

Faalkansanalyse
primaire
waterkering
Nieuwendam
met parallelle
waterleiding

Vijfde toepassing
Veiligheidsraamwerk
Kabels & Leidingen

**Vastgesteld door de
stuurgroep Project Overstijgende Verkenning
Kabels & Leidingen (POV K&L)
op donderdag 3 december 2020**

Peter Ouwendijk | Hoogheemraadschap van Delfland, *voorzitter*

Jos Teeuwen | Waterschap Limburg

Marjo van Maurik - de Graaff | Waterschap Hollandse Delta

Hennie Roorda | Waterschap Rivierenland

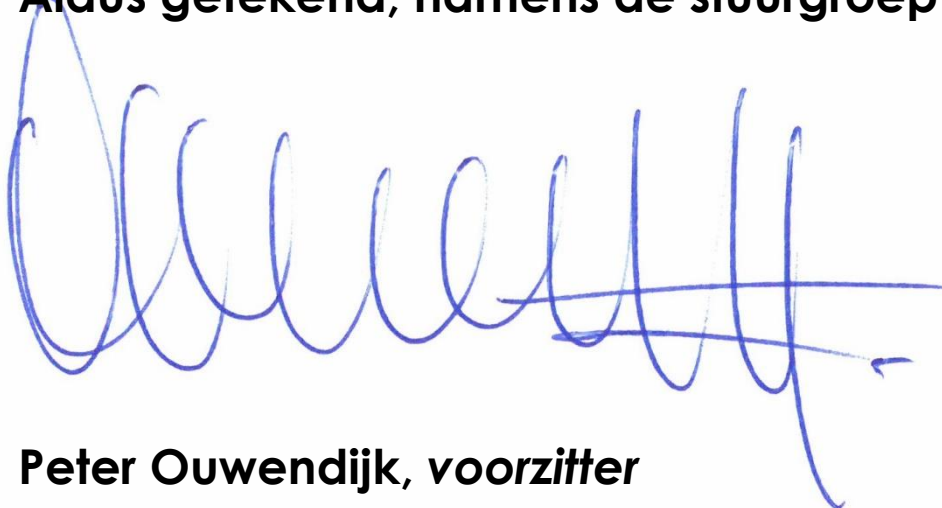
Adri Bom-Lemstra | Provincie Zuid-Holland, *namens IPO*

Ria Doedel | PWN

Han Slootweg | Platform Netbeheerders

Erik Wagener | Hoogwaterbeschermingsprogramma, *agendalid*

Aldus getekend, namens de stuurgroep POV K&L,

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the end.

Peter Ouwendijk, voorzitter

Voorwoord

Voor u ligt het rapport *Faalkansanalyse primaire waterkering Nieuwendam met parallelle 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 van toepassing 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 (probabilistisch) wordt bereikt. Bij de faalkansanalyses bij de primaire waterkering Nieuwendam is gebruik gemaakt van deze mogelijkheid.

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 waterkering beschouwen en de onderlinge beïnvloeding hiervan. Dat betekent dat inzicht nodig is in faalkansen van (met name) de leiding en 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 en aansluit bij 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 hebben we het Veiligheidsraamwerk K&L vier keer toegepast in dijkversterkingsprojecten. De opgedane ervaringen zijn benut om de rekenmethodiek verder te ontwikkelen.

Voor de primaire waterkering Nieuwendam met aanwezige parallelle waterleiding van PWN is het Veiligheidsraamwerk K&L voor de vijfde keer in de praktijk is toegepast. Deze keer voor de periodieke veiligheidsbeoordeling van de bestaande situatie zoals wettelijk vereist. De analyse laat zien dat de bestaande situatie van de waterkering Nieuwendam met aanwezige parallelle waterleiding als veilig kan worden beschouwd. Een belangrijk uitgangspunt daarbij is dat de waterleiding wordt beheerd op basis van de NEN 3650 reeks. Tevens wordt opgemerkt dat de toekomstige verbreding van de weg op de waterkering en de toekomstige bouw van een gemaal op de waterkering niet zijn beschouwd. Indien deze toekomstige werken effect hebben op de leiding zullen deze alsnog moeten worden beschouwd.

Voor de toekomst is een doorkijk gemaakt naar het jaar 2070, om te inventariseren welke maatregelen te treffen zijn voor de waterleiding, zodat de waterkering met parallelle waterleiding ook in de toekomst aan de vereiste veiligheidseisen blijft voldoen. Een toekomstige dijkversterking wordt hiermee voorkomen. Hierdoor worden kosten bespaard.

Disclaimer

De toepassing van het Veiligheidsraamwerk K&L bevindt zich nog in een testfase. Dit betekent dat de resultaten van Nieuwendam 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 primaire waterkering Nieuwendam met parallelle waterleiding

POV Kabels en Leidingen



Faalkansanalyse primaire waterkering Nieuwendam met parallelle waterleiding
POV Kabels en Leidingen

Auteur(s)
A. Teixeira
M. Konstantinou
A. van der Meer

Faalkansanalyse primaire waterkering Nieuwendam met parallelle waterleiding

POV Kabels en Leidingen

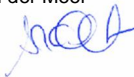


Opdrachtgever	Hoogheemraadschap van Delftland
Contactpersoon	Harry Schelfhout
Referenties	-
Trefwoorden	waterveiligheid, dijken, waterkering, pijpleidingen, risicoanalyse. overstromingskans

Documentgegevens

Versie	1.1
Datum	3 december 2020
Projectnummer	11205719-002
Document ID	11205719-002-GEO-0001
Pagina's	72 + bijlagen
Status	definitief

Auteur(s)

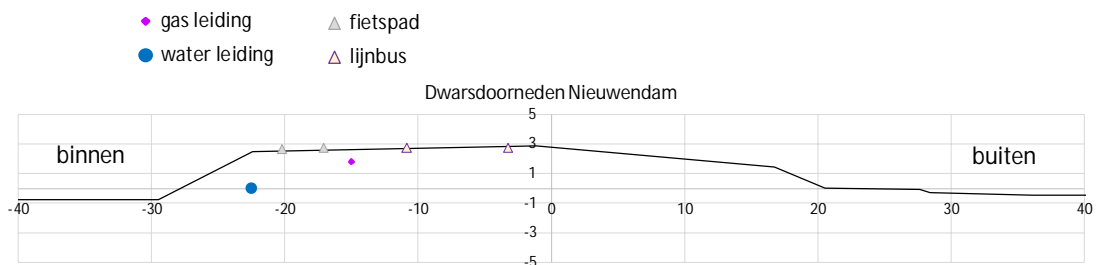
Ana Teixeira Maria Konstantinou Anton van der Meer
--

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
0.1 (oct 2020)	Ana Teixeira Maria Konstantinou Anton van der Meer	Henk Kruse	Harm Aantjes	
1.0 (nov 2020)	Ana Teixeira Anton van der Meer	Henk Kruse	Harm Aantjes	
1.1	Ana Teixeira Anton van der Meer 	Henk Kruse 	Harm Aantjes 	

Samenvatting

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 dijkbeoordeling of dijkversterkingsprojecten te minimaliseren (POV K&L, 2017). De voorliggende studie betreft een referentieproject van de POV K&L, met als belangrijkste doel om de risico's van kabels en leidingen bij dijkbeoordelingsprojecten in beeld te brengen, zodat indien nodig maatregelen genomen kunnen worden.

De uitwerking van het referentieproject van een parallel gelegen waterleiding betreft de beoordeling van de bestaande primaire waterkering met aanwezige parallelle leiding. De daarbij toegepaste systematiek sluit aan bij de werkwijze van de POV K&L bij het ontwerp van dijkversterkingen. Binnen het waterkeringstraject ter plaatse van de Nieuwendam bevindt zich een parallelle waterleiding in dijk, die bij lekkage de waterveiligheid kan beïnvloeden. De waterleiding bevindt zich nabij de binnenkruin. In de nabijheid van de waterleiding bevindt zich tevens een gasleiding. De leidingen bevinden zich ter plaatse van de binnenkruinlijn van de waterkering Nieuwendam.



De leiding zal moeten voldoen aan de eisen van de NEN 3650 en de NEN 3651. Voorliggende studie heeft als doel om te onderzoeken of de waterkering met de waterleiding in de bestaande situatie zonder maatregelen voldoet aan de waterveiligheidseisen, die zijn gerelateerd aan de toelaatbare overstromingskans. Hiervoor is een integrale faalkansanalyse van de waterkering uitgevoerd, inclusief de invloed van falen van de waterleiding.

Opgemerkt wordt dat het tracé van de waterleiding in lengte richting voorbij de Nieuwendam afbuigt en door de primaire kering loopt. Dit rapport en de conclusies beperken zich tot de Nieuwendam, de afbuigende tracé delen zijn niet beoordeeld.

Methodie

De methodiek die wordt gebruikt bij de integrale faalkansanalyse is reeds in eerdere POV K&L referentieprojecten toegepast. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de systematiek in het door WBI ontwikkelde Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen (Deltares, 2018) en de koppeling hiervan met onderdelen van de NEN 3650 reeks (NEN, 2020). De uitwerking van het Veiligheidsraamwerk K&L is vormgegeven in een gebeurtenissenboom.

Bij eerder uitgevoerde faalkansanalyses in de referentieprojecten is gebleken dat lengte effecten van zowel de waterkering maar ook van het aantal aanwezige leidingen een rol spelen bij de toetsing van de uitkomst van de faalkansanalyse. Voor de periodieke veiligheidsbeoordeling van de bestaande situatie wordt conform de Waterwet uitgegaan van de signaleringswaarde van de trajectnorm. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat bij hanteren van een faalkans van 0.1% van de trajectnorm de faalkansbijdrage van de betreffende leiding acceptabel kan worden geacht. We gaan er tevens bij deze studie van uit dat de faalkansruimte

van 1% voor alle parallelle leidingen past binnen de beschikbare faalkansruimte van 30% voor "Overige mechanismen".

Waterleiding

Voor de invulling van de gebeurtenissenbomen zijn door KWR de faalkansen van de waterleiding bepaald. Hierbij is onderscheid gemaakt in faalscenario's. De faalscenario's met een negatieve invloed betreffen het ontstaan van erosiekraters (gapend lek) en een verhoogde freatische lijn (sluipend lek). KWR maakt gebruik van casuïstiek uit Nederland, om de kans op leidingfalen te bepalen.

De asbestcement (AC) waterleiding is aangelegd in 1979. Sinds de aanleg zijn er grond vervormingen opgetreden. Bij AC leidingen speelt de mogelijke afname van de wanddikte een belangrijke rol in de leidingsterkte analyse. Na analyse van de waterkwaliteit wordt een wanddikte afname snelheid van 0.025 mm per jaar verwacht. De leiding blijkt dan bij de te verwachten grondvervormingen in 2020 aan de eis volgens NEN 3650 te voldoen. Bij een grotere wanddikte afname snelheid of bij een langere periode voldoet de leiding niet meer aan de eis.

Als alleen naar de bestaande situatie wordt gekeken, zijn er vanuit leidingsterkte geredeneerd geen redenen om in ongunstige zin af te wijken van de casuïstiek van leidingfalen zoals gebruikt ter bepaling van de faalkans van de leiding. In de toekomst, met het verstrijken van de tijd tot het doorkijkjaar 2070 zal er een afwijking van de casuïstiek kunnen optreden. Tevens voldoet de leiding met het verstrijken van de tijd door een toename van de grondvervorming en een afname van de wanddikte niet meer aan de eis volgens NEN 3650, zodat het noodzakelijk is om de aanwezige wanddikte van de leiding ter plaatse van de waterkering vast te stellen door middel van metingen. Met deze beschouwing kan worden afgewogen om maatregelen te treffen voor de waterleiding, zodat de waterkering met parallelle waterleiding ook in de toekomst aan de veiligheidseisen blijft voldoen, waardoor een dijkversterking niet nodig is. Op deze manier kan met een beperkte investering worden voorkomen dat in de toekomst hoge maatschappelijke kosten worden gemaakt.

Naast de waterleiding bevindt zich een lage druk gasleiding. Het effect van falen van deze gasleiding is zeer gering en er is geen interactie met de waterleiding. Het mogelijk falen van de gasleiding is derhalve niet van invloed op de waterkering.

Integrale faalkansanalyse waterkering

Bij de integrale faalkansanalyse zijn alle faalkansen van de waterkering per faalmechanisme beschouwd, rekening houdend met de kans op leidingfalen en het faalscenario. Hierbij is de additionele faalkans door leidingfalen per faalmechanisme berekend en is deze gesommeerd om de totale additionele faalkans te bepalen. In de berekening speelt ook de kans op herstel voor een hoog water periode een rol.

In de hier beschreven studie is een maximaal toelaatbare bijdrage van alle parallelle leidingen aan de overstromingskans van 1% aangehouden (hiervoor kan een waterschap eventueel een andere waarde kiezen). Door in de eis het aantal parallelle leidingen en de lengte van de leidingen te beschouwen middels een lengte effect factor ($N=10$) betekent dat de daadwerkelijke bijdrage van de te beoordelen AC-leiding aan de overstromingskans kleiner is dan 0.1%. Bij de afleiding van de lengte-effect factor zijn pragmatische keuzes gemaakt voor de grootte van de parameters die de waarde van de lengte-effect factor bepalen. Alhoewel door toekomstig onderzoek deze pragmatische gekozen parameter waarden mogelijk nog iets kunnen veranderen, zal de waarde voor de lengte effect factor niet veel van $N = 10$ afwijken.

Uit de faalkansanalyse blijkt dat de faalkansbijdrage door leidingfalen voor de waterkering voor alle relevante faalscenario's $3.0E-8$ per jaar bedraagt. Dit is lager is dan de faalkanseis voor een individuele parallelle leiding van $3.3E-7$ (gebaseerd op 0.1 % van de signaleringswaarde van de trajectnorm). Uit de analyse blijkt tevens dat de bijdrage voornamelijk wordt geleverd door de kans op instabiliteit van het binnentalud bij een sluipend lek in de waterleiding (STBI).

