % sterker zijn voor inwendige druk dan de veldleiding.

Voor het gedeelte van de leidingkruising met de wanddikte van 15,2 mm wordt aan de eis voldaan:  $15,2/12 = 1,27$ , dus 27% sterker. Omdat de materiaalovergangen zich binnen de veiligheidszones van de waterkering bevinden, wordt over het gedeelte van de leidingkruising met een wanddikte van 12 mm niet aan deze eis voldaan. Voorgaande heeft geen invloed op de resultaten van de berekeningen; bij de berekeningen is de wanddikte toegepast zoals deze op de beschikbaar gestelde tekeningen is weergegeven.

N.B. Het bepalen van de grootte van de veiligheidszone(s) en de kritieke impactzone(s) volgens de nieuwe benadering valt niet binnen de werkzaamheden die in dit rapport beschreven worden. Voor de onderbouwing daarvan zie Bijlage I, Impactzone (notitie POV K&L) van het hoofd rapport (kenmerk 11203450-002-GEO-0002) van Deltares.

## 2.3 Grondmechanische parameters

De grondmechanische parameters zijn, met behulp van de Soil Wizard, berekend volgens de NEN 3650 serie op basis van de gegevens uit hoofdstuk 2.6 van het rapport van Royal HaskoningDHV [4].

De grondmechanische parameters betreffen:

- horizontale grondstijfheid (beddingconstante) (KLH)
- verticale grondstijfheid, omhoog (beddingconstante) (KLT)
- verticale grondstijfheid, omlaag (beddingconstante) (KLS)
- maximale wrijving buis-grond (F)
- verplaatsing bij maximale grondwrijving (UF)
- verticaal evenwichtsdraagvermogen (RVS)
- passieve grondreactie (RVT)
- horizontale grondreactie (evenwichtsdraagvermogen) (RH)
- neutrale of reële grondbelasting (SOILNB)

De onzekerheidsfactoren zijn toegepast conform de NEN 3650 serie. Om de meest ongunstige situatie te verkrijgen voor de spanningen zijn de parameters met hun respectievelijke onzekerheidsfactoren vermenigvuldigd; zie tabel UNCER, bijlage D.

De grondmechanische parameters zijn ingevoerd in tabellen KLH t/m RH, en SOILNB in bijlage D. De gegenereerde waarden langs de leidingas van de belangrijkste parameters staan in fig. 2 en 3.

## 2.4 Externe randvoorwaarden

Het beginpunt van het model ligt binnendijks, halverwege twee bochten en is gemodelleerd als een vast punt. Dit punt ligt ver genoeg weg om niet van invloed te zijn op het leidingdeel in de dijk. Het eindpunt van het model ligt buitendijks, zo'n 50 meter van het buitendijkse mangat en is gemodelleerd als zijnde aangesloten op een half oneindige, elastisch ondersteunde ligger. Zie de tabel ENDPTS in bijlage D.

## 2.5 Belastingen

De volgende belastingen zijn in rekening gebracht:

### *Inwendige druk*

De ontwerpdruk bedraagt 11 bar. Deze is gebruikt in de eerste drie series berekeningen. In de laatste serie berekeningen (serie 4, rapport 5-277-482-03) is de maximale bedrijfsdruk van 6 bar gebruikt. Zie tabel PRESS in bijlage D.

### *Temperatuurbelasting*

Het water zal redelijk constant van temperatuur zijn, er is echter een kleine temperatuurbelasting aangebracht. Als maximum temperatuur wordt +20°C aangehouden en als referentie temperatuur wordt +10°C aangehouden. Zie tabel TEMP in bijlage D.

### *Eigen gewicht leiding*

Het eigen gewicht van de leiding bestaat uit het gewicht van de stalen buis, de coating en het medium in de buis. De leiding ligt deels onder en deels boven de grondwaterstand. De opwaartse kracht van het water is meegenomen in het gewicht van de leiding. Het verschil in de wanddikteovergang van de DN1200 leiding is niet in rekening gebracht, daar de invloed van dit verschil uiterst gering is. Zie tabel DEADW in bijlage D.

### *Grondzakkingen*

Er zal, ter plaatse van de kruin van de dijk, waar de leiding recent is blootgelegd, een uitvoerings(sprong)-zakkingverschil van 15 millimeter in rekening worden gebracht. Zie tabel SUBSIDE in bijlage D.

### *Zettingen*

Er zullen zettingen in rekening worden gebracht. De zettingen uit serie 1 en berekening v3 (uit serie 2) zijn bepaald door Royal HaskoningDHV [4]. De overige zettingen zijn door Deltares berekend en zijn bepaald voor zowel de huidige als de toekomstige situatie. Zie de notitie van Deltares in bijlage E van het hoofd rapport (kenmerk 11203450-002-GEO-0002) van Deltares. De zetting zijn met een onzekerheidsfactor van 2 vermenigvuldigd, bij de zettingen van Royal HaskoningDHV is een factor van 1 gebruikt. Tevens zijn (in serie 3 en 4 in rapport 5-277-482-03) een aantal varianten berekend met afwijkende zettingen en/of factoren. Zie tabel SETZ in bijlage D en figuur 4.

### *Grondbelasting*

Voor het tracé is de grondbelasting door r + k Consulting Engineers bepaald met behulp van de "Soil Wizard" van *Ple4Win*. Voor de leiding is de neutrale grondbelasting toegepast. Zie bijlage D en figuur 3.

### Verkeersbelasting

Boven de leiding is een verkeersbelasting volgens NEN 3650, figuur C.17 toegepast. Hierbij zal worden gerekend met grafiek II: Load model 2, lorry 4 voor de delen van de leiding die belast worden met normaal verkeer en met de helft van grafiek II: Load model 2, lorry 4 voor de overige delen. De verkeersbelasting is ingevoerd via tabel TOPLOAD. Zie bijlage D en figuur 3.

### Rekenfactoren

De karakteristieke belastingen moeten met belastingfactoren worden vermenigvuldigd volgens de NEN3650.

<u>Belasting</u>	<u>rekenfactor</u>	
inwendige druk	1,15	(bij alleen inwendige druk wordt een factor 1,25 toegepast)
temperatuurbelasting	1,10	
eigen gewicht leiding	1,10	
grondbelasting	1,10	(dit is een onzekerheidsfactor)
opgedrongen vervormingen	1,10	
verkeersbelasting	1,35	
uitvoeringszakkingen	1,50	(dit is een onzekerheidsfactor)
zettingen	2,00	(dit is een onzekerheidsfactor)

De rekenfactoren staan in tabel LOCASE (specificatie belastingcombinatie); voor de bovenbelasting van grond in tabel SOILNB en voor de verkeersbelasting in tabel TOPLOAD. Bij de laatste serie berekeningen (serie 4 in rapport 5-277-482-03) moesten de parameters van de faalkansberekening nauwkeuriger bepaald worden. Hierbij zijn alle reken-, belasting- en onzekerheidsfactoren die in de NEN 3650 worden genoemd en gebruikt, vervangen door factoren die behoren bij de faalkansbepaling. Zie hiervoor bijlage E van rapport 5-277-482-03.

## 2.6 Uitgangspunten voor spanningsberekeningen

De spanningsberekeningen zijn gebaseerd op gegevens en criteria uit NEN 3650 [1], [2] en de NEN 3651 [3]. De volgende punten zijn van belang als basis voor of als toetsingscriterium na de spanningsberekeningen.

### Opleghoek

De opleghoek is volgens NEN 3650-1, bijlage C.4.1.3 afhankelijk van het bereikte percentage van het evenwichts-draagvermogen. Voor stalen leidingen kan een minimum ondersteuningshoek van 70° worden gehanteerd. Voor dunwandige stalen leidingen kan, in de drukloze situatie, een minimum ondersteuningshoek van 120° worden gehanteerd. Zie hiervoor de tabel SUPANG in bijlage D.

### Horizontale steundruk

Er is, bij de drukloze leiding, horizontale neutrale steundruk in rekening gebracht. Dit in overeenstemming met NEN 3650-1, bijlage C.4.2.5.2. Deze steundruk staat vermeld in de tabel LAMBDA, zie bijlage D.

### Doorsnedebebelastingen

De belastingen op en in de doorsnede, die de spanningen veroorzaken, vallen uiteen in inwendige en uitwendige belastingen. De inwendige belastingen zijn de inwendige krachten als normaalkracht, dwarskracht, torsie- en buigend moment. De druk, de reële grondbelasting en de laterale en axiale grondreacties vormen de uitwendige belastingen. Er is rekening mee gehouden dat naastliggende doorsneden meewerken bij het opnemen van de (piek) grondbelastingen, zodat er een herverdeling van doorsnede-ervormingen en -spanningen plaatsvindt, meestal resulterend in een spanningsreductie. Herverdeling van spanningen is toegestaan volgens NEN 3650.

### Stress intensification factoren

Deze factoren zijn bepaald volgens de ASME norm en hebben de volgende waarden: voor de 60° segmentbocht: 2,49, voor knikken k10 t/m k120: een waarde tussen de 1,36 en 3,76. Deze waarden zijn niet terug te vinden in de uitvoer van de berekeningen (bijlage D).

## 2.7 Inspectie van de buisleiding

Er is een aantal keren onderzoek gedaan naar de staat van de buisleiding. De laatste keer is een paar jaar geleden; hierbij is de buisleiding ter plaatse van de dijkkruin vrijgelegd en bekeken. Tevens zijn metingen verricht van de wanddikte van de leiding. De metingen lieten op een aantal plaatsen een mogelijk zeer geringe afname zien van de wanddikte, deze is echter kleiner dan de wanddiktetolerantie van de buis. De uitwendige coating van de buis was in goede staat. Hoewel een aantal verstijvingsringen is blootgelegd, is de staat van deze ringen niet beschreven. Andere onderdelen van de buisleiding zijn niet (recent) onderzocht; de mangaten, ontluichtingsgaten en de inwendige coating van de buisleiding zijn in onbekende staat. Het is dus niet bekend of er op deze locaties sprake is van aantasting of verzwakking. Zodra de kans zich voordoet, zou het goed zijn om de buisleiding op die punten aan een nader onderzoek te onderwerpen.



### Toelaatbare spanningen

De toelaatbare spanningen voor de stalen leiding worden bepaald aan de hand van NEN 3650-2, bijlage D.3.1, tabel D.4 [2]. Zie ook paragraaf 2.2 van dit rapport.

- $\sigma_p$  = omtrekspanning uit inwendige druk, uitgaande van de minimum wanddikte
- $\sigma_v$  = totale primaire en secundaire (Von Mises) spanning (uit alle aanwezige belastingen)
- $\sigma_{v:pm}$  = totale primaire membraamspanning

Voldaan moet worden aan de volgende criteria:

$$\begin{aligned}\sigma_p &\leq R_e(\theta) \times S / \gamma_m \\ \sigma_v &\leq 0,85 (R_e + R_e(\theta)) \times S / \gamma_m \\ \sigma_{v:pm} &\leq 1,1 * R_e \times S / \gamma_m\end{aligned}$$

waarin:

$$\begin{aligned}R_e &= \text{gespecificeerde minimum rekgrens bij } 20 \text{ }^\circ\text{C} \\ R_e(\theta) &= \text{gespecificeerde minimum rekgrens bij } \theta \text{ }^\circ\text{C} \\ \gamma_m &= \text{materiaalfactor} = 1,10 \\ S &= \text{importantiefactor} = 1,00 \text{ of } 0,75^*\end{aligned}$$

\* Voor het deel van de leidingkruising met een wanddikte van 15,2 millimeter mag  $S = 1,0$  worden toegepast, zie tabel 9 in par. 11.1.2 van NEN 3651). Voor het deel van de leidingkruising met een wanddikte van 12,0 millimeter is  $S = 0,75$  van toepassing.

$$\begin{aligned}\text{Bij } -20^\circ\text{C t/m } +50^\circ\text{C geldt: } R_e &= 413 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{API 5L grade X60}) \\ R_e &= 241 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{API 5L grade B})\end{aligned}$$

En hieruit volgen de onderstaande toelaatbare spanningen:

$$\begin{aligned}\sigma_p &\leq R_e(\theta) \times S / \gamma_m & \sigma_p &\leq 375 \text{ (X60) en } 219 \text{ of}^{**} 164 \text{ (B)} \\ \sigma_v &\leq 0,85 (R_e + R_e(\theta)) \times S / \gamma_m & \sigma_v &\leq 638 \text{ (X60) en } 372 \text{ of}^{**} 279 \text{ (B)} \\ \sigma_{v:pm} &\leq R_e \times S & \sigma_{v:pm} &\leq 413 \text{ (X60) en } 241 \text{ of}^{**} 181 \text{ (B)}\end{aligned}$$

\*\* Dit is afhankelijk van de importantiefactor die van toepassing is.

### Toelaatbare rekken

Er kan een toetsing op rekken (controle op vervorming van het materiaal; percentage lengteverandering per lengte) worden gedaan i.p.v. een toetsing op spanningen (controle op sterkte van het materiaal). Zolang de spanningen onder de vloeigrens blijven, is er een lineair verband tussen de rek en de spanning (Wet van Hooke). Zodra het staal begint met vloeien, is dit verband niet meer lineair en is een toetsing op spanning minder zinvol. Een toetsing op rekken is dit wel. De toelaatbare rekken voor de stalen leiding worden bepaald aan de hand van NEN 3650-2, tabel 3 en bijlage D.3.2. Voor het grade X60 staal bedraagt de rekenwaarde van de rek 0,5%, voor grade B is dit 0,7%. De validatie van de plastische berekeningen in *Ple4Win* is terug te vinden in bijlage E.

### Toelaatbare vervormingen

De toelaatbare deflectie voor een stalen leiding bedraagt 15% van de diameter van de leiding volgens art. D.3.3.1 van NEN 3650-2 [2]. In verband met doorvoeren van meet- en detectieapparatuur geldt voor leidingen vaak een toelaatbare deflectie van 5% van de diameter van de leiding. Voor gecementeerde leidingen wordt soms een strengere eis toegepast om ervoor te zorgen dat de cementering niet beschadigt t.g.v. de ovalisatie van de buis.

### 3. UITGEVOERDE BEREKENINGEN

Uitgaande van de basisgegevens, zoals vermeld in het vorige hoofdstuk, zijn zowel voor de huidige situatie als voor de toekomstige situatie na dijkversterking meerdere series berekeningen met *Ple4Win* [5] gedraaid. Bij de berekeningen wordt getoetst of de berekende spanningen of rekken voldoen aan de criteria, gesteld in par. 2.6 van dit rapport. De beschouwde belastingcombinaties zijn conform NEN 3650-2, tabel 2:

- Belastingcombinatie 3 (BC3), drukloze en gevulde leiding zonder temperatuurbelasting, met uitwendige belastingen (eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting) en zettingen;
- belastingcombinatie 4 (BC4), gevulde leiding met inwendige druk, temperatuurbelasting van 10°C tot 20°C, uitwendige belastingen (eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting) en zettingen.

Bovenstaande belastingcombinaties zijn in elke serie en variant bekeken. De runs zullen in het vervolg geïdentificeerd worden met de naam van de betreffende ontwerpdatabase (Vuren...), zoals in het programma gebruikt. Deze naam staat ook boven of onder elke tabellarisch of grafische uitvoer van het programma. De volgende serie berekeningen zijn gemaakt:

- Serie 1: Herberekening van de leiding, met verstijvingsringen en mangaten en aangepaste 60° segmentbocht. Deze serie berekeningen, van de leiding in de huidige situatie, is gemaakt om te kunnen vergelijken met de berekeningen die zijn gemaakt door Royal HaskoningDHV (zie rapport [4]) en om de leiding te toetsen aan de NEN 3650. Maatgevende berekeningen uit deze serie: Vuren BC3 v2 en Vuren BC4 v2.1.
- Serie 2: Herberekening van de leiding met aangepaste zettingslijn. Zie de notitie van Deltares in bijlage E van het hoofdrapport (kenmerk 11203450-002-GEO-0002) van Deltares. Deze serie berekeningen is gemaakt om de leiding te toetsen aan de NEN 3650, zowel in de huidige als toekomstige situatie. Maatgevende berekeningen uit deze serie: Vuren BC3 v4P en Vuren BC4 v4.1P (Model met materiaalplasticiteit en zettingen tot 2019) en Vuren BC3 v5P en Vuren BC4 v5.1P. (Model met materiaalplasticiteit en zettingen tot 2119).

Naast de bovenstaande belastingcombinaties en berekeningsseries, zijn er nog een aantal berekeningen gedaan met onderdruk in de buisleiding: Vuren BC4 v2.1vac, Vuren BC4 v4.1vacP en Vuren BC4 v5.1vacP.

#### Overzichtstabel leidingberekeningen

Naam berekening	serie	bestaand of toekomstig	bijzonderheden
Vuren BC3 v2	1	bestaand	vergelijken met berekening Royal HaskoningDHV
Vuren BC4 v2.1	1	bestaand	vergelijken met berekening Royal HaskoningDHV
Vuren BC4 v2.1vac	1	bestaand	Als v2.1 met 0,8 bar onderdruk in de leiding
Vuren BC3 v4P	2	bestaand	Zettingslijn 2019 uit Deltares notitie, plasticiteit
Vuren BC4 v4.1P	2	bestaand	Zettingslijn 2019 uit Deltares notitie, plasticiteit
Vuren BC4 v4.1vacP	2	bestaand	Als v4.1P met 0,8 bar onderdruk in de leiding
Vuren BC3 v5P	2	toekomstig	Zettingslijn 2119 uit Deltares notitie, plasticiteit
Vuren BC4 v5.1P	2	toekomstig	Zettingslijn 2119 uit Deltares notitie, plasticiteit
Vuren BC4 v5.1vacP	2	toekomstig	Als v5.1P met 0,8 bar onderdruk in de leiding

Omdat het onpraktisch is om van alle berekeningen de resultaten te laten zien, zal van elke serie een aantal relevante resultaten worden getoond, deze staan in het volgende hoofdstuk.

## 4. RESULTATEN, SAMENVATTING EN CONCLUSIES, AANBEVELINGEN

De belangrijkste resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in de figuren 5 t/m 8. Bovenin elke figuur staat het verloop van het maaiveld, de (grond)waterspiegel en de leidingas. Gedetailleerde uitvoer van de berekeningen is in bijlage D opgenomen.

### 4.1 Resultaten van de berekeningen van serie 1 (huidige situatie)

#### Verplaatsingen

Figuur 4 toont de zakking van de grond en de verplaatsing van de leiding in verticale richting. De numerieke waarden zijn te vinden in de DISPLAC tabellen in bijlage D. De maximale leidingverplaatsing bedraagt 200 millimeter. Deze treedt op bij run Vuren BC3 v2.

#### Spanningen

De berekende spanningen moeten voldoen aan de criteria, vermeld in hoofdstuk 2.6. Het maatgevende resultaat van de spanningsberekeningen voor de verschillende belastingcombinaties wordt in figuur 5 getoond. De in deze figuur en in de tabellen CSTRMAX in bijlagen D weergegeven spanning is de Von Mises-spanning MISES-M uit NEN3650-2. De Von Mises-spanning moet getoetst worden aan de volgende waarde:  $\sigma_v \leq 0,85 (R_e + R_e(\theta))/\gamma_m \times S$ . Voor het X60 staal:  $\sigma_v \leq 0,85 (413 + 413)/1,1 \times 1 = 638 \text{ N/mm}^2$  en voor het grade B staal:  $\sigma_v \leq 0,85 (241 + 241)/1,1 \times 1 = 372 \text{ N/mm}^2$  of:  $\sigma_v \leq 0,85 (241 + 241)/1,1 \times 0,75 = 279 \text{ N/mm}^2$ .

Run	Belastinggeval	Figuur	Spannings-toets	Berekende max. waarde	Toelaatbare waarde	Voldaan aan toets
Vuren BC3 v2	Drukloos, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen.	5	MISES-M MISES-M MISES-M	<b>874 N/mm<sup>2</sup></b> 211 N/mm <sup>2</sup> 210 N/mm <sup>2</sup>	638 N/mm <sup>2</sup> 372 N/mm <sup>2</sup> 279 N/mm <sup>2</sup>	<b>nee</b> ja ja
Vuren BC4 v2.1	Interne druk 11 bar, temperatuur van 10°C tot 20°C, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen	5	MISES-M MISES-M MISES-M	<b>908 N/mm<sup>2</sup></b> 264 N/mm <sup>2</sup> 256 N/mm <sup>2</sup>	638 N/mm <sup>2</sup> 372 N/mm <sup>2</sup> 279 N/mm <sup>2</sup>	<b>nee</b> ja ja
Vuren BC4 v2.1 vac	Interne druk -0,8 bar, temperatuur van 10°C tot 20°C, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen		MISES-M MISES-M MISES-M	<b>921 N/mm<sup>2</sup></b> 372 N/mm <sup>2</sup> <b>347 N/mm<sup>2</sup></b>	638 N/mm <sup>2</sup> 372 N/mm <sup>2</sup> 279 N/mm <sup>2</sup>	<b>nee</b> ja <b>nee</b>

In alle runs voldoet de leiding niet aan de spanningscriteria van de NEN 3650 serie; ter plaatse van het binnendijkse mangat wordt de toelaatbare spanning overschreden, bij run v2.1vac wordt de spanning ook overschreden aan de Waalzijde, zo'n twintig meter vanaf het buitendijkse mangat. Bij de berekening met onderdruk ontstaat er instabiliteit bij het binnendijkse mangat (the calculated maximum axial buckling strain is greater than the critical buckling strain). Tevens worden hier de spanningen in de 60° mijterbocht een stuk hoger, hoewel er nog net wordt voldaan aan het spanningscriterium.

#### Deflecties

Van belang is de procentuele wijziging van de leidingdiameter. Voor doorslaggevaar geldt een criterium van 15%, voor het doorvoeren van meet- en detectieapparatuur wordt veelal 5% als toelaatbaar aangehouden. Zie NEN 3650. De maximaal optredende procentuele diameterwijziging bedraagt 1,64 % in de toestand onder druk (Vuren BC4 v2.1), 2,59 % in de toestand met onderdruk (Vuren BC4 v2.1 vac) en 2,14% in de drukloze situatie (Vuren BC3 v2) en is dus toelaatbaar.

## 4.2 Resultaten van de berekeningen van serie 2

### Verplaatsingen

Figuur 6 toont de verplaatsing van de leiding in verticale richting voor een aantal situaties. De numerieke waarden zijn te vinden in de DISPLAC tabellen in bijlage D. De maximale leidingverplaatsing bedraagt 668 millimeter. Dit is een stuk groter dan bij de vorige berekening en dat klopt ook; er zijn zettingen aangebracht die in de toekomst op zullen treden en die zijn een stuk groter.

### Rekken

In de voorgaande serie berekeningen werden de spanningen (veel) te hoog. In werkelijkheid zal dit niet gebeuren, omdat bij spanningen die de vloeigrens bereiken, vloeit van het staal zal optreden. De vloeit zorgt voor grotere vervormingen (rekken), maar de spanning zal op de locatie waar de vloeit optreedt nauwelijks omhoog gaan. Om te kunnen controleren of de optredende rek acceptabel is, moet deze rek vergeleken worden met een toetsingswaarde. Dit criterium is vermeld in hoofdstuk 2.6. Bij de T-stukken kan deze materiaal niet-lineariteit helaas (nog) niet worden toegepast, daar zal materiaal-lineair gerekend worden. Dit heeft tot gevolg dat bij de T-stukken de rekken onderschat zullen worden. Het maatgevende resultaat van de berekeningen voor de verschillende belastingcombinaties wordt in figuur 7 getoond. De in deze figuur en in de tabellen CEPSM in bijlagen D weergegeven rekken zijn de equivalente rekken  $eEqS-M$ , gedeeld door de maximaal toelaatbare waarde. Deze rekken mogen dus niet groter worden dan 100%.

### Huidige situatie

Run	Belastinggeval (huidige situatie)	Figuur	Rektoets	Berekende max. waarde	Toelaatbare waarde	Voldaan aan toets
Vuren BC3 v4P	Drukloos, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen.	-	eEqS-M	56,1%	100%	Ja
Vuren BC4 v4.1P	Interne druk 11 bar, temperatuur van 10°C tot 20°C, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen	-	eEqS-M	41,8%	100%	Ja
Vuren BC4 v4.1vacP	Interne druk -0,8 bar, temperatuur van 10°C tot 20°C, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen	-	eEqS-M	52,8%	100%	Ja

De leiding voldoet in de huidige situatie aan de rekcriteria van de NEN 3650 serie.

### Toekomstige situatie

Run	Belastinggeval (toekomstige situatie)	Figuur	Rektoets	Berekende max. waarde	Toelaatbare waarde	Voldaan aan toets
Vuren BC3 v5P	Drukloos, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen.	7	eEqS-M	<b>100,3%</b>	100%	Nee
Vuren BC4 v5.1P	Interne druk 11 bar, temperatuur van 10°C tot 20°C, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen	7	eEqS-M	<b>107,4%</b>	100%	Nee
Vuren BC4 v5.1vacP	Interne druk -0,8 bar, temperatuur van 10°C tot 20°C, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen			<b>foutmelding</b>		Nee

De leiding in de toekomstige situatie (het jaar 2075) voldoet niet aan de rekcriteria; ter plaatse van het binnendijkse mangat wordt de toelaatbare rek overschreden. Op diezelfde locatie treedt tevens lokale instabiliteit (plooi) op. Zie ook NEN 3650-2, art. D.3.3 over grenstoestanden bij vervormingen. De overschrijding van de toelaatbare (kritische grens)waarde bedraagt 33%. Zie figuur 8 voor een grafische weergave van de berekende waarden. Bij een onderdruk komt nog een probleem de hoek om kijken (critical buckling strain becomes less than zero); de toetswaarde voor de stuik ( $\epsilon_{cr}$ ) wordt kleiner dan nul, (zie NEN 3650-2, art. D.3.3.3) dit deel van de buisleiding kan hierdoor niet aan de NEN 3650 serie voldoen.

### Deflecties

Van belang is de procentuele wijziging van de leidingdiameter. Voor doorslaggevaar geldt een criterium van 15%, voor het doorvoeren van meet- en detectieapparatuur wordt veelal 5% als toelaatbaar aangehouden. Zie NEN 3650 serie. De maximaal optredende procentuele diameterwijziging bedraagt 1,88 % in de toestand onder druk (Vuren BC4 v5.1P) en 2,02% in de drukloze situatie (Vuren BC3 v5P) en is dus toelaatbaar.

### 4.3 Samenvatting

Bij de eerste serie berekeningen werd als uitgangspunt aangehouden dat de opzet van de berekeningen gelijk zou zijn aan de opzet die Royal HaskoningDHV had gebruikt [4]. Hiermee konden zowel de uitgangspunten als de resultaten vergeleken worden. De resultaten van de berekeningen kwamen goed overeen en de uitgangspunten waren grotendeels bruikbaar, maar op een aantal punten was het nodig het leidingmodel uit te breiden en tevens op een aantal plaatsen aan te passen. De uitbreiding van het model was binnendijks; hier is een horizontale segmentbocht van 60° aanwezig die niet in het model van Royal HaskoningDHV was opgenomen, terwijl het aannemelijk was dat deze van invloed kon zijn voor de leiding bij de dijk. De aanpassing betrof twee zaken: ten eerste de mangaten die nabij de teen van de dijk gelegen waren. Uit gegevens van de mangaten bleek al snel dat hier -sterktetechnisch- een probleem te verwachten was. Het tweede punt betrof een elftal verstijvingsringen die rondom de leiding waren aangebracht. De locatie van deze ringen was in de kruin van de dijk en nabij de teen van de dijk, waar de onderbochten van de leiding gelegen zijn. De ringen zijn opgebouwd uit twee halve cirkels, in de vorm van een I-profiel. Deze worden niet aan de buis zelf gelast maar zijn om de leiding geklemd. De meeste van deze verstijvingsringen bevinden zich bij een knikpunt in de leiding. Met bovengenoemde aanpassingen is de leiding berekend en getoetst aan de NEN 3650 serie. Het resultaat is nu dat de leiding in de huidige situatie niet voldoet aan de NEN 3650 serie; de spanningen in het materiaal worden te hoog en er treedt instabiliteit op. De problemen doen zich voornamelijk voor ter plaatse van het binnendijkse mangat.

In de tweede serie berekeningen is in eerste instantie gekeken naar de zettingen. De zettingen zijn door Royal HaskoningDHV bepaald a.d.h.v. zak- en zettingsbaken, die op en nabij de leiding aanwezig waren en waar een tijd lang gegevens van zijn bijgehouden. Tevens is de leiding ter plaatse van de dijk kruin recent vrijgegraven en ingemeten. Met deze gegevens is de grondverplaatsing bepaald. Het is echter niet mogelijk om de zettingsgegevens en andere meetgegevens op elkaar aan te laten sluiten en om helder te krijgen hoe de beginsituatie is geweest. Omdat er in de loop van de jaren ophogingen hebben plaatsgevonden en de metingen niet vanaf het begin tot en met de huidige situatie zijn gedaan, bestaat er veel onzekerheid over de bruikbaarheid van de bepaalde zettingen. Om de onzekerheid te verkleinen, zijn door Deltares de zettingen opnieuw bepaald [6]. Uitgangspunt is de leiding bij aanleg en alle ophogingen die enige tijd voor, tijdens en na de aanleg van de leiding hebben plaatsgevonden. De berekende zettingen worden op deze manier op een transparante manier bepaald. De (grond) zettingen zijn bepaald voor de huidige situatie en voor de situatie over honderd jaar, waarbij de dijk in de tussentijd nog eens is opgehoogd.

De resultaten van de tweede serie berekeningen laten zien dat de buisleiding in de huidige situatie voldoet aan de spanningscriteria, maar in de toekomstige situatie na dijkversterking over 50 jaar (2075), voldoet de leiding niet aan de spanningscriteria van de NEN 3650 serie. Op twee plaatsen wordt de toelaatbare spanning overschreden: bij het binnendijkse mangat en bij verstijvingsring k50. Er treedt geen instabiliteit op. Omdat de overschrijding niet al te groot is en zeer lokaal, zijn er nog extra berekeningen uitgevoerd waarbij rekening wordt gehouden met de mogelijkheid van het materiaal om te vervormen zonder te bezwijken (vloei), waarbij een herverdeling van de interne krachten plaatsvindt. Hierdoor zullen de spanningen minder hoog worden, maar dit gaat wel gepaard met grotere vervormingen (rekken). Deze rekken mogen echter niet te groot worden. Uit de berekeningen (van de leiding over 100 jaar) volgt dat de rekken t.p.v. het binnendijkse mangat te groot worden en dat hier tevens instabiliteit optreedt, dus helaas voldoet de leiding in de toekomstige situatie niet.

Voor beide series berekeningen geldt dat de mangaten aangepast dienen te worden; indien de mangaten onversterkt aanwezig blijven, zijn de berekeningen in dit rapport niet toepasbaar! Dat geldt ook als uit verificatie in het veld blijkt dat de staalsoorten/-kwaliteiten, wanddikten, inclusief overgangen, anders zijn dan in de berekeningen is aangenomen.

#### 4.4 Conclusies

Op grond van de in dit rapport beschreven uitgangspunten en de daarop volgende berekeningsresultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. De spanningen in de waterleiding, veroorzaakt door de operationele en de omgevingsbelastingen, voldoen in serie 1 niet aan de daaraan gestelde eisen, zowel bij belastingcombinatie 4 (met ontwerpdruk en met onderdruk) als bij belastingcombinatie 3 (in drukloze toestand). Ter plaatse van het binnendijkse mangat wordt de toelaatbare spanning ruim overschreden.
2. De berekening van Royal HaskoningDHV (zie rapport [4]) toonde aan dat de leiding wel voldeed in de huidige situatie. In het rekenmodel van Royal HaskoningDHV waren de mangaten echter niet opgenomen.
3. De rekken in de waterleiding in de toekomstige situatie (jaar 2075), veroorzaakt door de operationele en de omgevingsbelastingen, voldoen in serie 2 niet aan de daaraan gestelde eisen, zowel bij belastingcombinatie 4 (met ontwerpdruk) als bij belastingcombinatie 3 (in drukloze toestand). Ter plaatse van het binnendijkse mangat en bij verstijvingsring k50 treedt een niet toelaatbare, lokale instabiliteit (plooi) op. De rekken in de waterleiding in de huidige situatie (jaar 2019), voldoen in serie 2 wel aan de daaraan gestelde eisen. Om de leiding in de toekomst te laten voldoen, zullen de zettingen beperkt moeten worden of zal een deel van de leiding opgehaald moeten worden zodat de vervorming van de leiding wordt beperkt.
4. De maximale deflectie van de leiding blijft bij beide series ruim onder de toelaatbare waarde van 15% van de diameter in alle van toepassing zijnde belastingsituaties. De deflectie blijft zelfs onder de 3%, dus ook voor inspectiedoelinden of cementering blijft de buis geschikt.
5. Voor beide series berekeningen geldt dat de mangaten aangepast dienen te worden; indien de mangaten onversterkt aanwezig blijven, zijn de berekeningen in dit rapport niet toepasbaar! Dat geldt ook als uit verificatie in het veld blijkt dat de staalsoorten/-kwaliteiten, wanddikten, inclusief overgangen, anders zijn dan in de berekeningen is aangenomen.

#### 4.5 Aanbevelingen

Uit de berekeningen en de resultaten komen een aantal zaken naar voren die aandacht behoeven.

1. De overgang van de grade B buis met een wanddikte van 12 mm op de grade X60 buis met een wanddikte van 15,58 mm moet buiten de veiligheidszone van de dijk liggen. Op de leidingtekeningen (eerste twee tekeningen in bijlage A) is deze overgang niet aangegeven. In de berekeningen is op basis van de constructietekening van de mangaten is aangenomen dat de materiaalovergangen (wanddikte en staalsoort) zich ter plaatse van de mangaten bevinden. Deze overgangen liggen binnen de veiligheidszone c.q. de kritieke impactzone, zoals bepaald in Bijlage I van het hoofd rapport van Deltares. Het is van belang dat er een verificatie wordt uitgevoerd met betrekking tot staalsoorten/-kwaliteiten, de wanddiktes en de locatie(s) van de materiaalovergangen en wanddiktes.
2. Bij de binnenkort uit te voeren dijkversterking dient rekening te worden gehouden met de veiligheidszone c.q. kritieke impactzone. Het deel van de leiding dat bestaat uit grade B met een wanddikte van 12 millimeter, zal binnen deze zone niet voldoen aan de relatieve sterkte-eis. Ook zal bij dit deel van de leiding een importantiefactor van 0,75 moeten worden toegepast omdat de wanddikte kleiner dan 14 millimeter is. Wellicht is aanscherping hiervan mogelijk door deze aspecten bij de UC c.q. faalkans te betrekken.
3. De binnen- en buitendijkse mangaten zijn zwakke punten in de leiding. In het kader van de relatieve sterkte-eis zouden deze buiten de veiligheidszone c.q. kritieke impactzone van de dijk moeten worden geplaatst of versterkt moeten worden. Als de mangaten niet (meer) gebruikt worden, dan is verwijderen en vervangen door een buis die gelijkwaardig is aan de grade X60 buisdelen de beste optie. Indien de mangaten wel nodig zijn, dan zal een T-stuk met een hoge sterkte nodig zijn, bijvoorbeeld een T-stuk, dat voldoet aan NEN 3650-2, met een voldoende hogere wanddikte dan de aansluitende leidingen.
4. Indien de mangaten vervangen worden, dan is het ook mogelijk om ter plaatse de inwendige coating en de wanddikte(afname) van de stalen buis te meten. Tevens zou een erosiescherm kunnen worden aangebracht, waardoor de faalkans van de leiding, in combinatie met falen van de waterkering, verkleind kan worden.
5. De corrosie is recent gemeten t.p.v. de kruin van de dijk. De vraag is of deze meting gebruikt kan worden om voor de gehele leiding in de veiligheidszone de conclusie te trekken dat corrosie nauwelijks plaatsvindt? Dit is nu wel aangenomen, maar wellicht is dit beeld te rooskleurig. In een toekomstig te maken inspectie- en/of monitoringsplan dient dit worden meegenomen om onzekerheden weg te nemen.
6. Maak een herberekening van de sterkte met de in het veld geverifieerde uitgangspunten (staalsoorten/-kwaliteiten en wanddiktes, inclusief overgangen) op basis van aanvullend lokaal grondonderzoek en met waterslagberekeningen. Voordeel is tevens dat zettingsberekeningen waarbij deze grondopbouw wordt meegenomen, een betrouwbaarder resultaat zullen opleveren.
7. Stel een monitoringsplan op. Denk hierbij aan zakkingen, zettingen, corrosie en lekdetectie, Zie ook bijlage H van het hoofd rapport van Deltares.

## REFERENTIES

1. NEN 3650-1\_C1\_2017, Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 1: Algemene eisen, juni 2012.
2. NEN 3650-2\_C1\_2017, Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 2: Aanvullende eisen voor leidingen van staal, juni 2012.
3. NEN 3651, Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken, juni 2012.
4. Rapport – Deel B “Constructieve beschouwing dijk kruising van Afgedamde Maasleiding met Noordelijke Waaldijk te Vuren” van Royal HaskoningDHV, Referentie: WATBF7022R001F1.0, Versie 1.0/Finale versie, 4 april 2018.
5. *Ple4Win*, version 4.5.0 (patched) , rev. 18070 (25 july 2018), © Expert Design Systems.
6. Memo “Zettingsberekeningen Dunea waterleiding ter plaatse van Waaldijk” van Deltares, Referentie: 11202640-000-GEO-0005, 17 december 2018. (Bijlage E bij hoofdrapport van Deltares)
7. Rapport “Bepaling impactzone leiding kruising Dunea in dijkversterking Gorinchem – Waardenburg. Eerste stap richting nieuwe veiligheidszoning gekoppeld aan het BOI”, POV-K&L, 1<sup>e</sup> concept, d.d. 28 maart 2019” (Bijlage I bij hoofdrapport van Deltres)

## FIGUREN 1 t/m 9

### Plotuitvoer *Ple4Win*

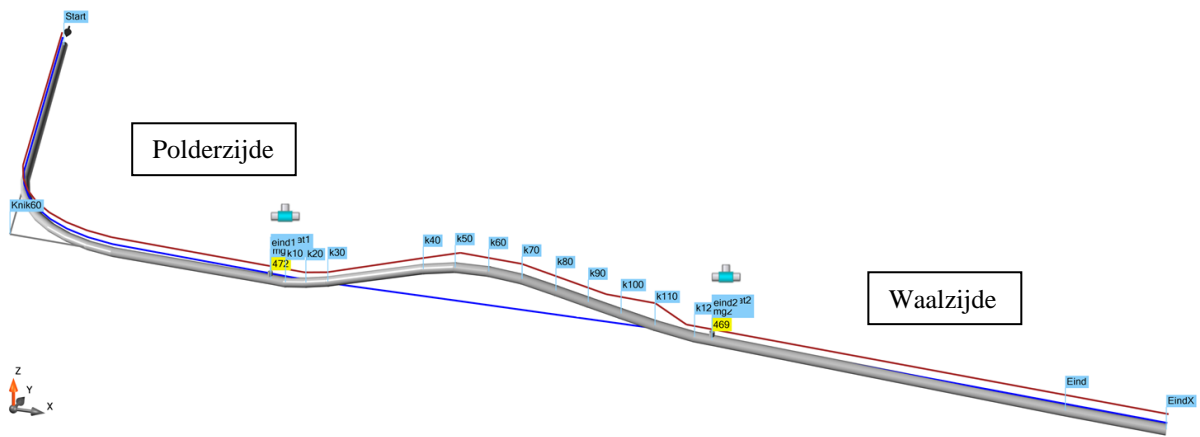
#### Verklaring van namen in plot figuren

<u>naam</u>	<u>beschrijving</u>
AX_BUCKL-M	lokale instabiliteit (axial buckling) in % van toelaatbaar (maximum over de leidingomtrek)
eEqS-M	equivalente rek in % van toelaatbaar (maximum over de leidingomtrek)
KLH	horizontale beddingconstante van de grond ter plaatse van de as van de leiding
KLS	verticale beddingconstante van de grond ter plaatse van de onderkant van de leiding
KLT	verticale beddingconstante van de grond ter plaatse van de bovenkant van de leiding
MISES-M	totale vervangende spanning (maximum over leidingomtrek)
M-BEN	het buigende moment in de leiding
RH	horizontaal evenwichtsdraagvermogen ter plaatse van de as van de leiding
RVS	verticaal evenwichtsdraagvermogen ter plaatse van onderkant leiding
RVT	passieve grondreactie ter plaatse van bovenkant leiding
R-LAT	laterale grondreactie op de buisleiding
SOILNB	neutrale of reële bovenbelasting van de grond ter plaatse van bovenkant leiding
SETLZ*F	zetting van de grond, inclusief alle factoren
TOPLOAD	verkeersbelasting op bovenkant buis
U-Z	leidingverplaatsing in verticale richting
W+WD/D-M	deflectie leidingdoorsnede in % van diameter (maximum over de leidingomtrek)
Z-AXIS	hoogteligging pijpleidingas
Z-GROUND	maaiveldhoogte

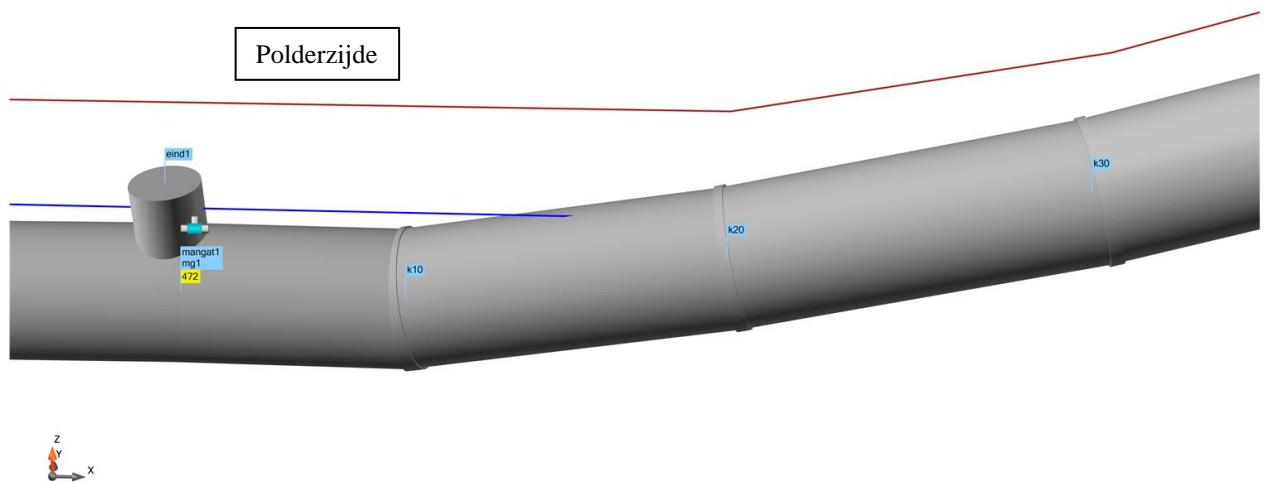
#### **Extra toelichting bij de figuren**

Bij figuur 7 en figuur 8 is niet de gehele buisleiding getoond, alleen het gedeelte nabij de kruin van de dijk. Dit is gedaan omdat zich hier de interessante zaken afspelen. Door in te zoomen op dit deel kan dit duidelijker worden getoond.

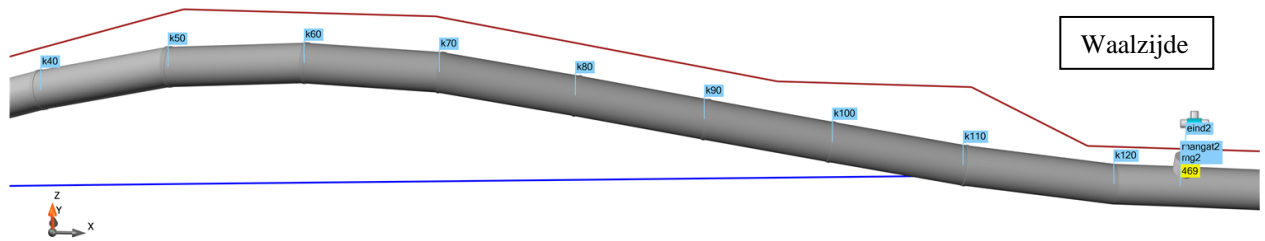




Figuur 1a: Het complete leidingmodel: de rode lijn geeft het maaiveld aan, de blauwe lijn is de (grond)waterstand en in het grijs is het verloop van de leiding weergegeven. Links is de binnendijkse kant, rechts de Waalzijde. K10 t/m K120 zijn de knikken en/of de verstijvingsringen.



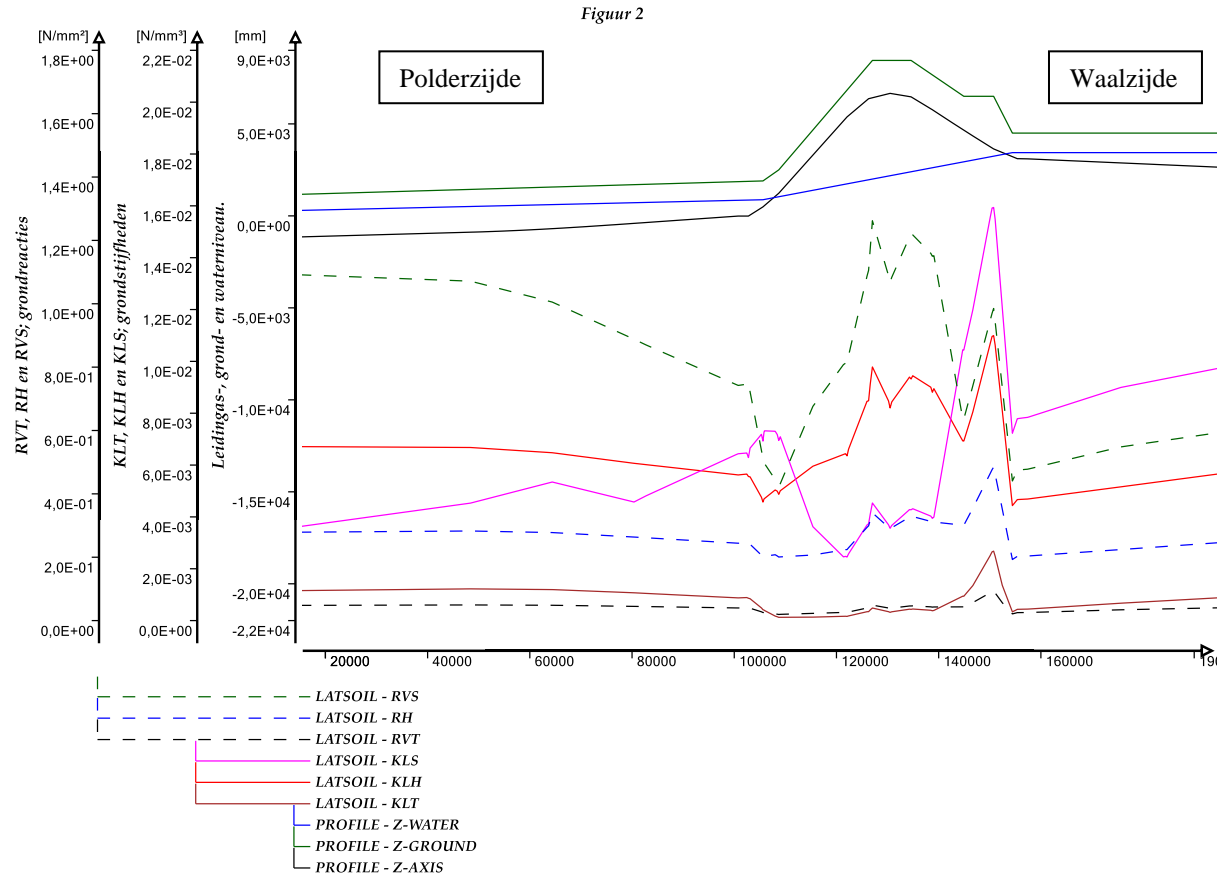
Figuur 1b: Detail van het model ter plaatse van het binnendijkse mangat en de eerste drie verstijvingsringen. Deze ringen zijn gemodelleerd als een smalle ring (element) met grote(re) wanddikte. De buigstijfheid van dit element is vergelijkbaar met de buigstijfheid van de buis en de verstijvingsring tezamen.



Figuur 1c: Detail van het model ter plaatse van de kruin van de dijk en het buitendijkse talud, inclusief het buitendijkse mangat. De lokaties van de overige verstijvingsringen en knikken (segmentbochten) zijn hier goed te zien.

Selected multiple graphs

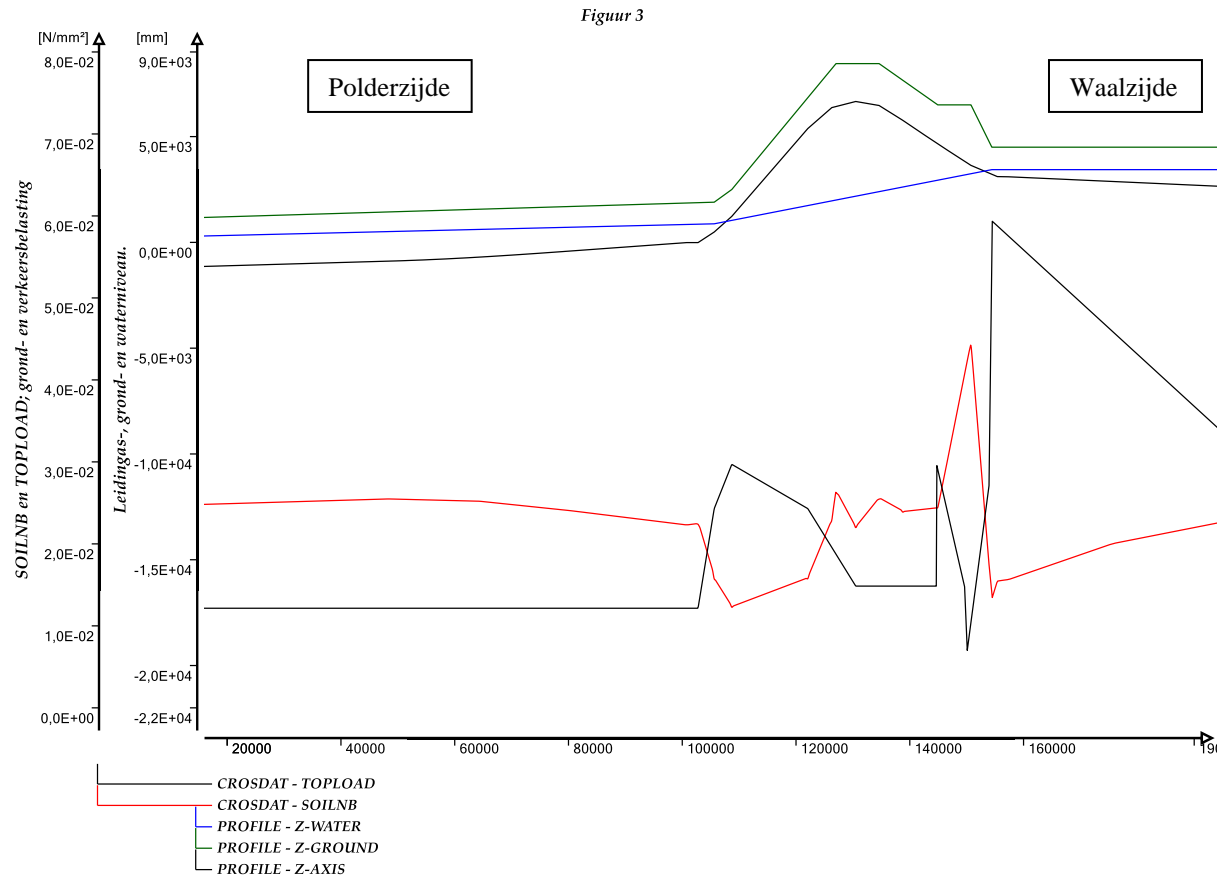
Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2'



Figuur 2: Horizontale en verticale beddingsconstanten (grondstijfheden) en uiterste grondreacties.

Selected multiple graphs

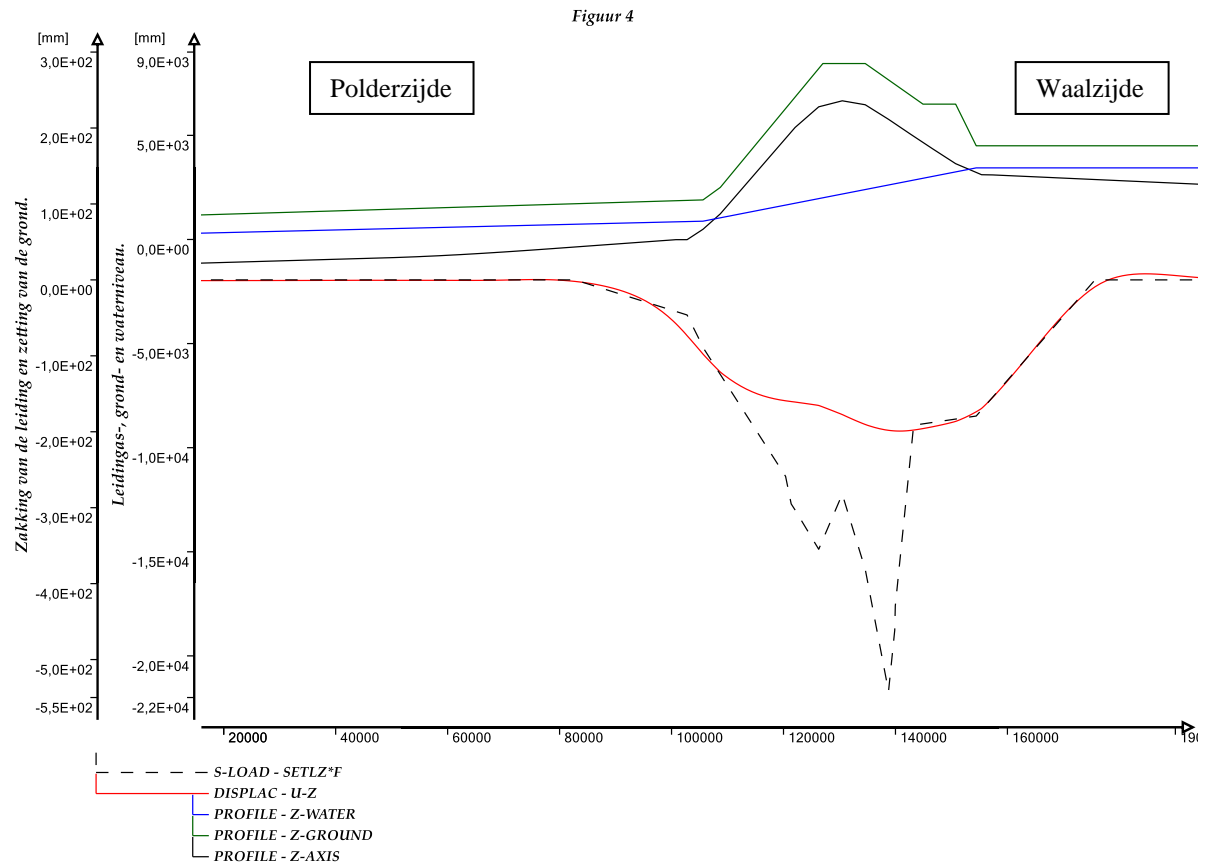
Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2'



Figuur 3: Bovenbelastingen: grondbelasting SOILNB en verkeer TOPLOAD.

Selected multiple graphs

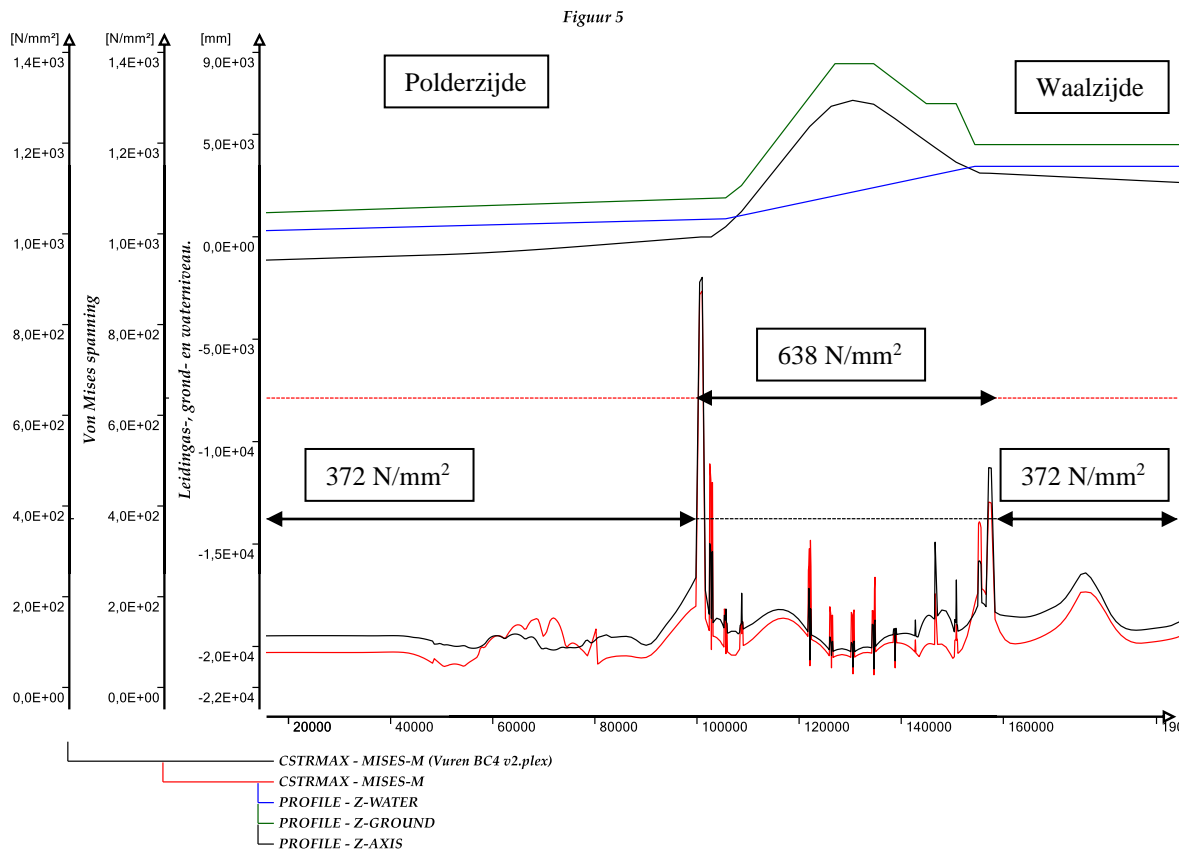
Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2'



Figuur 4: Grond- (---) en leidingzakking (—).

Selected multiple graphs

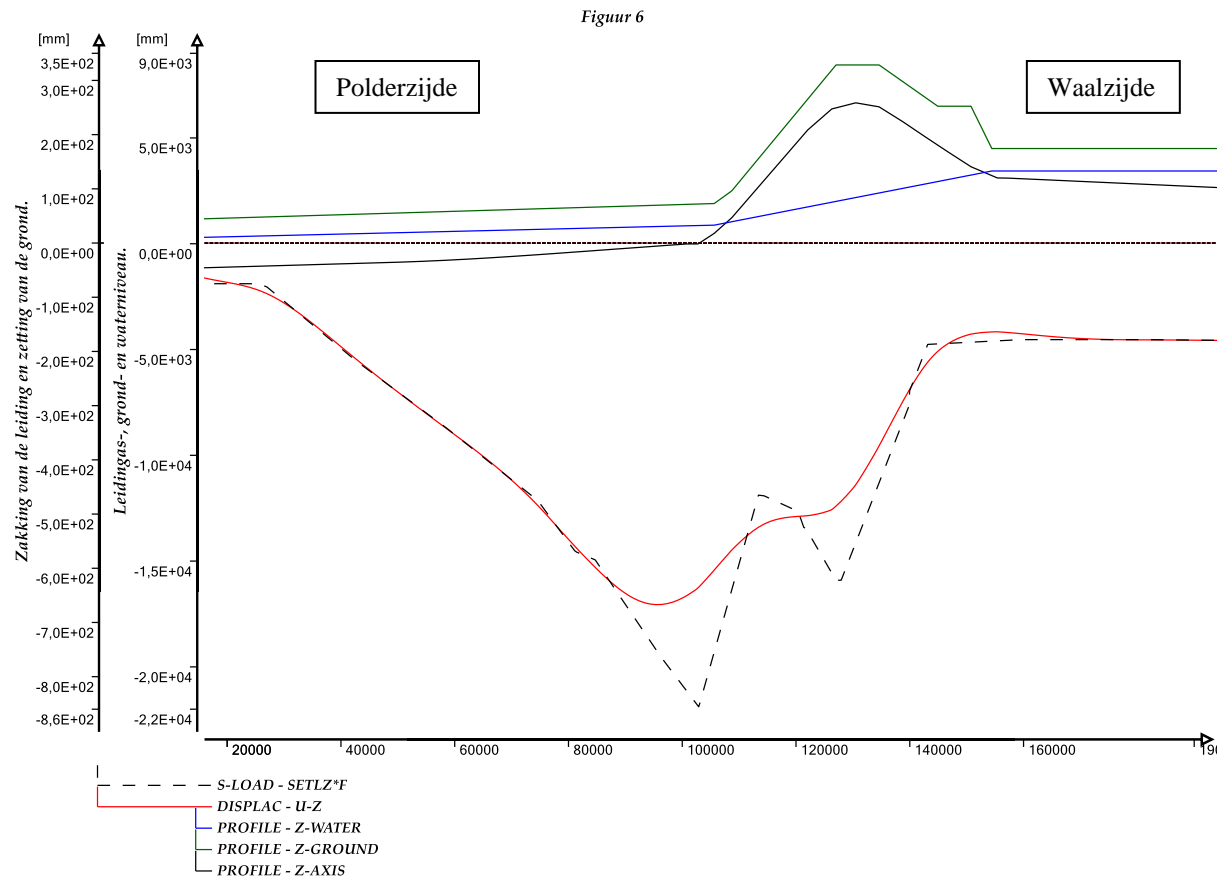
Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2'



Figuur 5: Von Mises spanning bij belastingcombinatie 3 (—) en 4 (—). Maximaal toelaatbaar voor X60 staal is 638 N/mm<sup>2</sup> (rode stippellijn), maximaal optredende spanning bij het binnendijkse mangat bedraagt 904 N/mm<sup>2</sup>. Maximaal toelaatbare spanning voor overige leidingdelen bedraagt 372 N/mm<sup>2</sup> (zwarte stippellijn).

Selected multiple graphs

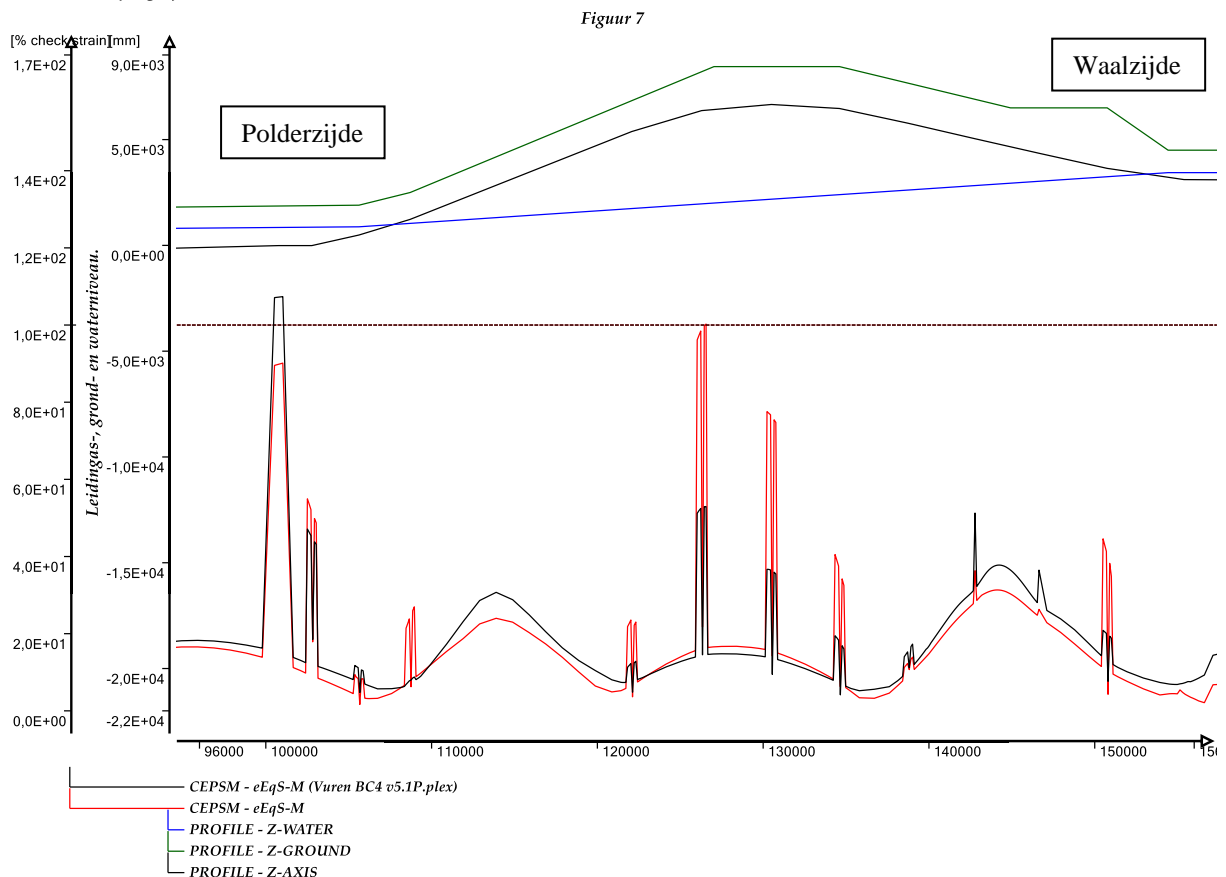
Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v5P'



Figuur 6: Grond- (---) en leidingzakking (—).

Selected multiple graphs

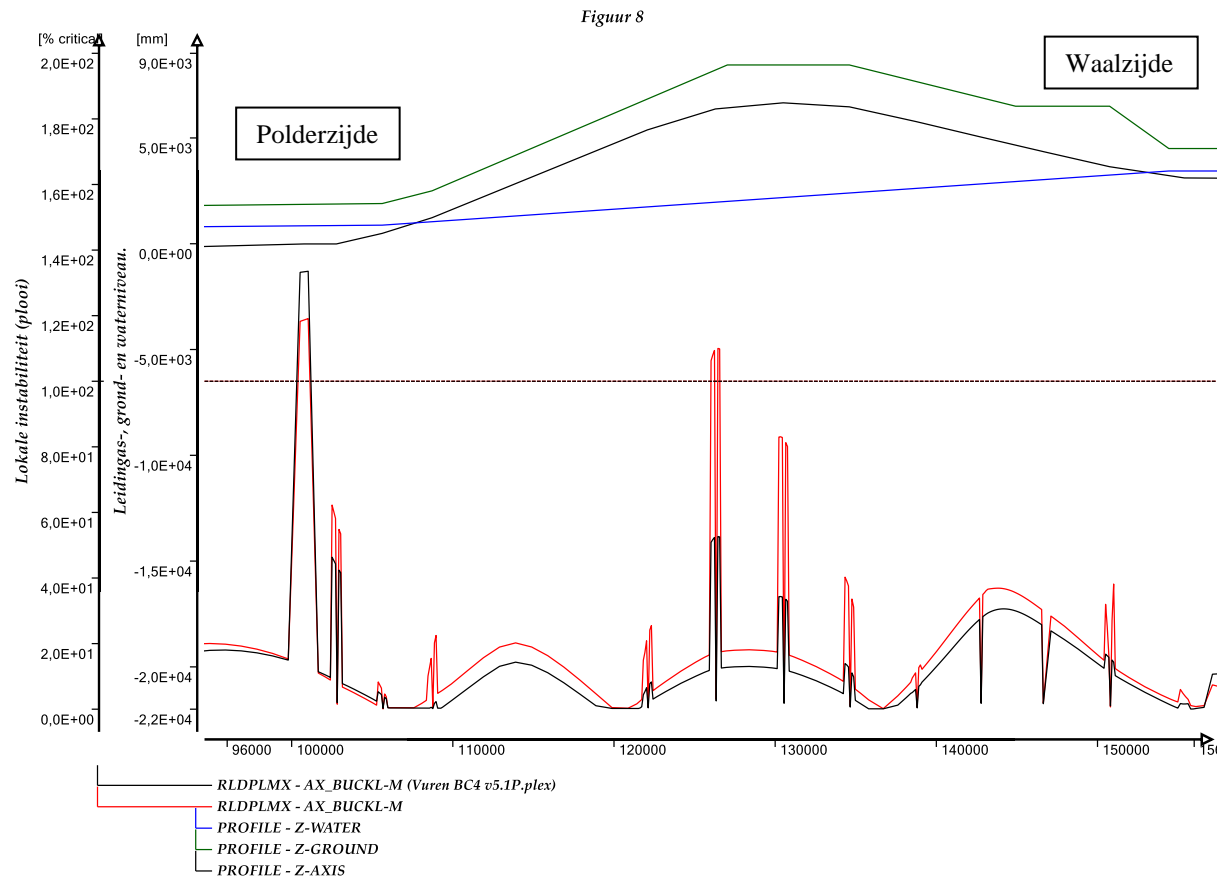
Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v5P'



Figuur 7: Equivalente rekken bij belastingcombinatie 3 (—) en 4 (—). Maximaal toelaatbaar is 100%. In dit figuur is vooral gekeken naar de leiding bij en onder de dijk.

Selected multiple graphs

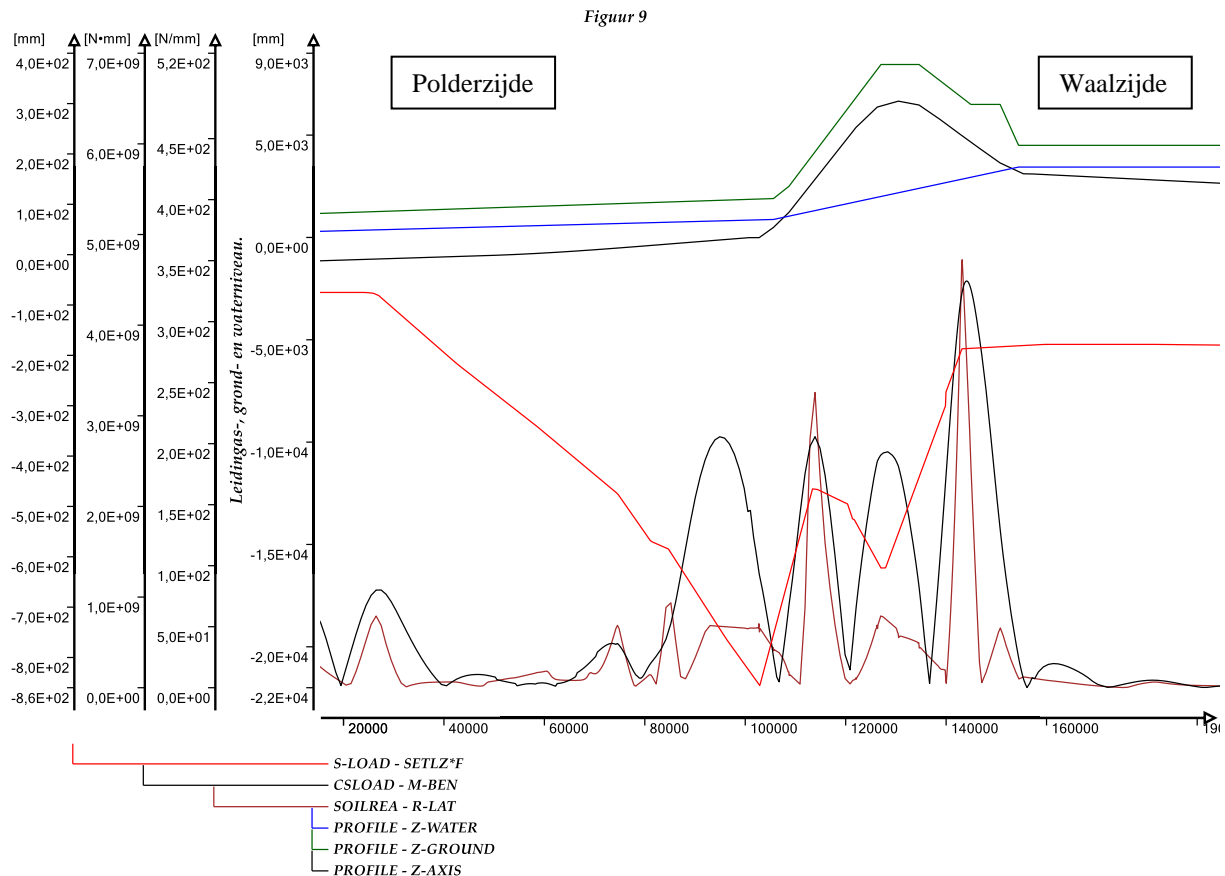
Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v5P'



Figuur 8: Lokale instabiliteit bij belastingcombinatie 3 (—) en 4 (—). Maximaal toelaatbaar is 100%. Bij het binnendijkse mangat en bij verstijvingsring k50 zijn overschrijdingen.

Selected multiple graphs

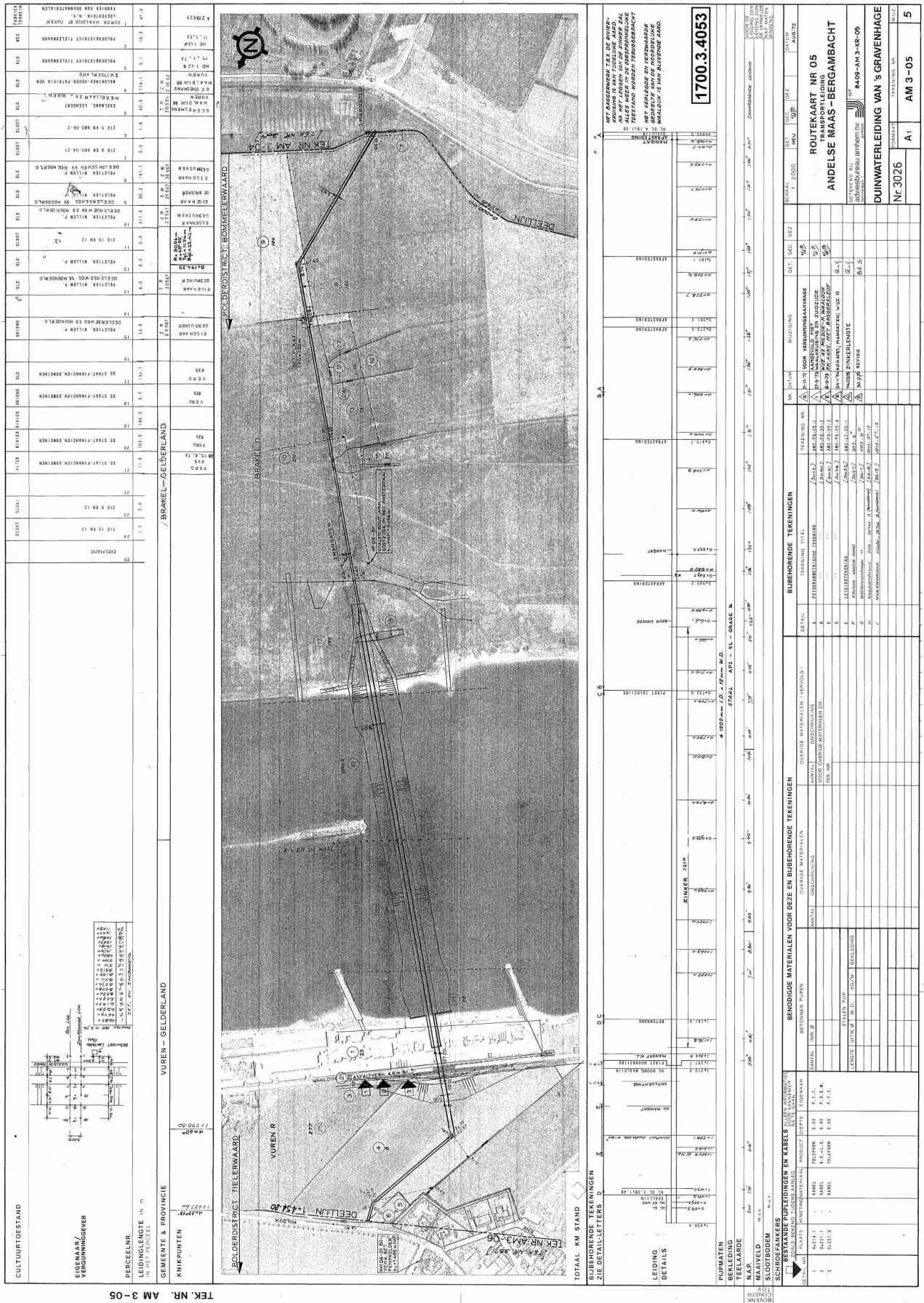
Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v5P'



Figuur 9: Zettingen (—), buigende momenten (—), en laterale grondreacties (—). Hier kan je zien dat een knik in de zettinglijn een piek veroorzaakt bij de grondreacties en buigende momenten.

## **BIJLAGE A**

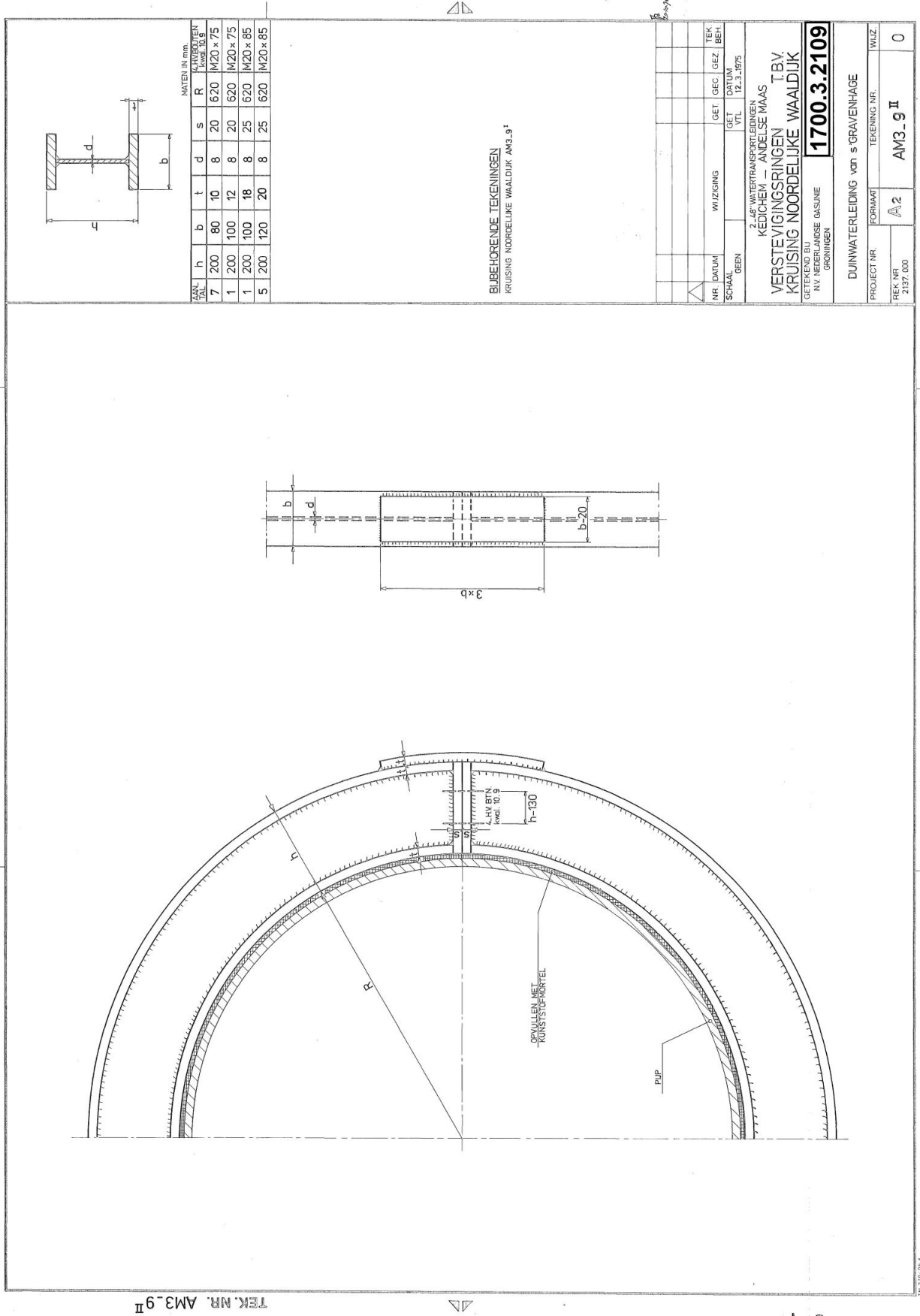
### **Leidingtekeningen**



“Routekaart nr 05, transportleiding Andelse Maas - Bergambacht”, tekening nr. AM 3-05, wijz. 5.



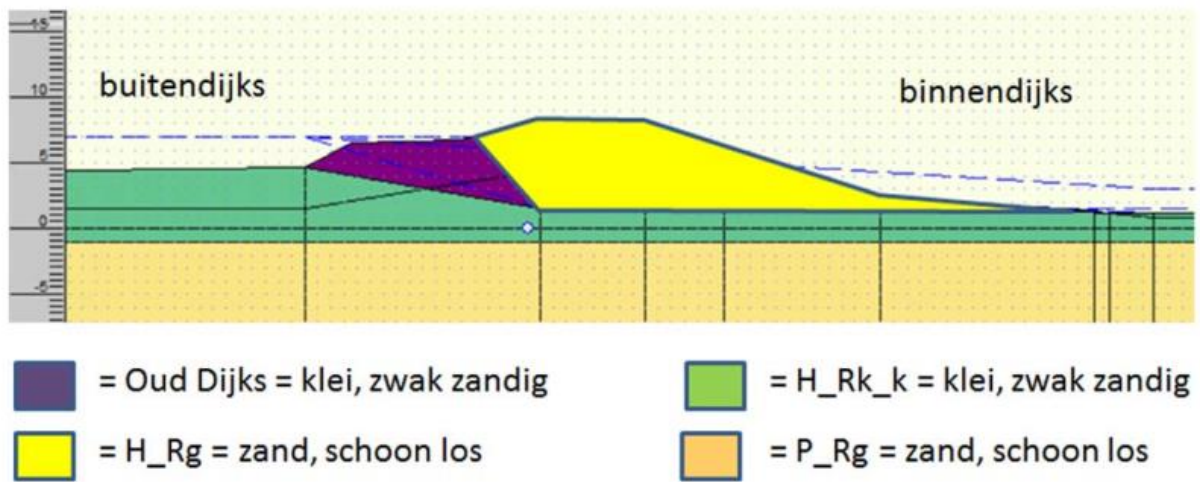




“Versteviingsringen t.b.v. kruising Noordelijke Waaldijk”, tekening nr. AM 3-9II, wijz. 0

## **BIJLAGE B**

### **Geotechnische gegevens**



Tabel 2.6 Grondeigenschappen

Grondsoort	Eigenschap	$\gamma_{dr} / \gamma_{nat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'$ [°]	$c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Oud Dijks	Klei, zwak zandig	18,0 / 18,0	22,5	5
H_Rg	Zand, schoon los	17,0 / 19,0	30,0	0
H_Rk_k	Klei, zwak zandig	18,0 / 18,0	22,5	5
P_Rg	Zand, schoon los	17,0 / 19,0	30,0	0

Opbouw van de dijk en de grondeigenschappen per grondsoort. Uit het rapport van Royal HaskoningDHV [4].

## **BIJLAGE C**

### **Korte beschrijving van *Ple4Win***

## Short description of Ple4Win

***Ple4Win is a Computer Aided Design tool for the pipeline design engineer, who has to design and evaluate the strength and stability of buried or partly buried transport pipelines, that have to meet safety requirements as they are specified in Pipeline Codes and Regulations. The pipeline may be a high or low-pressure transmission pipeline, onland or offshore.***

Ple4Win is based on a 3D geometric model, in which the pipeline is schematised by means of a string of straight pipe, curved bend and T-connection elements.

Branches and loops are allowed and as a result stations may be analysed as well.

Pipe diameter, pipe wallthickness and the properties of the pipeline materials may change along the pipeline axis.

Support and loading of the pipeline result from the surrounding soil. The soil model is based on the mechanical properties of the soil, which depend on the deformation direction (upward, sideward and downward) of the pipe relative to the soil and counteracted by the friction reaction of the soil.

Based on soil failure mechanics in the four principal directions a 3-D soil model is built in such a way that in the model the soil reaction is defined in any direction of the pipeline displacement. The deformation behaviour of the soil is considered to be non-linear elastic or elasto-plastic and primarily based on a bi-linear curve. Over the first part of the curve the deformation behaviour of the soil is considered to be linear elastic (constant ratio between soil reaction and pipe displacement), whereas over the second part the soil behaviour is considered to be ideal plastic (constant soil reaction independent of the pipe displacement). Other, smooth, curves can be applied too. Even slacks (for instance in a jacket tube) are possible.

At the end points of the pipeline structure to be taken into account, a free end or rigid support or a connected half-infinite long pipeline can be specified. Along the pipeline axis external linear elastic supports can be specified. For instance a "table" support with friction properties.

The loadings that may be placed on the pipeline structural model result from

*installation conditions.*

- elastic bends
- towing forces focused on the pulling point
- preheating conditions
- sequence of installation phases

*operational conditions:*

- internal or external overpressure
- variations in temperature
- deadweight of the pipeline structure

*and environmental conditions:*

- 3-D deformations of the surrounding soil as a result of consolidation settlements from extra loading and soil subsidence as a result of disturbance of the soil structure or earthquakes
- temporary loadings on top of the soil, e.g. as a result of traffic loads
- wave and current loadings at sea

Additional loadings may be modelled by means of point load patterns.

The loading condition on the pipeline structure is constituted by means of individual load factors on each loading component. The loading condition as a whole may be given an overall load factor. In this way it is possible to work in a traditional manner with actual loadings and admissible stresses, that are derived from the ultimate yield stress of the pipe material by means of a safety factor. Or to work in a more advanced way in which the various loadings each have their own individual loading factor,

together constituting an ultimate loading condition to the pipeline. In the latter case resulting stresses and strains are compared directly to the ultimate bearing capacity of the pipe material or pipe geometry. The ultimate bearing capacity in general is defined as the yield stress or the breaking stress, but can as well be a limit strain or buckling behaviour. For instance collapse of the cross-section or a buckled state. The rather complex pipeline model, built from circular cylinder shells and toroid shells into a spatial structure, is made accessible for calculation through splitting of the 3-D model into two independent models, being:

- a *"beam" model*, consisting of the pipeline axis with the stiffness properties of the pipe cross-section. At the location of the bends (toroids) the reduction of the bending stiffness of the cross-section, as a result of ovalisation, is taken into account. The counteracting effect of the internal pressure on this stiffness reduction is considered as well.

The beam model is loaded by the internal or external overpressure, temperature variations that mainly cause longitudinal deformations, deadweight of the pipeline and soil deformations that mainly cause lateral deformations of the pipeline. Wave and current loads at offshore pipelines may be present as well. Point load patterns may act in overall directions or they may be attached to the local pipeline orientation. At bends longitudinal deformations are transformed into lateral deformations and vice versa. Determination of displacement behaviour and internal forces in the pipeline is done by means of a finite element based method of calculation in which the pipe and soil properties are treated in an integrated way. From the internal forces in the pipeline, stresses in the pipe cross-sections are calculated. At the bends the influence of the ovalisation of the cross-section on the stress distribution over the circumference is considered. This ovalisation causes higher order pipe bending stresses that are known as stress intensification. The counteracting effect of the internal pressure is introduced in the calculation method. Optionally the limited bend angle stiffness and related stressing can be taken into account. The pipeline material can be specified as iso-

tropic, even elasto-plastic, mainly for ductile materials or as anisotropic mainly for brittle composite materials, like glass fibre reinforced plastic pipes. Geometric non-linearity (large displacements or "stress stiffening") may be accounted for optionally too.

- a *"ring" model*, consisting of the pipe cross-section with the stiffness properties of the pipe wall. The "rerounding" effect of the internal pressure on the deformation behaviour of the cross-section is taken into account. The ring model primarily is loaded by the internal pressure. On the cross-section the local soil reaction, resulting from the displacement of the cross-section as a whole, causes deformation of the cross-section. In a similar way the overburden weight and temporary top loads cause deformation of the cross-section. Calculation of the stresses over the circumference of the cross-section is done by means of a differential equation that is solved through Fourier-series. Calculation of stresses in the pipe material is carried out in 48 points equidistantly distributed over the cross-section circumference at the inner as well at the outer wall face. In case of elasto-plastic material behaviour stresses are calculated in 144 points and the mid wall points are included. Successive ring ovalisations may be "re-distributed" to account for the longitudinal integration.

The following stress components are considered, where in the overall stress calculation weighing factors can be applied on individual stress components in order to allow a distinction between primary and secondary stresses.

- longitudinal stresses as a result of the axial force in the pipeline
- longitudinal pipe bending stresses resulting from the pipe bending moment. First order pipe bending stresses occur in straight pipe sections and in pipe bend sections, whereas higher order pipe bending stresses only occur at pipe bends, or in case of geometric non-linear analysis in the bended straight pipes.
- circumferential wall bending stresses as a result of ovalisation of the pipe cross-section at bends due to pipe bending. Due to

the Poisson effect related longitudinal stress components exist.

- full wall shear stresses as a result of the shear force acting on the pipe cross-section
- full wall shear stresses as a result of the twisting moment acting on the pipe cross-section.
- circumferential stresses resulting from the internal (or external) overpressure
- circumferential wall bending stresses resulting from local soil (and traffic) loadings with related longitudinal Poisson stress components.

From these stress components following evaluation stresses are calculated:

- equivalent stress according to Von Mises
- principal stresses according to Mohr
- maximum shear stress according to Tresca
- maximum uni-axial stresses in longitudinal and circumferential direction.

In case of use of the elasto-plastic pipe material facility analysis the internal forces and related stressing are based on the straining behaviour of the pipe material.

**Design process**

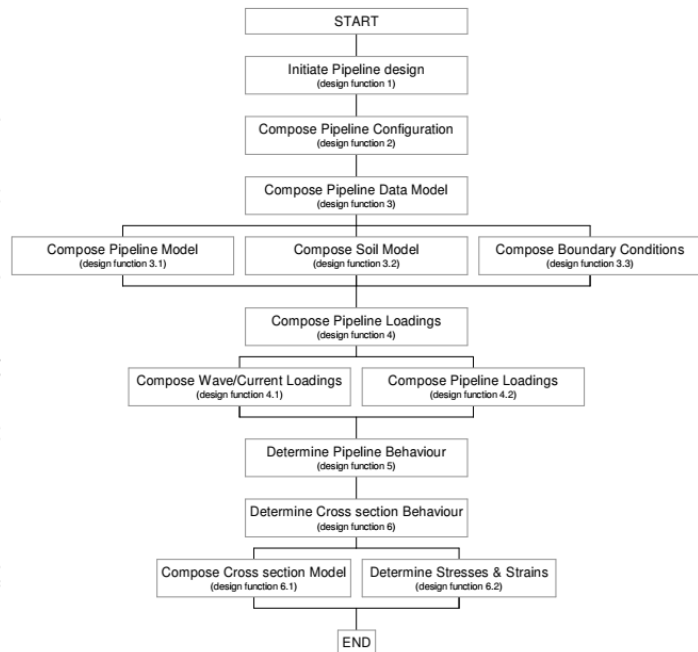
Characteristic for the use of Ple4Win is the application of a design methodology in the structure of the user interface. A great deal of effort has been put into the design of the user interface to facilitate the easy use of the system. The design process is sub-divided into six main design functions as shown in the diagram. Each design function is modelled in a standard layout to enable easy use by the engineer. The same applies to the standard layout of input and result tables. Result data can be interpreted easily through the use of a large number of graphical representation facilities. These enable clear reporting as well. Combination of plot files is possible to arrange overviews of graphically represented results. Successive design functions in the design flow scheme are processed one by one. Results from each function can thus be monitored easily. Set back functions provide the option to step back in the design process to

allow for parameter variation in order to obtain optimal structural results. Graphical facilities allow for comparison of results from different calculations.

**QA of Ple4Win**

Ple4Win is formally approved by Dutch authorities for analysis of pipeline structures to meet code requirements. However, in Belgium, France, Germany, Denmark, Great Britain, Norway, Israel and other countries results of Ple4Win analyses have been formally accepted as sound engineering analyses. The system is in use by a great number of engineering companies but certifying bodies and universities use Ple4Win as well.

Verification of results is one of the major efforts put into the program development since the beginning of the development of the design method as early as 1965. Where analytical comparative results are missing because of the complexity of the applied mechanics, test results are used.



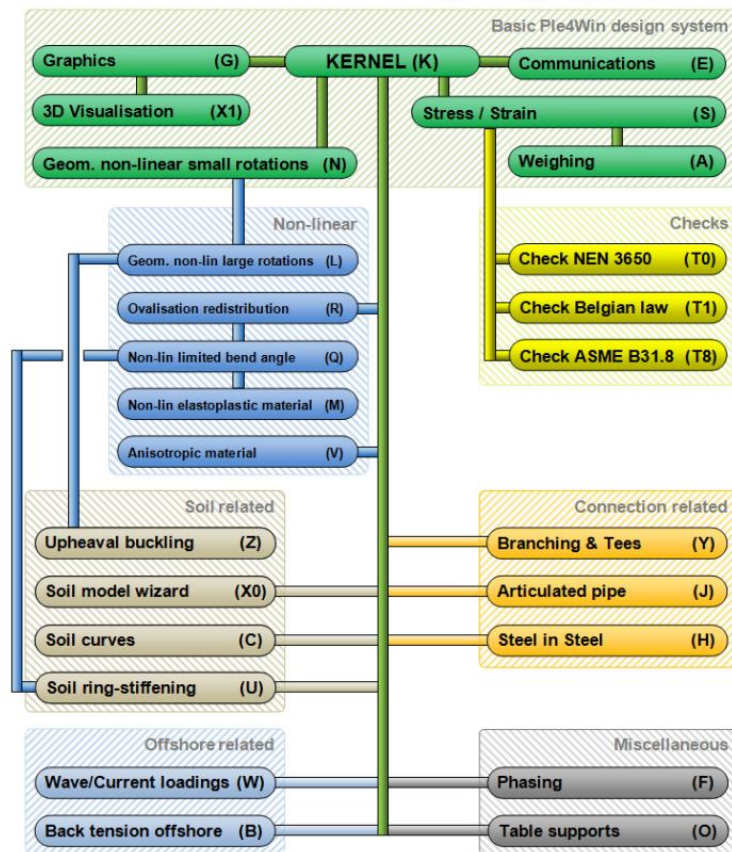
### Modular structure of Ple4Win

The structure of Ple4Win is of a modular nature with basic modules to perform basic flexibility and stress/strain analyses and special modules to accommodate special applications. Various "Code checking" modules are available to directly adhere to specific code requirements. However, the main model is kept as free from code based ad hoc requirements as possible.


### New developments

With the ongoing development of Ple4Win in the wake of new Pipeline Codes becoming available and new construction and installation methods developed, new modules are added in time to include further advanced functionality. Especially the fit-for-purpose analyses on existing pipelines is a first order technical challenge.

The developments are performed by r+k consulting engineers, a sister company of Expert Design Systems bv.



Further information:

	<p><b>EXPERT DESIGN SYSTEMS b.v</b></p> <p>Geestbrugweg 44 2281 CM Rijswijk, The Netherlands tel: +31-(0)70-3902386</p> <p>e-mail: info@eds-ple.nl website: www.ple4win.com</p>	<p><b>r+k consulting engineers</b></p> <p>Geestbrugweg 44 2281 CM Rijswijk, The Netherlands tel: +31-(0)70-3906890</p> <p>e-mail: info@rkconsult.nl website: www.rkconsult.nl</p>	
---	---	---	---



## **BIJLAGE D**

### **Computer in- en uitvoer van *Ple4Win***

## BIJLAGE D1: Vuren BC3 v2, combinatie zonder interne druk en temperatuur

### ORIGIN - Pipeline origin

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

IDENT	X-S	Y-S	Z-S	SNODE	SAX-L	SAX-LP
	mm	mm	mm		mm	mm
1 Start	0	57158	-1260	1	0	0

### POLYDIF - Pipeline polygon points (relative)

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

IDENT	ΔX-N	ΔY-N	Z-N	BENDRAD	ETYP	BEND_EL	PIPE_EL	EXT	N-KINK	L-SEGM
	mm	mm	mm	mm		mm	mm			mm
1 Knik60	33000	-57158	-750		Mitre bend	350	1000	4	8	4000
2 mangat1	38000	0	-10				1000			
3 k10	2000	0	-10		Mitre bend	110	1000	4	1	640
4 k20	2800	0	490		Mitre bend	110	1000	4	1	600
5 k30	3000	0	1230		Mitre bend	110	1000	4	1	600
6 k40	12700	0	5380		Mitre bend	110	1000	4	1	600
7 k50	4100	0	6370		Mitre bend	110	1000	4	1	640
8 k60	4200	0	6660		Mitre bend	110	1000	4	1	640
9 k70	4100	0	6470		Mitre bend	110	1000	4	1	640
10 k80	4100	0	5770		Mitre bend	110	1000	4	1	600
11 k90	3900	0	5050				105			
12 k100	3900	0	4345				105			
13 k110	4000	0	3640		Mitre bend	110	1000	4	1	600
14 k120	4600	0	3110		Mitre bend	300	1000	4	1	640
15 mangat2	2000	0	3100				1000			
16 Eind	38000	0	2640				1000			
17 EindX	10000	0	2640				1000			
18 mg2	-48000	0	3100		Weak					
19 eind2	0	0	4200				1000			
20 mg1	-55400	0	-10		Weak					
21 eind1	0	0	1090				1000			

### CONNECT - Pipeline connections

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

IDENT1	IDENT2	CONNAME	TEE-REF
1 mangat1	mg1	T1	T1
2 mangat2	mg2	T2	T2

### TEECONF - Pipeline Tee configurations

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

TEE-REF	L-RUN	L-BRN	CYCLES
	mm	mm	
1 T1	500	750	100
2 T2	500	750	100

### G-LEVEL - Ground level

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

Identifler	GROUND1	UNCV1	GROUND2	UNCV2
	mm	mm	mm	mm
1 Start	1050	0		
2 MV5	1900	0		
3 MV10	2500	0		
4 MV20	8450	0		
5 MV30	8450	0		
6 MV40	6500	0		
7 MV50	6500	0		
8 MV60	4500	0		
9 Eind2	4500	0		
10 MG1	1900	0		

### W-LEVEL - (Ground) water level

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

Identifler	WATER1	UNCV1	WATER2	UNCV2
	mm	mm	mm	mm
1 Start	200	0		
2 MV5	878	0		
3 MV60	3438	0		
4 Eind2	3438	0		
5 MG1	878	0		

**ADIDENT - Additional idents**

	REFIDENT	ΔAX-L	NEWIDENT
		mm	
1	k10	-20000	WD1
2	k120	20000	WD2
3	k20	0	MV5
4	k30	0	MV10
5	k70	-7300	MV20
6	k70	0	MV30
7	k120	-10500	MV40
8	k120	-4600	MV50
9	k120	-1000	MV60
10	k40	-1000	OntgrL
11	k80	1000	OntgrR
12	k110	-6000	WegL
13	k110	-1000	WegR
14	Knik60	41400	ZB15
15	Knik60	51200	ZB12
16	Knik60	62200	ZB9
17	Knik60	69300	ZB6
18	Knik60	78900	ZB3
19	Knik60	89600	ZB1

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

**MATL - Material location**

	Identifier	MATREF
1	Start	Gr.B
2	WD1	Gr.X60
3	WD2	Gr.B

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

**ISTROP - Isotropic materials**

	MATREF	Emod	Gmod	Nu	ALPHA	Re	ReT
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>		1/C	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1	Gr.X60	207000		0,3	1,16E-06	413	
2	Gr.B	207000		0,3	1,16E-06	241	

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

**DIAM - Outer diameter**

	Element	DOUT1	DOUT2
		mm	mm
1	152	1219	
2	153	1219	
3	180	1219	
4	181	1254	
5	182	1219	
6	196	1219	
7	197	1254	
8	198	1219	
9	212	1219	
10	213	1254	
11	214	1219	
12	238	1219	
13	239	1254	
14	240	1219	
15	255	1219	
16	256	1254	
17	257	1219	
18	272	1219	
19	273	1254	
20	274	1219	
21	289	1219	
22	290	1254	
23	291	1219	
24	306	1219	
25	307	1254	
26	308	1219	
27	345	1219	
28	346	1254	

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]



**DEADW - Deadweight**

Identifier	DEADW1	DEADW2	WLEVEL
	N/mm	N/mm	
1 Start	3,93	15,38	Yes
2 EindX	1,04	3,95	Yes

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

**KLH - Horizontal soil stiffness**

Identifier	KLH1	KLH2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
1 start	0,0039567			1,7	5
2 knik60s	0,0039281			1,7	5
3 knik60	0,0038093			1,7	5
4 knik60e	0,0035693			1,7	5
5 wd1	0,0035387			1,7	5
6 t1s	0,0033121			1,7	5
7 mangat1	0,0033053			1,7	5
8 t1e	0,0033112			1,7	5
9 k10s	0,0033252			1,7	5
10 k10	0,00327			1,7	5
11 k10e	0,003262			1,7	5
12 k20s	0,0027993			1,7	5
13 k20	0,0026891			1,7	5
14 zb15	0,0027586			1,7	5
15 k20e	0,0027696			1,7	5
16 w-lvl 1	0,0029647			1,7	5
17 k30s	0,0029374			1,7	5
18 k30	0,0028654			1,7	5
19 k30e	0,0029464			1,7	5
20 zb12	0,0035032			1,7	5
21 ontgrl	0,0037697			1,7	5
22 k40s	0,0037883			1,7	5
23 k40	0,0037384			1,7	5
24 k40e	0,0038909			1,7	5
25 k50s	0,0049754			1,7	5
26 k50	0,0049886			1,7	5
27 k50e	0,0053646			1,7	5
28 mv20	0,0057566			1,7	5
29 k60s	0,004986			1,7	5
30 k60	0,0048253			1,7	5
31 k60e	0,0049616			1,7	5
32 zb6	0,0054544			1,7	5
33 k70s	0,0055259			1,7	5
34 k70	0,0054829			1,7	5
35 k70e	0,0055564			1,7	5
36 k80s	0,005296			1,7	5
37 k80	0,0051812			1,7	5
38 k80e	0,0052627			1,7	5
39 wegl	0,0040776			1,7	5
40 mv40	0,0040742			1,7	5
41 k100	0,0047381			1,7	5
42 wegr	0,0062735			1,7	5
43 k110s	0,0064498			1,7	5
44 k110	0,0064664			1,7	5
45 k110e	0,0062521			1,7	5
46 w-lvl 2	0,004768			1,7	5
47 mv60	0,0026089			1,7	5
48 k120s	0,0026996			1,7	5
49 k120	0,0027457			1,7	5
50 k120e	0,0027482			1,7	5
51 t2s	0,0027557			1,7	5
52 mangat2	0,0027582			1,7	5
53 t2e	0,0027657			1,7	5
54 wd2	0,0030353			1,7	5
55 eind	0,0033383			1,7	5
56 eindx	0,0033383			1,7	5
57 mg2	0,0066109			1,7	5
58 t2b	0,0035183			1,7	5
59 eind2	0,0018925			1,7	5
60 mg1	0,0081092			1,7	5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

**KLH - Horizontal soil stiffness**

	Identifier	KLH1	KLH2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
61	t1b	0,0057924			1,7	5
62	eind1	0,0042956			1,7	5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

**KLS - Downward vertical soil stiffness**

	Identifier	KLS1	KLS2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
1	start	0,0016105			2	5
2	knik60s	0,0023262			1,9484	5
3	knik60	0,002804			1,9066	5
4	knik60e	0,0024813			1,8436	5
5	wd1	0,0026254			1,8335	5
6	t1s	0,0036359			1,7589	5
7	mangat1	0,0036638			1,7567	5
8	t1e	0,0036688			1,7567	5
9	k10s	0,0036806			1,7567	5
10	k10	0,0035723			1,7602	5
11	k10e	0,0038135			1,7445	5
12	k20s	0,0043314			1,659	5
13	k20	0,0041901			1,6524	5
14	zb15	0,0044363			1,6369	5
15	k20e	0,0044871			1,6316	5
16	w-lvl 1	0,0045645			1,6	5
17	k30s	0,0044864			1,6	5
18	k30	0,0043426			1,6	5
19	k30e	0,0044326			1,6	5
20	zb12	0,0018937			1,9122	5
21	ontgrl	0,0012296			2	5
22	k40s	0,0012387			2	5
23	k40	0,0012263			2	5
24	k40e	0,0012885			2	5
25	k50s	0,0018429			2	5
26	k50	0,0018678			2	5
27	k50e	0,0020526			2	5
28	mv20	0,0022688			2	5
29	k60s	0,0018485			2	5
30	k60	0,0017805			2	5
31	k60e	0,0018356			2	5
32	zb6	0,0021017			2	5
33	k70s	0,0021409			2	5
34	k70	0,0021378			2	5
35	k70e	0,0021578			2	5
36	k80s	0,0020153			2	5
37	k80	0,001972			2	5
38	k80e	0,0019972			2	5
39	wegl	0,0065295			1,6	5
40	mv40	0,0065245			1,6	5
41	k100	0,0074973			1,6	5
42	wegr	0,0097027			1,6	5
43	k110s	0,0099481			1,6	5
44	k110	0,0099607			1,6	5
45	k110e	0,0096727			1,6	5
46	w-lvl 2	0,0075518			1,6	5
47	mv60	0,0045175			1,6	5
48	k120s	0,0047488			1,6	5
49	k120	0,0048672			1,6	5
50	k120e	0,0048737			1,6	5
51	t2s	0,0048929			1,6	5
52	mangat2	0,0048994			1,6	5
53	t2e	0,0049187			1,6	5
54	wd2	0,0056216			1,6	5
55	eind	0,0060989			1,6	5
56	eindx	0,0060989			1,6	5
57	mg2	0,0066109			1,6	5
58	t2b	0,0035183			1,6	5
59	eind2	0,0018925			1,6	5
60	mg1	0,0081092			1,6	5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

**KLS - Downward vertical soil stiffness**

	Identifier	KLS1	KLS2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
61	t1b	0,0057924			1,6	5
62	eind1	0,0042956			1,6	5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

**KLT - Upward vertical soil stiffness**

	Identifier	KLT1	KLT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
1	start	0,00063605			1,772	5
2	knik60s	0,00066649			1,8364	5
3	knik60	0,00064015			1,8682	5
4	knik60e	0,00056452			1,9	5
5	wd1	0,00055202			1,9	5
6	t1s	0,00046352			1,9	5
7	mangat1	0,00046098			1,9	5
8	t1e	0,00046299			1,9	5
9	k10s	0,00046777			1,9	5
10	k10	0,00045369			1,9	5
11	k10e	0,0004444			1,8997	5
12	k20s	0,00025763			1,8953	5
13	k20	0,00022162			1,8946	5
14	zb15	0,00021518			1,8849	5
15	k20e	0,00020758			1,88	5
16	w-lvl 1	9,8398E-05			1,7729	5
17	k30s	8,5038E-05			1,7511	5
18	k30	7,1886E-05			1,7353	5
19	k30e	7,4345E-05			1,7091	5
20	zb12	9,5571E-05			1,4	5
21	ontgrl	0,000118			1,4	5
22	k40s	0,00011964			1,4	5
23	k40	0,00011563			1,4	5
24	k40e	0,00012888			1,4	5
25	k50s	0,00024431			1,4	5
26	k50	0,0002467			1,4	5
27	k50e	0,00029337			1,4	5
28	mv20	0,0003467			1,4	5
29	k60s	0,00024558			1,4	5
30	k60	0,00022717			1,4	5
31	k60e	0,00024264			1,4	5
32	zb6	0,00030523			1,4	5
33	k70s	0,00031484			1,4	5
34	k70	0,00031004			1,4	5
35	k70e	0,00031897			1,4	5
36	k80s	0,00028444			1,4	5
37	k80	0,00027063			1,4	5
38	k80e	0,00028015			1,4	5
39	wegl	0,00049533			1,9	5
40	mv40	0,00049433			1,9	5
41	k100	0,00071162			1,9	5
42	wegr	0,0013165			1,9	5
43	k110s	0,0013964			1,9	5
44	k110	0,00141			1,9	5
45	k110e	0,0013069			1,9	5
46	w-lvl 2	0,00071799			1,9	5
47	mv60	0,0001778			1,9	5
48	k120s	0,00021082			1,9	5
49	k120	0,00022849			1,9	5
50	k120e	0,00022947			1,9	5
51	t2s	0,0002324			1,9	5
52	mangat2	0,00023338			1,9	5
53	t2e	0,00023633			1,9	5
54	wd2	0,00035318			1,9	5
55	eind	0,00046658			1,9	5
56	eindx	0,00046658			1,9	5
57	mg2	0,0066109			1,9	5
58	t2b	0,0035183			1,9	5
59	eind2	0,0018925			1,9	5
60	mg1	0,0081092			1,895	5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

**KLT - Upward vertical soil stiffness**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

	Identifier	KLT1	KLT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
61	t1b	0,0057924			1,8925	5
62	eind1	0,0042956			1,8901	5

**F - Pipe-soil friction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

	Identifier	F1	F2	UNCF-L	UNCF-H	CFA1	CFA2	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
1	start	0,0081563			1,7815			5
2	knik60s	0,0086505			2,0079			5
3	knik60	0,0087437			2,1235			5
4	knik60e	0,008741			2,2978			5
5	wd1	0,0087388			2,3256			5
6	t1s	0,0084848			2,355			5
7	mangat1	0,0084759			2,355			5
8	t1e	0,0084848			2,355			5
9	k10s	0,0085057			2,355			5
10	k10	0,0085114			2,355			5
11	k10e	0,0084173			2,355			5
12	k20s	0,0077591			2,355			5
13	k20	0,0076698			2,355			5
14	zb15	0,0077054			2,355			5
15	k20e	0,0077232			2,355			5
16	w-lvl 1	0,0079732			2,355			5
17	k30s	0,0077966			2,3008			5
18	k30	0,0076504			2,253			5
19	k30e	0,0075599			2,2009			5
20	zb12	0,0064203			1,375			5
21	ontgrl	0,0068136			1,375			5
22	k40s	0,0068409			1,375			5
23	k40	0,0068616			1,375			5
24	k40e	0,00699			1,375			5
25	k50s	0,0085032			1,375			5
26	k50	0,0086385			1,375			5
27	k50e	0,0090215			1,375			5
28	mv20	0,0095321			1,375			5
29	k60s	0,0085174			1,375			5
30	k60	0,0084145			1,375			5
31	k60e	0,0084847			1,375			5
32	zb6	0,0091394			1,375			5
33	k70s	0,0092329			1,375			5
34	k70	0,009303			1,375			5
35	k70e	0,0092727			1,375			5
36	k80s	0,0089311			1,375			5
37	k80	0,0088997			1,375			5
38	k80e	0,008887			1,375			5
39	wegl	0,010182			2,355			5
40	mv40	0,010176			2,355			5
41	k100	0,011405			2,355			5
42	wegr	0,013683			2,355			5
43	k110s	0,013952			2,355			5
44	k110	0,014155			2,355			5
45	k110e	0,01365			2,355			5
46	w-lvl 2	0,011316			2,355			5
47	mv60	0,0075289			2,355			5
48	k120s	0,0076585			2,355			5
49	k120	0,0077241			2,355			5
50	k120e	0,0077277			2,355			5
51	t2s	0,0077383			2,355			5
52	mangat2	0,0077419			2,355			5
53	t2e	0,0077525			2,355			5
54	wd2	0,008134			2,355			5
55	eind	0,0085582			2,355			5
56	eindx	0,0085582			2,355			5
57	mg2	0,0077419			2,355			5
58	t2b	0,0055351			2,355			5
59	eind2	0,0041701			2,355			5
60	mg1	0,0085571			2,355			5



**F - Pipe-soil friction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

	Identifier	F1	F2	UNCF-L	UNCF-H	CFA1	CFA2	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
61	t1b	0,0072262			2,355			5
62	eind1	0,0061544			2,355			5

**UF - Displacement at max. soil friction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

	Identifier	UF1	UF2	UNCF-L	UNCF-H
		mm	mm		
1	start	5,8779			1,5613
2	knik60s	5,5313			1,5306
3	knik60	5,3544			1,515
4	knik60e	5,0876			1,5
5	wd1	5,0449			1,5
6	t1s	5			1,5
7	mangat1	5			1,5
8	t1e	5			1,5
9	k10s	5			1,5
10	k10	5			1,5
11	k10e	5			1,5
12	k20s	5			1,5
13	k20	5			1,5
14	zb15	5			1,5
15	k20e	5			1,5
16	w-lvl 1	5			1,5
17	k30s	5,0829			1,5
18	k30	5,156			1,5
19	k30e	5,2358			1,5045
20	zb12	6,5			1,6
21	ontgrl	6,5			1,6
22	k40s	6,5			1,6
23	k40	6,5			1,6
24	k40e	6,5			1,6
25	k50s	6,5			1,6
26	k50	6,5			1,6
27	k50e	6,5			1,6
28	mv20	6,5			1,6
29	k60s	6,5			1,6
30	k60	6,5			1,6
31	k60e	6,5			1,6
32	zb6	6,5			1,6
33	k70s	6,5			1,6
34	k70	6,5			1,6
35	k70e	6,5			1,6
36	k80s	6,5			1,6
37	k80	6,5			1,6
38	k80e	6,5			1,6
39	wegl	5			1,5
40	mv40	5			1,5
41	k100	5			1,5
42	wegr	5			1,5
43	k110s	5			1,5
44	k110	5			1,5
45	k110e	5			1,5
46	w-lvl 2	5			1,5
47	mv60	5			1,5
48	k120s	5			1,5
49	k120	5			1,5
50	k120e	5			1,5
51	t2s	5			1,5
52	mangat2	5			1,5
53	t2e	5			1,5
54	wd2	5			1,5
55	eind	5			1,5
56	eindx	5			1,5
57	mg2	5			1,5
58	t2b	5			1,5
59	eind2	5			1,5
60	mg1	5			1,5

**UF - Displacement at max. soil friction**

Identifier	UF1	UF2	UNCF-L	UNCF-H
	mm	mm		
61 t1b	5			1,5
62 eind1	5			1,5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

**RVS - Sub-soil bearing capacity**

Identifier	RVS1	RVS2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
1 start	0,5502			2	5
2 knik60s	0,54989			1,9484	5
3 knik60	0,52731			1,9066	5
4 knik60e	0,48174			1,8436	5
5 wd1	0,47452			1,8335	5
6 t1s	0,42397			1,7589	5
7 mangat1	0,42254			1,7567	5
8 t1e	0,42321			1,7567	5
9 k10s	0,42478			1,7567	5
10 k10	0,42566			1,7602	5
11 k10e	0,414			1,7445	5
12 k20s	0,32378			1,659	5
13 k20	0,30952			1,6524	5
14 zb15	0,30587			1,6369	5
15 k20e	0,30381			1,6316	5
16 w-lvl 1	0,27821			1,6	5
17 k30s	0,27344			1,6	5
18 k30	0,26848			1,6	5
19 k30e	0,27017			1,6	5
20 zb12	0,35369			1,9122	5
21 ontgrl	0,40399			2	5
22 k40s	0,40618			2	5
23 k40	0,40617			2	5
24 k40e	0,41823			2	5
25 k50s	0,54334			2	5
26 k50	0,55285			2	5
27 k50e	0,58726			2	5
28 mv20	0,631			2	5
29 k60s	0,54454			2	5
30 k60	0,53399			2	5
31 k60e	0,54178			2	5
32 zb6	0,59732			2	5
33 k70s	0,60532			2	5
34 k70	0,60935			2	5
35 k70e	0,60872			2	5
36 k80s	0,57956			2	5
37 k80	0,57496			2	5
38 k80e	0,57582			2	5
39 wegl	0,39797			1,6	5
40 mv40	0,39767			1,6	5
41 k100	0,46352			1,6	5
42 wegr	0,59138			1,6	5
43 k110s	0,60634			1,6	5
44 k110	0,61582			1,6	5
45 k110e	0,58955			1,6	5
46 w-lvl 2	0,46028			1,6	5
47 mv60	0,27534			1,6	5
48 k120s	0,28944			1,6	5
49 k120	0,29666			1,6	5
50 k120e	0,29705			1,6	5
51 t2s	0,29823			1,6	5
52 mangat2	0,29862			1,6	5
53 t2e	0,29979			1,6	5
54 wd2	0,34264			1,6	5
55 eind	0,37173			1,6	5
56 eindx	0,37173			1,6	5
57 mg2	0,12212			1,6	5
58 t2b	0,064992			1,6	5
59 eind2	0,03496			1,6	5
60 mg1	0,1498			1,6	5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

**RVS - Sub-soil bearing capacity**

	Identifier	RVS1	RVS2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
61	t1b	0,107			1,6	5
62	eind1	0,079352			1,6	5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

**RVT - Ultimate top-soil reaction**

	Identifier	RVT1	RVT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
1	start	0,031584			1,5	5
2	knik60s	0,032947			1,5	5
3	knik60	0,032234			1,5	5
4	knik60e	0,029902			1,5	5
5	wd1	0,029508			1,5	5
6	t1s	0,02666			1,5	5
7	mangat1	0,026576			1,5	5
8	t1e	0,02665			1,5	5
9	k10s	0,026825			1,5	5
10	k10	0,026644			1,5	5
11	k10e	0,026038			1,5	5
12	k20s	0,018505			1,5	5
13	k20	0,016963			1,5	5
14	zb15	0,016945			1,5	5
15	k20e	0,016808			1,5	5
16	w-lvl 1	0,014023			1,5	5
17	k30s	0,013493			1,5	5
18	k30	0,012866			1,5	5
19	k30e	0,013153			1,5	5
20	zb12	0,015212			1,5	5
21	ontgrl	0,017198			1,5	5
22	k40s	0,017338			1,5	5
23	k40	0,017192			1,5	5
24	k40e	0,018108			1,5	5
25	k50s	0,02641			1,5	5
26	k50	0,026869			1,5	5
27	k50e	0,029458			1,5	5
28	mv20	0,032562			1,5	5
29	k60s	0,026492			1,5	5
30	k60	0,025583			1,5	5
31	k60e	0,026303			1,5	5
32	zb6	0,030165			1,5	5
33	k70s	0,030731			1,5	5
34	k70	0,030798			1,5	5
35	k70e	0,030972			1,5	5
36	k80s	0,028918			1,5	5
37	k80	0,028393			1,5	5
38	k80e	0,028657			1,5	5
39	wegl	0,028898			1,5	5
40	mv40	0,028856			1,5	5
41	k100	0,037975			1,5	5
42	wegr	0,058419			1,5	5
43	k110s	0,060984			1,5	5
44	k110	0,062298			1,5	5
45	k110e	0,058109			1,5	5
46	w-lvl 2	0,037678			1,5	5
47	mv60	0,014061			1,5	5
48	k120s	0,015832			1,5	5
49	k120	0,016748			1,5	5
50	k120e	0,016797			1,5	5
51	t2s	0,016947			1,5	5
52	mangat2	0,016997			1,5	5
53	t2e	0,017147			1,5	5
54	wd2	0,022739			1,5	5
55	eind	0,027018			1,5	5
56	eindx	0,027018			1,5	5
57	mg2	0,12212			1,5	5
58	t2b	0,064992			1,5	5
59	eind2	0				5
60	mg1	0,1498			1,5	5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

**RVT - Ultimate top-soil reaction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

Identifier	RVT1	RVT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
61 t1b	0,107			1,5	5
62 eind1	0,079352			1,5	5

**RH - Ultimate hor. soil reaction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

Identifier	RH1	RH2	UNCF-L	UNCF-H	CFH1	CFH2	VARAR
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
1 start	0,14616			1,8976			5
2 knik60s	0,1451			1,9491			5
3 knik60	0,14071			1,9746			5
4 knik60e	0,13185			2			5
5 wd1	0,13072			2			5
6 t1s	0,12235			2			5
7 mangat1	0,1221			2			5
8 t1e	0,12231			2			5
9 k10s	0,12283			2			5
10 k10	0,12252			2			5
11 k10e	0,1205			1,9997			5
12 k20s	0,1034			1,9962			5
13 k20	0,10076			1,9957			5
14 zb15	0,1019			1,9879			5
15 k20e	0,10231			1,984			5
16 w-lvl 1	0,10951			1,8983			5
17 k30s	0,10851			1,8809			5
18 k30	0,10737			1,8682			5
19 k30e	0,10884			1,8473			5
20 zb12	0,12941			1,6			5
21 ontgrl	0,13925			1,6			5
22 k40s	0,13994			1,6			5
23 k40	0,14008			1,6			5
24 k40e	0,14373			1,6			5
25 k50s	0,18379			1,6			5
26 k50	0,18692			1,6			5
27 k50e	0,19816			1,6			5
28 mv20	0,21264			1,6			5
29 k60s	0,18418			1,6			5
30 k60	0,1808			1,6			5
31 k60e	0,18328			1,6			5
32 zb6	0,20148			1,6			5
33 k70s	0,20412			1,6			5
34 k70	0,20544			1,6			5
35 k70e	0,20525			1,6			5
36 k80s	0,19563			1,6			5
37 k80	0,19414			1,6			5
38 k80e	0,1944			1,6			5
39 wegl	0,15062			2			5
40 mv40	0,1505			2			5
41 k100	0,17753			2			5
42 wegr	0,23174			2			5
43 k110s	0,23825			2			5
44 k110	0,24229			2			5
45 k110e	0,23095			2			5
46 w-lvl 2	0,17613			2			5
47 mv60	0,096371			2			5
48 k120s	0,099722			2			5
49 k120	0,10142			2			5
50 k120e	0,10152			2			5
51 t2s	0,10179			2			5
52 mangat2	0,10189			2			5
53 t2e	0,10216			2			5
54 wd2	0,11212			2			5
55 eind	0,12331			2			5
56 eindx	0,12331			2			5
57 mg2	0,12212			2			5
58 t2b	0,064992			2			5
59 eind2	0,03496			2			5
60 mg1	0,1498			1,996			5

**RH - Ultimate hor. soil reaction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

Identifier	RH1	RH2	UNCF-L	UNCF-H	CFH1	CFH2	VARAR
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
61 t1b	0,107			1,994			5
62 eind1	0,079352			1,9921			5

**UNCER - Uncertainty factors**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

	U-KLH	U-KLS	U-KLT	U-F	U-UF	U-RVS	U-RVT	U-RH
1	High	High	High	High	High	High	High	High

**ENDPTS - Start/end nodes boundary conditions**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

IDENT	COND	STATE
1	Start	Fixed
2	EindX	Infinite
3	Eind1	Free
4	Eind2	Free

**PRESS - Internal overpressure**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

Identifier	PRESS1	PRESS2
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1	Start	1,1

**TEMP - Temperature differences**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

Identifier	T-ABS1	T-REF1	T-ABS2	T-REF2
	°C	°C	°C	°C
1	Start	20	10	

**SETZ - Soil displacement in Z-direction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

Identifier	SETZ1	UNCF1	SETZ2	UNCF2
	mm		mm	
1	wd1	0	1	
2	k10	-42	1	
3	ZB15	-83	1	
4	K40	-253	1	
5	K50	-300	1	
6	K60	-234	1	
7	K70	-324	1	
8	K80	-470	1	
9	ZB3	-174	1	
10	ZB1	-163	1	
11	wd2	0	1	
12	EindX	0	1	
13	mg2	-140	1	
14	eind2	-140	1	
15	mg1	-38	1	

**SUBSIDE - Vertical soil subsidence**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

Identifier	SUBZMAX	UNCF	LENGTH	SINESHape
	mm		mm	
1	OntgrL	-15	1,5	18500

**LOCASE - Loading combinations**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

IDENT	GLOAD-F	PRESS-F	T-DIF-F	DEADW-F	SETL-F	NODAL-F	ELBND-F	WAVC-F
1	BC3	1	0	0	1,1	1,1	0	0

**SOILCTL - Non-linear elastic soil iteration control**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

	MAXSIT	MERPTS	MERFLDS
1	20	0	0

**GEOMCTL - Geometrically non-linear iteration control**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

	MAXGIT	RELDISEQ	ABSDISEQ	ROTINCR
1	50	0,0001	1E-06	0,1

**DISPLAC - Displacements (loadcase bc3 g-nln/m-lin iter 15)**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

	NO	U-X	U-Y	U-Z	PHI-X	PHI-Y	PHI-Z	U-AX	PHI-AX	U-LAT	PHI-L
		mm	mm	mm	RAD	RAD	RAD	mm	RAD	mm	°
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	6	-4,289.E-2	7,3735.E-2	-3,825.E-1	7,6901.E-5	5,5117.E-5	-2,12.E-07	-0,8822138	-9,284.E-6	3,8190706	270
39	39	-2,993.E-1	7,3088.E-1	-6,687.E-1	-7,140.E-5	8,1938.E-5	-4,40.E-06	-7,8780849	-1,066.E-4	6,7114771	279
43	43	-4,289.E-1	7,9088.E-1	-5,800.E-1	-8,236.E-5	1,0102.E-4	-5,04.E-05	-9,0388366	-1,290.E-4	5,7358278	272
82	82	-2,776.E+0	-1,093.E-1	-5,682.E-1	-1,598.E-4	1,5526.E-4	-1,18.E-04	-2,022442	-2,240.E-4	1,98850188	196
115	115	-4,689.E+0	-2,229.E+0	-3,548.E-1	-2,154.E-4	-6,268.E-5	-4,27.E-04	-3,483314	-1,823.E-4	3,86768682	184
120	120	-5,045.E+0	-2,813.E+0	-1,148.E-1	-2,203.E-4	-9,579.E-5	-3,64.E-04	-4,144946	-1,946.E-4	4,02475392	181
133	133	-5,695.E+0	-3,695.E+0	4,1714.E-1	-1,965.E-4	-3,634.E-6	-1,65.E-05	-5,155697	-1,946.E-4	4,43771088	173
148	148	-6,208.E+0	-2,269.E+0	-5,306.E-1	-1,534.E-4	5,0157.E-4	5,479.E-04	-6,218801	-1,427.E-4	2,30368727	190
181	181	-9,188.E+0	1,2589.E-2	-7,347.E+1	-5,249.E-5	8,2366.E-3	-2,57.E-05	-15,02087	-5,455.E-5	72,510755	270
191	191	-6,443.E+0	-1,085.E-2	-9,249.E+1	-4,930.E-5	8,5709.E-3	-1,74.E-05	-21,81664	-5,160.E-5	90,116729	270
257	257	8,5516.E+0	3,5153.E-3	-1,656.E+2	-2,244.E-5	2,0799.E-3	-3,85.E-06	-2,503211	-2,265.E-5	165,85436	270
308	308	4,8182.E+0	-1,233.E-3	-1,981.E+2	-1,282.E-5	9,7050.E-4	2,217.E-06	40,908796	-1,301.E-5	193,98246	270
327	327	4,2166.E+0	-1,262.E-3	-1,990.E+2	-1,161.E-5	6,2221.E-5	2,185.E-06	40,295674	-1,181.E-5	195,00998	270
328	328	4,1936.E+0	-1,255.E-3	-1,990.E+2	-1,155.E-5	1,5284.E-5	2,180.E-06	40,262761	-1,175.E-5	195,01244	270
426	426	4,4993.E+0	3,2654.E-4	-9,965.E+1	-3,841.E-6	-8,918.E-3	3,578.E-08	4,81255997	-3,841.E-6	99,645064	270
447	447	3,0046.E+0	-4,931.E-5	7,9996.E+0	-1,422.E-6	-6,951.E-5	1,512.E-08	2,90781076	-1,423.E-6	8,03533871	90
469	469	5,0501.E+0	-5,615.E-5	-1,546.E+2	-5,134.E-6	-7,704.E-3	2,003.E-07	-154,7047	2,0052.E-7	3,85966794	90
474	474	-7,047.E-1	1,4118.E-1	-5,764.E+1	-5,486.E-5	7,2126.E-3	-3,77.E-05	-57,64974	-3,775.E-5	3,2291912	63

**SOILNB - Neutral or real top-soil load**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

	Identifler	NB1	UNCF1	LOADF1	NB2	UNCF2	LOADF2
		N/mm²			N/mm²		
1	start	0,022266	1,1	1			
2	knik60s	0,023165	1,1	1			
3	knik60	0,022911	1,1	1			
4	knik60e	0,021862	1,1	1			
5	wd1	0,021679	1,1	1			
6	t1s	0,020321	1,1	1			
7	mangat1	0,02028	1,1	1			
8	t1e	0,020321	1,1	1			
9	k10s	0,020418	1,1	1			
10	k10	0,020372	1,1	1			
11	k10e	0,02001	1,1	1			
12	k20s	0,0153	1,1	1			
13	k20	0,01423	1,1	1			
14	zb15	0,014183	1,1	1			
15	k20e	0,014081	1,1	1			
16	w-lvl 1	0,011981	1,1	1			
17	k30s	0,011573	1,1	1			
18	k30	0,01111	1,1	1			
19	k30e	0,011304	1,1	1			
20	zb12	0,012829	1,1	1			
21	ontgrl	0,014256	1,1	1			
22	k40s	0,014355	1,1	1			
23	k40	0,014281	1,1	1			
24	k40e	0,014896	1,1	1			
25	k50s	0,020391	1,1	1			
26	k50	0,020734	1,1	1			
27	k50e	0,022275	1,1	1			
28	mv20	0,024132	1,1	1			
29	k60s	0,020442	1,1	1			
30	k60	0,01992	1,1	1			
31	k60e	0,020324	1,1	1			

**SOILNB - Neutral or real top-soil load**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

Identifiser	NB1	UNCF1	LOADF1	NB2	UNCF2	LOADF2
	N/mm <sup>2</sup>			N/mm <sup>2</sup>		
32	zb6	0,022704	1,1	1		
33	k70s	0,023044	1,1	1		
34	k70	0,02315	1,1	1		
35	k70e	0,023188	1,1	1		
36	k80s	0,021946	1,1	1		
37	k80	0,021683	1,1	1		
38	k80e	0,021786	1,1	1		
39	wegl	0,022175	1,1	1		
40	mv40	0,022149	1,1	1		
41	k100	0,027662	1,1	1		
42	wegr	0,038331	1,1	1		
43	k110s	0,039573	1,1	1		
44	k110	0,040352	1,1	1		
45	k110e	0,038179	1,1	1		
46	w-lvl 2	0,027407	1,1	1		
47	mv60	0,012069	1,1	1		
48	k120s	0,013383	1,1	1		
49	k120	0,014049	1,1	1		
50	k120e	0,014085	1,1	1		
51	t2s	0,014193	1,1	1		
52	mangat2	0,014229	1,1	1		
53	t2e	0,014337	1,1	1		
54	wd2	0,018207	1,1	1		
55	eind	0,02066	1,1	1		
56	eindx	0,02066	1,1	1		
57	mg2	0	1,1	1		
58	t2b	0	1,1	1		
59	eind2	0		1		
60	mg1	0	1,1	1		
61	t1b	0	1,1	1		
62	eind1	0	1,1	1		

**TOPLOAD - Extra loads on top-soil**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

Identifiser	TOPLOAD1	LOADF1	TOPLOAD2	LOADF2
	N/mm <sup>2</sup>		N/mm <sup>2</sup>	
1	k10	0,009	1,35	
2	k20	0,018	1,35	
3	k30	0,022	1,35	
4	k40	0,018	1,35	
5	k60	0,011	1,35	
6	WegL	0,011	1,35	0,022
7	WegR	0,01	1,35	0,005
8	MV60	0,022	1,35	0,044
9	EindX	0,02	1,35	
10	MG2	0	1,35	

**LAMBDA - Horizontal soil support / Vertical soil load**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

Identifiser	LAMBDA1	LAMBDA2
1	Start	0,5

**SUPANG - Soil support angle functions**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

Identifiser	ANGMIN	ANGMAX	RVSL	RVSH	CURVE	
	°	°	%	%		
1	Start	120	180	50	100	Sinus

**SECTION - Cross-sections to be calculated**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]

Start Identifier	End Identifier	TOPLOAD	S-ALLOW	
			N/mm <sup>2</sup>	
1	Start	WD1	Yes	372
2	WD1	WD2	Yes	638
3	WD2	Eind1	Yes	372

**RDPLMAX - Maximum radial deformations (loadcase bc3 redistri... Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]**

ELEM	WGROUND-M	WBEND-M	W+WD/D-M	WTOTAL-M	RG/KLG-M	KLK-M
	mm	mm	%	mm	mm	N/mm <sup>3</sup>
68	68	2,74863677	1,620639E-1	-0,43	2,63448421	
173	173	-2,97923739	-4,620516E-1	-0,34	-2,61869138	
411	411	-2,02470848	1,085787E+1	2,11	12,83176142	
414	414	-2,60371046	1,054144E+1	2,14	13,02416394	
440	440	-13,29300607	-1,967793E-1	-2,12	-13,48978536	

**CSTRMAX - Maximum check stresses (loadcase bc3 weighing fact... Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [15-10-2018;occ.:1]**

ELEM	MOHR1-M	MOHR2-M	TRESCA-M	MISES-M	SXHT-M	SFHT-M	SHOOP-M
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
172	172	771,657199	-884,270219	452,791748	873,822559	-884,2702070	-86,289122
178	178	399,296737	-498,606009	266,706200	492,948722	-498,6059801	-407,703579
240	240	220,807440	-283,977551	186,209041	324,373966	-283,9775098	220,807433
469	470	2,107652	-2,026209	1,053826	1,905243	-0,7325030	2,107652
470	472	25,171947	-22,153758	17,283128	30,325634	25,1691233	-22,153522

**WARNING - Warnings**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [occ.:0]

SESSION	FUNCTION	IDENT	MESSAGE
1	2 FUNCT200	W200/6	Vertical element or node axis
2	2 FUNCT320	W320/2	Large rh/(rvt,rvs) ratio
3	2 FUNCT320	W320/3	Extreme klt/(klt,cls) ratio
4	2 FUNCT320	W320/6	Sub > hor > top not satisfied
5	2 FUNCT610	W610/18	Addcros stop at iter.101 diseq .16365e-1
6	2 FUNCT610	W610/9	Moment addcros gt 25% of infor
7	2 FUNCT610	W610/8	Closed end assumed to be rigid at redist
8	2 FUNCT620	W620/1	Calculated stress gt allowable stress
9	2 FUNCT620	W620/3	Axial buckling strain gt critical one

**STATUS - Program status summary**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [occ.:0]

PROPERTY	VALUE
Program	Ple4Win
Version	V4.5.0.18070
License	41936038 [CmDongle 2-1595724]
Modules included	KSAGNLF T0ERCYWT1T8QOV MJUZBX0HX1IPD
Project name	
Project location & filename	\\RKCSERVER\Team-DC\PL 482 Vuren\Vuren BC3 v2
Project description	Herberekening van de Afgedamde Maasleiding t.p.v. de dijk kruising met
Analysis type	General
Project phase	Initial
Project parent	- - -
Secondary project	- - -
Units	Millimeter, Newton, Second
Separators	Thousands: ',' Decimal: '.'
Bend angle	Limited
Geometry model	Non-linear
Section model	Ovalising
Material model	Linear
Soil ring-stiffening	Ignored
Soil model	Standard
Ovalisation redistribution	Allowed
Loading redistribution	Applied
Warning table	9 items (warnings and messages)
2 Pipeline Configuration (occurrence 1)	Pipeline origin [ORIGIN] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modifie Pipeline polygon points [POLYDIF] (status 'Locked Data', occurrence 1, l Pipeline connections [CONNECT] (status 'Locked Data', occurrence 1, la Pipeline Tee configurations [TEECONF] (status 'Locked Data', occurenc Ground level [G-LEVEL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modifie (Ground) water level [W-LEVEL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last Additional idents [ADIDENT] (status 'Locked Data', occurrence 1, last mo Polygon point data [SHAPEP] (status 'Locked Data', occurrence 1, last m Bend location data [SHAPEB] (status 'Locked Data', occurrence 1, last m



STATUS - Program status summary

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [occ.:0]

PROPERTY	VALUE
	Polygon subdivision data [LENGTH] (status 'Locked Data', occurrence 1,
	Nodes [NODES] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 15-10
	Elements of pipeline [ELEMNTS] (status 'Locked Data', occurrence 1, las
	Connections data [CONDATA] (status 'Locked Data', occurrence 1, last
	Tee configuration data [T-CDATA] (status 'Locked Data', occurrence 1, la
	Mitre bends configuration data [M-CDATA] (status 'Locked Data', occure
	Vertical profile data [PROFILE] (status 'Locked Data', occurrence 1, last
	Identification names [IDENTS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last
	Element/node groups [AVGRPS] (status 'Locked Data', occurrence 1, las
3,1 Pipe Data (occurrence 1)	Material location [MATL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modifie
	Isotropic materials [ISTROP] (status 'Locked Data', occurrence 1, last mo
	Outer diameter [DIAM] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified
	Wall thicknesses [WALL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modifi
	Tee specifications [TEESPEC] (status 'Locked Data', occurrence 1, last
	Deadweight [DEADW] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified
	Pipe material data [PIPEMAT] (status 'Locked Data', occurrence 1, last m
	Pipe dimension data [PIPEDIM] (status 'Locked Data', occurrence 1, last
	Tee data [T-SDATA] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 1
3,2 Soil Data (occurrence 1)	Horizontal soil stiffness [KLNH] (status 'Locked Data', occurrence 1, last m
	Downward vertical soil stiffness [KLS] (status 'Locked Data', occurrence
	Upward vertical soil stiffness [KLT] (status 'Locked Data', occurrence 1, l
	Pipe-soil friction [F] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 15-
	Displacement at max. soil friction [UF] (status 'Locked Data', occurrence
	Sub-soil bearing capacity [RVS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last
	Ultimate top-soil reaction [RVT] (status 'Locked Data', occurrence 1, last
	Ultimate hor. soil reaction [RH] (status 'Locked Data', occurrence 1, last
	Uncertainty factors [UNCER] (status 'Locked Data', occurrence 1, last mo
	Lateral soil mechanical data [LATSOIL] (status 'Locked Data', occurrence
	Pipe-soil friction data [AXSOIL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last
3,3 Model Boundary (occurrence 1)	Start/end nodes boundary conditions [ENDPTS] (status 'Locked Data', o
	Conditions along pipe axis [CONDI] (status 'Locked Data', occurrence 1, l
4,2 Pipeline Loading (occurrence 1)	Internal overpressure [PRESS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last
	Temperature differences [TEMP] (status 'Locked Data', occurrence 1, las
	Soil displacement in Z-direction [SETZ] (status 'Locked Data', occurrence
	Vertical soil subsidence [SUBSIDE] (status 'Locked Data', occurrence 1, l
	Specified pipeline loads [LOADATA] (status 'Locked Data', occurrence 1,
5 Pipeline Behaviour (occurrence 1)	Loading combinations [LOCASE] (status 'Locked Data', occurrence 1, las
	Non-linear elastic soil iteration control [SOILCTL] (status 'Locked Data',
	Geometrically non-linear iteration control [GEOMCTL] (status 'Locked D
	Displacements [DISPLAC] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modif
	Overall internal forces [INTFOR] (status 'Locked Data', occurrence 1, last
	Overall soil reaction forces [SOILREA] (status 'Locked Data', occurrence
	Overall external support reaction forces [SUPREA] (status 'Locked Data'
	Bend stiffness reduction & stress intensification [BENDFAC] (status 'Loc
	Bend elements data [BENDELM] (status 'Locked Data', occurrence 1, las
	Tee data with stress intensification factors [TEEFAC] (status 'Locked Da
	Global node coordinates of displaced pipeline [DISCOOR] (status 'Lock
	Primary cross-sectional deformations [DEFORM] (status 'Locked Data',
	Iteration data [ITMON] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified
	Iteration check list [ITCHECS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last m
	Specified loads active on elements [E-LOAD] (status 'Locked Data', occ
	Applied settlement loads [S-LOAD] (status 'Locked Data', occurrence 1, l
6,1 Cross-Section Data (occurrence 1)	Neutral or real top-soil load [SOILNB] (status 'Locked Data', occurrence 1
	Extra loads on top-soil [TOPLOAD] (status 'Locked Data', occurrence 1, l
	Horizontal soil support / Vertical soil load [LAMBDA] (status 'Locked Dat
	Soil support angle functions [SUPANG] (status 'Locked Data', occurrence
	Cross-sectional data [CROSDAT] (status 'Locked Data', occurrence 1, la
	Additional cross-sectional loads [ADDCROS] (status 'Locked Data', occ
	Additional support forces [ADDSUP] (status 'Locked Data', occurrence 1,
	Resulting pipeline spans [SPANS] (status 'Locked Data', occurrence 1, la
	Elements with primary membrane stresses [PRIMSEL] (status 'Locked D
	Deformation redistribution (soil loads) [W-REDIS] (status 'Locked Data',
	Deformation redistribution (soil loads w. toploads) [T-REDIS] (status 'Lo
	Deformation redistribution (bend ovalisation) [B-REDIS] (status 'Locked
6,2 Cross-Section Behaviour (General, Material Linear) (occurrence 1)	Cross-sections to be calculated [SECTION] (status 'Locked Data', occur
	General cross-sectional data [CSGEN] (status 'Locked Data', occurrence
	Cross-sectional loading data [CSLOAD] (status 'Locked Data', occurenc

**STATUS - Program status summary**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2' [occ.:0]

PROPERTY	VALUE
	Maximum radial deformations [RDPLMAX] (status 'Locked Data, with wa
	Maximum check stresses [CSTRMAX] (status 'Locked Data, with warnin
	Maximum stresses in straight pipe sections [PSTRMAX] (status 'Locked
	Maximum stresses in bends [BSTRMAX] (status 'Locked Data', occuren
	Maximum stresses (lateral loadings) [RSTRMAX] (status 'Locked Data',
	Maximum total stresses [TSTRMAX] (status 'Locked Data', occurrence 1,
	Maximum principal stresses [MSTRMAX] (status 'Locked Data', occuren
	Detailed radial deformations [RDISPLC] (status 'Locked Data', occurenc
	Detailed check stresses [CSTRESS] (status 'Locked Data', occurrence 1,
	Detailed stresses in straight pipe sections [PSTRESS] (status 'Locked D
	Detailed stresses in bends [BSTRESS] (status 'Locked Data', occurrence
	Detailed stresses (lateral loadings) [RSTRESS] (status 'Locked Data', oc
	Detailed total stresses [TSTRESS] (status 'Locked Data', occurrence 1, I
	Detailed principal stresses [MSTRESS] (status 'Locked Data', occurrence

## BIJLAGE D2: Vuren BC4 v2.1, combinatie met interne druk en temperatuur

LOCASE - Loading combinations

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v2.1' [15-10-2018;occ.:2]

IDENT	GLOADF	PRESS-F	T-DIF-F	DEADW-F	SETL-F	NODAL-F	ELBND-F	WAVC-F
1 BC4	1	1,15	1,1	1,1	1,1	0	0	0

DISPLAC - Displacements (loadcase bc4 g-nln/m-lin iter 13)

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v2.1' [1-3-2019;occ.:2]

NO	U-X	U-Y	U-Z	PHI-X	PHI-Y	PHI-Z	U-AX	PHI-AX	U-LAT	PHI-L	
	mm	mm	mm	RAD	RAD	RAD	mm	RAD	mm	°	
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	6	3,3319...E-2	-6,016...E-2	-3,8224027	7,9849...E-5	5,0620...E-5	-5,73...E-07	,06584412	-3,918...E-6	,38275568	270
52	52	-2,066...E+0	-2,164...E+0	-5,2616250	-2,101...E-5	6,7212...E-5	-6,28...E-04	,83917927	-7,356...E-5	2,92071695	191
130	130	-5,501...E+0	-6,636...E+0	,10409857	-1,700...E-4	-6,724...E-6	7,739...E-05	-4,098535...	-1,639...E-4	7,58386105	179
136	136	-5,467...E+0	-6,215...E+0	,12733392	-1,727...E-4	6,2747...E-5	2,894...E-04	-4,607924...	-1,739...E-4	6,87807105	178
141	141	-5,421...E+0	-5,639...E+0	,01231942	-1,710...E-4	1,6378...E-4	4,795...E-04	-4,640660...	-1,818...E-4	6,29785582	179
148	148	-5,460...E+0	-4,043...E+0	-5,7156260	-1,560...E-4	3,9247...E-4	7,226...E-04	-5,473626...	-1,419...E-4	4,06620807	187
165	165	-5,608...E+0	3,1163...E-1	-24,79794...	-7,474...E-5	3,7792...E-3	3,849...E-06	-5,997375...	-7,467...E-5	24,708650...	271
178	178	-5,801...E+0	6,2791...E-2	-72,46238...	-5,362...E-5	7,9332...E-3	-3,32...E-05	-5,208425...	-5,361...E-5	72,507461...	270
228	228	7,6622...E+0	-4,571...E-3	-137,4666...	-3,300...E-5	1,9833...E-4	-9,40...E-06	-35,39633...	-3,429...E-5	133,05223...	270
308	308	2,6530...E+0	-1,461...E-3	-183,5749...	-1,316...E-5	3,1485...E-3	2,166...E-06	36,513299...	-1,333...E-5	179,92664...	270
367	367	4,7332...E-1	-9,345...E-4	-192,5606...	-9,576...E-6	7,7858...E-5	1,918...E-06	34,725021...	-9,764...E-6	189,40432...	270
368	368	4,6365...E-1	-9,133...E-4	-192,5598...	-9,522...E-6	3,7409...E-5	1,905...E-06	34,707935...	-9,709...E-6	189,40658...	270
426	426	2,2862...E+0	3,3990...E-4	-100,2245...	-3,924...E-6	-9,044...E-3	3,019...E-08	2,58848502	-3,924...E-6	100,21719...	270
447	447	1,9690...E+0	-5,070...E-5	7,96893782	-1,453...E-6	-8,220...E-6	1,575...E-08	1,87213115	-1,453...E-6	7,99225197	90
469	469	2,2894...E+0	-3,221...E-5	-156,0465...	-5,246...E-6	-7,718...E-3	2,181...E-07	-156,0595...	2,1821...E-7	1,08920460	90
471	471	-6,173...E+0	5,7076...E-3	-155,8909...	-5,223...E-6	-7,697...E-3	2,178...E-07	-155,8388...	2,1788...E-7	7,37267904	270
472	472	-5,572...E+0	1,2280...E-1	-59,29379...	-5,671...E-5	7,2754...E-3	-3,68...E-05	-59,33272...	-3,685...E-5	5,14311798	88
473	473	-1,206...E-1	1,6363...E-1	-59,18050...	-5,512...E-5	7,2682...E-3	-3,67...E-05	-59,17981...	-3,679...E-5	,35149679	298

BENDFAC - Bend stiffness reduction & stress intensification

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v2.1' [1-3-2019;occ.:2]

FROM	TO	RADIUS	DOUT	WALL	PRESS	KL	K	SIX	SIF	L1	R/r
		mm	mm	mm	N/mm²	N/				mm	
1	knik60s	knik60e	30.515,407	1.219,000	12,00000	1,265	1,0851948	2,485922	2,485922	321,5269	8,128852
2	k10s	k10	3.698,250	1.219,000	15,20000	1,265	,2914566	3,761044	3,761044	327,6097	6,144293
3	k10	182	3.698,864	1.253,996	49,99557	1,265	,6248713	2,727399	2,727399	327,6641	6,144293
4	182	183	3.698,250	1.219,006	15,20569	1,265	,2915045	3,761501	3,761501	327,6097	6,144293
5	183	k10e	3.698,250	1.219,000	15,20000	1,265	,2914566	3,761044	3,761044	327,6097	6,144293
6	k20s	k20	9.539,186	1.219,000	15,20000	1,265	,8628000	1,481942	1,481942	310,7539	15,848456
7	k20	198	9.540,771	1.253,999	49,99940	1,265	,9870533	1,409793	1,409793	310,8055	15,848456
8	198	zb15	9.539,186	1.219,001	15,20077	1,265	,8627953	1,481996	1,481996	310,7539	15,848456
9	zb15	k20e	9.539,186	1.219,000	15,20000	1,265	,8628000	1,481942	1,481942	310,7539	15,848456
10	k30s	k30	8.431,626	1.219,000	15,20000	1,265	,7702536	1,682505	1,682505	312,0894	14,008350
11	k30	214	8.433,027	1.253,999	49,99923	1,265	,9553035	1,537900	1,537900	312,1413	14,008350
12	214	215	8.431,626	1.219,001	15,20099	1,265	,7702524	1,682578	1,682578	312,0894	14,008350
13	215	k30e	8.431,626	1.219,000	15,20000	1,265	,7702536	1,682505	1,682505	312,0894	14,008350
14	k40s	k40	7.925,130	1.219,000	15,20000	1,265	,7250706	1,792054	1,792054	312,8294	13,166855
15	k40	240	7.926,447	1.253,999	49,99912	1,265	,9374713	1,606314	1,606314	312,8814	13,166855
16	240	241	7.925,130	1.219,001	15,20113	1,265	,7250715	1,792139	1,792139	312,8294	13,166855
17	241	k40e	7.925,130	1.219,000	15,20000	1,265	,7250706	1,792054	1,792054	312,8294	13,166855
18	k50s	k50	3.875,471	1.219,000	15,20000	1,265	,3105498	3,600227	3,600227	326,2879	6,438728
19	k50	257	3.876,114	1.253,996	49,99600	1,265	,6475071	2,640876	2,640876	326,3421	6,438728
20	257	258	3.875,471	1.219,005	15,20514	1,265	,3105938	3,600645	3,600645	326,2879	6,438728
21	258	k50e	3.875,471	1.219,000	15,20000	1,265	,3105498	3,600227	3,600227	326,2879	6,438728
22	k60s	k60	5.517,885	1.219,000	15,20000	1,265	,4872862	2,568906	2,568906	318,3109	9,167444
23	k60	274	5.518,802	1.253,998	49,99812	1,265	,8078707	2,068236	2,068236	318,3638	9,167444
24	274	275	5.517,885	1.219,002	15,20241	1,265	,4873049	2,569105	2,569105	318,3109	9,167444
25	275	k60e	5.517,885	1.219,000	15,20000	1,265	,4872862	2,568906	2,568906	318,3109	9,167444
26	k70s	k70	5.196,539	1.219,000	15,20000	1,265	,4531731	2,723069	2,723069	319,4505	8,633558
27	k70	291	5.197,402	1.253,998	49,99787	1,265	,7825236	2,156196	2,156196	319,5036	8,633558
28	291	292	5.196,539	1.219,003	15,20274	1,265	,4531956	2,723297	2,723297	319,4505	8,633558
29	292	k70e	5.196,539	1.219,000	15,20000	1,265	,4531731	2,723069	2,723069	319,4505	8,633558
30	k80s	k80	45.022,518	1.219,000	15,20000	1,265	1,8507148	1,000000	1,000000	302,9752	74,800662
31	k80	308	45.029,999	1.254,000	49,99997	1,265	1,1163898	1,000000	1,000000	303,0256	74,800662
32	308	309	45.022,518	1.219,000	15,20003	1,265	1,8507110	1,000000	1,000000	302,9752	74,800662
33	309	k80e	45.022,518	1.219,000	15,20000	1,265	1,8507148	1,000000	1,000000	302,9752	74,800662
34	k110s	k110	10.372,151	1.219,000	15,20000	1,265	,9268688	1,358393	1,358393	309,9431	17,232350
35	k110	396	10.373,875	1.253,999	49,99950	1,265	1,0058339	1,328742	1,328742	309,9946	17,232350
36	396	397	10.372,151	1.219,001	15,20065	1,265	,9268622	1,358436	1,358436	309,9431	17,232350
37	397	k110e	10.372,151	1.219,000	15,20000	1,265	,9268688	1,358393	1,358393	309,9431	17,232350
38	k120s	k120e	5.781,647	1.219,000	15,20000	1,265	,5149636	2,454324	2,454324	317,4754	9,605661

**LAMBDA - Horizontal soil support / Vertical soil load**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v2.1' [15-10-2018;occ.:2]

Identifiser	LAMBDA1	LAMBDA2
1 Start		0

**SUPANG - Soil support angle functions**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v2.1' [15-10-2018;occ.:2]

Identifiser	ANGMIN	ANGMAX	RVSL	RVSH	CURVE
1 Start	70	180	50	100	Sinus

**RDPLMAX - Maximum radial deformations (loadcase bc4 redistri...**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v2.1' [1-3-2019;occ.:2]

ELEM	WGROUND-M	WBEND-M	W+WD/D-M	WTOTAL-M	RG/KLG-M	KLK-M
	mm	mm	%	mm	mm	N/mm <sup>3</sup>
389	389	-5,22760725	-5,220776E-1	-86	-5,60402993	
411	411	-3,51677252	6,619878E+0	1,61	9,92985302	
415	415	-4,56227337	6,043307E+0	1,64	10,15833715	
438	438	-10,47163854	-6,909104E-2	-1,54	-10,35525113	
469	470	-0,3900465	2,633718E-6	-0,1	,09721624	

**CSTRMAX - Maximum check stresses (loadcase bc4 weighing fact...**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v2.1' [1-3-2019;occ.:2]

ELEM	MOHR1-M	MOHR2-M	TRESCA-M	MISES-M	SXHT-M	SFHT-M	SHOOP-M
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1	1	122,59411	-27,524807	61,29706	118,69987	-27,524763	122,59410
72	72	89,91445	-9,420873	44,95723	89,12180	12,407238	89,87924
100	100	135,04721	-37,248064	67,52360	134,98115	52,264901	135,04646
172	172	783,36146	-885,629072	496,44711	907,83764	-885,629069	205,25990
290	290	25,76747	-23,223886	20,69789	36,20647	-23,223882	25,76747
346	346	141,14577	-110,326135	70,57288	125,93114	-54,819502	141,14577
383	383	337,16112	-307,514760	168,58056	302,51558	-103,926295	337,16112

**WARNING - Warnings**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v2.1' [occ.:0]

SESSION	FUNCTION	IDENT	MESSAGE
1	2 FUNCT200	W200/6	Vertical element or node axis
2	6 FUNCT320	W320/2	Large rh/(rvt,rvs) ratio
3	6 FUNCT320	W320/3	Extreme klh/(klt, kls) ratio
4	6 FUNCT320	W320/6	Sub > hor > top not satisfied
5	6 FUNCT610	W610/18	Addcross stop at iter.101 diseq .15903e-1
6	6 FUNCT610	W610/9	Moment addcross gt 25% of infor
7	6 FUNCT610	W610/8	Closed end assumed to be rigid at redist
8	6 FUNCT620	W620/1	Calculated stress gt allowable stress
9	6 FUNCT620	W620/3	Axial buckling strain gt critical one

## BIJLAGE D3: Vuren BC3 v4P, materiaalplasticiteit, zettingen x 2 van 2019

### ORIGIN - Pipeline origin

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [29-10-2018;occ.:1]

IDENT	X-S	Y-S	Z-S	SNODE	SAX-L	SAX-LP
	mm	mm	mm		mm	mm
1 Start	0	57158	-1260	1	0	0

### POLYDIF - Pipeline polygon points (relative)

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [29-10-2018;occ.:1]

IDENT	ΔX-N	ΔY-N	Z-N	BENDRAD	ETYP	BEND_EL	PIPE_EL	EXT	N-KINK	L-SEGM
	mm	mm	mm	mm		mm	mm			mm
1 Knik60	33000	-57158	-750		Mitre bend	350	1000	4	8	4000
2 mangat1	38000	0	-10				1000			
3 k10	2000	0	-10		Mitre bend	110	1000	4	1	640
4 k20	2800	0	490		Mitre bend	110	1000	4	1	600
5 k30	3000	0	1230		Mitre bend	110	1000	4	1	600
6 k40	12700	0	5380		Mitre bend	110	1000	4	1	600
7 k50	4100	0	6370		Mitre bend	110	1000	4	1	640
8 k60	4200	0	6660		Mitre bend	110	1000	4	1	640
9 k70	4100	0	6470		Mitre bend	110	1000	4	1	640
10 k80	4100	0	5770		Mitre bend	110	1000	4	1	600
11 k90	3900	0	5050				105			
12 k100	3900	0	4345				105			
13 k110	4000	0	3640		Mitre bend	110	1000	4	1	600
14 k120	4600	0	3110		Mitre bend	300	1000	4	1	640
15 mangat2	2000	0	3100				1000			
16 Eind	38000	0	2640				1000			
17 EindX	10000	0	2640				1000			
18 mg2	-48000	0	3100		Weak					
19 eind2	0	0	4200				1000			
20 mg1	-55400	0	-10		Weak					
21 eind1	0	0	1090				1000			

### CONNECT - Pipeline connections

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [29-10-2018;occ.:1]

IDENT1	IDENT2	CONNAME	TEE-REF
1 mangat1	mg1	T1	T1
2 mangat2	mg2	T2	T2

### TEECONF - Pipeline Tee configurations

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [29-10-2018;occ.:1]

TEE-REF	L-RUN	L-BRN	CYCLES
	mm	mm	
1 T1	500	750	100
2 T2	500	750	100

### G-LEVEL - Ground level

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [29-10-2018;occ.:1]

Identifier	GROUND1	UNCV1	GROUND2	UNCV2
	mm	mm	mm	mm
1 Start	1050	0		
2 MV5	1900	0		
3 MV10	2500	0		
4 MV20	8450	0		
5 MV30	8450	0		
6 MV40	6500	0		
7 MV50	6500	0		
8 MV60	4500	0		
9 Eind2	4500	0		
10 MG1	1900	0		

### W-LEVEL - (Ground) water level

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [29-10-2018;occ.:1]

Identifier	WATER1	UNCV1	WATER2	UNCV2
	mm	mm	mm	mm
1 Start	200	0		
2 MV5	878	0		
3 MV60	3438	0		
4 Eind2	3438	0		
5 MG1	878	0		

**ADIDENT - Additional idents**

	REFIDENT	ΔAX-L	NEWIDENT
		mm	
1	k10	-20000	WD1
2	k120	20000	WD2
3	k20	0	MV5
4	k30	0	MV10
5	k70	-7300	MV20
6	k70	0	MV30
7	k120	-10500	MV40
8	k120	-4600	MV50
9	k120	-1000	MV60
10	k40	-1000	OntgrL
11	k80	1000	OntgrR
12	k110	-6000	WegL
13	k110	-1000	WegR
14	Knik60	41400	ZB15
15	Knik60	51200	ZB12
16	Knik60	62200	ZB9
17	Knik60	69300	ZB6
18	Knik60	78900	ZB3
19	Knik60	89600	ZB1

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [29-10-2018;occ.:1]

**MATL - Material location**

	Identificer	MATREF
1	Start	Gr.B
2	WD1	Gr.X60
3	WD2	Gr.B

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [29-10-2018;occ.:1]

**ISTROP - Isotropic materials**

	MATREF	Emod	Gmod	Nu	ALPHA	Re	ReT
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>		1/C	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1	Gr.X60	207000		0.3	1.16E-05	413	
2	Gr.B	207000		0.3	1.16E-05	241	

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [4-3-2019;occ.:2]

**DIAM - Outer diameter**

	Element	DOUT1	DOUT2
		mm	mm
1	152	1219	
2	153	1219	
3	180	1219	
4	181	1254	
5	182	1219	
6	196	1219	
7	197	1254	
8	198	1219	
9	212	1219	
10	213	1254	
11	214	1219	
12	238	1219	
13	239	1254	
14	240	1219	
15	255	1219	
16	256	1254	
17	257	1219	
18	272	1219	
19	273	1254	
20	274	1219	
21	289	1219	
22	290	1254	
23	291	1219	
24	306	1219	
25	307	1254	
26	308	1219	
27	345	1219	
28	346	1254	

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [29-10-2018;occ.:1]



**DEADW - Deadweight**

Identifier	DEADW1	DEADW2	WLEVEL
	N/mm	N/mm	
1 Start	3,93	15,38	Yes
2 EindX	1,04	3,95	Yes

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [29-10-2018;occ.:1]

**KLH - Horizontal soil stiffness**

Identifier	KLH1	KLH2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm²	N/mm²			%
1 start	0,0039567			1,7	5
2 knik60s	0,0039281			1,7	5
3 knik60	0,0038093			1,7	5
4 knik60e	0,0035693			1,7	5
5 wd1	0,0035387			1,7	5
6 t1s	0,0033121			1,7	5
7 mangat1	0,0033053			1,7	5
8 t1e	0,0033112			1,7	5
9 k10s	0,0033252			1,7	5
10 k10	0,00327			1,7	5
11 k10e	0,003262			1,7	5
12 k20s	0,0027993			1,7	5
13 k20	0,0026891			1,7	5
14 zb15	0,0027586			1,7	5
15 k20e	0,0027696			1,7	5
16 w-lvl 1	0,0029647			1,7	5
17 k30s	0,0029374			1,7	5
18 k30	0,0028654			1,7	5
19 k30e	0,0029464			1,7	5
20 zb12	0,0035032			1,7	5
21 ontgrl	0,0037697			1,7	5
22 k40s	0,0037883			1,7	5
23 k40	0,0037384			1,7	5
24 k40e	0,0038909			1,7	5
25 k50s	0,0049754			1,7	5
26 k50	0,0049886			1,7	5
27 k50e	0,0053646			1,7	5
28 mv20	0,0057566			1,7	5
29 k60s	0,004986			1,7	5
30 k60	0,0048253			1,7	5
31 k60e	0,0049616			1,7	5
32 zb6	0,0054544			1,7	5
33 k70s	0,0055259			1,7	5
34 k70	0,0054829			1,7	5
35 k70e	0,0055564			1,7	5
36 k80s	0,005296			1,7	5
37 k80	0,0051812			1,7	5
38 k80e	0,0052627			1,7	5
39 wegl	0,0040776			1,7	5
40 mv40	0,0040742			1,7	5
41 k100	0,0047381			1,7	5
42 wegr	0,0062735			1,7	5
43 k110s	0,0064498			1,7	5
44 k110	0,0064664			1,7	5
45 k110e	0,0062521			1,7	5
46 w-lvl 2	0,004768			1,7	5
47 mv60	0,0026089			1,7	5
48 k120s	0,0026996			1,7	5
49 k120	0,0027457			1,7	5
50 k120e	0,0027482			1,7	5
51 t2s	0,0027557			1,7	5
52 mangat2	0,0027582			1,7	5
53 t2e	0,0027657			1,7	5
54 wd2	0,0030353			1,7	5
55 eind	0,0033383			1,7	5
56 eindx	0,0033383			1,7	5
57 mg2	0,0066109			1,7	5
58 t2b	0,0035183			1,7	5
59 eind2	0,0018925			1,7	5
60 mg1	0,0081092			1,7	5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [4-3-2019;occ.:2]



**KLH - Horizontal soil stiffness**

Identifiser	KLH1	KLH2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
61 t1b	0.0057924			1.7	5
62 eind1	0.0042956			1.7	5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [4-3-2019;occ.:2]

**KLS - Downward vertical soil stiffness**

Identifiser	KLS1	KLS2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
1 start	0.0016105			2	5
2 knik60s	0.0023262			1.9484	5
3 knik60	0.002804			1.9066	5
4 knik60e	0.0024813			1.8436	5
5 wd1	0.0026254			1.8335	5
6 t1s	0.0036359			1.7589	5
7 mangat1	0.0036638			1.7567	5
8 t1e	0.0036688			1.7567	5
9 k10s	0.0036806			1.7567	5
10 k10	0.0035723			1.7602	5
11 k10e	0.0038135			1.7445	5
12 k20s	0.0043314			1.659	5
13 k20	0.0041901			1.6524	5
14 zb15	0.0044363			1.6369	5
15 k20e	0.0044871			1.6316	5
16 w-lvl 1	0.0045645			1.6	5
17 k30s	0.0044864			1.6	5
18 k30	0.0043426			1.6	5
19 k30e	0.0044326			1.6	5
20 zb12	0.0018937			1.9122	5
21 ontgrl	0.0012296			2	5
22 k40s	0.0012387			2	5
23 k40	0.0012263			2	5
24 k40e	0.0012885			2	5
25 k50s	0.0018429			2	5
26 k50	0.0018678			2	5
27 k50e	0.0020526			2	5
28 mv20	0.0022688			2	5
29 k60s	0.0018485			2	5
30 k60	0.0017805			2	5
31 k60e	0.0018356			2	5
32 zb6	0.0021017			2	5
33 k70s	0.0021409			2	5
34 k70	0.0021378			2	5
35 k70e	0.0021578			2	5
36 k80s	0.0020153			2	5
37 k80	0.001972			2	5
38 k80e	0.0019972			2	5
39 wegl	0.0065295			1.6	5
40 mv40	0.0065245			1.6	5
41 k100	0.0074973			1.6	5
42 wegr	0.0097027			1.6	5
43 k110s	0.0099481			1.6	5
44 k110	0.0099607			1.6	5
45 k110e	0.0096727			1.6	5
46 w-lvl 2	0.0075518			1.6	5
47 mv60	0.0045175			1.6	5
48 k120s	0.0047488			1.6	5
49 k120	0.0048672			1.6	5
50 k120e	0.0048737			1.6	5
51 t2s	0.0048929			1.6	5
52 mangat2	0.0048994			1.6	5
53 t2e	0.0049187			1.6	5
54 wd2	0.0056216			1.6	5
55 eind	0.0060989			1.6	5
56 eindx	0.0060989			1.6	5
57 mg2	0.0066109			1.6	5
58 t2b	0.0035183			1.6	5
59 eind2	0.0018925			1.6	5
60 mg1	0.0081092			1.6	5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [4-3-2019;occ.:2]

**KLS - Downward vertical soil stiffness**

	Identifier	KLS1	KLS2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm²	N/mm²			%
61	t1b	0.0057924			1.6	5
62	eind1	0.0042956			1.6	5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [4-3-2019;occ.:2]

**KLT - Upward vertical soil stiffness**

	Identifier	KLT1	KLT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm²	N/mm²			%
1	start	0.00063605			1.772	5
2	knik60s	0.00066649			1.8364	5
3	knik60	0.00064015			1.8682	5
4	knik60e	0.00056452			1.9	5
5	wd1	0.00055202			1.9	5
6	t1s	0.00046352			1.9	5
7	mangat1	0.00046098			1.9	5
8	t1e	0.00046299			1.9	5
9	k10s	0.00046777			1.9	5
10	k10	0.00045369			1.9	5
11	k10e	0.0004444			1.8997	5
12	k20s	0.00025763			1.8953	5
13	k20	0.00022162			1.8946	5
14	zb15	0.00021518			1.8849	5
15	k20e	0.00020758			1.88	5
16	w-lvl 1	9.8398E-05			1.7729	5
17	k30s	8.5038E-05			1.7511	5
18	k30	7.1886E-05			1.7353	5
19	k30e	7.4345E-05			1.7091	5
20	zb12	9.5571E-05			1.4	5
21	ontgrl	0.000118			1.4	5
22	k40s	0.00011964			1.4	5
23	k40	0.00011563			1.4	5
24	k40e	0.00012888			1.4	5
25	k50s	0.00024431			1.4	5
26	k50	0.0002467			1.4	5
27	k50e	0.00029337			1.4	5
28	mv20	0.0003467			1.4	5
29	k60s	0.00024558			1.4	5
30	k60	0.00022717			1.4	5
31	k60e	0.00024264			1.4	5
32	zb6	0.00030523			1.4	5
33	k70s	0.00031484			1.4	5
34	k70	0.00031004			1.4	5
35	k70e	0.00031897			1.4	5
36	k80s	0.00028444			1.4	5
37	k80	0.00027063			1.4	5
38	k80e	0.00028015			1.4	5
39	wegl	0.00049533			1.9	5
40	mv40	0.00049433			1.9	5
41	k100	0.00071162			1.9	5
42	wegr	0.0013165			1.9	5
43	k110s	0.0013964			1.9	5
44	k110	0.00141			1.9	5
45	k110e	0.0013069			1.9	5
46	w-lvl 2	0.00071799			1.9	5
47	mv60	0.0001778			1.9	5
48	k120s	0.00021082			1.9	5
49	k120	0.00022849			1.9	5
50	k120e	0.00022947			1.9	5
51	t2s	0.0002324			1.9	5
52	mangat2	0.00023338			1.9	5
53	t2e	0.00023633			1.9	5
54	wd2	0.00035318			1.9	5
55	eind	0.00046658			1.9	5
56	eindx	0.00046658			1.9	5
57	mg2	0.0066109			1.9	5
58	t2b	0.0035183			1.9	5
59	eind2	0.0018925			1.9	5
60	mg1	0.0081092			1.895	5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [4-3-2019;occ.:2]

**KLT - Upward vertical soil stiffness**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [4-3-2019;occ.:2]

	Identifiser	KLT1	KLT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
61	t1b	0.0057924			1.8925	5
62	eind1	0.0042956			1.8901	5

**F - Pipe-soil friction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [4-3-2019;occ.:2]

	Identifiser	F1	F2	UNCF-L	UNCF-H	CFA1	CFA2	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
1	start	0.0081563			1.7815			5
2	knik60s	0.0086505			2.0079			5
3	knik60	0.0087437			2.1235			5
4	knik60e	0.008741			2.2978			5
5	wd1	0.0087388			2.3256			5
6	t1s	0.0084848			2.355			5
7	mangat1	0.0084759			2.355			5
8	t1e	0.0084848			2.355			5
9	k10s	0.0085057			2.355			5
10	k10	0.0085114			2.355			5
11	k10e	0.0084173			2.355			5
12	k20s	0.0077591			2.355			5
13	k20	0.0076698			2.355			5
14	zb15	0.0077054			2.355			5
15	k20e	0.0077232			2.355			5
16	w-lvl 1	0.0079732			2.355			5
17	k30s	0.0077966			2.3008			5
18	k30	0.0076504			2.253			5
19	k30e	0.0075599			2.2009			5
20	zb12	0.0064203			1.375			5
21	ontgrl	0.0068136			1.375			5
22	k40s	0.0068409			1.375			5
23	k40	0.0068616			1.375			5
24	k40e	0.00699			1.375			5
25	k50s	0.0085032			1.375			5
26	k50	0.0086385			1.375			5
27	k50e	0.0090215			1.375			5
28	mv20	0.0095321			1.375			5
29	k60s	0.0085174			1.375			5
30	k60	0.0084145			1.375			5
31	k60e	0.0084847			1.375			5
32	zb6	0.0091394			1.375			5
33	k70s	0.0092329			1.375			5
34	k70	0.009303			1.375			5
35	k70e	0.0092727			1.375			5
36	k80s	0.0089311			1.375			5
37	k80	0.0088997			1.375			5
38	k80e	0.008887			1.375			5
39	wegl	0.010182			2.355			5
40	mv40	0.010176			2.355			5
41	k100	0.011405			2.355			5
42	wegr	0.013683			2.355			5
43	k110s	0.013952			2.355			5
44	k110	0.014155			2.355			5
45	k110e	0.01365			2.355			5
46	w-lvl 2	0.011316			2.355			5
47	mv60	0.0075289			2.355			5
48	k120s	0.0076585			2.355			5
49	k120	0.0077241			2.355			5
50	k120e	0.0077277			2.355			5
51	t2s	0.0077383			2.355			5
52	mangat2	0.0077419			2.355			5
53	t2e	0.0077525			2.355			5
54	wd2	0.008134			2.355			5
55	eind	0.0085582			2.355			5
56	eindx	0.0085582			2.355			5
57	mg2	0.0077419			2.355			5
58	t2b	0.0055351			2.355			5
59	eind2	0.0041701			2.355			5
60	mg1	0.0085571			2.355			5

**F - Pipe-soil friction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [4-3-2019;occ.:2]

	Identifier	F1	F2	UNCF-L	UNCF-H	CFA1	CFA2	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
61	t1b	0.0072262			2.355			5
62	eind1	0.0061544			2.355			5

**UF - Displacement at max. soil friction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [4-3-2019;occ.:2]

	Identifier	UF1	UF2	UNCF-L	UNCF-H
		mm	mm		
1	start	5,8779			1,5613
2	knik60s	5,5313			1,5306
3	knik60	5,3544			1,515
4	knik60e	5,0876			1,5
5	wd1	5,0449			1,5
6	t1s	5			1,5
7	mangat1	5			1,5
8	t1e	5			1,5
9	k10s	5			1,5
10	k10	5			1,5
11	k10e	5			1,5
12	k20s	5			1,5
13	k20	5			1,5
14	zb15	5			1,5
15	k20e	5			1,5
16	w-lvl 1	5			1,5
17	k30s	5,0829			1,5
18	k30	5,156			1,5
19	k30e	5,2358			1,5045
20	zb12	6,5			1,6
21	ontgrl	6,5			1,6
22	k40s	6,5			1,6
23	k40	6,5			1,6
24	k40e	6,5			1,6
25	k50s	6,5			1,6
26	k50	6,5			1,6
27	k50e	6,5			1,6
28	mv20	6,5			1,6
29	k60s	6,5			1,6
30	k60	6,5			1,6
31	k60e	6,5			1,6
32	zb6	6,5			1,6
33	k70s	6,5			1,6
34	k70	6,5			1,6
35	k70e	6,5			1,6
36	k80s	6,5			1,6
37	k80	6,5			1,6
38	k80e	6,5			1,6
39	wegl	5			1,5
40	mv40	5			1,5
41	k100	5			1,5
42	wegr	5			1,5
43	k110s	5			1,5
44	k110	5			1,5
45	k110e	5			1,5
46	w-lvl 2	5			1,5
47	mv60	5			1,5
48	k120s	5			1,5
49	k120	5			1,5
50	k120e	5			1,5
51	t2s	5			1,5
52	mangat2	5			1,5
53	t2e	5			1,5
54	wd2	5			1,5
55	eind	5			1,5
56	eindx	5			1,5
57	mg2	5			1,5
58	t2b	5			1,5
59	eind2	5			1,5
60	mg1	5			1,5

**UIF - Displacement at max. soil friction**

Identificer	UF1	UF2	UNCF-L	UNCF-H
	mm	mm		
61 t1b	5			1.5
62 eind1	5			1.5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [4-3-2019;occ.:2]

**RVS - Sub-soil bearing capacity**

Identificer	RVS1	RVS2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
1 start	0.5502			2	5
2 knik60s	0.54989			1.9484	5
3 knik60	0.52731			1.9066	5
4 knik60e	0.48174			1.8436	5
5 wd1	0.47452			1.8335	5
6 t1s	0.42397			1.7589	5
7 mangat1	0.42254			1.7567	5
8 t1e	0.42321			1.7567	5
9 k10s	0.42478			1.7567	5
10 k10	0.42566			1.7602	5
11 k10e	0.414			1.7445	5
12 k20s	0.32378			1.659	5
13 k20	0.30952			1.6524	5
14 zb15	0.30587			1.6369	5
15 k20e	0.30381			1.6316	5
16 w-lvl 1	0.27821			1.6	5
17 k30s	0.27344			1.6	5
18 k30	0.26848			1.6	5
19 k30e	0.27017			1.6	5
20 zb12	0.35369			1.9122	5
21 ontgrl	0.40399			2	5
22 k40s	0.40618			2	5
23 k40	0.40617			2	5
24 k40e	0.41823			2	5
25 k50s	0.54334			2	5
26 k50	0.55285			2	5
27 k50e	0.58726			2	5
28 mv20	0.631			2	5
29 k60s	0.54454			2	5
30 k60	0.53399			2	5
31 k60e	0.54178			2	5
32 zb6	0.59732			2	5
33 k70s	0.60532			2	5
34 k70	0.60935			2	5
35 k70e	0.60872			2	5
36 k80s	0.57956			2	5
37 k80	0.57496			2	5
38 k80e	0.57582			2	5
39 wegl	0.39797			1.6	5
40 mv40	0.39767			1.6	5
41 k100	0.46352			1.6	5
42 wegr	0.59138			1.6	5
43 k110s	0.60634			1.6	5
44 k110	0.61582			1.6	5
45 k110e	0.58955			1.6	5
46 w-lvl 2	0.46028			1.6	5
47 mv60	0.27534			1.6	5
48 k120s	0.28944			1.6	5
49 k120	0.29666			1.6	5
50 k120e	0.29705			1.6	5
51 t2s	0.29823			1.6	5
52 mangat2	0.29862			1.6	5
53 t2e	0.29979			1.6	5
54 wd2	0.34264			1.6	5
55 eind	0.37173			1.6	5
56 eindx	0.37173			1.6	5
57 mg2	0.12212			1.6	5
58 t2b	0.064992			1.6	5
59 eind2	0.03496			1.6	5
60 mg1	0.1498			1.6	5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [4-3-2019;occ.:2]

**RVS - Sub-soil bearing capacity**

Identifier	RVS1	RVS2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
61 t1b	0.107			1.6	5
62 eind1	0.079352			1.6	5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [4-3-2019;occ.:2]

**RVT - Ultimate top-soil reaction**

Identifier	RVT1	RVT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
1 start	0.031584			1.5	5
2 knik60s	0.032947			1.5	5
3 knik60	0.032234			1.5	5
4 knik60e	0.029902			1.5	5
5 wd1	0.029508			1.5	5
6 t1s	0.02666			1.5	5
7 mangat1	0.026576			1.5	5
8 t1e	0.02665			1.5	5
9 k10s	0.026825			1.5	5
10 k10	0.026644			1.5	5
11 k10e	0.026038			1.5	5
12 k20s	0.018505			1.5	5
13 k20	0.016963			1.5	5
14 zb15	0.016945			1.5	5
15 k20e	0.016808			1.5	5
16 w-lvl 1	0.014023			1.5	5
17 k30s	0.013493			1.5	5
18 k30	0.012866			1.5	5
19 k30e	0.013153			1.5	5
20 zb12	0.015212			1.5	5
21 ontgrl	0.017198			1.5	5
22 k40s	0.017338			1.5	5
23 k40	0.017192			1.5	5
24 k40e	0.018108			1.5	5
25 k50s	0.02641			1.5	5
26 k50	0.026869			1.5	5
27 k50e	0.029458			1.5	5
28 mv20	0.032562			1.5	5
29 k60s	0.026492			1.5	5
30 k60	0.025583			1.5	5
31 k60e	0.026303			1.5	5
32 zb6	0.030165			1.5	5
33 k70s	0.030731			1.5	5
34 k70	0.030798			1.5	5
35 k70e	0.030972			1.5	5
36 k80s	0.028918			1.5	5
37 k80	0.028393			1.5	5
38 k80e	0.028657			1.5	5
39 wegl	0.028898			1.5	5
40 mv40	0.028856			1.5	5
41 k100	0.037975			1.5	5
42 wegr	0.058419			1.5	5
43 k110s	0.060984			1.5	5
44 k110	0.062298			1.5	5
45 k110e	0.058109			1.5	5
46 w-lvl 2	0.037678			1.5	5
47 mv60	0.014061			1.5	5
48 k120s	0.015832			1.5	5
49 k120	0.016748			1.5	5
50 k120e	0.016797			1.5	5
51 t2s	0.016947			1.5	5
52 mangat2	0.016997			1.5	5
53 t2e	0.017147			1.5	5
54 wd2	0.022739			1.5	5
55 eind	0.027018			1.5	5
56 eindx	0.027018			1.5	5
57 mg2	0.12212			1.5	5
58 t2b	0.064992			1.5	5
59 eind2	0				5
60 mg1	0.1498			1.5	5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [4-3-2019;occ.:2]

**RVT - Ultimate top-soil reaction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [4-3-2019;occ.:2]

Identifiser	RVT1	RVT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
61 t1b	0,107			1,5	5
62 eind1	0,079352			1,5	5

**RH - Ultimate hor. soil reaction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [4-3-2019;occ.:2]

Identifiser	RH1	RH2	UNCF-L	UNCF-H	CFH1	CFH2	VARAR
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
1 start	0,14616			1,8976			5
2 knik60s	0,1451			1,9491			5
3 knik60	0,14071			1,9746			5
4 knik60e	0,13185			2			5
5 wd1	0,13072			2			5
6 t1s	0,12235			2			5
7 mangat1	0,1221			2			5
8 t1e	0,12231			2			5
9 k10s	0,12283			2			5
10 k10	0,12252			2			5
11 k10e	0,1205			1,9997			5
12 k20s	0,1034			1,9962			5
13 k20	0,10076			1,9957			5
14 zb15	0,1019			1,9879			5
15 k20e	0,10231			1,984			5
16 w-lvl 1	0,10951			1,8983			5
17 k30s	0,10851			1,8809			5
18 k30	0,10737			1,8682			5
19 k30e	0,10884			1,8473			5
20 zb12	0,12941			1,6			5
21 ontgrl	0,13925			1,6			5
22 k40s	0,13994			1,6			5
23 k40	0,14008			1,6			5
24 k40e	0,14373			1,6			5
25 k50s	0,18379			1,6			5
26 k50	0,18692			1,6			5
27 k50e	0,19816			1,6			5
28 mv20	0,21264			1,6			5
29 k60s	0,18418			1,6			5
30 k60	0,1808			1,6			5
31 k60e	0,18328			1,6			5
32 zb6	0,20148			1,6			5
33 k70s	0,20412			1,6			5
34 k70	0,20544			1,6			5
35 k70e	0,20525			1,6			5
36 k80s	0,19563			1,6			5
37 k80	0,19414			1,6			5
38 k80e	0,1944			1,6			5
39 wegl	0,15062			2			5
40 mv40	0,1505			2			5
41 k100	0,17753			2			5
42 wegr	0,23174			2			5
43 k110s	0,23825			2			5
44 k110	0,24229			2			5
45 k110e	0,23095			2			5
46 w-lvl 2	0,17613			2			5
47 mv60	0,096371			2			5
48 k120s	0,099722			2			5
49 k120	0,10142			2			5
50 k120e	0,10152			2			5
51 t2s	0,10179			2			5
52 mangat2	0,10189			2			5
53 t2e	0,10216			2			5
54 wd2	0,11212			2			5
55 eind	0,12331			2			5
56 eindx	0,12331			2			5
57 mg2	0,12212			2			5
58 t2b	0,064992			2			5
59 eind2	0,03496			2			5
60 mg1	0,1498			1,996			5

**RH - Ultimate hor. soil reaction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [4-3-2019;occ.:2]

Identifier	RH1	RH2	UNCF-L	UNCF-H	CFH1	CFH2	VARAR
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
61 t1b	0.107			1.994			5
62 eind1	0.079352			1.9921			5

**UNCER - Uncertainty factors**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [4-3-2019;occ.:2]

	U-KLH	U-KLS	U-KLT	U-F	U-UF	U-RVS	U-RVT	U-RH
1 High	High	High	High	High	High	High	High	High

**ENDPTS - Start/end nodes boundary conditions**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [29-10-2018;occ.:1]

IDENT	COND	STATE
1 Start	Fixed	Open
2 EindX	Infinite	Open
3 Eind1	Free	Closed
4 Eind2	Free	Closed

**PRESS - Internal overpressure**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [29-10-2018;occ.:1]

Identifier	PRESS1	PRESS2
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1 Start	1.1	

**TEMP - Temperature differences**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [29-10-2018;occ.:1]

Identifier	T-ABS1	T-REF1	T-ABS2	T-REF2
	°C	°C	°C	°C
1 Start	20	10		

**SETZ - Soil displacement in Z-direction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [5-11-2018;occ.:2]

	AX-L	SETZ1	UNCF1	SETZ2	UNCF2
	mm	mm		mm	
1	24600	-17.9	2		
2	26600	-17.9	2		
3	42600	-17.9	2		
4	58600	-17.9	2		
5	74600	-17.9	2		
6	81190	-18.1	2		
7	84700	-20.1	2		
8	96240	-70	2		
9	102900	-136	2		
10	113480	-180	2		
11	121720	-206	2		
12	127570	-248	2		
13	143150	-52	2		
14	159600	-57	2		
15	181600	-57	2		
16	203050	-58	2		
17	205386	-58	2	-55.96	2
18	206486	-55.96	2	-122.22	2
19	207586	-122.22	2		

**SUBSIDE - Vertical soil subsidence**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [29-10-2018;occ.:1]

Identifier	SUBZMAX	UNCF	LENGTH	SINESHape
	mm		mm	
1 OntgrL	-15	1.5	18500	Block

**SOILCTL - Non-linear elastic soil iteration control**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [29-10-2018;occ.:1]

	MAXSIT	MERPTS	MERFLDS
1	20	0	0



**GEOMCTL - Geometrically non-linear iteration control**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [29-10-2018;occ.:1]

	MAXGIT	RELDISEQ	ABSDISEQ	ROTINCR
				RAD
1	50	0.0001	1E-06	0.1

**BENDFAC - Bend stiffness reduction & stress intensification**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [4-3-2019;occ.:3]

	FROM	TO	RADIUS	DOUT	WALL	PRESS	KL	K	SIX	SIF	L1	R/r
			mm	mm	mm	N/mm <sup>2</sup>	N/				mm	
1	knik60s	knik60e	30.515.407	1.219.000	12.00000	1.265		1.0851948	2.485922	2.485922	321.5269	8.128852
2	k10s	k10	3.698.250	1.219.000	15.20000	1.265		.2914566	3.761044	3.761044	327.6097	6.144293
3	k10	182	3.698.864	1.253.996	49.99557	1.265		.6248713	2.727399	2.727399	327.6641	6.144293
4	182	183	3.698.250	1.219.006	15.20569	1.265		.2915045	3.761501	3.761501	327.6097	6.144293
5	183	k10e	3.698.250	1.219.000	15.20000	1.265		.2914566	3.761044	3.761044	327.6097	6.144293
6	k20s	k20	9.539.186	1.219.000	15.20000	1.265		.8628000	1.481942	1.481942	310.7539	15.848456
7	k20	198	9.540.771	1.253.999	49.99940	1.265		.9870533	1.409793	1.409793	310.8055	15.848456
8	198	zb15	9.539.186	1.219.001	15.20077	1.265		.8627953	1.481996	1.481996	310.7539	15.848456
9	zb15	k20e	9.539.186	1.219.000	15.20000	1.265		.8628000	1.481942	1.481942	310.7539	15.848456
10	k30s	k30	8.431.626	1.219.000	15.20000	1.265		.7702536	1.682505	1.682505	312.0894	14.008350
11	k30	214	8.433.027	1.253.999	49.99923	1.265		.9553035	1.537900	1.537900	312.1413	14.008350
12	214	215	8.431.626	1.219.001	15.20099	1.265		.7702524	1.682578	1.682578	312.0894	14.008350
13	215	k30e	8.431.626	1.219.000	15.20000	1.265		.7702536	1.682505	1.682505	312.0894	14.008350
14	k40s	k40	7.925.130	1.219.000	15.20000	1.265		.7250706	1.792054	1.792054	312.8294	13.166855
15	k40	240	7.926.447	1.253.999	49.99912	1.265		.9374713	1.606314	1.606314	312.8814	13.166855
16	240	241	7.925.130	1.219.001	15.20113	1.265		.7250715	1.792139	1.792139	312.8294	13.166855
17	241	k40e	7.925.130	1.219.000	15.20000	1.265		.7250706	1.792054	1.792054	312.8294	13.166855
18	k50s	k50	3.875.471	1.219.000	15.20000	1.265		.3105498	3.600227	3.600227	326.2879	6.438728
19	k50	257	3.876.114	1.253.996	49.99600	1.265		.6475071	2.640876	2.640876	326.3421	6.438728
20	257	258	3.875.471	1.219.005	15.20514	1.265		.3105938	3.600645	3.600645	326.2879	6.438728
21	258	k50e	3.875.471	1.219.000	15.20000	1.265		.3105498	3.600227	3.600227	326.2879	6.438728
22	k60s	k60	5.517.885	1.219.000	15.20000	1.265		.4872862	2.568906	2.568906	318.3109	9.167444
23	k60	274	5.518.802	1.253.998	49.99812	1.265		.8078707	2.068236	2.068236	318.3638	9.167444
24	274	275	5.517.885	1.219.002	15.20241	1.265		.4873049	2.569105	2.569105	318.3109	9.167444
25	275	k60e	5.517.885	1.219.000	15.20000	1.265		.4872862	2.568906	2.568906	318.3109	9.167444
26	k70s	k70	5.196.539	1.219.000	15.20000	1.265		.4531731	2.723069	2.723069	319.4505	8.633558
27	k70	291	5.197.402	1.253.998	49.99787	1.265		.7825236	2.156196	2.156196	319.5036	8.633558
28	291	292	5.196.539	1.219.003	15.20274	1.265		.4531956	2.723297	2.723297	319.4505	8.633558
29	292	k70e	5.196.539	1.219.000	15.20000	1.265		.4531731	2.723069	2.723069	319.4505	8.633558
30	k80s	k80	45.022.518	1.219.000	15.20000	1.265		1.8507148	1.000000	1.000000	302.9752	74.800662
31	k80	308	45.029.999	1.254.000	49.99997	1.265		1.1163898	1.000000	1.000000	303.0256	74.800662
32	308	309	45.022.518	1.219.000	15.20003	1.265		1.8507110	1.000000	1.000000	302.9752	74.800662
33	309	k80e	45.022.518	1.219.000	15.20000	1.265		1.8507148	1.000000	1.000000	302.9752	74.800662
34	k110s	k110	10.372.151	1.219.000	15.20000	1.265		.9268688	1.358393	1.358393	309.9431	17.232350
35	k110	396	10.373.875	1.253.999	49.99950	1.265		1.0058339	1.328742	1.328742	309.9946	17.232350
36	396	397	10.372.151	1.219.001	15.20065	1.265		.9268622	1.358436	1.358436	309.9431	17.232350
37	397	k110e	10.372.151	1.219.000	15.20000	1.265		.9268688	1.358393	1.358393	309.9431	17.232350
38	k120s	k120e	5.781.647	1.219.000	15.20000	1.265		.5149636	2.454324	2.454324	317.4754	9.605661

**SOILNB - Neutral or real top-soil load**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [4-3-2019;occ.:2]

	Identifier	NB1	UNCF1	LOADF1	NB2	UNCF2	LOADF2
		N/mm <sup>2</sup>			N/mm <sup>2</sup>		
1	start	0.022266		1.1		1	
2	knik60s	0.023165		1.1		1	
3	knik60	0.022911		1.1		1	
4	knik60e	0.021862		1.1		1	
5	wd1	0.021679		1.1		1	
6	t1s	0.020321		1.1		1	
7	mangat1	0.02028		1.1		1	
8	t1e	0.020321		1.1		1	
9	k10s	0.020418		1.1		1	
10	k10	0.020372		1.1		1	
11	k10e	0.02001		1.1		1	
12	k20s	0.0153		1.1		1	
13	k20	0.01423		1.1		1	
14	zb15	0.014183		1.1		1	
15	k20e	0.014081		1.1		1	
16	w-lvl 1	0.011981		1.1		1	
17	k30s	0.011573		1.1		1	
18	k30	0.01111		1.1		1	

**SOILNB - Neutral or real top-soil load**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [4-3-2019;occ.:2]

Identifier	NB1 N/mm <sup>2</sup>	UNCF1	LOADF1	NB2 N/mm <sup>2</sup>	UNCF2	LOADF2
19 k30e	0.011304	1.1	1			
20 zb12	0.012829	1.1	1			
21 ontgrl	0.014256	1.1	1			
22 k40s	0.014355	1.1	1			
23 k40	0.014281	1.1	1			
24 k40e	0.014896	1.1	1			
25 k50s	0.020391	1.1	1			
26 k50	0.020734	1.1	1			
27 k50e	0.022275	1.1	1			
28 mv20	0.024132	1.1	1			
29 k60s	0.020442	1.1	1			
30 k60	0.01992	1.1	1			
31 k60e	0.020324	1.1	1			
32 zb6	0.022704	1.1	1			
33 k70s	0.023044	1.1	1			
34 k70	0.02315	1.1	1			
35 k70e	0.023188	1.1	1			
36 k80s	0.021946	1.1	1			
37 k80	0.021683	1.1	1			
38 k80e	0.021786	1.1	1			
39 wegl	0.022175	1.1	1			
40 mv40	0.022149	1.1	1			
41 k100	0.027662	1.1	1			
42 wegr	0.038331	1.1	1			
43 k110s	0.039573	1.1	1			
44 k110	0.040352	1.1	1			
45 k110e	0.038179	1.1	1			
46 w-lvl 2	0.027407	1.1	1			
47 mv60	0.012069	1.1	1			
48 k120s	0.013383	1.1	1			
49 k120	0.014049	1.1	1			
50 k120e	0.014085	1.1	1			
51 t2s	0.014193	1.1	1			
52 mangat2	0.014229	1.1	1			
53 t2e	0.014337	1.1	1			
54 wd2	0.018207	1.1	1			
55 eind	0.02066	1.1	1			
56 eindx	0.02066	1.1	1			
57 mg2	0	1.1	1			
58 t2b	0	1.1	1			
59 eind2	0		1			
60 mg1	0	1.1	1			
61 t1b	0	1.1	1			
62 eind1	0	1.1	1			

**TOPLOAD - Extra loads on top-soil**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [29-10-2018;occ.:1]

Identifier	TOPLOAD1 N/mm <sup>2</sup>	LOADF1	TOPLOAD2 N/mm <sup>2</sup>	LOADF2
1 k10	0.009	1.35		
2 k20	0.018	1.35		
3 k30	0.022	1.35		
4 k40	0.018	1.35		
5 k60	0.011	1.35		
6 WegL	0.011	1.35	0.022	
7 WegR	0.01	1.35	0.005	
8 MV60	0.022	1.35	0.044	
9 EindX	0.02	1.35		
10 MG2	0	1.35		

**SECTION - Cross-sections to be calculated**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [29-10-2018;occ.:1]

Start Identifier	End Identifier	TOPLOAD	S-ALLOW N/mm <sup>2</sup>
1 Start	WD1	Yes	372
2 WD1	WD2	Yes	638
3 WD2	Eind1	Yes	372

**RLDPLMX - Maximum radial deformations (loadcase bc4)**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [4-3-2019;occ.:3]

	ELE	WGROUN-	WBEND-M	WELAS-M	WPLAS-	W+WD/D-	WTOTAL-M	RG/KLG-	KLG-	AX_BUCKL-	EXT_PRESS-
		mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	N/m	% critical	% critical
131	131	1,85760179	1,029153E+0	2,14681073		,30	2,33228919				7,4
167	167	-8,96096724	-2,078662E-2	-8,95777018		-1,29	-8,81211522				17,6
172	172	-3,85413424	2,257240E+0	-5,67749826		,86	-5,53184330				5,5
173	173	-2,52695918	2,774010E+0	4,82722526		,79	4,97288022				7,8
177	177	-1,22683293	3,120701E+0	4,19918459		,69	4,34483956				11,6
183	183	-,75786621	2,916812E+0	3,58934000		,59	3,73499496				42,0
238	238	-,36555136	-8,787218E-1	-,56150047		-,09	,67669416				23,0
290	290	-,45555822	5,973019E-1	1,02563034		,16	1,06992605				,5
466	466	-5,50093857	1,831128E-5	-5,50095688		-,87	5,37687872				2,6

**CEPSM - Maximum check strains (loadcase bc4)**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [4-3-2019;occ.:3]

	ELE	e12max-T-	e12min-T-	eX-S-M	eF-S-M	eEq-E-M	eEq-P-	eEq-S-M	eXS-M	eFS-M	eEqS-M	CHKE
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	1	,7538	-,7303	-,7928	,4399	1,0011		1,0011	11,3	6,3	14,3	7,00
62	62	,5872	-,0002	,0569	,4638	,4570		,4570	,8	6,6	6,5	7,00
69	69	,5792	-,0061	,0531	,4536	,4504		,4504	,8	6,5	6,4	7,00
153	153	,7834	-,4297	-,5749	,5377	,8098		,8098	11,5	10,8	16,2	5,00
183	183	1,9702	-1,5877	-1,8084	1,8470	2,0917		2,0917	36,2	36,9	41,8	5,00
253	253	1,4239	-,8224	1,2003	1,3500	1,3586		1,3586	24,0	27,0	27,2	5,00
273	273	,3293		-,1204	,2044	,2146		,2146	2,4	4,1	4,3	5,00
469	470	,3288		,1125	,2349	,2035		,2035	1,6	3,4	2,9	7,00

**WARNING - Warnings**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [occ.:0]

	SESSION	FUNCTION	IDENT	MESSAGE
1	3	FUNCT200	W200/6	Vertical element or node axis
2	9	FUNCT320	W320/2	Large rh/(rvt,rvs) ratio
3	9	FUNCT320	W320/3	Extreme kllh/(kllt,klls) ratio
4	9	FUNCT320	W320/6	Sub > hor > top not satisfied
5	9	FUNCT500	W500/T*	No mat-nln calculation at tees
6	9	FUNCT610	W610/18	Addcros stop at iter.101 diseq .61766e-1
7	9	FUNCT610	W610/18	Addcros stop at iter.101 diseq .32930e-1
8	9	FUNCT610	W610/9	Moment addcros gt 25% of infor
9	9	FUNCT610	W610/8	Closed end assumed to be rigid at redist
10	9	FUNCT620	W620/F*	Element 171 is tee, no mat-nln
11	9	FUNCT620	W620/F*	Element 172 is tee, no mat-nln
12	9	FUNCT620	W620/F*	Element 418 is tee, no mat-nln
13	9	FUNCT620	W620/F*	Element 419 is tee, no mat-nln
14	9	FUNCT620	W620/F*	Element 469 is tee, no mat-nln
15	9	FUNCT620	W620/F*	Element 472 is tee, no mat-nln

**STATUS - Program status summary**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [occ.:0]

PROPERTY	VALUE
Program	Ple4Win
Version	V4.5.0.18070
License	41936038 [CmDongle 2-1595724]
Modules included	KSAGNLFTOERCYWT1T8QOVMJUZX0HX1IPD
Project name	
Project location & filename	\\RKCSERVER\Team-DC\PL 482 Vuren\Berekeningen Serie 2\Vur
Project description	Herberekening van de Afgedamde Maasleiding t.p.v. de dijk kruising
Analysis type	General
Project phase	Initial
Project parent	---
Secondary project	---
Units	Millimeter, Newton, Second
Separators	Thousands: '.'Decimal: ','
Bend angle	Limited
Geometry model	Non-linear
Section model	Ovalising
Material model	Non-linear
Soil ring-stiffening	Ignored
Soil model	Standard