Conclusies

De uitvoering van een integrale faalkansanalyse voor de bestaande situatie van de waterkering Nieuwendam met een parallelle waterleiding is toepasbaar gebleken. De beschouwing geeft aan dat de waterkering met leiding voldoet aan de faalkanseis en daarmee een aanvaardbare bijdrage aan de overstromingskans heeft. De analyse laat dus zien dat de situatie van de waterleiding Nieuwendam als veilig kan worden beschouwd. De faalkans van de leiding zal mogelijk toenemen in de loop van de tijd. Door de mogelijke wanddikte afname kan over een aantal jaren de faalkans van de leiding toenemen. De leiding zal bij een afnemende wanddikte ook niet meer voldoen aan de eisen volgens NEN 3650 reeks. Het wordt daarom aanbevolen om op korte termijn de actuele wanddikte van de leiding door middel van metingen in beeld te brengen (wanddiktemeting en controle op veroudering/uitlogen).

Het dient te worden opgemerkt dat de rapportage gericht is op de beschrijving van een methode voor de beoordeling van de faalkansbijdrage van een bestaande leiding aan de overstromingskans behorende bij de bestaande waterkering. Toepassing van de methodiek bij een nieuwe leiding en/of een ontwerpsituatie vraagt om een nieuwe faalkansanalyse waarbij de randvoorwaarden en uitgangspunten verschillend van aard en omvang kunnen zijn. De methode die het rapport beschrijft is nadrukkelijk niet bedoeld om de aanleg van nieuwe leidingen in waterkeringen mogelijk te maken of te stimuleren. De POV K&L brengt in 2020 een rapport uit waarin de resultaten en leerervaringen van alle praktijktoepassingen van het Veiligheidsraamwerk K&L zijn opgenomen.

De toekomstige verbreding van de weg op de waterkering en de toekomstige bouw van een gemaal op de waterkering zijn niet beschouwd in deze studie. Indien deze toekomstige werken effect hebben op de leiding zullen deze alsnog moeten worden beschouwd.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	10
1.1	Algemeen	10
1.2	Doelstelling en aanpak	11
1.3	Leeswijzer	11
2	Methodiek veiligheidsverificatie	12
2.1	Normatieve kaders en Veiligheidsraamwerk K&L	12
2.2	Verificatie veiligheid 'van grof naar fijn'	13
2.3	Dijkfaalmechanismen en faaldefinitie	13
2.4	Centrale zone en direct falen	14
2.5	Faalkanseis	15
2.6	Faalkanseisen dijkfaalmechanismen	16
3	Uitgangspunten	17
3.1	Waterkering	17
3.1.1	Algemeen	17
3.1.2	Grondopbouw en parameters	18
3.1.3	Invoerparameters	18
3.1.4	Belastingen en waterspanningen	21
3.1.4.1	Verkeersbelasting	21
3.1.4.2	Hydraulische belasting	21
3.1.4.3	Waterspanningsverloop	22
4	Leidingsterkte en faalkans	23
4.1	Waterleiding	23
4.2	Grondvervormingen	23
4.3	Leidingsterkte	23
4.4	Kans op leidingfalen	25
4.5	Gevolgen falen waterleiding	25
4.5.1	Algemeen	25
4.5.2	Erosiekraters	26
4.5.3	Sluipend lek	26
5	Leidingfalen en hoogwater	28
6	Dijkfalen	29
6.1	Algemeen	29
6.2	Faalkans waterkering zonder leidingfalen	29
6.2.1	Golfoverslag, erosie kruin en binnentalud	29
6.2.2	Piping	29
6.2.3	Macro-instabiliteit	29
6.3	Faalkans waterkering gegeven leidingfalen	30
6.3.1	Golfoverslag, erosie kruin en binnentalud	30
6.3.2	Piping	31
6.3.3	Macro-instabiliteit	31
6.4	Samenvatting dijk faalkansen	32

7	Integrale faalkans analyse	33
7.1	Faalpaden / faalscenario's	33
7.2	Resultaten integrale faalkansanalyse	35
7.3	Doorkijk tot 2070	36
8	Conclusies en aanbevelingen	37
Referenties		38
A	Nieuwendam	40
A.1	Weg N247	40
A.2	Gemaal	41
B	Nieuwendam – dijk en leidingen	42
C	Sonderingen Nieuwendam	47
C.1	CPT uit DINOloket – Inpijn – Blokpoel (2016)	48
C.2	CPT t.b.v. gemaal FUGRO (2017)	51
D	Berekening van leiding kraters – NEN 3651	56
D.1	Erosiekrater gasleiding	56
D.2	Erosiekrater bij gapend lek waterleiding	58
E	Freatische lijn gegeven sluipend lek	60
F	Kritieke glijvlakken bij macro-instabiliteit	62
F.1	Zonder leiding falen	62
F.1.1	STBI-Klei	62
F.1.2	STBI-Zand	63
F.1.3	STBU-Klei	63
F.1.4	STBU-Zand	64
F.2	Gapend lek	65
F.2.1	STBI	65
F.2.2	STBU	65
F.3	Sluipend lek	66
F.3.1	STBI	66
F.3.2	STBU	67
G	Grondvervormingen waterkering: analyse door Deltares	68
H	Leidingsterkte: analyse door R+K	69
I	Faalkans leidingfalen: analyse door KWR	70
J	Faalkans leidingfalen: Aanvullende analyse door KWR	71

Afkortingen en symbolen

β	Betrouwbaarheidsindex (maat voor de faalkans, op jaarbasis)
GEKB	Grasbekleding Erosie Kruin en Binnentalud (toetsspoor)
HWBP	Hoogwaterbeschermingsprogramma
NEN	Nederlandse Norm
NPR	Nederlandse Praktijkrichtlijn
NWO	Niet Waterkerende Objecten
OI	Ontwerpinstrumentarium (regelwerk voor ontwerpen van waterkeringen)
Pf	Faalkans (per jaar)
POV	Projectoverstijgende verkenning (HWBP)
POV K&L	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 en heave (toetsspoor)
TOM	Toets op Maat
WBI	Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (voor beoordelen veiligheid bestaande waterkeringen)

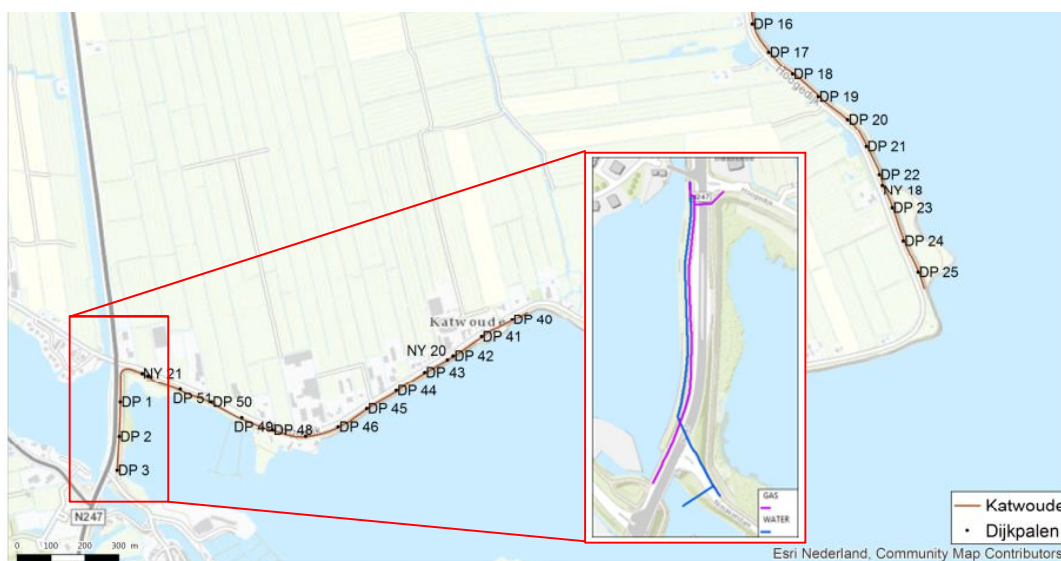
1 Inleiding

De voorliggende studie betreft een referentieproject van de POV Kabels en Leidingen (POV K&L), welke wordt uitgevoerd binnen het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP), met als belangrijkste doel om de risico's van kabels en leidingen bij dijkversterkingsprojecten in beeld te brengen zodat indien nodig maatregelen genomen kunnen worden (POV K&L, 2017).

De uitwerking van het referentieproject Nieuwendam met een parallel gelegen waterleiding betreft de beoordeling van een bestaande waterkering met parallelle leiding. De daarbij toegepaste systematiek sluit aan bij de werkwijze van de POV K&L bij het ontwerp van dijkversterkingen.

1.1 Algemeen

Voor de HWBP verkenning van het project 'Katwoude, Gouwee en Buiten-IJ' is een consequentie analyse opgesteld (Alliantie Markermeerdijken, 2018b,c). Uit deze verkenning volgt dat de waterkering ter plaatse van de Nieuwendam (dit is tevens de N247 tussen Katwoude en Monnickendam) met de gedetailleerde toets van het WBI 2017 niet voldoet aan de vereiste faalkans. Een toets op maat met de restbreedte methode kan niet zondermeer worden toegepast, omdat er zich een waterleiding in de dijk bevindt, die bij lekkage de waterveiligheid kan beïnvloeden. De waterleiding bevindt zich nabij de binnenkruin. In de nabijheid van de waterleiding bevindt zich tevens een gasleiding. De leidingen bevinden zich ter plaatse van de binnenkruinlijn van de Nieuwendam.



Figuur 1.1 Katwoude kaart, dijkpalen en aanwezig leidingen ter plaatse van de Nieuwendam

Het voorliggende rapport beschouwd de huidige situatie van de waterkering en de parallelle waterleiding. Er wordt bij de toetsing van de waterveiligheid van de waterkering inclusief de leiding gebruik gemaakt van de randvoorwaarden van 2023. Aangezien de leiding ook na 2023 zal worden gebruikt wordt er tevens een doorkijk gegeven tot in 2070.

Er wordt voor de N247 momenteel een uitvoeringsplan gemaakt voor de verbreding van de weg. In het kader hiervan worden kleine profielaanpassingen gedaan aan de Nieuwendam.

Tevens wordt er binnenkort in de Nieuwendam een gemaal gebouwd. De toekomstige verbreding van de weg op de waterkering en de toekomstige bouw van een gemaal op de waterkering zijn niet beschouwd in deze studie.

1.2 Doelstelling en aanpak

Het primaire doel van deze studie is om de faalkans van de waterkering te bepalen voor de situatie dat de huidige waterleiding wordt gehandhaafd zonder aanvullende maatregelen. Hiervoor worden de relevante scenario's van leidingfalen en de gevolgen hiervan voor de waterkering betrokken in een integrale faalkansanalyse. Tevens wordt gecontroleerd of de leiding voldoet aan de eisen vanuit de NEN 3650 reeks (NEN, 2020) met betrekking tot de sterkte van de leiding.

Het secundaire doel is het demonstreren van een integrale faalkansanalyse met de invloed van leidingfalen voor dijken met parallel gelegen leidingen aan de hand van een concreet voorbeeld, zodat ook op andere locaties waterkeringen kunnen worden beoordeeld in relatie tot de geldende overstromingskansnormen.

1.3 Leeswijzer

De in deze studie gevolgde methodiek ter verificatie van de veiligheidseisen wordt beschreven in **hoofdstuk 2**. **Hoofdstuk 3** bevat een gedetailleerde weergave van de gehanteerde uitgangspunten voor de waterkering en de leiding, gevolgd door **hoofdstuk 4** waarin de sterkteberekening van de leiding en de faalkansen en de gevolgen van leiding falen worden samengevat.

Hoofdstuk 5 beschouwt de kans van het samenvallen leidingfalen en hoogwater, en in **hoofdstuk 6** wordt de veiligheidsbeoordeling weergegeven voor de relevante dijkfaalmechanismen

Hoofdstuk 7 bevat vervolgens de integrale faalkansanalyse, waarin de faalkansen van de leiding, de gevolgen van leidingfalen en de faalmechanismen van de waterkering aan elkaar worden gekoppeld. Afsluitend bevat **hoofdstuk 8** de conclusies en aanbevelingen. Een gedetailleerde weergave van de gehanteerde uitgangspunten en beschrijvingen van de analyses staan in de bijlagen van dit rapport.

2 Methodiek veiligheidsverificatie

Dit hoofdstuk bevat naast een beschrijving van de relevante normatieve kaders een beknopte beschrijving van de belangrijkste uitgangspunten voor de toepassing van het Veiligheidsraamwerk K&L.

2.1 Normatieve kaders en Veiligheidsraamwerk K&L

Het hoofddoel van de voorliggende studie is om te verifiëren of de bestaande waterkering met leiding aan de in de Waterwet beschreven veiligheidseisen vanuit waterveiligheid voldoet. De wettelijke waterveiligheidsnorm gaat uit van een overstromingskansbenadering. In de Waterwet worden de normen voor de primaire waterkeringen vermeld en de regels die gelden voor de periodieke beoordeling van de veiligheid van de primaire waterkeringen. De regels zijn uitgewerkt tot een Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI) dat momenteel het vigerende instrument is voor het beoordelen van de veiligheid van bestaande primaire waterkeringen.

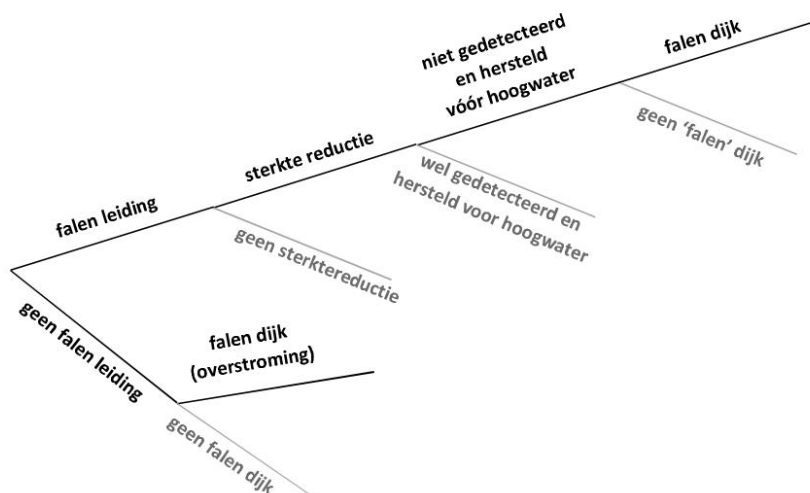
Voor de beoordeling van de veiligheid van bestaande primaire waterkeringen voorziet het WBI in “Bijlage III Sterkte en veiligheid” van de “Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017” (I&M, 2017a), waarbij wordt gerefereerd naar de veiligheidseisen van de NEN 3650 reeks voor situaties waarbij leidingen invloed kunnen hebben op het waterkerend vermogen van de waterkering en daarmee de kans op overstroming. In het WBI wordt ervan uitgegaan dat de kabels en leidingen als NWO (niet-waterkerend object) tot de indirecte mechanismen behoren en binnen de faalkansruimte van de directe mechanismen worden ondergebracht. In de POV K&L is tevens het scenario uitgewerkt waarbij kabels en leidingen tot de directe mechanismen behoren, waarbij voor de beschikbare faalkansruimte kan worden geput uit de post ‘Overige mechanismen’ (30% van de totale faalkansruimte). Dit wordt in de POV K&L geduid als optie 1. De aanpak volgens het WBI wordt in de POV K&L geduid als optie 2.

De NEN 3650 reeks stelt in principe (deterministische) eisen aan de veiligheid van de leidingen zelf. Alhoewel in de NEN 3651 richtlijnen en eisen worden gegeven voor leidingen bij waterkeringen worden geen specifieke eisen gesteld aan de veiligheid van een waterkering of een ander waterstaatswerk. Ten tijde van het ontwerp en constructie van de leiding met de dijk bestond de NEN 3651 overigens nog niet. De Pijpleidingcode bestond al wel bij ten tijde van de aanleg van de leiding.

In NEN 3650 (paragraaf 6.5.1 NEN 3650, 2020a) wordt aangegeven dat de leiding de functie van het waterstaatswerk niet op ontoelaatbare wijze mag beïnvloeden. In NEN 3651 wordt in paragraaf 10.5.2.3. aangegeven dat leidingen behoren tot de niet waterkerende objecten van een waterkering en dat bij de beoordeling volgens de toets op maat kan worden aangesloten bij het veiligheidsraamwerk van de POV K&L. De aansluiting tussen NEN 3650 en het WBI kan worden gerealiseerd door middel van een integrale faalkansanalyse, waarbij de effecten van leidingfalen bij het bepalen van de overstromingskans worden meegenomen (paragraaf 10.5.3 in NEN 3651).

Dit rapport beschrijft de ‘toets op maat’ in de veiligheidsbeoordeling van de bestaande waterkering met een parallelle waterleiding. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de systematiek in het door WBI ontwikkelde Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen (Deltares, 2018) en de koppeling hiervan met onderdelen van de NEN 3650 reeks (NEN, 2020). Het dient te worden opgemerkt dat de rapportage gericht is op de beschrijving van de methode voor de beoordeling van de bijdrage van een leiding aan de faalkans van de waterkering.

De veiligheidsbeschouwingen in deze studie hebben betrekking op waterveiligheid. Het Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen (Deltares, 2018a) beschrijft hoe een integrale faalkansanalyse voor een bestaande dijk/waterkering met de invloed van een potentieel falende leiding kan worden uitgevoerd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een gebeurtenissenboom die opgesteld is voor alle dijkfaalmechanismen en leidingfalen (zie Figuur 2.1).



Figuur 2.1 Generieke gebeurtenissenboom (faalpaden) volgens Veiligheidsraamwerk K&L (Deltares, 2018a)

2.2 Verificatie veiligheid 'van grof naar fijn'

In de voorliggende studie gaat het om te verifiëren of de bestaande situatie al dan niet aan de betrouwbaarheidseisen van de geldende overstromingskans-normen voldoet. 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. In deze studie is dan ook van grof naar fijn gewerkt, zowel voor het onderdeel leiding falen (deelstudies van KWR), als voor het falen van de waterkering. In het voorliggende hoofdrapport worden derhalve de eindresultaten beschreven die nodig waren voor de verificatie van het veiligheidsniveau van de waterkering. Bij een nadere meer gedetailleerde analyse kunnen dus uiteindelijk nog lagere faalkansen worden bepaald.

2.3 Dijkfaalmechanismen en faaldefinitie

De volgende faalmechanismen van de waterkering zijn essentieel voor de overstromingskans van de dijk als het gaat om de invloed van een falende leiding. Deze mechanismen worden expliciet uitgewerkt in de integrale faalkansanalyse in hoofdstuk 6 en 7:

1. **Overloop/golfoverslag** en erosie kruin/binnentalud (GEKB).
2. **Interne erosie** (STPH).
3. **Macro-instabiliteit** binnenwaarts en buitenwaarts (STBI en STBU).

Bij de bovenstaande mechanismen wordt dus rekening gehouden met een beschadigd grondlichaam. Effecten op andere faalmechanismen van de waterkering worden semi-kwantitatief beschouwd.

Voor het faalmechanisme overslag (GEKB) wordt als faaldefinitie het overschrijden van een overslagdebiet van 5 l/m/s gehanteerd voor een intact binnentalud. Voor een door een erosiekrater beschadigd binnentalud wordt met een verlaagd kritiek overslagdebiet van 0.1 l/m/s gerekend.

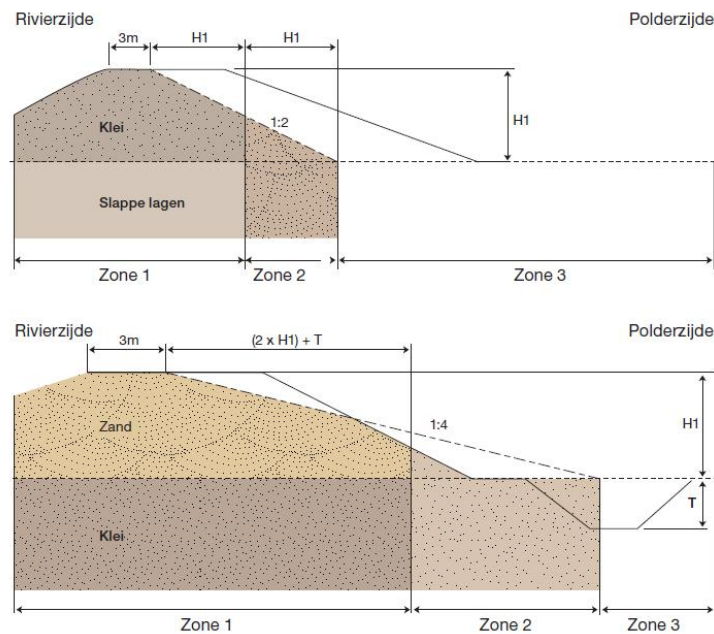
Voor instabiliteit van de waterkering (zowel STBI als STBU) worden alleen glijvlakken beschouwd die tot een resterende kruinbreedte na afschuiving van minder dan 3.0 m leiden - zie Figuur 2.2. Dit sluit aan bij de restprofielbenadering beschreven in het Technisch Rapport Actuele Sterkte (TRAS – ENW, 2009). Vanzelfsprekend worden glijvlakken die de integriteit van de waterleiding kunnen bedreigen wel in de beschouwing meegenomen.

Voor instabiliteit is de stabiliteitsfactor (SF) berekend met behulp van D-GeoStability. De SF kan worden vertaald naar een betrouwbaarheidsindex (β_{STBI} en dan faalkans $P_{f_{STBI}}$) met behulp van de hieronder vergelijking (WBI2017 kalibratiestudie):

$$\beta_{STBI} = \frac{\left(\frac{SF}{1.06} - 0.41\right)}{0.15} \quad (\text{Vgl. 2.1})$$

$$P_{f_{STBI}} = 1 - \Phi^{-1}(\beta_{STBI})$$

Waar Φ^{-1} is een standaard normale verdeling.



Figuur 2.2 Definitie /zone 1 ENW (2009), wederom gebaseerd op TAW (1994)

2.4 Centrale zone en direct falen

Direct falen is het geval wanneer de krater zich (deels) in zone 1 de 'centrale zone' van de waterkering bevindt. De krater bevindt zich (deels) in de 'centrale zone' als de afstand tussen het faalpunt/lek en de 'centrale zone' kleiner is dan de straal van de krater. De kans op falen van de waterkering gegeven direct falen is dus in dat geval dus 1. Het kansbijdrage door direct falen van de waterkering wordt niet in een separaat faalpad weergegeven maar is opgenomen onder de faalpaden met dijkfaalmechanisme GEKB.

2.5 Faalkanseis

De waterveiligheidsnormen zijn wettelijk vastgelegd en gedefinieerd als toelaatbare overstromingskansen per dijktraject per jaar. De waterkering Nieuwendam maakt onderdeel uit van het dijktraject 13-9 (lengte 28.8 km) met een trajectnorm met een maximaal toelaatbare overstromingskans van 1/3000 per jaar (signaleringswaarde) of 1/1000 per jaar (ondergrens). Voor de hydraulische randvoorwaarden wordt uitgegaan van het jaar 2023.

De toetsing van de bijdrage van leidingfalen aan de overstromingskans, P_f wordt gebaseerd op de totale faalkansbijdrage van de parallelle leidingen (ofwel de additionele bijdrage) ten opzichte van de signaleringswaarde van de wettelijk norm voor het dijktraject (P_{norm}). Hieronder volgt een korte beschrijving van een generieke faalkanseis voor parallelle leidingen in of nabij primaire waterkeringen. Hierbij wordt uitgegaan van het volgende:

- De grondvervormingen bij hoogwater zijn relatief gering, zodat er vanuit gegaan kan worden dat leidingfalen en dijkfalen niet gecorreleerd zijn (voor de Nieuwendam is dit beschreven in Bijlage H).
- De kans op een overstroming door leidingfalen wordt berekend.
- Gegeven dat de leiding is gefaald, ligt de locatie van de (mogelijke) overstroming vast en is het niet nodig om voor een dijkfaalmechanisme het bijbehorende lengte-effect in rekening te brengen.'
- In afwijking van de werkwijze zoals opgenomen in het WBI 2017, wordt aantasting van de waterkering door falen van een parallelle leiding hier beschouwd als een direct faalmechanisme. Voor dit faalmechanisme leidingfalen wordt de faalkans op doorsnedeniveau getoetst door uit te gaan van faalkansruimte ω die wordt gereserveerd voor leidingfalen en de voor leidingfalen geldende lengte-effectfactor N :

$$P_{eis} < \frac{P_{norm} \cdot \omega}{N}. \quad (\text{Vgl. 2.2})$$

- Binnen de hier gehanteerde methodiek wordt er vanuit gegaan dat een bijdrage van leidingfalen aan de overstromingskans van 1% van de trajectnorm toelaatbaar is, oftewel $\omega = 0.01$. Dat is een keuze. Uitgangspunt in deze studie is dat de 1% betrekking heeft op alle in het dijktraject aanwezige parallelle leidingen. Zo kan worden voorkomen dat bij toepassing van dit criterium op alle parallelle leidingen in het traject de gezamenlijke faalkansbijdrage toch significant wordt. De faalkansruimte van 1% past ruim in de faalkansruimte van 30% die beschikbaar is onder de post "overige". Hier kan ook voor de bijdrage als gevolg van het falen van de kruisende leidingen 1% worden gereserveerd. Zodoende blijft er nog voldoende faalkansruimte over voor de andere mechanismen.
- De vergelijking van de lengte-effectfactor N voor de parallelle leidingen is:

$$N = 1 + \frac{a \cdot L_{leiding}}{b}. \quad (\text{Vgl. 2.3})$$

- $L_{leiding}$ is de totale lengte van de parallelle leidingen in het dijktraject. Het betreffende dijktraject 13-9 heeft een lengte van 28,800 m. Vanwege de mogelijke aanwezigheid van meerdere parallelle leidingen wordt als voorlopige aanname uitgegaan van $L_{leiding} = 50,000 \text{ m}$. Of dit een goede aanname is kan eventueel nog worden geverifieerd op basis van een inventarisatie van alle aanwezige leidingen in het dijktraject.
- a is het deel van de leidingen dat een significante bijdrage levert aan de kans op overstroming. Het dijkprofiel, de dijkopbouw, het type leiding, de inwendige druk en de locatie van de leiding varieert langs de dijk. Een deel van de leidingen zal dus een verwaarloosbare invloed hebben op de overstromingskans door leidingfalen.

Geschat wordt dat $a = 0.01$. In hoeverre dit een optimistische of juist conservatieve schatting is zou uit een in de toekomst uit te voeren consequentieanalyse moeten volgen. In de toekomst kan het dus zo zijn dat op basis van uit te voeren studies blijkt dat deze waarde verhoogd of verlaagd moet worden.

- b wordt gelijk genomen aan de correlatielengte van de leiding, $\Delta L = 50 \text{ m}$. De onderbouwing volgt uit de notitie “Beschouwing referentielengte” van Spiekhout en Vrouwenfelder, opgenomen in het rapport “Filters voor parallelle lagedruk leidingen” (Deltares, 2020). Het dient te worden opgemerkt dat deze correlatielengte op een pragmatische manier is vastgesteld en dat wellicht in de toekomst kwantitatief onderbouwde differentiatie naar leiding bezwijkmechanismen mogelijk is ¹.
- Bij de berekening van de lengte-effectfactor volgt dan:

$$N = 1 + \frac{0.01 \cdot 50,000}{50} \approx 10 \quad (\text{Vgl. 2.4})$$

De factor voor het lengte-effect bij parallelle leidingen N bedraagt 10, dus is de faalkanseis voor het falen van een individuele parallelle leiding in de Nieuwendam gelijk aan:

$$P_{eis} = \omega \times P_{norm} / N = 0.01 \times 1/3000 / 10 = 3.33\text{E-}07 \text{ per jaar.}$$

2.6 Faalkanseisen dijkfaalmechanismen

De faalkanseisen voor de verschillende dijkfaalmechanismen zonder leidingfalen zijn hieronder in Tabel 2.1 weergegeven:

Tabel 2.1 Dijkdoorsnede faalkanseisen (zonder leidingfalen) o.b.v. signaleringswaarde. Per faalmechanisme de gebruikte waarden voor ω en voor N (uitgesplitst in de waarden voor $L = 28.8 \text{ km}$, a en b) zijn gebruikt.