<i>STATUS - Program status summary</i>		<i>Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [occ.:0]</i>
PROPERTY	VALUE	
Ovalisation redistribution	Allowed	
Loading redistribution	Applied	
Warning table	15 items (warnings and messages)	
2 Pipeline Configuration (occurrence 1)	Pipeline origin [ORIGIN] (status 'Locked Data', occurrence 1, last m	
	Pipeline polygon points [POLYDIF] (status 'Locked Data', occurenc	
	Pipeline connections [CONNECT] (status 'Locked Data', occurrence	
	Pipeline Tee configurations [TEECONF] (status 'Locked Data', occu	
	Ground level [G-LEVEL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last m	
	(Ground) water level [W-LEVEL] (status 'Locked Data', occurrence 1	
	Additional idents [ADIDENT] (status 'Locked Data', occurrence 1, las	
	Polygon point data [SHAPEP] (status 'Locked Data', occurrence 1, l	
	Bend location data [SHAPEB] (status 'Locked Data', occurrence 1, l	
	Polygon subdivision data [LENGTH] (status 'Locked Data', occuren	
	Nodes [NODES] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 2	
	Elements of pipeline [ELEMENTS] (status 'Locked Data', occurrence	
	Connections data [CONDATA] (status 'Locked Data', occurrence 1, l	
	Tee configuration data [T-CDATA] (status 'Locked Data', occurrence	
	Mitre bends configuration data [M-CDATA] (status 'Locked Data', o	
	Vertical profile data [PROFILE] (status 'Locked Data', occurrence 1,	
	Identification names [IDENTS] (status 'Locked Data', occurrence 1, l	
	Element/node groups [AVGRPS] (status 'Locked Data', occurrence	
3,1 Pipe Data (occurrence 2)	Material location [MATL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last m	
	Isotropic materials [ISTROP] (status 'Locked Data', occurrence 2, la	
	Outer diameter [DIAM] (status 'Locked Data', occurrence 1, last mod	
	Wall thicknesses [WALL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last m	
	Tee specifications [TEESPEC] (status 'Locked Data', occurrence 1, l	
	Deadweight [DEADW] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modi	
	Pipe material data [PIPEMAT] (status 'Locked Data', occurrence 2, l	
	Pipe dimension data [PIPEDIM] (status 'Locked Data', occurrence 2,	
	Tee data [T-SDATA] (status 'Locked Data', occurrence 2, last modifi	
3,2 Soil Data (occurrence 2)	Horizontal soil stiffness [KLH] (status 'Locked Data', occurrence 2, la	
	Downward vertical soil stiffness [KLS] (status 'Locked Data', occure	
	Upward vertical soil stiffness [KLT] (status 'Locked Data', occurenc	
	Pipe-soil friction [F] (status 'Locked Data', occurrence 2, last modifie	
	Displacement at max. soil friction [UF] (status 'Locked Data', occure	
	Sub-soil bearing capacity [RVS] (status 'Locked Data', occurrence 2,	
	Ultimate top-soil reaction [RVT] (status 'Locked Data', occurrence 2,	
	Ultimate hor. soil reaction [RH] (status 'Locked Data', occurrence 2, l	
	Uncertainty factors [UNCER] (status 'Locked Data', occurrence 2, la	
	Lateral soil mechanical data [LATSOIL] (status 'Locked Data', occur	
	Pipe-soil friction data [AXSOIL] (status 'Locked Data', occurrence 2,	
	Soil layers [SLAYER] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modif	
	Soil profiles [SPROF] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modif	
	Soil profile layers [SPRLAY] (status 'Locked Data', occurrence 1, las	
	Soil profile locations [SLOC] (status 'Locked Data', occurrence 1, las	
	General soil settings [SSET] (status 'Locked Data', occurrence 1, las	
3,3 Model Boundary (occurrence 2)	Start/end nodes boundary conditions [ENDPTS] (status 'Locked Dat	
	Conditions along pipe axis [CONDI] (status 'Locked Data', occurenc	
4,2 Pipeline Loading (occurrence 3)	Internal overpressure [PRESS] (status 'Locked Data', occurrence 1,	
	Temperature differences [TEMP] (status 'Locked Data', occurrence	
	Soil displacement in Z-direction [SETZ] (status 'Locked Data', occur	
	Vertical soil subsidence [SUBSIDE] (status 'Locked Data', occurenc	
	Specified pipeline loads [LOADATA] (status 'Locked Data', occuren	
5 Pipeline Behaviour (occurrence 3)	Loading combinations [LOCASE] (status 'Locked Data', occurrence	
	Non-linear elastic soil iteration control [SOILCTL] (status 'Locked D	
	Geometrically non-linear iteration control [GEOMCTL] (status 'Lock	
	Displacements [DISPLAC] (status 'Locked Data', occurrence 3, last	
	Overall internal forces [INTFOR] (status 'Locked Data', occurrence 3	
	Overall soil reaction forces [SOILREA] (status 'Locked Data', occur	
	Overall external support reaction forces [SUPREA] (status 'Locked	
	Bend stiffness reduction & stress intensification [BENDFAC] (status	
	Bend elements data [BENDELM] (status 'Locked Data', occurrence	
	Tee data with stress intensification factors [TEEFAC] (status 'Locke	
	Global node coordinates of displaced pipeline [DISCOOR] (status '	
	Primary cross-sectional deformations [DEFORM] (status 'Locked D	
	Iteration data [ITMON] (status 'Locked Data', occurrence 3, last mod	

STATUS - Program status summary

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v4.1P' [occ.:0]

PROPERTY	VALUE
	Iteration check list [ITCHECS] (status 'Locked Data', occurrence 3, I
	Specified loads active on elements [E-LOAD] (status 'Locked Data',
	Applied settlement loads [S-LOAD] (status 'Locked Data', occurrence
6.1 Cross-Section Data (occurrence 3)	Neutral or real top-soil load [SOILNB] (status 'Locked Data', occur
	Extra loads on top-soil [TOPLoad] (status 'Locked Data', occurrence
	Horizontal soil support / Vertical soil load [LAMBDA] (status 'Locked
	Soil support angle functions [SUPANG] (status 'Locked Data', occur
	Cross-sectional data [CROSDAT] (status 'Locked Data', occurrence
	Additional cross-sectional loads [ADDCROS] (status 'Locked Data',
	Additional support forces [ADDSUP] (status 'Locked Data', occur
	Resulting pipeline spans [SPANS] (status 'Locked Data', occurrence
	Deformation redistribution (soil loads ) [W-REDIS] (status 'Locked
	Deformation redistribution (soil loads w. toploads) [T-REDIS] (statu
	Deformation redistribution (bend ovalisation) [B-REDIS] (status 'Loc
6.2 Cross-Section Behaviour (General, Material Non-Linear) (occurrence 3)	Cross-sections to be calculated [SECTION] (status 'Locked Data', o
	General cross-sectional data [CSGEN] (status 'Locked Data', occur
	Cross-sectional loading data [CSLOAD] (status 'Locked Data', occu
	Maximum radial deformations [RLDPLMX] (status 'Locked Data', oc
	Maximum check strains [CEPSM] (status 'Locked Data', occurrence
	Maximum strains at inner wall face [INEPSM] (status 'Locked Data',
	Maximum mid plane of wall strains [MIDEPSM] (status 'Locked Dat
	Maximum strains at outer wall face [OUTEPSM] (status 'Locked Dat
	Maximum check stresses [CSIGM] (status 'Locked Data', occurrence
	Maximum stresses at inner wall face [INSIGM] (status 'Locked Data
	Maximum mid plane of wall stresses [MIDSIGM] (status 'Locked Da
	Maximum stresses at outer wall face [OUTSIGM] (status 'Locked D
	Detailed radial deformations [RLDSPLC] (status 'Locked Data', occ
	Detailed check strains [CEPS] (status 'Locked Data', occurrence 3, I
	Detailed strains at inner wall face [INEPS] (status 'Locked Data', oc
	Detailed mid plane of wall strains [MIDEPS] (status 'Locked Data', o
	Detailed strains at outer wall face [OUTEPS] (status 'Locked Data', o
	Detailed check stresses [CSIG] (status 'Locked Data', occurrence 3,
	Detailed stresses at inner wall face [INSIG] (status 'Locked Data', o
	Detailed mid plane of wall stresses [MDSIG] (status 'Locked Data',
	Detailed stresses at outer wall face [OUTSIG] (status 'Locked Data'

### BIJLAGE D4: Vuren BC3 v5P, materiaalplasticiteit, zettingen x 2 van 2119

SETZ - Soil displacement in Z-direction

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v5.1P' [5-11-2018;occ.:2]

	AX-L	SETZ1	UNCF1	SETZ2	UNCF2
	mm	mm		mm	
1	24600	-34,1	2		
2	26600	-35,3	2		
3	42600	-98,6	2		
4	58600	-155,3	2		
5	74600	-215,9	2		
6	81190	-258,7	2		
7	84700	-265,7	2		
8	96240	-347	2		
9	102900	-389	2		
10	113480	-210	2		
11	121720	-228	2		
12	127570	-276	2		
13	143150	-85	2		
14	159600	-81	2		
15	181600	-81	2		
16	203050	-82	2		
17	205386	-82	2	-81,5	2
18	206486	-81,5	2	-375,6	2
19	207586	-375,6	2		

DISPLAC - Displacements (loadcase bc4 g-nln/m-nln iter 15)

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v5.1P' [4-3-2019;occ.:3]

	NO	U-X	U-Y	U-Z	PHI-X	PHI-Y	PHI-Z	U-AX	PHI-AX	U-LAT	PHI-L
		mm	mm	mm	RAD	RAD	RAD	mm	RAD	mm	°
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	39	8,0079.E-1	-1,212.E+0	-174,0065...	6,7024.E-3	5,6781.E-3	-8,13.E-05	1,6152.E+0	-1,566.E-3	174,005144	270
52	52	-1,280.E+0	-3,191.E+0	-262,0582...	5,6257.E-3	6,2072.E-3	-4,94.E-04	2,1901.E+0	-2,566.E-3	262,071640	269
57	57	-1,926.E+0	-3,708.E+0	-275,1954...	5,3672.E-3	6,2991.E-3	-4,26.E-04	2,2679.E+0	-2,775.E-3	275,217870	269
106	106	-1,176.E+0	-5,581.E+0	-405,6340...	2,7393.E-3	8,1649.E-3	6,722.E-05	-1,802.E+0	-1,153.E-3	405,670180	269
143	143	1,8836.E+0	-3,895.E+0	-531,0257...	1,6082.E-3	1,1494.E-2	3,981.E-04	-2,316.E+0	1,6160.E-3	531,038311	270
146	146	2,1334.E+0	-3,465.E+0	-542,6135...	1,5179.E-3	1,1534.E-2	4,440.E-04	-2,139.E+0	1,5265.E-3	542,624616	270
150	150	2,4771.E+0	-2,841.E+0	-558,3709...	1,4020.E-3	1,1470.E-2	4,632.E-04	-1,960.E+0	1,4110.E-3	558,380232	270
167	167	6,1635.E+0	4,9832.E-1	-676,6117...	6,7541.E-4	-1,781.E-4	3,671.E-05	-7,136.E+0	6,7600.E-4	676,602419	270
181	181	7,0002.E+0	5,4338.E-1	-648,4109...	5,0698.E-4	-9,593.E-3	1,859.E-05	-5,649.E+1	5,0665.E-4	645,983630	270
273	273	-3,965.E+1	-9,565.E-3	-423,5225...	1,6000.E-4	-1,375.E-2	5,848.E-06	-5,025.E+1	1,6006.E-4	422,395856	270
298	298	-3,133.E+1	6,5669.E-3	-328,6165...	1,2329.E-4	-1,796.E-2	-1,60.E-05	1,8436.E+1	1,2425.E-4	329,592249	270
394	394	-2,666.E+0	1,0333.E-2	-173,1917...	5,9641.E-5	-1,923.E-3	-8,42.E-06	2,7161.E+1	6,0197.E-5	171,069346	270
472	472	6,6487.E+0	5,2235.E-1	-662,7271...	5,5456.E-4	-5,816.E-3	1,245.E-05	-6,627.E+2	1,2446.E-5	2,771794	88
473	473	2,2558.E+0	1,0471.E-1	-662,6178...	5,5600.E-4	-5,844.E-3	1,242.E-05	-6,626.E+2	1,2419.E-5	1,643901	274

RDLPLMX - Maximum radial deformations (loadcase bc4)

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v5.1P' [4-3-2019;occ.:3]

	ELE	WGROUND-	WBEND-M	WELAS-M	WPLAS-M	W+WD/D	WTOTAL-M	RG/KLG	KLG	AX_BUCKL	EXT_PRESS
		mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	N/m	% critical	% critical
1	1	-2,3352716	3,415388E-1	-2,6695279	-0,03939646	-,41	2,6938948				43,2
126	126	-4,5084071	1,179409E+0	4,0906555		-,62	4,2761340				20,2
129	129	-4,8782512	1,117649E+0	-4,4170934		-,66	4,5186090				19,8
150	150	3,2442885	4,866013E-2	3,1962517		-,52	3,3817301				2,4
172	172	-1,0834048	2,733397E+0	3,6919589		,61	3,8376139				133,5
174	174	-6,075330	3,348598E+0	3,9100318		,64	4,0556868				10,5
224	224	-13,1281510	1,771139E-1	-13,3047523		-1,88	-13,1590974				14,3
253	253	-,1750491	-2,711563E+0	-2,5660880		-,42	-2,4204330				50,9
346	346	-9,6858397	7,306767E-2	-9,4161260	-1,3521657	-1,40	-9,5822933				1,8
413	413	-2,7021072	-8,836447E-1	-1,9455906		-,31	1,8383326				,0

CEPSM - Maximum check strains (loadcase bc4)

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v5.1P' [4-3-2019;occ.:3]

	ELE	e12max-T	e12min-T	eX-S-M	eF-S-M	eEq-E-M	eEq-P	eEq-S-M	eXS-M	eFS-M	eEq-S-M	CHKE
		‰	‰	‰	‰	‰	‰	‰	‰	‰	‰	‰
1	1	1,0992	-1,1313	-1,2040	,4625	1,1643	,2511	1,4153	17,2	6,6	20,2	7,00
7	7	,5600	-,0124	-,0661	,4401	,4320		,4320	,9	6,3	6,2	7,00
95	95	,6008	-,0002	,1363	,4972	,4617		,4617	1,9	7,1	6,6	7,00
153	153	,7218	-,0638	,2458	,6676	,5851		,5851	4,9	13,4	11,7	5,00
171	171	5,5087	-5,1271	5,4906	,5227	5,3554		5,3554	109,8	10,5	107,1	5,00
172	172	5,5199	-5,1260	5,5042	,5593	5,3681		5,3681	110,1	11,2	107,4	5,00
239	239	,3633		,2104	,2294	,2419		,2419	4,2	4,6	4,8	5,00
290	290	,3380	-,0148	,2271	,2301	,2074		,2074	4,5	4,6	4,1	5,00
346	346	2,7358	-2,1665	-1,1131	2,7591	1,9952	,5683	2,5635	22,3	55,2	51,3	5,00
360	360	1,7365	-1,0722	-1,4749	1,3751	1,8894		1,8894	29,5	27,5	37,8	5,00
471	471	,3484		,1174	,2560	,2220		,2220	1,7	3,7	3,2	7,00

## WARNING - Warnings

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v5.1P' [occ.:0]

	SESSION	FUNCTION	IDENT	MESSAGE
1	6	FUNCT200	W200/6	Vertical element or node axis
2	9	FUNCT320	W320/2	Large rh/(rvt,rvs) ratio
3	9	FUNCT320	W320/3	Extreme klh/(klf,klf) ratio
4	9	FUNCT320	W320/6	Sub > hor > top not satisfied
5	10	FUNCT500	W500/T*	No mat-nln calculation at tees
6	10	FUNCT610	W610/18	Addcros stop at iter.101 diseq .35413e-1
7	10	FUNCT610	W610/18	Addcros stop at iter.101 diseq .30687e-2
8	10	FUNCT610	W610/8	Closed end assumed to be rigid at redist
9	10	FUNCT620	W620/F*	Element 171 is tee, no mat-nln
10	10	FUNCT620	W620/2	Equivalent strain exceeds check strain
11	10	FUNCT620	W620/3	Axial buckling strain gt critical one
12	10	FUNCT620	W620/F*	Element 172 is tee, no mat-nln
13	10	FUNCT620	W620/F*	Element 418 is tee, no mat-nln
14	10	FUNCT620	W620/F*	Element 419 is tee, no mat-nln
15	10	FUNCT620	W620/F*	Element 469 is tee, no mat-nln
16	10	FUNCT620	W620/F*	Element 472 is tee, no mat-nln

## BIJLAGE E

### Validatie van plastische berekeningen in *Ple4Win*

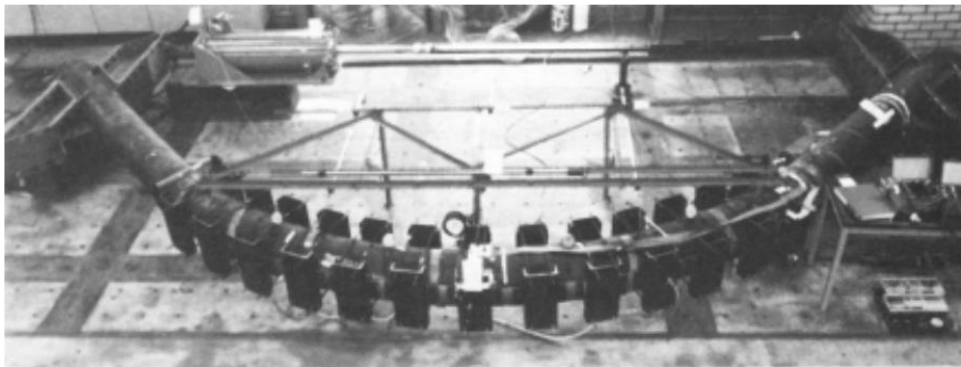


Verification based on experimental rig data



#### Verification of Ple4Win v4.6.0 against experimental rig data

In the late eighties of the last century TNO performed some 24 experimental rig tests. Particularly the deformation and stress/strain behaviour in the elasto-plastic region is investigated. Resulting data is shown in graphs.



Overview of the test arrangement for 'earth pressure' and bending for a pipeline Ø 322 – 6.4 mm.

The same configurations and loadings are calculated with Ple4Win and the results are presented in the same graphs. The graphs contain the moments, the ovalisations, the strains and the stresses. The Ple4Win results also show some material linear curves.

On the next pages two examples are presented:

- TNOI06 : 90° bend, D = 322 mm t = 6.4 mm (of which the picture above is taken)
- TNO70 : 30° bend, D = 160 mm t = 2.9 mm



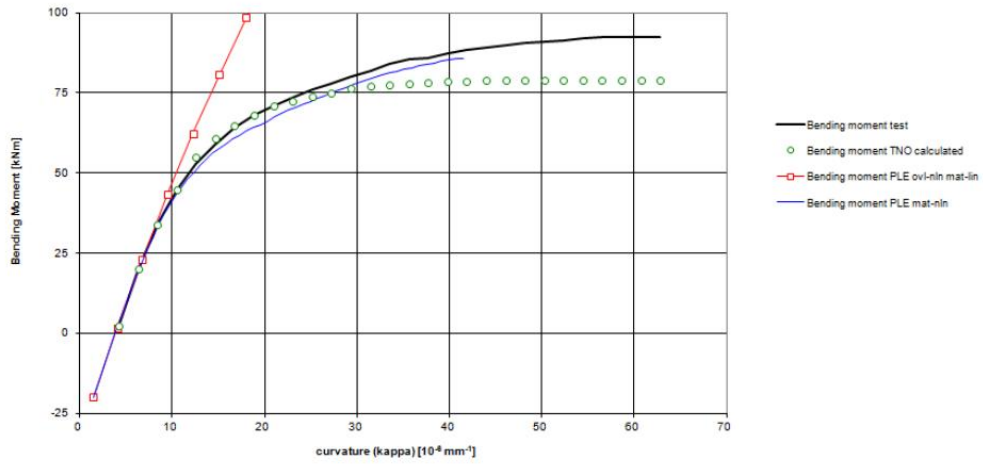


Verification based on experimental rig data

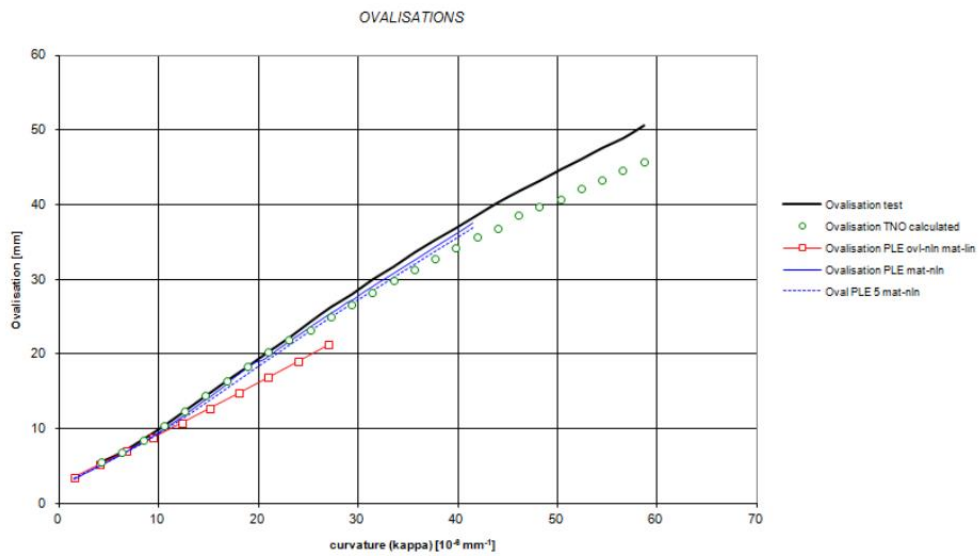


TNOI06

**Comparison non-linear elasto-plastic bend behaviour**  
**TNO TEST I06 (in-plane IN-bending)**  
 $D_{outer} = 322 \text{ mm}$ ;  $t_{band} = 6.4 \text{ mm}$ ;  $t_{straight} = 6.4 \text{ mm}$ ;  $R = 3040 \text{ mm}$ ; bend angle =  $90^\circ$ ;  $p = 0$ ;  $Q = 49 \text{ N/mm}$



**Comparison non-linear elasto-plastic bend behaviour**  
**TNO TEST I06 (in-plane IN-bending)**  
 $D_{outer} = 322 \text{ mm}$ ;  $t_{band} = 6.4 \text{ mm}$ ;  $t_{straight} = 6.4 \text{ mm}$ ;  $R = 3040 \text{ mm}$ ; bend angle =  $90^\circ$ ;  $p = 0$ ;  $Q = 49 \text{ N/mm}$





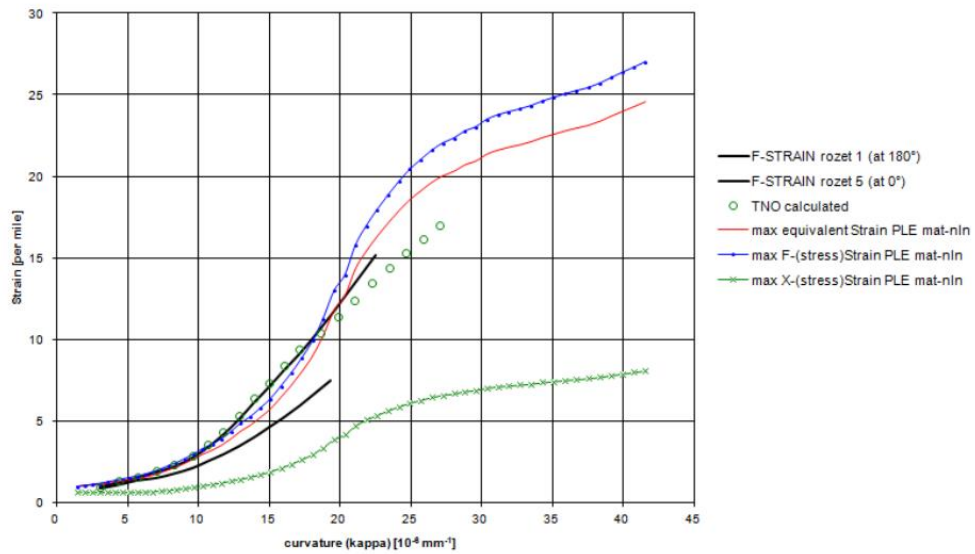
Verification based on experimental rig data



Comparison non-linear elasto-plastic bend behaviour  
TNO TEST I06 (in-plane IN-bending)

$D_{outer} = 320 \text{ mm}$ ;  $t_{band} = 6.4 \text{ mm}$ ;  $t_{straight} = 6.4 \text{ mm}$ ;  $R = 3040 \text{ mm}$ ; bend angle =  $90^\circ$ ;  $p = 0$ ;  $Q = 49 \text{ N/mm}$

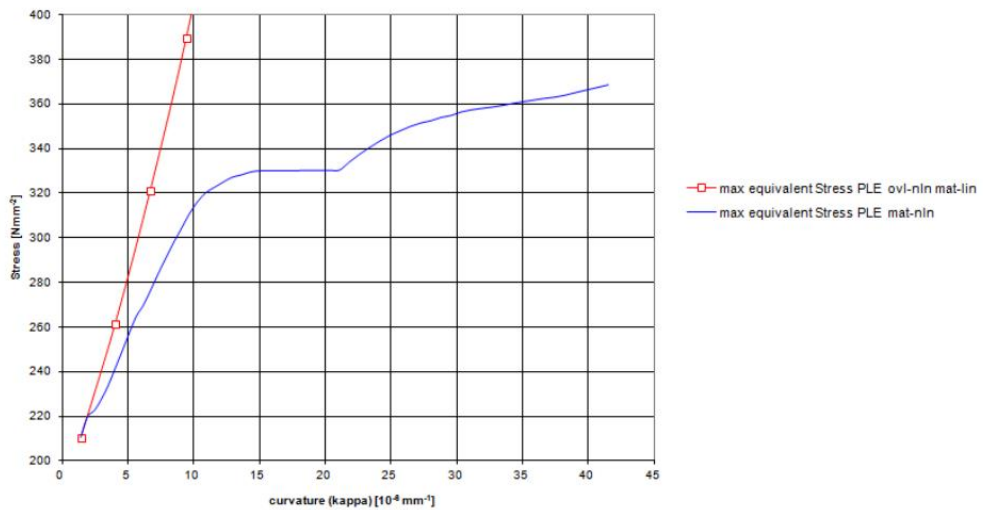
STRAINS



Comparison non-linear elasto-plastic bend behaviour  
TNO TEST I06 (in-plane IN-bending)

$D_{outer} = 322 \text{ mm}$ ;  $t_{band} = 6.4 \text{ mm}$ ;  $t_{straight} = 6.4 \text{ mm}$ ;  $R = 3040 \text{ mm}$ ; bend angle =  $90^\circ$ ;  $p = 0$ ;  $Q = 49 \text{ N/mm}$

STRESSES



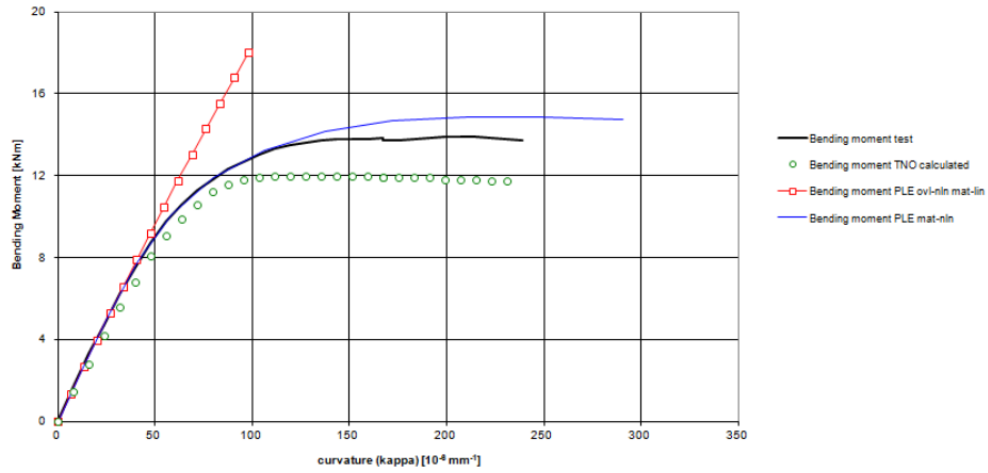


Verification based on experimental rig data

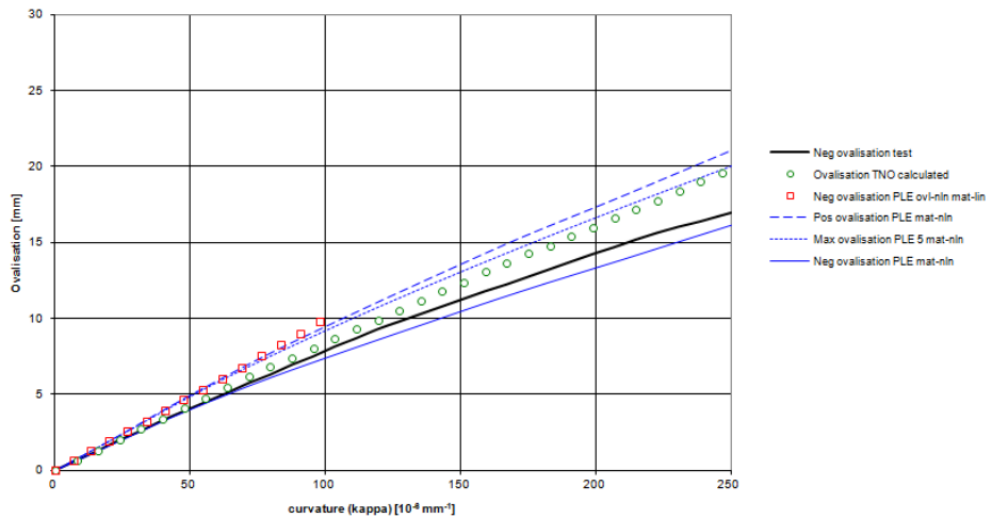


TNO70

**Comparison non-linear elasto-plastic bend behaviour**  
**TNO TEST 70 (in-plane IN-bending)**  
 D<sub>outer</sub> = 160 mm; t<sub>band</sub> = 2.9 mm; t<sub>straight</sub> = 3.0 mm; R = 480 mm; bend angle = 30°; p = 0  
 BENDING MOMENTS



**Comparison non-linear elasto-plastic bend behaviour**  
**TNO TEST 70 (in-plane IN-bending)**  
 D<sub>outer</sub> = 160 mm; t<sub>band</sub> = 2.9 mm; t<sub>straight</sub> = 3.0 mm; R = 480 mm; bend angle = 30°; p = 0  
 OVALISATIONS





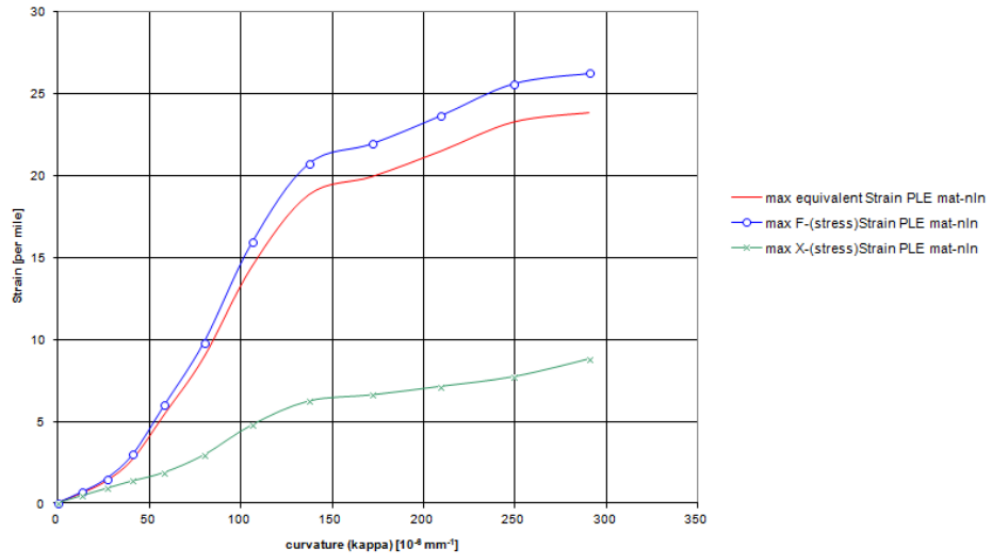
Verification based on experimental rig data



**Comparison non-linear elasto-plastic bend behaviour  
TNO TEST 70 (in-plane IN-bending)**

$D_{outer} = 160 \text{ mm}$ ;  $t_{bend} = 2.9 \text{ mm}$ ;  $t_{straight} = 3.0 \text{ mm}$ ;  $R = 480 \text{ mm}$ ; bend angle =  $30^\circ$ ;  $p = 0$

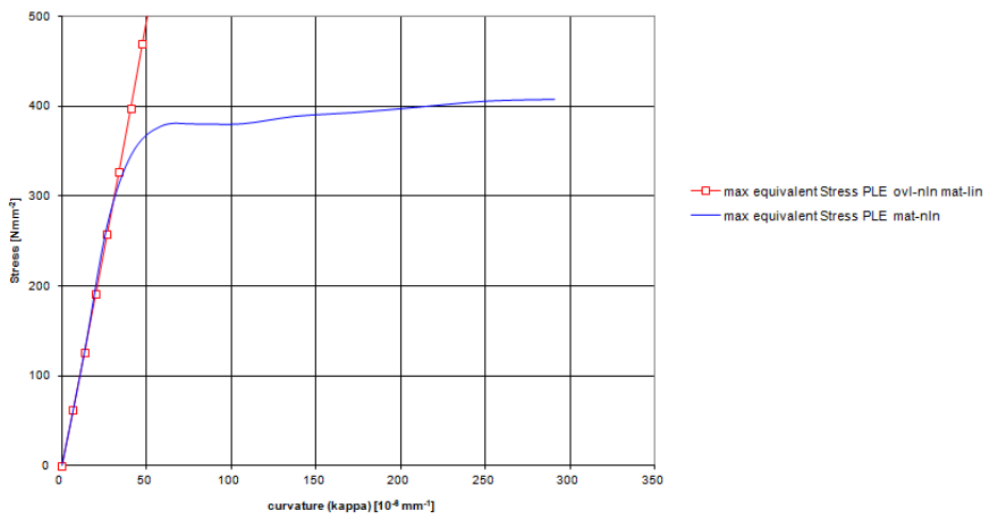
STRAINS

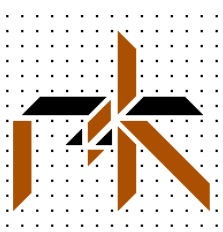


**Comparison non-linear elasto-plastic bend behaviour  
TNO TEST 70 (in-plane IN-bending)**

$D_{outer} = 160 \text{ mm}$ ;  $t_{bend} = 2.9 \text{ mm}$ ;  $t_{straight} = 3.0 \text{ mm}$ ;  $R = 480 \text{ mm}$ ; bend angle =  $30^\circ$ ;  $p = 0$

STRESSES





**Sterkteberekeningen van twee bestaande  
Ø 1219 mm stalen Dunea waterleidingen  
in het dijkversterkingstraject  
Gorinchem - Waardenburg  
(Variant – berekeningen)**

**rapport 5-277-482-03**

**In opdracht van:**



**POV Kabels & Leidingen**

3	AANGEPASTE DEFINITIEVE UITGAVE	24 juni 2019	Ir. M. Lammers	√		
2	DEFINITIEVE UITGAVE	1 mei 2019	Ir. M. Lammers	√		
1	AANGEPASTE UITGAVE	20 maart 2019	Ir. M. Lammers	√	A. Tesfaye	√
0	INITIELE UITGAVE	3 jan. 2019	Ir. M. Lammers	√	A. Tesfaye	√
REVISIES		DATUM	AUTEUR	QA CONTROLE		
Client ref.: e-mail van Martijn de Koning d.d. 24 september 2018		r+k project: 5-277-482				

**INHOUD**

pagina

1. Inleiding	2
2. Uitgevoerde berekeningen	3
3. Resultaten, samenvatting en conclusies, aanbevelingen	4
3.1 Resultaten van de berekeningen van serie 3	4
3.2 Resultaten van de berekeningen van serie 4	5
3.3 Samenvatting	6
3.4 Conclusies	7
3.5 Aanbevelingen	7

Referenties	8
-------------	---

Figuren 1 t/m 7 (plotuitvoer <i>Ple4Win</i> )	8
---	---

## Bijlagen:

A. Leidingtekeningen	13
B. Geotechnische gegevens	17
C. Korte beschrijving <i>Ple4Win</i>	19
D. Computer in- en uitvoer <i>Ple4Win</i>	24
D1 – Vuren BC3 v6Pz, zettingen x 1 van 2119	25
D2 – Vuren BC3 v6Pz-, zettingen x 0,7 van 2119	42
D3 – Vuren BC3 v6Pz+, zettingen x 1,3 van 2119	44
D4 – Vuren BC3 v6Pk-, grondstijfheid &- wrijving x 0,5	46
D5 – Vuren BC3 v6Pk+, grondstijfheid &- wrijving x 1,5	52
D6 – Vuren BC3 v6PHW, horizontale grondverplaatsing door hoog water	58
D7 – Vuren BC3 v7, alle factoren zijn op de waarde 1 gezet	60
D8 – Vuren BC3 v7+41, factoren behorende bij een beta van 4,1	77
D9 – Vuren BC3 v7+51, factoren behorende bij een beta van 5,1	87
E. Factoren en waarden behorende bij een beta van 4.1 en 5.1	97

*Noot: In bijlage D1 en D7 is alle invoer en een relevant deel van de uitvoer opgenomen. In bijlagen D2 t/m D6 zijn alleen tabellen opgenomen die verschillen t.o.v. bijlage D1 en in bijlagen D8 en D9 zijn alleen tabellen opgenomen die verschillen t.o.v. bijlage D7.*

## 1. INLEIDING

Ter plaatse van de kruising van twee bestaande ruwwater transportleidingen van Dunea met de Noordelijke Waaldijk wordt de dijk versterkt t.b.v. het dijkversterkingstraject Gorinchem – Waardenburg. Deze versterking zal, naast een extra belasting op de leiding door het gewicht van de aan te brengen grond, vooral zorgen voor extra zettingen. De leiding zal in de nieuwe situatie moeten voldoen aan de eisen van de NEN 3650 [1], [2] en de NEN 3651 [3]. Er speelt echter nog meer: de faalkans van de dijk zal worden bepaald en de faalkans van deze twee leidingen zal de faalkans van de dijk beïnvloeden. Er zal daarom een (faalkans-)analyse worden uitgevoerd van de dijk en de leidingen. Een toetsing van de leiding aan de NEN 3650 serie geeft onvoldoende informatie over de faalkans. Er kan echter wel informatie worden verkregen door verschillende belastingvarianten op de leiding te berekenen. In dit rapport worden alleen de variant berekeningen besproken.

De stalen ruwwater transportleidingen hebben binnen de veiligheidszone c.q. kritieke impactzone een uitwendige diameter van 1219 millimeter, een wanddikte van 15,2 mm in de staande boog tussen de mangaten of 12 millimeter daarbuiten en een ontwerpdruk van 11 bar. De materiaalkwaliteit van het staal is API-5L grade X60 in de staande boog tussen de mangaten en grade B daarbuiten. Er zullen uitgebreide berekeningen worden gemaakt om de vervormingen, spanningen of rekken en ovalisaties te bepalen en de leiding te toetsen. Hoewel het hier twee leidingen betreft, zal naar één enkele leiding worden gekeken. Uitgangspunt daarbij is dat er gedurende het gesloten seizoen slechts één leiding operationeel is. De leidingen zijn van een identiek ontwerp, zodat bij de berekeningen de resultaten bruikbaar zijn voor beide leidingen.

POV K&L (Project Overstijgende Verkenning Kabels en Leidingen) heeft r+k raadgevend ingenieurs- en konstruktieadviesbureau b.v. te Rijswijk gevraagd de berekeningen voor het betreffende leidingtraject te maken. De sterkteberekeningen zijn, in eerste instantie (serie 1), uitgevoerd op basis van de normenserie NEN 3650 voor een tweetal belastingcombinaties. Daarna zijn varianten berekend met een aantal zettingsprofielen (serie 2). Ook hier is de leiding getoetst aan de NEN 3650 norm. Deze twee series zijn in rapport 5-277-482-02 besproken.

Vervolgens is een serie leidingberekeningen gemaakt (serie 3) om de gevoeligheid van de leiding voor bepaalde belastingen te bepalen en om input te leveren voor de faalkans-berekeningen. Hierbij zijn verschillende zaken gevarieerd: zettingen, grondparameters en de (hoog)waterstand op de rivier. De laatste serie berekeningen (serie 4) was nodig om de parameters van de faalkansberekening nauwkeuriger te bepalen. Hierbij zijn alle belasting- en onzekerheidsfactoren die in de NEN 3650 worden genoemd en gebruikt, vervangen door factoren die behoren bij de faalkansbepaling. Hier zijn tevens een aantal variaties bekeken. Deze twee series worden in dit rapport (5-277-482-03) besproken. De benodigde uitgangsgegevens -voor beide rapporten- zijn in het tweede hoofdstuk van rapport 5-277-482-02 besproken.

Aan r+k raadgevend ingenieurs- en konstruktieadviesbureau zijn gegevens verstrekt over de ligging van de leiding, zie hiervoor de tekeningen in bijlage A. Tevens zijn gegevens verstrekt over de opbouw van de grond in het te beschouwen gebied [4]. De grondparameters zijn bepaald door r+k met de “Soil Wizard” van *Ple4Win* [5]. Van de geotechnische aspecten zijn de belangrijkste zaken tevens in bijlage B opgenomen.

De sterkteberekeningen, zoals beschreven in hoofdstuk 2, zijn door r+k uitgevoerd met *Ple4Win*, een computerprogramma voor het bepalen en controleren van het gedrag en de veiligheid van transportpijpleidingen onder en/of boven de grond. Een korte beschrijving van de achtergrond en de opties van het programma is in bijlage C opgenomen.

De relevante berekeningsresultaten zijn (numeriek) samengevat in de eerste twee paragrafen van hoofdstuk 3 en grafisch weergegeven in de figuren aan het eind van het rapport. Een selectie van de numerieke computer in- en uitvoer staat in bijlage D. De berekende spanningen, rekken en vervormingen van de leiding in het traject zijn in dit rapport getoetst aan de criteria van de NEN 3650 serie. De factoren die behoren bij de faalkansberekening, welke bepaald zijn door TNO, worden in bijlage E weergegeven. Deze factoren zijn in de vierde serie berekeningen toegepast i.p.v. de gebruikelijke NEN 3650 factoren.

Tenslotte wordt in paragraaf 3, 4 en 5 van hoofdstuk 3 een samenvatting gegeven, conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan ten aanzien van de sterkte en stabiliteit van het onderhavige leidingtraject.

## 2. UITGEVOERDE BEREKENINGEN

Uitgaande van de basisgegevens, zoals vermeld in het vorige hoofdstuk, zijn meerdere series berekeningen met *Ple4Win* [5] gedraaid voor de situatie na dijkversterking (2119). De eerste en tweede serie berekeningen zijn terug te vinden in rapport 5-277-482-02. In de derde serie berekeningen worden varianten berekend om de gevoeligheid van de leiding onder bepaalde belastingen of vervormingen na te gaan. De vierde en laatste serie heeft tot doel om de parameters van de faalkansberekening nauwkeuriger te bepalen. De gebruikte belastingfactoren zijn bij deze laatste serie niet volgens de NEN 3650. De beschouwde belastingcombinaties zijn wel conform NEN 3650-2, tabel 2:

- Belastingcombinatie 3 (BC3), drukloze en gevulde leiding zonder temperatuursbelasting, met uitwendige belastingen (eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting) en zettingen;
- Belastingcombinatie 4 (BC4), gevulde leiding met inwendige druk, temperatuursbelasting van 10°C tot 20°C, uitwendige belastingen (eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting) en zettingen.

Bovenstaande belastingcombinaties zijn in elke serie en variant bekeken. De runs zullen in het vervolg geïdentificeerd worden met de naam van de betreffende ontwerpdatabase (Vuren...), zoals in het programma gebruikt. Deze naam staat ook boven of onder elke tabellarisch of grafische uitvoer van het programma. De volgende serie berekeningen zijn gemaakt:

- Serie 3: Berekening van verschillende varianten, allen met materiaalplasticiteit. Model met gemiddelde, grotere (gemiddeld plus twee maal de standaard afwijking) en kleinere (gemiddeld minus twee maal de standaard afwijking) zettingen: Vuren BC3/4 v6Pz, Vuren BC3/4 v6Pz+, Vuren BC3/4 v6Pz-. Model met grotere en kleinere grondstijfheden: Vuren BC3/4 v6Pk+, Vuren BC3/4 v6Pk-. Model waar hoog water in de Waal aanwezig is: Vuren BC3/4 v6PHW. Deze serie berekeningen is gemaakt om de gevoeligheid van de leiding voor bepaalde belastingen te bepalen. Hierbij gaat het om de leiding in de toekomstige situatie.
- Serie 4: Berekening van verschillende varianten, allen met materiaalplasticiteit. Bij deze serie zijn geen factoren volgens de NEN 3650 toegepast. Model waarbij alle factoren op 1 zijn gezet: Vuren BC3/4 v7. Model met factoren behorende bij een beta van 4,1: Vuren BC3/4 v7+41. Model met factoren behorende bij een beta van 5,1: Vuren BC3/4 v7+51. Deze serie berekeningen is gemaakt om de parameters van de faalkansberekening nauwkeuriger te bepalen.

De zettingslijn komt uit een Memo van Deltares [6], zie hiervoor bijlage E uit het hoofdrapport van Deltares. Hierbij dient te worden opgemerkt dat het gaat om de zettingen die zijn bepaald voor het jaar 2119 waarbij een onzekerheidsfactor van 1 is toegepast, terwijl 2 gebruikelijk is. De reden hiervoor is dat we bij deze berekeningen gebruik willen maken van een 'gemiddelde' zetting en niet van de mogelijk maximaal optredende zetting. De vervorming van de dijk bij hoog water in de Waal is terug te vinden in een andere Memo van Deltares [7], zie hiervoor bijlage F uit het hoofdrapport van Deltares.

Overzichtstabel leidingberekeningen

Naam berekening	serie	bestaand of toekomstig	bijzonderheden
Vuren BC3/4 v6Pz	3	toekomstig	Zettingen met factor 1 (gemiddelde)
Vuren BC3/4 v6Pz+	3	toekomstig	Zettingen met factor 1,3 (gem. + 2x standaard afw.)
Vuren BC3/4 v6Pz-	3	toekomstig	Zettingen met factor 0,7 (gem. - 2x standaard afw.)
Vuren BC3/4 v6Pk+	3	toekomstig	Grondstijfheden met factor 1,5
Vuren BC3/4 v6Pk-	3	toekomstig	Grondstijfheden met factor 0,5
Vuren BC3/4 v6PHW	3	toekomstig	Hoog water in de Waal
Vuren BC3/4 v7	4	toekomstig	Alle factoren op 1
Vuren BC3/4 v7+41	4	toekomstig	Factoren behorende bij een beta van 4,1*
Vuren BC3/4 v7+51	4	toekomstig	Factoren behorende bij een beta van 5,1*

\* Zie bijlage E voor deze factoren en de NEN 3650 factoren die normaal gebruikt dienen te worden.

Omdat het onpraktisch is om van alle berekeningen de resultaten te laten zien, zal van elke serie een aantal relevante resultaten worden getoond, deze staan in het volgende hoofdstuk.



### 3. RESULTATEN, SAMENVATTING EN CONCLUSIES

De belangrijkste resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in de figuren 5 t/m 7. Bovenin elke figuur staat het verloop van het maaiveld, de (grond)waterspiegel en de leidingas. Gedetailleerde uitvoer van de berekeningen is in bijlage D opgenomen.

#### 3.1 Resultaten van de berekeningen van serie 3

##### Verplaatsingen

Figuur 4 toont de zakking van de grond en de verplaatsing van de leiding in verticale richting. De numerieke waarden zijn te vinden in de DISPLAC tabellen in bijlage D. De maximale leidingverplaatsing bedraagt 459 millimeter. Dit is kleiner dan bij de berekening uit de tweede serie omdat hier geen onzekerheidsfactor van 2 is gebruikt, maar een factor van maximaal 1,3.

##### Rekken

Bij deze serie berekeningen werden een aantal zaken gevarieerd: de zettingen (factor 0,7, 1 en 1,3), de stijfheid van de grond (factor 0,5, 1 en 1,5) en grondverplaatsingen t.g.v. hoog water in de Waal. De resultaten van een deel van de berekeningen worden in figuur 5 getoond. De in deze figuur en in de tabellen CEPSM in bijlagen D weergegeven rekken zijn de equivalente rekken eEqS-M, gedeeld door de maximaal toelaatbare waarde (0,5% voor de stalen leiding met kwaliteit X60). Deze rekken mogen dus niet groter worden dan 100%.

Run	Belastinggeval	Figuur	Rektoets	Berekende max. waarde	Toelaatbare waarde	Voldaan aan toets
Vuren BC3 v6Pz	Drukloos, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen.	5	eEqS-M	71,6% (0,358)	100% (0,5)	Ja
Vuren BC4 v6.1Pz*	Interne druk 11 bar, temperatuur van 10°C tot 20°C, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen	5	eEqS-M	83,1% (0,416)	100% (0,5)	Ja en nee*
Vuren BC3 v6Pz-	Drukloos, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en <b>zettingen x 0,7</b> .	5	eEqS-M	59,5% (0,230)	100% (0,5)	Ja
Vuren BC4 v6.1Pz-	Interne druk 11 bar, temp.van 10°C tot 20°C, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en <b>zettingen x 0,7</b>	5	eEqS-M	70,0% (0,350)	100% (0,5)	Ja
Vuren BC3 v6Pz+*	Drukloos, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en <b>zettingen x 1,3</b> .	5	eEqS-M	80,3% (0,402)	100% (0,5)	Ja en nee*
Vuren BC4 v6.1Pz+*	Interne druk 11 bar, temp.van 10°C tot 20°C, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en <b>zettingen x 1,3</b> .	5	eEqS-M	94,9% (0,474)	100% (0,5)	Ja en nee*

\* De leiding voldoet in alle gevallen aan de rekcriteria. Er is echter een ander probleem bij een deel van de runs: bij het binnendijkse mangat treedt lokale instabiliteit (plooi) op. Bij de overige runs is dit geen probleem.

Run	Belastinggeval	Figuur	Rektoets	Berekende max. waarde	Toelaatbare waarde	Voldaan aan toets
Vuren BC3 v6Pz	Drukloos, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen.	5	eEqS-M	71,6% (0,358)	100% (0,5)	Ja
Vuren BC4 v6.1Pz*	Interne druk 11 bar, temperatuur van 10°C tot 20°C, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen	5	eEqS-M	83,1% (0,416)	100% (0,5)	Ja en nee*
Vuren BC3 v6Pk-	Drukloos, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen.	-	eEqS-M	63,8% (0,319)	100% (0,5)	Ja
Vuren BC4 v6.1Pk-	Interne druk 11 bar, temperatuur van 10°C tot 20°C, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen	-	eEqS-M	74,2% (0,371)	100% (0,5)	Ja
Vuren BC3 v6Pk+	Drukloos, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen.	-	eEqS-M	72,4% (0,362)	100% (0,5)	Ja
Vuren BC4 v6.1Pk+*	Interne druk 11 bar, temperatuur van 10°C tot 20°C, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen	-	eEqS-M	89,7% (0,448)	100% (0,5)	Ja en nee*

\* De leiding voldoet in alle gevallen aan de rekcriteria. Er is echter een ander probleem bij een deel van de runs: bij het binnendijkse mangat treedt lokale instabiliteit (plooi) op. Bij de overige runs is dit geen probleem.

Run	Belastinggeval	Figuur	Rektoets	Berekende max. waarde	Toelaatbare waarde	Voldaan aan toets
Vuren BC3 v6Pz	Drukloos, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen.	5	eEqS-M	71,6% (0,358)	100% (0,5)	Ja
Vuren BC4 v6.1Pz*	Interne druk 11 bar, temperatuur van 10°C tot 20°C, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen	5	eEqS-M	83,1% (0,416)	100% (0,5)	Ja en nee*
Vuren BC3 v6PHW	Drukloos, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen.	-	eEqS-M	73,2% (0,366)	100% (0,5)	Ja
Vuren BC4 v6.1PHW*	Interne druk 11 bar, temperatuur van 10°C tot 20°C, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen	-	eEqS-M	88,9% (0,445)	100% (0,5)	Ja en nee*

\* De leiding voldoet in alle gevallen aan de rekcriteria. Er is echter een ander probleem bij een deel van de runs: bij het binnendijkse mangat treedt lokale instabiliteit (plooi) op. Bij de overige runs is dit geen probleem.

#### Deflecties

Van belang is de procentuele wijziging van de leidingdiameter. Voor doorslaggevaar geldt een criterium van 15%, voor het doorvoeren van meet- en detectieapparatuur wordt veelal 5% als toelaatbaar aangehouden. Zie NEN 3650. De maximaal optredende procentuele diameterwijziging bedraagt 1,65% in de toestand onder druk (Vuren BC4 v6.1Pz+) en 2,01% in de drukloze situatie (Vuren BC3 v6Pk-) en is dus toelaatbaar.

### 3.2 Resultaten van de berekeningen van serie 4

#### Verplaatsingen

De maximale, neerwaartse leidingverplaatsing bedraagt 363 millimeter.

#### Rekken

Bij deze serie berekeningen zijn in eerste instantie alle factoren op 1 gezet (v7), daarna zijn de factoren en/of de belasting- en sterktewaarden toegepast die behoren bij een beta van 4,1 (v7+41) of 5,1 (v7+51), behorende bij een referentieperiode van 30 jaar. De resultaten van de berekeningen worden in figuren 6 en 7 getoond. De in deze figuren en in de tabellen CEPSPM in bijlagen D weergegeven rekken zijn de equivalente rekken eEq-S-M. Deze rekken mogen niet groter worden dan 0,5%.

Run	Belastinggeval	Figuur	Rektoets	Berekende max. waarde	Toelaatbare waarde	Voldaan aan toets
Vuren BC3 v7	Drukloos, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen.	6	eEqS-M	55,6% (0,278) (knoop 258)	100% (0,5)	Ja
Vuren BC4 v7.1	Interne druk <b>6 bar</b> , temperatuur van 10°C tot 20°C, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen	7	eEqS-M	74,2% (0,371) (knoop 171) 42,1% (#258)	100% (0,5)	Ja
Vuren BC3 v7+41	Drukloos, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen.	6	eEqS-M	69,4% (0,347) (knoop 258)	100% (0,5)	Ja
Vuren BC4 v7.1+41	Interne druk <b>7,4 bar</b> , temperatuur van 10°C tot 20°C, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen	7	eEqS-M	79,2% (0,396) (knoop 171) 42,7% (#258)	100% (0,5)	Ja en nee*
Vuren BC3 v7+51	Drukloos, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen.	6	eEqS-M**	70,7% (0,354) (knoop 258) 83,1% (0,415) (knoop 350)	100% (0,5)	Ja
Vuren BC4 v7.1+51	Interne druk <b>7,7 bar</b> , temperatuur van 10°C tot 20°C, eigen gewicht, grond- en verkeersbelasting en zettingen	7	eEqS-M**	80,9% (0,405) (knoop 171) 43,3% (#258)	100% (0,5)	Ja en nee*

\* De leiding voldoet in alle gevallen aan de rekcriteria. Er is echter een ander probleem bij een deel van de runs: bij het binnendijkse mangat treedt lokale instabiliteit (plooi) op. Bij de overige runs is dit geen probleem.

\*\* Deze waarden zijn omgerekend naar percentages t.o.v. 0,5%. In de berekening is uitgegaan van 0,7% omdat de sterkte van het staal was gereduceerd tot 343 N/mm<sup>2</sup> en onder de 360 N/mm<sup>2</sup> gebruikt PLE de waarde van 0,7%.

#### Deflecties

Van belang is de procentuele wijziging van de leidingdiameter. Voor doorslaggevaar geldt een criterium van 15%, voor het doorvoeren van meet- en detectieapparatuur wordt veelal 5% als toelaatbaar aangehouden. Zie NEN 3650. De maximaal optredende procentuele diameterwijziging bedraagt 1,73% in de toestand onder druk (Vuren BC4 v7+51) en 1,62% in de drukloze situatie (Vuren BC3 v7+51) en is dus toelaatbaar.

### 3.3 Samenvatting

[De samenvatting van het voorgaande rapport (5-277-482-02) is hieronder voor de volledigheid opgenomen.]

Bij de eerste serie berekeningen werd als uitgangspunt aangehouden dat de opzet van de berekeningen gelijk zou zijn aan de opzet die Royal HaskoningDHV had gebruikt [4]. Hiermee konden zowel de uitgangspunten als de resultaten vergeleken worden. De resultaten van de berekeningen kwamen goed overeen en de uitgangspunten waren grotendeels bruikbaar, maar op een aantal punten was het nodig het leidingmodel uit te breiden en tevens op een aantal plaatsen aan te passen. De uitbreiding van het model was binnendijs; hier is een horizontale segmentbocht van 60° aanwezig die niet in het model van Royal HaskoningDHV was opgenomen, terwijl het aannemelijk was dat deze van invloed kon zijn voor de leiding bij de dijk. De aanpassing betrof twee zaken: ten eerste de mangaten die nabij de teen van de dijk gelegen waren. Uit gegevens van de mangaten bleek al snel dat hier -sterktetechnisch- een probleem te verwachten was. Het tweede punt betrof een elftal verstijvingsringen die rondom de leiding waren aangebracht. De lokatie van deze ringen was in de kruin van de dijk en nabij de teen van de dijk, waar de onderbochten van de leiding gelegen zijn. De ringen zijn opgebouwd uit twee halve cirkels, in de vorm van een I-profiel. Deze worden niet aan de buis zelf gelast maar zijn om de leiding geklemd. Om het nog iets ingewikkelder te maken, liggen de meeste van deze verstijvingsringen bij een knikpunt in de leiding. Met bovengenoemde aanpassingen is de leiding berekend en getoetst aan de NEN 3650 en 3651. Het resultaat is nu dat de leiding in de huidige situatie niet voldoet aan de NEN 3650; de spanningen in het materiaal worden te hoog en er treedt instabiliteit op. De problemen doen zich alleen voor ter plaatse van het binnendijkse mangat.

In de tweede serie berekeningen is in eerste instantie gekeken naar de zettingen. De zettingen zijn door Royal HaskoningDHV bepaald a.d.h.v. zak- en zettingsbaken, die op en nabij de leiding aanwezig waren en waar een tijd lang gegevens van zijn bijgehouden. Tevens is de leiding ter plaatse van de dijkruin recent vrijgegraven en ingemeten. Met deze gegevens is de grondverplaatsing bepaald. Het is echter heel lastig om de zettingsgegevens en andere meetgegevens op elkaar aan te laten sluiten en om helder te krijgen hoe de beginsituatie is geweest. Omdat er in de loop van de jaren ophogingen hebben plaatsgevonden en de metingen niet vanaf het begin tot en met de huidige situatie zijn gedaan, bestaat er redelijk veel onzekerheid over de bruikbaarheid van de bepaalde zettingen. Om de onzekerheid te verkleinen, zijn door Deltares de zettingen opnieuw bepaald [6]. Uitgangspunt is de leiding bij aanleg en alle ophogingen die enige tijd voor, tijdens en na de aanleg van de leiding hebben plaatsgevonden. De berekende zettingen worden op deze manier op een transparante manier bepaald. De (grond) zettingen zijn bepaald voor de huidige situatie en voor de situatie over honderd jaar, waarbij de dijk in de tussentijd nog eens is opgehoogd.

De resultaten van de tweede serie berekeningen laten zien dat de buisleiding voldoet in de huidige situatie, maar in de toekomstige situatie, over honderd jaar, voldoet de leiding niet aan de NEN3650 en 3651. Op twee plaatsen wordt de toelaatbare spanning overschreden: bij het binnendijkse mangat en bij verstijvingsring k50. Er treedt geen instabiliteit op. Omdat de overschrijding minder dan 25% is en zeer lokaal, zijn er nog extra berekeningen uitgevoerd waarbij rekening wordt gehouden met de mogelijkheid van het materiaal om te vervormen zonder te bezwijken (vloei), waarbij een herverdeling van de interne krachten plaatsvindt. Hierdoor zullen de spanningen minder hoog worden, maar dit gaat wel gepaard met grotere vervormingen (rekken). Deze rekken mogen echter niet te groot worden. Uit de berekeningen (van de leiding over 100 jaar) volgt dat de rekken t.p.v. het binnendijkse mangat te groot worden en dat hier ook instabiliteit optreedt, dus helaas voldoet de leiding dan ook niet.

[Samenvatting van rapport 5-277-482-03 (dit rapport)]

Bij de derde serie zijn varianten berekend om de gevoeligheid te bepalen van de leiding voor bepaalde situaties: er is gevarieerd met de zettingen, met de grondstijfheden en er is een variant waarbij hoog water is aangebracht waardoor de dijk iets naar binnen verplaatst. Tevens is een extra belastinggeval bekeken van de leiding met onderdruk. Bij alle berekeningen is materiaal niet-lineair gedrag toegepast en wordt gekeken naar de rekken en niet de spanningen.

De resultaten laten zien dat bij zettingen de leiding onder druk beduidend ongunstiger resultaten geeft. Tevens is niet verrassend dat bij een afname van de zettingen, de piekrekken afnemen en bij een toename van de zettingen, de piekrekken toenemen. Een verandering van 30% in de zettingen, levert een verandering in de rek op van zo'n 10 procentpunten. Als we de grondstijfheden veranderen, dan is er een vergelijkbaar effect als met het veranderen van de zettingen, maar minder uitgesproken: een verandering van 50% in de grondstijfheden, levert een verandering in de rek op tussen de 1 en 9 procentpunten. Bij hoog water nemen de rekken in het leidingmateriaal toe, redelijk vergelijkbaar met de toename die bij hoge grondstijfheden wordt veroorzaakt.

In bijna de helft van de gevallen ontstaat er een instabiliteitsprobleem bij het binnendijkse mangat, dit toont wederom aan dat dit de achilleshiel van de buisleiding is. In het geval dat we de buisleiding met onderdruk belasten (en de overige belastingen gelijk houden), blijkt dat dit iets gunstiger is dan belastingcombinatie 4, maar ongunstiger dan belastingcombinatie 3; het is dus geen maatgevend geval.

Bij de vierde serie berekeningen zijn de gebruikelijke, veelal door de NEN 3650 serie voorgeschreven belasting- en onzekerheidsfactoren vervangen door factoren die voortkomen uit een faalkansbepaling. Er zijn zes berekeningen uitgevoerd: belastingcombinatie 3 of 4, samen met een factor van één of factoren behorende bij een beta van 4.1 of 5.1 (representatief voor 10 m kruising). Deze beta's zijn representatief voor referentieperiode van 30 jaar. De resultaten zijn vergeleken met de berekening waar voor alle factoren de waarde 1 is toegepast. Bij een beta van 4.1 zijn de rekken beduidend hoger dan de runs met een factor 1, het verschil tussen een beta van 4.1 en 5.1 is beperkt. Bij belastingcombinatie 3 is verstijvingsring k50 de lokatie met de grootste rekken: de rekken zijn 56% bij een factor van 1 en lopen op naar 69% bij een beta van 4.1 en 71% bij een beta van 5.1. Met een beta van 5.1 wordt ergens anders nog een hogere waarde gevonden van 83%. Bij belastingcombinatie 4 is het mangat veelal de plek waar de rekken het grootst worden. Als we dit mangat even buiten beschouwing laten, dan is daarna verstijvingsring k50 de plek met de grootste rek: deze bedragen 42% bij een factor van 1 en lopen op naar 43% bij een beta van 4.1 en 43% bij een beta van 5.1. Bij belastingcombinatie 3 is verstijvingsring k50 maatgevend, bij belastingcombinatie 4 is het binnendijkse mangat maatgevend.

### 3.4 Conclusies

Op grond van de in dit rapport beschreven uitgangspunten en de daarop volgende berekeningsresultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. *De rekken in de waterleiding in de toekomstige situatie (jaar 2119), veroorzaakt door de operationele en de omgevingsbelastingen, voldoen in serie 3 in alle gevallen aan de daaraan gestelde eisen, zowel bij belastingcombinatie 4 (met ontwerpdruk) als bij belastingcombinatie 3 (in drukloze toestand).*
2. *De rekken in de waterleiding in de toekomstige situatie (jaar 2119), veroorzaakt door de operationele en de omgevingsbelastingen, voldoen in serie 4 in alle gevallen aan de daaraan gestelde eisen, zowel bij belastingcombinatie 4 (met ontwerpdruk) als bij belastingcombinatie 3 (in drukloze toestand).*
3. *In de toekomstige situatie (jaar 2119) treedt ter plaatse van het binnendijkse mangat lokale instabiliteit (plooi) op. Dit effect treedt in beide series berekeningen op. Hierdoor voldoet de leiding ter plaatse van het binnendijkse mangat niet aan de eisen. Bij de bochten, knikken en verstijvingsringen voldoet de leiding wel.*
4. *De maximale deflectie van de leiding blijft bij beide series ruim onder de toelaatbare waarde van 15% van de diameter in alle van toepassing zijnde belastingsituaties.*

### 3.5 Aanbevelingen

Uit de berekeningen en de resultaten komen een aantal zaken naar voren die aandacht behoeven.

1. *De vorm van de dijk, de locaties van het talud, de teen van de dijk en de veiligheidszone en kritieke impactzone (binnendijks) in de nieuwe situatie moet goed op de leidingtekening(en) worden aangegeven, zodat in de toekomst duidelijkheid bestaat over de situatie en geen onzekere aannames nodig zijn.*
2. *Om de aannames te toetsen van de berekende zakkingen en zettingen die optreden door de ophoging, moet vooraf een monitoringplan worden opgesteld in overleg tussen dijkbeheerder, leidingeigenaar en aannemer. Voorafgaand aan het aanbrengen van de eerste grondaanvulling moeten alle zak- en zetbaken zijn geplaatst en moet een nulmeting zijn uitgevoerd. Direct na de eerste ophoging moet een controlemeting worden uitgevoerd om mogelijke verstoring van de bakken te controleren. De eerste week na het aanbrengen van de ophoging moet dagelijks gemeten worden. Vervolgens zal in een periode van minimaal drie maanden goed en regelmatig moeten worden bijgehouden wat er met de zak-/zetbaken gebeurt. Na de eerste drie maanden is een redelijk deel van de zakkingen/zettingen opgetreden en kan een goede voorspelling worden gedaan over de eindzakking/-zetting. Deze eindzakking/-zetting kan dan vergeleken worden met de zakkingen/zettingen die in de (leiding)berekeningen zijn toegepast. In een relatief vroeg stadium wordt dan duidelijk of er (extra) maatregelen nodig zijn t.g.v. de optredende zakkingen/zettingen.*

## REFERENTIES

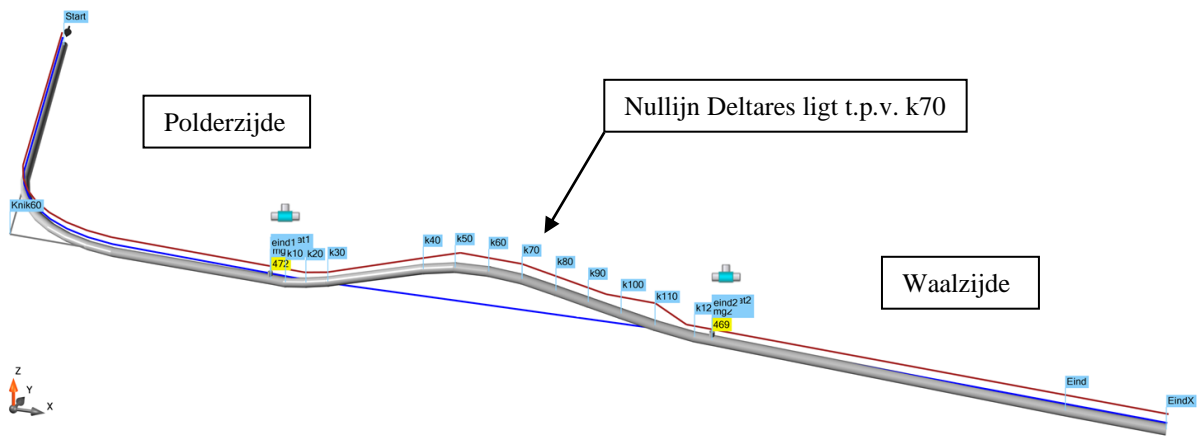
1. NEN 3650-1\_C1\_2017, Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 1: Algemene eisen, juni 2012.
2. NEN 3650-2\_C1\_2017, Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 2: Aanvullende eisen voor leidingen van staal, juni 2012.
3. NEN 3651, Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken, juni 2012.
4. Rapport – Deel B “Constructieve beschouwing dijkkruising van Afgedamde Maasleiding met Noordelijke Waaldijk te Vuren” van Royal HaskoningDHV, Referentie: WATBF7022R001F1.0, Versie 1.0/Finale versie, 4 april 2018.
5. *Ple4Win*, version 4.5.0 (patched) , rev. 18070 (25 july 2018), © Expert Design Systems.
6. Memo “Zettingsberekeningen Dunea waterleiding ter plaatse van Waaldijk” van Deltares, Referentie: 11202640-000-GEO-0005, 17 december 2018. (Bijlage E bij hoofdrapport van Deltares)
7. Memo “Analyse horizontale vervormingen bij hoogwater” van Deltares, Referentie: 11202640-000-GEO-0002, 18 december 2018. (Bijlage F bij hoofdrapport van Deltares)

## FIGUREN 1 t/m 7

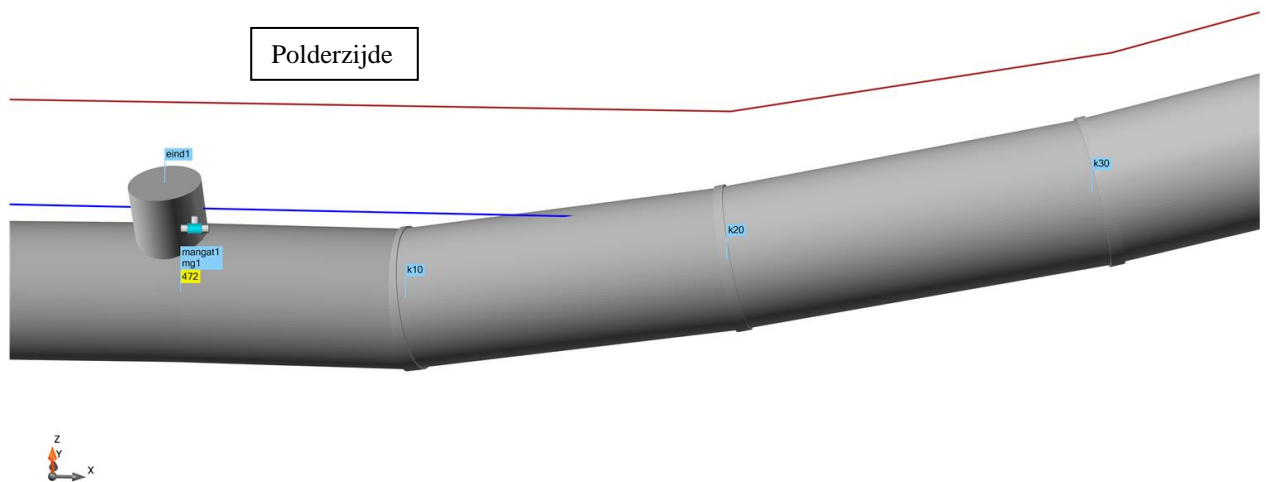
### Plotuitvoer *Ple4Win*

#### Verklaring van namen in plot figuren

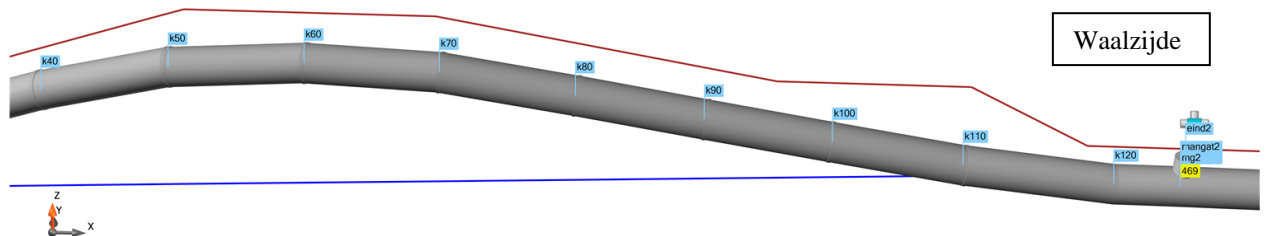
<u>naam</u>	<u>beschrijving</u>
AX_BUCKL-M	lokale instabiliteit (axial buckling) in % van toelaatbaar (maximum over de leidingomtrek)
eEqS-M	equivalente rek in % van toelaatbaar (maximum over de leidingomtrek)
KLH	horizontale beddingconstante van de grond ter plaatse van de as van de leiding
KLS	verticale beddingconstante van de grond ter plaatse van de onderkant van de leiding
KLT	verticale beddingconstante van de grond ter plaatse van de bovenkant van de leiding
RH	horizontaal evenwichtsdraagvermogen ter plaatse van de as van de leiding
RVS	verticaal evenwichtsdraagvermogen ter plaatse van onderkant leiding
RVT	passieve grondreactie ter plaatse van bovenkant leiding
SOILNB	neutrale of reële bovenbelasting van de grond ter plaatse van bovenkant leiding
MISES-M	totale vervangende spanning (maximum over leidingomtrek)
SETLZ*F	zetting van de grond, inclusief alle factoren
TOPLOAD	verkeersbelasting op bovenkant buis
U-Z	leidingverplaatsing in verticale richting
W+WD/D-M	deflectie leidingdoorsnede in % van diameter (maximum over de leidingomtrek)
Z-AXIS	hoogteligging pijpleidingas
Z-GROUND	maaiveldhoogte



Figuur 1a: Het complete leidingmodel: de rode lijn geeft het maaiveld aan, de blauwe lijn is de (grond)waterstand en in het grijs is het verloop van de leiding weergegeven. Links is de binnendijkse kant, rechts de Waalzijde. K10 t/m K120 zijn de knikken en/of de verstijvingsringen.



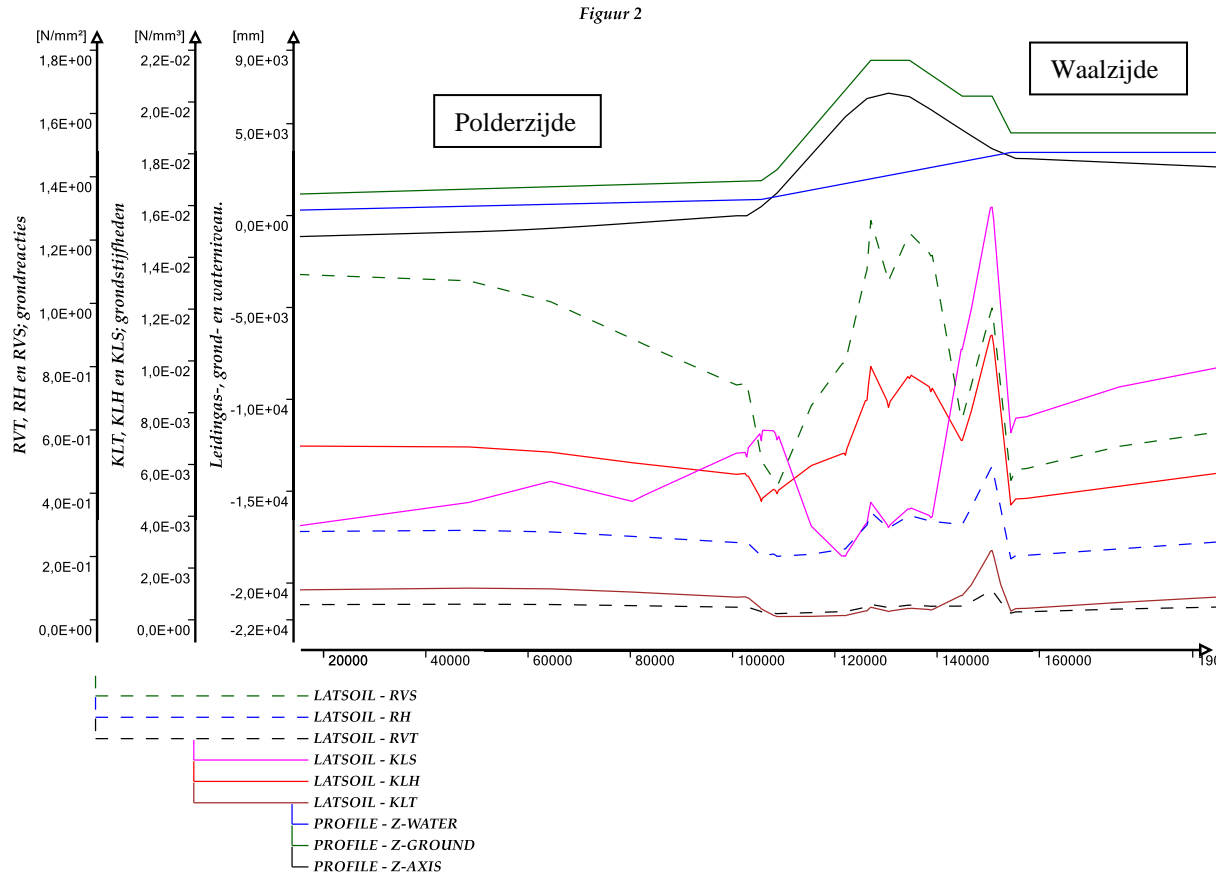
Figuur 1b: Detail van het model ter plaatse van het binnendijkse mangat en de eerste drie verstijvingsringen. Deze ringen zijn gemodelleerd als een smalle ring (element) met grote(re) wanddikte. De buigstijfheid van dit element is vergelijkbaar met de buigstijfheid van de buis en de verstijvingsring tezamen.



Figuur 1c: Detail van het model ter plaatse van de kruin van de dijk en het buitendijkse talud, inclusief het buitendijkse mangat. De lokaties van de overige verstijvingsringen en knikken (segmentbochten) zijn hier goed te zien.

Selected multiple graphs

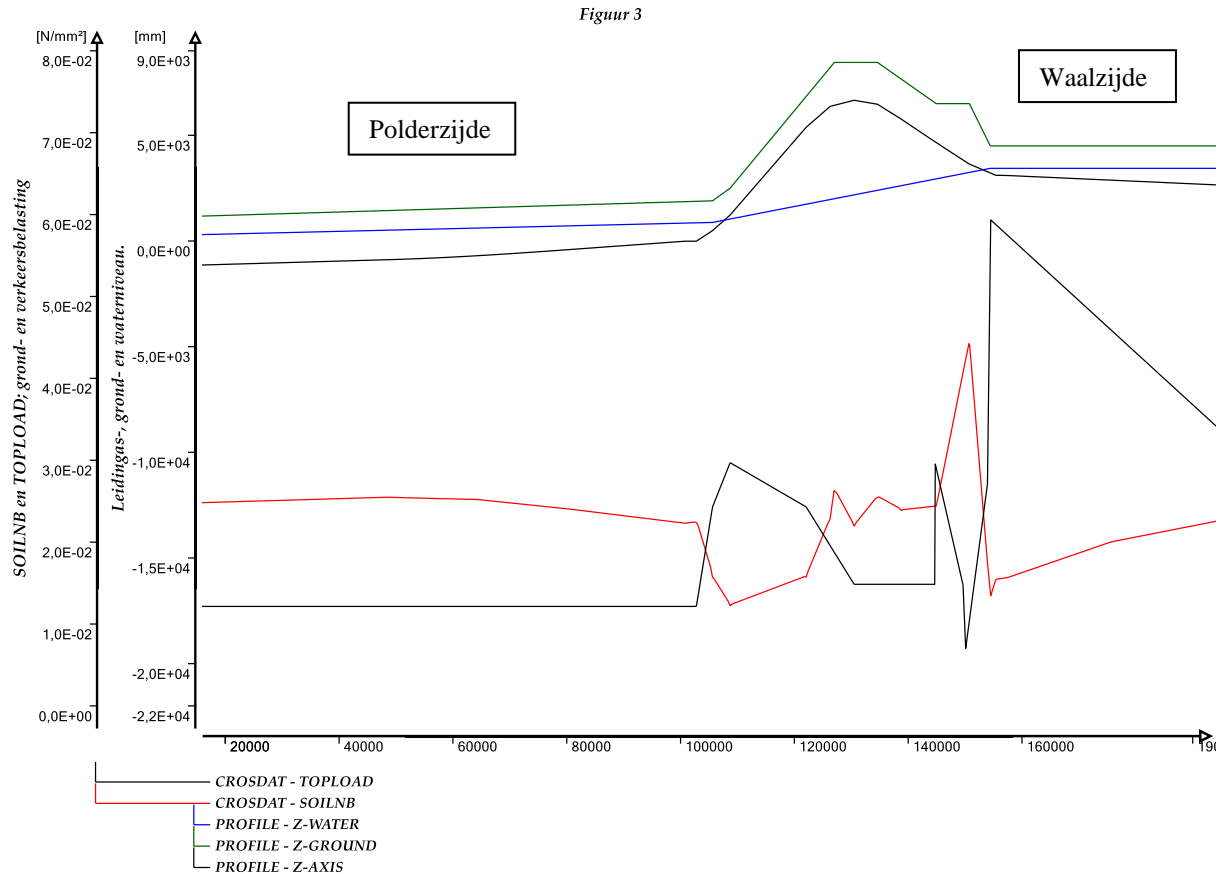
Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2'



Figuur 2: Horizontale en verticale beddingsconstanten (grondstijfheden) en uiterste grondreacties.

Selected multiple graphs

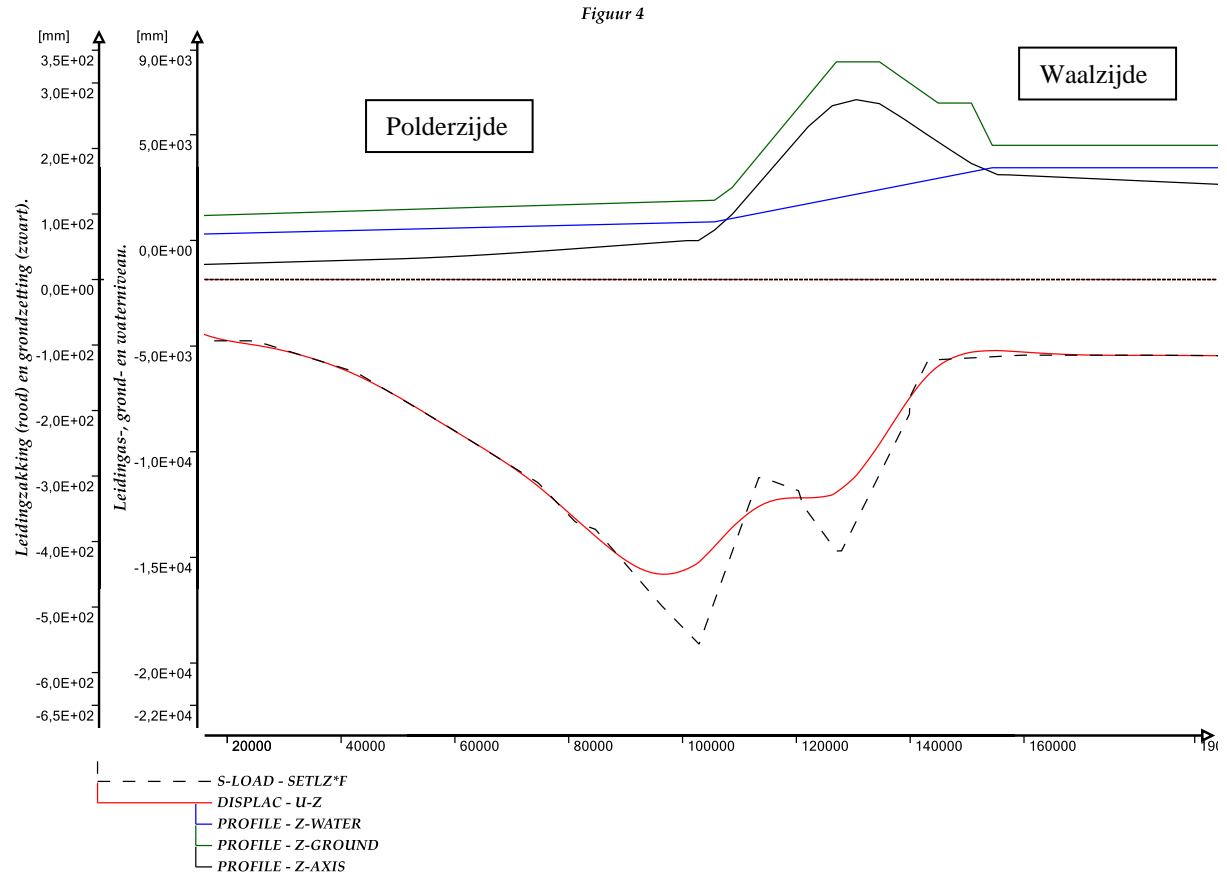
Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v2'



Figuur 3: Bovenbelastingen: grondbelasting SOILNB en verkeer TOPLOAD.

Selected multiple graphs

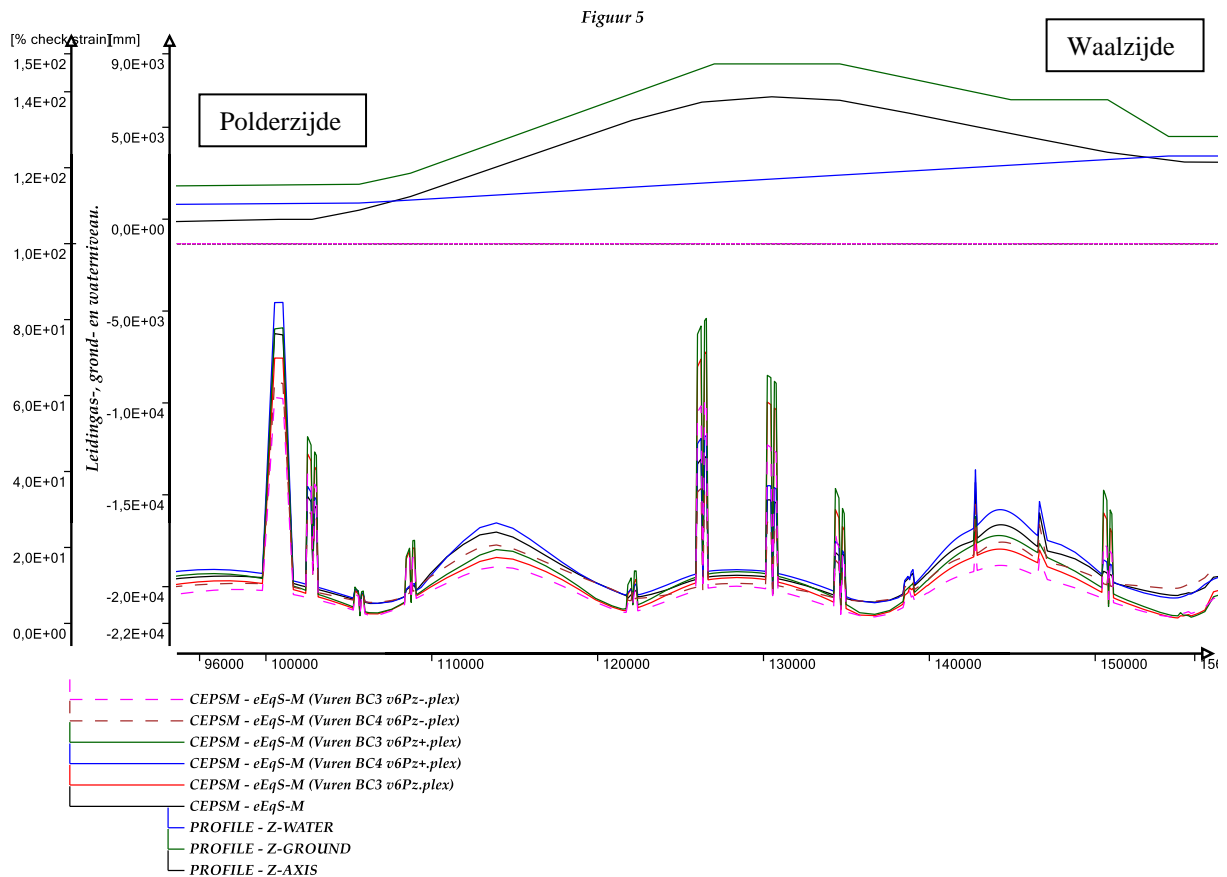
Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz+'



Figuur 4: Grond- (---) en leidingzakking (—).

Selected multiple graphs

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v6Pz+'

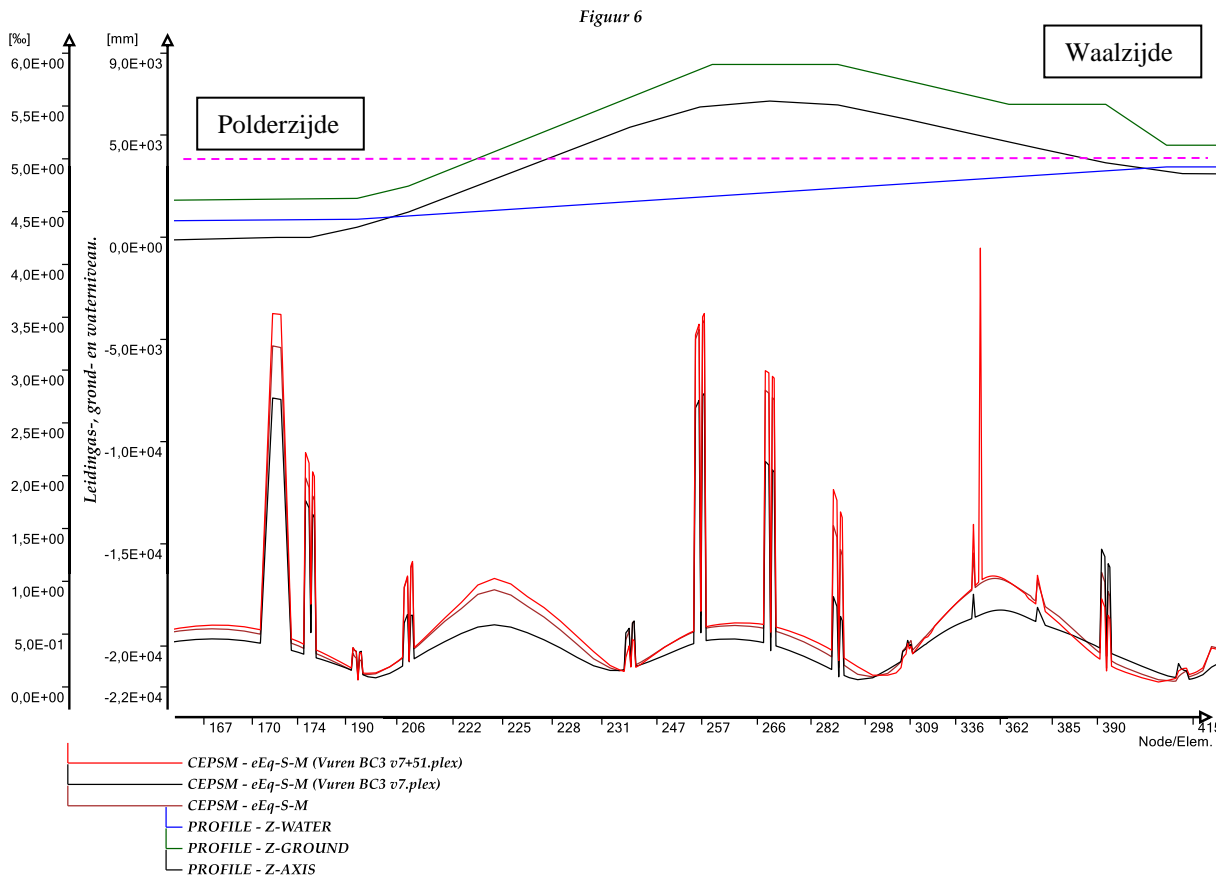


Figuur 5: Equivalente rekken bij verschillende zettingen. Maximaal toelaatbaar is 100% (roze streepjeslijn).



Selected multiple graphs

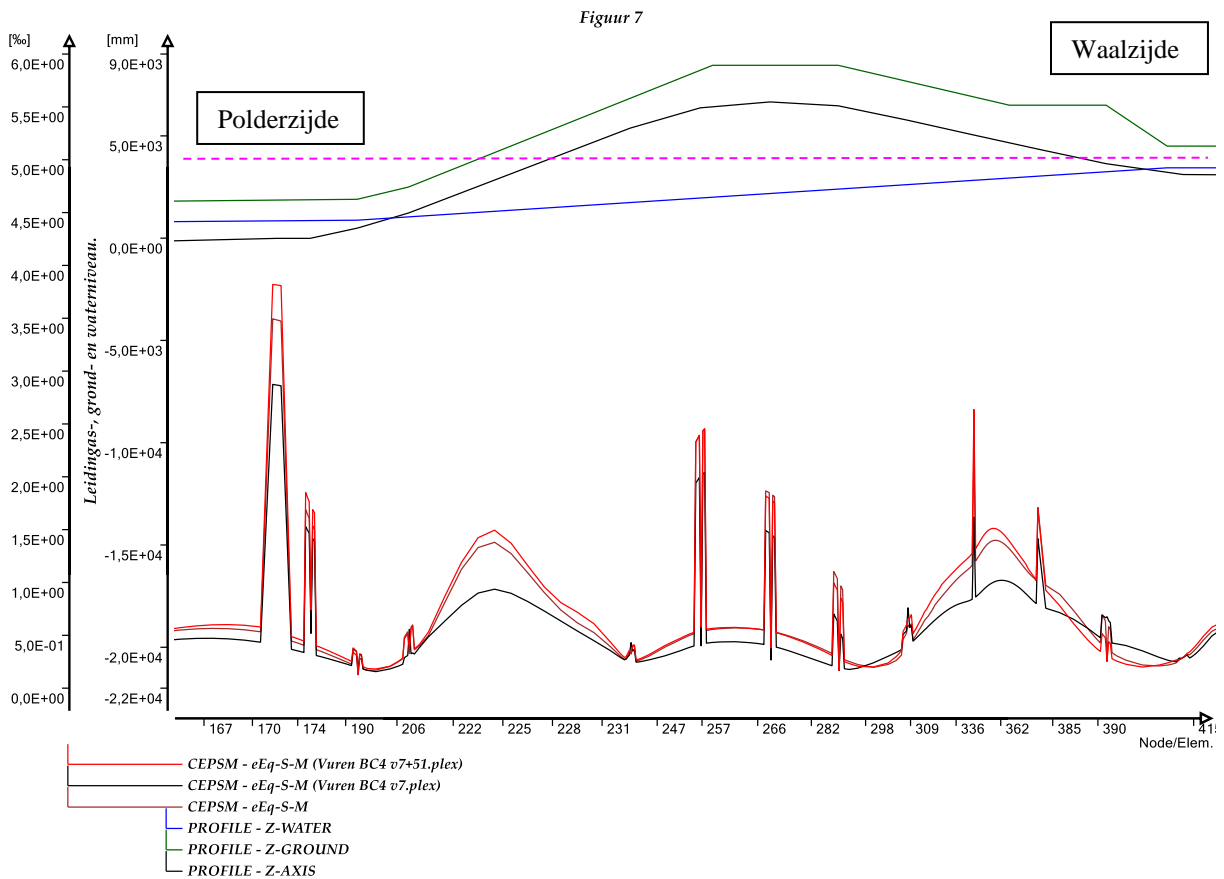
Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+41'



Figuur 6: Equivalente rekken bij verschillende beta's bij belastingcombinatie 3. Maximaal toelaatbaar is 0,5%. Op de x-as staan knooppnummers weergegeven, zodat je de locatie in de tabel van par. 4.2 terug kan vinden. De roze streepjeslijn geeft, zowel in figuur 6 als 7, de toelaatbare waarde aan voor de rekken.

Selected multiple graphs

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC4 v7+41'

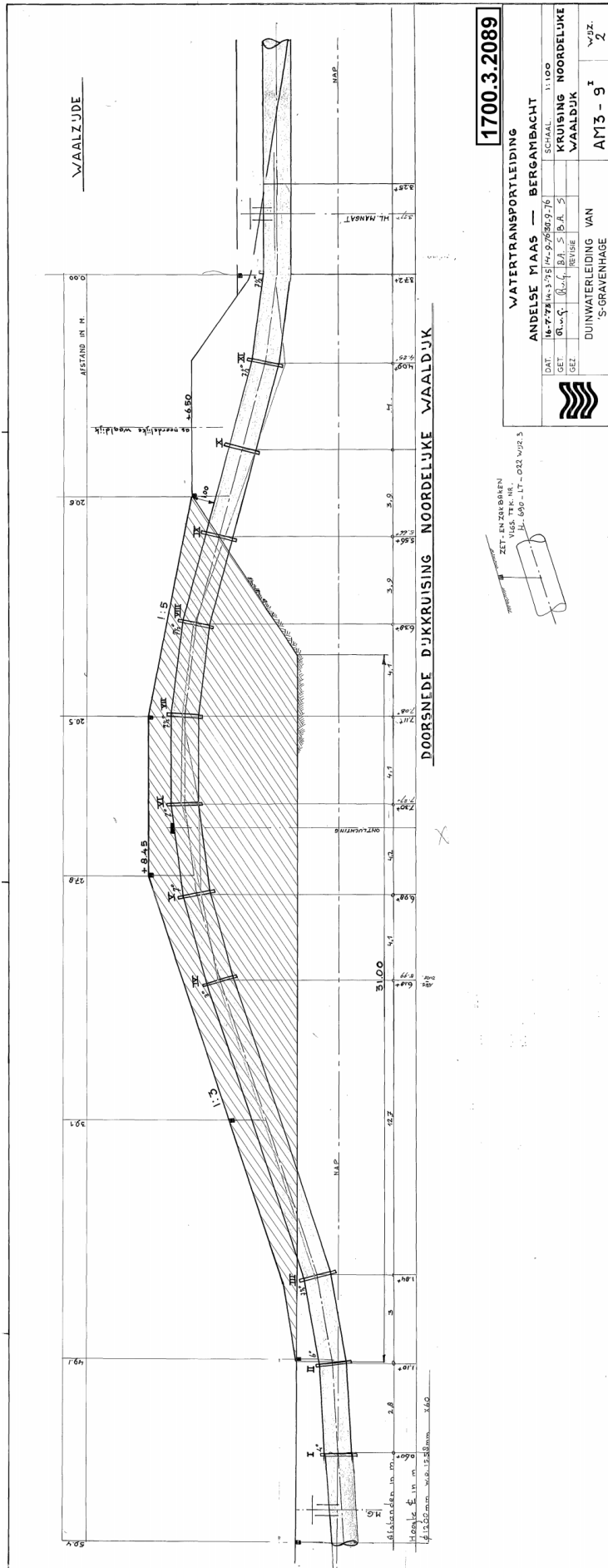


Figuur 7: Equivalente rekken bij verschillende beta's bij belastingcombinatie 4. Maximaal toelaatbaar is 0,5%.