Mechanisme	ω / N	Pf eis,dsn (Waterwet)
Golfoverslag, erosie kruin/binnentalud (GEKB)	0.24 / 2	4.0 E-5
Piping (STPH)	0.04 / 39.4	3.4 E-7
Macro-instabiliteit binnenwaarts (STBI)	0.24 / 20.2	4.0 E-6
Macro-instabiliteit buitenwaarts (STBU)		4.0 E-5

¹ Feitelijk gaat het bij het lengte-effect om een combinatie van dijkfalen en leidingfalen. De correlatielengtes voor dijkfaalmechanismen zijn gelijk of groter dan de 50 m voor de leiding. Daarmee is het aanhouden van $\Delta L=50 \text{ m}$ in het bepalen van de lengte-effect factor conservatief.

3 Uitgangspunten

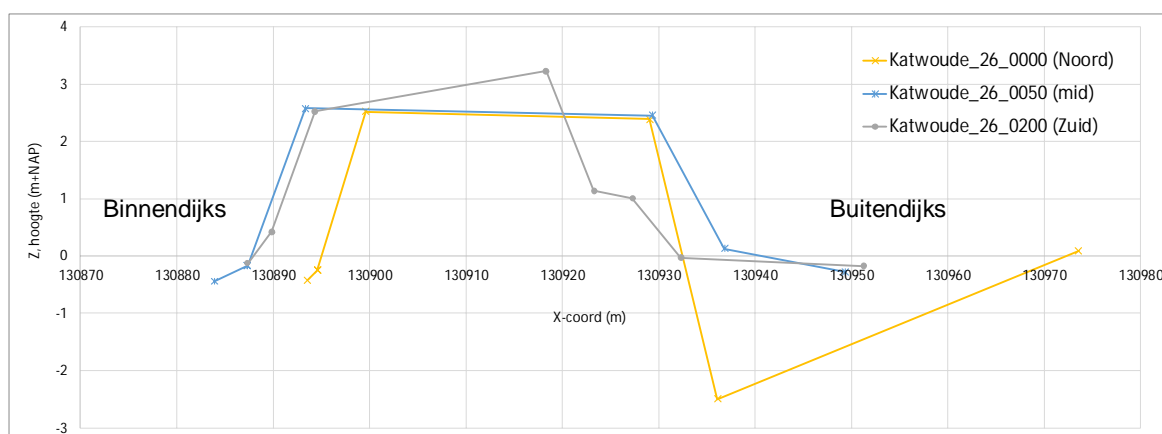
3.1 Waterkering

3.1.1 Algemeen

Er zal worden uitgegaan van de beoordeling van de bestaande situatie, waarbij de invloed van de voorgenomen maatregelen, zoals het verbreden van de verkeersweg en de bouw van het gemaal buiten beschouwing zijn gelaten. Een situatie schets is te zien in Bijlage A. Bij deze studie zijn de volgende gegevens gebruikt:

- Alliantie Markermeerdijken (2018). Consequentieanalyse WBI Katwoude. Uitgangspuntennotitie & Veiligheids-rapportage.
- Antegroup (2018). Geotechnisch onderzoek Primaire kering Monnickendammergat. N247 km 29.20-31.65 en km 36.80-43.35. N235/N247 Doorstromings maatregelen en Groot Onderhoud. definitief revisie 1.0D d.d.12-8-2018.
- Geotechnisch onderzoek Nieuwbouw gemaal aan de N247 te Monnickendam (Wiertsema & Partners B.V. mrt 2020).
- Sonderingen weggedeelte (2020) N247 2020-01-15.pdf.
- Grondonderzoek Fugro (2017).pdf.
- Gegevens van DinoLoket en Inpijn – Blokpoel (2016).
- Werkwijze ontwerp damwanden (Versterking Markermeerdijken). Documentnummer AMMD-008756,.def. apr 2020.
- Info oude waterkering in 1916.
- Versterking van de dijk in 1950.
- Onderhoud aan de provinciale weg in 1970.
- Aanleg van de water leiding in 1979.

De beschikbare dwarsprofielen zijn in Figuur 3.1 weergegeven,. De ligging van het dwarsprofiel wordt weergegeven in Bijlage A (Figuur A.1). Profiel Katwoude_26_0200 is meegenomen in de analyses (tussen DP2 en DP3) vanwege de smallere kruinbreedte. Dit profiel is het maatgevende profiel voor de faalmechanismen STBI, STBU en STPH. Voor de hoogteligging van het bodem niveau van de Purmer Ee is in overeenstemming met de uitgangspunten in de consequentieanalyse NAP-2.5 m aangehouden. Voor het faalmechanisme GEKB is de laagste kruinhoogte, NAP+2.5 m aangehouden. Zie Bijlage A en B voor meer informatie.



Figuur 3.1 Beschikbare hoogteprofielen voor Nieuwendam noord, midden en zuid (karakteristiek punten)

3.1.2 Grondopbouw en parameters

Om de grondopbouw ter plaatse van de Nieuwendam vast te stellen zijn beschikbare sonderingen en boringen geanalyseerd (Bijlage C). In de boringen en sonderingen worden de volgende grondlagen (van jong naar oud) aangetroffen:

- Antropogeen zand.
- Antropogeen klei.
- Duinkerke zand.
- Duinkerke klei.
- Holland veen.
- Calais klei.
- Calais zand.
- Pleistoceen zand.

De oude formatie/laagpakket namen die aan de grondlagen zijn gekoppeld zijn hierboven weergegeven in verband met de beschikbare proevenverzamelingen.







De door de mens aangebrachte grondlagen die de waterkering en weg vormen bestaan uit zand en klei. Dit zijn de jongste grondlagen. De antropogene grondlagen zijn niet altijd horizontaal aangebracht. Op sommige locaties (met name in het noordelijk deel van de Nieuwendam) zijn meer kleiige lagen te vinden. De door de mens aangebrachte grondlagen liggen op de van nature aanwezige grondlagen die in vroegere tijden nagenoeg horizontaal zijn afgezet of gevormd. Lokaal kunnen grondlagen niet aanwezig zijn of kunnen de laagdikten variëren. Zo is in veel sonderingen en boringen geen slappe Hollandveen laag terug te vinden.

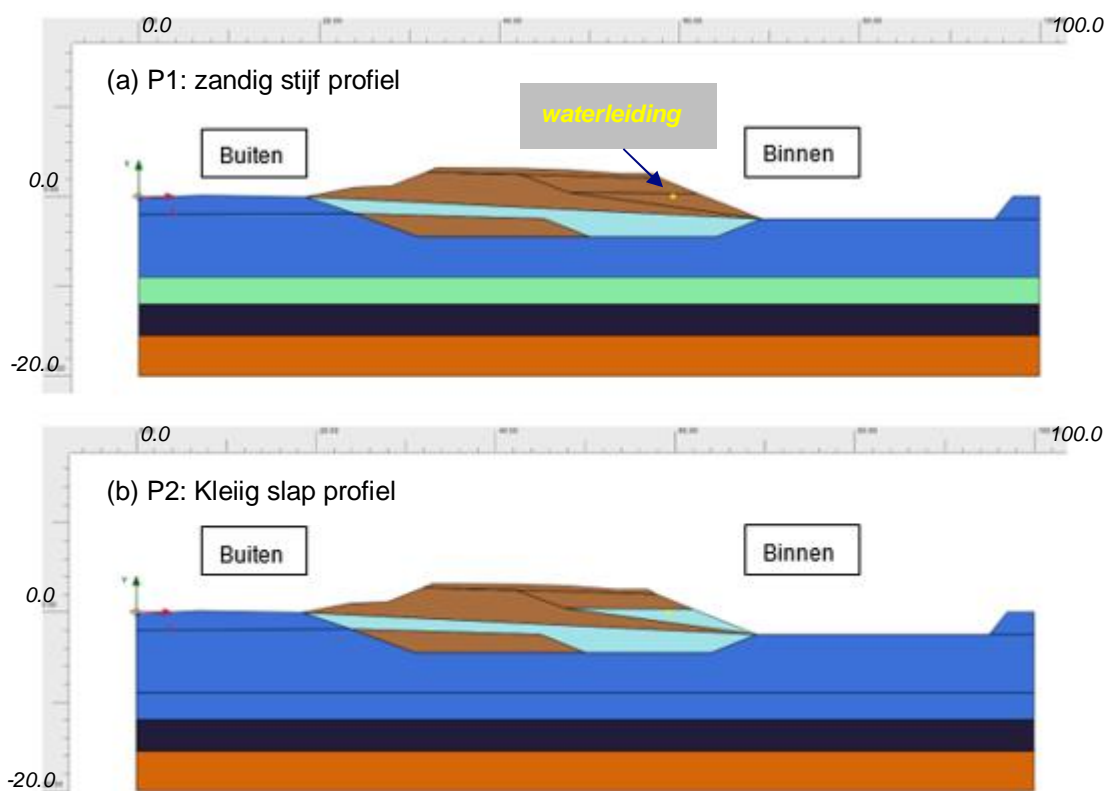
Op basis van het grondonderzoek kan worden geconcludeerd dat er in het noordelijk deel van Nieuwendam meer kleiige lagen aanwezig zijn. Om rekening te houden met deze heterogeniteit in de ondergrond is besloten om twee grondprofielen te beschouwen: zie Figuur 3.2. Een profiel met een dijklichaam en een ondergrond die grotendeels uit zand bestaan (Figuur 3.2a) en een profiel met een dijklichaam en een ondergrond waarin voornamelijk kleiige lagen aanwezig zijn (Figuur 3.2b).

De belasting op de leiding wordt vooral bepaald door de verschil verplaatsingen die over een bepaalde afstand kunnen optreden. De grondvervormingen zijn berekend voor een stijf zandig grondprofiel en voor een slap kleiig grond profiel (Figuur 3.2). Deze profielen kunnen allebei voorkomen ter plaatse van de waterkering. Er is niet voldoende grondonderzoek beschikbaar om exact te kunnen vast stellen waar welk grondprofiel voorkomt. De overgangsafstand tussen de beide profielen is onderzocht door middel van een semi-variogram. Op conservatieve wijze wordt ingeschat dat de overgangslengte tussen het slappe en het stijve grondprofiel 35 meter is (Bijlage G).

3.1.3 Invoerparameters

De grondopbouw en sterkte-eigenschappen zijn conform de consequentie analyse (Alliantie Markermeerdijken, 2018b,c) gebruikt – zie Tabel 3.1. Verder is voor de stabiliteitsberekeningen de parameter ψ gelijk aan nul ($\psi = 0$) aangehouden. Andere invoer gegevens voor STBI en STBU zijn in Tabel 3.1 weergegeven.







Kleur code	Naam SOS	Grondtype
	Klei_Antr	Klei antropogeen
	Zand_Antr	Zand antropogeen
	H_Mp_k	Klei Duinkerke
	H_Mp_ko	Klei Calais
	H_Mg_zk	Zand Calais
	P_Rg_zm	Zand pleistocene









Figuur 3.2 Nieuwendam grondopbouw-schematisatie a) Zuidelijk en b) Noordelijk deel. De gele stip is de waterleiding locatie.

Tabel 3.1 Parameterwaarden Markermeerdijken gekoppeld aan SOS eenheden en dijkmateriaal (Alliantie Markermeerdijken, 2018b,c) – Nieuwendam

(a) gedraineerde en ongedraineerde STBI en STBU parameters

Kleur code	Naam	c (kPa)	ϕ (grad)	S-ratio (-)	m (-)	POP (kPa)
	Klei_Antr	15.0	0.30	0.22	0.80	20.0
	Zand_Antr	0	30.0	NaN	NaN	NaN
	H_Mp_k	NaN	NaN	0.25	0.80	12.0
	H_Mp_ko	NaN	NaN	0.22	0.80	11.0
	H_Mg_zk	0.0	30.0	0.22	0.80	11.0
	P_Rg_zm	0.0	30.0	NaN	NaN	NaN

(b) Model instellingen voor STBI en STBU

Kleur code	Naam	is aquifer?	gamma_unsat (kN/m ³)	gamma_sat (kN/m ³)	Materiaal Model
	Klei_Antr	FALSE	14.1	14.1	C phi of Su berekend
	Zand_Antr	FALSE	18.0	20.0	C phi
	H_Mp_k	FALSE	13.4	13.4	Su berekend
	H_Mp_ko	FALSE	14.8	14.8	Su berekend
	H_Mg_zk	TRUE	18.0	20.0	C phi
	P_Rg_zm	TRUE	18.0	20.0	C phi

Voor het pipingmechanisme zijn de volgende eigenschappen (conform de consequentie analyse – Alliantie Markermeerdijken, 2018b,c) gebruikt:

- Doorlatendheid (m/s) 0.000058.
- d70 (m) 0.000160.
- Dempingsfactor bij uittredepunt mu 0.43, sigma 0.1, kar 0.611.
- Polderpeil (m t.o.v. NAP) mu -0.55, sigma 0.1, kar -0.714.
- Dikte aquifer (m) mu 3.0, sigma 0.5, kar 3.89.
- Verval (m) 1.40.
- Kwelweglengte (m) 41.




Voor mechanisme erosie/hogte zijn de volgende eigenschappen (ook conform de consequentie analyse – Alliantie Markermeerdijken, 2018b,c) gebruikt in Hydra-NL:

- Dijk kruinhoogte NAP +2.50 m.
- Profiel 1:3 buitentalud met een onderwaterbodembodem van 1:100 en 50 m lang.
- Dijknormaal 90 graden.
- Hydraulische uitvoerlocatie MM_1_13-9_dk_01384.
- Relatief meerpeilstijging 2023-2071 0.12 m (incl. bodemdaling).
- Kritieke overslagdebieten 0.1 en 5 l/s/m.


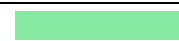

Voor de vervormingsberekeningen (met Plaxis) wordt het *Soft Soil Creep* (SSC) model toegepast voor de kleilagen en het *Hardening Soil* (HS) model voor de zandlagen (zie Tabel 3.2). Deze parameters zijn overgenomen uit de rapportage van een nabij gelegen waterkeringsdeel. Deze parameters kunnen gebruikt worden voor de berekening van de grondvervormingen bij de Nieuwendam, omdat het vergelijkbare grondlagen betreft. De overige parameters zijn overgenomen uit de consequentie analyse, bijvoorbeeld de volumieke gewicht en POP-waarden. Voor numerieke doeleinden werd de cohesiewaarde voor de klei en zandlagen in de Plaxis-berekeningen ingesteld op 1 kPa, terwijl een dilatantie van $\psi = 0$ wordt beschouwd.

Tabel 3.2 Gebruikte modelparameters (karakteristieke lage waarden), bij Nieuwendam met waterleiding

(a) SSC-model

Kleur code	Grondlaag	λ^* [-]	κ^* [-]	μ^* [-]	v_{ur} [-]	POP [kPa]	ϕ' [grad]	c' [kPa]
	Klei_Antr	0.1485	0.0443	0.0072	0.20	20	29.0	1
	H_Mp_k	0.1648	0.0508	0.0085	0.18	12	34	1
	H_Mp_ko	0.1290	0.0391	0.0059	0.20	11	29	1

(a) HS-model

Kleur code	Grondlaag	E_{50} [kPa]	E_{oed} [kPa]	E_{ur} [kPa]	m [-]	ϕ' [grad]	c' [kPa]
	Zand_Antr	20,000	20,000	60,000	0.5	30	1
	H_Mg_zk						
	P_Rg_zm						

3.1.4 Belastingen en waterspanningen

3.1.4.1 Verkeersbelasting

Bij STBI is er conform de schematiseringshandleiding Macrostablieit (Deltares, 2017a) geen verkeersbelasting toegepast.

Bij STBU is er een verkeersbelasting van 13.3 kN/m² over een breedte van 2.5 meter toegepast. Dit is conform schematiseringshandleiding Macrostablieit (Deltares, 2017a) en de consequentie analyse (Alliantie Markermeerdijken, 2018b,c). Verder is er een spreidingshoek van 25 graden en een consolidatie van 100% in de zandlagen en 10% in de klei en veenlagen aangenomen.

3.1.4.2 Hydraulische belasting

De hoogwaterstand bij norm is berekend voor uitvoerlocatie MM_1_13-9_dk_01384 (1.2 km) voor jaren 2023 en 2070 (conform de consequentie analyse – Alliantie Markermeerdijken, 2018b,c):

Tabel 3.3 Waterstand bij norm 2023 en 2070 – Nieuwendam

	Waterstand bij norm (2023)	Waterstand bij norm (2070)
Signaleringswaarde (1/3000)	0.85 m + NAP	0.90 m + NAP

De stijging van de waterstand bij norm is gering, zodat een doorkijk in 2070 mogelijk is aan de hand van de randvoorwaarden in 2023.

3.1.4.3 Waterspanningsverloop

De hydraulische randvoorwaarden zijn genomen conform het document Alliantie Markermeerdijken (2018d). Het waterspanningsverloop volgt uit de ‘Zanddijk op klei’ model 2A. Zie onderstaande Tabel 3.4. Voor STBU is het belastingscenario “val van de waterstand na hoogwater naar gemiddeld meerpeil” beschouwd.

Tabel 3.4 Schematisatie van de waterstanden, freatische lijnen en stijghoogtes voor Katwoude (Alliantie Markermeerdijken, 2018b,c)

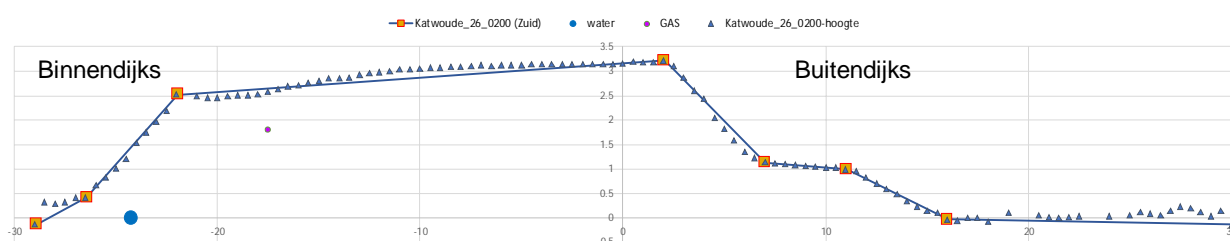
WBN (2023):	NAP + 0.85 m
GHW:	Voor het gemiddeld hoogwater wordt het wintermeerpeil van het Markermeer aangehouden. Dit is NAP -0.4 m.
Binnendijks peil:	Het water niveau van de schermer boezem voor dijkvak DP3 heeft een streef peil van NAP - 0.50 m. Ook bij hoogwater wordt het streefpeil aangehouden (dit is conservatief omdat bij hoogwater een maalstop peil van NAP +0.0 m wordt gehanteerd.
Freatische lijn (offsets):	Voor de bepaling van de freatische lijn worden de default offsets in Riskeer voor het desbetreffend dijktype gehanteerd.
Leklengtes:	De leklengte (binnen- en buitendijks) van alle watervoerende zandlagen is conservatief aangenomen op 1000 m.
Stijghoogte indringingslaag:	Metingen zijn niet aanwezig in de aangeleverde data van HHNK. In de BM handleiding [Ref. 6] wordt in het geval van missende data aanbevolen het GHW te gebruiken als conservatieve aanname voor stijghoogte PL2.
Indringingslengte:	Conform Ontwerpbasis Dijk DO AMMD-003314 wordt een indringingslengte van 7 meter gehanteerd.
Dagelijkse waterstand:	Gelijk aan GHW, i.e. NAP -0.4 m.

4 Leidingsterkte en faalkans

4.1 Waterleiding

Het tracé van de waterleiding bevindt zich in de lengte richting in de primaire waterkering. Dit rapport beperkt zicht tot het deel van de waterleiding dat is gelegen in de Nieuwendam. De waterleiding is in 1979 aangelegd en bestaat uit Asbest-cement. De DN 300 leiding had bij aanleg een buitendiameter van 346 mm en een wanddikte van 23 mm. De dekking bedraagt ongeveer 1.3 m. De werkdruk van de leiding ter plaatse van de Nieuwendam bedraagt ongeveer 2.8 bar. De lengte van de waterleiding in Nieuwendam is ongeveer 380 meter.

Naast de waterleiding is er een gasleiding aanwezig. De gasleiding heeft een diameter van 110 mm en bestaat uit PVC. De gasleiding valt in de categorie van een werkdruk tot 300 mbar. De analyse in dit rapport is uitsluitend gericht op de waterleiding aangezien consequenties van falen van de gasleiding zeer gering zijn (zie hoofdstuk 4.3).



Figuur 4.1 Dwarsprofiel leiding t.h.v. Nieuwendam. Water en Gas leidingen aanwezig, blauw waterleiding, paars gasleiding

4.2 Grondvervormingen

Voor een analyse van de sterkte van de leiding is het noodzakelijk om de grondvervormingen/verplaatsingen ter plaatse van de leiding te kennen. Deze grondvervormingen van de waterkering zijn in Bijlage G beschreven. Er is in de analyse een periode beschouwd voorafgaand aan de aanleg van de waterleiding beschouwd.

De eindige-elementen-analyses zijn uitgevoerd voor de bepaling van de verplaatsingen van de grond rondom de leiding in de binnenteeën van de Nieuwendam. Ook zijn de grondverplaatsingen tijdens maatgevend hoogwater uitgerekend. Hieronder in Tabel 4.1 is een samenvatting van de berekende verplaatsingen weergegeven.

4.3 Leidingsterkte

In Bijlage H (R+K, 2020) zijn leidingsterkte berekeningen gemaakt om te verifiëren of de waterleiding met opgetreden grondvervormingen/zettingen in het jaar 2020 (van toepassing voor beoordeling in 2023) en in 2070 (doorkijkjaar) zal voldoen aan de eisen vanuit de NEN 3650 reeks.

Tabel 4.1 Horizontale en verticale verplaatsingen per scenario – Nieuwendam

Profiel	Scenario's (sinds 1979)	Verticale Verplaatsing [m]	Horizontale Verplaatsing [m]
P1 zandig stijf	1979-2020	0.11	0.014
P1	1979-2020+50 jaar consolidatie	0.17	0.025
P1	1979-2020+100 jaar consolidatie	0.21	0.033
P1	1979-2020+Hoogwater	0.12	-
P2 kleiig slap	1979-2020+	0.17	0.022
P2	1979-2020+50 jaar consolidatie	0.25	0.039
P2	1979-2020+100 jaar consolidatie	0.30	0.053
P2	1979-2020+Hoogwater	0.16	-

De betreffende AC leiding is aangelegd met een wanddikte van 23 mm. Bij AC leidingen speelt de mogelijke afname van de wanddikte een belangrijke rol in de leidingsterkte analyse. In het BTO onderzoek omtrent de voorspelling van lekkende waterleidingen (KWR, 2019) wordt een gemiddelde wanddikte afname snelheid van 0.05 mm per jaar voor AC leidingen afgeleid. Bij AC leidingen is de wanddikte afname snelheid onder andere gerelateerd aan de waterkwaliteit (er zijn ook andere mogelijke factoren, maar die zijn hier niet allemaal geïnventariseerd). De waterkwaliteit van de betreffende AC leiding wordt beschreven in Bijlage J. KWR beschrijft in deze bijlage dat de waterkwaliteit gunstig is ten opzichte van veel andere AC leidingen. Conform figuur 2-1 in de BTO onderzoeksrapportage (KWR, 2019) wordt daarom een wanddikte afname snelheid van 0.025 mm per jaar verwacht.

In de analyse van de leidingsterkte heeft R+K rekening gehouden met wanddikte afname snelheid van 0.025 mm per jaar (Bijlage H). De leiding voldoet dan bij de te verwachten opgetreden grondvervormingen in 2020 aan de eis volgens NEN 3650 (NEN, 2020a). In 2020 is de verwachte wanddikte 21.98 mm. Bij een grotere wanddikte afname snelheid dan afgeleid voldoet de leiding mogelijk niet meer aan de eis. Bij een wanddikte kleiner dan 21.67 mm zal de leiding niet meer aan de eis voldoen.

Op basis van de huidige situatie zijn er vanuit leidingsterkte geredeneerd, geen redenen om in ongunstige zin af te wijken van de casuïstiek van leidingfalen. Deze casuïstiek wordt in de volgende paragrafen gebruikt ter bepaling van de faalkans van de leiding. Met het verstrijken van de tijd tot het doorkijkjaar 2070 zal er mogelijk een afwijking van de standaard casuïstiek optreden. Tevens voldoet de leiding met het verstrijken van de tijd door een toename van de grondvervorming en een afname van de wanddikte niet meer aan de eis volgens NEN 3650, zodat het noodzakelijk is om over enkele jaren de aanwezige wanddikte van de leiding ter plaatse van de waterkering vast te stellen door middel van metingen.

Geconcludeerd wordt dat de leiding voor 2023 voldoet aan de eisen van NEN 3650, maar dat deze conclusie niet kan worden getrokken voor het doorkijkjaar 2070, als dan opnieuw de bestaande situatie wordt beschouwd. Een conclusie voor het doorkijkjaar 2070 kan pas worden getrokken als de aanwezige wanddikte van de leiding is vastgesteld.

Tevens wijzen aanvullende berekeningen (Bijlage H) naar de invloed van hoogwater-geïnduceerde vervormingen van het dijklichaam uit dat de invloed van hoogwater (berekend

bij de waterstand bij norm) nihil is. Het is daarom mogelijk om voor de uitwerking van deze studie aan te nemen dat de oorzaken van leidingfalen niet hoogwatergerelateerd zijn.

4.4 Kans op leidingfalen

De kans op falen van een asbestcementleiding (AC) zou bij voorkeur moeten zijn gebaseerd op casuïstiek uit Nederland. Het instituut KWR is gevraagd om de faalkans van de waterleiding op basis van casuïstiek te bepalen. De bepaling van de faalkans van de waterleiding, onderscheid makend in een sluipend en een gapend lek, is beschreven in Bijlagen I en J. In de onderstaande Tabel 4.2 zijn de bepaalde kansen weergegeven voor lekkage storingen inclusief externe oorzaken. Vanwege de mogelijke wanddikte afname van de asbest cement leiding heeft KWR een aanvullende notitie geschreven. De aanvullende notitie is opgenomen als Bijlage J van dit rapport. In Bijlage J wordt geconcludeerd dat ondanks de gunstige waterkwaliteit in de leiding er geen reden is om in positieve zin af te wijken van de bepaalde faalkansen.

De totale faalkans kan worden verdeeld in een sluipend en een gapend lek. De onderstaande gegevens van KWR zullen in de faalkans analyse die wordt beschreven in hoofdstuk 7 worden gebruikt. Het dient te worden opgemerkt dat er geen reductie van de faalkans is toegepast voor externe beschadiging door middel van factoren die in de Handleiding Risicoberekeningen Bevb RIVM (2017) worden gegeven. De faalkansen kunnen daardoor als conservatief worden beschouwd. De berekening van de kans per jaar is gebeurd door vermenigvuldiging met de correlatielengte van de leiding, $\Delta L = 50$ m (zie ook paragraaf 2.5).