## **BIJLAGE A**

### **Leidingtekeningen**





**1700.3.2089**

WATERTRANSPORTLEIDING  
**ANDELSE MAAS - BERGAMBACHT**

SCHAAL 1:100

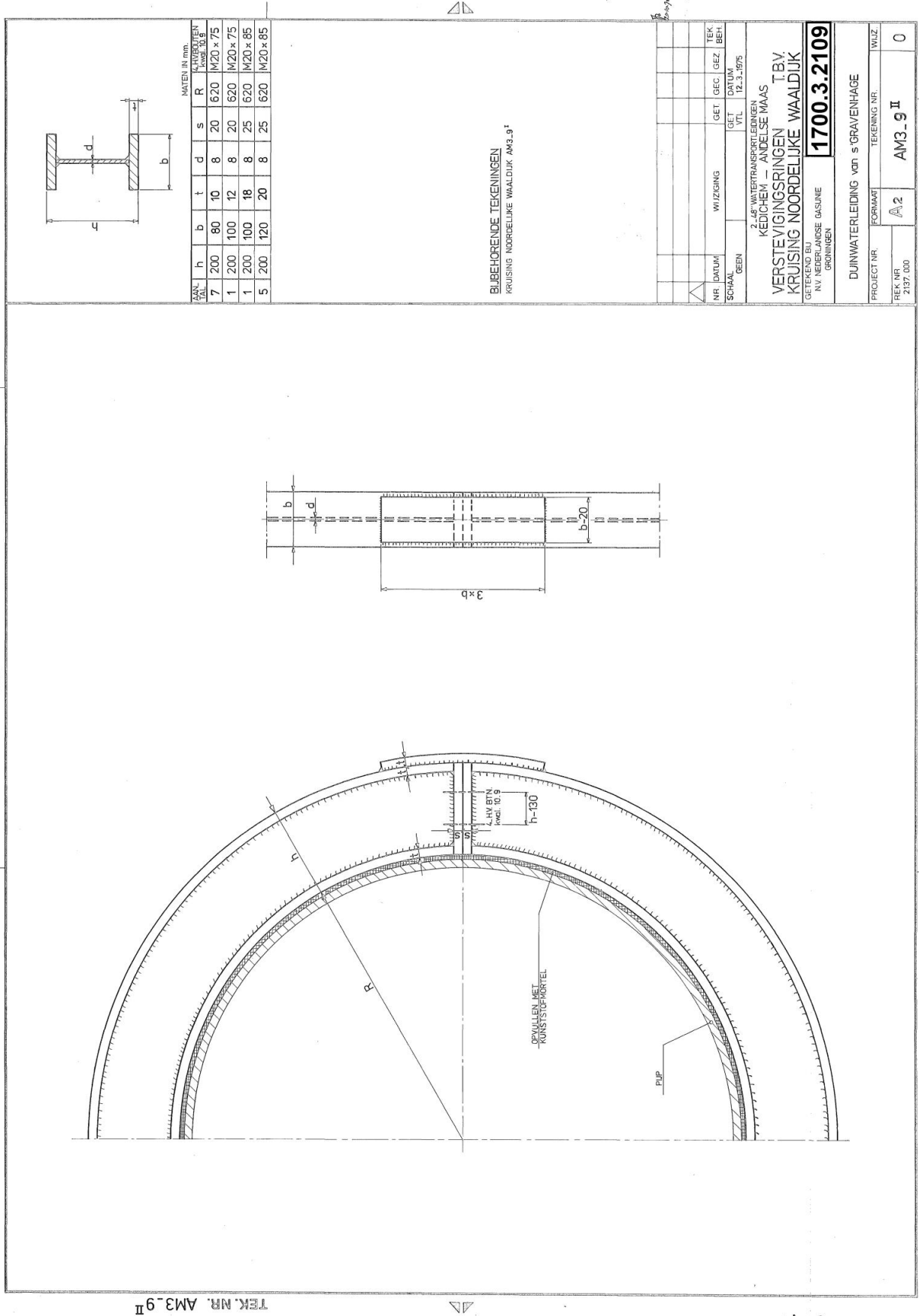
DIJKKRUISING NOORDELIJKE  
 WAALDIJK

DUNWATERLEIDING VAN  
 'S-GRAVENHAGE

AM3 - 9<sup>I</sup> WJZ. 2



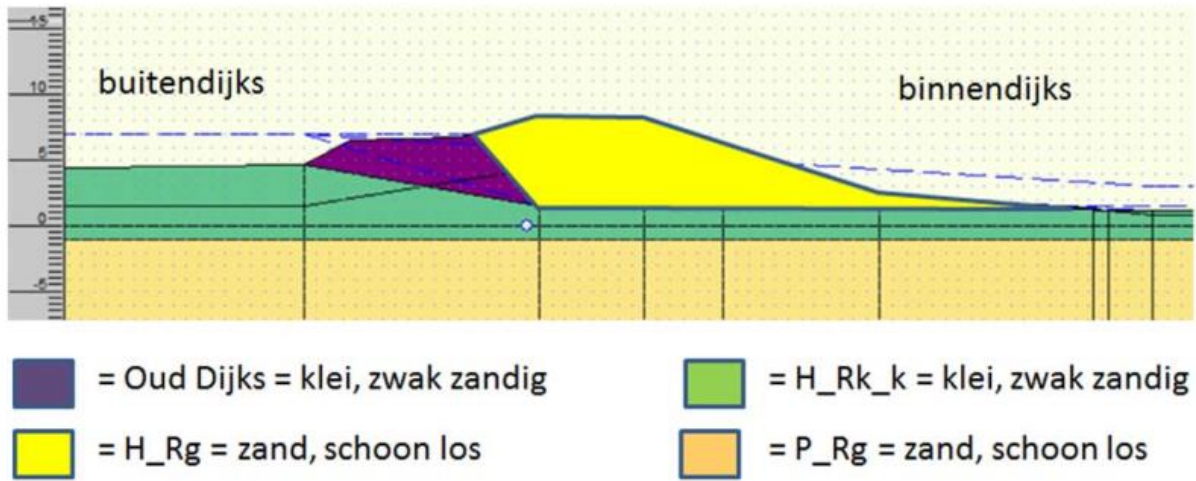
“Kruising Noordelijke Waaldijk, Watertransportleiding Andelse Maas - Bergambacht”, tekening nr. AM 3-9<sup>I</sup>, wijz. 2



“Verstevigingsringen t.b.v. kruising Noordelijke Waaldijk”, tekening nr. AM 3-9II, wijz. 0

## **BIJLAGE B**

### **Geotechnische gegevens**



Tabel 2.6 Grondeigenschappen

Grondsoort	Eigenschap	$\gamma_{dr} / \gamma_{nat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'$ [°]	$c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Oud Dijks	Klei, zwak zandig	18,0 / 18,0	22,5	5
H_Rg	Zand, schoon los	17,0 / 19,0	30,0	0
H_Rk_k	Klei, zwak zandig	18,0 / 18,0	22,5	5
P_Rg	Zand, schoon los	17,0 / 19,0	30,0	0

Opbouw van de dijk en de grondeigenschappen per grondsoort. Uit het rapport van Royal HaskoningDHV [4].

## **BIJLAGE C**

### **Korte beschrijving van *Ple4Win***



## Short description of Ple4Win

***Ple4Win is a Computer Aided Design tool for the pipeline design engineer, who has to design and evaluate the strength and stability of buried or partly buried transport pipelines, that have to meet safety requirements as they are specified in Pipeline Codes and Regulations. The pipeline may be a high or low-pressure transmission pipeline, onland or offshore.***

Ple4Win is based on a 3D geometric model, in which the pipeline is schematised by means of a string of straight pipe, curved bend and T-connection elements.

Branches and loops are allowed and as a result stations may be analysed as well.

Pipe diameter, pipe wallthickness and the properties of the pipeline materials may change along the pipeline axis.

Support and loading of the pipeline result from the surrounding soil. The soil model is based on the mechanical properties of the soil, which depend on the deformation direction (upward, sideward and downward) of the pipe relative to the soil and counteracted by the friction reaction of the soil.

Based on soil failure mechanics in the four principal directions a 3-D soil model is built in such a way that in the model the soil reaction is defined in any direction of the pipeline displacement. The deformation behaviour of the soil is considered to be non-linear elastic or elasto-plastic and primarily based on a bi-linear curve. Over the first part of the curve the deformation behaviour of the soil is considered to be linear elastic (constant ratio between soil reaction and pipe displacement), whereas over the second part the soil behaviour is considered to be ideal plastic (constant soil reaction independent of the pipe displacement). Other, smooth, curves can be applied too. Even slacks (for instance in a jacket tube) are possible.

At the end points of the pipeline structure to be taken into account, a free end or rigid support or a connected half-infinite long pipeline can be specified. Along the pipeline axis external linear elastic supports can be specified. For instance a "table" support with friction properties.

The loadings that may be placed on the pipeline structural model result from

*installation conditions.*

- elastic bends
- towing forces focused on the pulling point
- preheating conditions
- sequence of installation phases

*operational conditions:*

- internal or external overpressure
- variations in temperature
- deadweight of the pipeline structure

*and environmental conditions:*

- 3-D deformations of the surrounding soil as a result of consolidation settlements from extra loading and soil subsidence as a result of disturbance of the soil structure or earthquakes
- temporary loadings on top of the soil, e.g. as a result of traffic loads
- wave and current loadings at sea

Additional loadings may be modelled by means of point load patterns.

The loading condition on the pipeline structure is constituted by means of individual load factors on each loading component. The loading condition as a whole may be given an overall load factor. In this way it is possible to work in a traditional manner with actual loadings and admissible stresses, that are derived from the ultimate yield stress of the pipe material by means of a safety factor. Or to work in a more advanced way in which the various loadings each have their own individual loading factor,

together constituting an ultimate loading condition to the pipeline. In the latter case resulting stresses and strains are compared directly to the ultimate bearing capacity of the pipe material or pipe geometry. The ultimate bearing capacity in general is defined as the yield stress or the breaking stress, but can as well be a limit strain or buckling behaviour. For instance collapse of the cross-section or a buckled state. The rather complex pipeline model, built from circular cylinder shells and toroid shells into a spatial structure, is made accessible for calculation through splitting of the 3-D model into two independent models, being:

- a *"beam" model*, consisting of the pipeline axis with the stiffness properties of the pipe cross-section. At the location of the bends (toroids) the reduction of the bending stiffness of the cross-section, as a result of ovalisation, is taken into account. The counteracting effect of the internal pressure on this stiffness reduction is considered as well.

The beam model is loaded by the internal or external overpressure, temperature variations that mainly cause longitudinal deformations, deadweight of the pipeline and soil deformations that mainly cause lateral deformations of the pipeline. Wave and current loads at offshore pipelines may be present as well. Point load patterns may act in overall directions or they may be attached to the local pipeline orientation. At bends longitudinal deformations are transformed into lateral deformations and vice versa. Determination of displacement behaviour and internal forces in the pipeline is done by means of a finite element based method of calculation in which the pipe and soil properties are treated in an integrated way. From the internal forces in the pipeline, stresses in the pipe cross-sections are calculated. At the bends the influence of the ovalisation of the cross-section on the stress distribution over the circumference is considered. This ovalisation causes higher order pipe bending stresses that are known as stress intensification. The counteracting effect of the internal pressure is introduced in the calculation method. Optionally the limited bend angle stiffness and related stressing can be taken into account. The pipeline material can be specified as iso-

tropic, even elasto-plastic, mainly for ductile materials or as anisotropic mainly for brittle composite materials, like glass fibre reinforced plastic pipes. Geometric non-linearity (large displacements or "stress stiffening") may be accounted for optionally too.

- a *"ring" model*, consisting of the pipe cross-section with the stiffness properties of the pipe wall. The "rerounding" effect of the internal pressure on the deformation behaviour of the cross-section is taken into account. The ring model primarily is loaded by the internal pressure. On the cross-section the local soil reaction, resulting from the displacement of the cross-section as a whole, causes deformation of the cross-section. In a similar way the overburden weight and temporary top loads cause deformation of the cross-section. Calculation of the stresses over the circumference of the cross-section is done by means of a differential equation that is solved through Fourier-series. Calculation of stresses in the pipe material is carried out in 48 points equidistantly distributed over the cross-section circumference at the inner as well as at the outer wall face. In case of elasto-plastic material behaviour stresses are calculated in 144 points and the mid wall points are included. Successive ring ovalisations may be "re-distributed" to account for the longitudinal integration.

The following stress components are considered, where in the overall stress calculation weighing factors can be applied on individual stress components in order to allow a distinction between primary and secondary stresses.

- longitudinal stresses as a result of the axial force in the pipeline
- longitudinal pipe bending stresses resulting from the pipe bending moment. First order pipe bending stresses occur in straight pipe sections and in pipe bend sections, whereas higher order pipe bending stresses only occur at pipe bends, or in case of geometric non-linear analysis in the bended straight pipes.
- circumferential wall bending stresses as a result of ovalisation of the pipe cross-section at bends due to pipe bending. Due to

the Poisson effect related longitudinal stress components exist.

- full wall shear stresses as a result of the shear force acting on the pipe cross-section
- full wall shear stresses as a result of the twisting moment acting on the pipe cross-section.
- circumferential stresses resulting from the internal (or external) overpressure
- circumferential wall bending stresses resulting from local soil (and traffic) loadings with related longitudinal Poisson stress components.

From these stress components following evaluation stresses are calculated:

- equivalent stress according to Von Mises
- principal stresses according to Mohr
- maximum shear stress according to Tresca
- maximum uni-axial stresses in longitudinal and circumferential direction.

In case of use of the elasto-plastic pipe material facility analysis the internal forces and related stressing are based on the straining behaviour of the pipe material.

**Design process**

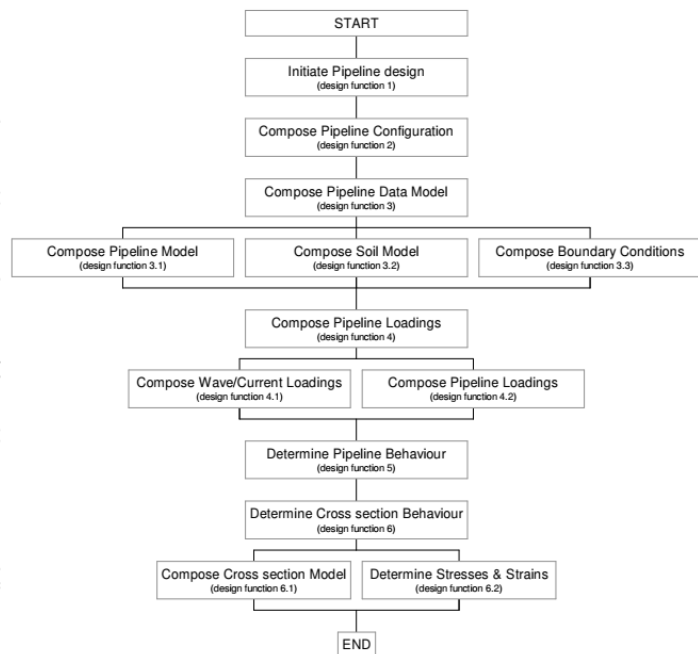
Characteristic for the use of Ple4Win is the application of a design methodology in the structure of the user interface. A great deal of effort has been put into the design of the user interface to facilitate the easy use of the system. The design process is sub-divided into six main design functions as shown in the diagram. Each design function is modelled in a standard layout to enable easy use by the engineer. The same applies to the standard layout of input and result tables. Result data can be interpreted easily through the use of a large number of graphical representation facilities. These enable clear reporting as well. Combination of plot files is possible to arrange overviews of graphically represented results. Successive design functions in the design flow scheme are processed one by one. Results from each function can thus be monitored easily. Set back functions provide the option to step back in the design process to

allow for parameter variation in order to obtain optimal structural results. Graphical facilities allow for comparison of results from different calculations.

**QA of Ple4Win**

Ple4Win is formally approved by Dutch authorities for analysis of pipeline structures to meet code requirements. However, in Belgium, France, Germany, Denmark, Great Britain, Norway, Israel and other countries results of Ple4Win analyses have been formally accepted as sound engineering analyses. The system is in use by a great number of engineering companies but certifying bodies and universities use Ple4Win as well.

Verification of results is one of the major efforts put into the program development since the beginning of the development of the design method as early as 1965. Where analytical comparative results are missing because of the complexity of the applied mechanics, test results are used.



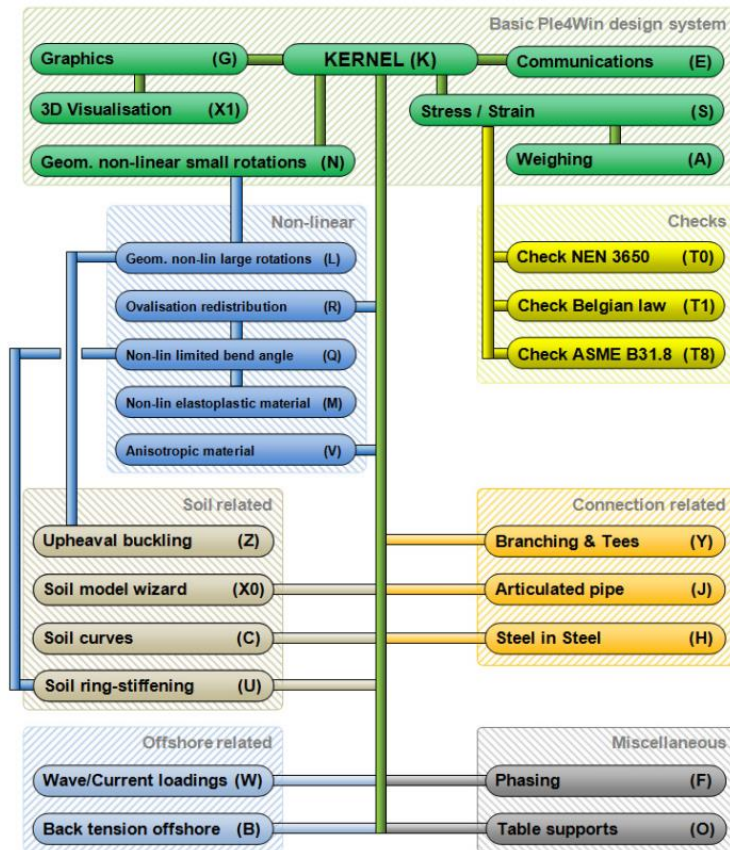
**Modular structure of Ple4Win**

The structure of Ple4Win is of a modular nature with basic modules to perform basic flexibility and stress/strain analyses and special modules to accommodate special applications. Various "Code checking" modules are available to directly adhere to specific code requirements. However, the main model is kept as free from code based ad hoc requirements as possible.

**New developments**

With the ongoing development of Ple4Win in the wake of new Pipeline Codes becoming available and new construction and installation methods developed, new modules are added in time to include further advanced functionality. Especially the fit-for-purpose analyses on existing pipelines is a first order technical challenge.

The developments are performed by r+k consulting engineers, a sister company of Expert Design Systems bv.



Further information:

	<p><b>EXPERT DESIGN SYSTEMS b.v</b></p> <p>Geestbrugweg 44 2281 CM Rijswijk, The Netherlands tel: +31-(0)70-3902386</p> <p>e-mail: info@eds-ple.nl website: www.ple4win.com</p>	<p><b>r+k consulting engineers</b></p> <p>Geestbrugweg 44 2281 CM Rijswijk, The Netherlands tel: +31-(0)70-3906890</p> <p>e-mail: info@rkconsult.nl website: www.rkconsult.nl</p>	
---	---	---	---

## **BIJLAGE D**

### **Computer in- en uitvoer van *Ple4Win***

## BIJLAGE D1: Vuren BC3 v6Pz, zettingen x 1 van 2119

### ORIGIN - Pipeline origin

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

IDENT	X-S	Y-S	Z-S	SNODE	SAX-L	SAX-LP
	mm	mm	mm		mm	mm
1 Start	0	57158	-1260	1	0	0

### POLYDIF - Pipeline polygon points (relative)

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

IDENT	ΔX-N	ΔY-N	Z-N	BENDRAD	ETYP	BEND_EL	PIPE_EL	EXT	N-KINK	L-SEGM
	mm	mm	mm	mm		mm	mm			mm
1 Knik60	33000	-57158	-750		Mitre bend	350	1000	4	8	4000
2 mangat1	38000	0	-10				1000			
3 k10	2000	0	-10		Mitre bend	110	1000	4	1	640
4 k20	2800	0	490		Mitre bend	110	1000	4	1	600
5 k30	3000	0	1230		Mitre bend	110	1000	4	1	600
6 k40	12700	0	5380		Mitre bend	110	1000	4	1	600
7 k50	4100	0	6370		Mitre bend	110	1000	4	1	640
8 k60	4200	0	6660		Mitre bend	110	1000	4	1	640
9 k70	4100	0	6470		Mitre bend	110	1000	4	1	640
10 k80	4100	0	5770		Mitre bend	110	1000	4	1	600
11 k90	3900	0	5050				105			
12 k100	3900	0	4345				105			
13 k110	4000	0	3640		Mitre bend	110	1000	4	1	600
14 k120	4600	0	3110		Mitre bend	300	1000	4	1	640
15 mangat2	2000	0	3100				1000			
16 Eind	38000	0	2640				1000			
17 EindX	10000	0	2640				1000			
18 mg2	-48000	0	3100		Weak					
19 eind2	0	0	4200				1000			
20 mg1	-55400	0	-10		Weak					
21 eind1	0	0	1090				1000			

### CONNECT - Pipeline connections

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

IDENT1	IDENT2	CONNAME	TEE-REF
1 mangat1	mg1	T1	T1
2 mangat2	mg2	T2	T2

### TEECONF - Pipeline Tee configurations

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

TEE-REF	L-RUN	L-BRN	CYCLES
	mm	mm	
1 T1	500	750	100
2 T2	500	750	100

### G-LEVEL - Ground level

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

Identifler	GROUND1	UNCV1	GROUND2	UNCV2
	mm	mm	mm	mm
1 Start	1050	0		
2 MV5	1900	0		
3 MV10	2500	0		
4 MV20	8450	0		
5 MV30	8450	0		
6 MV40	6500	0		
7 MV50	6500	0		
8 MV60	4500	0		
9 Eind2	4500	0		
10 MG1	1900	0		

### W-LEVEL - (Ground) water level

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

Identifler	WATER1	UNCV1	WATER2	UNCV2
	mm	mm	mm	mm
1 Start	200	0		
2 MV5	878	0		
3 MV60	3438	0		
4 Eind2	3438	0		
5 MG1	878	0		

**ADIDENT - Additional idents**

	REFIDENT	ΔAX-L	NEWIDENT
		mm	
1	k10	-20000	WD1
2	k120	20000	WD2
3	k20	0	MV5
4	k30	0	MV10
5	k70	-7300	MV20
6	k70	0	MV30
7	k120	-10500	MV40
8	k120	-4600	MV50
9	k120	-1000	MV60
10	k40	-1000	OntgrL
11	k80	1000	OntgrR
12	k110	-6000	WegL
13	k110	-1000	WegR
14	Knik60	41400	ZB15
15	Knik60	51200	ZB12
16	Knik60	62200	ZB9
17	Knik60	69300	ZB6
18	Knik60	78900	ZB3
19	Knik60	89600	ZB1

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

**MATL - Material location**

	Identifier	MATREF
1	Start	Gr.B
2	WD1	Gr.X60
3	WD2	Gr.B

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

**ISTROP - Isotropic materials**

	MATREF	Emod	Gmod	Nu	ALPHA	Re	ReT
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>		1/C	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1	Gr.X60	207000		0,3	1,16E-06	413	
2	Gr.B	207000		0,3	1,16E-06	241	

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

**DIAM - Outer diameter**

	Element	DOUT1	DOUT2
		mm	mm
1	152	1219	
2	153	1219	
3	180	1219	
4	181	1254	
5	182	1219	
6	196	1219	
7	197	1254	
8	198	1219	
9	212	1219	
10	213	1254	
11	214	1219	
12	238	1219	
13	239	1254	
14	240	1219	
15	255	1219	
16	256	1254	
17	257	1219	
18	272	1219	
19	273	1254	
20	274	1219	
21	289	1219	
22	290	1254	
23	291	1219	
24	306	1219	
25	307	1254	
26	308	1219	
27	345	1219	
28	346	1254	

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]





**DEADW - Deadweight**

Identifier	DEADW1	DEADW2	WLEVEL
	N/mm	N/mm	
1 Start	3,93	15,38	Yes
2 EindX	1,04	3,95	Yes

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

**KLH - Horizontal soil stiffness**

Identifier	KLH1	KLH2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
1 start	0,0039567			1,7	5
2 knik60s	0,0039281			1,7	5
3 knik60	0,0038093			1,7	5
4 knik60e	0,0035693			1,7	5
5 wd1	0,0035387			1,7	5
6 t1s	0,0033121			1,7	5
7 mangat1	0,0033053			1,7	5
8 t1e	0,0033112			1,7	5
9 k10s	0,0033252			1,7	5
10 k10	0,00327			1,7	5
11 k10e	0,003262			1,7	5
12 k20s	0,0027993			1,7	5
13 k20	0,0026891			1,7	5
14 zb15	0,0027586			1,7	5
15 k20e	0,0027696			1,7	5
16 w-lvl 1	0,0029647			1,7	5
17 k30s	0,0029374			1,7	5
18 k30	0,0028654			1,7	5
19 k30e	0,0029464			1,7	5
20 zb12	0,0035032			1,7	5
21 ontgrl	0,0037697			1,7	5
22 k40s	0,0037883			1,7	5
23 k40	0,0037384			1,7	5
24 k40e	0,0038909			1,7	5
25 k50s	0,0049754			1,7	5
26 k50	0,0049886			1,7	5
27 k50e	0,0053646			1,7	5
28 mv20	0,0057566			1,7	5
29 k60s	0,004986			1,7	5
30 k60	0,0048253			1,7	5
31 k60e	0,0049616			1,7	5
32 zb6	0,0054544			1,7	5
33 k70s	0,0055259			1,7	5
34 k70	0,0054829			1,7	5
35 k70e	0,0055564			1,7	5
36 k80s	0,005296			1,7	5
37 k80	0,0051812			1,7	5
38 k80e	0,0052627			1,7	5
39 wegl	0,0040776			1,7	5
40 mv40	0,0040742			1,7	5
41 k100	0,0047381			1,7	5
42 wegr	0,0062735			1,7	5
43 k110s	0,0064498			1,7	5
44 k110	0,0064664			1,7	5
45 k110e	0,0062521			1,7	5
46 w-lvl 2	0,004768			1,7	5
47 mv60	0,0026089			1,7	5
48 k120s	0,0026996			1,7	5
49 k120	0,0027457			1,7	5
50 k120e	0,0027482			1,7	5
51 t2s	0,0027557			1,7	5
52 mangat2	0,0027582			1,7	5
53 t2e	0,0027657			1,7	5
54 wd2	0,0030353			1,7	5
55 eind	0,0033383			1,7	5
56 eindx	0,0033383			1,7	5
57 mg2	0,0066109			1,7	5
58 t2b	0,0035183			1,7	5
59 eind2	0,0018925			1,7	5
60 mg1	0,0081092			1,7	5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

**KLH - Horizontal soil stiffness**

	Identifier	KLH1	KLH2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
61	t1b	0,0057924			1,7	5
62	eind1	0,0042956			1,7	5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

**KLS - Downward vertical soil stiffness**

	Identifier	KL S1	KL S2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
1	start	0,0016105			2	5
2	knik60s	0,0023262			1,9484	5
3	knik60	0,002804			1,9066	5
4	knik60e	0,0024813			1,8436	5
5	wd1	0,0026254			1,8335	5
6	t1s	0,0036359			1,7589	5
7	mangat1	0,0036638			1,7567	5
8	t1e	0,0036688			1,7567	5
9	k10s	0,0036806			1,7567	5
10	k10	0,0035723			1,7602	5
11	k10e	0,0038135			1,7445	5
12	k20s	0,0043314			1,659	5
13	k20	0,0041901			1,6524	5
14	zb15	0,0044363			1,6369	5
15	k20e	0,0044871			1,6316	5
16	w-lvl 1	0,0045645			1,6	5
17	k30s	0,0044864			1,6	5
18	k30	0,0043426			1,6	5
19	k30e	0,0044326			1,6	5
20	zb12	0,0018937			1,9122	5
21	ontgrl	0,0012296			2	5
22	k40s	0,0012387			2	5
23	k40	0,0012263			2	5
24	k40e	0,0012885			2	5
25	k50s	0,0018429			2	5
26	k50	0,0018678			2	5
27	k50e	0,0020526			2	5
28	mv20	0,0022688			2	5
29	k60s	0,0018485			2	5
30	k60	0,0017805			2	5
31	k60e	0,0018356			2	5
32	zb6	0,0021017			2	5
33	k70s	0,0021409			2	5
34	k70	0,0021378			2	5
35	k70e	0,0021578			2	5
36	k80s	0,0020153			2	5
37	k80	0,001972			2	5
38	k80e	0,0019972			2	5
39	wegl	0,0065295			1,6	5
40	mv40	0,0065245			1,6	5
41	k100	0,0074973			1,6	5
42	wegr	0,0097027			1,6	5
43	k110s	0,0099481			1,6	5
44	k110	0,0099607			1,6	5
45	k110e	0,0096727			1,6	5
46	w-lvl 2	0,0075518			1,6	5
47	mv60	0,0045175			1,6	5
48	k120s	0,0047488			1,6	5
49	k120	0,0048672			1,6	5
50	k120e	0,0048737			1,6	5
51	t2s	0,0048929			1,6	5
52	mangat2	0,0048994			1,6	5
53	t2e	0,0049187			1,6	5
54	wd2	0,0056216			1,6	5
55	eind	0,0060989			1,6	5
56	eindx	0,0060989			1,6	5
57	mg2	0,0066109			1,6	5
58	t2b	0,0035183			1,6	5
59	eind2	0,0018925			1,6	5
60	mg1	0,0081092			1,6	5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

**KLS - Downward vertical soil stiffness**

	Identifier	KLS1	KLS2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
61	t1b	0,0057924			1,6	5
62	eind1	0,0042956			1,6	5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

**KLT - Upward vertical soil stiffness**

	Identifier	KLT1	KLT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
1	start	0,00063605			1,772	5
2	knik60s	0,00066649			1,8364	5
3	knik60	0,00064015			1,8682	5
4	knik60e	0,00056452			1,9	5
5	wd1	0,00055202			1,9	5
6	t1s	0,00046352			1,9	5
7	mangat1	0,00046098			1,9	5
8	t1e	0,00046299			1,9	5
9	k10s	0,00046777			1,9	5
10	k10	0,00045369			1,9	5
11	k10e	0,0004444			1,8997	5
12	k20s	0,00025763			1,8953	5
13	k20	0,00022162			1,8946	5
14	zb15	0,00021518			1,8849	5
15	k20e	0,00020758			1,88	5
16	w-lvl 1	9,8398E-05			1,7729	5
17	k30s	8,5038E-05			1,7511	5
18	k30	7,1886E-05			1,7353	5
19	k30e	7,4345E-05			1,7091	5
20	zb12	9,5571E-05			1,4	5
21	ontgrl	0,000118			1,4	5
22	k40s	0,00011964			1,4	5
23	k40	0,00011563			1,4	5
24	k40e	0,00012888			1,4	5
25	k50s	0,00024431			1,4	5
26	k50	0,0002467			1,4	5
27	k50e	0,00029337			1,4	5
28	mv20	0,0003467			1,4	5
29	k60s	0,00024558			1,4	5
30	k60	0,00022717			1,4	5
31	k60e	0,00024264			1,4	5
32	zb6	0,00030523			1,4	5
33	k70s	0,00031484			1,4	5
34	k70	0,00031004			1,4	5
35	k70e	0,00031897			1,4	5
36	k80s	0,00028444			1,4	5
37	k80	0,00027063			1,4	5
38	k80e	0,00028015			1,4	5
39	wegl	0,00049533			1,9	5
40	mv40	0,00049433			1,9	5
41	k100	0,00071162			1,9	5
42	wegr	0,0013165			1,9	5
43	k110s	0,0013964			1,9	5
44	k110	0,00141			1,9	5
45	k110e	0,0013069			1,9	5
46	w-lvl 2	0,00071799			1,9	5
47	mv60	0,0001778			1,9	5
48	k120s	0,00021082			1,9	5
49	k120	0,00022849			1,9	5
50	k120e	0,00022947			1,9	5
51	t2s	0,0002324			1,9	5
52	mangat2	0,00023338			1,9	5
53	t2e	0,00023633			1,9	5
54	wd2	0,00035318			1,9	5
55	eind	0,00046658			1,9	5
56	eindx	0,00046658			1,9	5
57	mg2	0,0066109			1,9	5
58	t2b	0,0035183			1,9	5
59	eind2	0,0018925			1,9	5
60	mg1	0,0081092			1,895	5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

**KLT - Upward vertical soil stiffness**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

	Identifier	KLT1	KLT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
61	t1b	0,0057924			1,8925	5
62	eind1	0,0042956			1,8901	5

**F - Pipe-soil friction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

	Identifier	F1	F2	UNCF-L	UNCF-H	CFA1	CFA2	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
1	start	0,0081563			1,7815			5
2	knik60s	0,0086505			2,0079			5
3	knik60	0,0087437			2,1235			5
4	knik60e	0,008741			2,2978			5
5	wd1	0,0087388			2,3256			5
6	t1s	0,0084848			2,355			5
7	mangat1	0,0084759			2,355			5
8	t1e	0,0084848			2,355			5
9	k10s	0,0085057			2,355			5
10	k10	0,0085114			2,355			5
11	k10e	0,0084173			2,355			5
12	k20s	0,0077591			2,355			5
13	k20	0,0076698			2,355			5
14	zb15	0,0077054			2,355			5
15	k20e	0,0077232			2,355			5
16	w-lvl 1	0,0079732			2,355			5
17	k30s	0,0077966			2,3008			5
18	k30	0,0076504			2,253			5
19	k30e	0,0075599			2,2009			5
20	zb12	0,0064203			1,375			5
21	ontgrl	0,0068136			1,375			5
22	k40s	0,0068409			1,375			5
23	k40	0,0068616			1,375			5
24	k40e	0,00699			1,375			5
25	k50s	0,0085032			1,375			5
26	k50	0,0086385			1,375			5
27	k50e	0,0090215			1,375			5
28	mv20	0,0095321			1,375			5
29	k60s	0,0085174			1,375			5
30	k60	0,0084145			1,375			5
31	k60e	0,0084847			1,375			5
32	zb6	0,0091394			1,375			5
33	k70s	0,0092329			1,375			5
34	k70	0,009303			1,375			5
35	k70e	0,0092727			1,375			5
36	k80s	0,0089311			1,375			5
37	k80	0,0088997			1,375			5
38	k80e	0,008887			1,375			5
39	wegl	0,010182			2,355			5
40	mv40	0,010176			2,355			5
41	k100	0,011405			2,355			5
42	wegr	0,013683			2,355			5
43	k110s	0,013952			2,355			5
44	k110	0,014155			2,355			5
45	k110e	0,01365			2,355			5
46	w-lvl 2	0,011316			2,355			5
47	mv60	0,0075289			2,355			5
48	k120s	0,0076585			2,355			5
49	k120	0,0077241			2,355			5
50	k120e	0,0077277			2,355			5
51	t2s	0,0077383			2,355			5
52	mangat2	0,0077419			2,355			5
53	t2e	0,0077525			2,355			5
54	wd2	0,008134			2,355			5
55	eind	0,0085582			2,355			5
56	eindx	0,0085582			2,355			5
57	mg2	0,0077419			2,355			5
58	t2b	0,0055351			2,355			5
59	eind2	0,0041701			2,355			5
60	mg1	0,0085571			2,355			5

**F - Pipe-soil friction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

	Identifier	F1	F2	UNCF-L	UNCF-H	CFA1	CFA2	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
61	t1b	0,0072262			2,355			5
62	eind1	0,0061544			2,355			5

**UF - Displacement at max. soil friction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

	Identifier	UF1	UF2	UNCF-L	UNCF-H
		mm	mm		
1	start	5,8779			1,5613
2	knik60s	5,5313			1,5306
3	knik60	5,3544			1,515
4	knik60e	5,0876			1,5
5	wd1	5,0449			1,5
6	t1s	5			1,5
7	mangat1	5			1,5
8	t1e	5			1,5
9	k10s	5			1,5
10	k10	5			1,5
11	k10e	5			1,5
12	k20s	5			1,5
13	k20	5			1,5
14	zb15	5			1,5
15	k20e	5			1,5
16	w-lvl 1	5			1,5
17	k30s	5,0829			1,5
18	k30	5,156			1,5
19	k30e	5,2358			1,5045
20	zb12	6,5			1,6
21	ontgrl	6,5			1,6
22	k40s	6,5			1,6
23	k40	6,5			1,6
24	k40e	6,5			1,6
25	k50s	6,5			1,6
26	k50	6,5			1,6
27	k50e	6,5			1,6
28	mv20	6,5			1,6
29	k60s	6,5			1,6
30	k60	6,5			1,6
31	k60e	6,5			1,6
32	zb6	6,5			1,6
33	k70s	6,5			1,6
34	k70	6,5			1,6
35	k70e	6,5			1,6
36	k80s	6,5			1,6
37	k80	6,5			1,6
38	k80e	6,5			1,6
39	wegl	5			1,5
40	mv40	5			1,5
41	k100	5			1,5
42	wegr	5			1,5
43	k110s	5			1,5
44	k110	5			1,5
45	k110e	5			1,5
46	w-lvl 2	5			1,5
47	mv60	5			1,5
48	k120s	5			1,5
49	k120	5			1,5
50	k120e	5			1,5
51	t2s	5			1,5
52	mangat2	5			1,5
53	t2e	5			1,5
54	wd2	5			1,5
55	eind	5			1,5
56	eindx	5			1,5
57	mg2	5			1,5
58	t2b	5			1,5
59	eind2	5			1,5
60	mg1	5			1,5

**UF - Displacement at max. soil friction**

Identifier	UF1	UF2	UNCF-L	UNCF-H
	mm	mm		
61 t1b	5			1,5
62 eind1	5			1,5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

**RVS - Sub-soil bearing capacity**

Identifier	RVS1	RVS2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
1 start	0,5502			2	5
2 knik60s	0,54989			1,9484	5
3 knik60	0,52731			1,9066	5
4 knik60e	0,48174			1,8436	5
5 wd1	0,47452			1,8335	5
6 t1s	0,42397			1,7589	5
7 mangat1	0,42254			1,7567	5
8 t1e	0,42321			1,7567	5
9 k10s	0,42478			1,7567	5
10 k10	0,42566			1,7602	5
11 k10e	0,414			1,7445	5
12 k20s	0,32378			1,659	5
13 k20	0,30952			1,6524	5
14 zb15	0,30587			1,6369	5
15 k20e	0,30381			1,6316	5
16 w-lvl 1	0,27821			1,6	5
17 k30s	0,27344			1,6	5
18 k30	0,26848			1,6	5
19 k30e	0,27017			1,6	5
20 zb12	0,35369			1,9122	5
21 ontgrl	0,40399			2	5
22 k40s	0,40618			2	5
23 k40	0,40617			2	5
24 k40e	0,41823			2	5
25 k50s	0,54334			2	5
26 k50	0,55285			2	5
27 k50e	0,58726			2	5
28 mv20	0,631			2	5
29 k60s	0,54454			2	5
30 k60	0,53399			2	5
31 k60e	0,54178			2	5
32 zb6	0,59732			2	5
33 k70s	0,60532			2	5
34 k70	0,60935			2	5
35 k70e	0,60872			2	5
36 k80s	0,57956			2	5
37 k80	0,57496			2	5
38 k80e	0,57582			2	5
39 wegl	0,39797			1,6	5
40 mv40	0,39767			1,6	5
41 k100	0,46352			1,6	5
42 wegr	0,59138			1,6	5
43 k110s	0,60634			1,6	5
44 k110	0,61582			1,6	5
45 k110e	0,58955			1,6	5
46 w-lvl 2	0,46028			1,6	5
47 mv60	0,27534			1,6	5
48 k120s	0,28944			1,6	5
49 k120	0,29666			1,6	5
50 k120e	0,29705			1,6	5
51 t2s	0,29823			1,6	5
52 mangat2	0,29862			1,6	5
53 t2e	0,29979			1,6	5
54 wd2	0,34264			1,6	5
55 eind	0,37173			1,6	5
56 eindx	0,37173			1,6	5
57 mg2	0,12212			1,6	5
58 t2b	0,064992			1,6	5
59 eind2	0,03496			1,6	5
60 mg1	0,1498			1,6	5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

**RVS - Sub-soil bearing capacity**

	Identifier	RVS1	RVS2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
61	t1b	0,107			1,6	5
62	eind1	0,079352			1,6	5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

**RVT - Ultimate top-soil reaction**

	Identifier	RVT1	RVT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
1	start	0,031584			1,5	5
2	knik60s	0,032947			1,5	5
3	knik60	0,032234			1,5	5
4	knik60e	0,029902			1,5	5
5	wd1	0,029508			1,5	5
6	t1s	0,02666			1,5	5
7	mangat1	0,026576			1,5	5
8	t1e	0,02665			1,5	5
9	k10s	0,026825			1,5	5
10	k10	0,026644			1,5	5
11	k10e	0,026038			1,5	5
12	k20s	0,018505			1,5	5
13	k20	0,016963			1,5	5
14	zb15	0,016945			1,5	5
15	k20e	0,016808			1,5	5
16	w-lvl 1	0,014023			1,5	5
17	k30s	0,013493			1,5	5
18	k30	0,012866			1,5	5
19	k30e	0,013153			1,5	5
20	zb12	0,015212			1,5	5
21	ontgrl	0,017198			1,5	5
22	k40s	0,017338			1,5	5
23	k40	0,017192			1,5	5
24	k40e	0,018108			1,5	5
25	k50s	0,02641			1,5	5
26	k50	0,026869			1,5	5
27	k50e	0,029458			1,5	5
28	mv20	0,032562			1,5	5
29	k60s	0,026492			1,5	5
30	k60	0,025583			1,5	5
31	k60e	0,026303			1,5	5
32	zb6	0,030165			1,5	5
33	k70s	0,030731			1,5	5
34	k70	0,030798			1,5	5
35	k70e	0,030972			1,5	5
36	k80s	0,028918			1,5	5
37	k80	0,028393			1,5	5
38	k80e	0,028657			1,5	5
39	wegl	0,028898			1,5	5
40	mv40	0,028856			1,5	5
41	k100	0,037975			1,5	5
42	wegr	0,058419			1,5	5
43	k110s	0,060984			1,5	5
44	k110	0,062298			1,5	5
45	k110e	0,058109			1,5	5
46	w-lvl 2	0,037678			1,5	5
47	mv60	0,014061			1,5	5
48	k120s	0,015832			1,5	5
49	k120	0,016748			1,5	5
50	k120e	0,016797			1,5	5
51	t2s	0,016947			1,5	5
52	mangat2	0,016997			1,5	5
53	t2e	0,017147			1,5	5
54	wd2	0,022739			1,5	5
55	eind	0,027018			1,5	5
56	eindx	0,027018			1,5	5
57	mg2	0,12212			1,5	5
58	t2b	0,064992			1,5	5
59	eind2	0				5
60	mg1	0,1498			1,5	5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

**RVT - Ultimate top-soil reaction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

Identifier	RVT1	RVT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
61 t1b	0,107			1,5	5
62 eind1	0,079352			1,5	5

**RH - Ultimate hor. soil reaction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

Identifier	RH1	RH2	UNCF-L	UNCF-H	CFH1	CFH2	VARAR
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
1 start	0,14616			1,8976			5
2 knik60s	0,1451			1,9491			5
3 knik60	0,14071			1,9746			5
4 knik60e	0,13185			2			5
5 wd1	0,13072			2			5
6 t1s	0,12235			2			5
7 mangat1	0,1221			2			5
8 t1e	0,12231			2			5
9 k10s	0,12283			2			5
10 k10	0,12252			2			5
11 k10e	0,1205			1,9997			5
12 k20s	0,1034			1,9962			5
13 k20	0,10076			1,9957			5
14 zb15	0,1019			1,9879			5
15 k20e	0,10231			1,984			5
16 w-lvl 1	0,10951			1,8983			5
17 k30s	0,10851			1,8809			5
18 k30	0,10737			1,8682			5
19 k30e	0,10884			1,8473			5
20 zb12	0,12941			1,6			5
21 ontgrl	0,13925			1,6			5
22 k40s	0,13994			1,6			5
23 k40	0,14008			1,6			5
24 k40e	0,14373			1,6			5
25 k50s	0,18379			1,6			5
26 k50	0,18692			1,6			5
27 k50e	0,19816			1,6			5
28 mv20	0,21264			1,6			5
29 k60s	0,18418			1,6			5
30 k60	0,1808			1,6			5
31 k60e	0,18328			1,6			5
32 zb6	0,20148			1,6			5
33 k70s	0,20412			1,6			5
34 k70	0,20544			1,6			5
35 k70e	0,20525			1,6			5
36 k80s	0,19563			1,6			5
37 k80	0,19414			1,6			5
38 k80e	0,1944			1,6			5
39 wegl	0,15062			2			5
40 mv40	0,1505			2			5
41 k100	0,17753			2			5
42 wegr	0,23174			2			5
43 k110s	0,23825			2			5
44 k110	0,24229			2			5
45 k110e	0,23095			2			5
46 w-lvl 2	0,17613			2			5
47 mv60	0,096371			2			5
48 k120s	0,099722			2			5
49 k120	0,10142			2			5
50 k120e	0,10152			2			5
51 t2s	0,10179			2			5
52 mangat2	0,10189			2			5
53 t2e	0,10216			2			5
54 wd2	0,11212			2			5
55 eind	0,12331			2			5
56 eindx	0,12331			2			5
57 mg2	0,12212			2			5
58 t2b	0,064992			2			5
59 eind2	0,03496			2			5
60 mg1	0,1498			1,996			5



**RH - Ultimate hor. soil reaction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

	Identifier	RH1	RH2	UNCF-L	UNCF-H	CFH1	CFH2	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
61	t1b	0,107			1,994			5
62	eind1	0,079352			1,9921			5

**UNCER - Uncertainty factors**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

	U-KLH	U-KLS	U-KLT	U-F	U-UF	U-RVS	U-RVT	U-RH
1	High	High	High	High	High	High	High	High

**ENDPTS - Start/end nodes boundary conditions**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

	IDENT	COND	STATE
1	Start	Fixed	Open
2	EindX	Infinite	Open
3	Eind1	Free	Closed
4	Eind2	Free	Closed

**PRESS - Internal overpressure**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

	Identifier	PRESS1	PRESS2
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1	Start	1,1	

**TEMP - Temperature differences**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

	Identifier	T-ABS1	T-REF1	T-ABS2	T-REF2
		°C	°C	°C	°C
1	Start	20	10		

**SETZ - Soil displacement in Z-direction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:2]

	AX-L	SETZ1	UNCF1	SETZ2	UNCF2
	mm	mm		mm	
1	24600	-34,1	1		
2	26600	-35,3	1		
3	42600	-98,6	1		
4	58600	-155,3	1		
5	74600	-215,9	1		
6	81190	-258,7	1		
7	84700	-265,7	1		
8	96240	-347	1		
9	102900	-389	1		
10	113480	-210	1		
11	121720	-228	1		
12	127570	-276	1		
13	143150	-85	1		
14	159600	-81	1		
15	181600	-81	1		
16	203050	-82	1		
17	205386	-82	1	-81,5	1
18	206486	-81,5	1	-375,6	1
19	207586	-375,6	1		

**SUBSIDE - Vertical soil subsidence**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

	Identifier	SUBZMAX	UNCF	LENGTH	SINSHAPE
		mm		mm	
1	OntgrL	-15	1,5	18500	Block

**LOCASE - Loading combinations**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

	IDENT	GLOAD-F	PRESS-F	T-DIF-F	DEADW-F	SETL-F	NODAL-F	ELBND-F	WAVC-F
1	BC3	1	0	0	1,1	1,1	0	0	0

**SOILCTL - Non-linear elastic soil iteration control**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

	MAXSIT	MERPTS	MERFLDS
1	20	0	0

**GEOMCTL - Geometrically non-linear iteration control**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

	MAXGIT	RELDISEQ	ABSDISEQ	ROTINCR
1	50	0,0001	1E-06	0,1

**DISPLAC - Displacements (loadcase bc3    g-nln/m-nln iter 14)**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

	NO	U-X	U-Y	U-Z	PHI-X	PHI-Y	PHI-Z	U-AX	PHI-AX	U-LAT	PHI-L
		mm	mm	mm	RAD	RAD	RAD	mm	RAD	mm	°
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	39	-2,803.E-2	-4,103.E-2	-87,65840...	3,3248.E-3	2,8575.E-3	-1,90.E-05	-2,7684202	-8,124.E-4	87,6579818	270
57	57	-2,565.E-1	-3,075.E-1	-138,0890...	2,6632.E-3	3,1961.E-3	-3,20.E-05	-3,9037768	-1,436.E-3	138,08908...	270
101	101	-1,986.E-1	-8,903.E-1	-196,1244...	1,5086.E-3	3,8599.E-3	1,941.E-05	-2,003511...	-6,232.E-4	196,11632...	270
120	120	3,7965.E-1	-3,621.E-1	-223,7478...	1,1628.E-3	4,5729.E-3	1,999.E-04	-2,560152...	-5,682.E-5	223,73382...	270
136	136	8,8413.E-1	-7,930.E-2	-251,5805...	9,9372.E-4	5,6484.E-3	-9,39.E-05	-2,446634...	2,4603.E-4	251,57022...	270
143	143	1,0751.E+0	-2,500.E-1	-265,2863...	8,8419.E-4	5,8984.E-3	-1,96.E-05	-2,520457...	8,8367.E-4	265,27668...	270
151	151	1,3378.E+0	-2,780.E-1	-281,4629...	7,5509.E-4	5,9831.E-3	1,465.E-05	-2,456059...	7,5526.E-4	281,45554...	270
168	168	2,7308.E+0	4,4641.E-2	-351,3973...	3,5170.E-4	1,6008.E-5	2,165.E-05	-4,104239...	3,5206.E-4	351,38403...	270
181	181	2,8346.E+0	1,4066.E-1	-339,3110...	2,7524.E-4	-5,633.E-3	2,685.E-05	-29,03582...	2,7654.E-4	338,07837...	270
273	273	-1,942.E+1	-3,643.E-3	-233,4178...	9,0834.E-5	-7,661.E-3	2,535.E-06	-23,84144...	9,0857.E-5	233,00799...	270
298	298	-1,484.E+1	3,0464.E-3	-177,5497...	6,9987.E-5	-1,077.E-2	-9,79.E-06	13,312871...	7,0640.E-5	177,67139...	270
345	345	-4,200.E+0	4,1197.E-3	-115,6880...	5,0956.E-5	-7,521.E-3	-9,44.E-06	16,000519...	5,1824.E-5	114,65317...	270
472	472	2,7569.E+0	9,5970.E-2	-346,5727...	3,0068.E-4	-2,707.E-3	2,213.E-05	-346,5789...	2,2123.E-5	1,8151876	83
473	473	7,1898.E-1	-1,281.E-1	-346,5811...	2,9927.E-4	-2,713.E-3	2,207.E-05	-346,5817...	2,2078.E-5	,3212308	310

**SOILNB - Neutral or real top-soil load**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

	Identifler	NB1	UNCF1	LOADF1	NB2	UNCF2	LOADF2
		N/mm²			N/mm²		
1	start	0,022266	1,1	1			
2	knik60s	0,023165	1,1	1			
3	knik60	0,022911	1,1	1			
4	knik60e	0,021862	1,1	1			
5	wd1	0,021679	1,1	1			
6	t1s	0,020321	1,1	1			
7	mangat1	0,02028	1,1	1			
8	t1e	0,020321	1,1	1			
9	k10s	0,020418	1,1	1			
10	k10	0,020372	1,1	1			
11	k10e	0,02001	1,1	1			
12	k20s	0,0153	1,1	1			
13	k20	0,01423	1,1	1			
14	zb15	0,014183	1,1	1			
15	k20e	0,014081	1,1	1			
16	w-lvl 1	0,011981	1,1	1			
17	k30s	0,011573	1,1	1			
18	k30	0,01111	1,1	1			
19	k30e	0,011304	1,1	1			
20	zb12	0,012829	1,1	1			
21	ontgrl	0,014256	1,1	1			
22	k40s	0,014355	1,1	1			
23	k40	0,014281	1,1	1			
24	k40e	0,014896	1,1	1			
25	k50s	0,020391	1,1	1			
26	k50	0,020734	1,1	1			
27	k50e	0,022275	1,1	1			
28	mv20	0,024132	1,1	1			
29	k60s	0,020442	1,1	1			
30	k60	0,01992	1,1	1			
31	k60e	0,020324	1,1	1			
32	zb6	0,022704	1,1	1			
33	k70s	0,023044	1,1	1			
34	k70	0,02315	1,1	1			
35	k70e	0,023188	1,1	1			

**SOILNB - Neutral or real top-soil load**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

Identifiser	NB1	UNCF1	LOADF1	NB2	UNCF2	LOADF2
	N/mm <sup>2</sup>			N/mm <sup>2</sup>		
36	k80s	0,021946	1,1	1		
37	k80	0,021683	1,1	1		
38	k80e	0,021786	1,1	1		
39	wegl	0,022175	1,1	1		
40	mv40	0,022149	1,1	1		
41	k100	0,027662	1,1	1		
42	wegr	0,038331	1,1	1		
43	k110s	0,039573	1,1	1		
44	k110	0,040352	1,1	1		
45	k110e	0,038179	1,1	1		
46	w-lvl 2	0,027407	1,1	1		
47	mv60	0,012069	1,1	1		
48	k120s	0,013383	1,1	1		
49	k120	0,014049	1,1	1		
50	k120e	0,014085	1,1	1		
51	t2s	0,014193	1,1	1		
52	mangat2	0,014229	1,1	1		
53	t2e	0,014337	1,1	1		
54	wd2	0,018207	1,1	1		
55	eind	0,02066	1,1	1		
56	eindx	0,02066	1,1	1		
57	mg2	0	1,1	1		
58	t2b	0	1,1	1		
59	eind2	0		1		
60	mg1	0	1,1	1		
61	t1b	0	1,1	1		
62	eind1	0	1,1	1		

**TOPLOAD - Extra loads on top-soil**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

Identifiser	TOPLOAD1	LOADF1	TOPLOAD2	LOADF2
	N/mm <sup>2</sup>		N/mm <sup>2</sup>	
1	k10	0,009	1,35	
2	k20	0,018	1,35	
3	k30	0,022	1,35	
4	k40	0,018	1,35	
5	k60	0,011	1,35	
6	WegL	0,011	1,35	0,022
7	WegR	0,01	1,35	0,005
8	MV60	0,022	1,35	0,044
9	EindX	0,02	1,35	
10	MG2	0	1,35	

**LAMBDA - Horizontal soil support / Vertical soil load**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

Identifiser	LAMBDA1	LAMBDA2
1	Start	0,5

**SUPANG - Soil support angle functions**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

Identifiser	ANGMIN	ANGMAX	RVSL	RVSH	CURVE	
	°	°	%	%		
1	Start	120	180	50	100	Sinus

**SECTION - Cross-sections to be calculated**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]

Start Identifier	End Identifier	TOPLOAD	S-ALLOW	
			N/mm <sup>2</sup>	
1	Start	WD1	Yes	372
2	WD1	WD2	Yes	638
3	WD2	Eind1	Yes	372

**RLDPLMX - Maximum radial deformations (loadcase bc3)** **Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]**

	ELE	WGROUND-M	WBEND-M	WELAS-M	WPLAS	W+WD/D	WTOTAL-M	RG/KLG	KLK	AX_BUCKL	EXT_PRESS
		mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	N/m	% critical	% critical
171	171	-1,05692838	2,751993E+0	3,60726706		,59	3,60726706			91,7	1,4
172	172	-,90050737	3,075426E+0	3,79424630		,62	3,79424630			91,6	1,4
173	173	-,64911160	3,163691E+0	3,69409892		,61	3,69409892			8,8	1,4
229	229	-5,05292062	2,458009E-1	-5,24795470		,82	-5,24795470			5,1	,8
251	251	-,03398708	-2,482759E+0	-2,49017712		-,41	-2,49017712			11,3	,7
263	263	,09590460	-2,120397E+0	-2,12500083		-,35	-2,12500083			13,2	1,2
350	350	-5,31697888	-4,364434E-2	-5,36062322		-,81	-5,36062322			21,6	5,6
432	432	-6,08756641	-2,381000E-3	-6,08559788		-,97	-6,08559788			,6	,0
444	444	-12,46071856	5,357733E-5	-12,46076455		-2,00	-12,46076455			1,5	,2
469	470	-,20893489	5,364649E-7	-,20893542		-,06	-,20893542			,0	,2

**CEPSM - Maximum check strains (loadcase bc3)** **Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [12-11-2018;occ.:1]**

	ELE	e12max-T	e12min-T	eX-S-M	eF-S-M	eEq-E-M	eEq-P-	eEq-S-M	eXS-M	eFS-M	eEqS-M	CHKE
		%	%	%	%	%	%	%	% check strai	% check strai	% check strai	%
1	1	,6962	-,7254	-,7693	-,2486	,7778		,7778	11,0	3,6	11,1	7,00
153	153	,3523	-,3464	-,1445	-,3896	,3433		,3433	2,9	7,8	6,9	5,00
171	171	3,4756	-3,3930	3,5040	-,3481	3,4942		3,4942	70,1	7,0	69,9	5,00
258	258	3,0877	-2,9896	3,4550	-3,0169	3,5776		3,5776	69,1	60,3	71,6	5,00
296	296	,1608	-,1541	,1631	-,0199	,1628		,1628	3,3	,4	3,3	5,00
392	392	1,0643	-1,1211	-1,3622	-,9950	1,4557		1,4557	27,2	19,9	29,1	5,00
469	470	,0342	-,0341	-,0127	-,0379	,0334		,0334	,2	,5	,5	7,00
471	473	,0406	-,0384	-,0158	,0436	,0395		,0395	,2	,6	,6	7,00

**WARNING - Warnings**

**Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [occ.:0]**

	SESSION	FUNCTION	IDENT	MESSAGE
1		2\FUNCT200	W200/6	Vertical element or node axis
2		2\FUNCT320	W320/2	Large rh/(rvt,rvs) ratio
3		2\FUNCT320	W320/3	Extreme klh/(kit,klk) ratio
4		2\FUNCT320	W320/6	Sub > hor > top not satisfied
5		4\FUNCT500	W500/T*	No mat-nln calculation at tees
6		4\FUNCT610	W610/18	Addcros stop at iter.101 diseq .41608e-1
7		4\FUNCT610	W610/18	Addcros stop at iter.101 diseq .24776e-2
8		4\FUNCT610	W610/9	Moment addcros gt 25% of infcor
9		4\FUNCT610	W610/8	Closed end assumed to be rigid at redist
10		4\FUNCT620	W620/F*	Element 171 is tee, no mat-nln
11		4\FUNCT620	W620/F*	Element 172 is tee, no mat-nln
12		4\FUNCT620	W620/F*	Element 418 is tee, no mat-nln
13		4\FUNCT620	W620/F*	Element 419 is tee, no mat-nln
14		4\FUNCT620	W620/F*	Element 469 is tee, no mat-nln
15		4\FUNCT620	W620/F*	Element 472 is tee, no mat-nln

**STATUS - Program status summary**

**Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [occ.:0]**

PROPERTY	VALUE
Program	Ple4Win
Version	V4.5.0.18070
License	41936038 [CmDongle 2-1595724]
Modules included	KSAGNLFTOERCYWT1T8QOVMJUZBX0HX1IPD
Project name	
Project location & filename	\\RKC\SERVER\Team-DC\PL 482 Vuren\Berekeningen Serie 3\Vur
Project description	Herberekening van de Afgedamde Maasleiding t.p.v. de dijk kruising
Analysis type	General
Project phase	Initial
Project parent	---
Secondary project	---
Units	Millimeter, Newton, Second
Separators	Thousands: '.'Decimal: ','
Bend angle	Limited
Geometry model	Non-linear
Section model	Ovalising
Material model	Non-linear
Soil ring-stiffening	Ignored

**STATUS - Program status summary**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [occ.:0]

PROPERTY	VALUE
Soil model	Standard
Ovalisation redistribution	Allowed
Loading redistribution	Applied
Warning table	15 items (warnings and messages)
2 Pipeline Configuration (occurrence 1)	Pipeline origin [ORIGIN] (status 'Locked Data', occurrence 1, last m Pipeline polygon points [POLYDIF] (status 'Locked Data', occurenc Pipeline connections [CONNECT] (status 'Locked Data', occurrence Pipeline Tee configurations [TEECONF] (status 'Locked Data', occu Ground level [G-LEVEL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last m (Ground) water level [W-LEVEL] (status 'Locked Data', occurrence 1 Additional idents [ADIDENT] (status 'Locked Data', occurrence 1, las Polygon point data [SHAPEP] (status 'Locked Data', occurrence 1, l Bend location data [SHAPEB] (status 'Locked Data', occurrence 1, l Polygon subdivision data [LENGTH] (status 'Locked Data', occuren Nodes [NODES] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 1 Elements of pipeline [ELEMNTS] (status 'Locked Data', occurrence Connections data [CONDATA] (status 'Locked Data', occurrence 1, l Tee configuration data [T-CDATA] (status 'Locked Data', occurrence Mitre bends configuration data [M-CDATA] (status 'Locked Data', o Vertical profile data [PROFILE] (status 'Locked Data', occurrence 1, Identification names [IDENTS] (status 'Locked Data', occurrence 1, l Element/node groups [AVGRPS] (status 'Locked Data', occurrence
3,1 Pipe Data (occurrence 1)	Material location [MATL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last m Isotropic materials [ISTROP] (status 'Locked Data', occurrence 1, la Outer diameter [DIAM] (status 'Locked Data', occurrence 1, last mod Wall thicknesses [WALL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last m Tee specifications [TEESPEC] (status 'Locked Data', occurrence 1, l Deadweight [DEADW] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modi Pipe material data [PIPEMAT] (status 'Locked Data', occurrence 1, l Pipe dimension data [PIPEDIM] (status 'Locked Data', occurrence 1, Tee data [T-SDATA] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modifi
3,2 Soil Data (occurrence 1)	Horizontal soil stiffness [KLH] (status 'Locked Data', occurrence 1, la Downward vertical soil stiffness [KLS] (status 'Locked Data', occure Upward vertical soil stiffness [KLT] (status 'Locked Data', occurrence Pipe-soil friction [F] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modifie Displacement at max. soil friction [UF] (status 'Locked Data', occure Sub-soil bearing capacity [RVS] (status 'Locked Data', occurrence 1, Ultimate top-soil reaction [RVT] (status 'Locked Data', occurrence 1, Ultimate hor. soil reaction [RH] (status 'Locked Data', occurrence 1, l Uncertainty factors [UNCER] (status 'Locked Data', occurrence 1, la Lateral soil mechanical data [LATSOIL] (status 'Locked Data', occur Pipe-soil friction data [AXSOIL] (status 'Locked Data', occurrence 1,
3,3 Model Boundary (occurrence 1)	Start/end nodes boundary conditions [ENDPTS] (status 'Locked Dat Conditions along pipe axis [CONDI] (status 'Locked Data', occurenc
4,2 Pipeline Loading (occurrence 1)	Internal overpressure [PRESS] (status 'Locked Data', occurrence 1, Temperature differences [TEMP] (status 'Locked Data', occurrence Soil displacement in Z-direction [SETZ] (status 'Locked Data', occur Vertical soil subsidence [SUBSIDE] (status 'Locked Data', occurrence Specified pipeline loads [LOADATA] (status 'Locked Data', occuren
5 Pipeline Behaviour (occurrence 1)	Loading combinations [LOCASE] (status 'Locked Data', occurrence Non-linear elastic soil iteration control [SOILCTL] (status 'Locked D Geometrically non-linear iteration control [GEOMCTL] (status 'Lock Displacements [DISPLAC] (status 'Locked Data', occurrence 1, last Overall internal forces [INTFOR] (status 'Locked Data', occurrence 1 Overall soil reaction forces [SOILREA] (status 'Locked Data', occur Overall external support reaction forces [SUPREA] (status 'Locked Bend stiffness reduction & stress intensification [BENDFAC] (status Bend elements data [BENDELM] (status 'Locked Data', occurrence Tee data with stress intensification factors [TEEFAC] (status 'Locke Global node coordinates of displaced pipeline [DISCOOR] (status ' Primary cross-sectional deformations [DEFORM] (status 'Locked D Iteration data [ITMON] (status 'Locked Data', occurrence 1, last mod Iteration check list [ITCHECS] (status 'Locked Data', occurrence 1, l Specified loads active on elements [E-LOAD] (status 'Locked Data', Applied settlement loads [S-LOAD] (status 'Locked Data', occurrence
6,1 Cross-Section Data (occurrence 1)	Neutral or real top-soil load [SOILNB] (status 'Locked Data', occure

<i>STATUS - Program status summary</i>		<i>Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz' [occ.:0]</i>
PROPERTY	VALUE	
	Extra loads on top-soil [TOPLOAD] (status 'Locked Data', occurrence	
	Horizontal soil support / Vertical soil load [LAMBDA] (status 'Locked	
	Soil support angle functions [SUPANG] (status 'Locked Data', occur	
	Cross-sectional data [CROSDAT] (status 'Locked Data', occurrence	
	Additional cross-sectional loads [ADDCROS] (status 'Locked Data',	
	Additional support forces [ADDSUP] (status 'Locked Data', occur	
	Resulting pipeline spans [SPANS] (status 'Locked Data', occurrence	
	Elements with primary membrane stresses [PRIMSEL] (status 'Lock	
	Deformation redistribution (soil loads ) [W-REDIS] (status 'Locked	
	Deformation redistribution (soil loads w. toploads) [T-REDIS] (statu	
	Deformation redistribution (bend ovalisation) [B-REDIS] (status 'Loc	
6,2 Cross-Section Behaviour (General, Material Non-Linear) (occurrence 1)	Cross-sections to be calculated [SECTION] (status 'Locked Data', o	
	General cross-sectional data [CSGEN] (status 'Locked Data', occur	
	Cross-sectional loading data [CSLOAD] (status 'Locked Data', occu	
	Maximum radial deformations [RLDPLMX] (status 'Locked Data', oc	
	Maximum check strains [CEPSM] (status 'Locked Data', occurrence	
	Maximum strains at inner wall face [INEPSM] (status 'Locked Data',	
	Maximum mid plane of wall strains [MIDEPSM] (status 'Locked Dat	
	Maximum strains at outer wall face [OUTEPSM] (status 'Locked Dat	
	Maximum check stresses [CSIGM] (status 'Locked Data', occurrence	
	Maximum stresses at inner wall face [INSIGM] (status 'Locked Data	
	Maximum mid plane of wall stresses [MIDSIGM] (status 'Locked Da	
	Maximum stresses at outer wall face [OUTSIGM] (status 'Locked D	
	Detailed radial deformations [RLDSPLC] (status 'Locked Data', occ	
	Detailed check strains [CEPS] (status 'Locked Data', occurrence 1, I	
	Detailed strains at inner wall face [INEPS] (status 'Locked Data', oc	
	Detailed mid plane of wall strains [MIDEPS] (status 'Locked Data', o	
	Detailed strains at outer wall face [OUTEPS] (status 'Locked Data',	
	Detailed check stresses [CSIG] (status 'Locked Data', occurrence 1,	
	Detailed stresses at inner wall face [INSIG] (status 'Locked Data', o	
	Detailed mid plane of wall stresses [MDSIG] (status 'Locked Data',	
	Detailed stresses at outer wall face [OUTSIG] (status 'Locked Data'	

## BIJLAGE D2: Vuren BC3 v6Pz-, zettingen x 0,7 van 2119

SETZ - Soil displacement in Z-direction

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz-' [12-3-2019;occ.:4]

	AX-L	SETZ1	UNCF1	SETZ2	UNCF2
	mm	mm		mm	
1	24600	23,87	1		
2	26600	-24,71	1		
3	42600	-69,02	1		
4	58600	-108,71	1		
5	74600	-151,13	1		
6	81190	-181,09	1		
7	84700	-185,99	1		
8	96240	-242,9	1		
9	102900	-272,3	1		
10	113480	-147	1		
11	121720	-159,6	1		
12	127570	-193,2	1		
13	143150	-59,5	1		
14	159600	-56,7	1		
15	181600	-56,7	1		
16	203050	-57,4	1		
17	205386	-57,4	1	-57	1
18	206486	-57	1	-262	1
19	207586	-262	1		

DISPLAC - Displacements (loadcase bc3 g-nln/m-nln iter 15)

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz-' [12-3-2019;occ.:2]

	NO	U-X	U-Y	U-Z	PHI-X	PHI-Y	PHI-Z	U-AX	PHI-AX	U-LAT	PHI-L
		mm	mm	mm	RAD	RAD	RAD	mm	RAD	mm	°
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	6	-5,685.E-2	9,8298.E-2	10,4546468	-2,339.E-3	-1,291.E-3	-4,38.E-07	-3,828.E-3	-5,075.E-5	10,4552628	90
16	16	-1,558.E-1	2,7350.E-1	27,2071642	-1,318.E-4	1,1029.E-4	-8,09.E-07	-1,024.E-1	-1,614.E-4	27,2087923	90
19	19	-1,587.E-1	2,8167.E-1	25,6146807	9,5215.E-4	7,8007.E-4	-8,48.E-07	-1,558.E-1	-1,994.E-4	25,6162470	90
29	29	-9,416.E-2	1,7232.E-1	-11,86449	4,5560.E-3	3,0406.E-3	-3,25.E-06	-2,223.E-1	-3,553.E-4	11,8640380	270
57	57	-1,138.E-1	-1,506.E-1	-97,38175	1,7404.E-3	2,1956.E-3	-1,93.E-05	-4,259.E-1	-1,031.E-3	97,3810066	270
102	102	-1,132.E-1	-6,257.E-1	-138,4446	9,9810.E-4	2,7413.E-3	1,718.E-05	-1,561.E+0	-5,060.E-4	138,43733	270
119	119	2,8472.E-1	-2,475.E-1	-155,6225	7,7738.E-4	3,1581.E-3	1,314.E-04	-1,989.E+0	-6,420.E-5	155,61032	270
136	136	6,6828.E-1	-5,522.E-2	-176,0915	6,5541.E-4	3,9392.E-3	-6,82.E-05	-1,971.E+0	1,3425.E-4	176,08177	270
143	143	8,1036.E-1	-1,762.E-1	-185,6545	5,8316.E-4	4,1331.E-3	-1,40.E-05	-2,035.E+0	5,8279.E-4	185,64522	270
155	155	1,2555.E+0	-1,465.E-1	-210,9878	4,1954.E-4	4,2857.E-3	2,563.E-05	-1,945.E+0	4,1997.E-4	210,98269	270
169	169	2,1319.E+0	4,0431.E-2	-250,3294	2,2157.E-4	-1,850.E-4	1,361.E-05	-2,788.E+0	2,2180.E-4	250,32301	270
181	181	2,2182.E+0	9,1728.E-2	-243,2649	1,8129.E-4	-4,072.E-3	1,730.E-05	-2,024.E+1	1,8211.E-4	242,43096	270
273	273	-1,361.E+1	-2,395.E-3	-167,6804	5,9756.E-5	-5,461.E-3	1,612.E-06	-1,642.E+1	5,9771.E-5	167,42880	270
298	298	-1,028.E+1	2,0157.E-3	-127,2230	4,6007.E-5	-7,860.E-3	-6,50.E-06	1,0265.E+1	4,6447.E-5	127,22441	270
345	345	-2,537.E+0	2,7503.E-3	-82,05474	3,3491.E-5	-5,457.E-3	-6,23.E-06	1,1953.E+1	3,4067.E-5	81,2189990	270
473	473	9,1278.E-1	-8,415.E-2	-248,0342	1,9704.E-4	-1,653.E-3	1,386.E-05	-2,480.E+2	1,3863.E-5	5193177	68
474	474	3,3384.E-1	-1,530.E-1	-248,0352	1,9699.E-4	-1,653.E-3	1,386.E-05	-2,480.E+2	1,3861.E-5	2158429	332

RLDPLMX - Maximum radial deformations (loadcase bc3)

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz-' [12-3-2019;occ.:2]

	ELE	WGROUND-M	WBEND-M	WELAS-M	WPLAS-M	W+WD/	WTOTAL-M	RG/KL	KL	AX_BUCK	EXT_PRES
		mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	N/m	% critical	% critical
1	1	-17,69230497	4,290314E-1	-18,16761348	-1012046	-2,78	-18,54952742			31,3	6,0
171	171	-96496237	2,275804E+0	3,06037508		,50	3,06037508			78,0	1,2
172	172	-82884172	2,554074E+0	3,21834346		,53	3,21834346			77,5	1,3
173	173	-61319686	2,637581E+0	3,14119643		,52	3,14119643			7,7	1,4
251	251	-08749584	-1,923985E+0	-1,86977981		-,31	-1,86977981			9,4	,5
257	257	-03885939	-1,816480E+0	-1,80367151		-,30	-1,80367151			62,1	,6
428	428	-6,30971346	1,056966E-2	-6,31844771		-1,01	-6,31844771			,7	,0
469	470	-11890471	4,499071E-7	-11890516		-,03	-11890516			,0	,2

CEPSM - Maximum check strains (loadcase bc3)

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz-' [12-3-2019;occ.:2]

	ELE	e12max-T	e12min-T	eX-S-M	eF-S-M	eEq-E-M	eEq-P	eEq-S-M	eXS-M	eFS-M	eEq-S-M	CHKE
		%	%	%	%	%	%	%	% check strai	% check strai	% check strai	%
1	1	,8788	-1,2500	,9703	-1,1654	1,1643	,1737	1,3380	13,9	16,6	19,1	7,00
153	153	,3326	-,3184	-,1485	-,3629	,3244		,3244	3,0	7,3	6,5	5,00
171	171	2,9597	-2,8979	2,9837	-2,942	2,9755		2,9755	59,7	5,9	59,5	5,00
178	178	1,7112	-1,7193	-1,8857	-1,7660	1,9667		1,9667	37,7	35,3	39,3	5,00
258	258	2,5415	-2,4730	2,8501	-2,4946	2,9533		2,9533	57,0	49,9	59,1	5,00
469	470	,0193	-,0195	-,0077	-,0218	,0192		,0192	,1	,3	,3	7,00
471	473	,0343	-,0330	-,0128	,0371	,0334		,0334	,2	,5	,5	7,00

**WARNING - Warnings**

*Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz-' [occ.:0]*

	SESSION	FUNCTION	IDENT	MESSAGE
1	2	FUNCT200	W200/6	Vertical element or node axis
2	2	FUNCT320	W320/2	Large rh/(rvt,rvs) ratio
3	2	FUNCT320	W320/3	Extreme kih/(kit,klis) ratio
4	2	FUNCT320	W320/6	Sub > hor > top not satisfied
5	2	FUNCT500	W500/T*	No mat-nln calculation at tees
6	2	FUNCT610	W610/18	Addcros stop at iter.101 diseq .24817e-2
7	2	FUNCT610	W610/18	Addcros stop at iter.101 diseq .21607e-2
8	2	FUNCT610	W610/9	Moment addcros gt 25% of intfor
9	2	FUNCT610	W610/8	Closed end assumed to be rigid at redist
10	2	FUNCT620	W620/F*	Element 171 is tee, no mat-nln
11	2	FUNCT620	W620/F*	Element 172 is tee, no mat-nln
12	2	FUNCT620	W620/F*	Element 418 is tee, no mat-nln
13	2	FUNCT620	W620/F*	Element 419 is tee, no mat-nln
14	2	FUNCT620	W620/F*	Element 469 is tee, no mat-nln
15	2	FUNCT620	W620/F*	Element 472 is tee, no mat-nln



### BIJLAGE D3: Vuren BC3 v6Pz+, zettingen x 1,3 van 2119

SETZ - Soil displacement in Z-direction

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz+' [12-11-2018;occ.:4]

	AX-L	SETZ1	UNCF1	SETZ2	UNCF2
	mm	mm		mm	
1	24600	-85,1	1		
2	26600	-89,3	1		
3	42600	-128,6	1		
4	58600	-203,3	1		
5	74600	-281,9	1		
6	81190	-336,7	1		
7	84700	-346,7	1		
8	96240	-452	1		
9	102900	-506	1		
10	113480	-273	1		
11	121720	-297	1		
12	127570	-360	1		
13	143150	-112	1		
14	159600	-105	1		
15	181600	-105	1		
16	203050	-106	1		
17	205386	-106	1	-106	1
18	206486	-106	1	-489	1
19	207586	-489	1		

DISPLAC - Displacements (loadcase bc3 g-nln/m-nln iter 16)

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz+' [12-11-2018;occ.:1]

	NO	U-X	U-Y	U-Z	PHI-X	PHI-Y	PHI-Z	U-AX	PHI-AX	U-LAT	PHI-L
		mm	mm	mm	RAD	RAD	RAD	mm	RAD	mm	°
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	8	1,5950.E-2	-3,145.E-2	-35,845929	5,9054.E-3	3,5607.E-3	-1,10.E-06	1,0585.E-2	-1,309.E-4	35,845944	270
57	57	-4,491.E-1	-4,021.E-1	-179,2294	3,2866.E-3	4,0769.E-3	-8,19.E-05	-3,824.E-1	-1,888.E-3	179,230036	270
104	104	-2,645.E-1	-1,004.E+0	-261,7350	1,9527.E-3	5,1133.E-3	2,720.E-05	-2,424.E+0	-8,653.E-4	261,725898	270
120	120	3,3328.E-1	-4,619.E-1	-292,2598	1,5648.E-3	5,9283.E-3	2,413.E-04	-3,092.E+0	-1,869.E-5	292,244058	270
137	137	9,7070.E-1	-1,957.E-1	-330,9750	1,3205.E-3	7,3971.E-3	-1,35.E-04	-2,805.E+0	3,4100.E-4	330,964642	270
143	143	1,1645.E+0	-4,092.E-1	-346,2646	1,1916.E-3	7,6284.E-3	-3,68.E-05	-2,925.E+0	1,1907.E-3	346,254461	270
148	148	1,3560.E+0	-4,455.E-1	-359,0879	1,0819.E-3	7,6805.E-3	3,527.E-06	-2,868.E+0	1,0818.E-3	359,079322	270
167	167	2,9953.E+0	4,0401.E-2	-449,8868	4,9634.E-4	3,6541.E-4	3,162.E-05	-5,597.E+0	4,9687.E-4	449,861962	270
181	181	3,0727.E+0	1,9674.E-1	-432,1055	3,7168.E-4	-7,057.E-3	3,666.E-05	-3,813.E+1	3,7347.E-4	430,430879	270
273	273	-2,495.E+1	-4,937.E-3	-299,3380	1,2275.E-4	-9,758.E-3	3,546.E-06	-3,124.E+1	1,2278.E-4	298,746807	270
298	298	-1,924.E+1	4,1026.E-3	-228,7606	9,4650.E-5	-1,356.E-2	-1,31.E-05	1,6389.E+1	9,5511.E-5	228,983204	270
383	383	-1,062.E+0	4,3878.E-3	-123,2079	5,6139.E-5	-4,736.E-3	-9,67.E-06	2,0304.E+1	5,6966.E-5	121,528009	270
472	472	2,9951.E+0	1,3485.E-1	-441,8150	4,0597.E-4	-3,808.E-3	3,104.E-05	-4,418.E+2	3,1033.E-5	1,311787	82
473	473	1,3640.E-1	-1,680.E-1	-441,8261	4,0428.E-4	-3,809.E-3	3,097.E-05	-4,418.E+2	3,0970.E-5	1,585593	277

RLDPLMX - Maximum radial deformations (loadcase bc3)

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz+' [12-11-2018;occ.:1]

	ELE	WGROUND-M	WBEND-M	WELAS-M	WPLAS-M	W+WD/D	WTOTAL-M	RG/KLG	KLK	AX_BUCKL	EXT_PRESS
		mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	N/m	% critical	% critical
1	1	-4,25100899	1,807868E+0	-5,7203684	-3631255	-93	-6,1165928			57,7	3,5
172	172	-9,1917831	3,437710E+0	4,1744152		68	4,1744152			102,5	1,4
173	173	-6,5431101	3,525158E+0	4,0610675		67	4,0610675			9,7	1,4
229	229	-5,32054086	2,812084E-1	-5,5422697		87	-5,5422697			5,5	,9
251	251	-0,4889333	-2,981424E+0	-3,0112267		-49	-3,0112267			12,8	,9
267	267	05187724	-2,367583E+0	-2,3767868		-39	-2,3767868			14,9	1,0
350	350	-6,05639091	-6,257840E-2	-6,1189693		-92	-6,1189693			26,0	7,0
434	434	-6,40184193	-2,434432E-3	-6,3998286		-1,03	-6,3998286			,5	,0
444	444	-12,49533637	6,962757E-5	-12,4953951		-2,00	-12,4953951			1,7	,2
469	470	-2,4952709	6,207583E-7	-2,495277		-0,7	-2,495277			,0	,2

CEPSM - Maximum check strains (loadcase bc3)

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz+' [12-11-2018;occ.:1]

	ELE	e12max-T	e12min-T	eX-S-M	eF-S-M	eEq-E-M	eEq-P	eEq-S-M	eXS-M	eFS-M	eEq-S-M	CHKE
		‰	‰	‰	‰	‰	‰	‰	‰	‰	‰	‰
1	1	1,3013	-1,3614	-1,4501	-4,268	1,1643	2952	1,4594	20,7	6,1	20,8	7,00
153	153	,3631	-3,724	-,1274	-,4103	,3640		,3640	2,5	8,2	7,3	5,00
172	172	3,8703	-3,7730	3,9031	-,4072	3,8920		3,8920	78,1	8,1	77,8	5,00
219	219	,3790	-,2252	,4141	,1472	,4185		,4185	8,3	2,9	8,4	5,00
258	258	3,4695	-3,3477	3,8808	-3,3762	4,0161		4,0161	77,6	67,5	80,3	5,00
297	297	,1401	-,1216	,1417	-,0298	,1408		,1408	2,8	,6	2,8	5,00
392	392	1,3045	-1,3287	-1,6280	-,12113	1,7539		1,7539	32,6	24,2	35,1	5,00
469	470	,0406	-,0404	-,0149	-,0449	,0396		,0396	,2	,6	,6	7,00

WARNING - Warnings

Pl4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pz+' [occ.:0]

	SESSION	FUNCTION	IDENT	MESSAGE
1	2	FUNCT200	W200/6	Vertical element or node axis
2	2	FUNCT320	W320/2	Large rh/(rvt,rvs) ratio
3	2	FUNCT320	W320/3	Extreme klh/(klt, kls) ratio
4	2	FUNCT320	W320/6	Sub > hor > top not satisfied
5	3	FUNCT500	W500/T*	No mat-nln calculation at tees
6	3	FUNCT610	W610/18	Addcros stop at iter.101 diseq .18597e-1
7	3	FUNCT610	W610/18	Addcros stop at iter.101 diseq .56030e-2
8	3	FUNCT610	W610/15	Allow. impl. mom. exceeded (1/1)
9	3	FUNCT610	W610/17	121% of allowable impl. moment (1)
10	3	FUNCT610	W610/8	Closed end assumed to be rigid at redist
11	3	FUNCT620	W620/F*	Element 171 is tee, no mat-nln
12	3	FUNCT620	W620/3	Axial buckling strain gt critical one
13	3	FUNCT620	W620/F*	Element 172 is tee, no mat-nln
14	3	FUNCT620	W620/TC	Elem 297 tol changed * .3350805e1
15	3	FUNCT620	W620/F*	Element 418 is tee, no mat-nln
16	3	FUNCT620	W620/F*	Element 419 is tee, no mat-nln
17	3	FUNCT620	W620/F*	Element 469 is tee, no mat-nln
18	3	FUNCT620	W620/F*	Element 472 is tee, no mat-nln

**BIJLAGE D4: Vuren BC3 v6Pk-, grondstijfheid &- wrijving x 0,5****KLH - Horizontal soil stiffness**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pk-' [13-11-2018;occ.:2]

Identificer	KLH1	KLH2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
1 start	0,0019783			1,7	5
2 knik60s	0,0019640			1,7	5
3 knik60	0,0019046			1,7	5
4 knik60e	0,0017846			1,7	5
5 wd1	0,0017693			1,7	5
6 t1s	0,0016560			1,7	5
7 mangat1	0,0016526			1,7	5
8 t1e	0,0016556			1,7	5
9 k10s	0,0016626			1,7	5
10 k10	0,001635			1,7	5
11 k10e	0,001631			1,7	5
12 k20s	0,0013996			1,7	5
13 k20	0,0013445			1,7	5
14 zb15	0,0013793			1,7	5
15 k20e	0,0013848			1,7	5
16 w-lvl 1	0,0014823			1,7	5
17 k30s	0,0014687			1,7	5
18 k30	0,0014327			1,7	5
19 k30e	0,0014732			1,7	5
20 zb12	0,0017516			1,7	5
21 ontgrl	0,0018848			1,7	5
22 k40s	0,0018941			1,7	5
23 k40	0,0018692			1,7	5
24 k40e	0,0019454			1,7	5
25 k50s	0,0024877			1,7	5
26 k50	0,0024943			1,7	5
27 k50e	0,0026823			1,7	5
28 mv20	0,0028783			1,7	5
29 k60s	0,002493			1,7	5
30 k60	0,0024126			1,7	5
31 k60e	0,0024808			1,7	5
32 zb6	0,0027272			1,7	5
33 k70s	0,0027629			1,7	5
34 k70	0,0027414			1,7	5
35 k70e	0,0027782			1,7	5
36 k80s	0,002648			1,7	5
37 k80	0,0025906			1,7	5
38 k80e	0,0026313			1,7	5
39 wegl	0,0020388			1,7	5
40 mv40	0,0020371			1,7	5
41 k100	0,0023690			1,7	5
42 wegr	0,0031367			1,7	5
43 k110s	0,0032249			1,7	5
44 k110	0,0032332			1,7	5
45 k110e	0,0031260			1,7	5
46 w-lvl 2	0,002384			1,7	5
47 mv60	0,0013044			1,7	5
48 k120s	0,0013498			1,7	5
49 k120	0,0013728			1,7	5
50 k120e	0,0013741			1,7	5
51 t2s	0,0013778			1,7	5
52 mangat2	0,0013791			1,7	5
53 t2e	0,0013828			1,7	5
54 wd2	0,0015176			1,7	5
55 eind	0,0016691			1,7	5
56 eindx	0,0016691			1,7	5
57 mg2	0,0033054			1,7	5
58 t2b	0,0017591			1,7	5
59 eind2	0,0009462			1,7	5
60 mg1	0,0040546			1,7	5
61 t1b	0,0028962			1,7	5
62 eind1	0,0021478			1,7	5

**KLS - Downward vertical soil stiffness**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pk-' [13-11-2018;occ.:2]

	Identifier	KLS1	KLS2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
1	start	0,0008052			2	5
2	knik60s	0,0011631			1,9484	5
3	knik60	0,001402			1,9066	5
4	knik60e	0,0012406			1,8436	5
5	wd1	0,0013127			1,8335	5
6	t1s	0,0018179			1,7589	5
7	mangat1	0,0018319			1,7567	5
8	t1e	0,0018344			1,7567	5
9	k10s	0,0018403			1,7567	5
10	k10	0,0017861			1,7602	5
11	k10e	0,0019067			1,7445	5
12	k20s	0,0021657			1,659	5
13	k20	0,0020950			1,6524	5
14	zb15	0,0022181			1,6369	5
15	k20e	0,0022435			1,6316	5
16	w-lvl 1	0,0022822			1,6	5
17	k30s	0,0022432			1,6	5
18	k30	0,0021713			1,6	5
19	k30e	0,0022163			1,6	5
20	zb12	0,0009468			1,9122	5
21	ontgrl	0,0006148			2	5
22	k40s	0,0006193			2	5
23	k40	0,0006131			2	5
24	k40e	0,0006442			2	5
25	k50s	0,0009214			2	5
26	k50	0,0009339			2	5
27	k50e	0,0010263			2	5
28	mv20	0,0011344			2	5
29	k60s	0,0009242			2	5
30	k60	0,0008902			2	5
31	k60e	0,0009178			2	5
32	zb6	0,0010508			2	5
33	k70s	0,0010704			2	5
34	k70	0,0010689			2	5
35	k70e	0,0010789			2	5
36	k80s	0,0010076			2	5
37	k80	0,000986			2	5
38	k80e	0,0009986			2	5
39	wegl	0,0032647			1,6	5
40	mv40	0,0032622			1,6	5
41	k100	0,0037486			1,6	5
42	wegr	0,0048513			1,6	5
43	k110s	0,0049740			1,6	5
44	k110	0,0049803			1,6	5
45	k110e	0,0048363			1,6	5
46	w-lvl 2	0,0037759			1,6	5
47	mv60	0,0022587			1,6	5
48	k120s	0,0023744			1,6	5
49	k120	0,0024336			1,6	5
50	k120e	0,0024368			1,6	5
51	t2s	0,0024464			1,6	5
52	mangat2	0,0024497			1,6	5
53	t2e	0,0024593			1,6	5
54	wd2	0,0028108			1,6	5
55	eind	0,0030494			1,6	5
56	eindx	0,0030494			1,6	5
57	mg2	0,0033054			1,6	5
58	t2b	0,0017591			1,6	5
59	eind2	0,0009462			1,6	5
60	mg1	0,0040546			1,6	5
61	t1b	0,0028962			1,6	5
62	eind1	0,0021478			1,6	5

**KLT - Upward vertical soil stiffness**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pk-' [13-11-2018;occ.:2]

	Identifier	KLT1	KLT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
1	start	0,000318025			1,772	5
2	knik60s	0,000333245			1,8364	5
3	knik60	0,000320075			1,8682	5
4	knik60e	0,00028226			1,9	5
5	wd1	0,00027601			1,9	5
6	t1s	0,00023176			1,9	5
7	mangat1	0,00023049			1,9	5
8	t1e	0,000231495			1,9	5
9	k10s	0,000233885			1,9	5
10	k10	0,000226845			1,9	5
11	k10e	0,0002222			1,8997	5
12	k20s	0,000128815			1,8953	5
13	k20	0,00011081			1,8946	5
14	zb15	0,00010759			1,8849	5
15	k20e	0,00010379			1,88	5
16	w-lvl 1	4,9199E-05			1,7729	5
17	k30s	4,2519E-05			1,7511	5
18	k30	3,5943E-05			1,7353	5
19	k30e	3,71725E-05			1,7091	5
20	zb12	4,77855E-05			1,4	5
21	ontgrl	5,9E-05			1,4	5
22	k40s	5,982E-05			1,4	5
23	k40	5,7815E-05			1,4	5
24	k40e	6,444E-05			1,4	5
25	k50s	0,000122155			1,4	5
26	k50	0,00012335			1,4	5
27	k50e	0,000146685			1,4	5
28	mv20	0,00017335			1,4	5
29	k60s	0,00012279			1,4	5
30	k60	0,000113585			1,4	5
31	k60e	0,00012132			1,4	5
32	zb6	0,000152615			1,4	5
33	k70s	0,00015742			1,4	5
34	k70	0,00015502			1,4	5
35	k70e	0,000159485			1,4	5
36	k80s	0,00014222			1,4	5
37	k80	0,000135315			1,4	5
38	k80e	0,000140075			1,4	5
39	wegl	0,000247665			1,9	5
40	mv40	0,000247165			1,9	5
41	k100	0,00035581			1,9	5
42	wegr	0,00065825			1,9	5
43	k110s	0,0006982			1,9	5
44	k110	0,000705			1,9	5
45	k110e	0,00065345			1,9	5
46	w-lvl 2	0,000358995			1,9	5
47	mv60	8,89E-05			1,9	5
48	k120s	0,00010541			1,9	5
49	k120	0,000114245			1,9	5
50	k120e	0,000114735			1,9	5
51	t2s	0,0001162			1,9	5
52	mangat2	0,00011669			1,9	5
53	t2e	0,000118165			1,9	5
54	wd2	0,00017659			1,9	5
55	eind	0,00023329			1,9	5
56	eindx	0,00023329			1,9	5
57	mg2	0,00330545			1,9	5
58	t2b	0,00175915			1,9	5
59	eind2	0,00094625			1,9	5
60	mg1	0,0040546			1,895	5
61	t1b	0,0028962			1,8925	5
62	eind1	0,0021478			1,8901	5

F - Pipe-soil friction

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pk-' [13-11-2018;occ.:2]

Identifiser	F1	F2	UNCF-L	UNCF-H	CFA1	CFA2	VARAR
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
1	start	0,0040781		1,7815			5
2	knik60s	0,0043252		2,0079			5
3	knik60	0,0043718		2,1235			5
4	knik60e	0,0043705		2,2978			5
5	wd1	0,0043694		2,3256			5
6	t1s	0,0042424		2,355			5
7	mangat1	0,0042379		2,355			5
8	t1e	0,0042424		2,355			5
9	k10s	0,0042528		2,355			5
10	k10	0,0042557		2,355			5
11	k10e	0,0042086		2,355			5
12	k20s	0,0038795		2,355			5
13	k20	0,0038349		2,355			5
14	zb15	0,0038527		2,355			5
15	k20e	0,0038616		2,355			5
16	w-lvl 1	0,0039866		2,355			5
17	k30s	0,0038983		2,3008			5
18	k30	0,0038252		2,253			5
19	k30e	0,0037799		2,2009			5
20	zb12	0,0032101		1,375			5
21	ontgrl	0,0034068		1,375			5
22	k40s	0,0034204		1,375			5
23	k40	0,0034308		1,375			5
24	k40e	0,003495		1,375			5
25	k50s	0,0042516		1,375			5
26	k50	0,0043192		1,375			5
27	k50e	0,0045107		1,375			5
28	mv20	0,0047660		1,375			5
29	k60s	0,0042587		1,375			5
30	k60	0,0042072		1,375			5
31	k60e	0,0042423		1,375			5
32	zb6	0,0045697		1,375			5
33	k70s	0,0046164		1,375			5
34	k70	0,0046515		1,375			5
35	k70e	0,0046363		1,375			5
36	k80s	0,0044655		1,375			5
37	k80	0,0044498		1,375			5
38	k80e	0,0044435		1,375			5
39	wegl	0,005091		2,355			5
40	mv40	0,005088		2,355			5
41	k100	0,0057025		2,355			5
42	wegr	0,0068415		2,355			5
43	k110s	0,006976		2,355			5
44	k110	0,0070775		2,355			5
45	k110e	0,006825		2,355			5
46	w-lvl 2	0,005658		2,355			5
47	mv60	0,0037644		2,355			5
48	k120s	0,0038292		2,355			5
49	k120	0,0038620		2,355			5
50	k120e	0,0038638		2,355			5
51	t2s	0,0038691		2,355			5
52	mangat2	0,0038709		2,355			5
53	t2e	0,0038762		2,355			5
54	wd2	0,004067		2,355			5
55	eind	0,0042791		2,355			5
56	eindx	0,0042791		2,355			5
57	mg2	0,0038709		2,355			5
58	t2b	0,0027675		2,355			5
59	eind2	0,0020850		2,355			5
60	mg1	0,0042785		2,355			5
61	t1b	0,0036131		2,355			5
62	eind1	0,0030772		2,355			5

**SETZ - Soil displacement in Z-direction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pk-' [13-11-2018;occ.:1]

	AX-L	SETZ1	UNCF1	SETZ2	UNCF2
	mm	mm		mm	
1	24600	-34,1	1		
2	26600	-35,3	1		
3	42600	-98,6	1		
4	58600	-155,3	1		
5	74600	-215,9	1		
6	81190	-258,7	1		
7	84700	-265,7	1		
8	96240	-347	1		
9	102900	-389	1		
10	113480	-210	1		
11	121720	-228	1		
12	127570	-276	1		
13	143150	-85	1		
14	159600	-81	1		
15	181600	-81	1		
16	203050	-82	1		
17	205386	-82	1	-81,5	1
18	206486	-81,5	1	-375,6	1
19	207586	-375,6	1		

**DISPLAC - Displacements (loadcase bc3 g-nln/m-nln iter 14)**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pk-' [13-11-2018;occ.:1]

	NO	U-X	U-Y	U-Z	PHI-X	PHI-Y	PHI-Z	U-AX	PHI-AX	U-LAT	PHI-L
		mm	mm	mm	RAD	RAD	RAD	mm	RAD	mm	°
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	40	4,3583.E-2	-2,214.E-1	-92,81499...	3,0593.E-3	3,1096.E-3	-2,68.E-05	-1,1217999	-1,163.E-3	92,8152017	270
57	57	-1,535.E-1	-5,281.E-1	-138,4034...	2,4978.E-3	3,4449.E-3	-3,61.E-05	-1,1529085	-1,734.E-3	138,40441...	270
95	95	5,9333.E-2	-8,908.E-1	-188,4926...	1,5157.E-3	3,8723.E-3	1,914.E-05	-1,688655...	-6,233.E-4	188,48719...	270
119	119	8,8522.E-1	-1,930.E-1	-223,4332...	1,1922.E-3	4,7020.E-3	1,813.E-04	-2,080577...	-6,218.E-5	223,42538...	270
132	132	1,3658.E+0	2,6222.E-1	-246,1160...	1,1285.E-3	5,5222.E-3	9,324.E-06	-1,969100...	3,9811.E-4	246,11207...	270
140	140	1,5974.E+0	9,5043.E-2	-261,6469...	1,0505.E-3	5,8465.E-3	-7,69.E-05	-1,841301...	2,7682.E-4	261,64533...	270
143	143	1,6885.E+0	7,1427.E-3	-267,6004...	1,0109.E-3	5,8850.E-3	-6,99.E-05	-1,940210...	1,0093.E-3	267,59878...	270
144	144	1,7219.E+0	-1,984.E-2	-269,5710...	9,9706.E-4	5,8857.E-3	-6,34.E-05	-1,933420...	9,9566.E-4	269,56960...	270
168	168	3,2364.E+0	2,9592.E-3	-346,0304...	5,2067.E-4	1,4238.E-4	3,692.E-05	-3,451639...	5,2129.E-4	346,02834...	270
181	181	3,3179.E+0	1,9299.E-1	-337,2434...	4,3417.E-4	-4,467.E-3	5,285.E-05	-27,95869...	4,3714.E-4	336,09893...	270
273	273	-2,035.E+1	-1,786.E-2	-228,9621...	1,8350.E-4	-7,362.E-3	6,394.E-06	-24,62379...	1,8356.E-4	228,54272...	270
298	298	-1,609.E+1	5,3037.E-3	-177,4765...	1,5066.E-4	-9,815.E-3	-1,98.E-05	12,243758...	1,5186.E-4	177,78376...	270
345	345	-6,088.E+0	1,4090.E-2	-120,2134...	1,1994.E-4	-7,361.E-3	-2,15.E-05	14,950040...	1,2186.E-4	119,43548...	270
469	469	5,3339.E-1	8,9002.E-3	-81,30461...	7,3192.E-5	3,3951.E-4	-4,66.E-06	-81,30443...	-4,638.E-6	5614894	271
473	473	1,7558.E+0	-2,416.E-1	-342,7217...	4,6253.E-4	-2,003.E-3	4,231.E-05	-342,7243...	4,2315.E-5	1,1406877	56
474	474	1,0542.E+0	-4,034.E-1	-342,7227...	4,6246.E-4	-2,003.E-3	4,231.E-05	-342,7239...	4,2311.E-5	6712054	20

**RLDPLMX - Maximum radial deformations (loadcase bc3)**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pk-' [13-11-2018;occ.:1]

	ELE	WGROUND-M	WBEND-M	WELAS-M	WPLAS	W+WD/D	WTOTAL-M	RG/KLG	KLG	AX_BUCKL	EXT_PRESS
		mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	N/m	% critical	% critical
171	171	-,94983754	2,333351E+0	3,11099708		,51	3,11099708			83,8	1,1
172	172	-,81534619	2,618510E+0	3,27907070		,54	3,27907070			83,2	1,1
173	173	-,60787493	2,706589E+0	3,21508695		,53	3,21508695			8,5	1,2
180	180	3,0484808	2,214987E+0	2,51881492		,41	2,51881492			47,4	1,4
213	213	-1,75162537	-3,971955E-1	-1,38057151		-,21	-1,38057151			,4	,0
350	350	-4,29772642	-2,738393E-2	-4,32511036		-,66	-4,32511036			16,7	3,6
411	411	-2,07642492	-2,936667E+0	-,88934517		-,15	-,88934517			6,6	,1
444	444	-12,54652029	1,293168E-4	-12,54663460		-2,01	-12,54663460			1,4	,2
469	470	-,16702718	4,485238E-8	-,16702722		-,05	-,16702722			,0	,1

**CEPSM - Maximum check strains (loadcase bc3)**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pk-' [13-11-2018;occ.:1]

	ELE	e12max-T	e12min-T	eX-S-M	eF-S-M	eEq-E-M	eEq-P	eEq-S-M	eXS-M	eFS-M	eEq-S-M	CHKE
		%	%	%	%	%	%	%	% check strai	% check strai	% check strai	%
1	1	,6238	-,6445	,6855	-,2117	,6925		,6925	9,8	3,0	9,9	7,00
153	153	,3180	-,3298	,1082	-,3612	,3219		,3219	2,2	7,2	6,4	5,00
171	171	3,1744	-3,1152	3,1992	-,2990	3,1906		3,1906	64,0	6,0	63,8	5,00
178	178	1,8776	-1,8850	-2,0734	-1,9350	2,1597		2,1597	41,5	38,7	43,2	5,00
258	258	2,7096	-2,6323	3,0381	-2,6515	3,1494		3,1494	60,8	53,0	63,0	5,00
469	470	,0277	-,0270	-,0100	,0301	,0270		,0270	,1	,4	,4	7,00
471	473	,0747	-,0739	-,0255	,0817	,0729		,0729	,4	1,2	1,0	7,00