Tabel 4.2 Faalkansen (gemiddelde waarden) leiding volgens de KWR analyse

Bron: KWR	Kans per meter per jaar	kans per jaar
Lek:	1.77E-05	-
Gapend lek*	0.85E-05	4.25E-04
Sluipend lek*	1.53E-05	7.65E-04

* in verband met onzekerheden omtrent de koppeling van de lekvorm aan het type sluipend of gapend lek zijn er op conservatieve wijze dubbeltellingen opgenomen. Hierdoor is de totale kans op een lek niet gelijk aan de som van de kans op een sluipend en een gapend lek.

4.5 Gevolgen falen waterleiding

4.5.1 Algemeen

Deze paragraaf beschrijft de gevolgen van de verschillende vormen van falen van een waterleiding. Na een algemene beschrijving van de faalscenario's volgt de specifieke uitwerking voor de onderzochte leiding.

Ten gevolge van waterleidinglekkage kan een ontgrondingskuil rond een lek ontstaan met een behoorlijk grote afmeting. Er worden in de literatuur 2 typen lekkage onderscheiden: sluipend lek en gapend lek (zie NPR 3659:1996 nl, Ondergrondse pijpleidingen - Grondslagen voor de sterkteberekening). Het eerste geval betreft een klein lek waardoor water langzaam in de grond infiltreert en de waterspanningen in de bodem langzaam toenemen. Het tweede geval betreft een bezwijken van een waterleiding waardoor direct grote hoeveelheden vloeistof vrijkomen en in de bodem een krater rond de leidingbreuklocatie ontstaat.

De effecten van een sluipend lek leiden tot geheel (indien geen nader onderzoek) of gedeeltelijke verzadiging (bij nader onderzoek) van het dijklichaam. Dit sluipend lek scenario heeft alleen invloed op dijkfaalmechanisme macro-instabiliteit (binnen- en buitenwaarts).

4.5.2 Erosiekraters

De bepaling van de ontgrondingsafmeting van de krater bij een gapend lek van de waterleiding conform de NEN3651 (NEN 2020f) zijn in Bijlage D weergegeven. Er is gebruik gemaakt van een pompkromme die het lekvermogen ter plaatse van de waterkering weergeeft. Het resultaat is een krater met een straal van 6.15 m en een diepte van 2.2 m. De erosie krater is met een ellipsvormige ontgroning gemodelleerd. Het dient te worden opgemerkt dat bij een aanpassing van de configuratie van het waternetsysteem moet worden bekeken of de hier beschreven kraterafmetingen nog geldig zijn.

De nabij gelegen gasleiding heeft een maximale werkdruk van 300 mbar. Bij een berekening van een erosie krater op basis van een druk van 1.3 bar wordt een straal van 1.4 m en een diepte van 0.98 m gevonden voor de gasleiding (Bijlage D). Dit is een zeer kleine krater en gezien de ligging van de gasleiding niet van belang voor de waterkering. De gas erosiekrater heeft geen invloed op de waterleiding. De waterleiding bevindt zich namelijk ruim buiten de erosiekrater van de gasleiding. Verder geldt dat de gasleiding zich bevindt buiten de erosiekrater van de waterleiding.

4.5.3 Sluipend lek

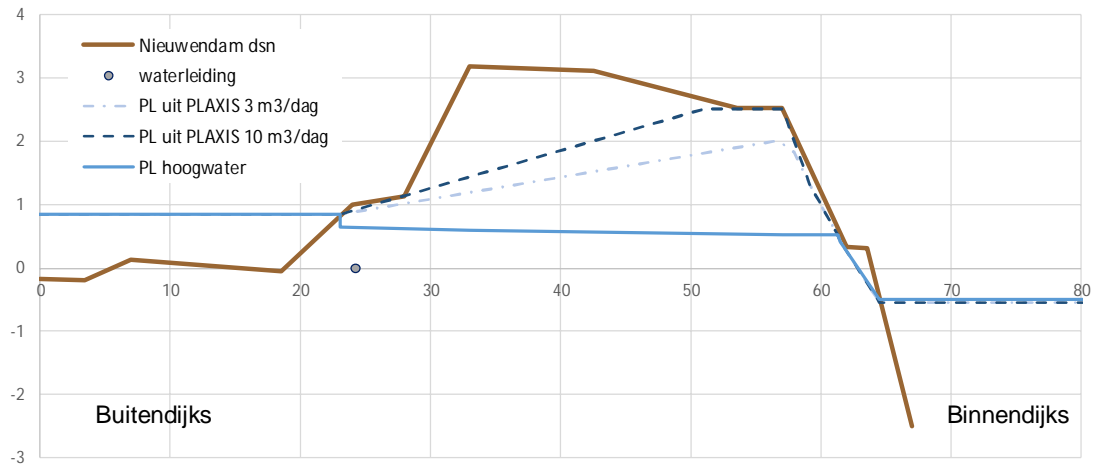
Door een sluipend lek wordt de waterspanning in de dijk verhoogd. De mate waarin de waterspanning toeneemt hangt af van het lekdebiet, de doorlatendheid van de dijk en de geometrie van het dijklichaam. De meest conservatieve aanname is een volledige verzadiging van de waterkering. Met een 2D-benadering (PLAXIS) is inzichtelijk gemaakt wat een meer realistische, maar nog steeds conservatieve toename van de waterspanning zou kunnen zijn door een sluipend lek in de waterleiding.

Het dwarsprofiel van de dijk met de locatie van de waterleiding en de resulterende verhogingen van de freatische lijnen na sluipende lekkage zijn in Figuur 4.2 te zien. Details over deze berekening zijn in Bijlage E beschreven. De uitgangspunten voor de berekening zijn:

- Grondopbouw dijk zoals in Figuur 3.2(a).
- $K_{\text{zand}} = 1$ m/dag en $K_{\text{klei}} = 0.01$ m/dag (waar K de doorlatendheid van de grondlaag is).
- Sluipende lekkages van $Q = 3$ en 10 m³/dag/m.

Uit de onderstaande Figuur 4.2 blijkt dat de freatische lijn ter plaatse van de lekkende leiding sterk stijgt. Door de afstroming van het lekwater in zijwaartse richting raakt niet de gehele dijk verzadigd, maar is de verzadiging beperkt tot de dijk nabij de leiding.

In de berekeningen van de macrostabiliteit van de waterkering zal bij een sluipend lek worden uitgegaan van 10 m³/dag/m (zie Bijlage E).



Figuur 4.2 Visualisatie van de freatische lijn (PL) berekend met PLAXIS op basis van een sluipend lek van 3 en 10 m³/dag/m

5 Leidingfalen en hoogwater

Een gapend lek leidt tot een erosiekrater. Zonder dat er hoogwater is, leidt een erosiekrater niet tot een overstroming. De kans op het gelijktijdig optreden van een erosiekrater en hoogwater kan in de gebeurtenisboom in rekening worden gebracht.

Bij significante verschillen van grondvervormingen van de waterkering over korte afstanden kan er een invloed zijn op de waterleiding. Er is dan sprake van een correlatie tussen leidingfalen en hoog water.

Er is op de locatie van de Nieuwendam geen rekening gehouden met enige correlatie tussen leidingfalen en hoogwater aangezien de dijk niet significant zal vervormen tijdens hoogwater (zie paragraaf 4.3).

De kans op een hoogwater binnen de hersteltijd van de erosiekrater is, gegeven onafhankelijkheid, te berekenen met de onderstaande vergelijking. Het resultaat is opgenomen in Tabel 5.1.

$$P_{\text{hoogwater voor herstel}} = P_{\text{geen herstel}} = \frac{(t_{\text{herstel}} + t_{\text{hoogwater}})}{t_{\text{jaar}}} \quad (\text{Vgl. 5.1})$$

In het merengebied (Markermeer) zijn de belastingstochasten wind (storm) en meerpeilverhoging. De karakteristieke duur van een storm is ongeveer een dag. De karakteristieke basisduur van een meerpeilverhoging is een maand, de karakteristieke duur van de piek enkele dagen. Conservatief is aangenomen dat de belasting volledig gedomineerd is door het meerpeil. Er is een periode van 4 weken van de meerpeilverhoging als tijdsduur aangehouden voor de bepaling van de kans op hoogwater vóór herstel. De duur van de periode is bepaald aan de Markermeer hoogwater trapezia met een top duur van 4 dagen en een basis duur van 60 dagen, zoals beschreven in het achtergrondrapport van de hydraulische belastingen.

De hersteltijd van de krater is ingeschat op 4 weken. Gezien het belang van de op de dijk liggende verkeersweg voor de bereikbaarheid is dit een conservatieve inschatting.

In de onderstaande Tabel 5.1 is de berekende kans op hoogwater vóór herstel aangegeven. Voor een sluipend lek wordt verondersteld dat deze niet wordt ontdekt en dus niet wordt hersteld.

Tabel 5.1 Kans op hoogwater vóór herstel gapend lek

Beschrijving	waarde
Duur hoogwater ($t_{\text{hoogwater}}$)	4 weken
Hersteltijd (t_{herstel})	4 weken
Weken in een jaar (t_{jaar})	52 weken
Kans op hoogwater vóór herstel	$(4+4)/52 = 0.15$

6 Dijkfalen

6.1 Algemeen

In dit hoofdstuk worden de berekeningen weergegeven voor de relevante dijkfaalmechanismen. Er wordt gebruikt gemaakt van een maatgevend dwarsprofiel en er worden twee mogelijke grondbouw sequenties beschouwd. Als eerste wordt de faalkans van de waterkering zonder leidingfalen behandeld. Daarna volgt een overzicht van de faalkansen van de waterkering bij leidingfalen.

6.2 Faalkans waterkering zonder leidingfalen

6.2.1 Golfoverslag, erosie kruin en binnentalud

De resultaten van de met Hydra-NL uitgevoerde overslagberekeningen (GEKB) op de dijk zonder leidingen zijn samengevat in Tabel 6.1 hieronder. We concluderen dat het dwarsprofiel aan de faalkanseis voldoet voor een intact binnentalud met 5 l/m/s (GEKB Pf eis,dsn = 4.0 E-5). Zoals toegelicht in paragraaf 3.1, is voor het faalmechanisme GEKB conservatief gerekend met een kruinhoogte van NAP +2.5 m (zie ook Figuur 3.1).

Tabel 6.1 Faalkansen golfoverslag en erosie kruin en binnentalud o.b.v. Hydra-NL berekeningen voor kritieke overslagdebiet = 5 l/s/m – Nieuwendam.

Kritiek overslagdebiet	5 l/s/m
Berekend faalkans 2023 [1/jaar]	1/6.83E+06 = 1.5E-07

6.2.2 Piping

De resultaten van de berekeningen voor het pipingmechanisme STPH (zonder leidingen) voldeden bij het dwarsprofiel aan de faalkanseis (Alliantie Markermeerdijken, 2018b,c) – STPH Pf eis,dsn = 3.4 E-7. De kraters zijn niet diep genoeg om de zandlagen van het eerste watervoerende pakket aan te tasten. In de opgebrachte grondlagen ter plaatse van de waterkering is geen continue zandlaag aanwezig.

6.2.3 Macro-instabiliteit

Voor macro-instabiliteit (zowel STBI als STBU) worden alleen glijvlakken beschouwd die tot een resterende kruinbreedte na afschuiving van minder dan 3.0 m leiden. Dit sluit aan bij de restprofielbenadering beschreven in het Technisch Rapport Actuele Sterkte (TRAS – ENW, 2009) en in WBI Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen (Deltares, 2018). De resultaten van de met D-GeoStability uitgevoerde stabiliteitsberekeningen zonder de invloed van de leiding zijn samengevat in Tabel 6.2. Meer informatie is in Bijlage F weergegeven.

Rode getallen in de onderstaande Tabel 6.2 zijn situaties waarbij niet aan de faalkanseis voldaan wordt (STBI Pf eis,dsn = 4.0 E-6 en STBU Pf eis,dsn = 4.0 E-5). Uit Tabel 6.2 blijkt dat de waterkering, kijkend naar de voor de veiligheid relevante afschuifcirkels, voldoet aan de faalkanseisen voor STBI en STBU.

Uit Tabel 6.2 blijkt dat de waterkering voldoet aan de faalkanseisen voor STBI en STBU. De bijbehorende faalkansen volgen uit vgl 2.1 in paragraaf 2.3 – zie resultaat in par.6.4.

Tabel 6.2 Veiligheid (stabiliteitsfactoren) resultaten voor STBI en STBU Nieuwendam (zonder leidingfalen). Alle berekeningen zijn incl. partiele factoren = 1.0.

(a) STBI (SF eis = 1.15, incl. model factor)

	STBI 2D klei	STBI 2D zand
Zonder leiding falen	0.88	0.85
Zonder leiding falen (met 3 m restprofiel)	1.15	1.26

(b) STBU (SF eis = 1.07, incl. model factor)

	STBU 2D klei	STBU 2D zand
Zonder leiding falen	1.25	1.25
Zonder leiding falen (met 3 m restprofiel)	1.58	1.85

6.3 Faalkans waterkering gegeven leidingfalen

In deze paragraaf wordt per waterleiding faalscenario en per dijkfaalmechanisme de invloed van leidingfalen op de faalkans van de waterkering bepaald (conditionele kans op falen waterkering gegeven leidingfalen/lek). Per dijkfaalmechanisme wordt de voorwaardelijke kans op falen van de dijk gegeven leidingfalen bepaald voor het ontstaan van een erosiekrater (gapend lek) en voor een sluipend lek.

Dit betekent dat uitsluitend de gevolgen van leidingfalen (aanwezigheid erosiekrater of verhoogde freatische lijn) in de analyse worden betrokken. De kans op leidingfalen wordt in dit stadium nog niet in de analyse betrokken; die kans is daarmee vooralsnog gelijk gesteld aan 1. Ook is in dit stadium nog geen kans op herstel van de aangetaste waterkering voorafgaand aan hoogwater meegenomen. De kans op leiding falen en de kans op hoogwater voor herstel van de waterkering worden in het volgende hoofdstuk in de integrale faalkansanalyse beschouwd.