**WARNING - Warnings**

*Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pk-' [occ.:0]*

	SESSION	FUNCTION	IDENT	MESSAGE
1	2	FUNCT200	W200/6	Vertical element or node axis
2	3	FUNCT320	W320/2	Large rh/(rvt,rvs) ratio
3	3	FUNCT320	W320/3	Extreme klh/(klt, kls) ratio
4	3	FUNCT320	W320/6	Sub > hor > top not satisfied
5	4	FUNCT500	W500/T*	No mat-nln calculation at tees
6	4	FUNCT610	W610/18	Addcros stop at iter.101 diseq .22987e-2
7	4	FUNCT610	W610/18	Addcros stop at iter.101 diseq .25454e-2
8	4	FUNCT610	W610/9	Moment addcros gt 25% of infor
9	4	FUNCT610	W610/8	Closed end assumed to be rigid at redist
10	4	FUNCT620	W620/F*	Element 171 is tee, no mat-nln
11	4	FUNCT620	W620/F*	Element 172 is tee, no mat-nln
12	4	FUNCT620	W620/F*	Element 418 is tee, no mat-nln
13	4	FUNCT620	W620/F*	Element 419 is tee, no mat-nln
14	4	FUNCT620	W620/F*	Element 469 is tee, no mat-nln
15	4	FUNCT620	W620/F*	Element 472 is tee, no mat-nln



**BIJLAGE D5: Vuren BC3 v6Pk+, grondstijfheid &- wrijving x 1,5****KLH - Horizontal soil stiffness**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pk+' [12-11-2018;occ.:2]

	Identifier	KLH1	KLH2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
1	start	0,0039567			2,55	5
2	knik60s	0,0039281			2,55	5
3	knik60	0,0038093			2,55	5
4	knik60e	0,0035693			2,55	5
5	wd1	0,0035387			2,55	5
6	t1s	0,0033121			2,55	5
7	mangat1	0,0033053			2,55	5
8	t1e	0,0033112			2,55	5
9	k10s	0,0033252			2,55	5
10	k10	0,00327			2,55	5
11	k10e	0,003262			2,55	5
12	k20s	0,0027993			2,55	5
13	k20	0,0026891			2,55	5
14	zb15	0,0027586			2,55	5
15	k20e	0,0027696			2,55	5
16	w-lvl 1	0,0029647			2,55	5
17	k30s	0,0029374			2,55	5
18	k30	0,0028654			2,55	5
19	k30e	0,0029464			2,55	5
20	zb12	0,0035032			2,55	5
21	ontgrl	0,0037697			2,55	5
22	k40s	0,0037883			2,55	5
23	k40	0,0037384			2,55	5
24	k40e	0,0038909			2,55	5
25	k50s	0,0049754			2,55	5
26	k50	0,0049886			2,55	5
27	k50e	0,0053646			2,55	5
28	mv20	0,0057566			2,55	5
29	k60s	0,004986			2,55	5
30	k60	0,0048253			2,55	5
31	k60e	0,0049616			2,55	5
32	zb6	0,0054544			2,55	5
33	k70s	0,0055259			2,55	5
34	k70	0,0054829			2,55	5
35	k70e	0,0055564			2,55	5
36	k80s	0,005296			2,55	5
37	k80	0,0051812			2,55	5
38	k80e	0,0052627			2,55	5
39	wegl	0,0040776			2,55	5
40	mv40	0,0040742			2,55	5
41	k100	0,0047381			2,55	5
42	wegr	0,0062735			2,55	5
43	k110s	0,0064498			2,55	5
44	k110	0,0064664			2,55	5
45	k110e	0,0062521			2,55	5
46	w-lvl 2	0,004768			2,55	5
47	mv60	0,0026089			2,55	5
48	k120s	0,0026996			2,55	5
49	k120	0,0027457			2,55	5
50	k120e	0,0027482			2,55	5
51	t2s	0,0027557			2,55	5
52	mangat2	0,0027582			2,55	5
53	t2e	0,0027657			2,55	5
54	wd2	0,0030353			2,55	5
55	eind	0,0033383			2,55	5
56	eindx	0,0033383			2,55	5
57	mg2	0,0066109			2,55	5
58	t2b	0,0035183			2,55	5
59	eind2	0,0018925			2,55	5
60	mg1	0,0081092			2,55	5
61	t1b	0,0057924			2,55	5
62	eind1	0,0042956			2,55	5

## KLS - Downward vertical soil stiffness

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pk+' [12-11-2018;occ.:2]

Identifiser	KLS1	KLS2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
1 start	0,0016105			3	5
2 knik60s	0,0023262			2,9226	5
3 knik60	0,002804			2,8599	5
4 knik60e	0,0024813			2,7654	5
5 wd1	0,0026254			2,75025	5
6 t1s	0,0036359			2,63835	5
7 mangat1	0,0036638			2,63505	5
8 t1e	0,0036688			2,63505	5
9 k10s	0,0036806			2,63505	5
10 k10	0,0035723			2,6403	5
11 k10e	0,0038135			2,61675	5
12 k20s	0,0043314			2,4885	5
13 k20	0,0041901			2,4786	5
14 zb15	0,0044363			2,45535	5
15 k20e	0,0044871			2,4474	5
16 w-lvl 1	0,0045645			2,4	5
17 k30s	0,0044864			2,4	5
18 k30	0,0043426			2,4	5
19 k30e	0,0044326			2,4	5
20 zb12	0,0018937			2,8683	5
21 ontgrl	0,0012296			3	5
22 k40s	0,0012387			3	5
23 k40	0,0012263			3	5
24 k40e	0,0012885			3	5
25 k50s	0,0018429			3	5
26 k50	0,0018678			3	5
27 k50e	0,0020526			3	5
28 mv20	0,0022688			3	5
29 k60s	0,0018485			3	5
30 k60	0,0017805			3	5
31 k60e	0,0018356			3	5
32 zb6	0,0021017			3	5
33 k70s	0,0021409			3	5
34 k70	0,0021378			3	5
35 k70e	0,0021578			3	5
36 k80s	0,0020153			3	5
37 k80	0,001972			3	5
38 k80e	0,0019972			3	5
39 wegl	0,0065295			2,4	5
40 mv40	0,0065245			2,4	5
41 k100	0,0074973			2,4	5
42 wegr	0,0097027			2,4	5
43 k110s	0,0099481			2,4	5
44 k110	0,0099607			2,4	5
45 k110e	0,0096727			2,4	5
46 w-lvl 2	0,0075518			2,4	5
47 mv60	0,0045175			2,4	5
48 k120s	0,0047488			2,4	5
49 k120	0,0048672			2,4	5
50 k120e	0,0048737			2,4	5
51 t2s	0,0048929			2,4	5
52 mangat2	0,0048994			2,4	5
53 t2e	0,0049187			2,4	5
54 wd2	0,0056216			2,4	5
55 eind	0,0060989			2,4	5
56 eindx	0,0060989			2,4	5
57 mg2	0,0066109			2,4	5
58 t2b	0,0035183			2,4	5
59 eind2	0,0018925			2,4	5
60 mg1	0,0081092			2,4	5
61 t1b	0,0057924			2,4	5
62 eind1	0,0042956			2,4	5

## KLT - Upward vertical soil stiffness

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pk+' [12-11-2018;occ.:2]

	Identifier	KLT1	KLT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
1	start	0,00063605			2,658	5
2	knik60s	0,00066649			2,7546	5
3	knik60	0,00064015			2,8023	5
4	knik60e	0,00056452			2,85	5
5	wd1	0,00055202			2,85	5
6	t1s	0,00046352			2,85	5
7	mangat1	0,00046098			2,85	5
8	t1e	0,00046299			2,85	5
9	k10s	0,00046777			2,85	5
10	k10	0,00045369			2,85	5
11	k10e	0,0004444			2,84955	5
12	k20s	0,00025763			2,84295	5
13	k20	0,00022162			2,8419	5
14	zb15	0,00021518			2,82735	5
15	k20e	0,00020758			2,82	5
16	w-lvl 1	9,8398E-05			2,65935	5
17	k30s	8,5038E-05			2,62665	5
18	k30	7,1886E-05			2,60295	5
19	k30e	7,4345E-05			2,56365	5
20	zb12	9,5571E-05			2,1	5
21	ontgrl	0,000118			2,1	5
22	k40s	0,00011964			2,1	5
23	k40	0,00011563			2,1	5
24	k40e	0,00012888			2,1	5
25	k50s	0,00024431			2,1	5
26	k50	0,0002467			2,1	5
27	k50e	0,00029337			2,1	5
28	mv20	0,0003467			2,1	5
29	k60s	0,00024558			2,1	5
30	k60	0,00022717			2,1	5
31	k60e	0,00024264			2,1	5
32	zb6	0,00030523			2,1	5
33	k70s	0,00031484			2,1	5
34	k70	0,00031004			2,1	5
35	k70e	0,00031897			2,1	5
36	k80s	0,00028444			2,1	5
37	k80	0,00027063			2,1	5
38	k80e	0,00028015			2,1	5
39	wegl	0,00049533			2,85	5
40	mv40	0,00049433			2,85	5
41	k100	0,00071162			2,85	5
42	wegr	0,0013165			2,85	5
43	k110s	0,0013964			2,85	5
44	k110	0,00141			2,85	5
45	k110e	0,0013069			2,85	5
46	w-lvl 2	0,00071799			2,85	5
47	mv60	0,0001778			2,85	5
48	k120s	0,00021082			2,85	5
49	k120	0,00022849			2,85	5
50	k120e	0,00022947			2,85	5
51	t2s	0,0002324			2,85	5
52	mangat2	0,00023338			2,85	5
53	t2e	0,00023633			2,85	5
54	wd2	0,00035318			2,85	5
55	eind	0,00046658			2,85	5
56	eindx	0,00046658			2,85	5
57	mg2	0,0066109			2,85	5
58	t2b	0,0035183			2,85	5
59	eind2	0,0018925			2,85	5
60	mg1	0,0081092			2,8425	5
61	t1b	0,0057924			2,83875	5
62	eind1	0,0042956			2,83515	5

F - Pipe-soil friction

Pl4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pk+' [12-11-2018;occ.:2]

Identifiser	F1	F2	UNCF-L	UNCF-H	CFA1	CFA2	VARAR
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
1	start	0,0081563		2,67225			5
2	knik60s	0,0086505		3,01185			5
3	knik60	0,0087437		3,18525			5
4	knik60e	0,008741		3,4467			5
5	wd1	0,0087388		3,4884			5
6	t1s	0,0084848		3,5325			5
7	mangat1	0,0084759		3,5325			5
8	t1e	0,0084848		3,5325			5
9	k10s	0,0085057		3,5325			5
10	k10	0,0085114		3,5325			5
11	k10e	0,0084173		3,5325			5
12	k20s	0,0077591		3,5325			5
13	k20	0,0076698		3,5325			5
14	zb15	0,0077054		3,5325			5
15	k20e	0,0077232		3,5325			5
16	w-lvl 1	0,0079732		3,5325			5
17	k30s	0,0077966		3,4512			5
18	k30	0,0076504		3,3795			5
19	k30e	0,0075599		3,30135			5
20	zb12	0,0064203		2,0625			5
21	ontgrl	0,0068136		2,0625			5
22	k40s	0,0068409		2,0625			5
23	k40	0,0068616		2,0625			5
24	k40e	0,00699		2,0625			5
25	k50s	0,0085032		2,0625			5
26	k50	0,0086385		2,0625			5
27	k50e	0,0090215		2,0625			5
28	mv20	0,0095321		2,0625			5
29	k60s	0,0085174		2,0625			5
30	k60	0,0084145		2,0625			5
31	k60e	0,0084847		2,0625			5
32	zb6	0,0091394		2,0625			5
33	k70s	0,0092329		2,0625			5
34	k70	0,009303		2,0625			5
35	k70e	0,0092727		2,0625			5
36	k80s	0,0089311		2,0625			5
37	k80	0,0088997		2,0625			5
38	k80e	0,008887		2,0625			5
39	wegl	0,010182		3,5325			5
40	mv40	0,010176		3,5325			5
41	k100	0,011405		3,5325			5
42	wegr	0,013683		3,5325			5
43	k110s	0,013952		3,5325			5
44	k110	0,014155		3,5325			5
45	k110e	0,01365		3,5325			5
46	w-lvl 2	0,011316		3,5325			5
47	mv60	0,0075289		3,5325			5
48	k120s	0,0076585		3,5325			5
49	k120	0,0077241		3,5325			5
50	k120e	0,0077277		3,5325			5
51	t2s	0,0077383		3,5325			5
52	mangat2	0,0077419		3,5325			5
53	t2e	0,0077525		3,5325			5
54	wd2	0,008134		3,5325			5
55	eind	0,0085582		3,5325			5
56	eindx	0,0085582		3,5325			5
57	mg2	0,0077419		3,5325			5
58	t2b	0,0055351		3,5325			5
59	eind2	0,0041701		3,5325			5
60	mg1	0,0085571		3,5325			5
61	t1b	0,0072262		3,5325			5
62	eind1	0,0061544		3,5325			5

**SETZ - Soil displacement in Z-direction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pk+' [12-11-2018;occ.:1]

	AX-L	SETZ1	UNCF1	SETZ2	UNCF2
	mm	mm		mm	
1	24600	-34,1	1		
2	26600	-35,3	1		
3	42600	-98,6	1		
4	58600	-155,3	1		
5	74600	-215,9	1		
6	81190	-258,7	1		
7	84700	-265,7	1		
8	96240	-347	1		
9	102900	-389	1		
10	113480	-210	1		
11	121720	-228	1		
12	127570	-276	1		
13	143150	-85	1		
14	159600	-81	1		
15	181600	-81	1		
16	203050	-82	1		
17	205386	-82	1	-81,5	1
18	206486	-81,5	1	-375,6	1
19	207586	-375,6	1		

**DISPLAC - Displacements (loadcase bc3 g-nln/m-nln iter 15)**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pk+' [12-11-2018;occ.:1]

	NO	U-X	U-Y	U-Z	PHI-X	PHI-Y	PHI-Z	U-AX	PHI-AX	U-LAT	PHI-L
		mm	mm	mm	RAD	RAD	RAD	mm	RAD	mm	°
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	39	-4,229...E-2	4,0636...E-2	-87,43716...	3,4708...E-3	2,7362...E-3	-1,37...E-05	-,34815327	-6,343...E-4	87,4364949	270
57	57	-2,775...E-1	-1,816...E-1	-137,9669...	2,7496...E-3	3,0387...E-3	-3,30...E-05	-,51020567	-1,257...E-3	137,96642...	270
87	87	-4,118...E-1	-6,160...E-1	-177,3291...	1,9400...E-3	3,4685...E-3	-1,28...E-04	-1,741877...	-5,742...E-4	177,32214...	270
107	107	-3,559...E-1	-9,444...E-1	-204,1371...	1,4592...E-3	3,9869...E-3	1,882...E-05	-2,594129...	-1,774...E-4	204,12319...	270
121	121	4,8508...E-2	-5,156...E-1	-224,9252...	1,1717...E-3	4,5780...E-3	2,365...E-04	-2,855368...	-4,895...E-5	224,90775...	270
143	143	6,6278...E-1	-3,677...E-1	-264,2640...	8,2414...E-4	5,8448...E-3	9,865...E-06	-2,933690...	8,2422...E-4	264,24885...	270
155	155	1,2140...E+0	-2,258...E-1	-300,1147...	5,5125...E-4	6,0777...E-3	4,745...E-05	-2,799057...	5,5208...E-4	300,10423...	270
168	168	2,2562...E+0	5,6956...E-2	-352,6252...	2,6678...E-4	-1,612...E-4	1,456...E-05	-4,666885...	2,6701...E-4	352,60159...	270
181	181	2,3455...E+0	1,1234...E-1	-338,5557...	1,9816...E-4	-6,167...E-3	1,579...E-05	-29,63789...	1,9879...E-4	337,26417...	270
228	228	-1,844...E+1	-6,324...E-3	-255,6712...	9,7608...E-5	-4,583...E-4	3,164...E-05	-97,02920...	1,0261...E-4	237,26227...	270
298	298	-1,374...E+1	1,6115...E-3	-177,9135...	3,9946...E-5	-1,132...E-2	-5,69...E-06	14,358858...	4,0336...E-5	177,86497...	270
345	345	-2,857...E+0	1,6635...E-3	-113,4528...	2,7202...E-5	-7,573...E-3	-5,09...E-06	16,926670...	2,7675...E-5	112,21941...	270
472	472	2,2641...E+0	8,6143...E-2	-346,7519...	2,2050...E-4	-3,109...E-3	1,330...E-05	-346,7573...	1,3297...E-5	1,1866113	86
473	473	-6,651...E-2	-7,803...E-2	-346,7640...	2,1924...E-4	-3,106...E-3	1,325...E-05	-346,7621...	1,3257...E-5	1,1541274	274

**RLDPLMX - Maximum radial deformations (loadcase bc3)**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pk+' [12-11-2018;occ.:1]

	ELE	WGROUND-M	WBEND-M	WELAS-M	WPLAS-	W+WD/D-	WTOTAL-M	RG/KLG-	KLG-	AX_BUCKL-	EXT_PRESS-
		mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	N/m	% critical	% critical
172	172	-89136893	3,219923E+0	3,9296319		,64	3,9296319			95,0	1,4
173	173	-62850574	3,304796E+0	3,8142831		,63	3,8142831			8,9	1,4
229	229	-5,32464756	2,893316E-1	-5,5572388		,87	-5,5572388			6,2	,9
251	251	-,03986294	-2,731951E+0	-2,7495801		-4,5	-2,7495801			11,6	1,0
281	281	1,4592751	-1,190311E+0	-1,2440046		-20	-1,2440046			11,2	,9
350	350	-6,11897593	5,298212E-2	-6,1717613		-92	-6,1717613			25,1	7,3
428	428	-6,39128269	2,755816E-3	-6,3934633		-1,03	-6,3934633			1,0	,0
444	444	-12,35447718	2,392794E-5	-12,3544997		-1,98	-12,3544997			1,3	,1
469	470	-,22348453	1,659854E-6	-,2234862		-,06	-,2234862			,0	,3

**CEPSM - Maximum check strains (loadcase bc3)**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Pk+' [12-11-2018;occ.:1]

	ELE	e12max-T-	e12min-T-	eX-S-M	eF-S-M	eEq-E-M	eEq-P-	eEq-S-M	eXS-M	eFS-M	eEqS-M	CHKE
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	1	,7378	-,7705	-,8246	-,2970	,8391		,8391	11,8	4,2	12,0	7,00
153	153	,3466	-,3369	-,1496	-,3815	,3379		,3379	3,0	7,6	6,8	5,00
172	172	3,5998	-3,5061	3,6303	-,3839	3,6200		3,6200	72,6	7,7	72,4	5,00
258	258	3,1203	-3,0196	3,4923	-3,0479	3,6154		3,6154	69,8	61,0	72,3	5,00
297	297	,1136	-,1583	-,1642	-,0261	,1603		,1603	3,3	,5	3,2	5,00
317	317	,3547	-,4501	-,5176	,2260	,5328		,5328	10,4	4,5	10,7	5,00
392	392	,8973	-,9038	-1,1096	-,8756	1,1988		1,1988	22,2	17,5	24,0	5,00
469	470	,0361	-,0368	-,0139	-,0410	,0361		,0361	,2	,6	,5	7,00

WARNING - Warnings

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6Plk\*' [occ.:0]

	SESSION	FUNCTION	IDENT	MESSAGE
1	1	FUNCT200	W200/6	Vertical element or node axis
2	1	FUNCT320	W320/2	Large rh/(rvt,rvs) ratio
3	1	FUNCT320	W320/3	Extreme klh/(klt, kls) ratio
4	1	FUNCT320	W320/6	Sub > hor > top not satisfied
5	2	FUNCT500	W500/T*	No mat-nln calculation at tees
6	2	FUNCT610	W610/18	Addcros stop at iter.101 diseq .18002e-2
7	2	FUNCT610	W610/18	Addcros stop at iter.101 diseq .32529e-2
8	2	FUNCT610	W610/9	Moment addcros gt 25% of infor
9	2	FUNCT610	W610/8	Closed end assumed to be rigid at redist
10	2	FUNCT620	W620/F*	Element 171 is tee, no mat-nln
11	2	FUNCT620	W620/F*	Element 172 is tee, no mat-nln
12	2	FUNCT620	W620/F*	Element 418 is tee, no mat-nln
13	2	FUNCT620	W620/F*	Element 419 is tee, no mat-nln
14	2	FUNCT620	W620/F*	Element 469 is tee, no mat-nln
15	2	FUNCT620	W620/F*	Element 472 is tee, no mat-nln

## BIJLAGE D6: Vuren BC3 v6PHW, horizontale grondverplaatsing door hoog water

SETX - Soil displacement in X-direction

	AX-L	SETX1	UNCF1	SETX2	UNCF2
	mm	mm		mm	
1	34600	0	1		
2	96240	-4,6	1		
3	102900	-6	1		
4	109270	-7,6	1		
5	113480	-7,5	1		
6	121720	-10,9	1		
7	127570	-15,6	1		
8	136330	-22,6	1		
9	143150	-12,5	1		
10	159600	-1,5	1		
11	174600	0	1		
12	205386	0	1	-3	1
13	206486	-3	1	-5,5	1
14	207586	-5,5	1		

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6PHW' [12-11-2018;occ.:2]

SETZ - Soil displacement in Z-direction

	AX-L	SETZ1	UNCF1	SETZ2	UNCF2
	mm	mm		mm	
1	24600	-34,1	1		
2	26600	-35,3	1		
3	42600	-98,6	1		
4	58600	-155,3	1		
5	74600	-215,9	1		
6	81190	-258,7	1		
7	84700	-265,7	1		
8	96240	-347	1		
9	102900	-389	1		
10	113480	-210	1		
11	121720	-228	1		
12	127570	-276	1		
13	143150	-85	1		
14	159600	-81	1		
15	181600	-81	1		
16	203050	-82	1		
17	205386	-82	1	-81,5	1
18	206486	-81,5	1	-375,6	1
19	207586	-375,6	1		

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6PHW' [12-11-2018;occ.:1]

DISPLAC - Displacements (loadcase bc3 g-nln/m-nln iter 16)

	NO	U-X	U-Y	U-Z	PHI-X	PHI-Y	PHI-Z	U-AX	PHI-AX	U-LAT	PHI-L
		mm	mm	mm	RAD	RAD	RAD	mm	RAD	mm	°
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	29	-1,9761929	4,2737.E-1	-49,84595...	2,0687...E-3	1,8017...E-3	-2,45...E-06	-7,1932272	-5,260...E-4	49,8429866	270
34	34	-2,25280424	4,6523...E-1	-66,73674...	3,0191...E-3	2,5252...E-3	-2,18...E-05	-7,8454171	-6,774...E-4	66,7342316	270
39	39	-4,4080328	4,1960...E-1	-87,57039...	3,2906...E-3	2,8968...E-3	-6,80...E-05	-8,8273252	-8,638...E-4	87,5680637	270
53	53	-1,911616...	-2,668...E-1	-132,7751...	2,7780...E-3	3,2594...E-3	-2,58...E-04	-1,215189...	-1,435...E-3	132,78360...	269
57	57	-2,213769...	-4,180...E-1	-138,0821...	2,6467...E-3	3,2909...E-3	-2,42...E-04	-1,268409...	-1,528...E-3	138,09467...	269
112	112	-3,697465...	-2,132...E+0	-211,4476...	1,2287...E-3	4,4068...E-3	2,862...E-06	-5,259011...	-5,512...E-4	211,42528...	269
122	122	-3,477615...	-1,792...E+0	-227,2107...	1,0531...E-3	4,8397...E-3	1,980...E-04	-5,911423...	-2,319...E-4	227,16749...	269
143	143	-3,083026...	-1,579...E+0	-264,8667...	7,4558...E-4	5,8052...E-3	1,353...E-04	-6,697252...	7,4814...E-4	264,80471...	270
155	155	-2,687445...	-5,803...E-1	-300,8858...	5,3685...E-4	6,0832...E-3	1,551...E-04	-6,708584...	5,3978...E-4	300,82361...	270
169	169	-1,929806...	1,8878...E-1	-355,4432...	2,8650...E-4	-3,619...E-4	9,973...E-06	-8,979571...	2,8664...E-4	355,33507...	270
273	273	-26,64985...	-2,939...E-3	-234,3662...	7,6019...E-5	-7,208...E-3	2,200...E-06	-30,97478...	7,6039...E-5	233,83391...	270
298	298	-22,09776...	2,7339...E-3	-180,1843...	5,8571...E-5	-1,076...E-2	-8,21...E-06	6,56880161	5,9119...E-5	181,41542...	270
394	394	-4,352342...	4,6394...E-3	-81,03788...	2,8368...E-5	-1,977...E-3	-4,06...E-06	9,62945571	2,8644...E-5	80,5813584	270
469	469	-3,406014...	1,7027...E-3	-77,69674...	2,0874...E-5	6,8273...E-4	-1,24...E-06	-77,69902...	-1,232...E-6	3,3534254	90
473	473	-3,768489...	5,1666...E-4	-352,0061...	2,5668...E-4	-2,385...E-3	6,968...E-06	-351,9960...	6,9664...E-6	4,6113761	265

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6PHW' [12-11-2018;occ.:1]

RLDPLMX - Maximum radial deformations (loadcase bc3)

	ELE	WGROUND-	WBEND-M	WELAS-M	WPLAS-	W+WD/D-	WTOTAL-M	RG/KLG-	KLG-	AX_BUCKL-	EXT_PRESS-
		mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	N/m	% critical	% critical
27	27	-6,78797254	-4,309283E-2	-6,83106537		-1,06	-6,83106537			9,7	1,9
120	120	1,97510962	1,098540E+0	-1,67443055		-27	-1,67443055			22,4	1,0
171	171	-1,01868181	3,169631E+0	3,98435111		,65	3,98435111			97,9	1,4

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6PHW' [12-11-2018;occ.:1]

**RLDPLMX - Maximum radial deformations (loadcase bc3)** **Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6PHW' [12-11-2018;occ.:1]**

	ELE	WGROUND-	WBEND-M	WELAS-M	WPLAS-	W+WD/D-	WTOTAL-M	RG/KLG-	KLG-	AX_BUCKL-	EXT_PRESS-
		mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	N/m	% critical	% critical
172	172	-86636617	3,548330E+0	4,23005363		,69	4,23005363			97,0	1,4
173	173	-60736637	3,658948E+0	4,14550260		,68	4,14550260			10,1	1,4
350	350	-4,22030882	-3,403923E-2	-4,25434806		-,63	-4,25434806			17,3	5,6
383	383	-2,86642900	2,537573E-2	-2,88937994		-,44	-2,88937994			,9	,0
411	411	-21701900	-3,728672E+0	-3,52789638		-,58	-3,52789638			10,1	,2
447	447	-4,05441031	-2,181492E-5	-4,05439262		-,65	-4,05439262			,0	,2

**CEPSM - Maximum check strains (loadcase bc3)** **Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6PHW' [12-11-2018;occ.:1]**

	ELE	e12max-T-	e12min-T-	eX-S-M	eF-S-M	eEq-E-M	eEq-P-	eEq-S-M	eXS-M	eFS-M	eEqS-M	CHKE
		%	%	%	%	%	%	%	% check strai	% check strai	% check strai	%
1	1	,5909	-,6472	-,6920	-,2522	,6901		,6901	9,9	3,6	9,9	7,00
153	153	,2475	-,2270	-,1275	-,2651	,2430		,2430	2,5	5,3	4,9	5,00
171	171	3,6399	-3,6095	3,6703	-,3873	3,6599		3,6599	73,4	7,7	73,2	5,00
178	178	2,0766	-2,0784	-2,3057	-2,1351	2,3958		2,3958	46,1	42,7	47,9	5,00
203	203	,1031	-,0660	,0787	-,0097	,1126		,1126	1,6	,2	2,3	5,00
258	258	2,4586	-2,3722	2,7569	-2,3903	2,8527		2,8527	55,1	47,8	57,1	5,00
317	317	,3112	-,2857	,3467	,1635	,3524		,3524	6,9	3,3	7,0	5,00
471	473	,0130	-,0168	-,0061	-,0186	,0164		,0164	,1	,3	,2	7,00

**WARNING - Warnings**

**Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v6PHW' [occ.:0]**

	SESSION	FUNCTION	IDENT	MESSAGE
1	1	FUNCT200	W200/6	Vertical element or node axis
2	1	FUNCT320	W320/2	Large rh/(rvt,rvs) ratio
3	1	FUNCT320	W320/3	Extreme klh/(kit,kls) ratio
4	1	FUNCT320	W320/6	Sub > hor > top not satisfied
5	2	FUNCT500	W500/T*	No mat-nln calculation at tees
6	2	FUNCT610	W610/18	Addcros stop at iter.101 diseq. 14635e-2
7	2	FUNCT610	W610/8	Closed end assumed to be rigid at redist
8	2	FUNCT620	W620/F*	Element 171 is tee, no mat-nln
9	2	FUNCT620	W620/F*	Element 172 is tee, no mat-nln
10	2	FUNCT620	W620/F*	Element 418 is tee, no mat-nln
11	2	FUNCT620	W620/F*	Element 419 is tee, no mat-nln
12	2	FUNCT620	W620/F*	Element 469 is tee, no mat-nln
13	2	FUNCT620	W620/F*	Element 472 is tee, no mat-nln



## BIJLAGE D7: Vuren BC3 v7, alle factoren zijn op de waarde 1 gezet

### ORIGIN - Pipeline origin

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:1]

IDENT	X-S	Y-S	Z-S	SNODE	SAX-L	SAX-LP
	mm	mm	mm		mm	mm
1 Start	0	57158	-1260	1	0	0

### POLYDIF - Pipeline polygon points (relative)

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:1]

IDENT	ΔX-N	ΔY-N	Z-N	BENDRAD	ETYP	BEND_EL	PIPE_EL	EXT	N-KINK	L-SEGM
	mm	mm	mm	mm		mm	mm			mm
1 Knik60	33000	-57158	-750		Mitre bend	350	1000	4	8	4000
2 mangat1	38000	0	-10				1000			
3 k10	2000	0	-10		Mitre bend	110	1000	4	1	640
4 k20	2800	0	490		Mitre bend	110	1000	4	1	600
5 k30	3000	0	1230		Mitre bend	110	1000	4	1	600
6 k40	12700	0	5380		Mitre bend	110	1000	4	1	600
7 k50	4100	0	6370		Mitre bend	110	1000	4	1	640
8 k60	4200	0	6660		Mitre bend	110	1000	4	1	640
9 k70	4100	0	6470		Mitre bend	110	1000	4	1	640
10 k80	4100	0	5770		Mitre bend	110	1000	4	1	600
11 k90	3900	0	5050				105			
12 k100	3900	0	4345				105			
13 k110	4000	0	3640		Mitre bend	110	1000	4	1	600
14 k120	4600	0	3110		Mitre bend	300	1000	4	1	640
15 mangat2	2000	0	3100				1000			
16 Eind	38000	0	2640				1000			
17 EindX	10000	0	2640				1000			
18 mg2	-48000	0	3100		Weak					
19 eind2	0	0	4200				1000			
20 mg1	-55400	0	-10		Weak					
21 eind1	0	0	1090				1000			

### CONNECT - Pipeline connections

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:1]

IDENT1	IDENT2	CONNAME	TEE-REF
1 mangat1	mg1	T1	T1
2 mangat2	mg2	T2	T2

### TEECONF - Pipeline Tee configurations

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:1]

TEE-REF	L-RUN	L-BRN	CYCLES
	mm	mm	
1 T1	500	750	100
2 T2	500	750	100

### G-LEVEL - Ground level

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:1]

Identifier	GROUND1	UNCV1	GROUND2	UNCV2
	mm	mm	mm	mm
1 Start	1050	0		
2 MV5	1900	0		
3 MV10	2500	0		
4 MV20	8450	0		
5 MV30	8450	0		
6 MV40	6500	0		
7 MV50	6500	0		
8 MV60	4500	0		
9 Eind2	4500	0		
10 MG1	1900	0		

### W-LEVEL - (Ground) water level

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:1]

Identifier	WATER1	UNCV1	WATER2	UNCV2
	mm	mm	mm	mm
1 Start	200	0		
2 MV5	878	0		
3 MV60	3438	0		
4 Eind2	3438	0		
5 MG1	878	0		

**ADIDENT - Additional idents**

	REFIDENT	ΔAX-L	NEWIDENT
		mm	
1	k10	-20000	WD1
2	k120	20000	WD2
3	k20	0	MV5
4	k30	0	MV10
5	k70	-7300	MV20
6	k70	0	MV30
7	k120	-10500	MV40
8	k120	-4600	MV50
9	k120	-1000	MV60
10	k40	-1000	OntgrL
11	k80	1000	OntgrR
12	k110	-6000	WegL
13	k110	-1000	WegR
14	Knik60	41400	ZB15
15	Knik60	51200	ZB12
16	Knik60	62200	ZB9
17	Knik60	69300	ZB6
18	Knik60	78900	ZB3
19	Knik60	89600	ZB1

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:1]

**MATL - Material location**

	Identifier	MATREF
1	Start	Gr.B
2	WD1	Gr.X60
3	WD2	Gr.B

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:1]

**ISTIROP - Isotropic materials**

	MATREF	Emod	Gmod	Nu	ALPHA	Re	ReT
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>		1/C	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1	Gr.X60	207000		0,3	1,16E-06	413	
2	Gr.B	207000		0,3	1,16E-06	241	

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:1]

**DIAM - Outer diameter**

	Element	DOUT1	DOUT2
		mm	mm
1	152	1219	
2	153	1219	
3	180	1219	
4	181	1254	
5	182	1219	
6	196	1219	
7	197	1254	
8	198	1219	
9	212	1219	
10	213	1254	
11	214	1219	
12	238	1219	
13	239	1254	
14	240	1219	
15	255	1219	
16	256	1254	
17	257	1219	
18	272	1219	
19	273	1254	
20	274	1219	
21	289	1219	
22	290	1254	
23	291	1219	
24	306	1219	
25	307	1254	
26	308	1219	
27	345	1219	
28	346	1254	

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:1]



**DEADW - Deadweight**

Identifier	DEADW1	DEADW2	WLEVEL
	N/mm	N/mm	
1 Start	3,93	15,38	Yes
2 EindX	1,04	3,95	Yes

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:1]

**KLH - Horizontal soil stiffness**

Identifier	KLH1	KLH2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
1 start	0,0039567		1		5
2 knik60s	0,0039281		1		5
3 knik60	0,0038093		1		5
4 knik60e	0,0035693		1		5
5 wd1	0,0035387		1		5
6 t1s	0,0033121		1		5
7 mangat1	0,0033053		1		5
8 t1e	0,0033112		1		5
9 k10s	0,0033252		1		5
10 k10	0,00327		1		5
11 k10e	0,003262		1		5
12 k20s	0,0027993		1		5
13 k20	0,0026891		1		5
14 zb15	0,0027586		1		5
15 k20e	0,0027696		1		5
16 w-lvl 1	0,0029647		1		5
17 k30s	0,0029374		1		5
18 k30	0,0028654		1		5
19 k30e	0,0029464		1		5
20 zb12	0,0035032		1		5
21 ontgrl	0,0037697		1		5
22 k40s	0,0037883		1		5
23 k40	0,0037384		1		5
24 k40e	0,0038909		1		5
25 k50s	0,0049754		1		5
26 k50	0,0049886		1		5
27 k50e	0,0053646		1		5
28 mv20	0,0057566		1		5
29 k60s	0,004986		1		5
30 k60	0,0048253		1		5
31 k60e	0,0049616		1		5
32 zb6	0,0054544		1		5
33 k70s	0,0055259		1		5
34 k70	0,0054829		1		5
35 k70e	0,0055564		1		5
36 k80s	0,005296		1		5
37 k80	0,0051812		1		5
38 k80e	0,0052627		1		5
39 wegl	0,0040776		1		5
40 mv40	0,0040742		1		5
41 k100	0,0047381		1		5
42 wegr	0,0062735		1		5
43 k110s	0,0064498		1		5
44 k110	0,0064664		1		5
45 k110e	0,0062521		1		5
46 w-lvl 2	0,004768		1		5
47 mv60	0,0026089		1		5
48 k120s	0,0026996		1		5
49 k120	0,0027457		1		5
50 k120e	0,0027482		1		5
51 t2s	0,0027557		1		5
52 mangat2	0,0027582		1		5
53 t2e	0,0027657		1		5
54 wd2	0,0030353		1		5
55 eind	0,0033383		1		5
56 eindx	0,0033383		1		5
57 mg2	0,0066109		1		5
58 t2b	0,0035183		1		5
59 eind2	0,0018925		1		5
60 mg1	0,0081092		1		5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:3]

**KLH - Horizontal soil stiffness**

	Identifier	KLH1	KLH2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
61	t1b	0,0057924		1		5
62	eind1	0,0042956		1		5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:3]

**KLS - Downward vertical soil stiffness**

	Identifier	KL S1	KL S2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
1	start	0,0016105		1		5
2	knik60s	0,0023262		1		5
3	knik60	0,002804		1		5
4	knik60e	0,0024813		1		5
5	wd1	0,0026254		1		5
6	t1s	0,0036359		1		5
7	mangat1	0,0036638		1		5
8	t1e	0,0036688		1		5
9	k10s	0,0036806		1		5
10	k10	0,0035723		1		5
11	k10e	0,0038135		1		5
12	k20s	0,0043314		1		5
13	k20	0,0041901		1		5
14	zb15	0,0044363		1		5
15	k20e	0,0044871		1		5
16	w-lvl 1	0,0045645		1		5
17	k30s	0,0044864		1		5
18	k30	0,0043426		1		5
19	k30e	0,0044326		1		5
20	zb12	0,0018937		1		5
21	ontgrl	0,0012296		1		5
22	k40s	0,0012387		1		5
23	k40	0,0012263		1		5
24	k40e	0,0012885		1		5
25	k50s	0,0018429		1		5
26	k50	0,0018678		1		5
27	k50e	0,0020526		1		5
28	mv20	0,0022688		1		5
29	k60s	0,0018485		1		5
30	k60	0,0017805		1		5
31	k60e	0,0018356		1		5
32	zb6	0,0021017		1		5
33	k70s	0,0021409		1		5
34	k70	0,0021378		1		5
35	k70e	0,0021578		1		5
36	k80s	0,0020153		1		5
37	k80	0,001972		1		5
38	k80e	0,0019972		1		5
39	wegl	0,0065295		1		5
40	mv40	0,0065245		1		5
41	k100	0,0074973		1		5
42	wegr	0,0097027		1		5
43	k110s	0,0099481		1		5
44	k110	0,0099607		1		5
45	k110e	0,0096727		1		5
46	w-lvl 2	0,0075518		1		5
47	mv60	0,0045175		1		5
48	k120s	0,0047488		1		5
49	k120	0,0048672		1		5
50	k120e	0,0048737		1		5
51	t2s	0,0048929		1		5
52	mangat2	0,0048994		1		5
53	t2e	0,0049187		1		5
54	wd2	0,0056216		1		5
55	eind	0,0060989		1		5
56	eindx	0,0060989		1		5
57	mg2	0,0066109		1		5
58	t2b	0,0035183		1		5
59	eind2	0,0018925		1		5
60	mg1	0,0081092		1		5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:2]

**KLS - Downward vertical soil stiffness**

	Identifier	KLS1	KLS2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
61	t1b	0,0057924		1		5
62	eind1	0,0042956		1		5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:2]

**KLT - Upward vertical soil stiffness**

	Identifier	KLT1	KLT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
1	start	0,00063605		1		5
2	knik60s	0,00066649		1		5
3	knik60	0,00064015		1		5
4	knik60e	0,00056452		1		5
5	wd1	0,00055202		1		5
6	t1s	0,00046352		1		5
7	mangat1	0,00046098		1		5
8	t1e	0,00046299		1		5
9	k10s	0,00046777		1		5
10	k10	0,00045369		1		5
11	k10e	0,0004444		1		5
12	k20s	0,00025763		1		5
13	k20	0,00022162		1		5
14	zb15	0,00021518		1		5
15	k20e	0,00020758		1		5
16	w-lvl 1	9,8398E-05		1		5
17	k30s	8,5038E-05		1		5
18	k30	7,1886E-05		1		5
19	k30e	7,4345E-05		1		5
20	zb12	9,5571E-05		1		5
21	ontgrl	0,000118		1		5
22	k40s	0,00011964		1		5
23	k40	0,00011563		1		5
24	k40e	0,00012888		1		5
25	k50s	0,00024431		1		5
26	k50	0,0002467		1		5
27	k50e	0,00029337		1		5
28	mv20	0,0003467		1		5
29	k60s	0,00024558		1		5
30	k60	0,00022717		1		5
31	k60e	0,00024264		1		5
32	zb6	0,00030523		1		5
33	k70s	0,00031484		1		5
34	k70	0,00031004		1		5
35	k70e	0,00031897		1		5
36	k80s	0,00028444		1		5
37	k80	0,00027063		1		5
38	k80e	0,00028015		1		5
39	wegl	0,00049533		1		5
40	mv40	0,00049433		1		5
41	k100	0,00071162		1		5
42	wegr	0,0013165		1		5
43	k110s	0,0013964		1		5
44	k110	0,00141		1		5
45	k110e	0,0013069		1		5
46	w-lvl 2	0,00071799		1		5
47	mv60	0,0001778		1		5
48	k120s	0,00021082		1		5
49	k120	0,00022849		1		5
50	k120e	0,00022947		1		5
51	t2s	0,0002324		1		5
52	mangat2	0,00023338		1		5
53	t2e	0,00023633		1		5
54	wd2	0,00035318		1		5
55	eind	0,00046658		1		5
56	eindx	0,00046658		1		5
57	mg2	0,0066109		1		5
58	t2b	0,0035183		1		5
59	eind2	0,0018925		1		5
60	mg1	0,0081092		1		5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:2]

**KLT - Upward vertical soil stiffness**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:2]

	Identifier	KLT1	KLT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
61	t1b	0,0057924		1		5
62	eind1	0,0042956		1		5

**F - Pipe-soil friction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:2]

	Identifier	F1	F2	UNCF-L	UNCF-H	CFA1	CFA2	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
1	start	0,0081563		1				5
2	knik60s	0,0086505		1				5
3	knik60	0,0087437		1				5
4	knik60e	0,008741		1				5
5	wd1	0,0087388		1				5
6	t1s	0,0084848		1				5
7	mangat1	0,0084759		1				5
8	t1e	0,0084848		1				5
9	k10s	0,0085057		1				5
10	k10	0,0085114		1				5
11	k10e	0,0084173		1				5
12	k20s	0,0077591		1				5
13	k20	0,0076698		1				5
14	zb15	0,0077054		1				5
15	k20e	0,0077232		1				5
16	w-lvl 1	0,0079732		1				5
17	k30s	0,0077966		1				5
18	k30	0,0076504		1				5
19	k30e	0,0075599		1				5
20	zb12	0,0064203		1				5
21	ontgrl	0,0068136		1				5
22	k40s	0,0068409		1				5
23	k40	0,0068616		1				5
24	k40e	0,00699		1				5
25	k50s	0,0085032		1				5
26	k50	0,0086385		1				5
27	k50e	0,0090215		1				5
28	mv20	0,0095321		1				5
29	k60s	0,0085174		1				5
30	k60	0,0084145		1				5
31	k60e	0,0084847		1				5
32	zb6	0,0091394		1				5
33	k70s	0,0092329		1				5
34	k70	0,009303		1				5
35	k70e	0,0092727		1				5
36	k80s	0,0089311		1				5
37	k80	0,0088997		1				5
38	k80e	0,008887		1				5
39	wegl	0,010182		1				5
40	mv40	0,010176		1				5
41	k100	0,011405		1				5
42	wegr	0,013683		1				5
43	k110s	0,013952		1				5
44	k110	0,014155		1				5
45	k110e	0,01365		1				5
46	w-lvl 2	0,011316		1				5
47	mv60	0,0075289		1				5
48	k120s	0,0076585		1				5
49	k120	0,0077241		1				5
50	k120e	0,0077277		1				5
51	t2s	0,0077383		1				5
52	mangat2	0,0077419		1				5
53	t2e	0,0077525		1				5
54	wd2	0,008134		1				5
55	eind	0,0085582		1				5
56	eindx	0,0085582		1				5
57	mg2	0,0077419		1				5
58	t2b	0,0055351		1				5
59	eind2	0,0041701		1				5
60	mg1	0,0085571		1				5

**F - Pipe-soil friction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:2]

	Identifier	F1	F2	UNCF-L	UNCF-H	CFA1	CFA2	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
61	t1b	0,0072262		1				5
62	eind1	0,0061544		1				5

**UF - Displacement at max. soil friction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:2]

	Identifier	UF1	UF2	UNCF-L	UNCF-H
		mm	mm		
1	start	5,8779		1	
2	knik60s	5,5313		1	
3	knik60	5,3544		1	
4	knik60e	5,0876		1	
5	wd1	5,0449		1	
6	t1s	5		1	
7	mangat1	5		1	
8	t1e	5		1	
9	k10s	5		1	
10	k10	5		1	
11	k10e	5		1	
12	k20s	5		1	
13	k20	5		1	
14	zb15	5		1	
15	k20e	5		1	
16	w-lvl 1	5		1	
17	k30s	5,0829		1	
18	k30	5,156		1	
19	k30e	5,2358		1	
20	zb12	6,5		1	
21	ontgrl	6,5		1	
22	k40s	6,5		1	
23	k40	6,5		1	
24	k40e	6,5		1	
25	k50s	6,5		1	
26	k50	6,5		1	
27	k50e	6,5		1	
28	mv20	6,5		1	
29	k60s	6,5		1	
30	k60	6,5		1	
31	k60e	6,5		1	
32	zb6	6,5		1	
33	k70s	6,5		1	
34	k70	6,5		1	
35	k70e	6,5		1	
36	k80s	6,5		1	
37	k80	6,5		1	
38	k80e	6,5		1	
39	wegl	5		1	
40	mv40	5		1	
41	k100	5		1	
42	wegr	5		1	
43	k110s	5		1	
44	k110	5		1	
45	k110e	5		1	
46	w-lvl 2	5		1	
47	mv60	5		1	
48	k120s	5		1	
49	k120	5		1	
50	k120e	5		1	
51	t2s	5		1	
52	mangat2	5		1	
53	t2e	5		1	
54	wd2	5		1	
55	eind	5		1	
56	eindx	5		1	
57	mg2	5		1	
58	t2b	5		1	
59	eind2	5		1	
60	mg1	5		1	



**UF - Displacement at max. soil friction**

Identifier	UF1	UF2	UNCF-L	UNCF-H
	mm	mm		
61 t1b	5		1	
62 eind1	5		1	

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:2]

**RVS - Sub-soil bearing capacity**

Identifier	RVS1	RVS2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
1 start	0,5502		1		5
2 knik60s	0,54989		1		5
3 knik60	0,52731		1		5
4 knik60e	0,48174		1		5
5 wd1	0,47452		1		5
6 t1s	0,42397		1		5
7 mangat1	0,42254		1		5
8 t1e	0,42321		1		5
9 k10s	0,42478		1		5
10 k10	0,42566		1		5
11 k10e	0,414		1		5
12 k20s	0,32378		1		5
13 k20	0,30952		1		5
14 zb15	0,30587		1		5
15 k20e	0,30381		1		5
16 w-lvl 1	0,27821		1		5
17 k30s	0,27344		1		5
18 k30	0,26848		1		5
19 k30e	0,27017		1		5
20 zb12	0,35369		1		5
21 ontgrl	0,40399		1		5
22 k40s	0,40618		1		5
23 k40	0,40617		1		5
24 k40e	0,41823		1		5
25 k50s	0,54334		1		5
26 k50	0,55285		1		5
27 k50e	0,58726		1		5
28 mv20	0,631		1		5
29 k60s	0,54454		1		5
30 k60	0,53399		1		5
31 k60e	0,54178		1		5
32 zb6	0,59732		1		5
33 k70s	0,60532		1		5
34 k70	0,60935		1		5
35 k70e	0,60872		1		5
36 k80s	0,57956		1		5
37 k80	0,57496		1		5
38 k80e	0,57582		1		5
39 wegl	0,39797		1		5
40 mv40	0,39767		1		5
41 k100	0,46352		1		5
42 wegr	0,59138		1		5
43 k110s	0,60634		1		5
44 k110	0,61582		1		5
45 k110e	0,58955		1		5
46 w-lvl 2	0,46028		1		5
47 mv60	0,27534		1		5
48 k120s	0,28944		1		5
49 k120	0,29666		1		5
50 k120e	0,29705		1		5
51 t2s	0,29823		1		5
52 mangat2	0,29862		1		5
53 t2e	0,29979		1		5
54 wd2	0,34264		1		5
55 eind	0,37173		1		5
56 eindx	0,37173		1		5
57 mg2	0,12212		1		5
58 t2b	0,064992		1		5
59 eind2	0,03496		1		5
60 mg1	0,1498		1		5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:2]

**RVS - Sub-soil bearing capacity**

Identifier	RVS1	RVS2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
61 t1b	0,107		1		5
62 eind1	0,079352		1		5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:2]

**RVT - Ultimate top-soil reaction**

Identifier	RVT1	RVT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
1 start	0,031584		1		5
2 knik60s	0,032947		1		5
3 knik60	0,032234		1		5
4 knik60e	0,029902		1		5
5 wd1	0,029508		1		5
6 t1s	0,02666		1		5
7 mangat1	0,026576		1		5
8 t1e	0,02665		1		5
9 k10s	0,026825		1		5
10 k10	0,026644		1		5
11 k10e	0,026038		1		5
12 k20s	0,018505		1		5
13 k20	0,016963		1		5
14 zb15	0,016945		1		5
15 k20e	0,016808		1		5
16 w-lvl 1	0,014023		1		5
17 k30s	0,013493		1		5
18 k30	0,012866		1		5
19 k30e	0,013153		1		5
20 zb12	0,015212		1		5
21 ontgrl	0,017198		1		5
22 k40s	0,017338		1		5
23 k40	0,017192		1		5
24 k40e	0,018108		1		5
25 k50s	0,02641		1		5
26 k50	0,026869		1		5
27 k50e	0,029458		1		5
28 mv20	0,032562		1		5
29 k60s	0,026492		1		5
30 k60	0,025583		1		5
31 k60e	0,026303		1		5
32 zb6	0,030165		1		5
33 k70s	0,030731		1		5
34 k70	0,030798		1		5
35 k70e	0,030972		1		5
36 k80s	0,028918		1		5
37 k80	0,028393		1		5
38 k80e	0,028657		1		5
39 wegl	0,028898		1		5
40 mv40	0,028856		1		5
41 k100	0,037975		1		5
42 wegr	0,058419		1		5
43 k110s	0,060984		1		5
44 k110	0,062298		1		5
45 k110e	0,058109		1		5
46 w-lvl 2	0,037678		1		5
47 mv60	0,014061		1		5
48 k120s	0,015832		1		5
49 k120	0,016748		1		5
50 k120e	0,016797		1		5
51 t2s	0,016947		1		5
52 mangat2	0,016997		1		5
53 t2e	0,017147		1		5
54 wd2	0,022739		1		5
55 eind	0,027018		1		5
56 eindx	0,027018		1		5
57 mg2	0,12212		1		5
58 t2b	0,064992		1		5
59 eind2	0		1		5
60 mg1	0,1498		1		5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:2]

**RVT - Ultimate top-soil reaction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:2]

Identifier	RVT1	RVT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
61 t1b	0,107		1		5
62 eind1	0,079352		1		5

**RH - Ultimate hor. soil reaction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:2]

Identifier	RH1	RH2	UNCF-L	UNCF-H	CFH1	CFH2	VARAR
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
1 start	0,14616		1				5
2 knik60s	0,1451		1				5
3 knik60	0,14071		1				5
4 knik60e	0,13185		1				5
5 wd1	0,13072		1				5
6 t1s	0,12235		1				5
7 mangat1	0,1221		1				5
8 t1e	0,12231		1				5
9 k10s	0,12283		1				5
10 k10	0,12252		1				5
11 k10e	0,1205		1				5
12 k20s	0,1034		1				5
13 k20	0,10076		1				5
14 zb15	0,1019		1				5
15 k20e	0,10231		1				5
16 w-lvl 1	0,10951		1				5
17 k30s	0,10851		1				5
18 k30	0,10737		1				5
19 k30e	0,10884		1				5
20 zb12	0,12941		1				5
21 ontgrl	0,13925		1				5
22 k40s	0,13994		1				5
23 k40	0,14008		1				5
24 k40e	0,14373		1				5
25 k50s	0,18379		1				5
26 k50	0,18692		1				5
27 k50e	0,19816		1				5
28 mv20	0,21264		1				5
29 k60s	0,18418		1				5
30 k60	0,1808		1				5
31 k60e	0,18328		1				5
32 zb6	0,20148		1				5
33 k70s	0,20412		1				5
34 k70	0,20544		1				5
35 k70e	0,20525		1				5
36 k80s	0,19563		1				5
37 k80	0,19414		1				5
38 k80e	0,1944		1				5
39 wegl	0,15062		1				5
40 mv40	0,1505		1				5
41 k100	0,17753		1				5
42 wegr	0,23174		1				5
43 k110s	0,23825		1				5
44 k110	0,24229		1				5
45 k110e	0,23095		1				5
46 w-lvl 2	0,17613		1				5
47 mv60	0,096371		1				5
48 k120s	0,099722		1				5
49 k120	0,10142		1				5
50 k120e	0,10152		1				5
51 t2s	0,10179		1				5
52 mangat2	0,10189		1				5
53 t2e	0,10216		1				5
54 wd2	0,11212		1				5
55 eind	0,12331		1				5
56 eindx	0,12331		1				5
57 mg2	0,12212		1				5
58 t2b	0,064992		1				5
59 eind2	0,03496		1				5
60 mg1	0,1498		1				5

**RH - Ultimate hor. soil reaction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:2]

Identifier	RH1	RH2	UNCF-L	UNCF-H	CFH1	CFH2	VARAR
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
61 t1b	0,107			1			5
62 eind1	0,079352			1			5

**UNCER - Uncertainty factors**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:1]

	U-KLH	U-KLS	U-KLT	U-F	U-UF	U-RVS	U-RVT	U-RH
1 High	High	High	High	High	High	High	High	High

**ENDPTS - Start/end nodes boundary conditions**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:1]

IDENT	COND	STATE
1 Start	Fixed	Open
2 EindX	Infinite	Open
3 Eind1	Free	Closed
4 Eind2	Free	Closed

**PRESS - Internal overpressure**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:2]

Identifier	PRESS1	PRESS2
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1 Start	0,6	

**TEMP - Temperature differences**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:1]

Identifier	T-ABS1	T-REF1	T-ABS2	T-REF2
	°C	°C	°C	°C
1 Start	20	10		

**SETZ - Soil displacement in Z-direction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:1]

	AX-L	SETZ1	UNCF1	SETZ2	UNCF2
	mm	mm		mm	
1	24600	-34,1	1		
2	26600	-35,3	1		
3	42600	-98,6	1		
4	58600	-155,3	1		
5	74600	-215,9	1		
6	81190	-258,7	1		
7	84700	-265,7	1		
8	96240	-347	1		
9	102900	-389	1		
10	113480	-210	1		
11	121720	-228	1		
12	127570	-276	1		
13	143150	-85	1		
14	159600	-81	1		
15	181600	-81	1		
16	203050	-82	1		
17	205386	-82	1	-81,5	1
18	206486	-81,5	1	-375,6	1
19	207586	-375,6	1		

**SUBSIDE - Vertical soil subsidence**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:2]

Identifier	SUBZMAX	UNCF	LENGTH	SINESHape
	mm		mm	
1 OntgrL	-15	1	18500	Block

**LOCASE - Loading combinations**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:2]

IDENT	GLOAD-F	PRESS-F	T-DIF-F	DEADW-F	SETL-F	NODAL-F	ELBND-F	WAVC-F
1 BC3	1	0	0	1	1	0	0	0

**SOILCTL - Non-linear elastic soil iteration control**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:1]

	MAXSIT	MERPTS	MERFLDS
1	20	0	0

**GEOMCTL - Geometrically non-linear iteration control**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:1]

	MAXGIT	RELDISEQ	ABSDISEQ	ROTINCR
1	50	0,0001	1E-06	0,1

**DISPLAC - Displacements (loadcase bc3      g-nln/m-nln iter 14)**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:1]

	NO	U-X	U-Y	U-Z	PHI-X	PHI-Y	PHI-Z	U-AX	PHI-AX	U-LAT	PHI-L
		mm	mm	mm	RAD	RAD	RAD	mm	RAD	mm	°
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	40	7,9964.E-3	-1,611.E-1	-84,30681...	2,8726.E-3	2,6707.E-3	-2,55.E-05	-1,8458824	-8,767.E-4	84,3067713	270
57	57	-2,181...E-1	-4,576.E-1	-125,8070...	2,3679.E-3	2,9913.E-3	-3,73.E-05	-2,3890072	-1,406.E-3	125,80788...	270
95	95	-4,926...E-2	-8,028.E-1	-171,3011...	1,4656...E-3	3,4579.E-3	1,640.E-05	-1,693039...	-4,595.E-4	171,29469...	270
119	119	7,1019...E-1	-1,483.E-1	-203,0557...	1,1420...E-3	4,2554.E-3	1,715.E-04	-2,078964...	4,6976.E-6	203,04638...	270
132	132	1,1549...E+0	2,7986.E-1	-223,6802...	1,0633...E-3	5,0160.E-3	6,878.E-06	-1,995016...	3,9948.E-4	223,67452...	270
140	140	1,3679...E+0	1,1565.E-1	-237,7950...	9,7743.E-4	5,3013.E-3	-7,53.E-05	-1,891208...	2,7556.E-4	237,79149...	270
143	143	1,4520...E+0	3,0364.E-2	-243,1931...	9,3529...E-4	5,3257.E-3	-6,81.E-05	-1,981720...	9,3380.E-4	243,18937...	270
168	168	2,8596...E+0	-9,110.E-3	-310,6484...	4,3573...E-4	-2,650.E-4	3,095.E-05	-3,272920...	4,3625.E-4	310,64434...	270
181	181	2,9420...E+0	1,4599.E-1	-300,6806...	3,5170...E-4	-4,143.E-3	4,138.E-05	-24,85271...	3,5398.E-4	299,66622...	270
273	273	-1,699...E+1	-1,500.E-2	-206,6061...	1,2089...E-4	-6,861.E-3	5,271.E-06	-20,74093...	1,2094.E-4	206,26355...	270
298	298	-1,312...E+1	5,4170.E-3	-159,0640...	9,5270...E-5	-8,932.E-3	-1,23.E-05	12,397913...	9,5984.E-5	159,12245...	270
345	345	-4,205...E+0	9,9850.E-3	-107,4844...	7,2998...E-5	-6,507.E-3	-1,35.E-05	14,678041...	7,4248.E-5	106,56050...	270
473	473	1,2418...E+0	-2,090.E-1	-306,2881...	3,7918...E-4	-2,176.E-3	3,447.E-05	-306,2900...	3,4475.E-5	,6600752	51
474	474	4,7973...E-1	-3,416.E-1	-306,2892...	3,7912...E-4	-2,176.E-3	3,447.E-05	-306,2894...	3,4472.E-5	,4945458	328

**SOILNB - Neutral or real top-soil load**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:2]

	Identifier	NB1	UNCF1	LOADF1	NB2	UNCF2	LOADF2
		N/mm²			N/mm²		
1	start	0,022266	1	1			
2	knik60s	0,023165	1	1			
3	knik60	0,022911	1	1			
4	knik60e	0,021862	1	1			
5	wd1	0,021679	1	1			
6	t1s	0,020321	1	1			
7	mangat1	0,02028	1	1			
8	t1e	0,020321	1	1			
9	k10s	0,020418	1	1			
10	k10	0,020372	1	1			
11	k10e	0,02001	1	1			
12	k20s	0,0153	1	1			
13	k20	0,01423	1	1			
14	zb15	0,014183	1	1			
15	k20e	0,014081	1	1			
16	w-lvl 1	0,011981	1	1			
17	k30s	0,011573	1	1			
18	k30	0,01111	1	1			
19	k30e	0,011304	1	1			
20	zb12	0,012829	1	1			
21	ontgr1	0,014256	1	1			
22	k40s	0,014355	1	1			
23	k40	0,014281	1	1			
24	k40e	0,014896	1	1			
25	k50s	0,020391	1	1			
26	k50	0,020734	1	1			
27	k50e	0,022275	1	1			
28	mv20	0,024132	1	1			
29	k60s	0,020442	1	1			
30	k60	0,01992	1	1			
31	k60e	0,020324	1	1			
32	zb6	0,022704	1	1			
33	k70s	0,023044	1	1			
34	k70	0,02315	1	1			
35	k70e	0,023188	1	1			

**SOILNB - Neutral or real top-soil load**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:2]

Identifiser	NB1	UNCF1	LOADF1	NB2	UNCF2	LOADF2
	N/mm <sup>2</sup>			N/mm <sup>2</sup>		
36	k80s	0,021946	1	1		
37	k80	0,021683	1	1		
38	k80e	0,021786	1	1		
39	wegl	0,022175	1	1		
40	mv40	0,022149	1	1		
41	k100	0,027662	1	1		
42	wegr	0,038331	1	1		
43	k110s	0,039573	1	1		
44	k110	0,040352	1	1		
45	k110e	0,038179	1	1		
46	w-lvl 2	0,027407	1	1		
47	mv60	0,012069	1	1		
48	k120s	0,013383	1	1		
49	k120	0,014049	1	1		
50	k120e	0,014085	1	1		
51	t2s	0,014193	1	1		
52	mangat2	0,014229	1	1		
53	t2e	0,014337	1	1		
54	wd2	0,018207	1	1		
55	eind	0,02066	1	1		
56	eindx	0,02066	1	1		
57	mg2	0	1	1		
58	t2b	0	1	1		
59	eind2	0	1	1		
60	mg1	0	1	1		
61	t1b	0	1	1		
62	eind1	0	1	1		

**TOPLOAD - Extra loads on top-soil**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:2]

Identifiser	TOPLOAD1	LOADF1	TOPLOAD2	LOADF2
	N/mm <sup>2</sup>		N/mm <sup>2</sup>	
1	k10	0,009	1	
2	k20	0,018	1	
3	k30	0,022	1	
4	k40	0,018	1	
5	k60	0,011	1	
6	WegL	0,011	1	0,022
7	WegR	0,01	1	0,005
8	MV60	0,022	1	0,044
9	EindX	0,02	1	
10	MG2	0	1	

**LAMBDA - Horizontal soil support / Vertical soil load**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:1]

Identifiser	LAMBDA1	LAMBDA2
1	Start	0,5

**SUPANG - Soil support angle functions**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:1]

Identifiser	ANGMIN	ANGMAX	RVSL	RVSH	CURVE	
	°	°	%	%		
1	Start	120	180	50	100	Sinus

**SECTION - Cross-sections to be calculated**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:1]

Start Identifier	End Identifier	TOPLOAD	S-ALLOW	
			N/mm <sup>2</sup>	
1	Start	WD1	Yes	372
2	WD1	WD2	Yes	638
3	WD2	Eind1	Yes	372

**RLDPLMX - Maximum radial deformations (loadcase bc3)** **Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:1]**

	ELE	WGROUND-	WBEND-M	WELAS-M	WPLAS-	W+WD/D-	WTOTAL-M	RG/KLG-	KLG-	AX_BUCKL-	EXT_PRESS-
		mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	N/m	% critical	% critical
171	171	-82648963	1,810962E+0	2,49170820		,41	2,49170820			71,1	,9
172	172	-71341582	2,030531E+0	2,61314209		,43	2,61314209			70,7	,9
173	173	-53348167	2,096384E+0	2,54571192		,42	2,54571192			6,8	,9
180	180	26418686	1,709920E+0	1,97336222		,32	1,97336222			37,8	1,0
230	230	-2,80143763	7,631296E-2	-2,83806817		,44	-2,83806817				,2
350	350	-3,82607366	-2,524526E-2	-3,85131893		-,58	-3,85131893			15,8	3,6
411	411	-1,55229881	-2,010758E+0	-,48290671		-,08	-,48290671			3,9	,1
435	435	-5,29246090	-1,348741E-3	-5,29135766		-,85	-5,29135766			,5	,0
444	444	-9,81452033	6,634359E-5	-9,81457644		-1,57	-9,81457644			1,4	,2
469	470	-,12596187	1,937115E-7	-,12596206		-,04	-,12596206			,0	,1

**CEPSM - Maximum check strains (loadcase bc3)** **Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [22-11-2018;occ.:1]**

	ELE	e12max-T-	e12min-T-	eX-S-M	eF-S-M	eEq-E-M	eEq-P-	eEq-S-M	eXS-M	eFS-M	eEqS-M	CHKE
		%	%	%	%	%	%	%	% check strai	% check strai	% check strai	%
1	1	,5509	-,5735	-,6047	-,1803	,6087		,6087	8,6	2,6	8,7	7,00
153	153	,2693	-,2903	-,1114	-,3120	,2828		,2828	2,2	6,2	5,7	5,00
171	171	2,7224	-2,6544	2,7427	-,2382	2,7356		2,7356	54,9	4,8	54,7	5,00
258	258	2,3917	-2,3247	2,6809	-2,3447	2,7786		2,7786	53,6	46,9	55,6	5,00
392	392	,9494	-1,0097	-1,2250	-,8900	1,3045		1,3045	24,5	17,8	26,1	5,00
469	470	,0206	-,0206	-,0076	-,0229	,0202		,0202	,1	,3	,3	7,00
471	473	,0359	-,0353	-,0125	,0392	,0350		,0350	,2	,6	,5	7,00

**WARNING - Warnings**

**Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [occ.:0]**

	SESSION	FUNCTION	IDENT	MESSAGE
1	2	FUNCT200	W200/6	Vertical element or node axis
2	4	FUNCT320	W320/3	Extreme kih/(kit, kls) ratio
3	6	FUNCT500	W500/T*	No mat-nln calculation at tees
4	6	FUNCT610	W610/18	Addcros stop at iter.101 diseq .12718e-2
5	6	FUNCT610	W610/18	Addcros stop at iter.101 diseq .55057e-3
6	6	FUNCT610	W610/9	Moment addcros gt 25% of infor
7	6	FUNCT610	W610/8	Closed end assumed to be rigid at redist
8	6	FUNCT620	W620/F*	Element 171 is tee, no mat-nln
9	6	FUNCT620	W620/F*	Element 172 is tee, no mat-nln
10	6	FUNCT620	W620/F*	Element 418 is tee, no mat-nln
11	6	FUNCT620	W620/F*	Element 419 is tee, no mat-nln
12	6	FUNCT620	W620/F*	Element 469 is tee, no mat-nln
13	6	FUNCT620	W620/F*	Element 472 is tee, no mat-nln

**STATUS - Program status summary**

**Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [occ.:0]**

PROPERTY	VALUE
Program	Ple4Win
Version	V4.5.0.18070
License	41936038 [CmDongle 2-1595724]
Modules included	KSAGNLFT0ERCYWT1T8QOVMJUZX0HX1IPD
Project name	
Project location & filename	\\RKCSERVER\Team-DC\PL 482 Vuren\Vuren BC3 v7
Project description	Herberekening van de Afgedamde Maasleiding t.p.v. de dijkkruising
Analysis type	General
Project phase	Initial
Project parent	---
Secondary project	---
Units	Millimeter, Newton, Second
Separators	Thousands: '.'Decimal: ''
Bend angle	Limited
Geometry model	Non-linear
Section model	Ovalising
Material model	Non-linear
Soil ring-stiffening	Ignored
Soil model	Standard
Ovalisation redistribution	Allowed
Loading redistribution	Applied

<i>STATUS - Program status summary</i>		<i>Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [occ.:0]</i>
PROPERTY	VALUE	
Warning table	13 items (warnings and messages)	
2 Pipeline Configuration (occurence 1)	Pipeline origin [ORIGIN] (status 'Locked Data', occurrence 1, last m Pipeline polygon points [POLYDIF] (status 'Locked Data', occurrence Pipeline connections [CONNECT] (status 'Locked Data', occurrence Pipeline Tee configurations [TEECONF] (status 'Locked Data', occu Ground level [G-LEVEL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last m (Ground) water level [W-LEVEL] (status 'Locked Data', occurrence 1 Additional idents [ADIDENT] (status 'Locked Data', occurrence 1, las Polygon point data [SHAPEP] (status 'Locked Data', occurrence 1, l Bend location data [SHAPEB] (status 'Locked Data', occurrence 1, l Polygon subdivision data [LENGTH] (status 'Locked Data', occuren Nodes [NODES] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 2 Elements of pipeline [ELEMNTS] (status 'Locked Data', occurrence Connections data [CONDATA] (status 'Locked Data', occurrence 1, l Tee configuration data [T-CDATA] (status 'Locked Data', occurrence Mitre bends configuration data [M-CDATA] (status 'Locked Data', o Vertical profile data [PROFILE] (status 'Locked Data', occurrence 1, Identification names [IDENTS] (status 'Locked Data', occurrence 1, l Element/node groups [AVGRPS] (status 'Locked Data', occurrence	
3,1 Pipe Data (occurence 1)	Material location [MATL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last m Isotropic materials [ISTROP] (status 'Locked Data', occurrence 1, la Outer diameter [DIAM] (status 'Locked Data', occurrence 1, last mod Wall thicknesses [WALL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last m Tee specifications [TEESPEC] (status 'Locked Data', occurrence 1, l Deadweight [DEADW] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modi Pipe material data [PIPEMAT] (status 'Locked Data', occurrence 1, l Pipe dimension data [PIPEDIM] (status 'Locked Data', occurrence 1, Tee data [T-SDATA] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modifi	
3,2 Soil Data (occurence 1)	Horizontal soil stiffness [KLH] (status 'Locked Data', occurrence 3, la Downward vertical soil stiffness [KLS] (status 'Locked Data', occure Upward vertical soil stiffness [KLT] (status 'Locked Data', occurenc Pipe-soil friction [F] (status 'Locked Data', occurrence 2, last modifie Displacement at max. soil friction [UF] (status 'Locked Data', occure Sub-soil bearing capacity [RVS] (status 'Locked Data', occurrence 2, Ultimate top-soil reaction [RVT] (status 'Locked Data', occurrence 2, Ultimate hor. soil reaction [RH] (status 'Locked Data', occurrence 2, l Uncertainty factors [UNCER] (status 'Locked Data', occurrence 1, la Lateral soil mechanical data [LATSOIL] (status 'Locked Data', occur Pipe-soil friction data [AXSOIL] (status 'Locked Data', occurrence 1,	
3,3 Model Boundary (occurence 1)	Start/end nodes boundary conditions [ENDPTS] (status 'Locked Dat Conditions along pipe axis [CONDI] (status 'Locked Data', occurenc	
4,2 Pipeline Loading (occurence 1)	Internal overpressure [PRESS] (status 'Locked Data', occurrence 2, Temperature differences [TEMP] (status 'Locked Data', occurrence Soil displacement in Z-direction [SETZ] (status 'Locked Data', occur Vertical soil subsidence [SUBSIDE] (status 'Locked Data', occurenc Specified pipeline loads [LOADATA] (status 'Locked Data', occuren	
5 Pipeline Behaviour (occurence 1)	Loading combinations [LOCASE] (status 'Locked Data', occurrence Non-linear elastic soil iteration control [SOILCTL] (status 'Locked D Geometrically non-linear iteration control [GEOMCTL] (status 'Lock Displacements [DISPLAC] (status 'Locked Data', occurrence 1, last Overall internal forces [INTFOR] (status 'Locked Data', occurrence 1 Overall soil reaction forces [SOILREA] (status 'Locked Data', occur Overall external support reaction forces [SUPREA] (status 'Locked Bend stiffness reduction & stress intensification [BENDFAC] (status Bend elements data [BENDELM] (status 'Locked Data', occurrence Tee data with stress intensification factors [TEEFAC] (status 'Locke Global node coordinates of displaced pipeline [DISCOOR] (status ' Primary cross-sectional deformations [DEFORM] (status 'Locked D Iteration data [ITMON] (status 'Locked Data', occurrence 1, last mod Iteration check list [ITCHECS] (status 'Locked Data', occurrence 1, l Specified loads active on elements [E-LOAD] (status 'Locked Data', Applied settlement loads [S-LOAD] (status 'Locked Data', occurenc	
6,1 Cross-Section Data (occurence 1)	Neutral or real top-soil load [SOILNB] (status 'Locked Data', occure Extra loads on top-soil [TOPLOAD] (status 'Locked Data', occurenc Horizontal soil support / Vertical soil load [LAMBDA] (status 'Locked Soil support angle functions [SUPANG] (status 'Locked Data', occur	



**STATUS - Program status summary**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7' [occ.:0]

PROPERTY	VALUE
	Cross-sectional data [CROSDAT] (status 'Locked Data', occurrence
	Additional cross-sectional loads [ADDCROS] (status 'Locked Data',
	Additional support forces [ADDSUP] (status 'Locked Data', occuren
	Resulting pipeline spans [SPANS] (status 'Locked Data', occurrence
	Elements with primary membrane stresses [PRIMSEL] (status 'Lock
	Deformation redistribution (soil loads ) [W-REDIS] (status 'Locked
	Deformation redistribution (soil loads w. toploads) [T-REDIS] (statu
	Deformation redistribution (bend ovalisation) [B-REDIS] (status 'Loc
6,2 Cross-Section Behaviour (General, Material Non-Linear) (occurrence 1)	Cross-sections to be calculated [SECTION] (status 'Locked Data', o
	General cross-sectional data [CSGEN] (status 'Locked Data', occur
	Cross-sectional loading data [CSLOAD] (status 'Locked Data', occu
	Maximum radial deformations [RLDPLMX] (status 'Locked Data', oc
	Maximum check strains [CEPSM] (status 'Locked Data', occurrence
	Maximum strains at inner wall face [INEPSM] (status 'Locked Data',
	Maximum mid plane of wall strains [MIDEPSM] (status 'Locked Dat
	Maximum strains at outer wall face [OUTEPSM] (status 'Locked Dat
	Maximum check stresses [CSIGM] (status 'Locked Data', occurrence
	Maximum stresses at inner wall face [INSIGM] (status 'Locked Data
	Maximum mid plane of wall stresses [MDSIGM] (status 'Locked Da
	Maximum stresses at outer wall face [OUTSIGM] (status 'Locked D
	Detailed radial deformations [RLDSPLC] (status 'Locked Data', occ
	Detailed check strains [CEPS] (status 'Locked Data', occurrence 1,1
	Detailed strains at inner wall face [INEPS] (status 'Locked Data', oc
	Detailed mid plane of wall strains [MIDEPS] (status 'Locked Data', o
	Detailed strains at outer wall face [OUTEPS] (status 'Locked Data',
	Detailed check stresses [CSIG] (status 'Locked Data', occurrence 1,
	Detailed stresses at inner wall face [INSIG] (status 'Locked Data', o
	Detailed mid plane of wall stresses [MDSIG] (status 'Locked Data',
	Detailed stresses at outer wall face [OUTSIG] (status 'Locked Data'

## BIJLAGE D8: Vuren BC3 v7+41, factoren behorende bij een beta van 4,1

### ISTROP - Isotropic materials

	MATREF	E <sub>mod</sub>	G <sub>mod</sub>	Nu	ALPHA	Re	ReT
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>		1/°C	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1	Gr.X60	207000		0,3	1,16E-06	365	
2	Gr.B	207000		0,3	1,16E-06	241	

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+41' [26-11-2018;occ.:1]

### KLH - Horizontal soil stiffness

	Identifler	KLH1	KLH2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
1	start	0,005722526		1		5
2	knik60s	0,005681162		1		5
3	knik60	0,005509343		1		5
4	knik60e	0,005162234		1		5
5	wd1	0,005117978		1		5
6	t1s	0,004790249		1		5
7	mangat1	0,004780414		1		5
8	t1e	0,004788948		1		5
9	k10s	0,004809196		1		5
10	k10	0,00472936		1		5
11	k10e	0,00471779		1		5
12	k20s	0,004048593		1		5
13	k20	0,003889212		1		5
14	zb15	0,003989729		1		5
15	k20e	0,004005638		1		5
16	w-lvl 1	0,004287809		1		5
17	k30s	0,004248325		1		5
18	k30	0,004144192		1		5
19	k30e	0,004261342		1		5
20	zb12	0,005066635		1		5
21	ontgrl	0,00545207		1		5
22	k40s	0,005478971		1		5
23	k40	0,005406802		1		5
24	k40e	0,00562736		1		5
25	k50s	0,007195859		1		5
26	k50	0,00721495		1		5
27	k50e	0,007758754		1		5
28	mv20	0,008325699		1		5
29	k60s	0,00721119		1		5
30	k60	0,006978772		1		5
31	k60e	0,007175901		1		5
32	zb6	0,007888631		1		5
33	k70s	0,007992041		1		5
34	k70	0,00792985		1		5
35	k70e	0,008036152		1		5
36	k80s	0,007659539		1		5
37	k80	0,007493505		1		5
38	k80e	0,007611378		1		5
39	wegl	0,005897382		1		5
40	mv40	0,005892465		1		5
41	k100	0,006852655		1		5
42	wegr	0,009073285		1		5
43	k110s	0,009328266		1		5
44	k110	0,009352274		1		5
45	k110e	0,009042335		1		5
46	w-lvl 2	0,006895899		1		5
47	mv60	0,00377322		1		5
48	k120s	0,003904398		1		5
49	k120	0,003971072		1		5
50	k120e	0,003974688		1		5
51	t2s	0,003985535		1		5
52	mangat2	0,00398915		1		5
53	t2e	0,003999998		1		5
54	wd2	0,004389917		1		5
55	eind	0,004828142		1		5
56	eindx	0,004828142		1		5
57	mg2	0,009561263		1		5
58	t2b	0,005088474		1		5
59	eind2	0,002737099		1		5
60	mg1	0,011728235		1		5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+41' [26-11-2018;occ.:2]

**KLH - Horizontal soil stiffness**

	Identifier	KLH1	KLH2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
61	t1b	0,008377476		1		5
62	eind1	0,006212673		1		5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+41' [26-11-2018;occ.:2]

**KLS - Downward vertical soil stiffness**

	Identifier	KL S1	KL S2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
1	start	0,005181241		1		5
2	knik60s	0,007483765		1		5
3	knik60	0,009020926		1		5
4	knik60e	0,007982747		1		5
5	wd1	0,00844634		1		5
6	t1s	0,011697284		1		5
7	mangat1	0,011787043		1		5
8	t1e	0,011803129		1		5
9	k10s	0,011841091		1		5
10	k10	0,011492672		1		5
11	k10e	0,012268652		1		5
12	k20s	0,013934821		1		5
13	k20	0,013480236		1		5
14	zb15	0,014272301		1		5
15	k20e	0,014435733		1		5
16	w-lvl 1	0,014684742		1		5
17	k30s	0,014433481		1		5
18	k30	0,013970853		1		5
19	k30e	0,014260398		1		5
20	zb12	0,006092342		1		5
21	ontgr1	0,003955824		1		5
22	k40s	0,0039851		1		5
23	k40	0,003945207		1		5
24	k40e	0,004145315		1		5
25	k50s	0,00592891		1		5
26	k50	0,006009018		1		5
27	k50e	0,006603549		1		5
28	mv20	0,0072991		1		5
29	k60s	0,005946926		1		5
30	k60	0,005728159		1		5
31	k60e	0,005905425		1		5
32	zb6	0,006761512		1		5
33	k70s	0,006887625		1		5
34	k70	0,006877652		1		5
35	k70e	0,006941995		1		5
36	k80s	0,006483549		1		5
37	k80	0,006344246		1		5
38	k80e	0,006425318		1		5
39	wegl	0,021006468		1		5
40	mv40	0,020990382		1		5
41	k100	0,024120038		1		5
42	wegr	0,03121517		1		5
43	k110s	0,032004662		1		5
44	k110	0,032045198		1		5
45	k110e	0,031118655		1		5
46	w-lvl 2	0,024295374		1		5
47	mv60	0,014533535		1		5
48	k120s	0,015277665		1		5
49	k120	0,015658577		1		5
50	k120e	0,015679489		1		5
51	t2s	0,015741258		1		5
52	mangat2	0,01576217		1		5
53	t2e	0,015824261		1		5
54	wd2	0,018085605		1		5
55	eind	0,019621157		1		5
56	eindx	0,019621157		1		5
57	mg2	0,021268345		1		5
58	t2b	0,011318946		1		5
59	eind2	0,006088481		1		5
60	mg1	0,02608862		1		5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+41' [26-11-2018;occ.:2]

**KLS - Downward vertical soil stiffness**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+41' [26-11-2018;occ.:2]

	Identifier	KLS1	KLS2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
61	t1b	0,018635097		1		5
62	eind1	0,013819647		1		5

**KLT - Upward vertical soil stiffness**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+41' [26-11-2018;occ.:2]

	Identifier	KLT1	KLT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
1	start	0,000865041		1		5
2	knik60s	0,00090644		1		5
3	knik60	0,000870617		1		5
4	knik60e	0,000767759		1		5
5	wd1	0,000750759		1		5
6	t1s	0,000630397		1		5
7	mangat1	0,000626942		1		5
8	t1e	0,000629676		1		5
9	k10s	0,000636177		1		5
10	k10	0,000617028		1		5
11	k10e	0,000604393		1		5
12	k20s	0,000350382		1		5
13	k20	0,000301408		1		5
14	zb15	0,000292649		1		5
15	k20e	0,000282313		1		5
16	w-lvl 1	0,000133823		1		5
17	k30s	0,000115653		1		5
18	k30	9,77665E-05		1		5
19	k30e	0,000101111		1		5
20	zb12	0,000129979		1		5
21	ontgrl	0,000160482		1		5
22	k40s	0,000162713		1		5
23	k40	0,000157259		1		5
24	k40e	0,000175279		1		5
25	k50s	0,000332267		1		5
26	k50	0,000335517		1		5
27	k50e	0,000398989		1		5
28	mv20	0,000471519		1		5
29	k60s	0,000333994		1		5
30	k60	0,000308956		1		5
31	k60e	0,000329995		1		5
32	zb6	0,000415119		1		5
33	k70s	0,000428189		1		5
34	k70	0,000421661		1		5
35	k70e	0,000433806		1		5
36	k80s	0,000386844		1		5
37	k80	0,000368062		1		5
38	k80e	0,00038101		1		5
39	wegl	0,000673659		1		5
40	mv40	0,000672299		1		5
41	k100	0,000967818		1		5
42	wegr	0,001790467		1		5
43	k110s	0,001899133		1		5
44	k110	0,001917629		1		5
45	k110e	0,001777411		1		5
46	w-lvl 2	0,000976481		1		5
47	mv60	0,000241812		1		5
48	k120s	0,00028672		1		5
49	k120	0,000310751		1		5
50	k120e	0,000312084		1		5
51	t2s	0,000316069		1		5
52	mangat2	0,000317402		1		5
53	t2e	0,000321414		1		5
54	wd2	0,000480332		1		5
55	eind	0,000634559		1		5
56	eindx	0,000634559		1		5
57	mg2	0,008990962		1		5
58	t2b	0,004784961		1		5
59	eind2	0,002573839		1		5
60	mg1	0,011028681		1		5

**KLT - Upward vertical soil stiffness**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+41' [26-11-2018;occ.:2]

Identifiser	KLT1	KLT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
61 t1b	0,007877785		1		5
62 eind1	0,005842105		1		5

**F - Pipe-soil friction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+41' [26-11-2018;occ.:2]

Identifiser	F1	F2	UNCF-L	UNCF-H	CFA1	CFA2	VARAR
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
1 start	0,011796356		1				5
2 knik60s	0,012511111		1				5
3 knik60	0,012645905		1				5
4 knik60e	0,012642		1				5
5 wd1	0,012638818		1				5
6 t1s	0,012271461		1				5
7 mangat1	0,012258589		1				5
8 t1e	0,012271461		1				5
9 k10s	0,012301688		1				5
10 k10	0,012309932		1				5
11 k10e	0,012173837		1				5
12 k20s	0,01122189		1				5
13 k20	0,011092737		1				5
14 zb15	0,011144225		1				5
15 k20e	0,011169968		1				5
16 w-lvl 1	0,01153154		1				5
17 k30s	0,011276126		1				5
18 k30	0,011064679		1				5
19 k30e	0,01093379		1				5
20 zb12	0,0092856		1				5
21 ontgrl	0,009854425		1				5
22 k40s	0,009893909		1				5
23 k40	0,009923847		1				5
24 k40e	0,01010955		1				5
25 k50s	0,012298073		1				5
26 k50	0,012493755		1				5
27 k50e	0,013047684		1				5
28 mv20	0,013786158		1				5
29 k60s	0,01231861		1				5
30 k60	0,012169787		1				5
31 k60e	0,012271316		1				5
32 zb6	0,013218201		1				5
33 k70s	0,013353429		1				5
34 k70	0,013454814		1				5
35 k70e	0,013410991		1				5
36 k80s	0,012916939		1				5
37 k80	0,012871526		1				5
38 k80e	0,012853158		1				5
39 wegl	0,0147261		1				5
40 mv40	0,014717423		1				5
41 k100	0,01649491		1				5
42 wegr	0,019789553		1				5
43 k110s	0,020178605		1				5
44 k110	0,020472201		1				5
45 k110e	0,019741826		1				5
46 w-lvl 2	0,016366191		1				5
47 mv60	0,010888955		1				5
48 k120s	0,011076394		1				5
49 k120	0,01117127		1				5
50 k120e	0,011176477		1				5
51 t2s	0,011191807		1				5
52 mangat2	0,011197014		1				5
53 t2e	0,011212345		1				5
54 wd2	0,011764103		1				5
55 eind	0,012377619		1				5
56 eindx	0,012377619		1				5
57 mg2	0,011197014		1				5
58 t2b	0,008005347		1				5
59 eind2	0,006031164		1				5
60 mg1	0,012376028		1				5

**F - Pipe-soil friction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+41' [26-11-2018;occ.:2]

	Identifier	F1	F2	UNCF-L	UNCF-H	CFA1	CFA2	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
61	t1b	0,010451163			1			5
62	eind1	0,008901032			1			5

**UF - Displacement at max. soil friction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+41' [26-11-2018;occ.:2]

	Identifier	UF1	UF2	UNCF-L	UNCF-H
		mm	mm		
1	start	7,99406631			1
2	knik60s	7,522683098			1
3	knik60	7,282095417			1
4	knik60e	6,919241865			1
5	wd1	6,861168977			1
6	t1s	6,800104043			1
7	mangat1	6,800104043			1
8	t1e	6,800104043			1
9	k10s	6,800104043			1
10	k10	6,800104043			1
11	k10e	6,800104043			1
12	k20s	6,800104043			1
13	k20	6,800104043			1
14	zb15	6,800104043			1
15	k20e	6,800104043			1
16	w-lvl 1	6,800104043			1
17	k30s	6,912849768			1
18	k30	7,012267289			1
19	k30e	7,120796949			1
20	zb12	8,840135255			1
21	ontgrl	8,840135255			1
22	k40s	8,840135255			1
23	k40	8,840135255			1
24	k40e	8,840135255			1
25	k50s	8,840135255			1
26	k50	8,840135255			1
27	k50e	8,840135255			1
28	mv20	8,840135255			1
29	k60s	8,840135255			1
30	k60	8,840135255			1
31	k60e	8,840135255			1
32	zb6	8,840135255			1
33	k70s	8,840135255			1
34	k70	8,840135255			1
35	k70e	8,840135255			1
36	k80s	8,840135255			1
37	k80	8,840135255			1
38	k80e	8,840135255			1
39	wegl	6,800104043			1
40	mv40	6,800104043			1
41	k100	6,800104043			1
42	wegr	6,800104043			1
43	k110s	6,800104043			1
44	k110	6,800104043			1
45	k110e	6,800104043			1
46	w-lvl 2	6,800104043			1
47	mv60	6,800104043			1
48	k120s	6,800104043			1
49	k120	6,800104043			1
50	k120e	6,800104043			1
51	t2s	6,800104043			1
52	mangat2	6,800104043			1
53	t2e	6,800104043			1
54	wd2	6,800104043			1
55	eind	6,800104043			1
56	eindx	6,800104043			1
57	mg2	6,800104043			1
58	t2b	6,800104043			1
59	eind2	6,800104043			1
60	mg1	6,800104043			1

**UF - Displacement at max. soil friction**

	Identifier	UF1	UF2	UNCF-L	UNCF-H
		mm	mm		
61	t1b	6,800104043		1	
62	eind1	6,800104043		1	

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+41' [26-11-2018;occ.:2]

**RVS - Sub-soil bearing capacity**

	Identifier	RVS1	RVS2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
1	start	1,355982887		1		5
2	knik60s	1,355218884		1		5
3	knik60	1,299569859		1		5
4	knik60e	1,187261353		1		5
5	wd1	1,169467466		1		5
6	t1s	1,044885614		1		5
7	mangat1	1,04136134		1		5
8	t1e	1,043012573		1		5
9	k10s	1,046881881		1		5
10	k10	1,049050665		1		5
11	k10e	1,020314277		1		5
12	k20s	0,79796463		1		5
13	k20	0,762820471		1		5
14	zb15	0,753824947		1		5
15	k20e	0,748748021		1		5
16	w-lvl 1	0,685656123		1		5
17	k30s	0,673900328		1		5
18	k30	0,661676273		1		5
19	k30e	0,665841324		1		5
20	zb12	0,871678639		1		5
21	ontgrl	0,99564436		1		5
22	k40s	1,001041674		1		5
23	k40	1,001017029		1		5
24	k40e	1,030739228		1		5
25	k50s	1,339076231		1		5
26	k50	1,362513885		1		5
27	k50e	1,447318267		1		5
28	mv20	1,555116688		1		5
29	k60s	1,342033663		1		5
30	k60	1,316032901		1		5
31	k60e	1,335231568		1		5
32	zb6	1,472111411		1		5
33	k70s	1,491827629		1		5
34	k70	1,501759674		1		5
35	k70e	1,500207021		1		5
36	k80s	1,428341407		1		5
37	k80	1,417004582		1		5
38	k80e	1,419124075		1		5
39	wegl	0,980807906		1		5
40	mv40	0,980068547		1		5
41	k100	1,142357666		1		5
42	wegr	1,457472119		1		5
43	k110s	1,494341447		1		5
44	k110	1,517705165		1		5
45	k110e	1,452962034		1		5
46	w-lvl 2	1,134372598		1		5
47	mv60	0,67858293		1		5
48	k120s	0,713332764		1		5
49	k120	0,731126651		1		5
50	k120e	0,732087817		1		5
51	t2s	0,734995959		1		5
52	mangat2	0,735957124		1		5
53	t2e	0,738840621		1		5
54	wd2	0,844445613		1		5
55	eind	0,916138711		1		5
56	eindx	0,916138711		1		5
57	mg2	0,300968067		1		5
58	t2b	0,160174554		1		5
59	eind2	0,086159872		1		5
60	mg1	0,369186181		1		5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+41' [26-11-2018;occ.:2]

**RVS - Sub-soil bearing capacity**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+41' [26-11-2018;occ.:2]

	Identifiser	RVS1	RVS2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
61	t1b	0,263704415		1		5
62	eind1	0,195565166		1		5

**RVT - Ultimate top-soil reaction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+41' [26-11-2018;occ.:2]

	Identifiser	RVT1	RVT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
1	start	0,051658289		1		5
2	knik60s	0,05388759		1		5
3	knik60	0,052721418		1		5
4	knik60e	0,048907236		1		5
5	wd1	0,048262816		1		5
6	t1s	0,043604673		1		5
7	mangat1	0,043467284		1		5
8	t1e	0,043588317		1		5
9	k10s	0,043874544		1		5
10	k10	0,043578503		1		5
11	k10e	0,042587339		1		5
12	k20s	0,030266484		1		5
13	k20	0,027744413		1		5
14	zb15	0,027714973		1		5
15	k20e	0,027490898		1		5
16	w-lvl 1	0,022935796		1		5
17	k30s	0,022068937		1		5
18	k30	0,021043425		1		5
19	k30e	0,021512838		1		5
20	zb12	0,024880506		1		5
21	ontgrl	0,028128776		1		5
22	k40s	0,028357757		1		5
23	k40	0,028118962		1		5
24	k40e	0,029617157		1		5
25	k50s	0,043195777		1		5
26	k50	0,04394651		1		5
27	k50e	0,048181037		1		5
28	mv20	0,05325789		1		5
29	k60s	0,043329894		1		5
30	k60	0,041843149		1		5
31	k60e	0,043020769		1		5
32	zb6	0,049337395		1		5
33	k70s	0,050263136		1		5
34	k70	0,05037272		1		5
35	k70e	0,050657311		1		5
36	k80s	0,047297822		1		5
37	k80	0,04643914		1		5
38	k80e	0,046870934		1		5
39	wegl	0,04726511		1		5
40	mv40	0,047196415		1		5
41	k100	0,062111307		1		5
42	wegr	0,095549189		1		5
43	k110s	0,099744462		1		5
44	k110	0,101893619		1		5
45	k110e	0,095042158		1		5
46	w-lvl 2	0,061625538		1		5
47	mv60	0,022997948		1		5
48	k120s	0,025894568		1		5
49	k120	0,027392763		1		5
50	k120e	0,027472906		1		5
51	t2s	0,027718244		1		5
52	mangat2	0,027800023		1		5
53	t2e	0,028045361		1		5
54	wd2	0,037191547		1		5
55	eind	0,044190212		1		5
56	eindx	0,044190212		1		5
57	mg2	0,199737533		1		5
58	t2b	0,106299883		1		5
59	eind2	0		1		5
60	mg1	0,245010501		1		5



**RVT - Ultimate top-soil reaction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+41' [26-11-2018;occ.:2]

	Identifier	RVT1	RVT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
61	t1b	0,175007501		1		5
62	eind1	0,129786871		1		5

**RH - Ultimate hor. soil reaction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+41' [26-11-2018;occ.:2]

	Identifier	RH1	RH2	UNCF-L	UNCF-H	CFH1	CFH2	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
1	start	0,211389396		1				5
2	knik60s	0,209856331		1				5
3	knik60	0,203507129		1				5
4	knik60e	0,190693021		1				5
5	wd1	0,189058716		1				5
6	t1s	0,176953288		1				5
7	mangat1	0,176591716		1				5
8	t1e	0,176895437		1				5
9	k10s	0,177647506		1				5
10	k10	0,177199157		1				5
11	k10e	0,174277656		1				5
12	k20s	0,149546138		1				5
13	k20	0,145727939		1				5
14	zb15	0,147376707		1				5
15	k20e	0,147969685		1				5
16	w-lvl 1	0,158382955		1				5
17	k30s	0,156936668		1				5
18	k30	0,1552879		1				5
19	k30e	0,157413943		1				5
20	zb12	0,187164079		1				5
21	ontgrl	0,201395549		1				5
22	k40s	0,202393487		1				5
23	k40	0,202595968		1				5
24	k40e	0,207874917		1				5
25	k50s	0,265813199		1				5
26	k50	0,270340079		1				5
27	k50e	0,286596352		1				5
28	mv20	0,307538596		1				5
29	k60s	0,266377251		1				5
30	k60	0,261488799		1				5
31	k60e	0,265075592		1				5
32	zb6	0,291398026		1				5
33	k70s	0,295216226		1				5
34	k70	0,297125325		1				5
35	k70e	0,296850531		1				5
36	k80s	0,282937244		1				5
37	k80	0,280782275		1				5
38	k80e	0,28115831		1				5
39	wegl	0,217839839		1				5
40	mv40	0,217666284		1				5
41	k100	0,256759438		1				5
42	wegr	0,335162689		1				5
43	k110s	0,344578022		1				5
44	k110	0,350421023		1				5
45	k110e	0,334020122		1				5
46	w-lvl 2	0,254734636		1				5
47	mv60	0,139380183		1				5
48	k120s	0,144226692		1				5
49	k120	0,146682489		1				5
50	k120e	0,146827118		1				5
51	t2s	0,147217615		1				5
52	mangat2	0,147362244		1				5
53	t2e	0,147752742		1				5
54	wd2	0,162157766		1				5
55	eind	0,178341724		1				5
56	eindx	0,178341724		1				5
57	mg2	0,176620642		1				5
58	t2b	0,093997124		1				5
59	eind2	0,050562215		1				5
60	mg1	0,216653883		1				5

**RH - Ultimate hor. soil reaction**

Ple4Win [#1936038]: 'Vuren BC3 v7+41' [26-11-2018;occ.:2]

	Identifier	RH1	RH2	UNCF-L	UNCF-H	CFH1	CFH2	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
61	t1b	0,154752774		1				5
62	eind1	0,114765814		1				5

**PRESS - Internal overpressure**

Ple4Win [#1936038]: 'Vuren BC3 v7+41' [26-11-2018;occ.:1]

	Identifier	PRESS1	PRESS2
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1	Start	0,73776	

**SETZ - Soil displacement in Z-direction**

Ple4Win [#1936038]: 'Vuren BC3 v7+41' [26-11-2018;occ.:1]

	AX-L	SETZ1	UNCF1	SETZ2	UNCF2
	mm	mm		mm	
1	24600	-34,1	1,10664		
2	26600	-35,3	1,10664		
3	42600	-98,6	1,10664		
4	58600	-155,3	1,10664		
5	74600	-215,9	1,10664		
6	81190	-258,7	1,10664		
7	84700	-265,7	1,10664		
8	96240	-347	1,10664		
9	102900	-389	1,10664		
10	113480	-210	1,10664		
11	121720	-228	1,10664		
12	127570	-276	1,10664		
13	143150	-85	1,10664		
14	159600	-81	1,10664		
15	181600	-81	1,10664		
16	203050	-82	1,10664		
17	205386	-82	1,10664	-81,5	1,10664
18	206486	-81,5	1,10664	-375,6	1,10664
19	207586	-375,6	1,10664		

**SUBSIDE - Vertical soil subsidence**

Ple4Win [#1936038]: 'Vuren BC3 v7+41' [26-11-2018;occ.:1]

	Identifier	SUBZMAX	UNCF	LENGTH	SINESHAP
		mm		mm	
1	OntgrL	-16,845	1	18500	Block

**DISPLAC - Displacements (loadcase bc3 g-nln/m-nln iter 15)**

Ple4Win [#1936038]: 'Vuren BC3 v7+41' [26-11-2018;occ.:1]

	NO	U-X	U-Y	U-Z	PHI-X	PHI-Y	PHI-Z	U-AX	PHI-AX	U-LAT	PHI-L
		mm	mm	mm	RAD	RAD	RAD	mm	RAD	mm	°
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	39	-1,247...E-2	-1,595...E-1	-87,66591...	3,3774...E-3	2,9415...E-3	-1,852...E-5	-1,5880527...	-8,588...E-4	87,6659164...	270
57	57	1,3271...E-3	-3,485...E-1	-138,6910...	2,6598...E-3	3,2200...E-3	8,3859...E-6	-22706560...	-1,458...E-3	138,69132...	270
100	100	2,6061...E-1	-8,551...E-1	-195,8527...	1,6043...E-3	3,8099...E-3	2,2225...E-5	-1,619166...	-5,153...E-4	195,84812...	270
122	122	1,0182...E+0	-1,389...E-1	-227,6067...	1,2195...E-3	4,5644...E-3	2,3488...E-4	-2,051754...	7,7379...E-7	227,59983...	270
131	131	1,3829...E+0	2,9115...E-1	-242,7640...	1,1797...E-3	5,3068...E-3	1,5793...E-5	-1,961895...	4,7711...E-4	242,76021...	270
135	135	1,4970...E+0	1,9990...E-1	-250,2206...	1,1449...E-3	5,6102...E-3	-8,693...E-5	-1,861114...	4,0111...E-4	250,21831...	270
143	143	1,7477...E+0	5,3942...E-2	-265,8483...	1,0256...E-3	5,8337...E-3	-1,379...E-5	-1,872416...	1,0252...E-3	265,84752...	270
146	146	1,8525...E+0	2,5984...E-2	-271,7091...	9,7700...E-4	5,8450...E-3	-1,448...E-5	-1,845114...	9,7655...E-4	271,70921...	270
167	167	3,4261...E+0	1,5884...E-2	-345,4593...	4,8501...E-4	3,3857...E-4	2,3874...E-5	-3,178902...	4,8538...E-4	345,46171...	270
181	181	3,5607...E+0	1,5537...E-1	-331,4216...	3,7315...E-4	-5,815...E-3	3,9015...E-5	-27,63411...	3,7514...E-4	330,28681...	270
273	273	-1,815...E+1	-7,935...E-3	-226,6973...	1,2394...E-4	-7,705...E-3	4,3312...E-6	-22,45462...	1,2398...E-4	226,31161...	270
298	298	-1,363...E+1	5,2895...E-3	-171,2246...	9,7044...E-5	-1,057...E-2	-1,355...E-5	13,546149...	9,7944...E-5	171,23184...	270
345	345	-3,271...E+0	5,3243...E-3	-110,9117...	7,3810...E-5	-7,216...E-3	-1,379...E-5	16,116234...	7,5090...E-5	109,78334...	270
472	472	3,4769...E+0	9,3789...E-2	-339,2600...	4,0481...E-4	-3,037...E-3	2,9605...E-5	-339,2690...	2,9594...E-5	2,4425972...	81
473	473	1,1894...E+0	-2,081...E-1	-339,2671...	4,0309...E-4	-3,046...E-3	2,9553...E-5	-339,2690...	2,9551...E-5	3,780670...	17
474	474	1,2311...E-1	-3,491...E-1	-339,2691...	4,0300...E-4	-3,046...E-3	2,9549...E-5	-339,2677...	2,9548...E-5	1,0320309...	291

**RLDPLMX - Maximum radial deformations (loadcase bc3)**

Ple4Win [#1936038]: 'Vuren BC3 v7+41' [26-11-2018;occ.:1]

	ELE	WGROUND-	WBEND-M	WELAS-M	WPLAS-	W+WD/D-	WTOTAL-M	RG/KLG-	KLG-	AX_BUCKL-	EXT_PRESS-
		mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	N/m	% critical	% critical
171	171	-1,07648719	2,613479E+0	3,47715282		,57	3,47715282			84,2	1,5
172	172	-,92390276	2,919948E+0	3,65001261		,60	3,65001261			83,8	1,5

**RLDPLMX - Maximum radial deformations (loadcase bc3)** **Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+41' [26-11-2018;occ.:1]**

	ELE	WGROUND-	WBEND-M	WELAS-M	WPLAS-	W+WD/D-	WTOTAL-M	RG/KLG-	KLG-	AX_BUCKL-	EXT_PRESS-
		mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	N/m	% critical	% critical
173	173	-66046017	3,001355E+0	3,53198958		,58	3,53198958			7,7	1,5
197	197	-08680700	1,688424E-1	-24608146		,04	-24608146			,0	,0
229	229	-4,07285550	2,075268E-1	-4,23205116		,67	-4,23205116			4,6	,2
251	251	-02989201	-2,498800E+0	-2,50615675		-,41	-2,50615675			11,0	,7
274	274	-02458032	-1,715971E+0	-1,72003229		-,28	-1,72003229			58,3	,6
350	350	-5,48646956	-4,648032E-2	-5,53294988		-,82	-5,53294988			23,1	8,0
444	444	-9,96916574	4,953063E-5	-9,96920893		-1,60	-9,96920893			1,3	,2
461	461	-8,42731136	4,597951E-5	-8,42735733		-1,35	-8,42735733			,8	,0

**CEPSM - Maximum check strains (loadcase bc3)** **Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+41' [26-11-2018;occ.:1]**

	ELE	eT2max-T-	eT2min-T-	eX-S-M	eF-S-M	eEq-E-M	eEq-P-	eEq-S-M	eXS-M	eFS-M	eEqS-M	CHKE
		%	%	%	%	%	%	%	% check strai	% check strai	% check strai	%
1	1	,7049	-,7292	-,7654	-,2005	,7663		,7663	10,9	2,9	10,9	7,00
153	153	,2999	-,3200	,1180	-,3456	,3118		,3118	2,4	6,9	6,2	5,00
171	171	3,2115	-3,1195	3,2385	-,3363	3,2291		3,2291	64,8	6,7	64,6	5,00
202	202	,1092	-,0628	,0888	-,0165	,1170		,1170	1,8	,3	2,3	5,00
220	220	,4253	-,2755	,4727	,1914	,4800		,4800	9,5	3,8	9,6	5,00
258	258	2,9948	-2,8976	3,3517	-2,9239	3,4704		3,4704	67,0	58,5	69,4	5,00
357	357	,7970	-,8521	-1,0026	-,5299	1,0262		1,0262	20,1	10,6	20,5	5,00
469	470	,0339	-,0356	-,0126	-,0394	,0348		,0348	,2	,6	,5	7,00

**WARNING - Warnings**

**Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+41' [occ.:0]**

	SESSION	FUNCTION	IDENT	MESSAGE
1		2FUNCT200	W200/6	Vertical element or node axis
2		2FUNCT320	W320/3	Extreme klh/(klt, kls) ratio
3		2FUNCT320	W320/6	Sub > hor > top not satisfied
4		2FUNCT500	W500/T*	No mat-nln calculation at tees
5		2FUNCT610	W610/18	Addcros stop at iter.101 diseq .44552e-1
6		2FUNCT610	W610/18	Addcros stop at iter.101 diseq .46134e-2
7		2FUNCT610	W610/9	Moment addcros gt 25% of intfor
8		2FUNCT610	W610/8	Closed end assumed to be rigid at redist
9		2FUNCT620	W620/F*	Element 171 is tee, no mat-nln
10		2FUNCT620	W620/F*	Element 172 is tee, no mat-nln
11		2FUNCT620	W620/TC	Elem 201 tol changed * .4661945e1
12		2FUNCT620	W620/TC	Elem 202 tol changed * .3877599e2
13		2FUNCT620	W620/TC	Elem 203 tol changed * .1129767e2
14		2FUNCT620	W620/TC	Elem 402 tol changed * .4484921e1
15		2FUNCT620	W620/F*	Element 418 is tee, no mat-nln
16		2FUNCT620	W620/F*	Element 419 is tee, no mat-nln
17		2FUNCT620	W620/F*	Element 469 is tee, no mat-nln
18		2FUNCT620	W620/F*	Element 472 is tee, no mat-nln

## BIJLAGE D9: Vuren BC3 v7+51, factoren behorende bij een beta van 5,1

### ISTROP - Isotropic materials

	MATREF	E <sub>mod</sub>	G <sub>mod</sub>	Nu	ALPHA	Re	ReT
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>		1/°C	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1	Gr.X60	207000		0,3	1,16E-06	343	
2	Gr.B	207000		0,3	1,16E-06	241	

Ple4Win [#1936038]: 'Vuren BC3 v7+51' [26-11-2018;occ.:1]

### KLH - Horizontal soil stiffness

	Identifler	KLH1	KLH2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
1	start	0,006261441			1	5
2	knik60s	0,006216182			1	5
3	knik60	0,006028182			1	5
4	knik60e	0,005648384			1	5
5	wd1	0,00559996			1	5
6	t1s	0,005241367			1	5
7	mangat1	0,005230607			1	5
8	t1e	0,005239943			1	5
9	k10s	0,005262098			1	5
10	k10	0,005174745			1	5
11	k10e	0,005162085			1	5
12	k20s	0,004429866			1	5
13	k20	0,004255476			1	5
14	zb15	0,004365459			1	5
15	k20e	0,004382866			1	5
16	w-lvl 1	0,00469161			1	5
17	k30s	0,004648408			1	5
18	k30	0,004534469			1	5
19	k30e	0,004662651			1	5
20	zb12	0,005543781			1	5
21	ontgrl	0,005965515			1	5
22	k40s	0,00599495			1	5
23	k40	0,005915983			1	5
24	k40e	0,006157313			1	5
25	k50s	0,007873524			1	5
26	k50	0,007894413			1	5
27	k50e	0,00848943			1	5
28	mv20	0,009109766			1	5
29	k60s	0,007890299			1	5
30	k60	0,007635992			1	5
31	k60e	0,007851686			1	5
32	zb6	0,008631537			1	5
33	k70s	0,008744685			1	5
34	k70	0,008676638			1	5
35	k70e	0,008792951			1	5
36	k80s	0,008380871			1	5
37	k80	0,008199201			1	5
38	k80e	0,008328174			1	5
39	wegl	0,006452764			1	5
40	mv40	0,006447384			1	5
41	k100	0,007497999			1	5
42	wegr	0,009927755			1	5
43	k110s	0,010206749			1	5
44	k110	0,010233018			1	5
45	k110e	0,00989389			1	5
46	w-lvl 2	0,007545316			1	5
47	mv60	0,00412856			1	5
48	k120s	0,004272092			1	5
49	k120	0,004345045			1	5
50	k120e	0,004349001			1	5
51	t2s	0,00436087			1	5
52	mangat2	0,004364826			1	5
53	t2e	0,004376695			1	5
54	wd2	0,004803334			1	5
55	eind	0,005282829			1	5
56	eindx	0,005282829			1	5
57	mg2	0,010461688			1	5
58	t2b	0,005567677			1	5
59	eind2	0,002994864			1	5
60	mg1	0,012832734			1	5

Ple4Win [#1936038]: 'Vuren BC3 v7+51' [26-11-2018;occ.:2]

**KLH - Horizontal soil stiffness**

	Identifier	KLH1	KLH2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
61	t1b	0,009166419		1		5
62	eind1	0,006797747		1		5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+51' [26-11-2018;occ.:2]

**KLS - Downward vertical soil stiffness**

	Identifier	KLS1	KLS2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
1	start	0,006889818		1		5
2	knik60s	0,009951627		1		5
3	knik60	0,011995685		1		5
4	knik60e	0,010615154		1		5
5	wd1	0,011231623		1		5
6	t1s	0,015554604		1		5
7	mangat1	0,015673962		1		5
8	t1e	0,015695352		1		5
9	k10s	0,015745833		1		5
10	k10	0,015282519		1		5
11	k10e	0,016314388		1		5
12	k20s	0,018529966		1		5
13	k20	0,017925506		1		5
14	zb15	0,018978764		1		5
15	k20e	0,01919609		1		5
16	w-lvl 1	0,019527212		1		5
17	k30s	0,019193095		1		5
18	k30	0,01857791		1		5
19	k30e	0,018962936		1		5
20	zb12	0,008101365		1		5
21	ontgrl	0,005260304		1		5
22	k40s	0,005299235		1		5
23	k40	0,005246187		1		5
24	k40e	0,005512282		1		5
25	k50s	0,00788404		1		5
26	k50	0,007990563		1		5
27	k50e	0,008781149		1		5
28	mv20	0,009706066		1		5
29	k60s	0,007907997		1		5
30	k60	0,007617089		1		5
31	k60e	0,00785281		1		5
32	zb6	0,008991202		1		5
33	k70s	0,009158902		1		5
34	k70	0,00914564		1		5
35	k70e	0,009231201		1		5
36	k80s	0,008621577		1		5
37	k80	0,008436337		1		5
38	k80e	0,008544145		1		5
39	wegl	0,027933603		1		5
40	mv40	0,027912213		1		5
41	k100	0,032073911		1		5
42	wegr	0,041508748		1		5
43	k110s	0,042558584		1		5
44	k110	0,042612488		1		5
45	k110e	0,041380406		1		5
46	w-lvl 2	0,032307065		1		5
47	mv60	0,019326143		1		5
48	k120s	0,020315659		1		5
49	k120	0,020822181		1		5
50	k120e	0,020849989		1		5
51	t2s	0,020932127		1		5
52	mangat2	0,020959935		1		5
53	t2e	0,021042501		1		5
54	wd2	0,024049551		1		5
55	eind	0,02609147		1		5
56	eindx	0,02609147		1		5
57	mg2	0,028281837		1		5
58	t2b	0,015051504		1		5
59	eind2	0,008096231		1		5
60	mg1	0,034691657		1		5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+51' [26-11-2018;occ.:2]

**KLS - Downward vertical soil stiffness**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+51' [26-11-2018;occ.:2]

	Identifier	KLS1	KLS2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
61	t1b	0,024780244		1		5
62	eind1	0,018376841		1		5

**KLT - Upward vertical soil stiffness**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+51' [26-11-2018;occ.:2]

	Identifier	KLT1	KLT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
1	start	0,000932414		1		5
2	knik60s	0,000977038		1		5
3	knik60	0,000938425		1		5
4	knik60e	0,000827555		1		5
5	wd1	0,000809231		1		5
6	t1s	0,000679495		1		5
7	mangat1	0,000675771		1		5
8	t1e	0,000678718		1		5
9	k10s	0,000685725		1		5
10	k10	0,000665085		1		5
11	k10e	0,000651466		1		5
12	k20s	0,000377671		1		5
13	k20	0,000324883		1		5
14	zb15	0,000315442		1		5
15	k20e	0,000304301		1		5
16	w-lvl 1	0,000144246		1		5
17	k30s	0,000124661		1		5
18	k30	0,000105381		1		5
19	k30e	0,000108986		1		5
20	zb12	0,000140102		1		5
21	ontgrl	0,000172981		1		5
22	k40s	0,000175386		1		5
23	k40	0,000169507		1		5
24	k40e	0,000188931		1		5
25	k50s	0,000358145		1		5
26	k50	0,000361649		1		5
27	k50e	0,000430064		1		5
28	mv20	0,000508243		1		5
29	k60s	0,000360007		1		5
30	k60	0,000333019		1		5
31	k60e	0,000355697		1		5
32	zb6	0,00044745		1		5
33	k70s	0,000461538		1		5
34	k70	0,000454502		1		5
35	k70e	0,000467592		1		5
36	k80s	0,000416973		1		5
37	k80	0,000396729		1		5
38	k80e	0,000410684		1		5
39	wegl	0,000726126		1		5
40	mv40	0,000724661		1		5
41	k100	0,001043196		1		5
42	wegr	0,001929916		1		5
43	k110s	0,002047045		1		5
44	k110	0,002066982		1		5
45	k110e	0,001915843		1		5
46	w-lvl 2	0,001052534		1		5
47	mv60	0,000260645		1		5
48	k120s	0,00030905		1		5
49	k120	0,000334954		1		5
50	k120e	0,00033639		1		5
51	t2s	0,000340686		1		5
52	mangat2	0,000342122		1		5
53	t2e	0,000346447		1		5
54	wd2	0,000517742		1		5
55	eind	0,000683981		1		5
56	eindx	0,000683981		1		5
57	mg2	0,009691215		1		5
58	t2b	0,005157634		1		5
59	eind2	0,002774301		1		5
60	mg1	0,01188764		1		5

**KLT - Upward vertical soil stiffness**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+51' [26-11-2018;occ.:2]

	Identifiser	KLT1	KLT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>3</sup>	N/mm <sup>3</sup>			%
61	t1b	0,008491339		1		5
62	eind1	0,006297113		1		5

**F - Pipe-soil friction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+51' [26-11-2018;occ.:2]

	Identifiser	F1	F2	UNCF-L	UNCF-H	CFA1	CFA2	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
1	start	0,012907269		1				5
2	knik60s	0,013689336		1				5
3	knik60	0,013836824		1				5
4	knik60e	0,013832551		1				5
5	wd1	0,01382907		1				5
6	t1s	0,013427117		1				5
7	mangat1	0,013413033		1				5
8	t1e	0,013427117		1				5
9	k10s	0,013460191		1				5
10	k10	0,013469211		1				5
11	k10e	0,013320299		1				5
12	k20s	0,012278704		1				5
13	k20	0,012137387		1				5
14	zb15	0,012193724		1				5
15	k20e	0,012221892		1				5
16	w-lvl 1	0,012617515		1				5
17	k30s	0,012338047		1				5
18	k30	0,012106687		1				5
19	k30e	0,011963471		1				5
20	zb12	0,010160065		1				5
21	ontgrl	0,010782459		1				5
22	k40s	0,010825661		1				5
23	k40	0,010858418		1				5
24	k40e	0,01106161		1				5
25	k50s	0,013456235		1				5
26	k50	0,013670346		1				5
27	k50e	0,01427644		1				5
28	mv20	0,01508446		1				5
29	k60s	0,013478706		1				5
30	k60	0,013315868		1				5
31	k60e	0,013426959		1				5
32	zb6	0,014463016		1				5
33	k70s	0,014610978		1				5
34	k70	0,014721911		1				5
35	k70e	0,014673962		1				5
36	k80s	0,014133383		1				5
37	k80	0,014083693		1				5
38	k80e	0,014063595		1				5
39	wegl	0,01611292		1				5
40	mv40	0,016103425		1				5
41	k100	0,018048306		1				5
42	wegr	0,02165322		1				5
43	k110s	0,02207891		1				5
44	k110	0,022400156		1				5
45	k110e	0,021600998		1				5
46	w-lvl 2	0,017907465		1				5
47	mv60	0,011914414		1				5
48	k120s	0,012119505		1				5
49	k120	0,012223316		1				5
50	k120e	0,012229013		1				5
51	t2s	0,012245788		1				5
52	mangat2	0,012251485		1				5
53	t2e	0,012268259		1				5
54	wd2	0,012871979		1				5
55	eind	0,013543272		1				5
56	eindx	0,013543272		1				5
57	mg2	0,012251485		1				5
58	t2b	0,008759244		1				5
59	eind2	0,006599144		1				5
60	mg1	0,013541531		1				5

**F - Pipe-soil friction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+51' [26-11-2018;occ.:2]

Identifiser	F1	F2	UNCF-L	UNCF-H	CFA1	CFA2	VARAR
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
61 t1b	0,011435394			1			5
62 eind1	0,009739281			1			5

**UF - Displacement at max. soil friction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+51' [26-11-2018;occ.:2]

Identifiser	UF1	UF2	UNCF-L	UNCF-H
	mm	mm		
1 start	8,616677377		1	
2 knik60s	8,108580884		1	
3 knik60	7,849255235		1	
4 knik60e	7,458141143		1	
5 wd1	7,395545297		1	
6 t1s	7,329724372		1	
7 mangat1	7,329724372		1	
8 t1e	7,329724372		1	
9 k10s	7,329724372		1	
10 k10	7,329724372		1	
11 k10e	7,329724372		1	
12 k20s	7,329724372		1	
13 k20	7,329724372		1	
14 zb15	7,329724372		1	
15 k20e	7,329724372		1	
16 w-lvl 1	7,329724372		1	
17 k30s	7,451251202		1	
18 k30	7,558411772		1	
19 k30e	7,675394173		1	
20 zb12	9,528641683		1	
21 ontgrl	9,528641683		1	
22 k40s	9,528641683		1	
23 k40	9,528641683		1	
24 k40e	9,528641683		1	
25 k50s	9,528641683		1	
26 k50	9,528641683		1	
27 k50e	9,528641683		1	
28 mv20	9,528641683		1	
29 k60s	9,528641683		1	
30 k60	9,528641683		1	
31 k60e	9,528641683		1	
32 zb6	9,528641683		1	
33 k70s	9,528641683		1	
34 k70	9,528641683		1	
35 k70e	9,528641683		1	
36 k80s	9,528641683		1	
37 k80	9,528641683		1	
38 k80e	9,528641683		1	
39 wegl	7,329724372		1	
40 mv40	7,329724372		1	
41 k100	7,329724372		1	
42 wegr	7,329724372		1	
43 k110s	7,329724372		1	
44 k110	7,329724372		1	
45 k110e	7,329724372		1	
46 w-lvl 2	7,329724372		1	
47 mv60	7,329724372		1	
48 k120s	7,329724372		1	
49 k120	7,329724372		1	
50 k120e	7,329724372		1	
51 t2s	7,329724372		1	
52 mangat2	7,329724372		1	
53 t2e	7,329724372		1	
54 wd2	7,329724372		1	
55 eind	7,329724372		1	
56 eindx	7,329724372		1	
57 mg2	7,329724372		1	
58 t2b	7,329724372		1	
59 eind2	7,329724372		1	
60 mg1	7,329724372		1	



**UF - Displacement at max. soil friction**

	Identifier	UF1	UF2	UNCF-L	UNCF-H
		mm	mm		
61	t1b	7,329724372		1	
62	eind1	7,329724372		1	

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+51' [26-11-2018;occ.:2]

**RVS - Sub-soil bearing capacity**

	Identifier	RVS1	RVS2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
1	start	1,689658723		1		5
2	knik60s	1,688706716		1		5
3	knik60	1,619363761		1		5
4	knik60e	1,479418745		1		5
5	wd1	1,457246196		1		5
6	t1s	1,30200765		1		5
7	mangat1	1,297616134		1		5
8	t1e	1,299673697		1		5
9	k10s	1,304495152		1		5
10	k10	1,307197623		1		5
11	k10e	1,271389879		1		5
12	k20s	0,994325157		1		5
13	k20	0,950532839		1		5
14	zb15	0,939323725		1		5
15	k20e	0,932997486		1		5
16	w-lvl 1	0,854380141		1		5
17	k30s	0,839731518		1		5
18	k30	0,824499407		1		5
19	k30e	0,829689381		1		5
20	zb12	1,086178469		1		5
21	ontgrl	1,240649268		1		5
22	k40s	1,247374737		1		5
23	k40	1,247344027		1		5
24	k40e	1,284380167		1		5
25	k50s	1,668591731		1		5
26	k50	1,697796847		1		5
27	k50e	1,803469614		1		5
28	mv20	1,937794719		1		5
29	k60s	1,672276919		1		5
30	k60	1,639877974		1		5
31	k60e	1,663800987		1		5
32	zb6	1,834363774		1		5
33	k70s	1,858931694		1		5
34	k70	1,871307784		1		5
35	k70e	1,86937306		1		5
36	k80s	1,779822991		1		5
37	k80	1,765696437		1		5
38	k80e	1,768337488		1		5
39	wegl	1,222161908		1		5
40	mv40	1,221240611		1		5
41	k100	1,423465306		1		5
42	wegr	1,816122093		1		5
43	k110s	1,862064104		1		5
44	k110	1,89117709		1		5
45	k110e	1,810502181		1		5
46	w-lvl 2	1,413515298		1		5
47	mv60	0,845566399		1		5
48	k120s	0,888867359		1		5
49	k120	0,911039907		1		5
50	k120e	0,912237593		1		5
51	t2s	0,915861361		1		5
52	mangat2	0,917059047		1		5
53	t2e	0,920652106		1		5
54	wd2	1,052244029		1		5
55	eind	1,14157913		1		5
56	eindx	1,14157913		1		5
57	mg2	0,375029304		1		5
58	t2b	0,199589785		1		5
59	eind2	0,107361812		1		5
60	mg1	0,460034309		1		5

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+51' [26-11-2018;occ.:2]

**RVS - Sub-soil bearing capacity**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+51' [26-11-2018;occ.:2]

	Identifier	RVS1	RVS2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
61	t1b	0,328595935		1		5
62	eind1	0,243689202		1		5

**RVT - Ultimate top-soil reaction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+51' [26-11-2018;occ.:2]

	Identifier	RVT1	RVT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
1	start	0,058244558		1		5
2	knik60s	0,060758088		1		5
3	knik60	0,059443233		1		5
4	knik60e	0,055142755		1		5
5	wd1	0,054416173		1		5
6	t1s	0,049164131		1		5
7	mangat1	0,049009225		1		5
8	t1e	0,04914569		1		5
9	k10s	0,04946841		1		5
10	k10	0,049134625		1		5
11	k10e	0,048017091		1		5
12	k20s	0,034125366		1		5
13	k20	0,031281739		1		5
14	zb15	0,031248545		1		5
15	k20e	0,030995901		1		5
16	w-lvl 1	0,025860038		1		5
17	k30s	0,024882656		1		5
18	k30	0,023726396		1		5
19	k30e	0,024255657		1		5
20	zb12	0,028052692		1		5
21	ontgrl	0,031715106		1		5
22	k40s	0,031973282		1		5
23	k40	0,031704041		1		5
24	k40e	0,033393252		1		5
25	k50s	0,048703102		1		5
26	k50	0,049549551		1		5
27	k50e	0,054323968		1		5
28	mv20	0,060048103		1		5
29	k60s	0,04885432		1		5
30	k60	0,047178018		1		5
31	k60e	0,048505782		1		5
32	zb6	0,055627757		1		5
33	k70s	0,056671527		1		5
34	k70	0,056795083		1		5
35	k70e	0,057115959		1		5
36	k80s	0,053328145		1		5
37	k80	0,052359984		1		5
38	k80e	0,052846831		1		5
39	wegl	0,053291263		1		5
40	mv40	0,05321381		1		5
41	k100	0,070030303		1		5
42	wegr	0,107731409		1		5
43	k110s	0,112461567		1		5
44	k110	0,114884735		1		5
45	k110e	0,107159733		1		5
46	w-lvl 2	0,069482601		1		5
47	mv60	0,025930114		1		5
48	k120s	0,029196044		1		5
49	k120	0,030885254		1		5
50	k120e	0,030975616		1		5
51	t2s	0,031252233		1		5
52	mangat2	0,031344439		1		5
53	t2e	0,031621056		1		5
54	wd2	0,041933352		1		5
55	eind	0,049824325		1		5
56	eindx	0,049824325		1		5
57	mg2	0,225203439		1		5
58	t2b	0,119852783		1		5
59	eind2	0		1		5
60	mg1	0,276248569		1		5

**RVT - Ultimate top-soil reaction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+51' [26-11-2018;occ.:2]

	Identifier	RVT1	RVT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			%
61	t1b	0,197320406		1		5
62	eind1	0,146334288		1		5

**RH - Ultimate hor. soil reaction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+51' [26-11-2018;occ.:2]

	Identifier	RH1	RH2	UNCF-L	UNCF-H	CFH1	CFH2	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
1	start	0,231296841		1				5
2	knik60s	0,229619401		1				5
3	knik60	0,222672267		1				5
4	knik60e	0,208651399		1				5
5	wd1	0,206863185		1				5
6	t1s	0,193617737		1				5
7	mangat1	0,193222115		1				5
8	t1e	0,193554438		1				5
9	k10s	0,194377333		1				5
10	k10	0,193886761		1				5
11	k10e	0,19069013		1				5
12	k20s	0,163629539		1				5
13	k20	0,159451763		1				5
14	zb15	0,161255803		1				5
15	k20e	0,161904624		1				5
16	w-lvl 1	0,173298557		1				5
17	k30s	0,171716066		1				5
18	k30	0,169912027		1				5
19	k30e	0,172238288		1				5
20	zb12	0,204790122		1				5
21	ontgrl	0,22036183		1				5
22	k40s	0,221453749		1				5
23	k40	0,221675298		1				5
24	k40e	0,227451389		1				5
25	k50s	0,290845966		1				5
26	k50	0,295799162		1				5
27	k50e	0,313586358		1				5
28	mv20	0,336500823		1				5
29	k60s	0,291463138		1				5
30	k60	0,286114319		1				5
31	k60e	0,290038896		1				5
32	zb6	0,318840227		1				5
33	k70s	0,323018002		1				5
34	k70	0,32510689		1				5
35	k70e	0,324806217		1				5
36	k80s	0,309582656		1				5
37	k80	0,307224745		1				5
38	k80e	0,307636193		1				5
39	wegl	0,23835475		1				5
40	mv40	0,238164851		1				5
41	k100	0,280939574		1				5
42	wegr	0,366726395		1				5
43	k110s	0,37702841		1				5
44	k110	0,383421672		1				5
45	k110e	0,365476228		1				5
46	w-lvl 2	0,278724087		1				5
47	mv60	0,152506212		1				5
48	k120s	0,157809138		1				5
49	k120	0,160496207		1				5
50	k120e	0,160654456		1				5
51	t2s	0,161081729		1				5
52	mangat2	0,161239978		1				5
53	t2e	0,16166725		1				5
54	wd2	0,177428858		1				5
55	eind	0,195136929		1				5
56	eindx	0,195136929		1				5
57	mg2	0,193253765		1				5
58	t2b	0,102849236		1				5
59	eind2	0,055323875		1				5
60	mg1	0,237057107		1				5

**RH - Ultimate hor. soil reaction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+51' [26-11-2018;occ.:2]

	Identifier	RH1	RH2	UNCF-L	UNCF-H	CFH1	CFH2	VARAR
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>					%
61	t1b	0,169326505						5
62	eind1	0,125573802		1				5

**PRESS - Internal overpressure**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+51' [26-11-2018;occ.:1]

	Identifier	PRESS1	PRESS2
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1	Start	0,7714	

**SETZ - Soil displacement in Z-direction**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+51' [26-11-2018;occ.:1]

	AX-L	SETZ1	UNCF1	SETZ2	UNCF2
	mm	mm		mm	
1	24600	-34,1	1,15704		
2	26600	-35,3	1,15704		
3	42600	-98,6	1,15704		
4	58600	-155,3	1,15704		
5	74600	-215,9	1,15704		
6	81190	-258,7	1,15704		
7	84700	-265,7	1,15704		
8	96240	-347	1,15704		
9	102900	-389	1,15704		
10	113480	-210	1,15704		
11	121720	-228	1,15704		
12	127570	-276	1,15704		
13	143150	-85	1,15704		
14	159600	-81	1,15704		
15	181600	-81	1,15704		
16	203050	-82	1,15704		
17	205386	-82	1,15704	-81,5	1,15704
18	206486	-81,5	1,15704	-375,6	1,15704
19	207586	-375,6	1,15704		

**SUBSIDE - Vertical soil subsidence**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+51' [26-11-2018;occ.:1]

	Identifier	SUBZMAX	UNCF	LENGTH	SINESHape
		mm		mm	
1	OntgrL	-17,295	1	18500	Block

**DISPLAC - Displacements (loadcase bc3 g-nln/m-nln iter 130)**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+51' [26-11-2018;occ.:2]

	NO	U-X	U-Y	U-Z	PHI-X	PHI-Y	PHI-Z	U-AX	PHI-AX	U-LAT	PHI-L
		mm	mm	mm	RAD	RAD	RAD	mm	RAD	mm	°
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	39	-1,324...E-2	-1,541...E-1	-91,40390...	3,5694...E-3	3,0839...E-3	-1,81...E-05	-1,5447150	-8,862...E-4	91,4039103	270
57	57	9,3056...E-3	-3,397...E-1	-144,9272...	2,7859...E-3	3,3520...E-3	1,361...E-05	-2,2921531	-1,509...E-3	144,92748	270
86	86	1,6830...E-1	-6,388...E-1	-185,0154...	2,0382...E-3	3,7257...E-3	-1,02...E-04	-1,296908...	-6,525...E-4	185,01208	270
102	102	2,7476...E-1	-9,224...E-1	-207,5396...	1,6468...E-3	4,0120...E-3	2,831...E-05	-1,668394...	-5,795...E-4	207,53518	270
122	122	9,8788...E-1	-2,366...E-1	-237,6853...	1,2694...E-3	4,7105...E-3	2,575...E-04	-2,155418...	1,1521...E-5	237,67773	270
131	131	1,3727...E+0	2,4933...E-1	-253,3163...	1,2235...E-3	5,4883...E-3	1,556...E-05	-2,062733...	4,9688...E-4	253,31183	270
143	143	1,7524...E+0	5,6353...E-2	-277,2020...	1,0588...E-3	6,0488...E-3	-3,28...E-06	-1,963300...	1,0586...E-3	277,20067	270
148	148	1,9326...E+0	1,4286...E-2	-287,3470...	9,7579...E-4	6,0841...E-3	-2,39...E-05	-1,910801...	9,7517...E-4	287,34716	270
168	168	3,5528...E+0	2,7840...E-2	-362,4394...	4,7816...E-4	-3,853...E-4	2,562...E-05	-3,643017...	4,7857...E-4	362,43854	270
181	181	3,6513...E+0	1,5511...E-1	-347,5783...	3,8213...E-4	-6,358...E-3	4,000...E-05	-29,25169...	3,8417...E-4	346,36459	270
273	273	-1,890...E+1	-7,057...E-3	-239,2989...	1,2605...E-4	-7,889...E-3	4,201...E-06	-23,49020...	1,2609...E-4	238,89265	270
298	298	-1,413...E+1	5,2283...E-3	-180,9208...	9,8542...E-5	-1,145...E-2	-1,38...E-05	14,418894...	9,9476...E-5	180,89886	270
382	382	5,1381...E-1	4,3861...E-3	-95,30330...	6,3573...E-5	-2,790...E-3	-1,03...E-05	17,207406...	6,4408...E-5	93,7384099	270
472	472	3,5671...E+0	9,2302...E-2	-356,0122...	4,1478...E-4	-3,240...E-3	3,025...E-05	-356,0219...	3,0246...E-5	2,4095776	81
473	473	1,1272...E+0	-2,169...E-1	-356,0201...	4,1284...E-4	-3,249...E-3	3,020...E-05	-356,0217...	3,0201...E-5	,3650545	348

**RLDPLMX - Maximum radial deformations (loadcase bc3)**

Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+51' [26-11-2018;occ.:2]

	ELE	WGROUN-D	WBEND-M	WELAS-M	WPLAS-M	W+WD/D	WTOTAL-M	RG/KLG	KLK	AX_BUCKL	EXT_PRESS
		mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	N/m	% critical	% critical
171	171	-1,19036204	2,991614E+0	3,94245544		,64	3,94245544			92,7	1,7
173	173	-,71924416	3,429037E+0	4,00098203		,66	4,00098203			8,7	1,7
251	251	-,10402598	-2,594256E+0	-2,68830068		-,44	-2,68830068			11,2	,7

**RLDPLMX - Maximum radial deformations (loadcase bc3)** **Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+51' [26-11-2018;occ.:2]**

	ELE	WGROUND-	WBEND-M	WELAS-M	WPLAS-M	W+WD/D	WTOTAL-M	RG/KLG	KLK	AX_BUCKL	EXT_PRESS
		mm	mm	mm	mm	%	mm	mm	N/m	% critical	% critical
281	281	1,17100525	-1,279069E+0	-1,36735326		-22	-1,36735326			11,5	,6
350	350	-6,52770789	4,165892E-1	4,64026045	-2,200242	1,05	6,46758551			40,8	15,9
432	432	-4,84479886	-1,195599E-3	-4,84380205		-78	-4,84380205			,7	,0
444	444	-9,96181686	3,928630E-5	-9,96185254		-1,60	-9,96185254			1,1	,2
469	470	-2,1945609	5,938700E-6	-2,1946203		-06	-2,1946203			,0	,6

**CEPSM - Maximum check strains (loadcase bc3)** **Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+51' [26-11-2018;occ.:2]**

	ELE	e12max-T-	e12min-	eX-S-M	eF-S-M	eEq-E-M	eEq-P-M	eEq-S-M	eXS-M	eFS-M	eEqS-M	CHKE
		%	%	%	%	%	%	%	% check stra	% check stra	% check stra	%
1	1	,7304	-,7558	-,7953	-,2206	,7990		,7990	11,4	3,2	11,4	7,00
171	171	3,5155	-3,4211	3,5458	-,3829	3,5353		3,5353	50,7	5,5	50,5	7,00
201	201	,1229	-,0680	,1125	-,0158	,1300		,1300	1,6	,2	1,9	7,00
258	258	3,0565	-2,9570	3,4161	-2,9873	3,5362		3,5362	48,8	42,7	50,5	7,00
317	317	,3259	-,3646	-,4357	2378	,4610		,4610	6,2	3,4	6,6	7,00
350	350	3,6787	-3,9674	-4,0642	-,4723	1,6570	2,4979	4,1549	58,1	6,7	59,4	7,00
469	470	,0343	-,0371	-,0128	-,0409	,0362		,0362	,2	,6	,5	7,00

**WARNING - Warnings**

**Ple4Win [41936038]: 'Vuren BC3 v7+51' [occ.:0]**

	SESSION	FUNCTION	IDENT	MESSAGE
1		2FUNCT200	W200/6	Vertical element or node axis
2		2FUNCT320	W320/3	Extreme klh/(klt, kls) ratio
3		2FUNCT320	W320/6	Sub > hor > top not satisfied
4		4FUNCT500	W500/T*	No mat-nln calculation at tees
5		4FUNCT500	W500/O*	Ovalisation gt 25% of diameter (65%)
6		4FUNCT500	W500/C*	Elem 350 ax.buckling >=18.89 * crit.
7		4FUNCT500	W500/24	Elem-l/adv-l 1.33, 472 (472 - 472)
8		5FUNCT610	W610/18	Addcros stop at iter.101 diseq .37249e-1
9		5FUNCT610	W610/18	Addcros stop at iter.101 diseq .45735e-2
10		5FUNCT610	W610/9	Moment addcros gt 25% of intfor
11		5FUNCT610	W610/8	Closed end assumed to be rigid at redist
12		5FUNCT620	W620/F*	Element 171 is tee, no mat-nln
13		5FUNCT620	W620/F*	Element 172 is tee, no mat-nln
14		5FUNCT620	W620/TC	Elem 202 tol changed * .2829966e2
15		5FUNCT620	W620/TC	Elem 403 tol changed * .4965042e1
16		5FUNCT620	W620/F*	Element 418 is tee, no mat-nln
17		5FUNCT620	W620/F*	Element 419 is tee, no mat-nln
18		5FUNCT620	W620/F*	Element 469 is tee, no mat-nln
19		5FUNCT620	W620/F*	Element 472 is tee, no mat-nln

## BIJLAGE E

### Factoren en waarden behorende bij een beta van 4.1 en 5.1

De gebruikte factoren en waarden zijn door TNO bepaald en bij de verschillende PLE runs toegepast. De waarden van de grondparameters (onder veermodellen) zijn omgerekend naar bruikbare invoer voor PLE. De excel sheet waarin dat is gedaan, zijn hier niet opgenomen. Om een vergelijking te kunnen maken met de waarden die normaliter zouden worden toegepast bij de NEN 3650, is een kolom opgenomen met de waarden volgens de NEN 3650.

Variabele	Eenheid	NEN waarde of factor	Beta 4.1 waarde	Beta 5.1 waarde	Beta 4.1 factor	Beta 5.1 factor
Vloiegrens staal	Mpa	413/1,1 = 375	365	343		
Inwendige druk	Mpa	1,15	0,73776	0,77136	1,2296	1,2856
Zettingen	mm	2,0	430,483	450,089	1,10664	1,15704
Uitvoeringszakking	mm	15	16,845	17,295		
Gewicht grond	kN/mm <sup>2</sup>	1,1	19,107	19,377	1,0615	1,0765
<b>Veermodellen (zand)</b>						
Veer omhoog – KLT	-	1,4			1,360021	1,465945
Veer omlaag – KLS	-	2,0			3,217163	4,278062
veer opzij – KLH	-	1,7			1,446288	1,582491
veer axiaal – F	-	1,375			1,446288	1,582491
Veer max omhoog – RVT	-	1,5			1,635584	1,844116
Veer max opzij – RH	-	1,6			1,446288	1,582491
Veer max omlaag – RVS	-	2,0			2,464527	3,07099
veer max axiaal – UF	-	1,6			1,360021	1,465945

## **E Zettingen**

Ter behoeve van de leiding sterkte berekeningen gerapporteerd in bijlage D zijn zettingsberekeningen door Deltares uitgevoerd. Deze zijn gerapporteerd in onderstaande notitie:

*Deltares (2018). Zettingsberekeningen Dunea waterleiding ter plaatse van Waaldijk. Deltares memo: 11202640-000-GEO-0005.*



## Memo

<b>Datum</b> 17 december 2018	<b>Aantal pagina's</b> 11	11202640-000-GEO-0005
<b>Contactpersoon</b> Peter Kraaijenbrink	<b>Doorkiesnummer</b> +31(0)88 335 7512	<b>E-mail</b> Peter.Kraaijenbrink@deltares.nl

**Onderwerp**

Zettingsberekeningen Dunea waterleiding ter plaatse van Waaldijk

Deze memo beschrijft zettingsberekeningen voor de Waaldijk ter plaatse van de kruising met de Dunea waterleidingen. De betreffende watertransportleidingen zijn naast elkaar gelegen en zijn sinds 1973 in gebruik.

Resultaten van de zettingsberekeningen kunnen worden gebruikt als input voor uit te voeren berekeningen aan de leiding met PLE4Win.

## 1 Uitgangspunten berekeningen D-Settlement

### 1.1 Doel van de berekeningen

Het doel van de zettingsberekeningen met het computermodel D-Settlement is narekenen van de opgetreden zettingen en het voorspellen van de nog optredende zettingen na aanleg van de berm aan de binnendijkse zijde in 2019.

De waterleidingen zijn in 1973 aangelegd.

### 1.2 Uitgangspunten voor de berekeningen

Navolgend zijn puntsgewijs de uitgangspunten voor de zettingsberekeningen weergegeven.

- De schematisatie grondlagen is overgenomen uit "Basisprofiel" van rapport 11202640-003-GEO-0001, dat ook gebruikt wordt voor stabiliteitsberekeningen.
- Isotachenmodel: parameters a, b, c en cv uit tabel 5-5 in document "TUN fase 4.docx" (Technische Uitgangspunten Fase 4, GraafReinald alliantie).
- Volgens het rapport met de technische uitgangspunten zijn deze parameterwaarden verwachtingswaarden.
- Initiële equivalente leeftijd (gecorrigeerd aan initiële OCR of POP) is "*dusdanig gekozen dat er bij een onbelast maaiveld een zetting wordt berekend die overeen komt met de zetting uit de autonome bodemdalingskaarten*".
- Voor zandlagen (H\_Rg\_zm en P\_Rg\_zm), die voor de totale zetting geen rol spelen, zijn extreem lage waarden voor a, b en c gekozen:  $10^{-6}$ , in combinatie met OCR=1.1. Verder is de optie drained aangevinkt bij de berekeningen (dit betekent dat dissipatie vanuit aangrenzende lagen tijdens consolidatie mogelijk is).
- Alle ophogingen, inclusief de nog geplande ophogingen, zijn in één en dezelfde berekening achtereenvolgens als non-uniform loads gesimuleerd. De ophoging van 1993



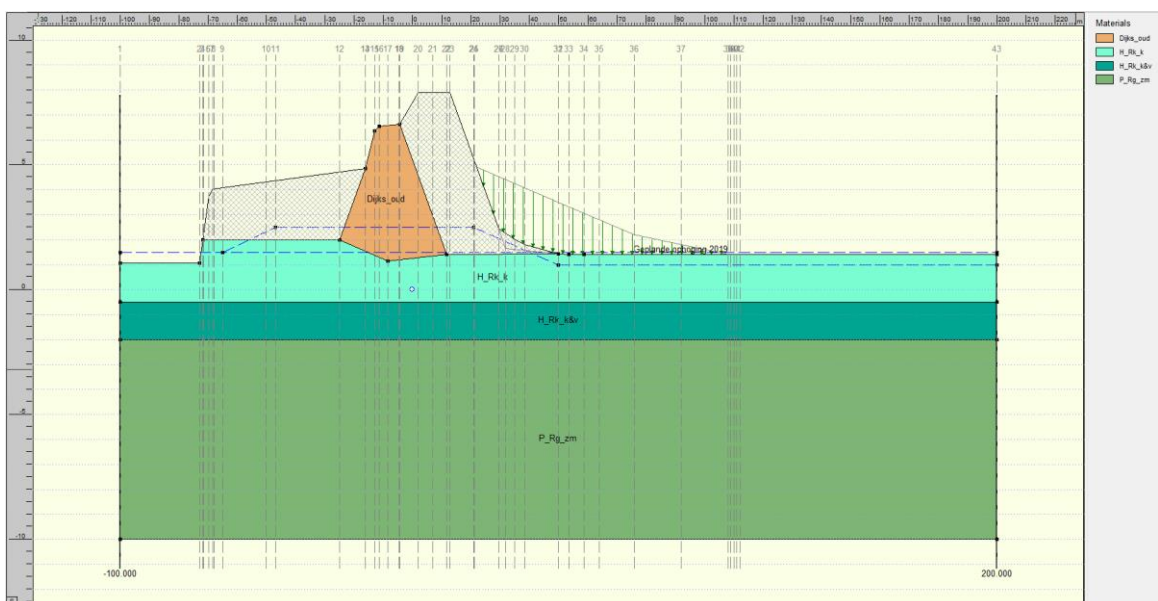
- en de ophoging in 2019 liggen (deels) op de ophoging van 1973. Die wordt niet als grondlaag gesimuleerd.
- De Waterspanningen zijn geschematiseerd bij dagelijkse omstandigheden en bepalen voor een belangrijk deel de verticale effectieve spanningen. Een lage freatische lijn is conservatief, omdat het gewicht boven water bijdraagt aan een hogere initiële effectieve spanning en daarmee geringere zettingen.
    - De freatische lijn in de dijk en ophogingen is op conservatieve wijze 1 m hoger genomen dan de gemiddelde waterstand in Waal.
    - De optie “submerging” (onderwaterzakken) is in de berekeningen gebruikt. Hiermee wordt er rekening gehouden dat door zetting de grond door de freatische lijn zakt, hetgeen leidt tot afname van de effectieve spanning van en onder de ophoging.
  - Ophogingen die gesimuleerd zijn:
    - Op basis van historische gegevens kan worden afgeleid dat rond 1957 een uitbreiding heeft plaatsgevonden van de voormalige steenfabriek Loevestein, die in 1953 door het huidige Ytong is overgenomen. Rond 1968 heeft een verdere uitbreiding en ophoging van het buitendijkse opslagterrein plaatsgevonden (westelijke richting), ter hoogte van de huidige kruising met de Dunea watertransportleiding.
    - In 1973 is een grote ophoging aan de binnenzijde van de oude dijk aangebracht volgens File “Tekening dijk kruising.pdf” (Watertransportleiding Andelse Maas – Bergambacht 16-7-1973, laatste update 30-9-1976, kenmerk 1700.3.2089.
    - Er was een kleine ophoging in 1993 aan de binnenteen van de dijk.
    - De geplande bermophoging die in 2019 wordt uitgevoerd heeft een 1:20 talud.
  - Voor alle hiervoor genoemde ophogingen (uitgevoerd met zand) is een volumegewicht van 18 en 20 kN/m<sup>3</sup> aangenomen voor respectievelijk droge (vochtige) en verzadigde grond.
  - De consolidatie is berekend volgens Darcy.
  - Er is in elk knooppunt een vertikaal geschematiseerd, zodat de “settled geometry” berekend kan worden. Dit is de zettingslijn voor elke laagscheiding. Voor de waterleiding is daarom een aparte lijn toegevoegd. De volgende vertikalen zijn berekend:

Tabel 1.1: *Overzicht berekende vertikalen met horizontale bocht in leiding*

	X co-ordinate [m]		X co-ordinate [m]		X co-ordinate [m]
1	-100.000	16	-11.300	31	49.889
2	-72.960	17	-8.552	32	49.900
3	-71.833	18	-4.500	33	53.410
4	-71.658	19	-4.370	34	58.650
5	-69.849	20	1.850	35	64.000
6	-69.760	21	7.025	36	76.000
7	-68.450	22	11.749	37	92.000
8	-68.040	23	12.880	38	108.000
9	-65.000	24	21.000	39	109.000
10	-49.950	25	21.115	40	110.000
11	-47.000	26	29.510	41	111.000
12	-25.000	27	29.561	42	112.000
13	-16.126	28	31.700	43	200.000
14	-16.090	29	34.850		
15	-12.950	30	38.360		

- Overige uitgangspunten:
  - start berekening in 1968 met eerste ophoging (voorland):  $t = 1$  dag. Aangenomen is dat het oorspronkelijk maaiveld op NAP+2 m lag en dat daarna is opgehoogd met ca 2 m (dus tot ca NAP+4 a NAP+4.5 m) over ca 55 m breedte.
  - ophoging 1973:  $t = 1825$  dagen.
  - ophoging 1993:  $t = 9125$  dagen
  - ophoging 2019:  $t = 18615$  dagen
  - einde berekening 2119: 55115 dagen
  - calculation times (tijdstippen waarop zettingen worden uitgerekend):
    - telkens 1 dag voor volgende ophoging:
      - $t=0$  (1968)
      - $t=1824$  (1973)
      - $t=9124$  (1993)
      - $t=18614$  (geplande ophoging 2019)
    - daarnaast:
      - $t=1964$  (20 weken na versterking 1973)
      - $t=14600$  (2008)
      - $t= 18715$  (100 dagen na geplande ophoging)
      - $t= 18980$  (1 jaar)
      - $t= 19345$  (2 jaar)
      - $t= 20440$  (5 jaar)
      - $t= 22265$  (10 jaar)
      - $t= 36865$  (50 jaar)
      - $t= 55115$  (100 jaar)

In Figuur 1.1 is de geschematiseerde geometrie met ophogingen en rekenvertikalen weergegeven, voor de leiding met horizontale bocht onder de geplande ophoging.



Figuur 1.1 Geometrie met rekenvertikalen (profiel met horizontale bocht in leiding)

In Tabel 1.2 zijn de gehanteerde grondparameters weergegeven, die in de berekeningen gebruikt zijn.

Grondsoort	Volume gewicht	Samendrukkingsparameters Isotache			Equivalent age	Consolidatie coëfficiënt (cv)
		a	b	c		
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[-]	[-]	[dagen]	[m <sup>2</sup> /s]
H_vhv_v	10,6	0,004456	0.27993	0.02317	8000	4,0E-7
H_Rk_v/H_vbv_v	11,7	0.03785	0.23925	0.01971	8000	4,0E-7
H_Rk_ko	13.5	0.02812	0.18029	0.01471	8000	1,E-7
R_Rk_k&v	15.6	0.01829	0.12072	0.00965	8000	1,E-7
H_Rk_k	18.3	0.00743	0.05496	0.00406	8000	1,0E-7
H_Ro_z&k	18.6	0.00633	0.04826	0.00349	8000	2,0E-7
Oud_Dijks	18.92	0.00517	0.04123	0.00289	POP 30 kPa	2,2E-7
zand	18/20	0,0005	0,001	0	OCR 1.1	Drained

Tabel 1.2: Gehanteerde zettingsparameters isotache model

## 2 Berekeningsresultaten

Navolgend zijn de resultaten gepresenteerd van de berekening waarbij de leiding een horizontale bocht onder de binnendijkse geplande berm ophoging maakt.

In Tabel 2.1 zijn de berekende zettingen van het maaiveld (in meters) ter plaatse van de vertikalen weergegeven vanaf 1968 (ophogen voorland, uitbreiding bedrijventerrein). Vanaf vertikaal 31 (teen van het binnentalud na 1993) is de berekende zetting (verticale verplaatsing) weergegeven op een niveau van 80 cm onder het maaiveld. Zettingen in de diverse ophogingen (1968, 1973, 1993, 2019) zelf zijn dus niet meegenomen. Omdat het ophoogmateriaal zeer uit zand bestaat en goed verdicht is, is dit een realistische aanname.

Berekende zettingen ter plaatse van Dunea-watertransportleiding - kruising t.p.v. Waaldijk bij Vuren															
Aantal dagen			1824	1964	9124	14600	18614	18715	18980	19345	20440	22265	36865	55115	
			Ophogingen tot aanleg nieuwe berm, zetting in [m]					Tijd sinds aanleg nieuwe berm in 2019, zetting in [m]							
	Vertikaal	X- coördinaat	opgehoogd voorland 1973	leidinginstall 1973+20 weken	1993	2008	2019	100 dagen (36500)	1 jaar	2 jaar	5 jaar	10 jaar	50 jaar	2119	
Insteek bedrijventerrein	7	-68.45	0.255	0.258	0.299	0.310	0.316	0.316	0.316	0.317	0.318	0.320	0.331	0.340	
Midden onder bedrijventerrein	11	-47	0.292	0.294	0.334	0.345	0.351	0.351	0.351	0.352	0.353	0.355	0.366	0.375	
Buitenteen oude dijk	12	-25	0.316	0.319	0.360	0.371	0.376	0.376	0.377	0.377	0.378	0.380	0.392	0.400	
Midden kruin oude dijk	17	-8.55	0.028	0.030	0.063	0.075	0.082	0.082	0.083	0.083	0.085	0.087	0.102	0.115	
Midden kruin zanddijk	21	7.03	0.004	0.187	0.413	0.428	0.435	0.435	0.435	0.436	0.437	0.439	0.453	0.463	
Binnenkruin zanddijk	23	12.88	0.005	0.323	0.513	0.524	0.529	0.529	0.530	0.530	0.531	0.533	0.543	0.551	
Halverwege binnentalud zanddijk	25	21.12	0.005	0.229	0.392	0.404	0.409	0.411	0.411	0.412	0.414	0.416	0.429	0.439	
Teen binnentalud zanddijk	28	31.7	0.005	0.031	0.081	0.157	0.167	0.250	0.304	0.330	0.356	0.373	0.406	0.420	
Nieuwe berm 2019	30	38.36	0.004	0.009	0.031	0.071	0.079	0.174	0.242	0.270	0.296	0.312	0.343	0.356	
Teen binnentalud zanddijk na 1993	31	49.9	0.004	0.004	0.015	0.021	0.025	0.102	0.162	0.188	0.213	0.228	0.258	0.270	
Bovenkant talud nieuwe berm 2019	33	53.41	0.004	0.004	0.014	0.019	0.022	0.098	0.157	0.182	0.207	0.222	0.251	0.263	
talud 1:20	35	64	0.004	0.004	0.014	0.019	0.022	0.075	0.119	0.141	0.164	0.178	0.208	0.220	
Knikpunt	36	76	0.004	0.004	0.014	0.019	0.022	0.050	0.071	0.085	0.104	0.118	0.147	0.159	
na knikpunt 60 grad richting	37	92	0.004	0.004	0.014	0.019	0.022	0.035	0.040	0.045	0.055	0.065	0.091	0.103	
teen berm	38	108	0.004	0.004	0.014	0.019	0.022	0.023	0.023	0.023	0.024	0.025	0.033	0.039	
2m uit teen berm	40	110	0.004	0.004	0.014	0.019	0.022	0.022	0.022	0.023	0.023	0.024	0.032	0.038	

Tabel 2.1: Berekende zetting vanaf ophogen voorland in ca. 1968

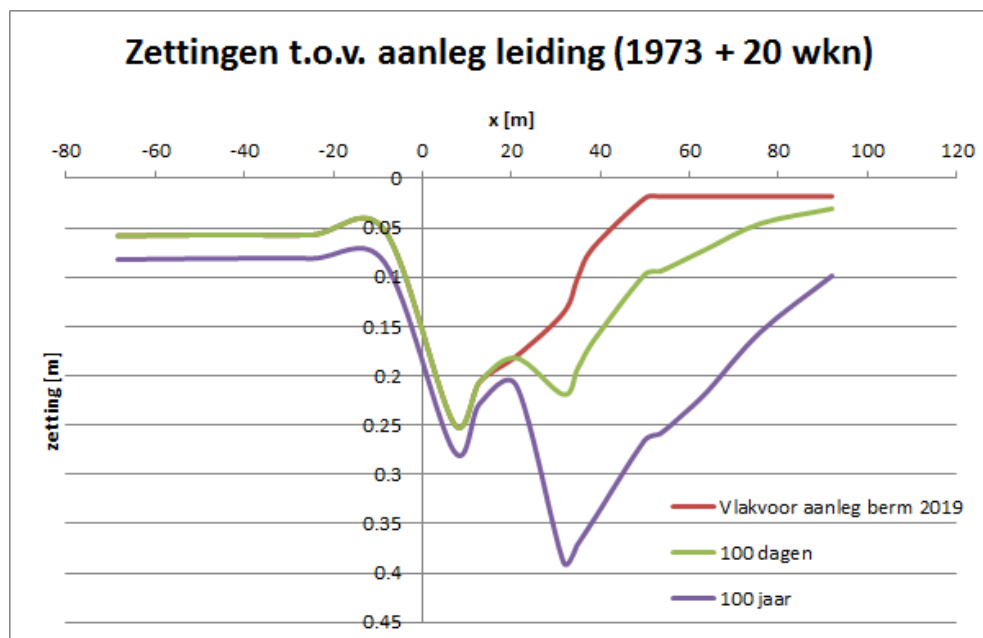
De waterleidingen zijn volgens achterhaalde informatie waarschijnlijk 20 weken na de binnendijkse ophoging van de oude dijk in 1973 aangelegd.

Uit het verschil tussen de berekende zettingen op tijdstip  $t = 1973 + 20$  weken (1964 dagen) en een recentere of toekomstige datum kan bepaald worden hoe groot de opgetreden zetting op een bepaald tijdstip zal zijn ter plaatse van de aangelegde watertransportleiding zal zijn. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Tabel 2.2.

Berekende zettingen ter plaatse van Dunea-watertransportleiding - kruising t.p.v. Waaldijk bij Vuren - vanaf aanleg leiding															
Aantal dagen			1824	1964	9124	14600	18614	18715	18980	19345	20440	22265	36865	55115	
			Ophogingen tot aanleg nieuwe berm, zetting in [m]					Tijd sinds aanleg nieuwe berm in 2019, zetting in [m]							
	Vertikaal	X- coördinaat	opgehoogd voorland 1973	leidinginstall 1973+20 weken	1993	2008	2019	100 dagen (36500)	1 jaar	2 jaar	5 jaar	10 jaar	50 jaar	2119	
Insteek bedrijventerrein	7	-68.45	0	0	0.041	0.052	0.058	0.058	0.058	0.059	0.060	0.062	0.073	0.082	
Midden onder bedrijventerrein	11	-47	0	0	0.040	0.051	0.057	0.057	0.057	0.058	0.059	0.061	0.072	0.081	
Buitenteen oude dijk	12	-25	0	0	0.041	0.052	0.057	0.057	0.058	0.058	0.059	0.061	0.073	0.081	
Midden kruin oude dijk	17	-8.55	0	0	0.033	0.045	0.052	0.052	0.053	0.053	0.055	0.057	0.072	0.085	
Midden kruin zanddijk	21	7.03	0	0	0.226	0.241	0.248	0.248	0.248	0.249	0.250	0.252	0.266	0.276	
Binnenkruin zanddijk	23	12.88	0	0	0.190	0.201	0.206	0.206	0.207	0.207	0.208	0.210	0.220	0.228	
Halverwege binnentalud zanddijk	25	21.12	0	0	0.163	0.175	0.180	0.182	0.182	0.183	0.185	0.187	0.200	0.210	
Teen binnentalud zanddijk	28	31.7	0	0	0.050	0.126	0.136	0.219	0.273	0.299	0.325	0.342	0.375	0.389	
Nieuwe berm 2019	30	38.36	0	0	0.022	0.062	0.070	0.165	0.233	0.261	0.287	0.303	0.334	0.347	
Teen binnentalud zanddijk na 1993	31	49.9	0	0	0.011	0.017	0.020	0.098	0.158	0.184	0.209	0.224	0.254	0.266	
Bovenkant talud nieuwe berm 2019	33	53.41	0	0	0.010	0.015	0.018	0.094	0.153	0.178	0.203	0.217	0.247	0.259	
talud 1:20	35	60	0	0	0.010	0.015	0.018	0.071	0.115	0.137	0.160	0.174	0.204	0.216	
Knikpunt	36	76	0	0	0.010	0.015	0.018	0.045	0.067	0.081	0.100	0.114	0.143	0.155	
na knikpunt 60 grad richting	37	92	0	0	0.010	0.015	0.018	0.031	0.036	0.041	0.051	0.061	0.087	0.099	
teen berm	38	108	0	0	0.010	0.015	0.018	0.019	0.019	0.019	0.020	0.021	0.029	0.035	
2m uit teen berm	40	110	0	0	0.010	0.015	0.018	0.018	0.018	0.019	0.019	0.021	0.028	0.034	

Tabel 2.2: Berekende zetting vanaf aanleg watertransportleiding in 1973

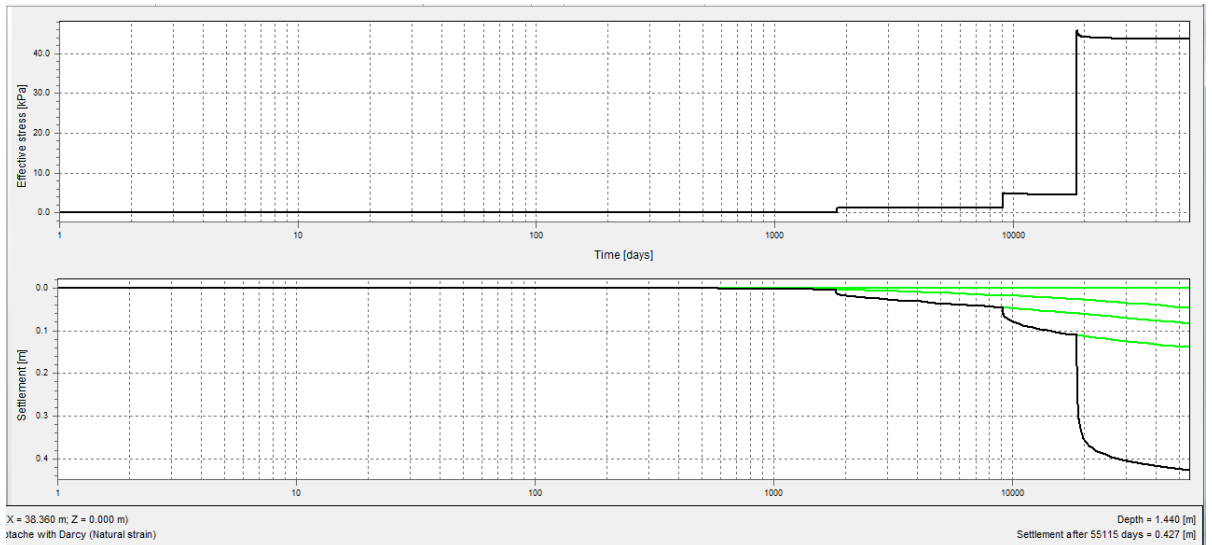
In Figuur 2.1 zijn de berekende zettingen, na aanleg van de watertransportleiding (1973+20 weken; na circa 1964 dagen) weergegeven.



Figuur 2.1 Grafische weergave van de berekende zettingen vanaf aanleg van de leiding

De aangebrachte ophogingen en het verloop van de zettingen in de tijd zijn weergegeven in Figuur 2.2. De resultaten in deze figuur gelden voor vertikaal 30 (halverwege de nieuwe berm, die in 2019 aangelegd zal worden), Verder geldt in de figuur het volgende:

- Bovenkant oude maaiveld 1968
- t = 1 days: ophoging Waalzijde 1968 (geen invloed)
- t = 1825 days: ophoging binnendijks 1973
- t = 9125 days: ophoging dijkteen binnendijks 1993
- t = 18615 days: nieuwe berm, aan te leggen in 2019.



Figuur 2.2 Ophogingen en zettingsverloop in de tijd

## 3 Probabilistische analyse

### 3.1 Doel van de analyse

Het doel van de probabilistische analyse is om te bepalen hoe groot de spreiding is van de berekende zettingen. Om dit te kunnen doen zijn berekeningen uitgevoerd met de “reliability analysis mode” in D-Settlement. Hierin zijn beschikbaar:

- FOSM for bandwidth of settlements
- FORM for probability of failure (tolerable settlement)
- Monte Carlo for bandwidth of settlements and probability of failure.

### 3.2 Uitgangspunten berekeningen

Ten aanzien van de berekeningen geldt dat:

- Een reliability analysis kan alleen per vertikaal gedaan worden.
- Bandwidth of settlements is meest relevant voor deze analyse en is daarom toegepast.
- Er is gebruik gemaakt van de hiervoor beschreven berekening.
- Op basis van het DelftCluster rapport: 1001129-033-DSC-0001 juli 2009”, is een schatting gemaakt van de lokale variatiecoëfficiënten van de relevante zettingsparameters voor zowel een optimistisch scenario en een conservatief scenario.

Beide scenario's zijn in Tabel 3.1 weergegeven.

	Optimistisch scenario	Conservatief scenario
Vol gewicht droog/nat	0.05	0.15
Zettingsparameter a	0.15	0.25
Zettingsparameter b	0.15	0.25
Zettingsparameter c	0.15	0.25
Vertical permeability	2.5	10.0
Ratio horizontal/vertical permeability	0.05	0.15
Cv	0.05	0.25
OCR (omgerekend uit equivalent age)	0.15 / 0.25	0.25
POP (dijkmateriaal)	0.15 / 0.25	0.25

Tabel 3.1 : Schatting variatiecoëfficiënten voor optimistisch en conservatief scenario

Verdere uitgangspunten en aannames die gedaan zijn:

- Voor “layer boundary” is een standaardafwijking van 0.25 m en lognormale verdeling aangehouden.
- Correlatie van a en c met b telkens op 0.01 (default waarde D-Settlement).
- Voor alle parameters is een lognormale verdeling aangehouden.
- Uit de berekende “confidence intervals” en de aanname van een normale verdeling van de berekende zettingen, is handmatig de standaardafwijking van de zettingen berekend.

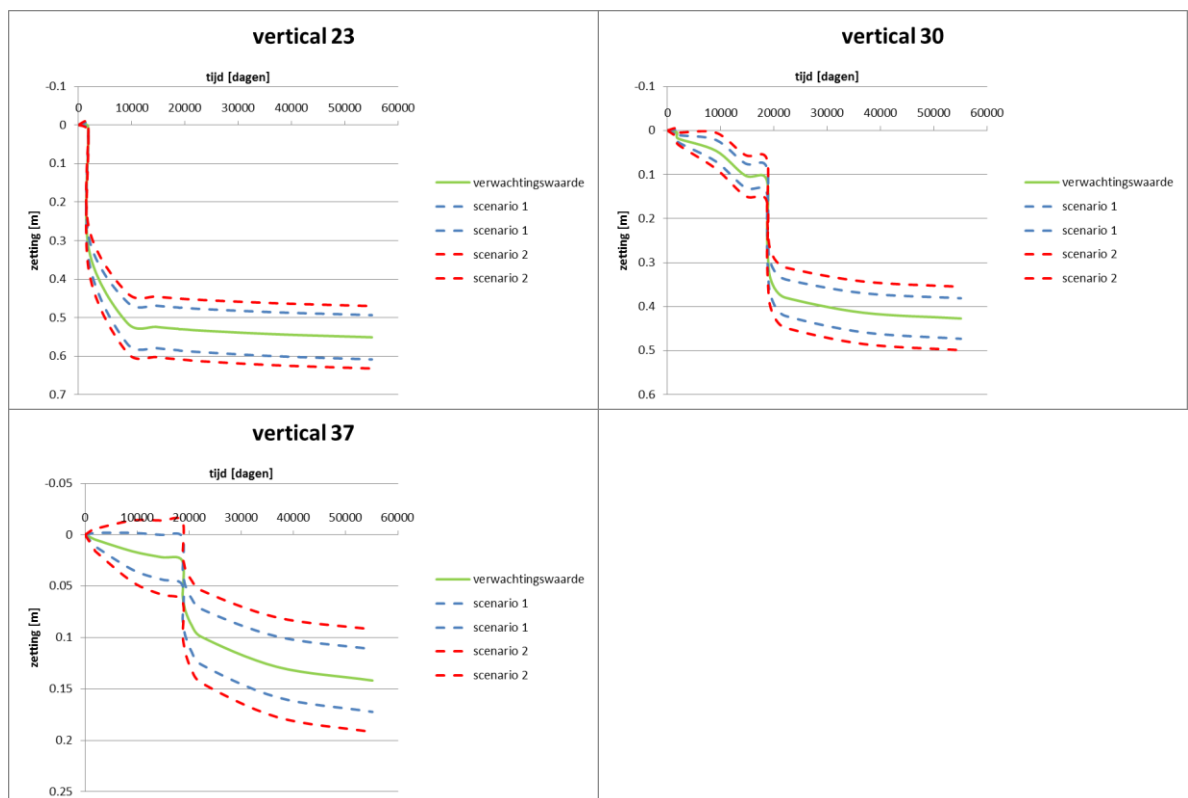
De bandbreedte behorend bij een confidence interval van 90% wordt begrensd door de 5% onder- en 5% overschrijdingswaarde van de zetting. Daarbij hoort een student-T waarde van 1.645, uitgaande van een oneindig aantal vrijheidsgraden. De standaardafwijking kan dan berekend worden.

- Deze aanpak is gecheckt door de berekening ook uit te voeren voor een ander confidence interval (50%). Daaruit volgt dezelfde standaardafwijking.

De standaardafwijkingen zijn in eerste instantie voor drie verticalen uitgerekend: 23, 30 en 37 voor het berekende lengteprofiel langs de leiding met een horizontale bocht. Naderhand is dit geanalyseerd en is een onderverdeling gemaakt voor de overige verticalen.

### 3.3 Resultaten berekeningen standaard deviatie

In de onderstaande figuren zijn de berekende standaardafwijkingen voor de verticalen 23, 30 en 37, voor het optimistische scenario (1) en het conservatieve scenario (2) voor het berekende lengteprofiel langs de leiding weergegeven.



Figuur 3.1 Berekende zettingen in verticaal 23, 30 en 37, inclusief de berekende spreiding.

Op basis van de uitkomsten blijkt dat bij een grote belasting groter dan de grensspanning de standaard deviatie ongeveer 10 % bedraagt. Bij een lagere belasting rondom de grensspanning bedraagt de standaard deviatie 50 % en meer.

Op basis van deze gegevens zijn voor alle verticalen de standaarddeviaties bepaald, die voor de sterkte berekeningen van de leiding gehanteerd kunnen worden.





## 4 Conclusies

Op basis van de uitgevoerde berekeningen en analyses kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Voor de bestaande situatie bedraagt de verwachtingswaarde van de maximale zetting van de grondlagen onder de leiding bedraagt 28 cm; deze zetting treedt op in 2019 vlak voor de aanleg van de binnendijs aan te leggen berm.
- Voor de toekomstige situatie na dijkversterking is dat maximaal 39 cm; deze zetting treedt op in een periode van 100 jaar na de aanleg van de leiding in 1973 onder de binnendijs aan te leggen berm.
- De ophoging aan de binnenzijde van de oude dijk in 1973 is uitgevoerd 20 weken voor de aanleg van de leiding. Hierdoor is de opgetreden zetting van de grond onder de leiding relatief gering. Deze bedraagt zoals eerder aangegeven maximaal 28 cm.
- Door de geringe helling van de aan te leggen berm van 1:20 zijn de verschilverplaatsingen van de grond onder leiding relatief gering.
- De standaard afwijking van de berekende zetting is op veel plaatsen in het lengte profiel ongeveer 10 %. Bij een lagere belasting rondom de grensspanning van de grond bedraagt de standaard deviatie ongeveer 50 %.

## **F Hoogwater vervormingen**

Om de invloed van vervormingen van de dijk op de leiding tijdens hoogwater te kunnen inschatten zijn EEM analyses uitgevoerd. Deze zijn gerapporteerd in onderstaande notitie:

*Deltares (2018). Analyse horizontale vervormingen bij hoogwater. Deltares memo: 11202640-000-GEO-0002.*



## Memo

<b>Datum</b> 18 december 2018	<b>Ons kenmerk</b> 11202640-000-GEO-0002	<b>Aantal pagina's</b> 7
<b>Contactpersoon</b> Dirk de Lange	<b>Doorkiesnummer</b> +31(0)88 335 7288	<b>E-mail</b> Dirk.deLange@deltares.nl

**Onderwerp**  
Analyse horizontale vervormingen bij hoogwater

## 1 Analyse horizontale vervormingen

### 1.1 Inleiding

Deze memo/bijlage beschrijft de eindige-elementen-analyses die zijn uitgevoerd met betrekking tot de mogelijke horizontale grondverplaatsingen tijdens maatgevend hoogwater. Deze verplaatsingen vormen een belasting op de kruisende waterleiding van Dunea. De analyses zijn uitgevoerd met PLAXIS 2D, versie 2018.

### 1.2 Uitgangspuntendocumenten

De uitgangspunten van de voorliggende berekeningen zijn overgenomen uit:

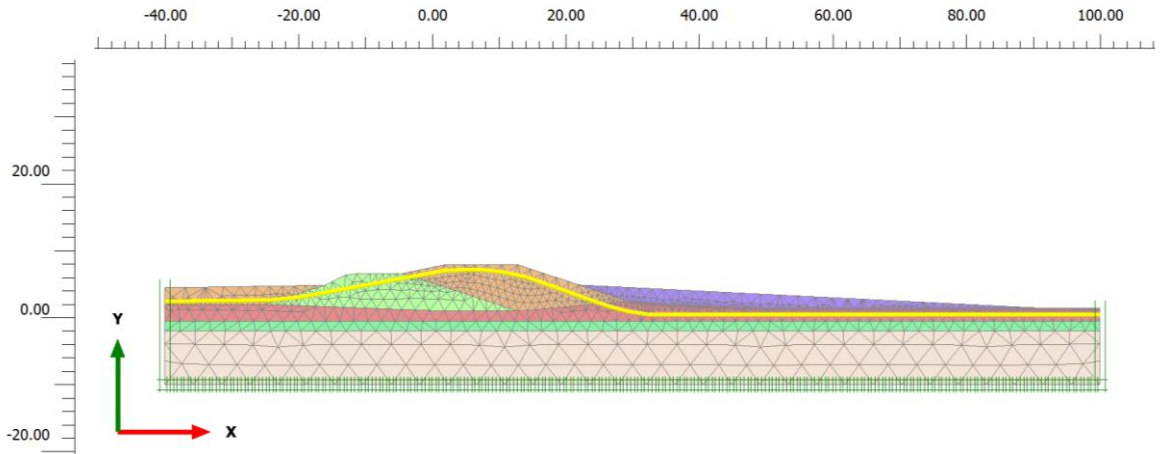
- [1] Graaf Reinald Alliantie, *Technische Uitgangspunten Stap 4* (TUN fase 4);
- [2] POVM Rekentechnieken, *EEM toepassing binnen het ontwerp* (juli 2018).

### 1.3 Opzet berekeningen

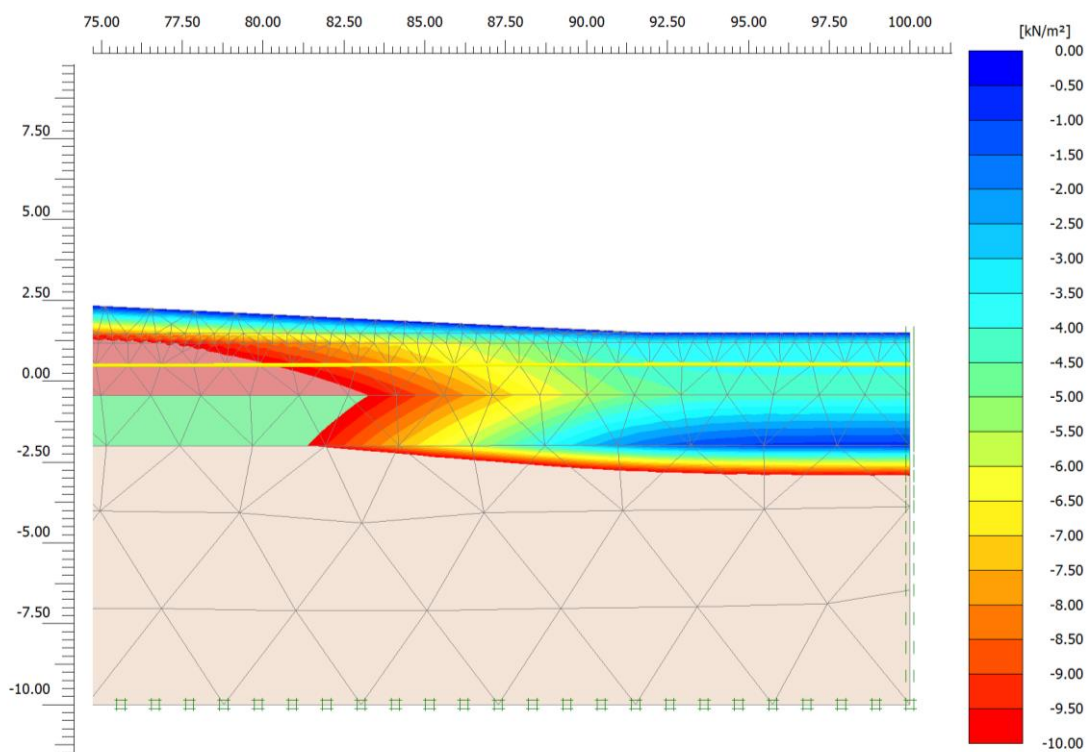
#### 1.3.1 Schematisering

De schematisering van de te beschouwen doorsnede is overgenomen uit de stabiliteitsberekeningen met D-Geo Stability (rapport 11202640-003-GEO-0001). De schematisering is weergegeven in Figuur 1.1. Het model heeft een breedte van 140 m en een diepte van NAP -10 m. De steunberm heeft een helling gelijk aan 1:20. De waterleidingen zijn niet gemodelleerd in de 2D-schematisering. Wel is een geotextiel met een te verwaarlozen buigstijfheid gemodelleerd op het traject van de waterleidingen. Op deze wijze kunnen eenvoudig de grondverplaatsingen rondom de leidingen uit de uitvoer worden gedestilleerd, zonder dat dat de resultaten worden beïnvloed door de aanwezigheid van dit geotextiel. De grond-leiding-interactie dient in een separate analyse te worden berekend.

De hydraulische randvoorwaarden tijdens dagelijkse omstandigheden en tijdens maatgevend hoogwater (MHW) zijn ook overgenomen uit dezelfde D-Geo Stability-berekeningen. Omdat PLAXIS niet goed overweg kan met een "opdrijfsituatie" (wanneer de opwaartse waterdruk groter is dan de neerwaartse effectieve spanning), is het stijghoogteverloop in de watervoerende zandlaag tijdens MHW naast de berm verlaagd van NAP + 4 m naar NAP +3,85 m, zodat er altijd effectieve spanning onder de deklaag aanwezig is, maar deze wel kleiner dan 1 kPa is, zie Figuur 1.2.



**Figuur 1.1** Schematisering van de beschouwde doorsnede



**Figuur 1.2** Verticale effectieve spanning bij MHW

### 1.3.2 Constitutieve modellen en modelparameters

Conform [2] zijn het Hardening Soil (HS) en het Soft soil model (SS) toegepast. Er is een berekening gemaakt waarin alle lagen gemodelleerd zijn met het HS-model en er is een berekening gemaakt waarin de "slappe lagen" zijn gemodelleerd met het SS-model.

In Tabel 1.1 en Tabel 1.2 zijn de toegepaste parametersets weergegeven. Het betreffen karakteristieke lage waarden voor de sterkte (CSSM) en de stijfheid (factor 1,5 tussen verwachtings- en karakteristieke waarde). Deze parameters zijn overgenomen of berekend op basis van de getallen uit [1]. De samendrukbaarheidsparameters voor het SS-model zijn

afgeleid conform [2]. Hierbij moet worden opgemerkt dat de SS zettingsparameters zijn bepaald op basis van een database van Deltares met resultaten van circa 300 samendrukkings- en CRS-proeven, terwijl de en de HS parameters  $E_{oed}$  en  $E_{ur}$  zijn afgeleid op basis van de beperkte verzameling van WSRL (zie [1]). Dit zal mede tot verschil in uitkomsten leiden.

Ook de POP- en OCR-waarden zijn overgenomen uit [1]. Het betreffen de waarden die zijn gerelateerd aan zetting/verplaatsingen (de waarden m.b.t. sterkte zijn over het algemeen lager). Hierbij wordt de kanttekening geplaatst dat het dubieus is om gelijke waarden aan te houden voor de ondergrond onder en naast de dijk.

	Aanvul.	H_Rg_zm	Oud_Dijks	H_Rk_k	H_Rk_k&v	P_Rg_zm
$\gamma_{unsat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	17,0	18,0	18,9	18,3	15,6	17,7
$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	19,0	20,0	18,9	18,3	15,6	20
Drain. type	Drained	Drained	Undr. (A)	Undr. (A)	Undr. (A)	Drained
$E_{50}^{ref}$ [kPa]	13347	13347	1337	1590	668	13347
$E_{oed}^{ref}$ [kPa]	11893	12193	1114	1060	445	11840
$E_{ur}^{ref}$ [kPa]	59164	59164	6683	7950	3340	61978
m [-]	0,5	0,6	0,8	0,8	0,9	0,6
$c'_{ref}$ [kPa]	0,1	0,1	0,1	0,1	4,0	0,1
$\phi'$ [°]	30	30,0	30,7	29,3	30,0	30,0
$\psi$ [°]	0	0	0	0	0	0
OCR [-]	1	1	1	2,1	2,27	1
POP [kPa]	0	0	30	0	0	0

Tabel 1.1 HS-parametersets (karakteristieke lage waarden sterkte en stijfheid)

	Oud_Dijks	H_Rk_k	H_Rk_k&v
$\lambda^*$ [-]	0.06184	0.08244	0.1810
$\kappa^*$ [-]	0.01222	0.01985	0.04729
$v'_{ur}$ [-]	0,15	0,15	0,15

Tabel 1.2 Gebruikte zettingsparameters voor het SS-model (karakteristieke lage waarden)

### 1.3.3 Fasering

De volgende rekenfasering is aangehouden in de gemaakte analyses:

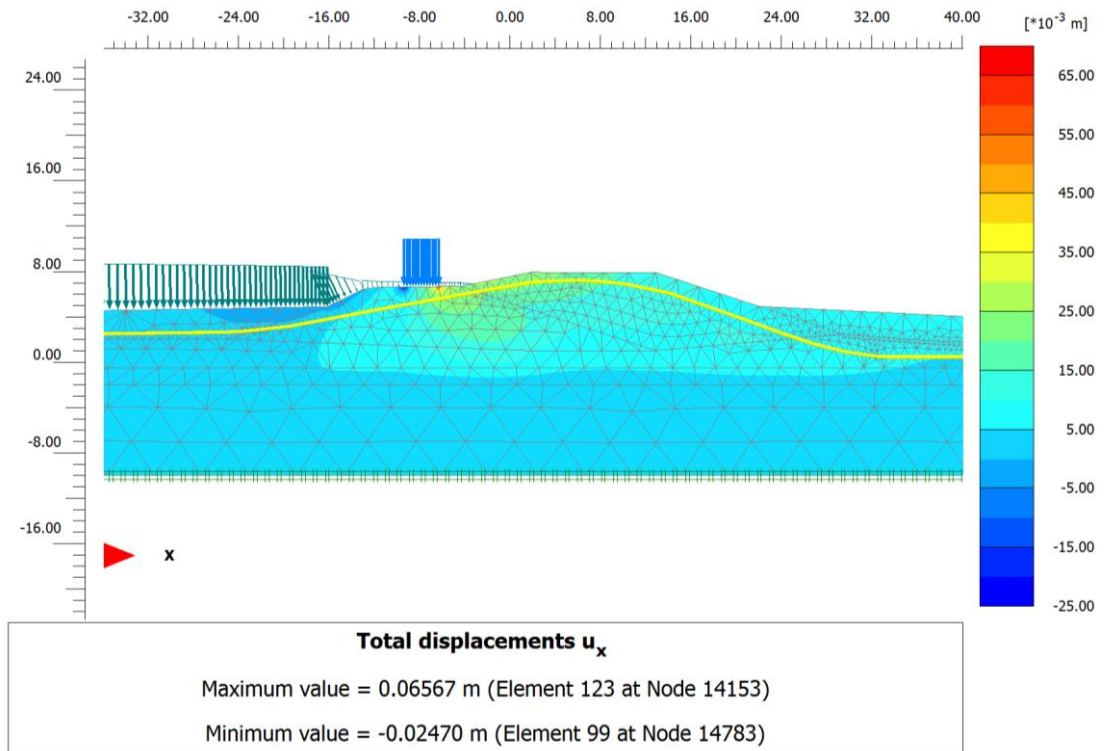
1. Initiële fase (bepaling initiële spanningen op basis van K0-procedure);
2. Nulstap (plastisch, gedraineerd);
3. Aanleg berm + aanpassing dagelijkse freatische lijn (plastisch, gedraineerd);
4. Maatgevend hoogwater (plastisch, gedraineerd);
5. MHW + verkeersbelasting van 13,3 kPa over een breedte van 3 m (plastisch, ongedraineerd).

Bij aanvang van fase 4 zijn de verplaatsingen op nul gezet. In fase 4 en 5 is gerekend met een "updated mesh".

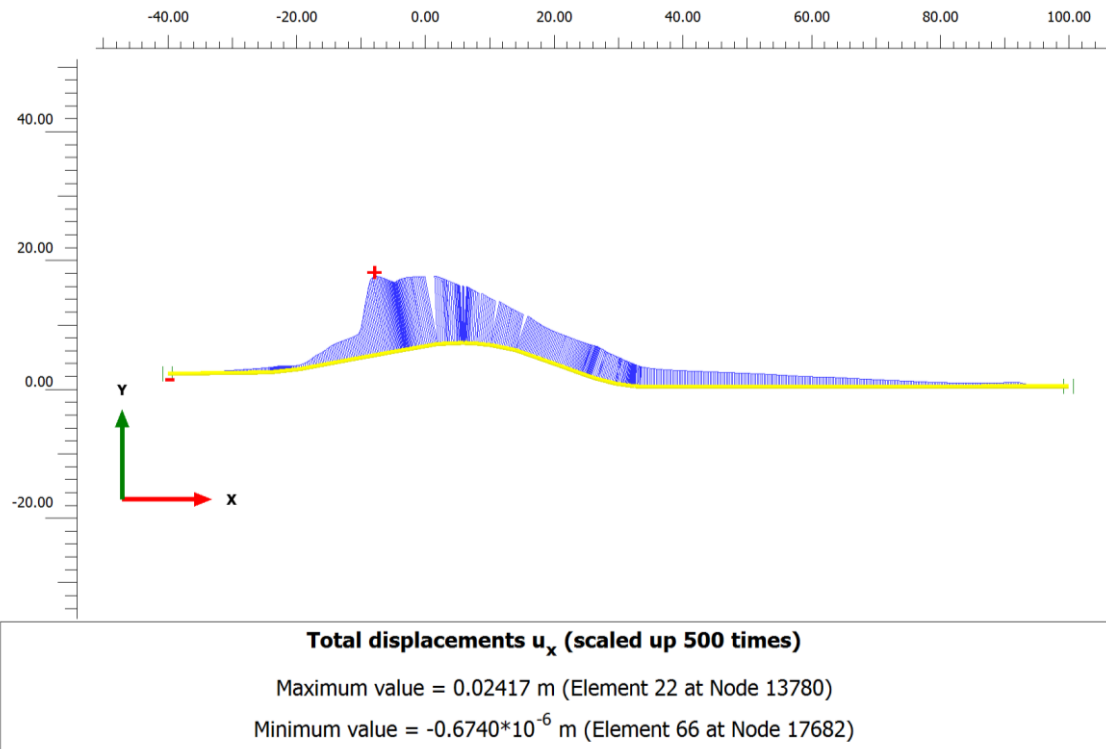
## 1.4 Resultaten

Onderstaande figuren tonen de verplaatsingen ten gevolge van MHW en verkeersbelasting.

### 1.4.1 Hardening Soil model

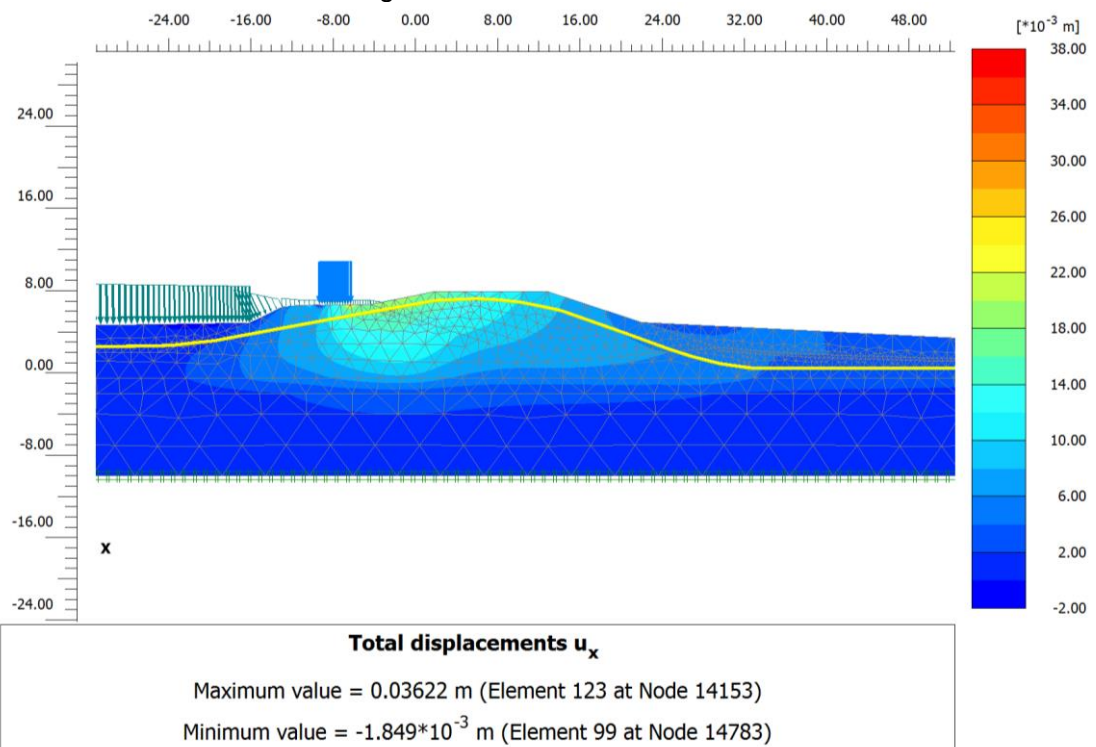


Figuur 1.3 Horizontale verplaatsing ten gevolge van MHW en verkeersbelasting



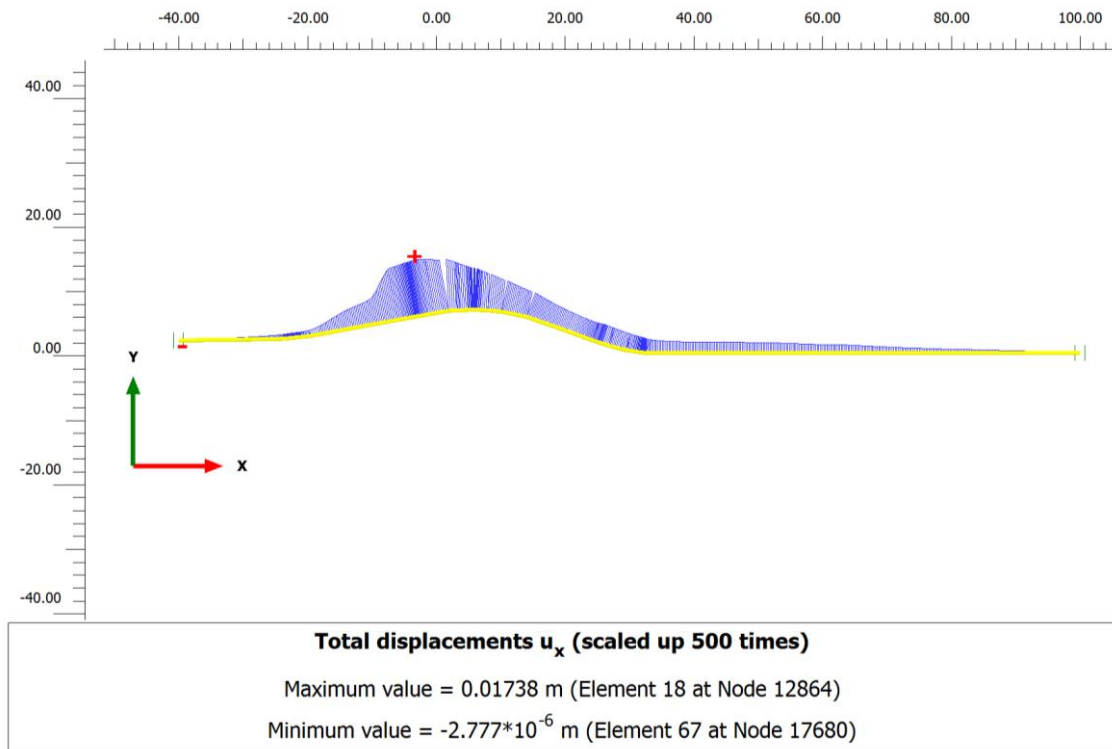
*Figuur 1.4 Horizontale grondverplaatsingen leidingtraject*

### 1.4.2 Combinatie Soft Soil en Hardening Soil model



*Figuur 1.5 Horizontale verplaatsing ten gevolge van MHW en verkeersbelasting*



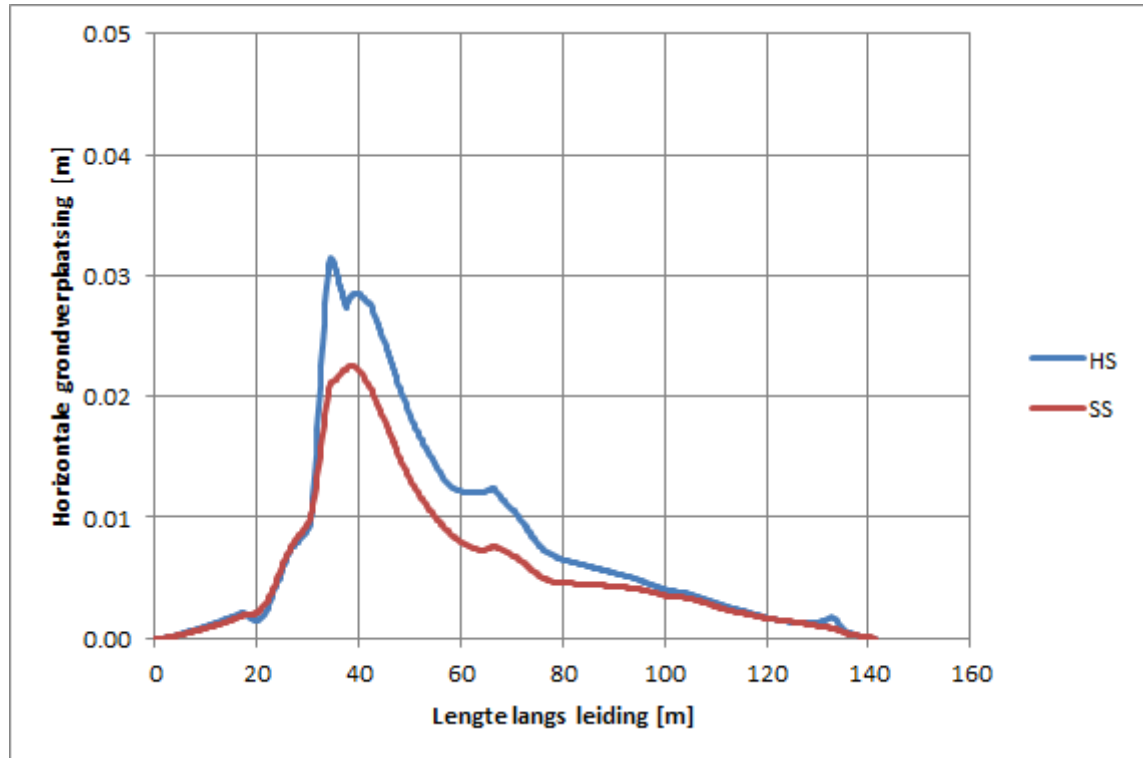


*Figuur 1.6 Horizontale grondverplaatsingen leidingtraject*

#### 1.4.3 Overzicht grondverplaatsingen leidingtraject

Conform [2] is een modelfactor van 1,3 toegepast op de berekende vervormingen. Figuur 1.7 toont deze berekende grondverplaatsingen ter plaatse van de leiding. De berekeningen HS en SS geven vergelijkbare resultaten. De berekening waarin alle lagen met het HS-model zijn gemodelleerd geeft de grootste verplaatsingen. Horizontale verplaatsingen treden vooral op ter plaatse van de dijk.

Bij de vervormingsberekeningen treedt onder invloed van de hoogwaterbelasting ook een tijdelijke (elastische) opwaartse verplaatsing rondom de leiding op, door de eveneens tijdelijke afname van effectieve spanning. Ten opzichte van de permanente zakking door kruip is deze opwaartse verplaatsing in praktijk zeer beperkt. Om aan de conservatieve kant te blijven is de beperkte voordelige invloed van de berekende opwaartse verplaatsing verwaarloosd.



Figuur 1.7 Horizontale grondverplaatsingen langs de leiding (incl. modelfactor van 1,3)

## 1.5 Conclusie

De maximale verwachte horizontale grondverplaatsing langs de leiding bedraagt enkele centimeters (orde grootte 0 tot 3 cm). Het verloop van de berekende horizontale verplaatsing langs de leiding is beschikbaar en kan worden gebruikt in de leiding sterkte berekening.

## **G Grondwaterstromingsanalyses voor kritieke gat afmetingen**

Om de kritieke gat oppervlakte te kunnen bepalen waarbij voor de voorliggende transportleiding een sluipend in een gapend lek overgaat zijn door Deltares voor verschillende gat afmetingen en gronddekkingen numerieke grondwater stromingsanalyses uitgevoerd. De analyses en bevindingen staan beschreven in onderstaande notitie, welke als bijlage deel uitmaakt van deze studie:

*Deltares (2018). Analyse Plaxis naar opbarsten bij lek waterleiding. Deltares memo: 11202640-000-GEO-0004.*



## Memo

<b>Datum</b> 6 december 2018	<b>Ons kenmerk</b> 11202640-000-GEO-0004	<b>Aantal pagina's</b> 14
<b>Contactpersoon</b> Hans Teunissen	<b>Doorkiesnummer</b> +31(0)88 335 7525	<b>E-mail</b> Hans.Teunissen@deltares.nl

**Onderwerp**  
Analyse Plaxis naar opbarsten bij lek waterleiding

---

## 1 Inleiding

Voor de dijkruising van de Dunea waterleiding op het dijktraject Gorinchem - Waardenburg is het voor de toe passing van het veiligheidsraamwerk ter beoordeling van de dijkruising noodzakelijk om onderscheid te kunnen maken tussen potentiële sluipende lekken en gapende lekken in de waterleiding. De druk in de leiding bedraagt 6 bar.

Als er een gat in een leiding ontstaat dan stroomt er water naar de omringende grond en neemt de grondwaterdruk rondom de leiding toe. De combinatie van het debiet en de waterdruk ter plaatse van het gat bepaalt de grootte van deze grondwaterdrukverandering. Als gevolg hiervan neemt de sterkte van de grond af en is het mogelijk dat de grond boven de leiding bezwijkt. De term sluipend lek duidt op een stabiele situatie en een gapend lek op een instabiele situatie waarbij een krater ontstaat.

De voorliggende notitie beschrijft de opzet en resultaten van een aantal numerieke simulaties van het effect van leidinglekkage met de eindige-elementensoftware *PLAXIS*. De schematiseringen zijn axiaalsymmetrisch opgezet, met het centrum van het gat ter plaatse van de axiaalsymmetrische as. Er zijn variaties uitgevoerd met verschillende stralen van het lek, verschillende dekkingen, verschillende doorlatendheden van de omliggende grond, al dan niet modelleren van de geschematiseerde leidingvorm en de ligging van het gat op de leidingwand.

Voor elk van de gevallen is de combinatie van het kritieke debiet en de kritieke waterdruk ter plaatse van het gat bepaald. Deze combinatie markeert de overgang van een sluipend naar een gapend lek (bij de overgang van een sluipend naar een gapend lek komt de grond in beweging en start het uitspoeling proces). Het kritieke debiet is bepaald door integratie over het lekoppervlak van het specifieke debiet. Het kritieke debiet neemt toe naarmate de doorlatendheid van de grond groter is en naarmate de dekking boven de leiding groter is. Als de kritieke waterdruk bij een kritiek debiet is de maximale waterdruk in het gat afgelezen. Bij een gegeven kritiek debiet neemt de kritieke druk toe naarmate het gat kleiner is.