6.3.1 Golfoverslag, erosie kruin en binnentalud

Het restprofiel/restbreedte na optreden van de erosiekrater heeft nog een kruinbreedte van meer dan 3 m, waardoor niet direct sprake is van falen van de dijk voor het faalmechanisme golfoverslag en erosie kruin/binnentalud. Als gevolg van de krater is de erosiebestendigheid van het binnentalud afgenomen en zou dijkfalen optreden bij een overslagdebiet van 0.1 l/m/s.

Tabel 6.3 Faalkansen golfoverslag en erosie kruin en binnentalud o.b.v. Hydra-NL berekeningen voor verschillende kritieke overslagdebieten – Nieuwendam.

Kritiek overslagdebiet	0.1 l/s/m	5 l/s/m
Berekend faalkans 2023 [1/jaar]	1/229 979 = 4.3E-06	1.5E-07

De dijkfaalkans per jaar zonder invloed van leidingfalen bedraagt (in 2023) 1.5E-07. De conditionele faalkans met een door een erosiekrater beschadigd binnentalud bedraagt 4.3E-06. Deze conditionele faalkans is enigszins hoger dan de faalkans zonder leidingfalen.

6.3.2 Piping

Een sluipend lek in een waterleiding heeft geen invloed op het pipingmechanisme. Een erosiekrater is mogelijk wel relevant voor het mechanisme piping, maar alleen als de krater tot een nieuw maatgevend uittrede- of intredepunt van een piping stroombaan leidt. Dat is het geval als de lengte waarover piping kan optreden wordt verkort door een krater. De potentiële krater van de waterleiding bevindt zich echter in het binnentalud, zodat geen uittrede punt voor een piping stroombaan in een zandlaag onder de dijk kan worden gecreëerd. De aanwezigheid van continue zandbanen tussen het buitentalud en het binnentalud in het dijklichaam zelf kunnen worden uitgesloten (zoals beschreven in paragraaf 3.1.2 zijn dit in de loop de tijd door de mens opgebrachte grondlagen). Het piping faalmechanisme wordt dus niet negatief beïnvloed door de aanwezigheid van de leidingen die kraters kunnen veroorzaken. De kraters zijn namelijk niet diep genoeg om een verbinding met het aquifer te realiseren.

Het al dan niet falen van de waterleiding levert geen bijdrage aan dijkkfalen bij het faalmechanisme piping.

6.3.3 Macro-instabiliteit

De resultaten van de met D-GeoStability uitgevoerde stabiliteitsberekeningen zonder de leiding zijn samengevat in Tabel 6.2. De resultaten van de stabiliteitsberekeningen met leiding (erosiekrater en sluipend lek) zijn samengevat in Tabel 6.4. In Bijlage F zijn de berekeningsresultaten weergegeven.

Tabel 6.4 Veiligheid (stabiliteitsfactoren) resultaten voor STBI en STBU Nieuwendam (met leidingfalen). Alle berekeningen zijn incl. 3 m restprofiel/restbreedte en partiële factoren = 1.0.

(a) STBI

	STBI 2D klei	STBI 2D zand
Kleine afschuiving **	0.88	0.85
Erosiekrater	1.15	1.26
Sluipend lek	1.06	1.16

**berekening met cirkel die die leiding aantast = zonder leiding falen

(b) STBU

WBN 2023	STBU 2D klei	STBU 2D zand
Erosiekrater	1.42	1.59
Sluipend lek	1.46	1.59

De bijbehorende faalkansen volgen uit vgl 2.1 in paragraaf 2.3 – zie par.6.4.p

Bij het dwarsprofiel met de kleilagen is te zien dat het sluipend lek een bijdrage levert aan de faalkans van de waterkering. Er wordt een stabiliteitsfactor van 1.06 gevonden, dat is lager dan de eis van 1.15.

In de Tabel 6.4(a) is te zien dat er kleine afschuivingen kunnen optreden ter plaatse van het binnentalud. Deze afschuivingen kunnen leiden tot grondvervormingen die leidingfalen kunnen initiëren. In de faalkans analyse in hoofdstuk 7 zal daarom de kans op kraters door kleine afschuivingen moeten worden meegenomen.

6.4 Samenvatting dijk faalkansen

De betrouwbaarheidsindex en faalkans per dijkfaalmechanisme met en zonder leiding falen zijn in de Tabel 6.5 hieronder samengevat voor het dwarsprofiel met de kleilagen. De resultaten voor het dwarsprofiel met de zandlagen staan in Tabel 6.6 weergegeven.

Tabel 6.5 Dijk faalkansen [per jaar] per mechanisme bij Nieuwendam - P2 kleilig slap

Mechanisme	Zonder leiding falen Pf dsn	Sluipend lek Pf dsn	Gapend lek Pf dsn
Erosie (GEKB)	1.5 E-7	n.v.t.	4.3 E-6
Piping (STPH)	<3.4 E-7	n.v.t.	<3.4 E-7
Stabiliteit binnen (STBI)	3.1 E-6 Kleine afschuiving = 2.5E-03	4.0 E-5	3.2 E-6
Stabiliteit buiten (STBU)	3.4 E-13	6.6 E-11	2.4 E-10

Tabel 6.6 Dijk faalkansen [per jaar] per mechanisme bij Nieuwendam - P1 zandig stijf.

GEKB en STPH zijn gelijk aan Tabel 6.5

Mechanisme	Zonder leiding falen Pf dsn	Sluipend lek Pf dsn	Gapend lek Pf dsn
Stabiliteit binnen (STBI)	1.2 E-7 Kleine afschuiving = 4.9E-03	2.5 E-6	1.2 E-7
Stabiliteit buiten (STBU)	3.3 E-19	1.5 E-13	2.2 E-13

De berekende faalkansen voor de verschillende dijkfaalmechanismen worden gebruikt in de integrale faalkansanalyse die in hoofdstuk 7 wordt beschreven. In paragraaf 6.2 is gebleken dat de waterkering in de situatie zonder leidingfalen voor alle dijkfaalmechanismen voldoet aan de faalkanseisen. In hoofdstuk 7 wordt daarom uitsluitend stilgestaan bij de additionele faalkansen door leidingfalen

7 Integrale faalkans analyse

7.1 Faalpaden / faalscenario's

De faalpaden bij een integrale faalkansanalyse worden gepresenteerd in een gebeurtenissenboom, zoals in Figuur 2.1. De resultaten uit het vorige hoofdstuk zijn gebruikt om de relevante faalpaden vast te stellen. Faalpaden zonder een additionele faalkans door leidinglekage worden hieronder niet beschreven: Er worden 3 relevante hoofdtakken onderscheiden (niet hersteld voor hoogwater):

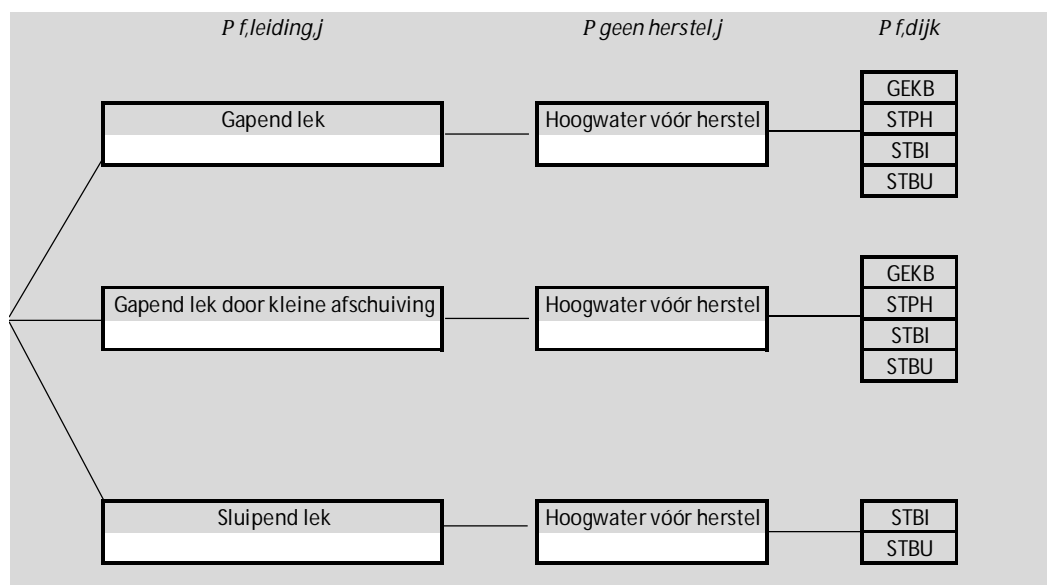
1 - Erosiekrater (Gapend lek) door waterleiding;

2 - Erosiekrater (Gapend lek) door waterleiding falen geïnitieerd door een kleine binnenwaartse afschuiving tijdens hoog water.

In de Nieuwendam kan mogelijk toch een lokale binnenwaartse instabiliteit optreden die niet meteen tot een overstroming, maar wel tot falen van de leiding kan leiden. Alhoewel in Bijlage G is berekend dat er geen significante grondvervormingen optreden bij hoog water (Plaxis berekeningen), moet er toch rekening worden gehouden met een kans op het optreden van een kleine afschuiving. Omdat de kans op falen van de leiding door grondvervorming in de situatie van de Nieuwendam mogelijk groter is dan uit de casuïstiek volgt, is deze kans ook expliciet meegenomen met een stabiliteitsberekening voor de lokale instabiliteit (in de casuïstiek van de faalkans van de waterleiding, die is beschreven in hoofdstuk 4, zijn ook faalgevallen door grondvervormingen meegenomen). Er is vanuit gegaan dat deze lokale instabiliteit altijd met hoogwater plaatsvindt en dat de volgende erosiekrater nooit tot meteen falen van de waterkering leidt aangezien het uit de waterleiding stromend water meteen aan de binnenzijde van de dijk kan afstromen. Dit geval is als een aparte tak in de faalpaden van de gebeurtenissenboom opgenomen.

3 - Sluipend lek door gedeeltelijk falen van de waterleiding.

De relevante faalpaden in de gebeurtenissenboom van de Nieuwendam zijn in de onderstaande Figuur 7.1 weergegeven.



Figuur 7.1 Gebeurtenissenboom (faalpaden) voor waterleiding bij Nieuwendam.

Vermenigvuldiging van de afzonderlijke faalkansen in de gebeurtenissenboom leidt tot de faalkansen van de afzonderlijke (faal)paden:

$$P_{f,dijk} = P_{f,leiding,j} \cdot P_{geen\ herstel,j} \cdot P_{f,dijk|leiding\ falen} \quad (\text{Vgl. 7.1})$$

De totale faalkansbijdrage door leidingfalen wordt als volgt berekend (waarbij aangenomen wordt dat de verschillende dijkfaalmechanismen onafhankelijk van elkaar zijn):

$$P_{f,dijk} = \sum_{j=1} P_{f,leiding,j} \cdot P_{geen\ herstel,j} \cdot P_{f,dijk|leiding\ falen} \quad (\text{Vgl. 7.2})$$

En:

$$P_{dijk} = P_{GEKB,j} \cup P_{STBI,j} \cup P_{STBU,j} \cup P_{STPH,j} \quad (\text{Vgl. 7.3})$$

$$P_{STBI,j} \cup P_{STBU,j} = P_{STBI,j} + P_{STBU,j} - P_{STBI,j} \cdot P_{STBU,j} \quad (\text{Vgl. 7.4})$$

Waarin:

$P_{f,dijk}$	totale faalkansbijdrage door leidingfalen (per jaar);
$P_{f,leiding,j}$	kans op leidingfalen voor leidingfaalgeval j (per jaar);
$P_{geen\ herstel,j}$	kans op hoogwater binnen herstelperiode (leidingfaalgeval j);
$P_{mec,j}$	kans op mechanisme 'mec' (per jaar).

Zoals beschreven in vergelijking 7.1, is de kans op een overstroming als het gevolg van leidingfalen het product van de leidingfaalkans, de kans op hoogwater vóór herstel en de kans op vervolgfalmechanismen. Als de schade door de gefaalde leiding geen effect heeft op de overstromingskans is de conditionele faalkans gegeven leiding falen gelijk aan de conditionele faalkans gegeven geen leiding falen:

$$P_{f,dijk|leiding\ falen} = P_{f,dijk|\overline{leiding\ falen}} \quad (\text{Vgl. 7.5})$$

De leiding heeft dan geen effect op de overstromingskans. De kansbijdrage op een overstroming door leidingfalen moet in dit geval dan ook gelijk zijn aan nul (bij een gunstig effect van leidingfalen op het dijkfaalmechanisme is de kansbijdrage ook nul). Deze kans bijdrage kan worden berekend door de additionele conditionele faalkans per dijkfaalmechanisme te berekenen. De additionele conditionele faalkans (met kleinste waarde nul) wordt gevonden door de conditionele faalkans gegeven geen leiding falen van de conditionele faalkans gegeven leidingfalen af te trekken $P_{dijk|leiding\ falen} - P_{dijk|\overline{leiding\ falen}}$

Dit betekent dat vergelijking 7.1 kan worden herschreven:

$$P_{f,dijk} = P_{f,leiding,j} \cdot P_{geen\ herstel,j} \cdot (P_{f,dijk|leiding\ falen} - P_{f,dijk|\overline{leiding\ falen}}) \quad (\text{Vgl. 7.6})$$

Vergelijking 7.6 kan worden gebruikt om de totale faalkansbijdrage door leidingfalen te berekenen. De correctie van vergelijking 7.1 is nodig, omdat er bij de beschouwing van de dijkfaalmechanismen (GEKB, STBI, etc.) niet de kans $1 - (P_{f,leiding} \cdot P_{geen\ herstel})$ in rekening wordt gebracht. Zonder correctie is er sprake van het aan de leiding toeschrijven van een kansbijdrage die feitelijk een dubbel telling is van de situatie zonder leidingfalen (bij een kleine leidingfaalkans is het effect van de dubbel telling in de analyse gering).