## 2 Schematiseringen

De simulaties zijn uitgevoerd met *PLAXIS* versie 2017. In volledig gekoppelde analyses van stroming en vervorming wordt ofwel de druk ofwel het specifiek debiet in het gat verhoogd. Het opvoeren van de druk of het debiet geschiedt lineair in de tijd. Doordat er geen tijdseffecten in materiaaleigenschappen zitten, worden de oplossingen op ieder tijdstip stationair beschouwd. De uitgevoerde analyses vallen uiteen in de volgende categorieën:

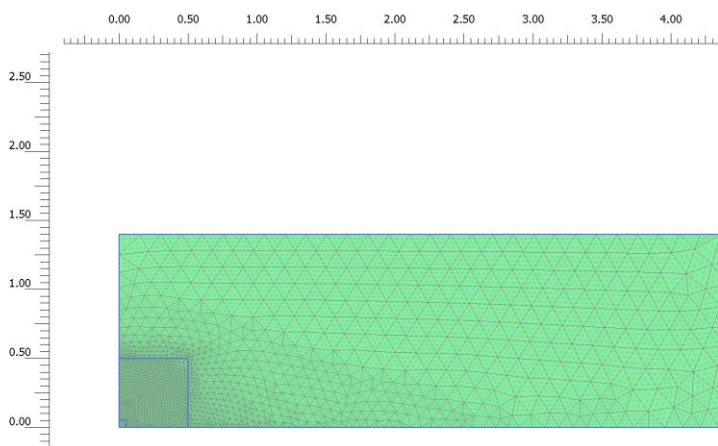
- 1) Vergelijking druk gestuurd met specifiek debiet gestuurd;
- 2) Invloed grootte straal lek;
- 3) Invloed doorlatendheid;
- 4) Invloed dekking;
- 5) Invloed positie gat;

Verzadigd siltig zand is aangenomen, met een volumegewicht van  $19 \text{ kN/m}^3$  en een doorlatendheid van  $8.64 \text{ m/dag}$ . Voor het zand is gebruik gemaakt van het Hardening Soil model, met een critical state wrijvingshoek  $\phi_{cs}$  van  $30$  graden ( $\psi = 0$ ), een (tension cut-off) treksterkte gelijk aan nul en verder:

$$E_{50}^{\text{ref}} = E_{\text{oed}}^{\text{ref}} = 10 \text{ MN/m}^2, E_{\text{ur}}^{\text{ref}} = 30 \text{ MN/m}^2, m = 0.5, K_0^{\text{NC}} = 0.5.$$

De Plaxis berekeningen zijn uitgevoerd met incrementeel toenemende waarden totdat het rekenhart van Plaxis de berekeningen niet meer verder kan voorzetten. Dit gebeurt of met de mededeling: soil body collapses of de resulterende maximale waterdruk neemt af met een sterke toename van verplaatsingen rond het gat. Dit laatste geeft de suggestie van mechanische dan wel numerieke instabiliteit.

Er zijn twee basisgeometrieën gebruikt, zoals hieronder getoond.



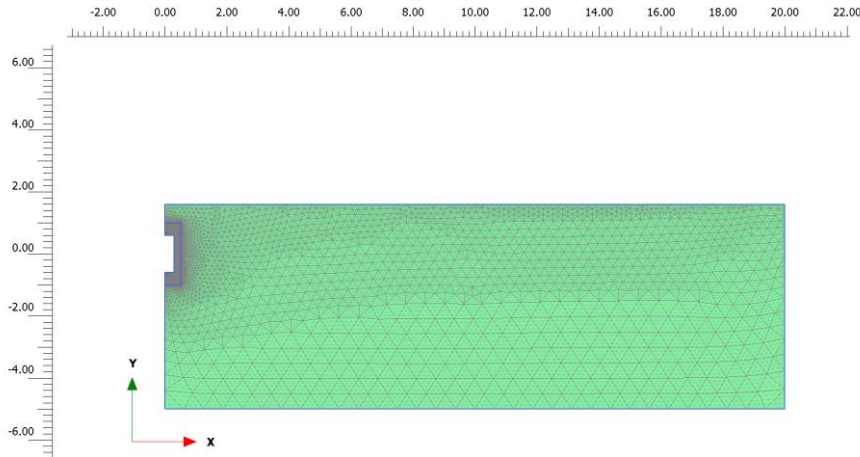
*Figuur 2.1* Basis geometrie 1, Het gat is gemodelleerd als cirkelvormig horizontaal oppervlak met het centrum ter plaatse van de oorsprong van de assen en met een straal van  $35 \text{ mm}$ .



Datum  
6 december 2018

Ons kenmerk  
11202640-000-GEO-0004

Pagina  
3 van 14



*Figuur 2.2 Basis geometrie 2. De leiding is gemodelleerd als een verticale ronde buis met een as-hoogte van 1,2m en een straal van 0,3m. Het gat bevindt zich aan bovenzijde van de buis.*

In basisgeometrie 1 is ter plaatse van de oorsprong (links onderin) in het horizontale vlak een cirkelvormig gat gemodelleerd met straal van 35 mm, bij een gronddekking van 1.4m. De grond is alleen gemodelleerd boven en naast het gat. Op de verdere horizontale rand aan de onderzijde is verticale verplaatsing en stroming verhinderd. De laatste randvoorwaarde veronderstelt echter symmetrie in verticale richting en is daarom niet in overeenstemming met de werkelijkheid.

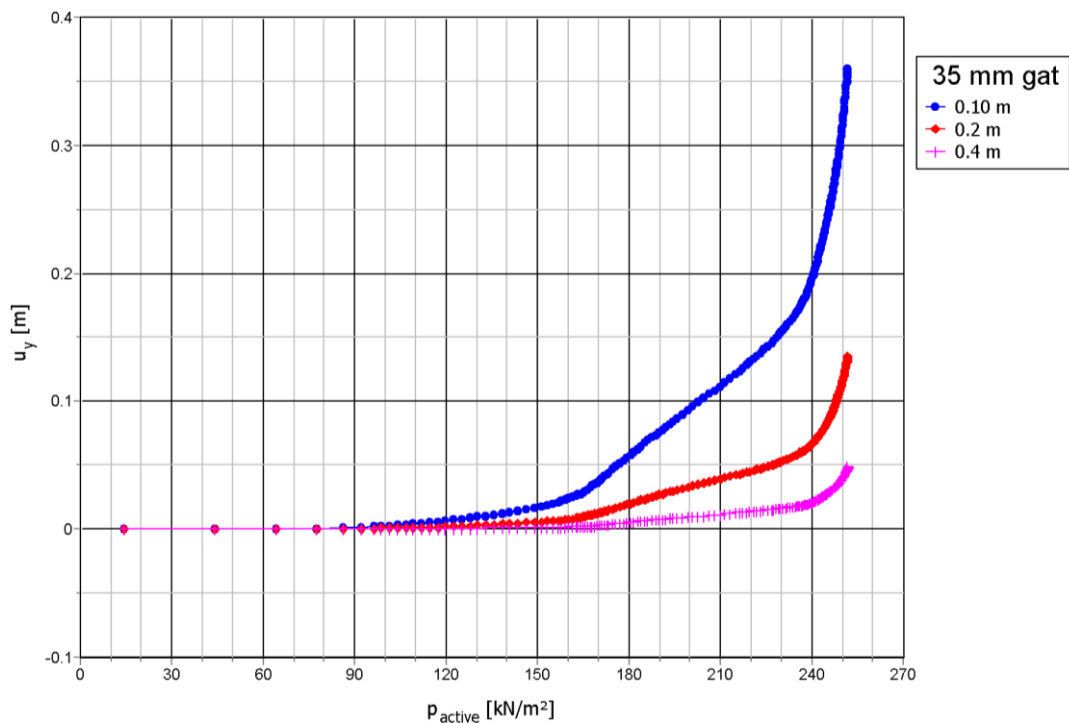
In basisgeometrie 2 is daarom op benaderende wijze ook de leiding en de grond onder de leiding gemodelleerd. Binnen een axiaalsymmetrische modellering is het echter niet mogelijk om de werkelijke leidingvorm te modelleren. Om pragmatische redenen is er gekozen voor een modellering van de leiding als een ronde buis in verticale richting, met een hoogte in asrichting van 1.2 m en met een straal van 0.3 m. De dekking van de grond boven de leiding is 1.0 m.



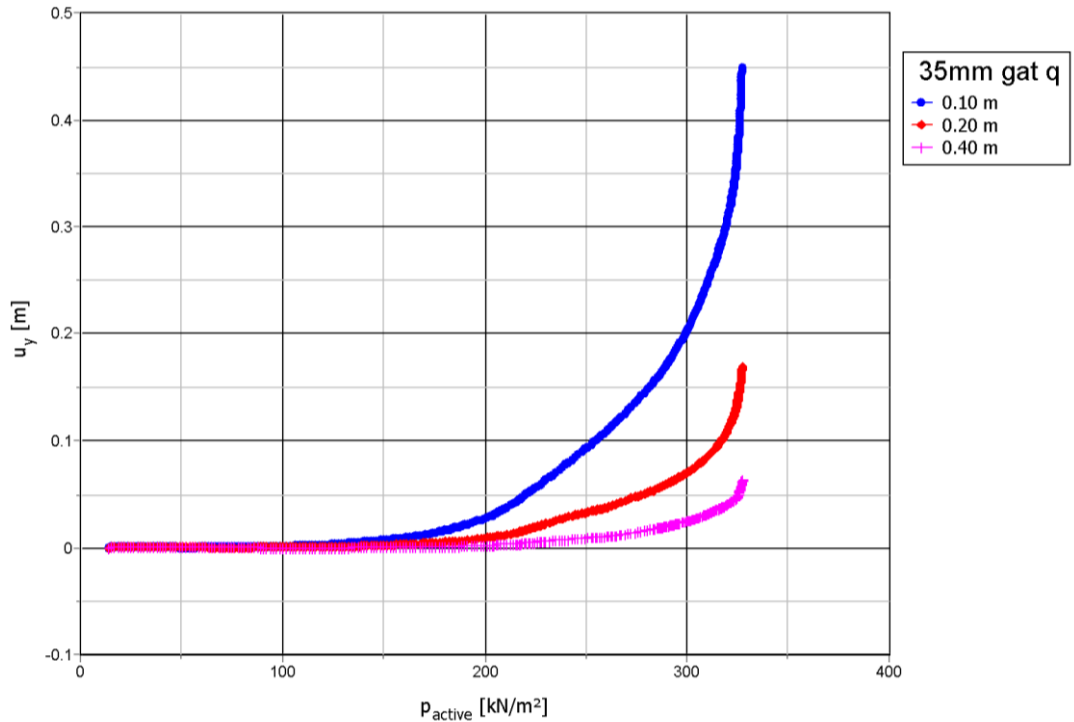
## 3 Resultaten

### 3.1 Invloed druk gestuurd of met specifiek opgelegd debiet

Met basisgeometrie 1 (cirkelvormig gat met een straal van 35mm) zijn op druk gestuurde (p-driven) en op specifiek debiet gestuurde (q-driven) simulaties uitgevoerd. In Figuur 3.1 en Figuur 3.2 worden per druk respectievelijk opgelegd debiet de resulterende verticale verplaatsingen ( $U_Y$ ) getoond op 0.1m, 0.2m en 0.4m boven het gat. ( $P_{ACTIVE}$ ) is de actieve gronddruk.



Figuur 3.1 Basisgeometrie 1: Verplaatsingen boven gat met straal  $r=35$  mm; p-driven analyse. (opgelegde druk)

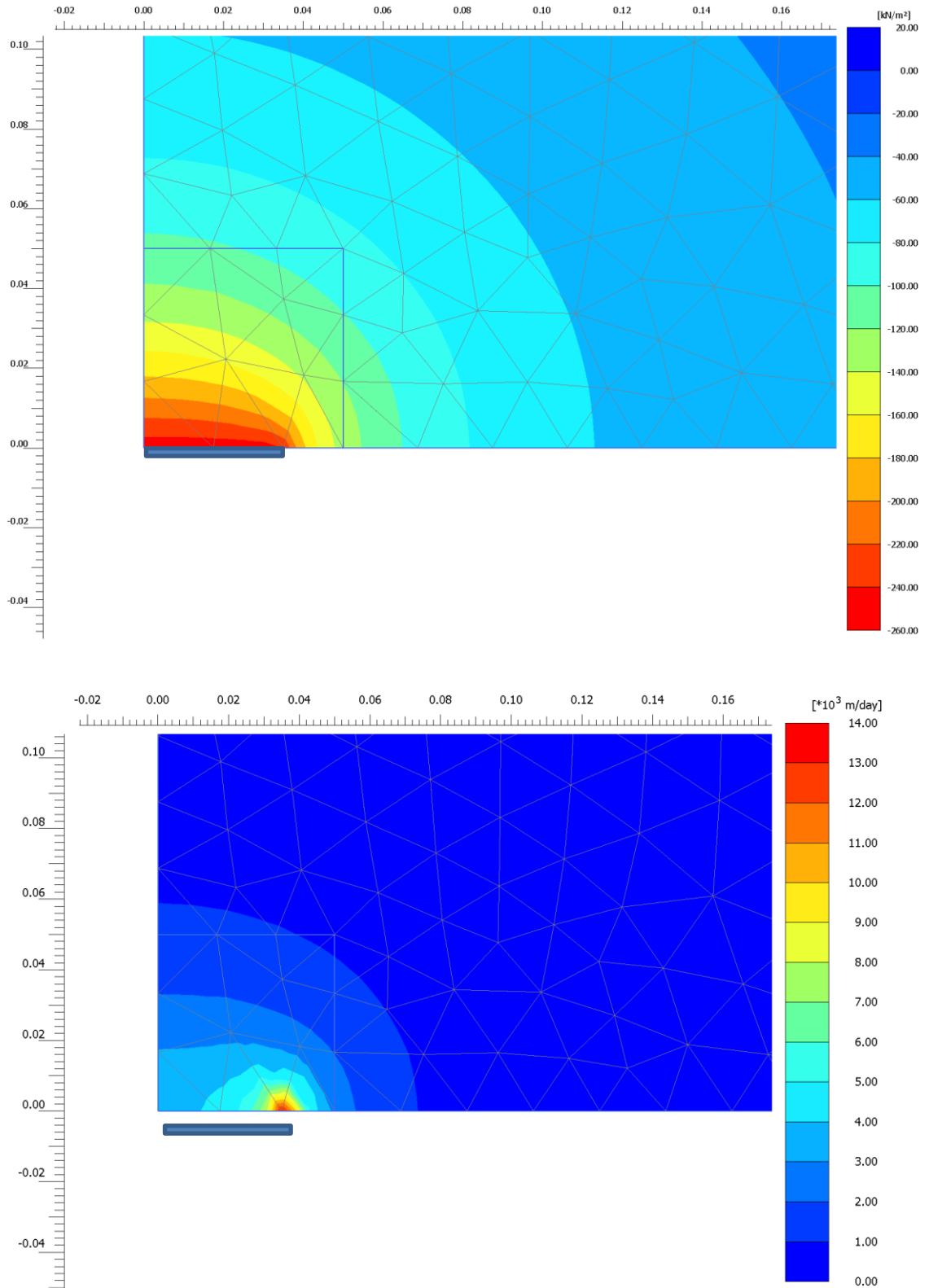


*Figuur 3.2 Basisgeometrie 1: Verplaatsingen boven gat met straal  $r=35$  mm; q-driven analyse (opgelegd debiet)*

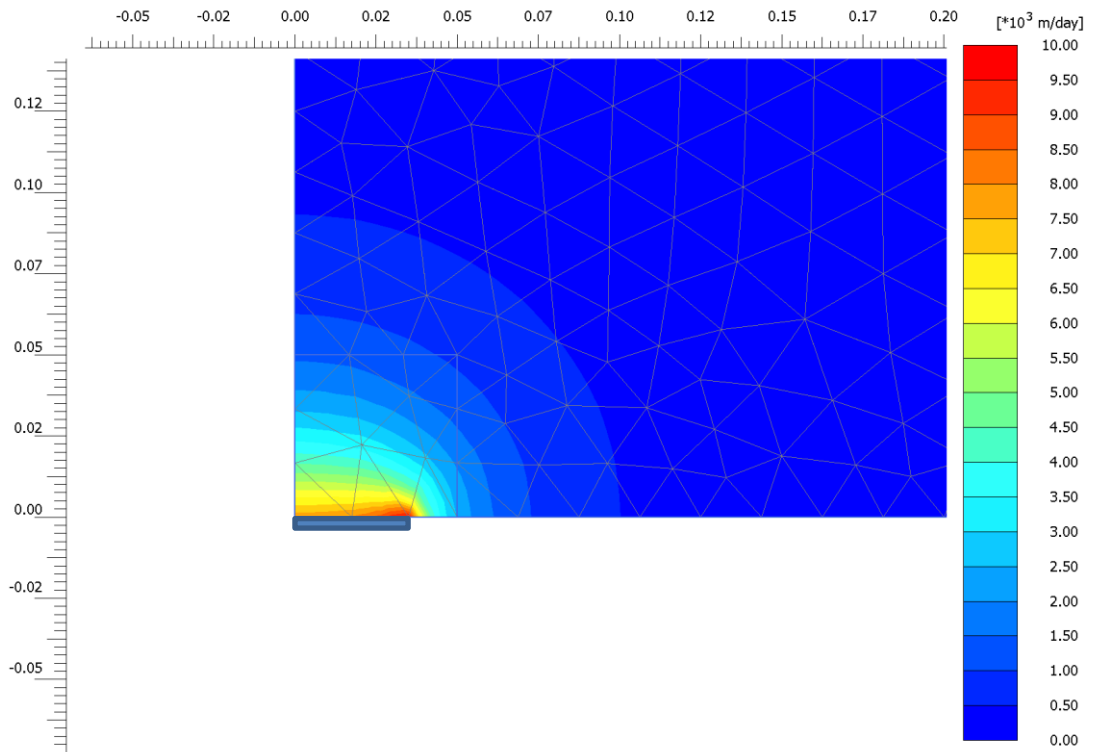
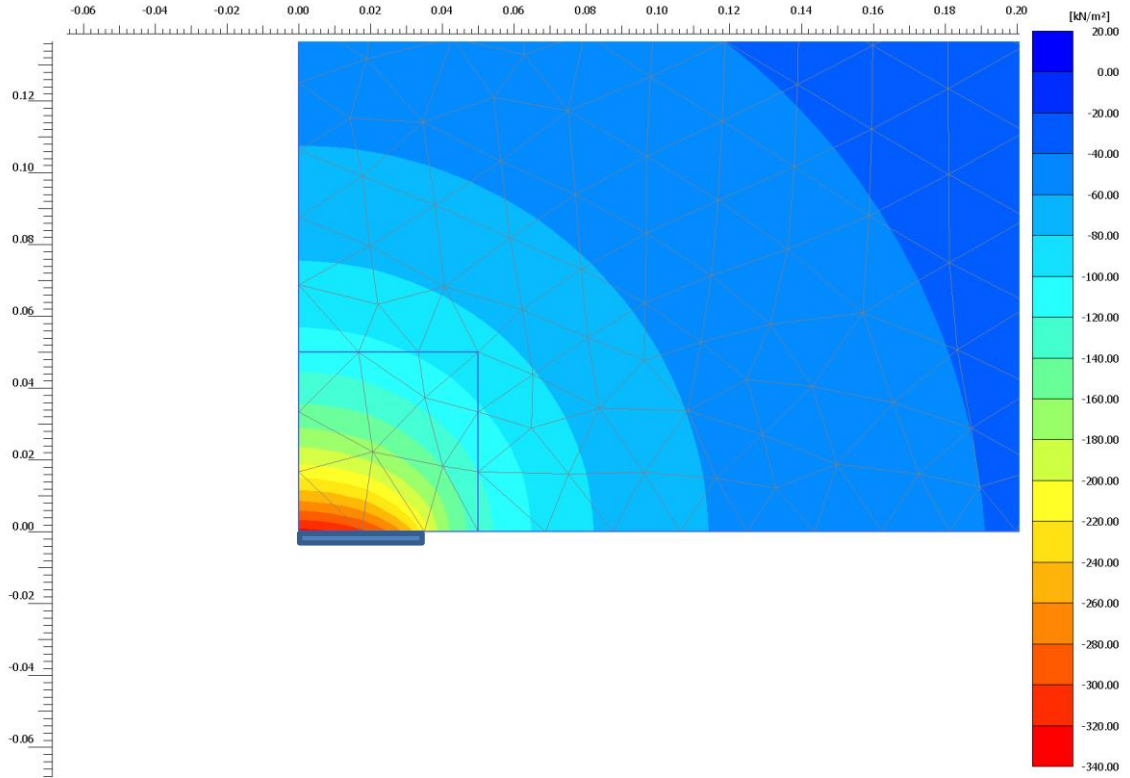
Het is duidelijk dat er rondom het gat grote vervormingen optreden. De verplaatsingen op het einde van de berekeningen zijn vergelijkbaar.

Uit Figuur 3.3 en Figuur 3.4 blijkt dat de verdeling van de waterdruk en het debiet rond het gat duidelijk verschillend is vanwege het verschil in de opgelegde randvoorwaarde. De simulatie met het opgelegde debiet lijkt het meest realistisch. Hier wordt een lokaal effect ter plaatse van het gat op de grondwaterdruk geconstateerd en is de lekkage stroming in de grond boven het gat gelijkmatig.





Figuur 3.3 Basisgeometrie 1: Detail grondwaterdruk (boven) en debiet (onder) bij p-driven simulatie. De locatie van het gat is links onder.



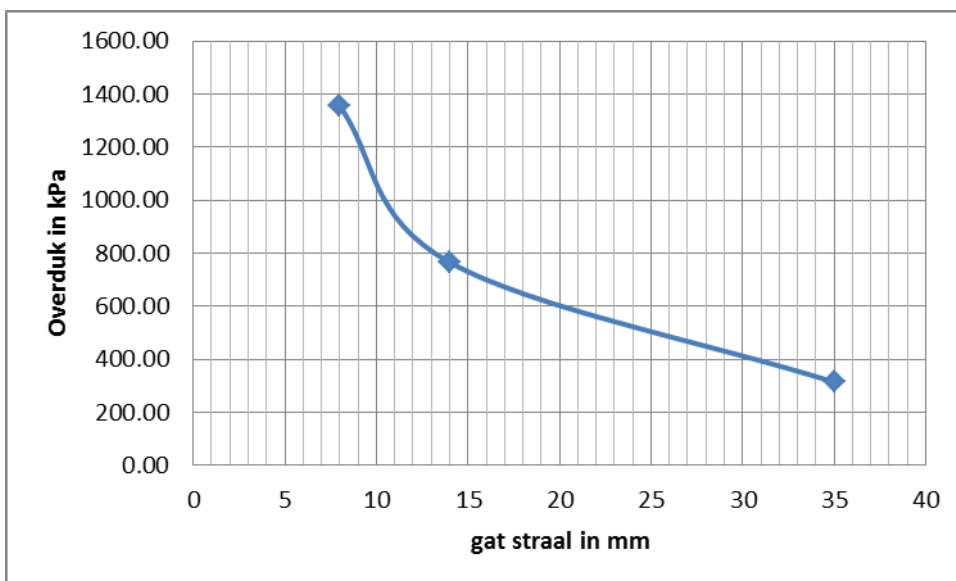
Figuur 3.4 Basisgeometrie 1: Detail grondwaterdruk (boven) en opgelegd debiet (onder) bij q-driven simulatie. De locatie van het gat is linksonder

### 3.2 Invloed gat-afmeting en doorlatendheid

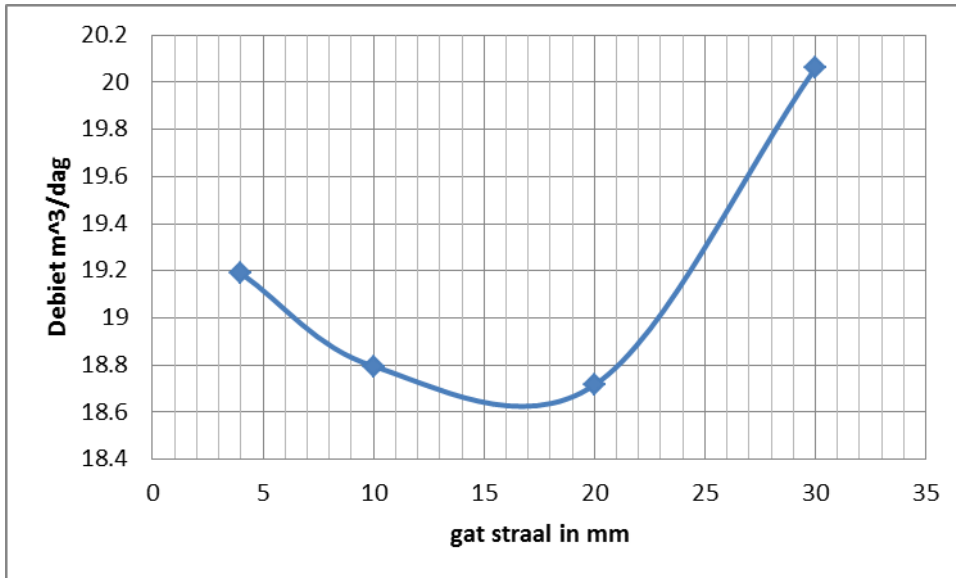
Er zijn een aantal analyses uitgevoerd met verschillende gat-afmetingen. De resultaten voor de twee geometrieën worden hierna weergegeven. Het kritieke debiet is onafhankelijk van de gatafmeting. Dit kritieke debiet heeft een waarde van rond de 30 m<sup>3</sup>/dag voor basisgeval 1 (1.4m dekking) en van 19 m<sup>3</sup>/dag voor basisgeval 2 (1.0m dekking). Dit is in de figuren 3.5 en 3.7 weergegeven. De maximale overdruk in het gat wordt wel door de gatgrootte beïnvloed. Dit is in de figuren 3.6 en 3.8 weergegeven.



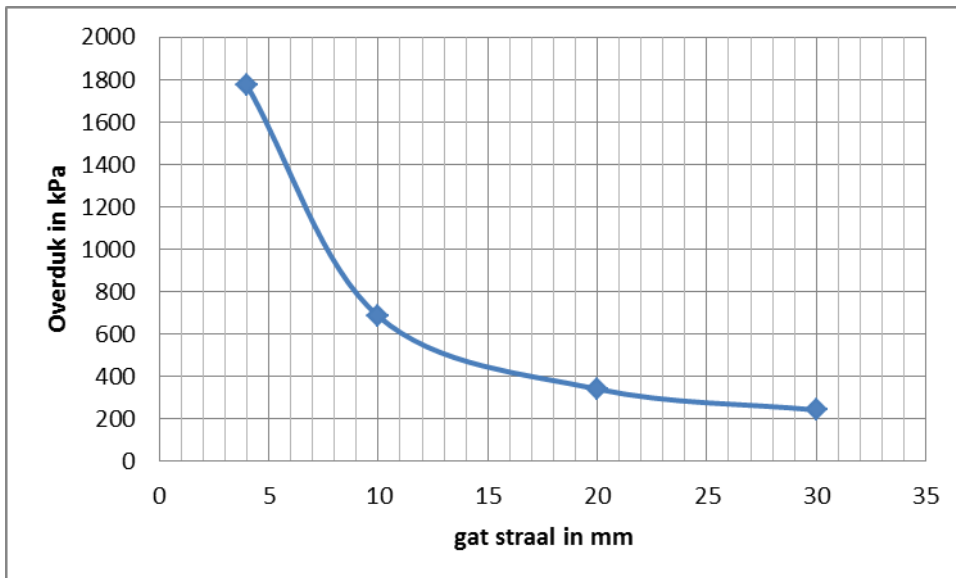
Figuur 3.5 Basisgeometrie 1: Debiet bij bezwijken als functie van de straal van het gat



Figuur 3.6 Basisgeometrie 1: Maximale overdruk in het gat bij bezwijken als functie van de straal van het gat

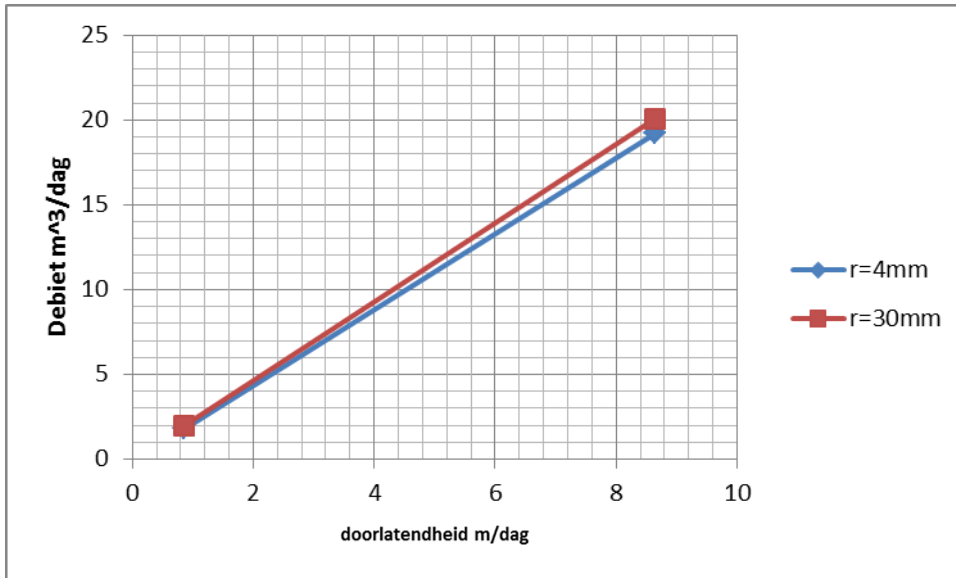


Figuur 3.7 Basisgeometrie 2: Debiet bij bezwijken als functie van de straal van het gat

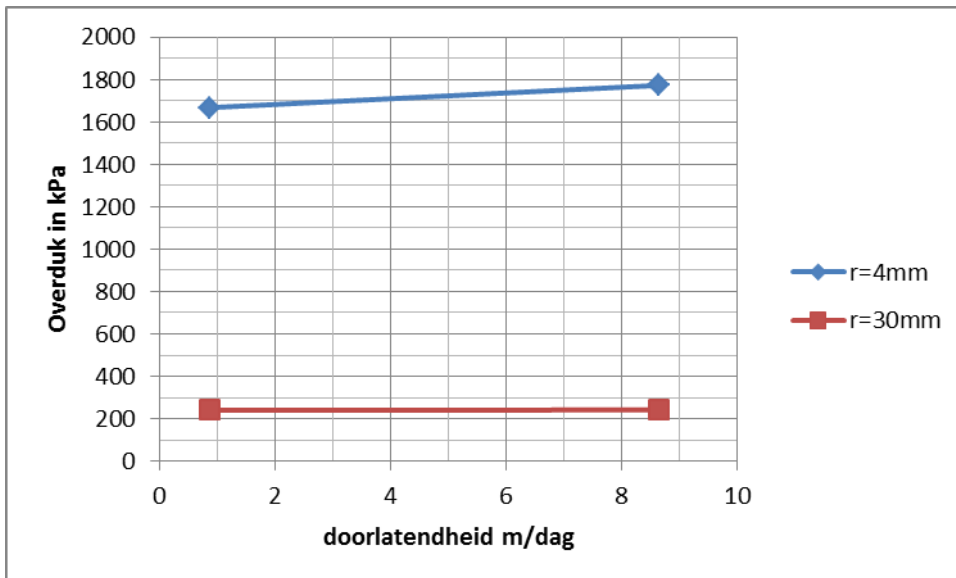


Figuur 3.8 Basisgeometrie 2: Maximale overdruk in het gat bij bezwijken als functie van de straal van het gat

Uit de volgende figuren blijkt dat de doorlatendheid van het zand van invloed is op het debiet bij bezwijken, maar niet op de waterdrukken bij bezwijken.



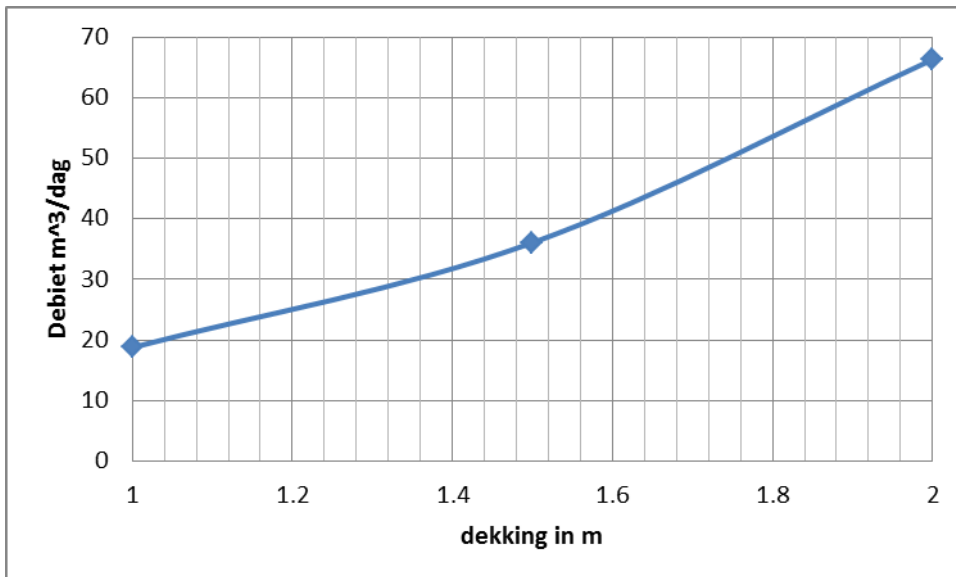
Figuur 3.9 Basisgeval 2: Debiet bij bezwijken als functie van de doorlatendheid



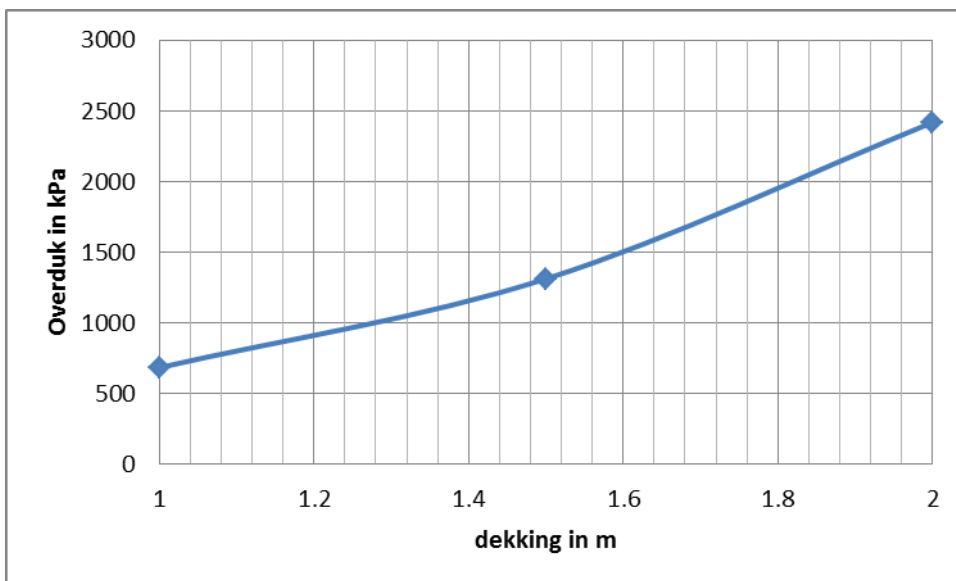
Figuur 3.10 Basisgeval 2: Maximale overdruk in het gat bij bezwijken als functie van de doorlatendheid

### 3.3 Invloed dekking

Om de invloed van de dekking te bestuderen zijn er analyses gemaakt voor een gat met een straal van 10 mm bij verschillende dekkingen. Steeds is aangenomen dat de freatische lijn overeenkomt met het maaiveld. Uit de volgende figuren blijkt dat het kritieke debiet en de kritieke waterdruk systematisch toenemen bij een grotere dekking.



Figuur 3.11 Basis geometrie 2: Debiet bij bezwijken als functie dekking bij gat-straal van 10mm

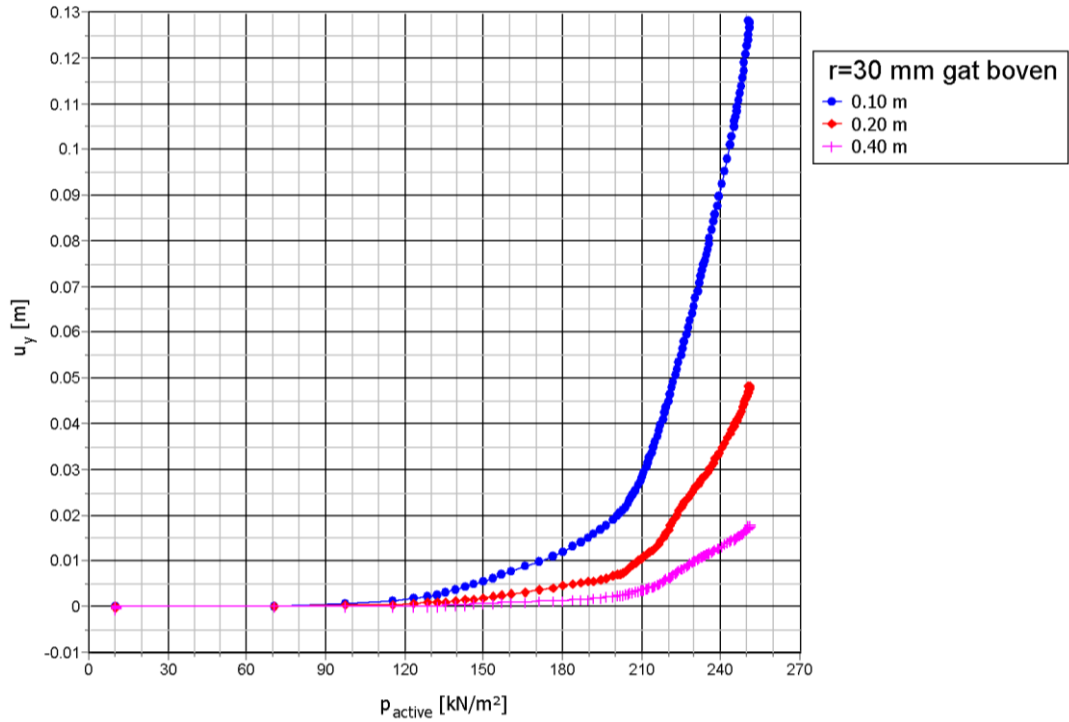


Figuur 3.12 Basis geometrie 2: Maximale overdruk bij bezwijken als functie dekking bij gat-straal van 10mm

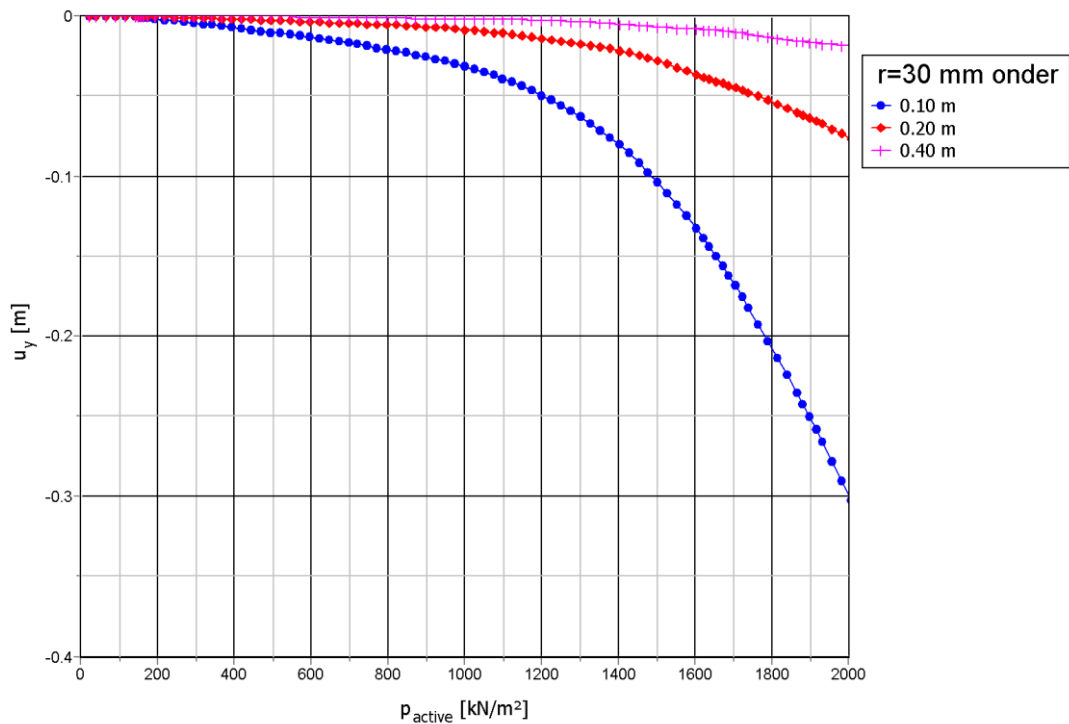
### 3.4 Invloed positie gat

Bij een axiaalsymmetrische modellering kan alleen een gat aan de bovenzijde of aan de onderzijde van de leiding worden gemodelleerd. In alle andere gevallen is er geen axiaalsymmetrie meer. Bij de analyse met een gat aan de onderzijde wordt geen bezwijken gevonden. Doordat het lek dieper zit zijn de spanningen hoger en bovendien wordt de grond onder de leiding weggedrukt. Dit levert hogere kritieke debieten en waterdrukken op. De waterdrukken en vervormingen worden zo groot dat niet meer van kleine vervormingen mag worden uitgegaan. In geval een gat met een straal 30mm geldt voor bezwijken aan de bovenzijde een kritiek debiet van 20 m<sup>3</sup>/dag en een kritieke druk van 250 kN/m<sup>2</sup> en voor de onderzijde vindt bij een debiet van 1140 m<sup>3</sup>/dag en een druk van 2000 kN/m<sup>2</sup> nog steeds geen

bezwijken plaats. Dit wil zeggen dat de kritische waarden nog hoger zullen zijn. Ligging van het gat aan de bovenzijde is dus maatgevend.



Figuur 3.13 Basisgeval 2: Verticale verplaatsingen bij het gat boven met straal van 30 mm



Figuur 3.14 Basisgeval 2: Verticale verplaatsingen bij het gat onder met straal van 30 mm

### **3.5 Gebruik van berekeningsresultaten**

Bij het gebruik van de hiervoor beschreven resultaten van de Plaxis berekeningen voor de dijk kruising Gorinchem - Waardenburg is het noodzakelijk naar de variatie in de aanwezige dekking op de waterleiding te kijken. Er blijken twee gronddekkingen voor te komen. Een normale gronddekking van ongeveer 1.0 m en een grote gronddekking van ongeveer 2.5 m. De werkdruk in de leiding bedraagt 6 bar.

Bij beschouwing van een gronddekking van 1.0 m bevindt de as van de leiding zich op 1.6 m beneden maaiveld. Deze diepte is vergelijkbaar met de diepte van 1.4 m waarvoor een Plaxis berekening is uitgevoerd. Door te interpoleren in Figuur 3.6 kan worden vastgesteld dat de kritische gatgrootte een straal van 19 mm heeft bij een overdruk van 600 kPa. Deze gatgrootte geldt dan voor de projectie op het horizontale vlak.

Bij een grotere gronddekking van 2.5 m bevindt de as van de leiding zich op 3.1 m beneden maaiveld. Deze diepte is groter dan in de Plaxis berekeningen die zijn uitgevoerd. Door te extrapoleren in de gegeven Figuren 3.6 en 3.8 wordt de kritische gatgrootte bepaald als een straal van 49 mm.



## 4 Conclusies

De eindige-elementenanalyses laten zien dat de overgang van een sluipend naar een gapend lek kan worden beschreven als functie van het uitstromend debiet. Bij een gegeven kritiek debiet neemt de kritieke waterdruk in het gat af naarmate de gatafmeting toeneemt. Een ligging van het gat aan de bovenzijde is maatgevend, zolang de omringende grond homogeen is. Het kritieke debiet waarbij bezwijken optreedt neemt af als de gronddekking afneemt of wanneer de doorlatendheid afneemt.

In de betreffende dijk kruising is de dekking enigszins variabel. Er zijn twee gronddekkingen te onderscheiden, een geringe dekking van 1 m en een grote dekking van 2.5 m. Voor deze twee dekkingen zijn uit de beschreven berekeningen de omstandigheden bepaald waarbij grond bezwijken optreedt en er dus sprake is van de overgang van een sluipend naar een gapend lek. Bij 1 m dekking bedraagt de gatdiameter waarbij een sluipend lek overgaat in een gapend lek 38 mm. Bij een grotere dekking van 2.5 m bedraagt de gatdiameter waarbij een sluipend lek overgaat in een gapend lek 98 mm.

## H Monitoring

Onderstaande notitie opgesteld door DNV-GL beschrijft de mogelijkheden van conditie monitoring van leidingen als de in deze studie beschouwde:

*DNV GL (2019). Corrosie monitoring en lekdetectie bij watertransportleidingen in dijklichaam. DNV GL rapport: OGNL.177197.*

---

---

---

MONITORING GOWA TRANSPORTWATERLEIDING

DNV·GL

# Corrosiemonitoring en lekdetectie bij watertransportleiding in dijklichaam

**Hoogheemraadschap van Delfland**

**Report No.:** OGNL.177197

**Date:** 04-12-2019



Project name: Monitoring GoWa transportwaterleiding  
 Report title: Corrosiemonitoring en lekdetectie bij watertransportleiding in dijklichaam  
 Customer: Hoogheemraadschap van Delfland, Postbus 3061 2601 DB DELFT  
 Customer contact: W. van der Vliet  
 Date: 04-12-2019  
 Project No.: 10141873  
 Organization unit: Asset Integrity Management  
 Report No.: OGNL.177197  
 Applicable contract(s) governing the provision of this Report:

DNV GL Netherlands B.V.  
 Oil and Gas  
 Energieweg 17  
 9743 AN Groningen  
 Tel: +31 (0)6 1528 9995  
 09006404

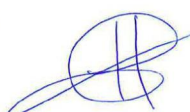
Objective:

Prepared by:



V. Monsma

Verified by:



H. Top

Approved by:



R. van der Spek

Copyright © DNV GL 2019. All rights reserved. Unless otherwise agreed in writing: (i) This publication or parts thereof may not be copied, reproduced or transmitted in any form, or by any means, whether digitally or otherwise; (ii) The content of this publication shall be kept confidential by the customer; (iii) No third party may rely on its contents; and (iv) DNV GL undertakes no duty of care toward any third party. Reference to part of this publication which may lead to misinterpretation is prohibited. DNV GL and the Horizon Graphic are trademarks of DNV GL AS.

DNV GL Distribution:

- Unrestricted distribution (internal and external)
- Unrestricted distribution within DNV GL Group
- Unrestricted distribution within DNV GL contracting party
- No distribution (confidential)

Keywords;

lekdetectie, waterleiding, leak detection, dijk

Rev. No.	Date	Reason for Issue	Prepared by	Verified by	Approved by
	04-12-2019		V. Monsma	H. Top	R. van der Spek

## SAMENVATTING

De Project Overstijgende Verkenningen (POV) Kabels & Leidingen van het Hoogwaterbeschermingsprogramma werkt aan producten, aan nieuwe kennis en aan het verbinden van werelden van netbeheerders en waterkering beheerders. In het kader van de POV Kabels & Leidingen heeft DNV GL een onderzoek uitgevoerd om inzicht te krijgen in de bestaande technieken waarmee de actuele wanddikte van stalen waterleidingen in een dijklichaam kunnen worden gedetecteerd. Vervolgens heeft DNV GL een overzicht van de mogelijke lekdetectietechnieken voor dergelijke leidingen in kaart gebracht, om de lekkages in het dijklichaam snel en op tijd te kunnen detecteren. De opdracht heeft betrekking op de inventarisatie en een beschrijving van methoden van monitoring, die zijn gericht op de detectie van:

- Actuele wanddikte door inwendige en/of uitwendige corrosie
- Lekkage als gevolg van een scheur of een klein of groot gat in de leiding

In deze studie is gebleken dat een beperkt aantal monitoring technieken voor lekdetectie in olie- en gasleidingen inzetbaar is voor stalen watertransportleidingen. Het ontbreekt aan goede normering op dit gebied en met de verschillende technieken zou meer ervaring moeten worden opgedaan om deze op het niveau van "proven technology" te krijgen.

Voor pigable waterleidingen zijn "proven" technieken voorhanden welke regulier binnen de olie- en gaswereld worden toegepast, te weten de MFL-pig en de US-pig. Bij watertransportleidingen ontbreekt deze periodieke verificatie veelal en is in feite sprake van een ontbrekende barrière. Detectie nauwkeurigheden van de MFL- en US-pig zijn goed bekend en er is een norm aanwezig welke door operators van buisleidingen aan een pigging contractor kan worden voorgeschreven. ART (Acoustic Resonance Technology) technologie wordt met succes toegepast voor de inspectie van waterleidingen en warmtenetten. Opgemerkt moet worden dat bij deze technieken inwendige cementcoating een mogelijke beperking zou kunnen zijn.

Verder technieken op basis van ultrasoon, met name Echopulse en Guided Waves kunnen als aanvulling op bestaande technieken worden gebruiken voor de actuele wanddiktemetingen. Met deze techniek kunnen ondergrondse leidingen met beperkte toegang goed worden gemeten. Echter deze technieken hebben een aantal beperkingen. Met de Echopulse kunnen niet goed ontluchte waterleidingen niet worden gemeten. Voor Guided Waves zijn de gangbare diameter beperkt (DN50-DN600). Voor grotere diameters is namelijk geen apparatuur aanwezig.

Wat betreft de monitoring van de actuele conditie van GoWa leiding zou een combinatie van inwendige technieken zoals ultrasoon (bijvoorbeeld een smart bal voor lekdetectie) en elektromagnetisch (bijvoorbeeld PipeDrive of See Snake voor wanddikte, corrosie en spanning) een ideale oplossing zijn. Groot voordeel van deze benoemde technieken is dat de leiding in gebruik blijft en niet piggable hoeft te worden gemaakt. Deze technieken zijn specifiek voor watersector ontwikkeld en vormen daarom geen risico's voor de waterkwaliteit.

Voor de lekdetectie heeft ook de DTS (Distributed Temperature Sensing) veel potentie. Groot voordeel van deze technieken is dat de leiding in gebruik blijft. De metingen worden aan de buitenkant van de leiding uitgevoerd, daarbij is dus geen risico's voor de waterkwaliteit aanwezig.

De selectie van de technieken moet echter altijd gebeuren met inachtneming van de concrete situatie. Een goede selectie hangt onder meer af van eventuele risico's voor de drinkwaterkwaliteit, de toegankelijkheid van de leiding, de kwaliteit van de gewenste resultaten, de kosten, uitvoerbaarheid, omgeving en onderhoud.

**Tabel 1: Evaluatie mogelijke detectietechnieken voor GoWa waterleiding**

	<b>Opmerkingen</b>	<b>Indicatie nauwkeurigheid voor kleine lekken</b>	<b>Kosten</b>
<b>Lekdetectie</b>			
<b>Optische vezel (DTS)</b>	Komt niet in contact met water Relatief snelle lekdetectie Exacte lek-locatie Aandacht voor goede aanleg	+	--
<b>Smart ball</b>	Specifiek voor waterleiding Relatief snelle lekdetectie Exacte Lek-locatie Kan ook wandikte monitoren	++ 0.1 liter/min ±3 m detectie nauwkeurigheid	-
<b>Wandikte metingen</b>			
<b>SeeSnake</b>	Specifiek voor waterleiding Relatief snelle lekdetectie Exacte Lek-locatie Kan ook wandikte monitoren	++ 0.1 liter/min ±3 m detectie nauwkeurigheid	--
<b>PipeDrive</b>	Specifiek voor waterleiding Relatief snelle lekdetectie Exacte Lek-locatie Kan ook wandikte monitoren	++ 0.1 liter/min ±3 m detectie nauwkeurigheid	--

Alvorens een bepaalde techniek daadwerkelijk te gaan toepassen, wordt aanbevolen een nadere evaluatie van de meest belovende technieken te doen inclusief een praktijkproef. Tevens wordt aanbevolen voor dit soort technieken een norm op te stellen analoog aan die voor intelligent pigging voor olie- en gasleidingen op basis waarvan het waterleidingbedrijf opdracht kan geven aan een gespecialiseerde contractor.



## Inhoudsopgave

SAMENVATTING.....	2
1 INLEIDING.....	5
1.1 Algemeen	5
1.2 Aanpak	6
2 MONITORING VAN LEIDINGINTEGRITEIT IN DIJKLICHAAM .....	6
3 LEKDETECTIE TECHNIEKEN OLIE- EN GAS LEIDINGEN .....	8
4 OVERZICHT VAN BESTAANDE TECHNIEKEN DETECTIE ACTUELE WANDDIKTE .....	9
4.1 Destructief onderzoek	10
4.2 Inwendig onderzoek van de actuele wanddikte	10
4.3 Uitwendig onderzoek van wanddikteafname	15
4.4 Inspectietools vergelijking	17
5 OVERZICHT VAN BESTAANDE LEKDETECTIETECHNIEKEN .....	18
5.1 Continue lekdetectie	18
5.2 Discontinue lekdetectie	21
5.3 Lekdetectievergelijking	24
6 EVALUATIE TECHNIEKEN VOOR WATERLEIDINGEN .....	25
7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....	28
8 REFERENTIES.....	30

# 1 INLEIDING

## 1.1 Algemeen

De Projectoverstijgende Verkenningen (POV) Kabels & Leidingen van het Hoogwaterbeschermingsprogramma werkt aan producten, aan nieuwe kennis en aan het verbinden van werelden van netbeheerders en waterkering beheerders. Eén van de onderzoeksvragen is de bepaling van de toename van de faalkans van een waterkering als gevolg van het falen van een waterleiding in of nabij deze kering. Onderdeel daarvan is de faalkans en het effect van leiding falen in en nabij waterkeringen. Bij falen van een waterleiding kan bijvoorbeeld de stabiliteit van de waterkering worden beïnvloed door aanwezigheid van een erosiekrater als gevolg van een leidinglek/-breuk, of kan verzadiging van de waterkering optreden door een kleiner lek in de waterleiding. Bij de bepaling van de faalkans van de leidingen is naast de sterkte en de beschikbare casuïstiek van incidenten ook inzicht nodig in de invloed van het beheer en onderhoud van leidingen in het algemeen en inspectie/monitoring in het bijzonder.

In het kader van het Hoogwaterbeschermingsprogramma heeft DNV GL een onderzoek uitgevoerd naar de toepassing van de bestaande technieken voor conditiebepaling en lekdetectie van olie- en gasleidingen voor waterleidingen. Hierbij moet worden gedacht aan technieken om de wanddikte van stalen waterleidingen en de dikte van corrosielagen vast te stellen en aan technieken om lekkages te detecteren.

De opdracht heeft betrekking op de inventarisatie en beschrijving van geschikte methoden van monitoring van de kruising van de stalen ruw watertransport leidingen GoWa-Dunea met primaire waterkeringen, en is gericht op:

- detectie van de actuele wanddikte als gevolg van inwendige en/of uitwendige corrosie,
- lekdetectie.

Daarbij dient onderscheid te worden gemaakt in destructieve en niet-destructieve methoden.

De opdracht betrof een kort overzicht (tabelvorm) van wanddikte monitoring en lekdetectie technieken in de olie- en gasindustrie en een nadere uitwerking van de geschikte technieken voor drinkwatertransport.

Opgemerkt wordt dat monitoring van graafwerkzaamheden niet wordt behandeld omdat dit minder geldt voor een leiding in een dijk (zie Handleiding BEVB voor toe te passen reductiefactor op faalkans ten gevolge van graafwerkzaamheden). De faalkans door corrosie vormt dan veruit de grootste kans.

In het kader van deze studie worden de termen monitoren, detectie en inspectie veelvuldig gebruikt. Onderstaand wordt de betekenis van deze termen in het kader van deze studie nader toegelicht;

- Monitoren: Monitoren is het continu in de gaten houden van processen. Bij monitoren wordt vastgesteld in hoeverre van de te monitoren ontwerpcondities wordt afgeweken. Aan de hand van monitoren kan het proces worden aanpast en een nieuwe richting worden geven. Monitoren wordt gedaan om het beste resultaat te bewerkstelligen.

- Detectie: Detectie is het selectief waarnemen van een signaal of ander natuurkundig verschijnsel.

- Inspectie: Inspectie is het onderzoek van de toestand. Het kijken of iets in orde is.



## 1.2 Aanpak

DNV GL heeft een studie uitgevoerd naar bestaande technieken op basis van eigen kennis en literatuuronderzoek. Met deze gegevens is een overzicht gemaakt van de kenmerken van deze verschillende technieken. Deze technieken zijn met elkaar vergeleken en geordend naar geschiktheid zoals de gevoeligheid, snelheid, betrouwbaarheid, kosten en robuustheid.

DNV GL heeft het volgende uitgevoerd om tot het gewenste resultaat te komen:

- Als eerste is een literatuurstudie en marktverkenning uitgevoerd waarin de beschikbare technieken in kaart zijn gebracht met hun werkingsprincipe (bijvoorbeeld ultrasoon, magnetisch, geluid, temperatuur etc.).
- Vervolgens heeft DNV GL ervaringen en expertise binnen haar eigen organisatie bij elkaar gebracht (achtergrondrapportages, testrapporten, DNV GL Recommended Practices en referenties). Deze documenten zijn bestudeerd en geanalyseerd;
- De inhoud van deze documenten is samengevat en vergeleken. Tevens zijn er aanbevelingen gedaan over de praktische bruikbaarheid van de verschillende technieken en waar mogelijk is een indicatie gegeven van de detectiekans in relatie tot water;
- Het meest geschikte en veelbelovende methoden van monitoring en detectie van kruising van GoWa-Dunea leiding met primaire waterkeringen zijn in kaart gebracht.

## 2 MONITORING VAN LEIDINGINTEGRITEIT IN DIJKLICHAAM

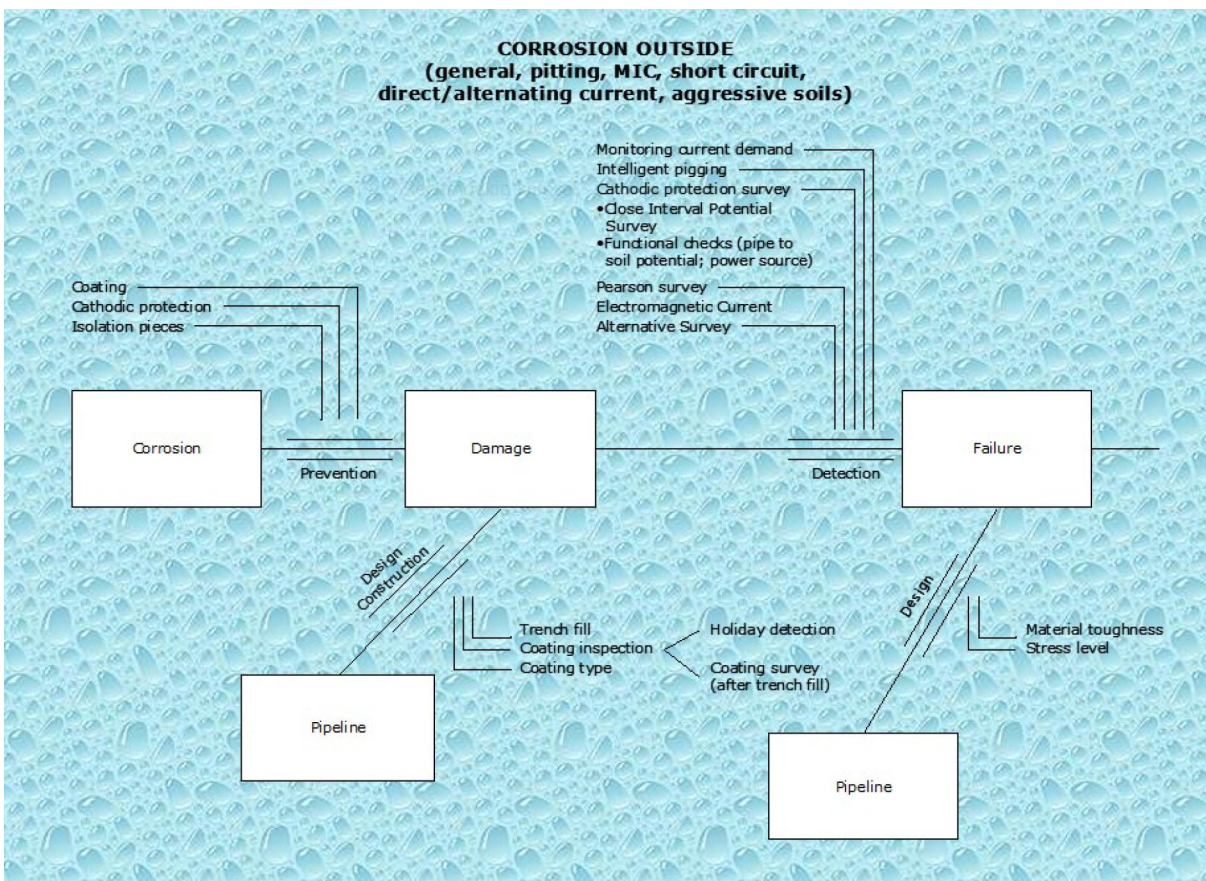
Voor de kruising van watertransport leidingen met primaire waterkeringen, kan uit het TNO-rapport “Faalkans leiding ten behoeve van Referentieproject GoWa-Dunea voor POV Kabels en Leidingen” (ref) worden geconcludeerd dat inwendige corrosie een belangrijk degradatiemechanisme is en daardoor een grote invloed heeft op de faalkans van een waterleiding. Corrosie gaat meestal gepaard met wanddikteverlies van de leiding en is één van de meest belangrijke oorzaken van lekkende leidingen. Om externe corrosie en lekkages te voorkomen moeten leidingen voorzien zijn van kathodische bescherming en bekleed zijn met coating (Nb. ontwerp, aanleg, de ingebruikname en het in stand houden van KB-systemen voor ondergrondse leidingen op het land moeten geschieden volgens NEN-EN 12954). De conditie van de coating en de werking van de kathodische bescherming moeten worden gemonitord. Daarnaast zouden leidingen regelmatig inwendig moeten worden geïnspecteerd. Interne corrosie kan optreden in leidingen waarin water aanwezig is. Op basis van de inspectie resultaten kan vervolgens het inspectieprogramma worden opgesteld.

Dit zijn de zogenaamde barrières:

- Adequate coating en kathodische bescherming;
- Bewaking van de conditie van coating en kathodische bescherming;
- Monitoring van de wanddikteafname;
- Lekdetectie.

Als de barrière wordt gepasseerd betekent het dat de betreffende maatregel niet werkt en dat de gebeurtenis welke door de maatregel voorkomen moest worden, plaats kan vinden. De basis hiervoor is James Reason zijn Swiss Cheese Model ([https://en.wikipedia.org/wiki/Swiss\\_cheese\\_model](https://en.wikipedia.org/wiki/Swiss_cheese_model)) en TriPod ([https://en.wikipedia.org/wiki/Tripod\\_Beta](https://en.wikipedia.org/wiki/Tripod_Beta)) ontwikkeld door de universiteiten van Leiden en Manchester (Wagenaar en Reason) in opdracht van Shell. TriPod vormt verder de basis voor BowTie en BowStar.

In referentie /9/ is dit uitgewerkt voor gastransportleidingen (voor uitwendige corrosie). Figuur 1 geeft hiervan een schematisch overzicht. Er kan met dit overzicht gekeken worden of alle vereiste maatregelen aanwezig zijn (indien dit niet het geval is, is sprake van een ontbrekende barrière) of dat maatregelen moeten worden toegevoegd om het betrouwbaarheidsniveau of veiligheidsniveau te verhogen. De figuur zou aangepast kunnen worden voor watertransportleidingen. Dit behoort echter niet tot de scope van deze studie en is bedoeld ter illustratie. Om geen ontoelaatbare lekkage te krijgen moeten meerdere barrières worden gepasseerd. Daarbij moet worden aangetekend dat bij geen van de barrières de werking 100% is. Met dit soort schema's en als de betrouwbaarheid van de verschillende maatregelen bekend zijn kan een betrouwbaarheidsanalyse van de veiligheid van de leidingen verder worden aangevuld.



**Figuur 1: Lekkage bewaking**

### 3 LEKDETECTIETECHNIEKEN OLIE- EN GASLEIDINGEN

In de volgende tabel zijn de lekdetectie monitoringmethodes voor olie en gas met hun voor- en nadelen ter informatie weergegeven. De tabel is afkomstig van "Leak Detection Study – DTPH56-11-D000001" van Kiefner and Ass. Voor meer uitleg wordt verwezen naar ref. 11. In deze tabel worden technieken met een detectie van meer dan 1% buiten beschouwing gelaten. In de onderdelen 1 t/m 7 wordt de fysische methode aangegeven. In i t/m iii wordt de methode van installeren aangegeven.

**Tabel 2: Evaluatie bestaande lekdetectie technieken voor olie- en gasleidingen**

	Methode	Voordeel	Nadeel
1	Akoestisch	Zeer gevoelig. Kan lek locatie vinden.	Vereist een zorgvuldig "op maat" ontwerp.
2	Koolwaterstof Sensing Optische Glasvezel	Betrouwbaar. Kan worden ingezet op verschillende manieren, zelfs als een punt sensor.	Gelimiteerde beschikbaarheid.
3	Temperatuur Optische Glasvezel	Heel eenvoudig, overal verkrijgbaar. Nauwkeurige leklocatie.	Lange kabels. Gevoelig voor alle spanningen en temperatuurveranderingen
4	Liquid Sensing Kabel	Heel eenvoudig, overal verkrijgbaar. Nauwkeurige leklocatie. Kan worden gebruikt voor korte secties.	Moet fysiek dichtbij bij de leiding geplaatst zijn.  Kabel (geen elektronica) moet worden vervangen na een lek.
5	Gas Sensing Buis	Zeer gevoelig, snelle detectie leklocatie.	Veel onderhoud. Kans op vals alarm in verband met hoge gevoeligheid. Buis moet direct bij de leiding geplaatst zijn
6	Gas Sensoren	Heel eenvoudig, overal verkrijgbaar.	Locatieafhankelijk. Kans op valse alarmen  Veel onderhoud voor online versie
7	Optische systemen	Heel eenvoudig, overal verkrijgbaar.  Zeer goede gevoeligheid en leklocatie.	Moet strategisch worden geplaatst  Vereist digitale signaalverwerking om de koolwaterstoffen te identificeren
a	Instrumentatie aan de leiding	Betrouwbaar en gevoelig.	Gelimiteerd door leiding locatie en configuratie

b	Puntsensoren	Zeer eenvoudig te installeren.	Moet strategisch worden geplaatst Potentieel veel sensoren nodig voor volledige dekking.
c	Kabelsensoren	Leklocatie detectie. Hoge gevoeligheid wanneer geplaatst op de leiding zelf.	Duur bij plaatsing op bestaande leiding
d	Draagbare / portatieve tools	Geen installatievereisten.	Alleen voor periodiek gebruik, als onderdeel van een inspectieprogramma
e	Inwendige tools	Zeer betrouwbare detectie.	Alleen voor periodiek gebruik, als onderdeel van een inspectieprogramma Niet alle leidingen zijn geschikt voor deze tools.
i	Permanente Installatie/ Continue meting	Continue, online lekdetectie.	Vereist SCADA of andere software.
ii	Permanente Installatie/ periodieke meting	Heel eenvoudig te installeren.	Alleen voor periodiek gebruik, als onderdeel van een inspectieprogramma.
iii	Periodiek of on demand gebruik	Geen installatievereisten.	Alleen voor periodiek gebruik, als onderdeel van een inspectieprogramma.

## 4 OVERZICHT VAN BESTAANDE TECHNIEKEN DETECTIE ACTUELE WANDDIKTE

Voor het inspecteren van stalen leidingen bestaan verschillende technieken die zijn onder te verdelen in Destructief Onderzoek (DO) en Niet Destructief Onderzoek (NDO). Bij destructief onderzoek wordt het te beproeven materiaal opzettelijk kapot gemaakt en vervolgens getest. Bij niet-destructief onderzoek blijft het te beproeven materiaal altijd intact. Niet Destructief Onderzoek kan worden onderverdeeld in inwendig en uitwendig onderzoek. Om de oorzaak van corrosie te bepalen is metallurgisch onderzoek het meest effectief en betrouwbaar, maar door het destructieve karakter daarvan niet altijd mogelijk of wenselijk. In dat geval is er een brede range aan niet-destructieve technieken ter beschikking die kunnen worden ingezet om de leiding te onderzoeken. Er zijn diverse technieken voor het inspecteren van stalen transportleidingen in de gas- en oliesector beschikbaar. De technieken voor deze stalen leidingen zijn in principe voor een deel bruikbaar voor stalen waterleidingen zoals blijkt uit het voorgaande hoofdstuk. De keuze van een techniek is afhankelijk van wat gemeten moet worden (deuk, corrosie of scheur), het transportmedium (water, olie, gas), het leidingmateriaal (staal, kunststof), constructie (type bochten, afsluiters en appendages), de omgeving (binnen/buiten bebouwde kom, type grond). Met bovenstaande in gedachten kan een afweging worden gemaakt voor de toegepaste inspectie methode. In de volgende paragraaf zullen alleen technieken worden beschreven die voor watertransportleidingen kunnen worden toegepast.

## 4.1 Destructief onderzoek

Destructief onderzoek houdt in dat het te beproeven materiaal opzettelijk kapot gemaakt wordt om zo een aantal parameters te kunnen meten. Er zijn verschillende soorten destructief onderzoek zoals bijvoorbeeld impacttesten, vermoeingstesten, hardheidsproeven, rekttesten, testen ter bepaling van breukmechanische parameters of materiaal voor microscopisch onderzoek. In de meeste gevallen is het niet wenselijk dat er destructief onderzoek plaatsvindt vanwege het feit dat een leiding niet uit bedrijf kan of mag. In het geval er bij een verlegging of modificatie materiaal vrijkomt was het altijd gebruikelijk dat er een aantal standaardtesten werden gedaan waarmee de materiaaldatabase van het bedrijf werd gevuld. In dit rapport zal daar niet verder op in worden gegaan.

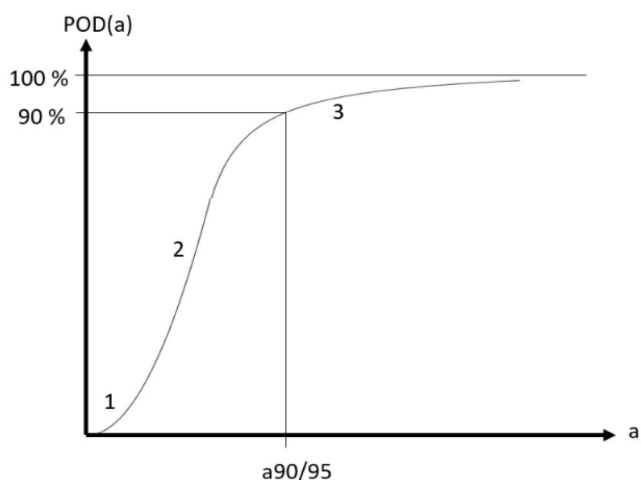
## 4.2 Inwendig onderzoek van de actuele wanddikte

Inwendig onderzoek van een pijpleiding wordt van binnenuit door middel van een tool uitgevoerd, die gegevens verzamelt over de toestand van de leiding. Hiervoor bestaan drie gangbare tools:

1. Pigging: Voortbeweging van de pigs vindt plaats door middel van voortstuwing (verschuldruk) door het product in de leiding;
2. Inspectietools: deze tools kunnen zelfstandig door de leiding zwemmen;
3. Robotics: Deze tools zijn permanent in de leiding geplaatst en volledig zelfstandig door de leiding zwemmen door middel van een eigen drive-unit;

Deze zullen hieronder nader worden toegelicht.

Opgemerkt moet worden dat bij NDO niet alle defecten (bijvoorbeeld wanddikteafname en scheuren) kunnen worden gedetecteerd. Het is belangrijk te weten wat de grootste defecten zijn die door de NDO-methode kunnen worden gemist. Een statistische analyse moet worden uitgevoerd om de mogelijkheid te berekenen om fouten in verschillende groottes onder reële testomstandigheden te detecteren. Een kwantitatief resultaat kan worden berekend door de waarschijnlijkheid van detectie (POD) en de mogelijkheid van valse alarmen (PFA). Bijvoorbeeld de POD van een specifieke foutgrootte wordt uitgezet tegen de foutgrootte  $a$ . Een typische POD-kromme wordt getoond in Figuur 2.



**Figuur 2: Een typische POD-kromme**

De kromme kan in drie verschillende gebieden worden verdeeld. In het eerste gebied (1) kunnen zeer kleine defecten slechts met een zeer lage waarschijnlijkheid worden gedetecteerd. In het overgangsgebied (2) kunnen meer en grotere defecten met een grotere waarschijnlijkheid worden gedetecteerd. Een belangrijk defect wordt 90/95 genoemd. Op deze waarde kan een fout worden gedetecteerd met een waarschijnlijkheid van 90% met een betrouwbaarheidsniveau van 95%. Alle defectgroottes hoger dan 90/95 behoren tot het derde gebied, het hoge detectiegebied (3). In deze regio is een betrouwbare inspectie mogelijk. Voor een NDO moeten defecten groter zijn dan de 90/95-waarde, anders is een betrouwbare defectdetectie niet gegarandeerd. Daarom is de bepaling van de POD-curve erg belangrijk om de betrouwbaarheid van het inspectiesysteem te waarborgen. De 90/95-waarde is afhankelijk van zowel de toegepaste NDO-techniek als de gevoeligheid van het meetsysteem.

### 4.2.1 Pigging

Pigging, of In Line Inspectie (ILI), is het inspecteren van een leiding van binnenuit door middel van een inspectietool die in de leiding wordt gebracht. De pig (zie figuur 3) beweegt zich voort door de leiding, waarbij het ondertussen metingen verricht en deze gegevens opslaat. Vervolgens wordt de pig uit de leiding gehaald en kunnen de verzamelde gegevens worden uitgelezen voor verdere analyse. Normaliter worden gas- en olieleidingen geïnspecteerd door middel van pigging.



**Figuur 3: Pigging tool (bron: [www.dacon-inspection.com](http://www.dacon-inspection.com))**

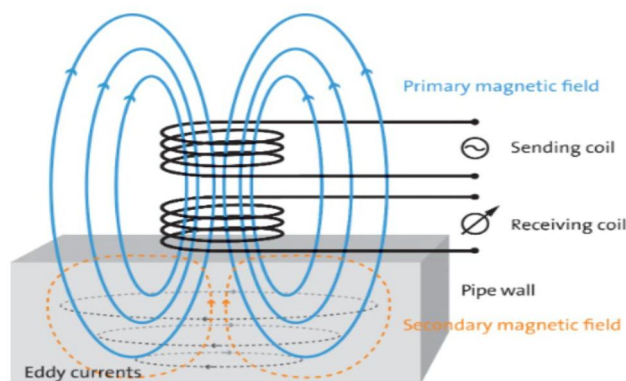
Het piggen van transportleidingen in de olie- en gaswereld is een reguliere zaak en is ook in de waterleidingwereld niet onbekend. Afhankelijk van de te verwachten wanddikteafname door corrosie zijn de pigging intervallen in de orde van 5 of 10 jaar. De leiding operator besteedt de pigging operaties uit aan gespecialiseerde aannemers of basis van een norm (POF-specificatie, POF staat voor Pipeline Operators Forum). Voorbereidende activiteiten voor de pigging operatie kunnen wel door de leiding operators worden gedaan zoals: aansluiten van pigtraps in geval van tijdelijke/mobiele pigtraps, ragen van de leidingen opdat de leiding schoon is voor de pigging operatie, uitvoeren van een kaliber pig run om te checken of geen deuken aanwezig zijn die de intelligent pig kunnen doen vastlopen enz. De meest gangbare technieken die gebruikt worden tijdens In-Line Inspectie voor detectie van actuele wanddikte en scheuren zijn:

- Eddy current
- Ultrasoon
- Magnetic Flux Leakage (MFL);
- Electro Magnetic Acoustic Transducer (EMAT);
- Acoustic Resonance Technology (ART)

Deze zullen hieronder kort worden toegelicht.

#### 4.2.1.1 Eddy current

Dit systeem voor het meten van geometrie van defecten is gebaseerd op Eddy current technologie. Hierbij wordt door middel van Eddy current de afstand tot de buiswand gemeten. Deze techniek detecteert en kwantificeert zowel lokale defecten, zoals pitting en scheurvorming als algehele wanddikteafname. Met deze techniek kunnen inwendige en uitwendige mankementen opgespoord en onderscheiden worden. Het elektromagnetische veld dat wordt opgewekt door de inspectietool zal worden verstoord door veranderingen in afstand tot de buiswand. Deze techniek heeft als voordeel dat het geen contact maakt met de buiswand.



**Figuur 4: Eddy current (bron: rosen-group.com)**

#### 4.2.1.2 Ultrasoon

Het principe van Ultrasoon (US) is gebaseerd op het uitzenden van een puls door een transmitter en het ontvangen van de reflectie hiervan. Omdat verschillende materialen (vaste stoffen en vloeistoffen) een verschillende voortplantingssnelheid van de geluidsgolven hebben kan de dikte van het materiaal worden bepaald aan de hand van de reflecties van het signaal. Belangrijk voor het toepassen van deze techniek voor leidinginspectie is het type medium waardoor de geluidsgolven zich kunnen verplaatsen en waarbij de reflectie voldoende energie overhoudt voor de receiver om weer te worden opgevangen. Hiervoor is de aanwezigheid van een vloeistof in de leiding vereist; gas is hiervoor ongeschikt. Verder moet vloeistof geen vaste deeltjes bevatten die de meting kunnen verstoren. Ultrasoon is geschikt voor het opsporen van algemene wanddikte afname en minder voor het opsporen van kleine (diepe) defecten, zoals pitting. De reden hiervoor is de hoek waaronder het signaal wordt uitgezonden, hierdoor kan het signaal niet het diepste punt bereiken doordat de rand van het defect dat belet. Ultrasoon is bijzonder geschikt voor het opsporen van scheurvormige defecten.

#### 4.2.1.3 Magnetic Flux Leakage (MFL)

Magnetic Flux Leakage (MFL) - is een magnetische methode die wordt gebruikt voor het detecteren van corrosie in stalen leidingen. Het basisprincipe is dat een krachtige magneet wordt gebruikt om het staal te magnetiseren. In gebieden met corrosie of ontbrekend metaal "lekt" het magnetisch veld van het staal. Bij een MFL-tool wordt een detector tussen twee polen van de magneet geplaatst om het lekvelen te detecteren. Vervolgens wordt deze data geanalyseerd en geïnterpreteerd om corrosie gebieden te identificeren en om de diepte van metaalverlies in te schatten. Ook bij MFL is het moeilijk kleine diepe defecten te detecteren.

#### 4.2.1.4 Electro Magnetic Acoustic Transducer (EMAT)

EMAT (Electro Magnetic Acoustic Transducer) is een ultrasone techniek die geen contact of koppeling vereist, omdat het geluid direct wordt gegenereerd in het materiaal naast de transducer. De opwekking van geluidsgolven vindt plaats door de toepassing van een magnetisch veld. EMAT is een relatief nieuwe techniek er is veel werk gedaan om spanningscorrosiescheurtjes in gastransportleidingen op een betrouwbare wijze te kunnen detecteren.

#### 4.2.1.5 Acoustic Resonance Technology (ART)

De techniek is zeer geschikt voor het meten van de wanddikte. Gedurende één enkele inspectie kan data worden verzameld met betrekking tot zowel geometrische defecten als wanddikteafname. Akoestische resonantie technologie (ART) is een akoestische inspectietechnologie ontwikkeld door DNV GL en de inspectie wordt exclusief uitgevoerd door Breivoll Inspection Technologies (BIT). ART verschilt van traditioneel ultrasoon testen. Hoewel beide vormen werken op basis van akoestiek, maakt ART gebruik van lagere frequenties en heeft het een grotere bandbreedte. Dit heeft het gebruik ervan in gasvormige omgevingen mogelijk gemaakt zonder een vloeistof.



**Figuur 5: ART pipeline tool (bron: <https://breivoll.eu>)**

Deze technologie wordt met succes toegepast voor de inspectie van waterleidingen en warmtenetten, zie <https://breivoll.eu/project>. De gangbare diameters zijn DN250 – 400. Maar kan ook worden toegepast ook voor andere diameters.

### 4.2.2 Inspectietools

Inwendig onderzoek van een pijpleiding kan niet altijd door middel van een intelligent pig uitgevoerd. Dit heeft in eerste instantie vaak te maken met het piggable maken van de betreffende leiding. Zo moeten (tijdelijke) pigtraps worden geplaatst en moeten te scherpe bochten worden vervangen door minder scherpe bochten welke door een intelligent pig kunnen worden gepasseerd. Verder kan een intelligent pig niet door een grotere vernauwingen en diameterovergangen. Ook is de run met een intelligent pig niet goedkoop. Voor waterleidingen heeft dit niet geleid tot een structurele toepassing in verband met hoge kosten, hoewel



intelligent pigging voor waterleidingen soms wel wordt gedaan. Voor waterleidingen inspectie worden om die reden vaak andere tools toegepast, die door de leiding zwemmen heen inclusief bochten, kleppen en diameterovergangen. Deze tools kunnen voorzien van verschillende technieken die ook voor inspectie d.m.v. een intelligent pig worden gebruikt.

#### 4.2.2.1 PipeDiver/Sea Snake

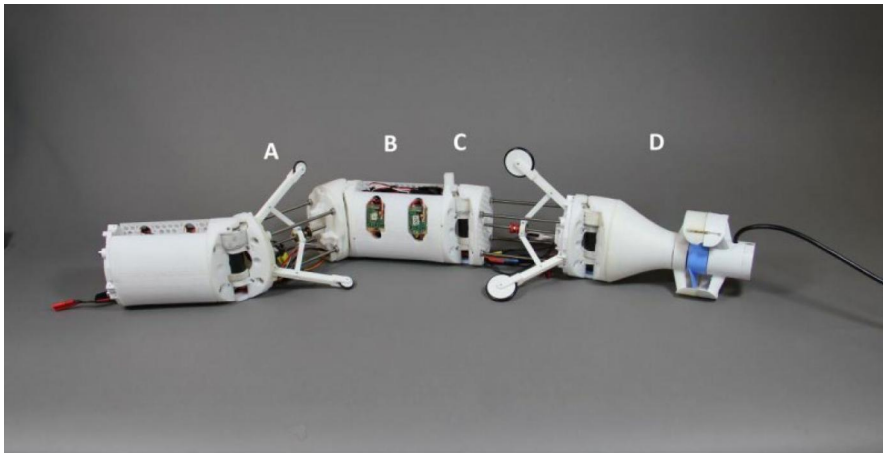
De PipeDiver van Pure Technologies Ltd en See Snake van Russell NDE System Inc. worden aanbevolen voor het monitoren van waterleidingen, /10/. Beide methoden zijn gebaseerd op veld-Eddy current-technologie op afstand. Met deze tools kunnen de resterende wanddikte, corrosiegebieden en spanning in de leidingen worden gemeten. De tools zwemmen door de leiding heen inclusief bochten en vlinderkleppen. De PipeDiver kan inspecties uitvoeren over gemiddelde lengtes van 5 - 8 km (record 50 km) vanaf één startpunt, terwijl met See Snake maximaal 10 km kan worden geïnspecteerd. De PipeDiver reist met ongeveer 90% van de stroomsnelheid van het water, terwijl de snelheid van See Snake 1 - 2 km/uur bedraagt. De PipeDiver is geschikt voor leiding diameters groter dan 300 mm (DN250) en Sea Snake voor leiding diameters tussen 75 - 762 mm (DN65-750). De firma Pica geeft een defect aan als weergegeven in de volgende foto (figuur 6) zoals gedetecteerd kan worden met de See Snake.



**Figuur 6: Defect gedetecteerd met de See Snake**

#### 4.2.3 Robotic tools

Naast beschikbare in-line inspectietechnieken, zijn er ook autonome inspectierobots aanwezig. Deze robots (zie figuur 7) zijn permanent in de leiding aanwezig en voorzien van verschillende sensoren die ook voor in-line inspectie worden gebruikt. Een randvoorwaarde bij een inspectierobot is dat deze zich autonoom moet kunnen bewegen in de leiding. Het waternetwerk is zeer divers qua vorm (bochten, T-stukken, afsluiters, diameterovergangen, toegangspunten), variatie in stroming (snelheid en richting). Het gebruik van verschillende materialen in een netwerk betekent ook dat een enkele meetsonde niet voor alle stukken leidingen gebruikt kan worden.



**Figuur 7: Huidige prototype inspectierobot, met klemmodules (A), modules voor elektronica (B), actuatoren voor bewegen (C), propellermodule met camera en verlichting (D), /5/**

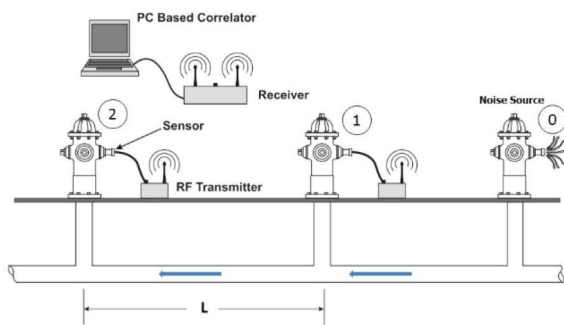
Momenteel loopt het AIR-project. Dit project wordt uitgevoerd door een samenwerkingsverband van 7 Nederlandse drinkwaterbedrijven, KWR Watercycle Research Institute en 4 technologieleveranciers; Demcon, DoBots, Geodan en Acquaint. Het doel van dit project is het ontwikkelen van een robotic tool waarin oplossingen worden bedacht en getest voor alle kritieke functies die aanvankelijk waren geïdentificeerd als technologische risico's voor het ontwikkelingsproject. Vervolgens zal de haalbaarheid van de bedachte oplossingen worden onderzocht, /4/.

### 4.3 Uitwendig onderzoek van wanddikteafname

Er bestaan diverse technieken om uitwendig onderzoek te doen aan leidingen. Globaal zijn deze te verdelen in technieken waarbij de leiding moet worden opgegraven om meetapparatuur aan de buiswand aan te sluiten en in technieken waarbij zonder of beperkt graafwerk of met gebruik van appendages zoals afsluiters en brandkranen gemeten kan worden.

#### 4.3.1 Echopulse

Echopuls is een techniek die door Echologics is doorontwikkeld vanuit akoestische technieken voor het detecteren van lekken zonder graafwerk. De voortplanting van geluid is afhankelijk van de stijfheid van de leiding, meer specifiek de elasticiteit van het materiaal, de diameter en de wanddikte. Deze techniek bepaalt de stijfheid op basis van gemeten karakteristieken van de geluidsgolf. Op de pieken van de geluidsgolven wordt de buis iets opgerekt. Dit oprekken kost energie en dempt daarmee het geluidspatroon. Dat geeft ook direct de beperking aan van deze techniek; om de geluidsgolf goed te verplaatsen is een gesloten, niet-samendrukbaar medium nodig. Het meten van niet goed ontluchtte waterleidingen, kan daarom met deze techniek niet worden uitgevoerd. Dit maakt deze techniek waarschijnlijk niet geschikt voor een ruw waterleiding. Dit principe wordt weergegeven in afbeelding 8.

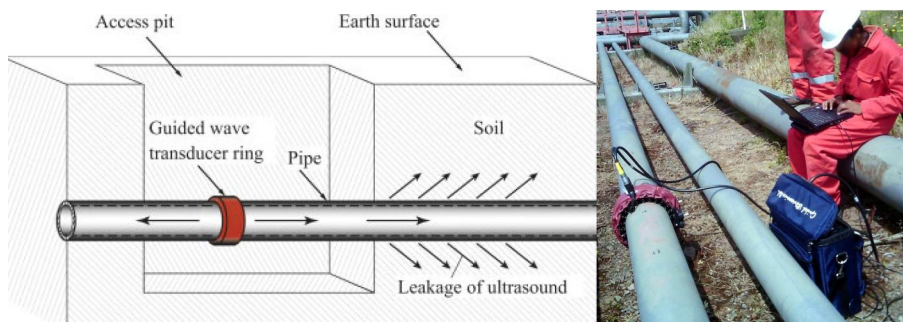


**Figuur 8: Akoestische meting door Echologics (bron: Echologics)**

Hierbij wordt bij punt 0 geluid geproduceerd dat wordt opgevangen bij de punten 1 en 2. Verschillen in het geluidsspectrum van 1 en 2 geven informatie over de gemiddelde stijfheid van buislengte L. Geluid wordt opgewekt door het spuien van een brandkraan of door het met een hamer te tikken op de buis. Dit geluid wordt opgevangen door twee sensoren, waarbij het verschil in het geluidspatroon wordt geregistreerd. Het verschil wordt omgezet naar de gemiddelde buisstijfheid tussen beide meetpunten. Omdat diameter en leidingmateriaal, en daarmee de elasticiteitsmodulus, bekend horen te zijn, kan de gemiddelde wanddikte worden bepaald. Dit betreft de wanddikte die constructieve sterkte bezit, de effectieve wanddikte genoemd. Voor metalen leidingen is het de dikte van de niet-gecorrodeerde buiswand. Door deze berekende waarden te vergelijken met de oorspronkelijke wanddikte bij aanleg, is de gemiddelde aantasting van het leidingdeel te bepalen. De meting is toepasbaar op alle leidingdiameters.

### 4.3.2 Guided Waves

Guided Wave is een laagfrequentie ultrasoon techniek die speciaal is ontwikkeld voor het snel in kaart brengen van zowel inwendige als uitwendige corrosie van leidingen. De ultrasonische energie wordt in lengterichting over de leiding gestuurd en reflecteert op onregelmatigheden waaronder ook gebieden met corrosie. Guided waves planten zich voor langs de leiding en vervolgens reflecteren door elke verandering van leidingwand, zoals scheur of corrosiedefecten.



**Figuur 9: Ultrasoon guided wave inspectie (bron: <http://acoustics.org>)**

De Guided Waves technologie kan worden toegepast bij:

- Geïsoleerde leidingen voor het opsporen van interne en externe corrosie, zonder de isolatie te hoeven verwijderen buiten de testlocaties;
- Leidingen met beperkte toegang;
- Onbereikbare gebieden zoals weg- en dijkdoorvoeringen;
- Leidingen die door ommuringen lopen;
- Ondergrondse leidingen tussen inspectieputten.

Standaard applicatie is voor leidingen met een diameter van 2 inch tot 24 inch (DN50-600).

#### 4.4 Inspectietools vergelijking

De in dit rapport beschreven technieken worden in deze paragraaf met elkaar vergeleken en zijn in de onderstaande tabel 3 weergegeven, samen met voor- en nadelen. Elke techniek heeft zo zijn beperkingen. Pigging heeft als nadeel dat de leiding aangepast moet worden voor de inspectie en uit bedrijf worden genomen. De robotics zijn nog in ontwikkeling. Bij de uitwendige detectie blijven leidingen in bedrijf tijdens het monitoren. De nauwkeurigheid van dergelijke technieken is niet altijd hoog.

**Tabel 3: wanddikteafname detectietechnieken vergelijking, geschikt voor waterleiding.**

Techniek			Voordelen	Nadelen	Medium	Indicatie nauwkeurigheid
Inwendig	Pigging	Ultrasoon MFL ART EMAT	Betrouwbaar. MFL is algemeen bekend en "proven" Lange afstanden ART is geschikt voor ruw/afvalwater Kan worden gecombineerd met gyrotool of vaststelling materiaalsterktes (RoMat van Rosen)	Gespecialiseerde firma nodig Heel duur voor waterleidingen Kan niet door scherpe bochten Kan niet door diameterovergangen Leiding moet uit bedrijf MFL is niet toepasbaar bij inwendige cementcoating Niet alle technieken voor ruw/afvalwater	Water Olie Gas	Normaal ± 1mm Kleine diepe defecten worden niet gedetecteerd  Detectie van scheuren door MFL is hoog  EMAT is een relatief nieuwe techniek
	Inspectietools PipeDiver/Sea Snake	Eddy current	Leiding hoeft niet uit bedrijf Kan door alle bochten en kleppen Geen risico voor de waterkwaliteit	Gespecialiseerde firma nodig (Nog) relatief duur	Water	Hoog, ± 10% wanddikte
	Robotics	Divers	Leiding hoeft niet uit bedrijf Kan diverse sensoren installeren Kan door diameterovergangen Kan door alle bochten	Nog in ontwikkeling (Nog) duur	Water Olie Gas	Afhankelijk van tool
Uitwendig	Echopulse	Akoestisch	Leiding hoeft niet uit bedrijf	Gespecialiseerde firma nodig	Water Olie	Hoog met de juiste

			Kan door diameterovergangen Kan door alle bochten	Niet goed ontluchtte waterleidingen kunnen niet worden gemeten	Gas	kalibratie
	Guided waves	Ultrasoon	Leiding hoeft niet uit bedrijf Kan door diameterovergangen Kan door alle bochten Externe/interne corrosie Onbereikbare gebieden Geïsoleerde leidingen	Gespecialiseerde firma nodig (bijvoorbeeld ApplusRTD)	Water Olie Gas	Matig, operator afhankelijk

## 5 OVERZICHT VAN BESTAANDE LEKDETECTIETECHNIKEN

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van bestaande lekdetectietechnieken. Deze zijn onderverdeeld in zogenaamde continue en discontinue detectiesystemen. Dit houdt in dat bij continue systemen vast opgestelde sensoren worden toegepast voor het detecteren van lekkages. Bij discontinue systemen worden mobiele systemen toegepast voor het opsporen van lekkages. In de volgende paragraaf zullen alleen technieken worden beschreven, die voor watertransportleidingen kunnen worden toegepast.

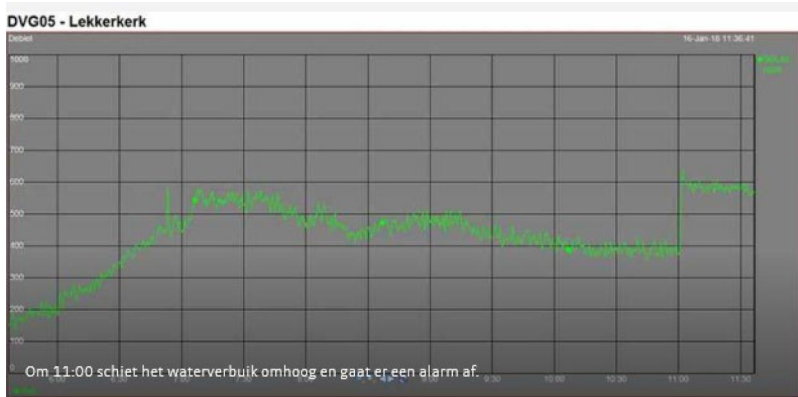
### 5.1 Continue lekdetectie

#### 5.1.1 Dynamische modellen op basis van flow, temperatuur en druk

Door op verschillende plaatsen in het leidingnetwerk flow- (debiet), temperatuur- en druksensoren te plaatsen kan de mate van veranderingen in druk en/of flow worden vastgesteld in verschillende segmenten van de leiding. Als het verschil van druk of de flow op twee locaties in de pijp sterk afwijkt, kan het duiden op een potentiële lek. De belangrijkste voordelen van het systeem zijn de lage kosten. Op software gebaseerde dynamische modellen berekenen de flow in de leiding aan de hand van druk- en temperatuurmetingen. De berekende flow wordt vervolgens vergeleken met de gemeten flow. Het verschil tussen berekende en gemeten flow zal op een lek wijzen. De technologie is geschikt voor olie, gas, /1/ en /2/ en water.

Belangrijkste voordelen van het systeem zijn de continue monitoring en onafhankelijkheid van de bedrijfsomstandigheden. Met deze systemen wordt het echter onmogelijk om de exacte locatie van het lek te lokaliseren. Daarnaast bestaat een kans op hoge mate van valse alarmen door meetverschillen en onnauwkeurigheden van apparatuur.

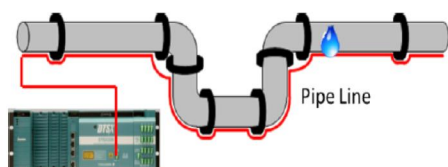
Bijvoorbeeld het systeem "Burst Find" vergelijkt drukmetingen in de bodem met resultaten van een computermodel. Dit computermodel is een doorontwikkeling van zes drinkwaterbedrijven (PWN, Brabant Water, Oasen, Waterbedrijf Groningen, Dunea en WML). Het model berekent wat de druk zou zijn als er ergens een lek is. Het vergelijkt dus de berekende druk met gemeten druk. Met deze gegevens is snel te achterhalen waar het lek zich bevindt wat veel tijd bespaart.



**Figuur 10: Lokaliseren en detecteren van waterlekken, (bron Oasen)**

### 5.1.2 Optische glasvezel (DTS)

Lekdetectie in pijpleidingen met Distributed Temperature Sensing (DTS) vindt plaats middels een uitleesunit die continu een laserstraal stuurt door een optische glasvezel die evenwijdig langs de leiding loopt (figuur 11). De laserstraal botst tegen de binnenkant van de kabel, waarbij het licht op verschillende manieren wordt gereflecteerd (zogenaamde Raman-effect). Een deel van het licht komt terug met dezelfde frequentie en golflengte als de laserstraal, maar bij de rest verandert dat: of de frequentie wordt lager en de golflengte groter (zogenaamde Stokes-verstrooiing), of de frequentie wordt hoger en de golflengte kleiner (zogenaamde anti-Stokes-verstrooiing). Het verstrooide spectrum bevat niet alleen de originele frequentie van het in de vezel gestuurde licht, maar nog twee additionele golflengtes: de zogenaamde Brillouingolflengte en de Ramangolflengte.



**Figuur 11: Optische glasvezel detectie**

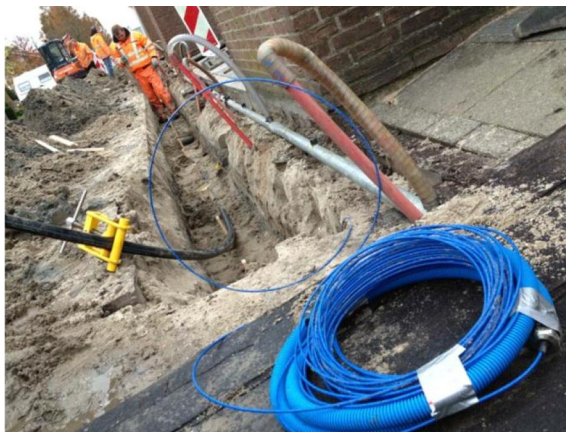
Van laatstgenoemde wordt gebruik gemaakt bij deze methodiek: er bestaat een relatie tussen de intensiteit van de Raman-frequentie en de temperatuur van de vezel. Uitlezing van de Raman-frequentie op lengte-intervallen van bijvoorbeeld 1 meter resulteert in de gedistribueerde temperatuur over de volle lengte van de vezel en dus het medium (bijvoorbeeld bodem) waarin de vezel zich bevindt. De exacte plaatsbepaling van de metingen volgt steeds uit het door de uitleesunit gemeten tijdsverschil tussen het uitzenden van een puls en het ontvangen van het terug verstrooide spectrum (radarprincipe – de snelheid van het licht is constant). Deze techniek is geschikt voor water, olie en gas.

Voor waterlekkages zijn een aantal pilot testen uitgevoerd door Evides voor een leiding /3/. Deze techniek spoort lekkages snel op op basis van temperatuurverschillen. Het DTS-meetsysteem stuurt continu een hoogfrequente lichtpuls van één specifieke golflengte door de glasvezelkabel. Vervolgens wordt vanaf een

vast aantal punten in de kabel een klein deel van het licht teruggestuurd naar het systeem. Op basis van die gegevens wordt vervolgens de temperatuur van de bodem gemeten. Door die temperatuur continu te meten, kan in een vroeg stadium een lekkage worden ontdekt. Want als er een lekkage ontstaat, dan verandert de temperatuur van de bodem op de plek van het lek en krijgt het meetsysteem een seintje. Dit kan al bij 0,1 graden Celsius temperatuurverschil.

Oasen en Evides hebben het systeem in totaal vijf dagen getest. Op dag één begonnen ze met een nulmeting, waarbij er nog geen sprake was van een lekkage. Na anderhalve dag (dag 2) hebben ze de eerste lekkage in de leiding in scène gezet. De lekkage duurde zo'n 24 uur, waarbij er zo'n 1,5 kubieke meter water wegstroomde. Vervolgens hebben ze op dag drie een tweede lekkage gecreëerd, op een andere plek in de leiding. Dat lek duurde ook zo'n 24 uur. Tot slot hebben ze het systeem nog twee dagen de temperatuur van de bodem laten meten zonder lekkages. Op dag vijf sloten ze de pilot af. De resultaten van de test waren goed. De geteste leiding had een diameter van slechts 45 mm (DN50). Lekdetectie van leidingen met een grotere diameter is eenvoudiger. De druk was relatief laag – 2 bar. De omgevingstemperatuur was laag en de leiding lag bij tijd en wijle in het grondwater waardoor de temperatuur van het water in de leiding nauwelijks met die van de omgeving verschilde. Toch werkte het systeem uitstekend: een lek van slechts 1 liter per minuut werd onmiddellijk gedetecteerd en op de meter nauwkeurig gelokaliseerd op basis van een temperatuurverschil van niet meer dan 0,5°C, /12/.

Een van de conclusies was dat in de temperatuuranalyse duidelijk is terug te zien wanneer de waterlekkages zijn ontstaan. De vraag is nu of het systeem ook in een koude periode (tussen de -5 en 5 °C) en warme periode (meer dan 20 °C) de lekkages zou herkennen en met welke snelheid. Voordelen van glasvezeltechniek zijn dat het duurzaam, nauwkeurig en betrouwbaar is. Daarnaast is het ongevoelig voor elektromagnetische inductie, corrosie, vocht, water en trillingen.

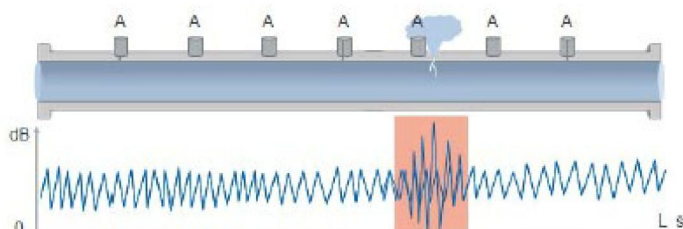


**Figuur 12: Aanleg van de DTS-glasvezelkabel bij het vervangen van de waterleiding in Moordrecht. (bron: Oasen)**

### 5.1.3 Akoestische lekdetectie

Akoestische technieken zijn gebaseerd op wijzigingen in het geluidspatroon. Bij deze meettechniek wordt op diverse punten van de leiding de aanwezige geluidswaarden gemeten met microfoons en met elkaar vergeleken (zie figuur 13). De meting vindt plaats direct op de leiding of aan het oppervlak (asfalt, straatwerk of in de grond boven de leiding). Met deze techniek is het mogelijk om veel meetpunten en

grotere afstanden in relatief korte tijd door te meten. Met deze methodiek kan de locatie van de lekken worden opgespoord. Deze technologie kan geen kleine lekken detecteren. Het is geschikt voor water, olie en gas.



**Figuur 13: Akoestische lekdetectieprincipe**

## 5.2 Discontinue lekdetectie

### 5.2.1 Akoestische lekdetectie

Het lokaliseren van waterlekkages gebeurt meestal met detectieapparatuur op akoestische basis. De belangrijkste toepassing van dergelijke instrumenten is het detecteren en lokaliseren van lekken in waterleiding.

#### 5.2.1.1 Stethophon

Een vloeistoflek in een leiding onder druk maakt een karakteristiek geluid, dat met dit instrument gemakkelijk kan worden waargenomen. Door de sensor met de scherpe punt tegen de leiding te drukken worden de trillingen opgevangen. De sterkte van het signaal is af te lezen op de display, wat een objectieve vergelijking tussen metingen mogelijk maakt. De detectie nauwkeurigheid is afhankelijk van de locatie en procescondities (druk, flow, etc)



**Figuur 14: Waterlekdetectie met Stethophon, bron: euro-index.nl**

#### 5.2.1.2 Smart ball

Smart ball is een bolvormig instrument (zie figuur 15) met een diameter van ongeveer zes centimeter dat voorzien is van meetapparatuur. De bal stroomt met water mee. Onderweg neemt de meetapparatuur geluiden op die vervolgens met speciale software worden omgezet naar beelden.





**Figuur 15: Smartball (bron: envirotecmagazine.com)**

De Smart ball is zeer geschikt om lekkages te detecteren. Groot voordeel van de Smart ball is dat de leiding in gebruik blijft. Een dergelijke bal is al wel in drinkwaterleidingen toegepast maar nu ook in een afvalwaterpersleiding in Nederland. Het is een innovatieve manier van inwendige inspectie op afvalwatergebied in Nederland zonder de betreffende afvalwaterpersleiding uitbedrijf te nemen.

In 2017 heeft waterschap Brabantse Delta een Smart ball ingezet om de staat van de afvalwaterpersleiding (AWP) tussen Moerdijk en Hoeven in beeld te krijgen. Persleidingen zijn moeilijk toegankelijk en kunnen maar een beperkte tijd stil gelegd worden. Om die reden zijn dit soort leidingen lastig te inspecteren. Het is de eerste keer in Nederland dat een dergelijke techniek is toegepast in een afvalwaterpersleiding. Met Smart balls van het Canadese bedrijf Pure Technologies heeft Waternet een paar jaar geleden een betonnen leiding over een lengte van 55 kilometer getest die deels in een dijk van het Amsterdam-Rijnkanaal ligt. Deze kleine balletjes, met een doorsnede van zeven centimeter en een schuimrubber omhulsel, bewegen met de waterstroom mee. Uit de proef bleek dat kleine lekkages vanaf ongeveer vijf liter per uur tot op enkele meters nauwkeurig worden gevonden, /6/. Lekkages van slechts 0,1 l/min zijn gedetecteerd in hogedrukolielijnen, en kleine, huilende lekken zijn gedetecteerd in waterpijpleidingen met drukken zo laag als 1 bar, /8/.

### 5.2.2 Ground Penetration Radar

Ground Penetration Radar (GPR), ofwel grondradar of georadar, is een geofysische techniek gebaseerd op de voortplanting van kortstondige hoogfrequente elektromagnetische pulssignalen (50 tot 3000MHz). Deze signalen worden uitgezonden door een zender (transmitter, Tx) en nadat ze door structuren (obstakels) in de ondergrond zijn gereflecteerd, worden ze gedetecteerd door de ontvanger (receiver, Rx). De transmitter en de receiver zijn geïntegreerd in het radarsysteem. De zogenaamde "diëlektrische constante" van het materiaal in de ondergrond bepaalt de voortplanting-snelheid van de radargolven in het materiaal. Het is een evenredigheidsconstante dat een verband maakt tussen de elektrische verplaatsing en de kracht van het toegepaste elektrische veld. De diëlektrische constante wordt voor een groot deel bepaald door het volume van het watergehalte in de bodem. Het verschil in de diëlektrische constante ofwel het elektrische verplaatsingsvermogen tussen de verschillende materialen onderling veroorzaakt de reflectie. Grondradar kan worden gebruikt om waterlekkages te lokaliseren door het detecteren van holtes in de bodem die gecreëerd zijn door lekkend water of door het detecteren van verzadigde grond boven een leiding die lekt.



**Figuur 16: Grond Radar onderzoek, (bron: Terra Carta)**

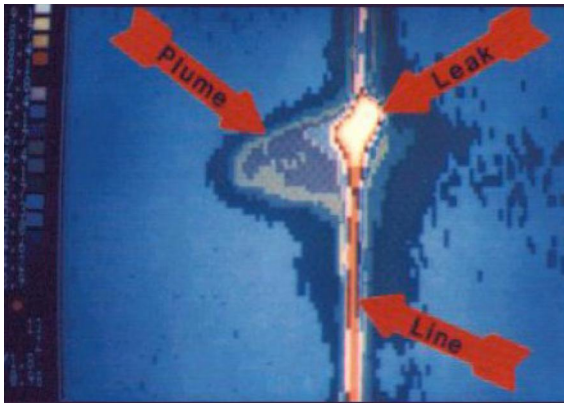
Grondradar kent een aantal beperkingen. Bij bodems met een hoge elektrische geleidbaarheid (veen en klei met hoge grondwaterstand) en zout/brakwater is grondradar slecht tot niet toepasbaar, omdat de elektromagnetische puls op de grondwaterspiegel verspreidt. De indringingsdiepte in de bodem is onder andere afhankelijk van de golflengte en de bodemsoort. Hoge frequenties leveren scherpe beelden en een hoge nauwkeurigheid maar dringen niet diep in de bodem en worden vooral gebruikt bij oppervlakkige metingen (zoals bijvoorbeeld het meten van asfaltdiktes). Lage frequenties dringen dieper in de bodem maar vertonen minder scherpe beelden. Daarnaast is het maaiveldtype van belang. Het oppervlak dient egaal en vlak te zijn en normaal te voet betreden kunnen worden. IJzersegmenten aan het oppervlakte vormen een mogelijke belemmering voor het grondradar-onderzoek. Tegen- en onder elkaar gelegen objecten zijn niet als afzonderlijke objecten waarneembaar.

### 5.2.3 Infrarood thermografie

Infrarood (IR) thermografie is een contactloze meetmethode waarbij de oppervlaktetemperatuur van een lichaam of voorwerp wordt gemeten. Dit gebeurt met een thermografische infraroodcamera: een camera die is uitgerust met een optiek voor infrarood en een detector die de golflengte van het uitgezonden licht analyseert. Licht heeft drie variabelen:

- Lichtsterkte die wordt bepaald door de amplitude;
- Kleur die bepaald wordt door de frequentie of golflengte
- Polariseratie die wordt bepaald door de trillingsrichting.

De frequentie of golflengte van het licht dat een voorwerp uitzendt is tevens een goede maat voor de oppervlaktetemperatuur van het voorwerp. Hierdoor kan met een kleurenspectrum de temperatuur van een vast voorwerp bepaald worden (thermografie). Deze techniek is geschikt is voor vloeistoffen en gas.



**Figuur 17: Een voorbeeld van thermografische luchtfoto van een lekkende olieleiding, bron: <https://delta-engineering.be>**

De IR-thermografie camera levert een visuele weergave van de heersende temperaturen op het meetobject waarbij verschillende kleuren verschillende temperaturen aangeven. In veel gevallen hebben lage temperaturen hierop een donkere kleur en de hogere temperaturen lichtere kleuren. De beste resultaten in de buitenruimte worden bereikt wanneer het temperatuurverschil tussen het onderzoeksdoel en de omgeving meer dan 10 graden Celsius bedraagt, dus ongeschikt voor waterleidingen in de bodem.

### 5.3 Lekdetectievergelijking

De in dit rapport beschreven technieken worden in deze paragraaf met elkaar vergeleken, en zijn in de onderstaande tabel 4 weergegeven, samen met voor- en nadelen. Elke techniek heeft zo zijn beperkingen. Continue systemen hebben als nadeel dat wel lekkage gedetecteerd kan worden, maar niet altijd de lekgrootte of de exacte plek. De discontinue systemen zijn vaak weersafhankelijk en arbeidsintensief en worden periodiek gebruik, als onderdeel van een inspectieprogramma. De discontinue systemen kunnen mobiel worden toegepast voor het opsporen van lekkages. Dit kan zijn per voet, auto, helikopter, drone of satelliet. De detectieafstand is sterk afhankelijk van de toegankelijkheid, de toegepaste techniek en het type van sensor.

**Tabel 4: Vergelijking lekdetectie technieken, geschikt voor waterleiding**

	Voordelen	Nadelen	medium
Continue systemen			
<b>Modellen op basis van flow, temperatuur en druk</b>	Relatief snelle lekdetectie Onafhankelijk van de bedrijfsomstandigheden Weersonafhankelijk Groot meetbereik leklocatie Kan voor ruw water	Complex Opleiding personeel nodig Lastig om te installeren en te kalibreren Kans op vals alarm Kan geen kleine lekhoeveelheden detecteren Duur	Water Olie Gas
<b>Optische vezel (DTS)</b>	Relatief snelle lekdetectie Weersonafhankelijk Groot meetbereik Exacte leklocatie Kan voor ruw water	Moet strategisch worden geplaatst Moet direct nabij leiding aangelegd worden Aanleg moet nauwkeurig Relatief duur	Water Olie Gas
<b>Akoestisch</b>	Relatief snelle lekdetectie en leklocatie Weersonafhankelijk Kan voor ruw water	Moet dicht in directe nabijheid van de leiding gemeten worden Kans op vals alarm Kan geen kleine lekhoeveelheden detecteren	Water Olie Gas

			Duur	
Discontinue systemen				
<b>Akoestisch</b>	<b>Uitwendig</b>	Mobiel Exacte leklocatie Niet duur Kan voor ruw water	Arbeidsintensief Kans op vals alarm Nauwkeurigheid is afhankelijk van locatie en proces condities	Water Olie Gas
	<b>Smart ball (inwendig)</b>	Relatief snelle lekdetectie Exacte Leklocatie Weersonafhankelijk Kan ook wandikte monitoren Kan voor ruwe water Geen risico voor de waterkwaliteit	Specialistische firma (Was duur, is goedkoper geworden)	Water
<b>Grondradar</b>		Mobiel Kan voor ruw water	Arbeidsintensief Niet voor alle grondtypes Bij oppervlakkige metingen Specialistische firma	Water Olie
<b>Infrarood thermografie</b>		Mobiel Kan in drone, helikopter, satelliet Kan voor ruw water	Arbeidsintensief Vereist temperatuurverschil tussen onderzoeksdoel en de omgeving Weersafhankelijk Kan geen kleine lekken detecteren Specialistische firma Min 10 graden Celsius verschil tussen omgeving en medium	Water Olie Gas

## 6 EVALUATIE TECHNIEKEN VOOR WATERLEIDINGEN

Uit hoofdstuk 4 en 5 blijkt dat een beperkt aantal technieken voor wandiktemeting en lekdetectie bij olie en gasleidingen inzetbaar is voor water. Deze technieken kunnen worden ingezet om te voldoen aan de gestelde eisen of om het betrouwbaarheids- of veiligheidsniveau te verhogen als dit onvoldoende is. In de olie- en gaswereld worden de transportleidingen periodiek gepigd om hiermee in eerste instantie de wanddikte te verifiëren. De wanddikte is een belangrijke ontwerpparameter. Bij watertransportleidingen ontbreekt deze periodieke verificatie veelal en is in termen van hoofdstuk 2, in feite sprake van een ontbrekende barrière. Overigens kan opgraven en uitvoering van wandiktemetingen van buitenaf ook aan dit vereiste tegemoetkomen.

Voor de alternatieve vormen van wandikte- en lekdetectie technieken ontbreekt het, in tegenstelling tot intelligent pigging, aan goede normering op dit gebied. Met deze verschillende technieken moet meer ervaring worden opgedaan om deze op het niveau van "proven technology" te krijgen.

**Tabel 5: Evaluatie lekdetectie technieken voor waterleidingen**

	Opmerkingen	Indicatie nauwkeurigheid voor kleine lekken	Kosten
Continue systemen voor lekdetectie?			
<b>Real Time Transient Model</b>	Relatief snelle lekdetectie van relatief groot lek Kan geen kleine lekken detecteren	-	-
<b>Optische vezel (DTS)</b>	Relatief snelle lekdetectie Exacte leklocatie Aandacht voor goede aanleg	+ 1 l/min, /12/	--
<b>Akoestisch</b>	Kan geen kleine lekken detecteren	-	--
Discontinue systemen voor lekdetectie en conditiemeting			
<b>Akoestisch</b>	Mobiel Exacte lek-locatie Afhankelijk van locatie en procescondities Arbeidsintensief	-	+
<b>Grondradar</b>	Niet voor alle grondsoorten (probleem bij nat, klei en veen) Alleen oppervlakkige metingen Arbeidsintensief	-	+
<b>Infrarood thermografie</b>	Mobiel Kan in drone, helikopter, satelliet Vereist temperatuurverschil tussen onderzoeksdoel en de omgeving (min 10C) Kan geen kleine lekken detecteren	-	+
<b>Smart ball</b>	Specifiek voor waterleiding Relatief snelle lekdetectie Exacte Leklocatie Kan ook wandikte monitoren	++ 0.1liter/min ±3 m detectie nauwkeurigheid	-
<b>SeeSnake</b>	Specifiek voor waterleiding Relatief snelle lekdetectie Exacte Lek-locatie Kan ook wandikte monitoren	++ 0.1 liter/min ±3 m detectie nauwkeurigheid	--
<b>PipeDrive</b>	Relatief snelle lekdetectie Exacte Leklocatie Kan ook wandikte monitoren	++ 0.1 liter/min ±3 m detectie nauwkeurigheid	--

**Tabel 6: Evaluatietechnieken voor wanddikte meting voor waterleidingen**

Techniek			Opmerking	Indicatie nauwkeurigheid voor kleine lekken	Kosten
Inwendig	Pigging	Ultrasoon MFL ART EMAT	ART is geschikt voor ruw/afvalwater. MFL goed bekend en "proven". Combinatie met gyro en materiaalsterktemeting mogelijk. Leiding moet pigable zijn Leiding moet uitbedrijf	++	--
	Inspectietools PipeDiver/Sea Snake	Eddy current	Specifiek voor waterleiding Leiding hoeft niet uit bedrijf Kan door alle bochten en kleppen	++	--
	Robotics	Divers	Leiding hoeft niet uitbedrijf Zelfstandig Kan door alle bochten en kleppen Nog in ontwikkeling	-	--
Uitwendig	Echopulse	Akoestisch	Leiding hoeft niet uit bedrijf Kan door diameterovergangen Kan alle bochten Niet goed ontluchtte waterleidingen kunnen niet worden gemeten	+-	-
	Guided waves	Ultrasoon	Leiding hoeft niet uit bedrijf Kan door alle bochten Onbereikbare gebieden Beperkte diameters (DN50-DN600).	++	+-

Voor piggable stalen waterleidingen zijn "proven" technieken voorhanden welke regulier binnen de olie- en gaswereld worden toegepast, te weten de MFL-pig en de US-pig. Ook ART-technologie wordt met succes toegepast voor de inspectie van waterleidingen en warmtenetten. Detectie nauwkeurigheden zijn goed bekend en er is een norm aanwezig welke door operators van buisleidingen aan een pigging contractor kan worden voorgeschreven.

Verder technieken op basis van ultrasoon, met name Echopulse en Guided Waves kunnen als aanvulling op bestaande technieken worden gebruiken voor de actuele wanddiktemetingen. Met deze techniek kunnen ondergrondse leidingen met beperkte toegang goed worden gemeten. Echter deze technieken hebben een aantal beperkingen, zie bovenstaande tabel.

## 7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Op basis van de technologievergelijking kan niet eenduidig voor één technologie en bijbehorende methode worden gekozen. De selectie van de technieken moet echter altijd gebeuren met inachtneming van de concrete situatie. Een goede selectie hangt onder meer af van de toegankelijkheid van de leiding, de gewenste resultaten, de kosten van installatie, bediening, omgeving en onderhoud en de eisen aan waterkwaliteit.

Het ontbreekt aan goede normering op dit gebied en met de verschillende technieken moet meer ervaring worden opgedaan om deze op het niveau van "bewezen technologie" te krijgen.


Voor piggable waterleidingen zijn "proven" technieken voorhanden welke regulier binnen de olie- en gaswereld worden toegepast, te weten de MFL-pig en de US-pig. Detectienauwkeurigheden zijn goed bekend en er is een norm aanwezig welke door operators van buisleidingen aan een pigging contractor kan worden voorgeschreven. Ook ART-technologie wordt met succes toegepast voor de inspectie van waterleidingen en warmtenetten. Verder technieken op basis van ultrasoon, met name Echopulse en Guided Waves kunnen als aanvulling op bestaande technieken worden gebruiken voor de actuele wanddiktemetingen. Bij watertransportleidingen ontbreekt deze periodieke verificatie veelal, zoals in de olie- en gaswereld in de vorm van periodiek piggen en is in feite sprake van een ontbrekende barrière.

Wat betreft de monitoring van de actuele conditie van GoWa leiding zou een combinatie van inwendige technieken zoals ultrasoon (bijvoorbeeld een smart bal voor lekdetectie) en elektromagnetisch (bijvoorbeeld PipeDrive of See Snake voor wanddikte, corrosie en stress) een ideale oplossing zijn. Groot voordeel van deze benoemde technieken is dat de leiding in gebruik blijft en hoeft niet piggable te worden gemaakt. Deze technieken zijn specifiek voor watersector ontwikkeld en vormen daarom geen risico's voor de waterkwaliteit.

Voor de lekdetectie heeft ook de DTS veel potentie. Groot voordeel van deze technieken is dat de leiding in gebruik blijft. De metingen worden aan de buitenkant van de leiding uitgevoerd, dus geen risico's voor de waterkwaliteit aanwezig.

**Tabel 7: Evaluatie detectietechnieken voor GoWa waterleiding**

	Opmerkingen	Indicatie nauwkeurigheid voor kleine lekken	Kosten
<b>Lekdetectie</b>			
<b>Optische vezel (DTS)</b>	Komt niet in contact met water Relatief snelle lekdetectie Exacte leklocatie Aandacht voor goede aanleg	+ 1 l/min, /12/	--
<b>Smart ball</b>	Specifiek voor waterleiding Relatief snelle lekdetectie Exacte Leklocatie Kan ook wandikte monitoren	++ (0.1 liter/min) ±3 m detectie nauwkeurigheid	-
<b>Wanddikte metingen</b>			
<b>SeeSnake</b>	Specifiek voor waterleiding Relatief snelle lekdetectie Exacte Leklocatie Kan ook wandikte monitoren	++ (0.1 liter/min) ±3 m detectie nauwkeurigheid	--
<b>PipeDrive</b>	Specifiek voor waterleiding Relatief snelle lekdetectie Exacte Leklocatie Kan ook wandikte monitoren	++(0.1 liter/min) ±3 m detectie nauwkeurigheid	--



De selectie van de technieken moet echter altijd gebeuren met inachtneming van de concrete situatie. Een goede selectie hangt onder meer af van eventuele risico's voor de drinkwaterkwaliteit, de toegankelijkheid van de leiding, de kwaliteit van de gewenste resultaten, de kosten, uitvoerbaarheid, omgeving en onderhoud.



## 8 REFERENTIES

/1/ DNV GL, LEAK DETECTION SYSTEM ASSESSMENT ON KASHAGAN PIPELINE Assessment of Leak Detection Alternatives for Kashagan Pipelines. ENI SPA, 2015

/2/ DNV GL, LEAK DETECTION SYSTEM ASSESSMENT ON KASHAGAN PIPELINE. Assessment of Leak Detection Hardware and Software, 2014

/3/ Oasen, Pilot lekdetectie waterleiding met glasvezelkabel, 2014

/4/ <https://www.tkiwatertechnologie.nl/>

/5/ P. van Thienen, M. Maks, D. Yntema, Drinkwatersector ontwikkelt prototype Robots op inspectie in drinkwaterleidingen, 2016

/6/ <https://www.cob.nl/magazines-brochures-en-nieuws/nieuws/lekken-in-waterleidingen-opsporen/>

/7/ E. Kloosterman, Condition assessment of metallic water mains by internal pipe inspection, 4th Pipeline Technology Conference 2009

/8/ H. Chapman, General Manager, DEVELOPMENT OF A SUCCESSFUL INTERNAL LEAK DETECTION AND PIPELINE CONDITION ASSESSMENT TECHNOLOGY FOR LARGE DIAMETER PIPES, 2012

/9/ J. Spiekhout: "A methodology for checking the effectiveness of a company's pipeline integrity management system", The Journal of Pipeline Integrity, January 2002

/10/ EPA, Condition Assessment Technologies for Water Transmission and Distribution Systems, 2012

/11/ Leak Detection Study – DTPH56-11-D000001, DOT, 2012, Final Report No. 12-173, Door Kiefner and Ass.

/12/ Inventec, PILOT LEKDETECTIE DRINKWATERLEIDING GESLAAGD, 2014



## About DNV GL

Driven by our purpose of safeguarding life, property and the environment, DNV GL enables organizations to advance the safety and sustainability of their business. We provide classification and technical assurance along with software and independent expert advisory services to the maritime, oil & gas and energy industries. We also provide certification services to customers across a wide range of industries. Operating in more than 100 countries, our professionals are dedicated to helping our customers make the world safer, smarter and greener.

## I Impactzone

Onderstaande notitie opgesteld door de POV-KL beschrijft de bepaling van de impactzone volgens de in het hoofdrapport gevolgde rekenmethodiek:

*POV-KL (2019). Bepaling impactzone leidingkruising Dunea bij dijkversterking Gorinchem-Waardenburg - Eerste stap richting nieuwe veiligheidszonerings gekoppeld aan het BOI. Auteur: H. Schelfhout, 13 mei 2019.*





## Inhoudsopgave

<b>1. Inleiding</b> .....	5
<b>2. Bepaling impactzone toekomstige situatie op basis van integrale faalkansanalyse</b> .....	5
2.1 Nieuwe veiligheidszoning .....	5
2.2 Berekeningsresultaten leidingfalen en dijcfalen .....	7
2.2.1 Macro-instabiliteit binnenwaarts (STBI) .....	7
2.2.2 Macro-instabiliteit buitenwaarts (STBU) .....	8
De resultaten van de iteratieve STBU-berekeningen zijn weergegeven in Figuur 2.4. ....	8
2.2.3 Interne erosie, piping/heave (STPH) .....	10
<b>Bijlage I - Situatie en bestaand dwarsprofiel t.p.v. leidingkruisingen Dunea</b> .....	15
<b>Bijlage II - Bepaling veiligheidszone huidige situatie volgens NEN 3651</b> .....	17



## 1. Inleiding

In dit rapport wordt de impactzone bepaald van twee stalen bestaande ruwwaterleidingkruisingen van Dunea in het dijkversterkingstraject Gorinchem – Waardenburg.

De impactzone bestaat uit twee technische zones die als volgt kunnen worden gedefinieerd:

- Impactzone: zone waarin er een effect is van een erosiekrater (bepaald met rekenwaarden volgens NEN 3651) als gevolg van een gapend lek bij leidinglek/-breuk op een dijkfaalmechanisme. Er wordt nu alleen gerekend met een gapend lek en niet met het effect van een sluipend lek, omdat dit voor de Dunealeidingen niet kritiek is. In andere gevallen kan een sluipend lek echter wel relevant worden.
- Kritieke impactzone: idem, echter met dit verschil dat hierdoor de toelaatbare faalkans van een dijkfaalmechanisme wordt overschreden.

Beide impactzones worden zowel aan de rivierzijde als aan de landzijde bepaald voor de toekomstige situatie na dijkversterking. Deze nieuwe methodiek sluit beter aan bij de overstromingskansbenadering van het te ontwikkelen Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium (BOI). Ter vergelijking met de huidige methodiek zijn ook de veiligheidszones bepaald op basis van NEN 3651, 2012.

## 2. Bepaling impactzone toekomstige situatie op basis van integrale faalkansanalyse

### 2.1 Nieuwe veiligheidszonerings

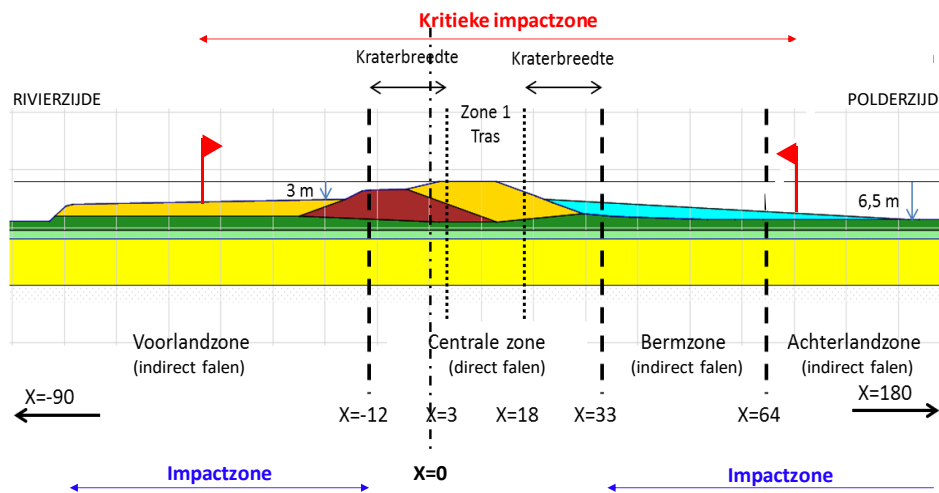
Bij de bepaling van de veiligheidszone wordt gebruik gemaakt van de resultaten van de 1<sup>e</sup> analyse: 'Klassiek' ontwerp, die is gebaseerd op een semi-probabilistische benadering. Daarbij is onderscheid gemaakt in de situatie zonder leidingfalen (referentieberekening) en met leidingfalen (berekening inclusief verstoringzone door een gapend lek). De kans op falen van de leiding wordt daarbij nog buiten beschouwing gelaten. In feite wordt daarbij de kans op de verstoringzone door leidingfalen op 1 gesteld (conservatieve, veilige aanname waarin nog latente faalkansreserve aanwezig is). Voor dijkfalen zijn onder meer de invloedszones van de dijkfaalmechanismen golfoverslag/erosie kruin en binnentalud (GEKB) macrostabiliteit binnenwaarts (STBI), buitenwaarts (STBU) en interne erosie, piping/heave (STPH) bepaald.

Per dijkfaalmechanisme is op doorsnedeniveau voor de vertaalslag van de berekende aanwezige partiële veiligheidsfactoren naar de aanwezige faalkans gebruik gemaakt van de formules, zoals die zijn opgesteld voor de vereiste faalkans en de vereiste partiële veiligheidsfactoren.

De ligging van de impactzones is in eerste instantie gerelateerd aan het nulpunt van het ontwerpprofiel dat bij de integrale faalkansanalyses is gebruikt. In verband met de vertaalslag naar de zonerings van de legger van het Waterschap Rivierenland zijn de kritieke impactzones (in feite de nieuwe veiligheidszones) en de bestaande veiligheidszones volgens NEN 3651 ook gerelateerd aan de referentielijn van het leggerprofiel ter plaatse van de leidingkruisingen (dwarsprofiel 03 bij TG385 + 092 m). De referentielijn van de legger ligt op een afstand van 2,56 m binnenwaarts van de nullijn van het ontwerpprofiel (zie Bijlage I).



Bij de analyses is voor de beoordeling van de impact van leidingfalen op dijkfalen een nieuwe zonering ontwikkeld, die bestaat uit een voorlandzone, centrale zone, bermzone en achterlandzone (zie Figuur 2.1).



*Figuur 2.1: : Zonering voor bepaling impact van leidingfalen (gapend lek) op dijkfalen*

**Opmerking:**

Het voorkeursalternatief voor dijkversterking voorziet in de aanleg van een binnenberm (voor dwarsprofiel zie bijlage I). Daarom is er daar in dit geval aan de polderzijde ook een bermzone gedefinieerd. Ter plaatse van de kruisingen van de Duneleidingen is de binnenberm qua breedte en hoogte aangepast om de grondbelastingen op de leidingen zoveel mogelijk te spreiden.

De afmetingen van de zones zijn daarbij als volgt berekend (voor nadere onderbouwing zie Bijlage C bij het hoofd rapport):

- Voorlandzone: 78 m
- Centrale zone: 45 m
- Bermzone: 31 m
- Achterlandzone: 116 m

Bij leidingfalen in de centrale zone is er sprake van directe falen van de dijk door golfoverslag/erosie kruin en binnentalud (GEKB). Bij leidingfalen in de voorlandzone en achterlandzone is er een impactzone, waarbij er sprake van indirecte falen van de dijk door macro-instabiliteit (STBU of STBI) of interne erosie, piping/heave (STPH).

De kritieke impactzone kan als alternatieve technische zone worden beschouwd voor de huidige veiligheidszone, zoals die in NEN 3651, 2012 wordt gedefinieerd (zie Bijlage II) en beter aansluit bij de nieuwe normering. De kritieke impactzone volgt per dijkfaalmechanisme uit de iteratieve berekeningen met leidingfalen, die niet voldoen de vereiste veiligheidsfactor en de bijbehorende faalkans c.q. betrouwbaarheidsindex. De nieuwe aangepaste definitie van veiligheidszone bij een primaire waterkering wordt dan:

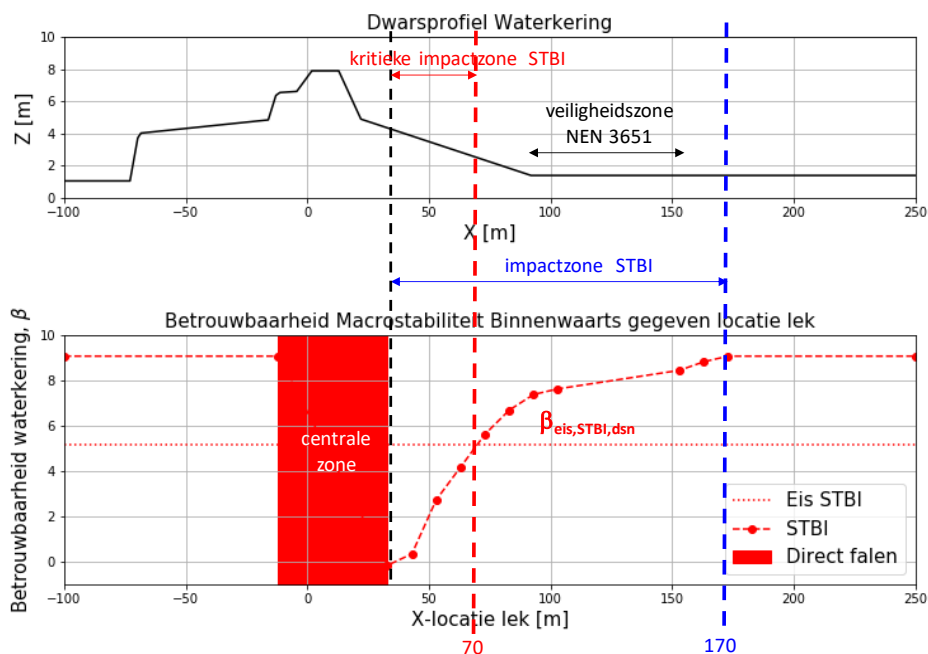
“Terreinstrook naast de waterkering waarbinnen het waterkerend vermogen door leidingfalen zodanig wordt aangetast dat de kans op falen van de waterkering door macro-instabiliteit of interne erosie, piping/heave de toelaatbare waarde overschrijdt.”

Voor de dijkfaalmechanismen STBI, STBU en STPH zijn iteratieve berekeningen gemaakt, waarbij leidingfalen conform de formules van Bijlage A van NEN 3651, 2012 is gemodelleerd als verstoringszone met een kraterstraal van  $R_K = 15,0$  m en kraterdiepte  $D_K = 2,0$  à  $5,0$  m (zie bijlage II). Daarbij is de straal van de erosiekrater berekend met de gedetailleerde formule van Bijlage A van NEN 3651, 2012. Voor meer informatie over de kraterberekening zie Bijlage B bij het hoofdrapport van Deltares.

## 2.2 Berekeningsresultaten leidingfalen en dijkfalen

### 2.2.1 Macro-instabiliteit binnenwaarts (STBI)

De resultaten van de iteratieve STBI-berekeningen zijn weergegeven in Figuur 2.2.



Figuur 2.2: Impactzone leidingfalen + macro-instabiliteit binnenwaarts (STBI).

In het onderste plaatje van Figuur 2.2 zijn de berekende waarden (rode bolletjes) door een gestippelde rode lijn met elkaar verbonden. Hieruit volgt:

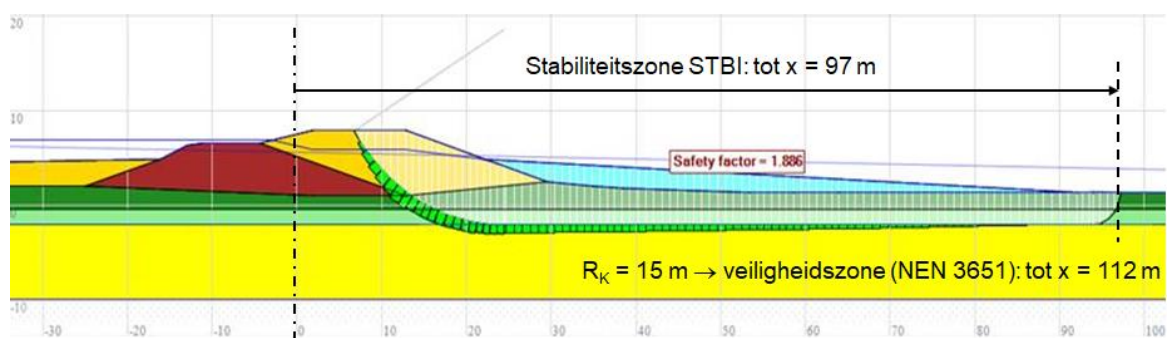
- De grens van de kritieke impactzone STBI (incl. kraterstraal  $R_K$ ) ligt op een afstand van 70 m uit de nullijn van het ontwerpprofiel, wat overeenkomt met een afstand van 67,4 m uit de referentielijn van de legger. In de kritieke impactzone voldoet de berekende

betrouwbaarheidsindex  $\beta$  van de waterkering niet aan de vereiste waarde van  $\beta_{\text{eis,STBI,dsn}} = 5,2$ .

- De grens van de impactzone STBI (incl. kraterstraal  $R_K$ ) ligt op een afstand van 170 m uit het nulpunt, wat overeenkomt met een afstand van 167,4 m uit de referentielijn van de legger. In de impactzone tussen 67,4 m en 167,4 m voldoet de berekende  $\beta$  wel aan de vereiste waarde.

Ter vergelijking:

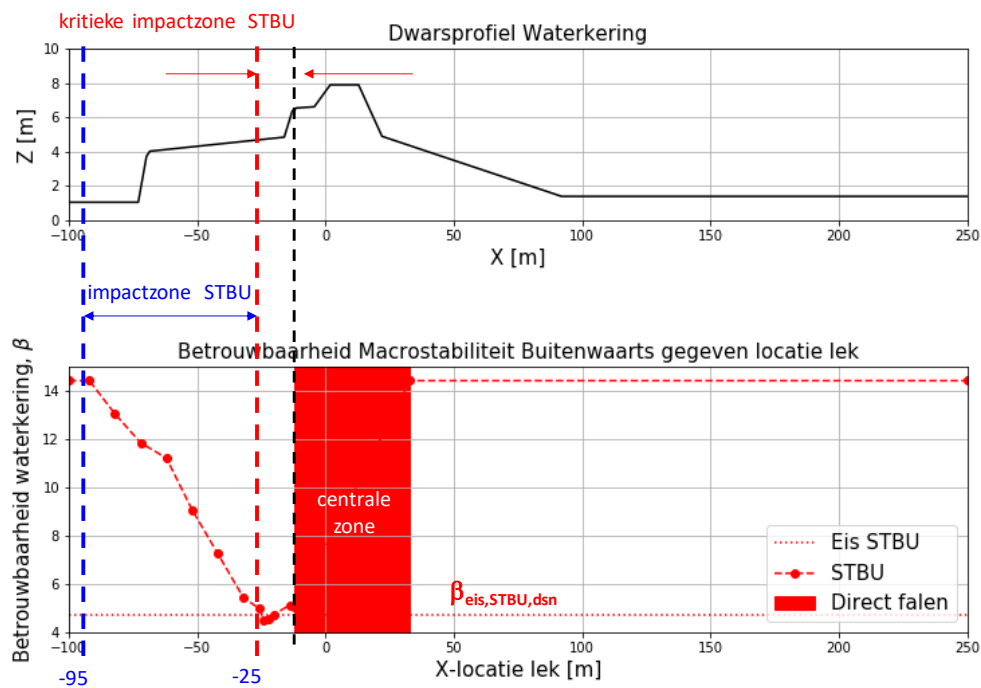
De stabiliteitszone volgens NEN 3651, 2012 reikt op grond van grondmechanische berekeningen voor STBI tot een afstand van 97 m uit het nulpunt (zie Figuur 2.3), wat overeenkomt met een afstand van 94,4 m uit de referentielijn van de legger. Bij een kraterstraal van  $R_K = 15,0$  m (zie Bijlage II), reikt de veiligheidszone tot 109,4 m uit de referentielijn van de legger. Dat is 42 m verder dan de grens van de kritieke impactzone volgens Figuur 2.2.



Figuur 2.3: Stabiliteitszone NEN 3651 voor STBI met binnenberm na dijkversterking.

## 2.2.2 Macro-instabiliteit buitenwaarts (STBU)

De resultaten van de iteratieve STBU-berekeningen zijn weergegeven in Figuur 2.4.



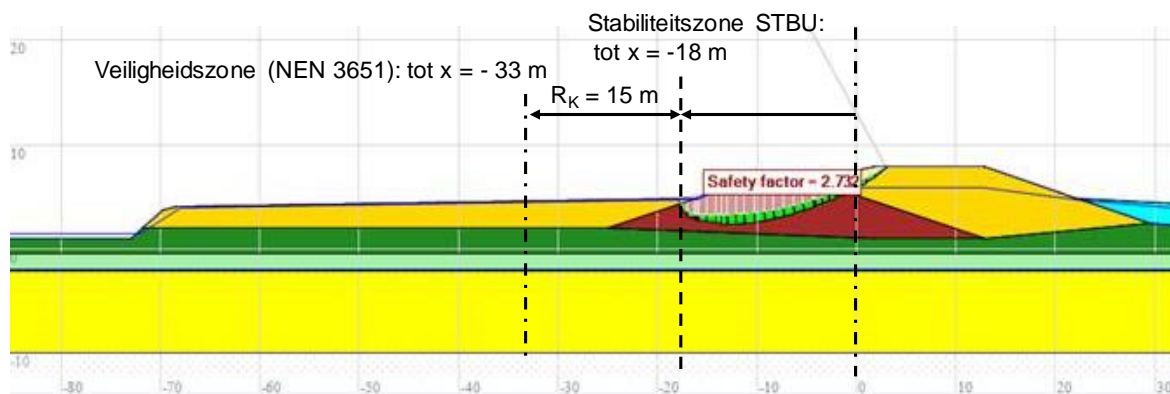
Figuur 2.4: Impactzone leidingfalen + macro-instabiliteit buitenwaarts (STBU).

In het onderste plaatje van Figuur 2.4 zijn de berekende waarden (rode bolletjes) door een gestippelde rode lijn met elkaar verbonden. Hieruit volgt:

- De grens van de kritieke impactzone STBU (incl. kraterstraal  $R_K = 15,0$  m) ligt op een afstand van  $-25$  m uit het nulpunt van het ontwerpprofiel, wat overeenkomt met een afstand van  $-27,6$  m uit de referentielijn van de legger. In de kritieke impactzone voldoet de berekende betrouwbaarheidsindex  $\beta$  niet aan de vereiste waarde van  $\beta_{eis,STBU,dsn} = 4,7$ .
- De grens van de impactzone STBU (incl. kraterstraal  $R_K = 15,0$  m) ligt op een afstand van  $-95$  m uit het nulpunt wat overeenkomt met een afstand van  $-97,6$  m uit de referentielijn van de legger. In de zone tussen  $-27,6$  m en  $-97,6$  m voldoet de berekende  $\beta$  wel aan de vereiste  $\beta$ .

Ter vergelijking:

De stabiliteitszone volgens NEN 3651, 2012 is op grond van stabiliteitsberekeningen bepaald op een afstand van  $-18$  m uit het nulpunt van het ontwerpprofiel (zie Figuur 2.5) wat overeenkomt met een afstand van  $20,6$  m uit de referentielijn van de legger. De kraterstraal is  $R_K = 15,0$  m (zie Bijlage II). De veiligheidszone reikt dan tot een afstand van  $-35,6$  m uit de referentielijn van de legger. Dat is  $8$  m meer dan de grens van de kritieke impactzone volgens Figuur 2.4.

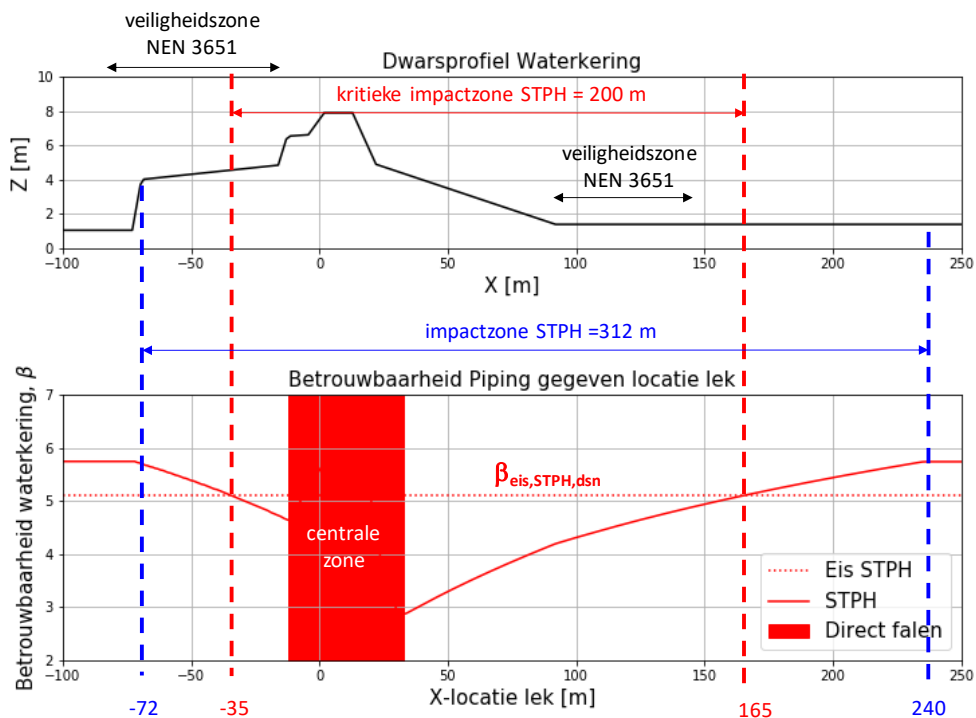


Figuur 2.5: Stabiliteitszone NEN 3651 voor STBU na dijkversterking.

### 2.2.3 Interne erosie, piping/heave (STPH)

Bij de bepaling van de impactzones voor STPH wordt hier voorlopig uitgegaan van een bermoplossing in grond zonder andere (verticale) pipingvoorzieningen. Indien dat wel het geval is heeft dit invloed op de impactzones en moet het effect van verticale voorzieningen mede in beschouwing worden genomen.

De resultaten van de iteratieve STPH-berekeningen zijn weergegeven in Figuur 2.6.



Figuur 2.6: Impactzone leidingfalen + piping/heave (STPH).

In het onderste plaatje van Figuur 2.6 zijn de berekende waarden door een rode lijn met elkaar verbonden. Hieruit volgt:

- De grenzen van de kritieke impactzone STPH (incl. kraterstraal  $R_K = 15$  m) liggen op een afstand van -35 m (rivierzijde) en 165 m (polderzijde) uit het nulpunt van het ontwerpprofiel, wat overeenkomt met resp. -37,6 m en 162,4 m uit de referentielijn van de legger. In de kritieke impactzone voldoet de berekende betrouwbaarheidsindex  $\beta$  niet aan de vereiste waarde van  $\beta_{\text{eis,STPH,dsn}} = 5,1$ .
- De grenzen van de impactzone STPH (incl. kraterstraal  $R_K$ ) liggen op een afstand van -72 m en 240 m uit het nulpunt van het ontwerpprofiel, wat overeenkomt met resp. -74,6 m en 237,4 m uit de referentielijn van de legger. In de zones tussen -37,6 m en -74,6 m resp. tussen 162,4 m en 237,4 m voldoet de berekende  $\beta$  wel aan de vereiste  $\beta$ .

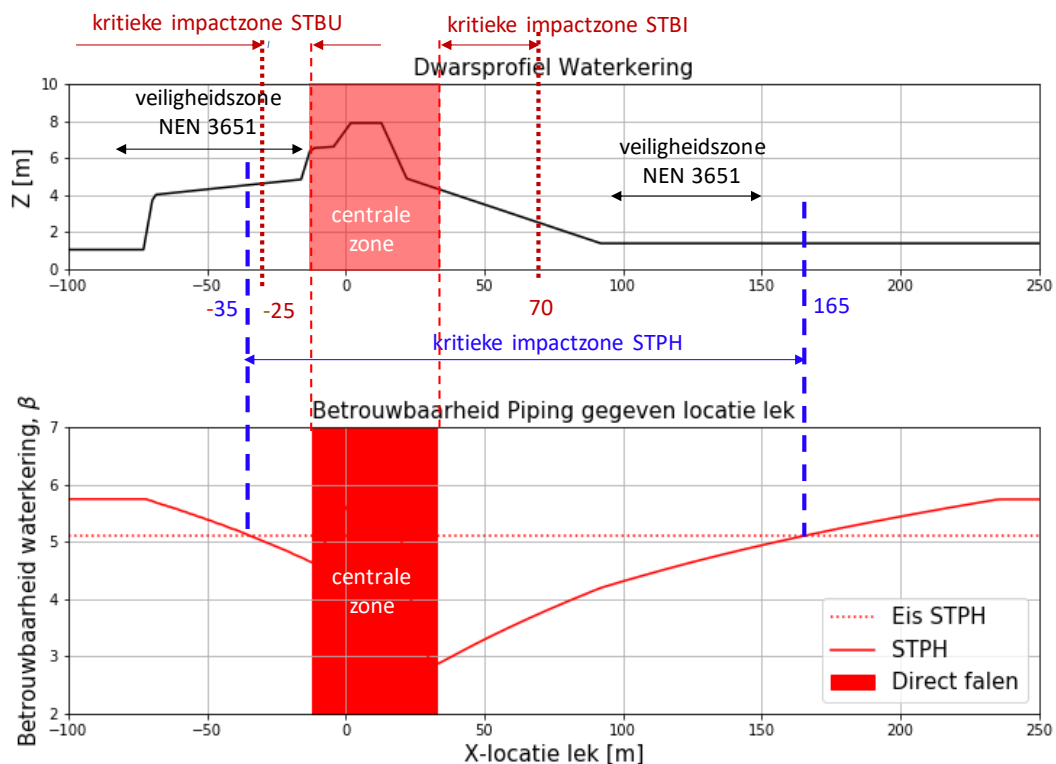
Ter vergelijking:

Indien volgens NEN 3651, 2012 de pipingzone in plaats van de stabiliteitszone wordt toegepast reikt de berekende pipingzone aan de polderzijde tot 130 m uit het nulpunt van het ontwerpprofiel, wat overeenkomt met 127,4 m uit de referentielijn van de legger. Bij een kraterstraal van  $R_K = 15,0$  m (zie Bijlage II) reikt de veiligheidszone daar dan tot 142,4 m. Dit is 20 m minder dan de grens van de kritieke impactzone volgens Figuur 2.6.

Aan de rivierzijde reikt de pipingzone tot 74,6 m uit de referentielijn van de legger. De veiligheidszone reikt daar dan tot een afstand van 89,6 m uit de referentielijn van de legger. Deze afstand is 15 m groter dan de grens van de kritieke impactzone volgens Figuur 2.6.

## 2.3 Resumé

De veiligheidszones op basis van de kritieke impactzones voor macro-instabiliteit (STBI en STBU) en interne erosie, piping/heave (STPH) zijn samengevat in Figuur 2.7.



*Figuur 2.7: Nieuwe veiligheidszone op basis van kritieke impactzones*

De kritieke impactzone is representatief voor de nieuwe veiligheidszone. Uit Figuur 2.7 blijkt dat de het dijkmechanisme interne erosie, piping/heave (STPH) zowel aan de rivierzijde als aan de polderzijde en de grootste kritieke impactzone oplevert. Daarbij is nog geen rekening gehouden met de invloed van pipingvoorzieningen op de kwelweglengte.

Dit resulteert aan de rivierzijde in een nieuwe veiligheidszone, die tot -35 m uit het nulpunt van het ontwerpprofiel reikt. Dit komt overeen met een afstand van -37,6 m uit de referentielijn van de legger van het Waterschap Rivierenland. De bestaande veiligheidszone op basis van NEN 3651, 2012 is 15 m breder.

Dit resulteert in een nieuwe veiligheidszone, die aan de rivierzijde tot -35 m en aan de polderzijde tot 165 m uit het nulpunt van het ontwerpprofiel reikt. Dit komt overeen met een afstand van -37,6 m resp. 162,4 m uit de referentielijn van de legger van het Waterschap Rivierenland. De bestaande veiligheidszone op basis van NEN 3651, 2012 is 20 m smaller.

De kritieke impactzone wordt gedomineerd door het dijksfaalmechanisme interne erosie, piping/heave. Binnen de kritieke impactzones moet de leiding qua sterkte voldoen aan de NEN 3650 serie en zijn extra pipingvoorzieningen nodig ter verlaging van de kans op falen door interne erosie, piping/heave (STPH).





## Bijlage I - Situatie en bestaand dwarsprofiel t.p.v. leidingkruisingen Dunea

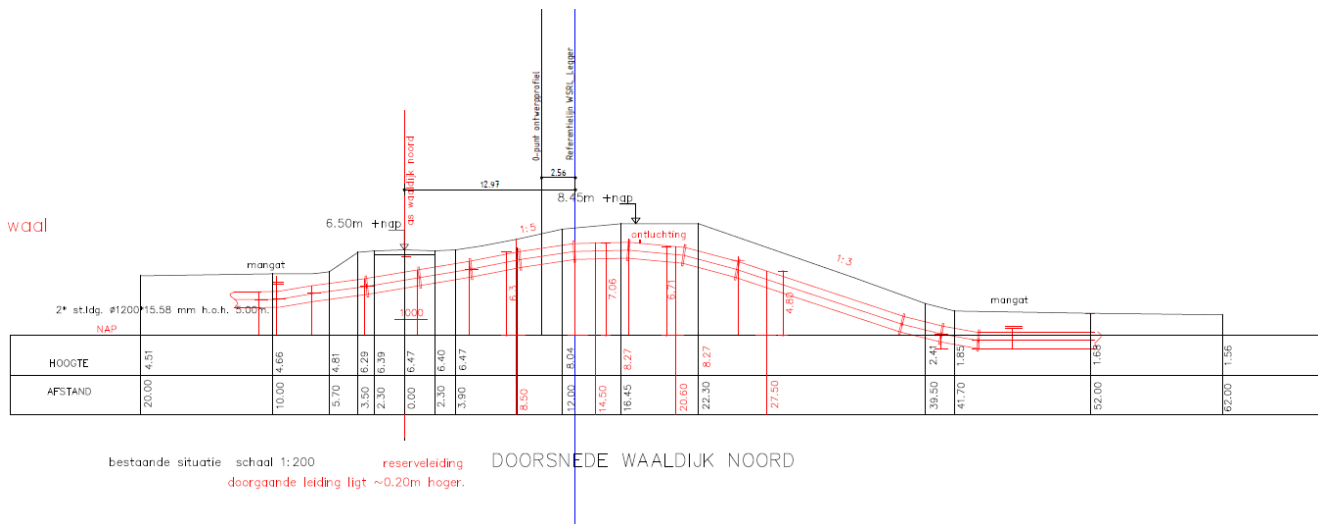
De situatie ter plaatse van de leidingkruisingen is weergegeven in Figuur I-1.



*Figuur I-1: Situatie ter plaatse van leidingkruisingen met legger referentielijn WSRL.*

In Figuur II-1 zijn de beide stalen leidingen ( $D_o = 1219$  mm met h.o.h. afstand van 5 m) en de ligging van de nullijn van het ontwerpprofiel (oranje lijn) en de referentielijn van de legger (blauwe lijn) weergegeven.

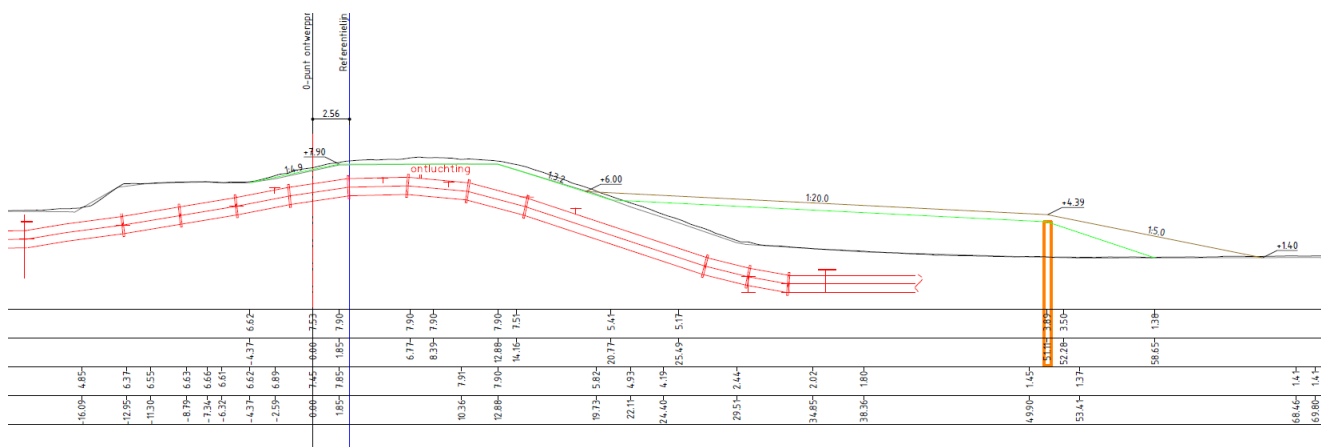
Het dwarsprofiel ter plaatse van de leidingkruisingen is weergegeven in Figuur I-2.



Figuur I-2: Dwarsprofiel 03 (TG385 + 092 m) ter plaatse van leidingkruisingen.

Uit Figuur II-2 blijkt dat het nulpunt van het ontwerpprofiel op een afstand van 2,56 m buitenwaarts (aan de Waalzijde) uit de referentielijn van de legger van het Waterschap Rivierenland ligt.

Het ontwerpprofiel van de binnenberm op basis van het voorkeursalternatief voor dijkversterking is weergegeven in Figuur II-3 (dwarsprofiel 03 ter plaatse van TG285 + 092 m).



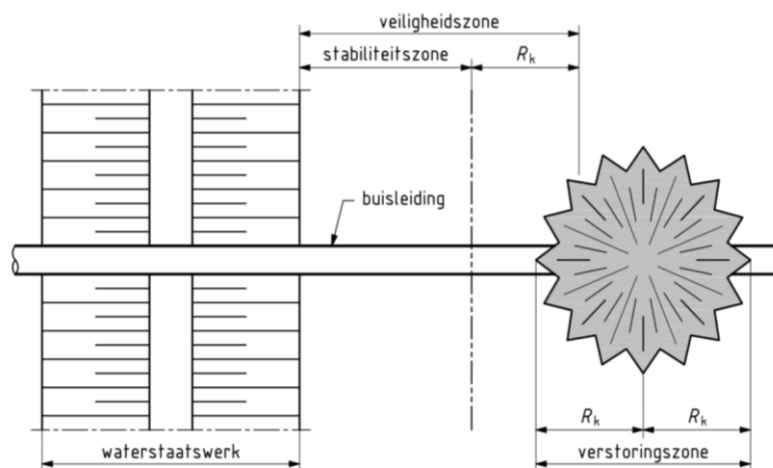
Figuur I-3: Ontwerpprofiel met binnenberm volgens voorkeursalternatief dijkversterking.

## Bijlage II - Bepaling veiligheidszone huidige situatie volgens NEN 3651

### 1. Definitie veiligheidszone

In NEN 3651, 2012 staat de volgende de definitie van veiligheidszone:

*“Terreinstrook naast het waterstaatswerk waarbinnen een lekkage van de leiding de stabiliteit van het werk in gevaar kan brengen”.*



Figuur II-1: Bovenaanzicht veiligheidszone kruisende leiding (bron: NEN 3651).

In paragraaf 6.2 van NEN 3651, 2012 staat hoe de veiligheidszone wordt bepaald. Daarvoor moeten de stabiliteitszone van de waterkering en de verstoringzone van de kruisende leiding worden berekend (zie Figuur II-1).

#### Opmerking:

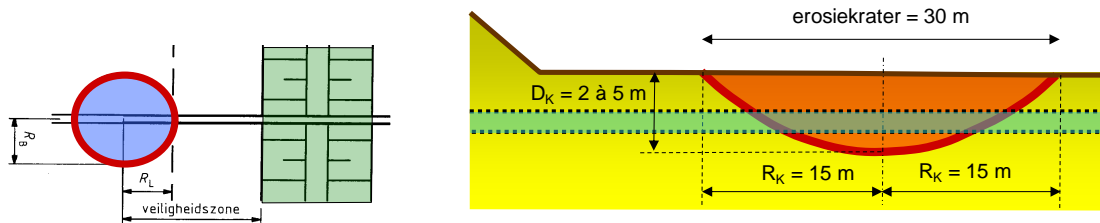
In par. 6.2.2.1 Van NEN 3651, 2012 staat de volgende opmerking:

*“De beheerder van het waterstaatswerk kan verzoeken een grotere stabiliteitszone in rekening te brengen, bijvoorbeeld wanneer lokale omstandigheden en/of andere faalmechanismen, veroorzaakt door de specifieke bodemgesteldheid, naast de macrostabiliteit een rol spelen. Onder lokale omstandigheden wordt niet verstaan een ruimtelijke reservering voor een eventuele maar nog niet geplande toekomstige dijkverzwaring.”*

Dit betekent dat NEN 3651 voor het geval dat de pipingzone breder is dan de stabiliteitszone de mogelijkheid biedt om in plaats van de stabiliteitszone uit te gaan van de pipingzone. Omdat dit ook een rol speelt bij de kruisingen van de Dunealeiding wordt in deze bijlage zowel de stabiliteitszone als de pipingzone bepaald.

## 2. Verstoringszone leiding

De leidingen hebben een uitwendige diameter van  $D_u = 1,219$  m en een lokale bedrijfsdruk van 5,7 bar. Voor de betreffende waterleidingen geldt conform bijlage A van NEN 3651, 2012 een verstoringszone (straal erosiekrater bij een gapend lek) loodrecht op de leiding van  $R_B = 14,96$  m, afgerond 15,0 m (voor berekening zie Bijlage B bij het hoofdrapport van Deltares). Uitgaande van een groot gat geldt evenwijdig aan de leiding een kraterstraal  $R_K$ , die gelijk is aan  $R_L = R_B = 15,0$  m met een kraterdiepte  $D_K$  die in de kruising varieert tussen 2,0 m en 5,0 m (zie Figuur II-2).



Figuur II-2: Kraterstraal  $R_K$  en kraterdiepte  $D_K$  kruisende Dunea leidingen.

## 3. Veiligheidszone polderzijde

### 3.1 Verstoringszone leiding

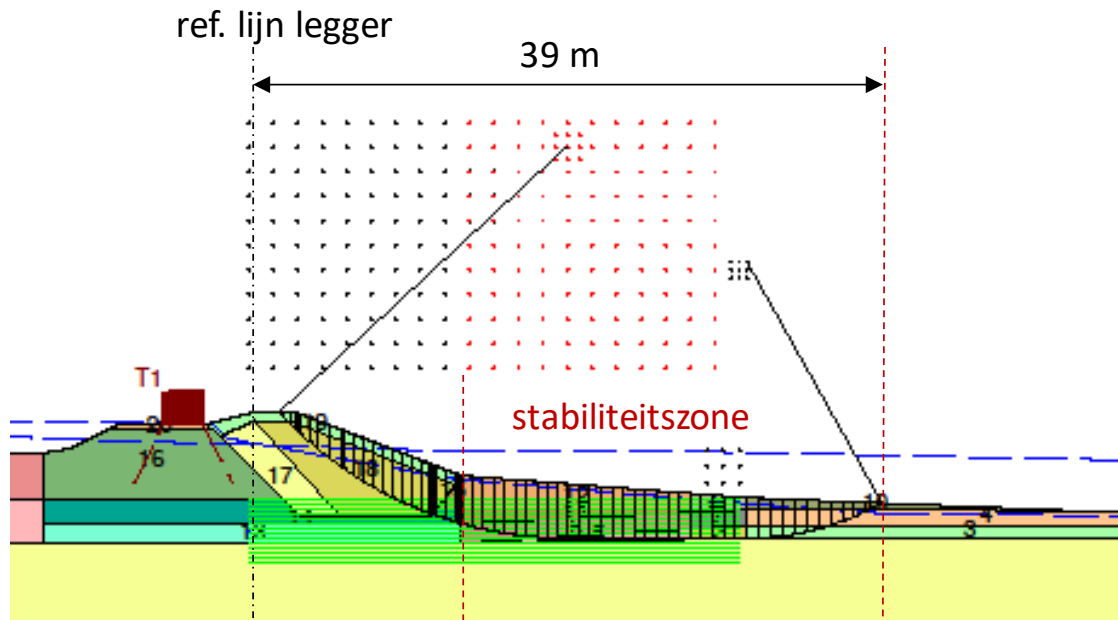
$R_K = 15$  m en  $D_K = 2,5$  m à 5,0 m.

### 3.2 Stabiliteitszone

Op basis van het profiel van de bestaande dijk gelden ter plaatse van de leidingkruising in dwarsprofiel 03 (TG385 + 092 m) de volgende waarden:

- $H_{\text{werk}} = H_{\text{kruin}} - H_{\text{maaiveld}} = 8,09 - 1,40 = 6,69$  m
- Vuistregel: stabiliteitszone =  $4 \times H_{\text{werk}} = 26,8$  m, wat overeenkomt met 56,1 m uit de referentielijn van de legger.

Controle: In NEN 3651, 2012 wordt gesteld dat bij de aanwezigheid van slappe lagen in de ondergrond de breedte van de stabiliteitszone moet worden bepaald op basis van grondmechanisch onderzoek. Op basis van lokale gegevens zijn voor de huidige situatie stabiliteitberekeningen gemaakt met de software D-Geostability (methode UpliftVan). Het resultaat is weergegeven in Figuur II-3



Figuur II-3: Maatgevend glijvlak macro-instabiliteit binnenwaarts (STBI) bestaand dijkprofiel.

Uit Figuur II-3 blijkt dat het maatgevend schuifvlak het binnenmaaienveld snijdt op een afstand van 39 m uit de referentielijn van de legger. Deze waarde is kleiner dan de afstand van 56,1 m op basis van de vuistregel, die blijkbaar voldoende veilig is. Voor de stabiliteitszone wordt op basis van de vuistregel ervan uitgegaan dat deze tot een afstand van 56,1 m uit de referentielijn van de legger reikt.

### 3.3 Pipingzone

Voor de situatie zonder erosiekrater is de dikte van de deklaag 3,4 m en de hoogteligging van het binnenmaaienveld NAP + 1,4 m. De kritieke kwelweglengte is dan 130 m, wat overeenkomt met 55,6 m uit de referentielijn van het nulpunt van de legger. Deze afstand is kleiner dan de stabiliteitszone, die tot 56,1 m uit de referentielijn van de legger reikt zodat de kritieke kwelweglengte maatgevend wordt gesteld.

### 3.4 Veiligheidszone

De veiligheidszone van de bestaande dijk aan de polderzijde is gelijk aan de stabiliteitszone + kraterstraal en reikt tot  $56,1 + 15,0 = 71,1$  m uit de referentielijn van het leggerprofiel.

*Opmerking: bij de bepaling van de kritieke kwelweglengte is nog geen rekening gehouden met de gunstige invloed van de aanleg van pipingvoorzieningen.*

## 4. Veiligheidszone rivierzijde

### 4.1 Stabiliteitszone

Op basis van het profiel van de bestaande dijk gelden ter plaatse van de leidingkruising in dwarsprofiel 03 (TG385 + 092 m) de volgende waarden:

- $H_{\text{werk}} = H_{\text{kruin}} - H_{\text{maaienveld}} = 8,17 - 4,65 = 3,52$  m

- Vuistregel: stabiliteitszone =  $4 \times H_{\text{werk}} = 13,8$  m, wat overeenkomt met 32,7 m uit de referentielijn van de legger.

#### 4.2 Pipingzone

Uit pipingberekeningen is gebleken dat het intredepunt op een afstand van 74,6 m uit de referentielijn van de legger. Deze afstand is groter dan de stabiliteitszone, die tot 32,7 m uit het nulpunt reikt. Daarom wordt in dit geval de pipingzone maatgevend gesteld.

#### 4.3 Verstoringszone leiding

$R_k = 15,0$  m en  $D_k = 2,0$  m à 3,5 m.

#### 4.4 Veiligheidszone

De veiligheidszone van de bestaande dijk aan de rivierzijde is gelijk aan de pipingzone + kraterstraal en reikt tot  $74,6 + 15,0 = 89,6$  m uit de referentielijn van de legger.

*Opmerking: bij de pipingberekeningen is er van uitgegaan dat het voorland bijdraagt aan de kwelweglengte en het intredepunt bij de rivier ligt. Dit betekent dat het voorland een waterkerende functie heeft en als zodanig ook in de legger moet worden opgenomen.*

## **J Enkelvoudige damwand**

Parallel met de analyses van de dijkontwerp situatie met de huidige leiding zoals beschreven in het hoofdrapport is gewerkt aan ontwerpberekeningen voor een enkelvoudige damwand als terugvaloptie en mogelijk ontwerpalternatief voor een kistdam. De bevindingen staat gerapporteerd in onderstaande Deltares notitie:

*Deltares (2018). Globaal ontwerp enkele wand in dijk kruising Dunea leidingen. Deltares memo: 11202640-002-GEO-0001.*





## Memo

<b>Datum</b>	<b>Ons kenmerk</b>	<b>Aantal pagina's</b>
20 december 2018	11202640-002-GEO-0001	9
<b>Contactpersoon</b>	<b>Doorkiesnummer</b>	<b>E-mail</b>
Dirk de Lange	+31(0)88 335 7288	Dirk.deLange@deltares.nl

**Onderwerp**  
Globaal ontwerp enkele wand in dijk kruising Dunea leidingen

---

## 1 Globaal ontwerp enkele wand

### 1.1 Inleiding en uitgangspunten

Als verkenning voor mogelijke alternatieve oplossingen, is een schetsontwerpberekening gemaakt voor een enkele wand als compenserende maatregel. De enkele wand dient te functioneren als een zelfstandige kering onder MHW op het moment dat aan één van beide zijden een erosiekrater is gevormd ten gevolge van leidingbreuk. Het is verondersteld dat de damwand in combinatie met de binnenwaartse stabiliteitsberm zal worden toegepast. Vanwege de veiligheid bij hoogwater is de situatie met een erosiekrater aan de binnenzijde van de damwand maatgevend.

Het betreft een onverankerde wand in de kruin van de dijk. Gekozen is voor het een AZ 18-700 profiel met een lengte van 11,9 m. De wand staat daarmee 2 m in het pleistocene zand. De maatgevende erosiekrater heeft een radius van 15 m en bevindt zich aan de polderzijde van de wand (Deltares rapport 11202640-003-GEO-0001). In de berekeningen wordt ervanuit gegaan dat de krater (gedeeltelijk) gevuld zal zijn met water, aangezien water uit de gefaalde leiding en/of omliggende grond zal (toe)stromen. Verder wordt ervan uitgegaan dat het restprofiel natuurlijke hellingen zal aannemen.

De eindige elementen-berekeningen zijn uitgevoerd conform *POVM Rekentechnieken, EEM toepassing binnen het ontwerp (juli 2018)*.

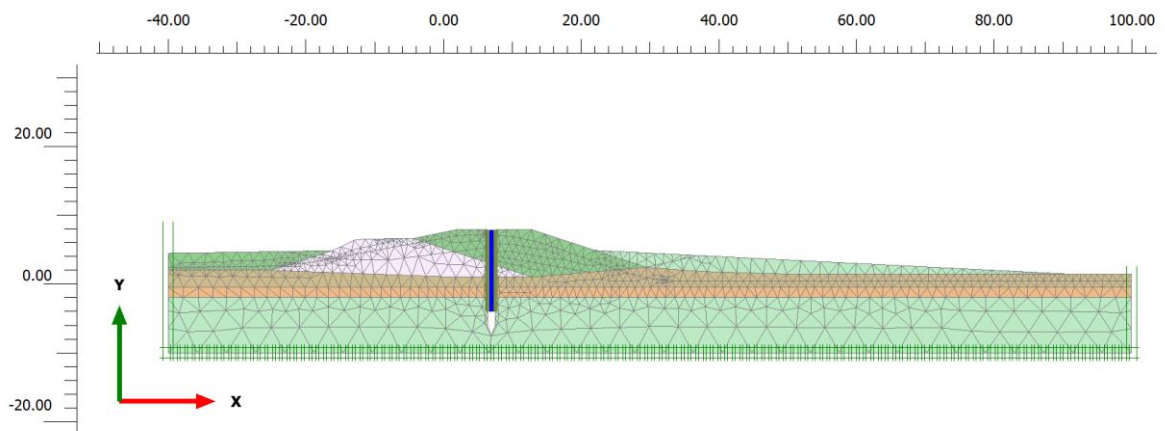
Voor de toets op stabiliteit geldt dat het om een “voorwaardelijke” gebeurtenis gaat: het betreft de kans op instabiliteit gegeven een bepaalde erosiekrater t.g.v. leidingbreuk.

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$$

Aangezien de maximaal toelaatbare faalkans voor instabiliteit binnenwaarts (STBI) op doorsnedeniveau gelijk is aan 1,24E-07 per jaar en de kans op de maatgevende erosiekrater t.g.v. leidingbreuk gelijk is aan 1E-05 per jaar, wordt de maximaal toelaatbare faalkans voor STBI gegeven de erosiekrater t.g.v. leidingbreuk (doorsnedeniveau) gelijk aan 1,24E-02. Conform *POVM Rekentechnieken, EEM toepassing binnen het ontwerp (juli 2018)* dient de maximaal toelaatbare faalkans in een doorsnede bij toepassing van constructies in de dijk nog door 3 worden gedeeld, wat de maximaal toelaatbare faalkans voor constructief falen en geotechnisch falen naar 4E-03 brengt. Voorgesteld is om de schadefactor te bepalen voor een voorwaardelijk toelaatbare faalkans gelijk aan 1E-03. De bijbehorende schadefactor is gelijk aan 0,88.

## 1.2 Modelling in Plaxis 2D

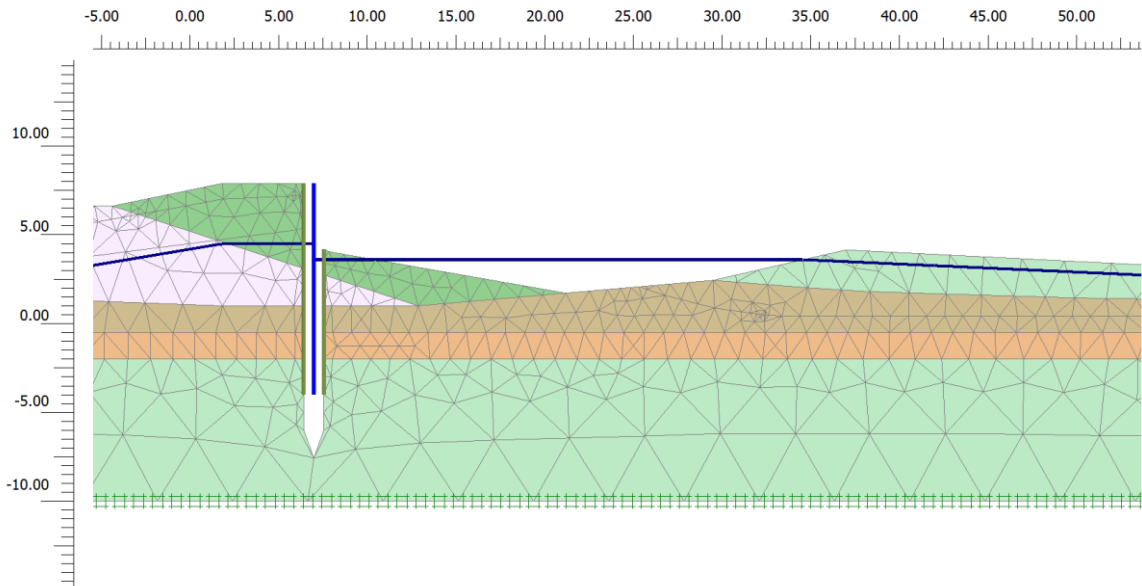
- 1.2.1 Geometrie, grondopbouw, constructieve elementen, stijghoogten en belastingen  
 De schematisering (geometrie en grondopbouw) van de te beschouwen doorsnede is overgenomen uit de D-Geo Stability-berekeningen (Deltares rapport 11202640-003-GEO-0001) en is weergegeven in Figuur 1.1. De geometrie is gemodelleerd tot een niveau van NAP -10 m. De waterleidingen zijn niet gemodelleerd in de 2D-schematisering. De wand is gemodelleerd als een plaalement. Verder zijn interface-elementen toegepast om de grond-constructie-interactie te modelleren.



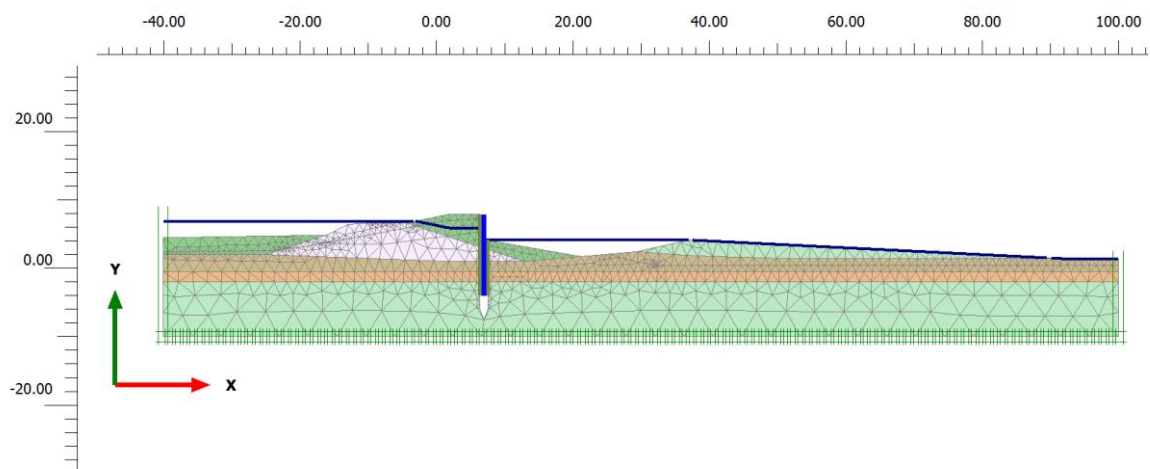
*Figuur 1.1 Geometrie met enkele wand, gemodelleerde grondopbouw en elementennet.*

De hydraulische randvoorwaarden (freatische lijnen en stijghoogten) tijdens dagelijkse omstandigheden en tijdens maatgevend hoogwater (MHW) zijn ook overgenomen uit de D-Geo Stability-berekeningen (Deltares rapport 11202640-003-GEO-0001). Omdat PLAXIS niet goed overweg kan met een “opdrijfsituatie” (wanneer de opwaartse waterdruk groter is dan de neerwaartse effectieve spanning), is het stijghoogteverloop in de watervoerende zandlaag tijdens MHW naast de berm verlaagd van NAP + 4 m naar NAP +3,85 m, zodat er altijd effectieve spanning onder de deklaag aanwezig is, maar deze wel kleiner dan 1 kPa is.

De erosiekrater is gemodelleerd met drie rechte lijnstukken: de berekende ellipsvorm is rechts van het laagste punt sterk vereenvoudigd met twee lijnstukken en is links van het laagste punt met één lijnstuk, zie Figuur 1.2. De helling van het linker lijnstuk is zo gekozen dat het grondvolume gelijk is aan het volume in het geval van de ellipsvormige krater. In de erosiekrater is er geen verloop van de freatische lijn (fysisch niet mogelijk). De hoogte van de freatische lijn is dusdanig gekozen dat het om eenzelfde volume aan water gaat als in het geval zonder krater. De freatische lijn kan echter nooit hoger liggen dan de kraterrand, zie Figuur 1.2 en Figuur 1.8. Alleen een gapend gat is beschouwd, aangezien een sluipend lek niet maatgevend is.



*Figuur 1.2 Gemodelleerde geometrie na vorming erosiekrater, inclusief freatische lijn dagelijkse omstandigheden*



*Figuur 1.3 Gemodelleerde geometrie na vorming erosiekrater, inclusief freatische lijn bij MHW*

## 1.2.2 Materiaalmodel en parameterset

In overeenstemming met CUR166 kunnen twee varianten voor het in rekening brengen van de partiële factoren worden toegepast. Hier is gekozen om de partiële factoren  $\gamma_n$  en  $\gamma_d$  vanaf de eerste fase in rekening te brengen op de karakteristieke grondsterkte. Het product van deze partiële factoren is  $1,06 \times 0,88 = 0,93$ . Daarbij is 1,06 de modelfactor. Omdat het product lager is dan 1, is dit gemakshalve op 1 gezet (conservatief).

De stijvere grondlagen (zand) zijn gemodelleerd met het Hardening soil (HS) model, terwijl de slappe lagen zijn gemodelleerd met het Soft soil (SS) model of SANSHEP NGI-ADP model (afhankelijk van de berekeningsstap). De toegepaste parametersets zijn opgenomen in Tabel 1.1, Tabel 1.2 en Tabel 1.3. In verband met de opdrogingsituatie naast de berm, is de passieve sterkte in de ongedraineerde analyse bijna gelijk aan nul, zie Tabel 1.3.



	Aanvul.	H_Rg_zm	P_Rg_zm	
	<i>lage kar.</i>	<i>lage kar.</i>	<i>lage kar.</i>	<i>hoge kar.</i>
$\gamma_{\text{unsat}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	17,0	18,0	17,7	17,7
$\gamma_{\text{sat}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	19,0	20,0	20	20
Drain. type	Drained	Drained	Drained	Drained
$E_{50}^{\text{ref}}$ [kPa]	13,35E3	13,35E3	13,35E3	30,03E3
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$ [kPa]	11,89E3	12,19E3	11,84E3	26,64E3
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$ [kPa]	59,16E3	59,16E3	40,05E3	139,5E3
$m$ [-]	0,5	0,6	0,6	0,6
$c'_{\text{ref}}$ [kPa]	0,1	0,1	0,1	0,1
$\phi'$ [°]	30	30,0	30,0	30,0
$\psi$ [°]	0	0	0	0
OCR [-]	1	1	1	1

Tabel 1.1 HS-parametersets

	Oud_Dijks	H_Rk_k	H_Rk_k&v
$\gamma_{\text{sat}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,9	18,3	15,6
Drain. type	Undr. (A)	Undr. (A)	Undr. (A)
$\lambda^*$ [-]	0,06184	0,08244	0,1810
$\kappa^*$ [-]	0,01222	0,01985	0,04729
$v'_{\text{ur}}$ [-]	0,15	0,15	0,15
$c'_{\text{ref}}$ [kPa]	0,1	0,1	4,0
$\phi'$ [°]	30,7	29,3	30,0
$\psi$ [°]	0	0	0
OCR [-]	1	2,1	2,27
POP [kPa]	7	0	0

Tabel 1.2 SS-parametersets (lage karakteristieke waarde voor de stijfheden)

	Oud_Dijks	H_Rk_k	H_Rk_k&v
$G/s_u^A$ [-]	200	140	100
$\gamma_f^C$ [%]	5	5	10
$\gamma_f^E$ [%]	10	10	20
$\gamma_f^{\text{DSS}}$ [%]	8	8	15
$s_{u,\text{ref}}^A$ [kPa]	20	25	20
vert <sub>ref</sub> [m]	1	1	1
$s_{u,\text{inc}}^A$ [kPa/m]	0	0	0
$s_u^P/s_u^A$ [-]	1,01	0,05	0,05
$\tau_0/s_u^A$ [-]	0,7	0,62	0,5
$s_u^{\text{DSS}}/s_u^A$ [-]	0,99	0,5	0,5
$v$ [-]	0,3	0,3	0,35
$v_u$ [-]	0,495	0,495	0,495
alpha [-]	0,32	0,25	0,25
power [-]	0,86	0,89	0,78
$s_{u,\text{min}}$	0,1	0,1	0,1
POP [kPa]	7	15	15

Tabel 1.3 NGI-ADP-S-parameters

De damwand is gemodelleerd met een plaalement ( $EA = 2,923E6$  kN/m;  $EI = 79,38E3$  kNm<sup>2</sup>/m). Langs de damwand zijn interface-elementen geplaatst. Om het interface-gedrag te beschrijven zijn voor de verschillende grondlagen aparte HS-materiaalgroepen aangemaakt, waarin wel de sterkte is gereduceerd (0,67), maar waarin een grotere stijfheid is toegepast. Hierbij levert een te grote stijfheid voor numerieke problemen, waardoor dit gelimiteerd is. Wanneer gebruik gemaakt wordt van de standaard reductiefactor in PLAXIS ( $R_{inter}$ ) wordt naast de sterkte, ook de stijfheid (kwadratisch!) gereduceerd. Dit is onrealistisch.

### 1.2.3 Berekeningsfaseringen

Fasering beoordeling vervormingen (lage karakteristieke stijfheden):

- 1 Initiële fase (K0), gevolgd door “nulstap” (plastisch, gedraineerd)
- 2 Activeren damwand, interface-elementen en stabiliteitsberm + aanpassing freatische lijnen (plastisch, gedraineerd)
- 3 Krater door leidingbreuk (uitschakelen grondelementen) + aanpassing freatische lijnen (plastisch, gedraineerd, verplaatsingen terugbrengen naar nul)
- 4 MHW (plastisch, gedraineerd)
- 5 Overstap naar SHANSEP NGI-ADP (ongedraineerd, inclusief verkeersbelasting)

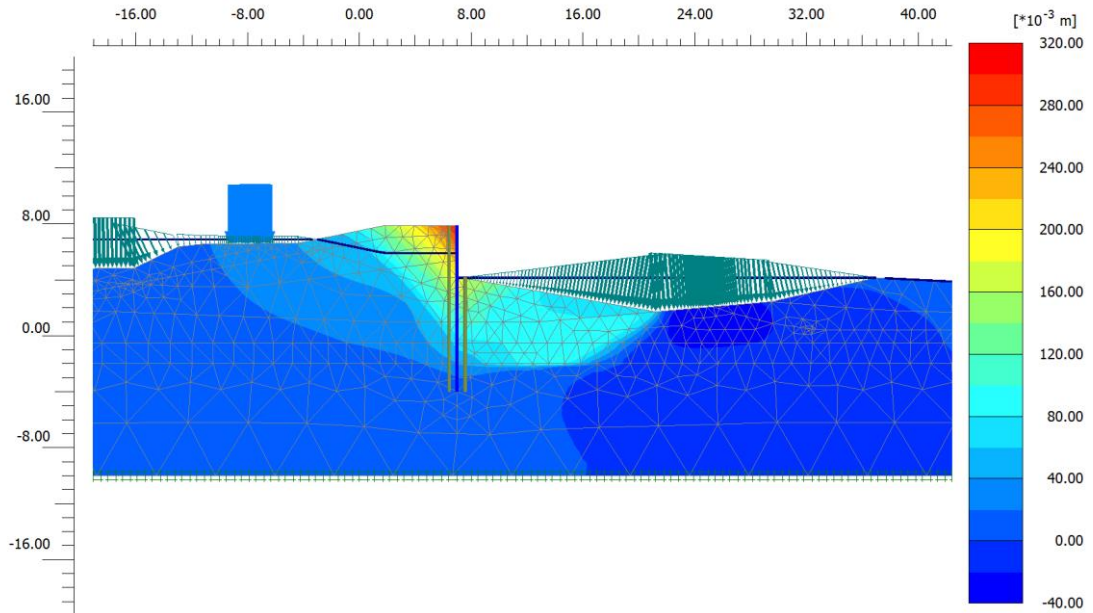
Fasering beoordeling moment en stabiliteit (hoge karakteristieke waarde voor stijfheid in pleistocene laag & lage karakteristieke waarden in alle andere lagen):

- 1 Initiële fase (K0), gevolgd door “nulstap” (plastisch, gedraineerd)
- 2 Activeren damwand, interface-elementen en stabiliteitsberm + aanpassing freatische lijnen (plastisch, gedraineerd)
- 3 Krater door leidingbreuk (uitschakelen grondelementen) + aanpassing freatische lijnen (plastisch, gedraineerd, verplaatsingen terugbrengen naar nul)
- 4 MHW (plastisch, gedraineerd)
- 5 Overstap naar SHANSEP NGI-ADP (ongedraineerd, inclusief verkeersbelasting)
- 6 Stabiliteitsanalyse (reductie sterkteparameters ter controle van de geotechnische schematiseringsfactor)
- 7

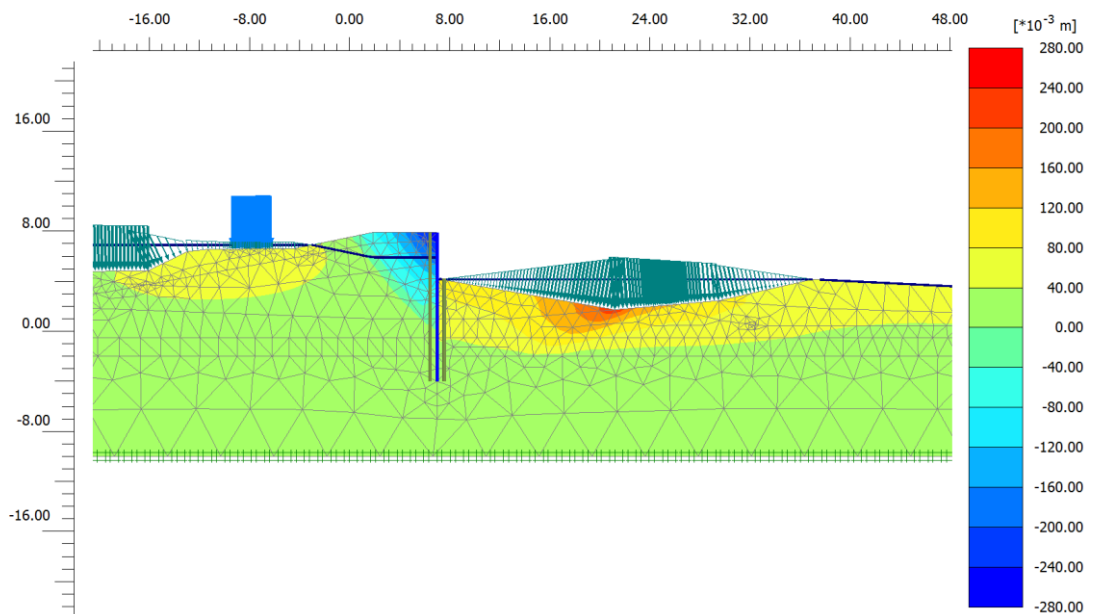
## 1.3 Resultaten

### 1.3.1 Vervormingen

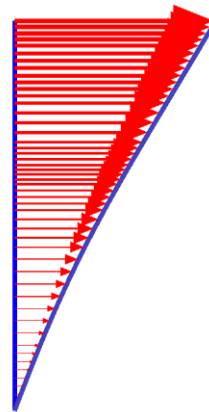
Figuur 1.4 en Figuur 1.5 tonen respectievelijk de horizontale en de verticale vervormingen die zijn opgetreden vanaf stap 3 tot en met stap 5. De grootste grondvervormingen treden op naast het bovenste gedeelte van de wand. Figuur 1.6 toont de horizontale wandvervormingen vanaf stap 3 t/m stap 5. De maximale horizontale vervorming is 30,73 cm, wat leidt tot een rekenwaarde voor de horizontale vervorming gelijk aan 40 cm (factor 1,3). De in stap 3 berekende maximale wandvervorming, dus door alleen de kratervorming, is gelijk aan 6,3 cm (rekenwaarde is 8,2 cm).



Figuur 1.4 Horizontale vervormingen vanaf stap 3 tot en met stap 5 (positief is naar rechts gericht)



Figuur 1.5 Verticale vervormingen vanaf fase 3 tot en met stap 5 (positief is omhooggericht)



**Total displacements  $u_x$  (scaled up 20.0 times)**

Maximum value = 0.3073 m (Element 1 at Node 4447)

Minimum value =  $-0.09873 \cdot 10^{-3}$  m (Element 12 at Node 8251)

*Figuur 1.6 Horizontale verplaatsingen van de wand vanaf fase 3 tot en met stap 5*

### 1.3.2 Moment damwand

Figuur 1.7 toont het buigend moment over de diepte van de wand aan het einde van fase 5 van de berekening beoordeling moment en stabiliteit. Het maximaal buigend moment in de wand is gelijk aan 157,5 kNm/m. Dit leidt tot een rekenwaarde van de spanning in de wand gelijk aan:

$$\sigma_{s;d} = \frac{M_{s;d}}{W_{el}} = \frac{176 \text{ kNm/m}}{0,0018 \text{ m}^3/\text{m}} = 98 \text{ MPa}$$

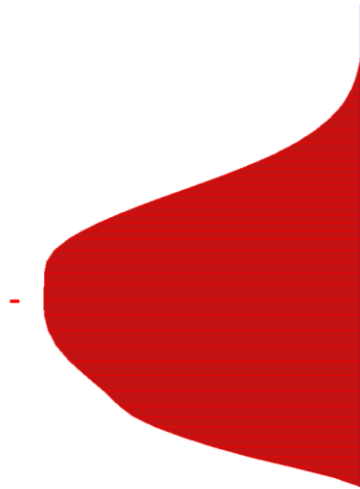
Hierbij is bij dit schetsontwerp nog geen corrosietoeslag over de totale levensduur meegenomen. Bij een ontwerp voor 100 jaar moet rekening worden gehouden met een maximale corrosie toeslag van 4,4 mm.



Datum  
30 oktober 2018

Ons kenmerk  
11202640-002-GEO-0001

Pagina  
8 van 9



**Bending moments M (scaled up 0.0500 times)**

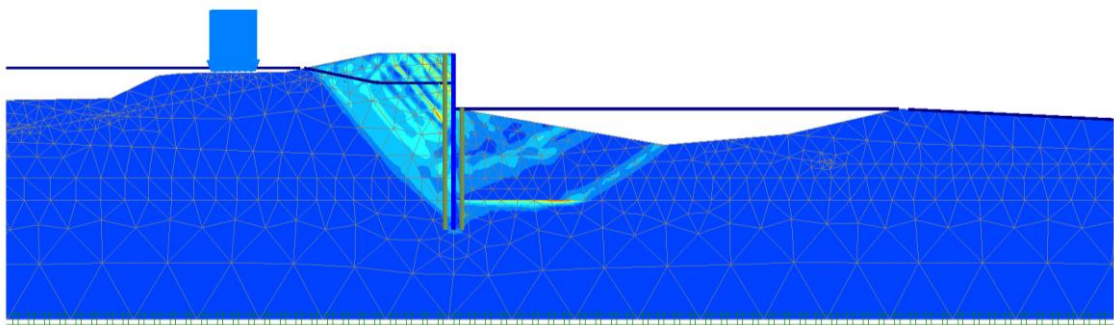
Maximum value =  $-0.08869 \cdot 10^{-15}$  kN m/m (Element 1 at Node 4447)

Minimum value = -157.5 kN m/m (Element 9 at Node 7322)

Figuur 1.7 Buigend moment in de wand (fase 5)

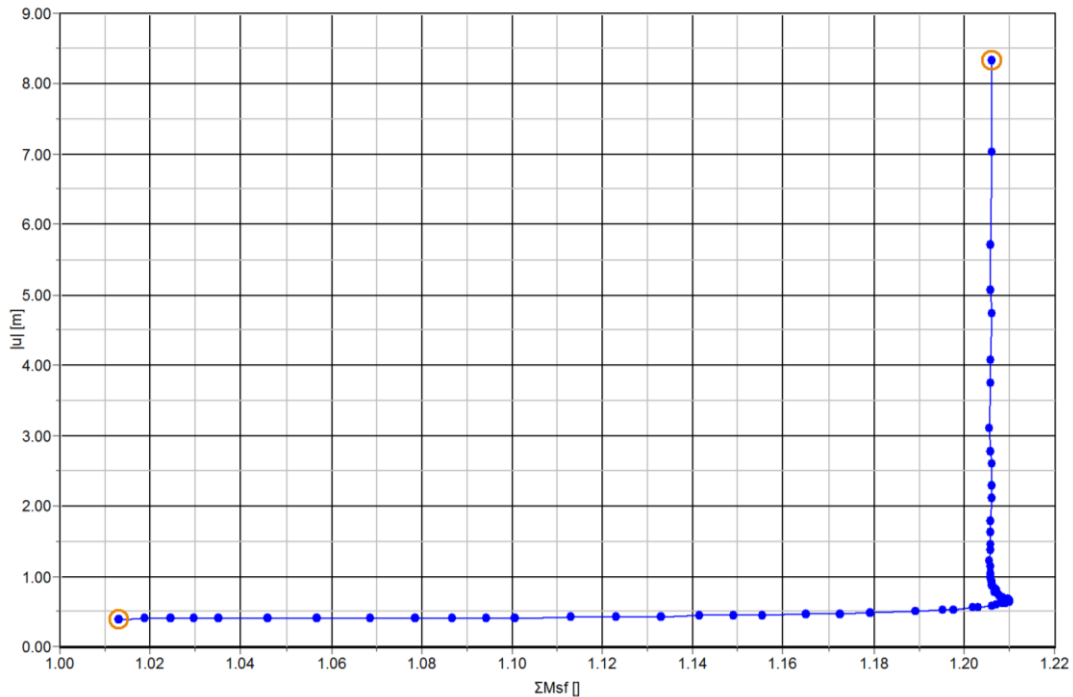
### 1.3.3 Stabiliteit

Figuur 1.8 toont de deviatorische rekken in fase 6 om aan te tonen dat het juiste mechanisme wordt beschouwd tijdens de sterkte-reductie-fase. De verplaatsingen nemen blijvend toe bij een constante waarde van de sterkte-reductie-factor gelijk aan ca. 1,20, zie Figuur 1.9. Aangezien de schematiseringsfactor gelijk is aan ca. 1,1 voldoet het schetsontwerp op stabiliteit.



Figuur 1.8 Deviatorische faserekken (fase 6)





Figuur 1.9 Verplaatsing als functie van de toegepaste sterkte-reductie-factor

#### 1.4 Conclusies en aanbevelingen

De uitkomsten van de globale ontwerpberekening voor een enkele wand, die dient te functioneren als een zelfstandige kering onder MHW op het moment dat aan één van beide zijden een erosiekrater is gevormd, geeft op het eerste gezicht geen reden om deze variant af te schrijven. De berekeningen laten wel relatief grote vervormingen van de niet-verankerde wand zien. Omdat de wand als een zelfstandige kering functioneert, mag de bekleding kapot gaan. Wel verdienen de volgende aspecten in een detail ontwerp nog de nodige aandacht:

- Corrosie toeslag over de levensduur van de damwand;
- piping (bij deze relatief grote vervormingen kan aan waterzijde hydraulische kortsluiting ontstaan);
- aanvullend kwel scherm voor een zekere afdichting bij de combinatie hoogwater en leiding lekkage;
- hoogte van de damwand;
- lengte van de damwand (door de afmetingen van de erosiekrater van de lekkende leiding, rekening houdend met de aanwezigheid van 2 leidingen);
- toepassing van injectie onder de leidingen tussen de damwandplanken voor het geval dat de bestaande leidingen niet door een wand mogen worden doorsneden.

# Colofon

## **Auteurs**

Timo Schweckendiek | Deltares

Anton van der Meer | Deltares

## **Betrokkenen**

Jos Vermeulen | voorheen Waterschap Rivierenland

Jos Janssen | voorheen Waterschap Rivierenland

Peter van Gerwen | Graaf Reinald Alliantie

Harry de Haas | Graaf Reinald Alliantie

Michael van den Boom | Dunea

Rob de Jong | Dunea

Pieter de Waard | Dunea

## **Reviews**

Gert Dijkstra | GJ-Dconsult

Jan Spiekhout | B&B Advisor

Lambert Vendrik | Waterschap Scheldestromen

Ronald Koets | Waterschap Scheldestromen

Harry Schelfhout | namens Hoogheemraadschap van Delfland

## **Vaststelling**

Stuurgroep POV Kabels & Leidingen