7.2 Resultaten integrale faalkansanalyse

Zoals beschreven in de vorige paragraaf zijn voor de uitvoering van de integrale faalkansanalyse de additionele conditionele faalkansen voor de verschillende dijkfaalmechanismen berekend. Deze additionele conditionele faalkansen zijn weergegeven in de onderstaande Tabel 7.1.

Tabel 7.1 Additionele conditionele faalkans voor de gebeurtenissenboom per dijkfaalmechanisme bij Nieuwendam.

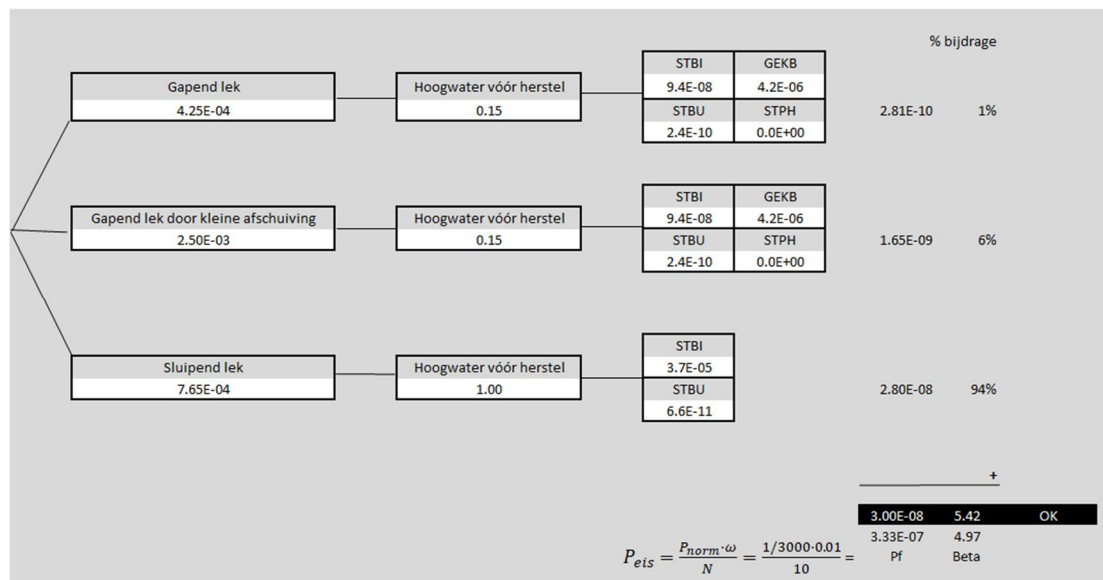
(a) P2 kleilig slap

Mechanisme	Sluipend lek	Gapend lek
Erosie (GEKB)	n.v.t.	4.2 E-6
Piping (STPH)	n.v.t.	0
Stabiliteit binnen (STBI)	3.7 E-5	9.4 E-8
Stabiliteit buiten (STBU)	6.6 E-11	2.4 E-10

(b) P1 zandig stijf

Mechanisme	Sluipend lek	Gapend lek
Erosie (GEKB)	n.v.t.	4.2 E-6
Piping (STPH)	n.v.t.	0
Stabiliteit binnen (STBI)	2.4 E-6	0
Stabiliteit buiten (STBU)	1.5 E-13	2.2 E-13

Het resultaat van de integrale faalkansanalyse met meenemen van de additionele conditionele faalkansen uit de bovenstaande Tabel 7.1 is weergegeven in Figuur 7.2. Dit is de gebeurtenissenboom (faalpaden) ter bepaling van de faalkansbijdrage door leidingfalen aan de overstromingskans. De totale faalkansbijdrage als gevolg van de aanwezigheid van de leiding bedraagt 3.0E-8.



Figuur 7.2 Ingevulde gebeurtenissenboom voor de waterleiding in de Nieuwendam met uitsluitend faalkansbijdragen als door leidingfalen (met additionele conditionele faalkansen).

De totale faalkans bedraagt 3.0E-8 per jaar, terwijl de eis 3.3E-7 per jaar is (zie paragraaf 2.5). De faalkansbijdrage door het falen van de waterleiding is derhalve toelaatbaar.

7.3 Doorkijk tot 2070

De analyses zijn uitgevoerd voor de bestaande situatie met de parallel gelegen waterleiding. Er wordt bij de toetsing van de waterveiligheid van de waterkering inclusief de leiding gebruik gemaakt van de randvoorwaarden van 2023. De hydraulische belasting in het doorkijkjaar 2070 wijkt niet significant af van de belasting in 2023, zodat de resultaten van de analyse voor langere tijd van toepassing zijn. Aangezien nu uitgegaan is van een conservatieve vaststelling van de kansen op een gapend en sluipend lek (dubbel tellingen), is de faalkans van de leiding conservatief benaderd. Echter de faalkans van de leiding zal mogelijk toenemen in de loop van de tijd. Door een wanddikte afname kan over een aantal jaren de faalkans van de leiding toenemen. De leiding zal bij een afnemende wanddikte ook niet meer voldoen aan de eis volgens NEN 3650.

Het wordt daarom aanbevolen om op korte termijn de actuele wanddikte van de leiding door middel van metingen in beeld te brengen. Er zouden dan wanddiktemetingen en controles op veroudering/uitloggen moeten plaatsvinden. Ook zouden er lekdetecties kunnen worden uitgevoerd DNV-GL (2018). Uit een analyse van de metingen kan worden vastgesteld of de gehanteerde kans op leidinglekkage voor langere tijd van toepassing is in de bestaande situatie en of de leiding voor een langere periode aan de sterkte eisen van NEN 3650 voldoet.

De toekomstige verbreding van de weg op de waterkering en de toekomstige bouw van een gemaal op de waterkering zijn niet beschouwd in deze studie. Indien deze toekomstige werken effect hebben op de leiding zullen deze alsnog moeten worden beschouwd.

8 Conclusies en aanbevelingen

De integrale faalkansanalyse van de waterkering Nieuwendam met een parallelle waterleiding is toepasbaar gebleken. De beschouwing geeft aan dat de leiding een aanvaardbare bijdrage aan de overstromingskans heeft. De analyse laat dus zien dat de bestaande situatie van de waterleiding in de Nieuwendam als veilig kan worden beschouwd. De faalkans van de leiding zal mogelijk toenemen in de loop van de tijd. Door de wanddikte afname kan over een aantal jaren de faalkans van de leiding toenemen. De leiding zal bij een afnemende wanddikte ook niet meer voldoen aan de eis volgens NEN 3650.

Het wordt daarom aanbevolen om korte termijn de actuele wanddikte van de leiding door middel van metingen in beeld te brengen. Uit een analyse van de metingen kan worden vastgesteld of de gehanteerde kans op leidinglekkage voor langere tijd van toepassing is en of de leiding voor een langere periode aan de sterkte eisen van NEN 3650 voldoet.

Opgemerkt wordt dat het tracé van de waterleiding in lengte richting voorbij de Nieuwendam afbuigt en door de primaire kering loopt. Dit rapport en de conclusies beperken zich tot de waterkering Nieuwendam, de afbuigende tracé delen zijn niet beoordeeld.

Een eveneens in de waterkering gelegen gasleiding heeft een maximale werkdruk van 300 mbar. Falen van deze gasleiding heeft geen gevolgen voor de waterkering. De gas erosiekrater heeft te verwaarlozen afmetingen. De waterleiding bevindt zich op grotere afstand van de gasleiding, zodat het optreden van domino effecten niet aan de orde is.

Een integrale faalkansanalyse van een dijk met parallel gelegen waterleiding door toepassing van de methodiek van het Veiligheidsraamwerk K&L is derhalve goed mogelijk gebleken en is vergelijkbaar met de eerder uitgevoerde analyse van een waterleiding (Deltares, 2018). Door de beschikbaarheid van casuïstiek kan de faalkans van de AC waterleiding goed in beeld worden gebracht. Er is van grof naar fijn gewerkt. Bij deze analyse is dat zeer overzichtelijk gebleken en is een meer gedetailleerde uitwerking niet nodig gebleken.

De toekomstige verbreding van de weg op de waterkering en de toekomstige bouw van een gemaal op de waterkering zijn niet beschouwd in deze studie. Indien deze toekomstige werken effect hebben op de leiding zullen deze alsnog moeten worden beschouwd.

Referenties

Alliantie Markermeerdijken (2018a). Consequentieanalyse WBI Katwoude. Uitgangspuntennotitie. Opgesteld door Tuan Le en Hizkia Trul. Definitief V01 d.d. 10-7-2018.

Alliantie Markermeerdijken (2018b). Consequentieanalyse WBI Katwoude. Logboeken, d.d. 12-9-2018.

Alliantie Markermeerdijken (2018c). Consequentieanalyse WBI Katwoude. Veiligheidsrapportage. Opgesteld door Tuan Le. Definitief V01 d.d. 12-9-2018.

Alliantie Markermeerdijken (2018d). Aanvullende Hydraulische Randvoorwaarden - Katwoude voor zichtjaren 2050, 2070 en 2100. Consequentieanalyse deelgebieden Katwoude, Gouwe en Buiten-IJ. Opgesteld door T.N. Le en J.T. Franken. Definitief d.d. 27-2-2019.

Anteagroup (2018). Geotechnisch onderzoek Primaire kering Monnickendammergat. N247 km 29.20-31.65 en km 36.80-43.35. N235/N247 Doorstromingsmaatregelen en Groot Onderhoud. definitief revisie 1.0D d.d.12-8-2018.

Deltares (2017a). Handreiking Faalkansanalyse en Faalkans Updating Groene Versie - Macrostabieliteit Binnenwaarts. Deltares rapport 11200575-016-GEO-0005.

Deltares (2017b). Factsheet indirecte mechanismen. Deltares notitie 11200574-007-GEO-0001. 18 september 2017, auteur: Han Knoeff.

Deltares (2018). WBI Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen - Generieke uitgangspunten als vertrekpunt voor nadere uitwerking in (pilot) projecten. Deltares rapport 11202225-005-GEO-0001.

Deltares (2020). Filters voor parallelle gas- en waterleidingen in en bij waterkeringen Overkoepelende rapportage. Deltares Rapport 11205513-002-GEO-0004.

DNV-GL (2018). Corrosie monitoring en lekdetectie bij watertransportleidingen. DNV GL rapport: OGNL.177197

ENW (2009). Technisch Rapport Actuele sterkte van dijken. Datum 27 maart 2009.

HHNK (2014). Ontwerp projectplan gemaal Monnickendam. Rapport met Registratienummer 14.6643, Datum 17 april 2014 en Afdeling Watersystemen.

KPR (2016). Factsheet post "overig" in de faalkansbegroting en indirecte mechanismen. Kennisplatform Risicobenadering, 9 november 2016.

KWR (2019) Beoordeling van methodieken voor het voorspellen van toekomstige storingsfrequenties: resultaten van een pilot met AC. BTO 2019.050, KWR, Nieuwegein

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 (2002c). 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.

RIVM (2017), Handleiding Risicoberekeningen Bevb, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

TNO (2003), Herziening rekenfactoren en spanningscorrectiefactoren in NEN 3650.

WBI (I&M, 2017). Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 – Bijlage III Sterkte en Veiligheid. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Wosten, J. H. M., Veerman, G. J., de Groot, W. J. M. & Stolte, J. (2001). Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Rapport ALTERNATIE Wageningen UR.

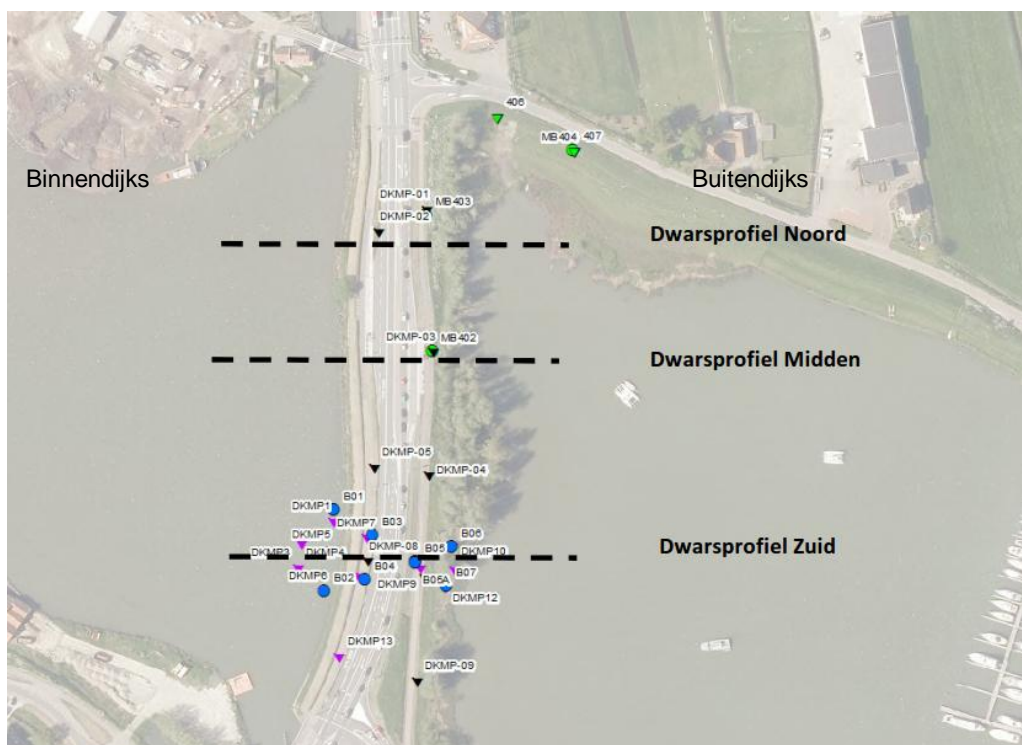
OI (I&M, 2017b). Handreiking ontwerpen met overstromingskansen. Veiligheidsfactoren en belastingen bij nieuwe overstromingskans-normen.

A Nieuwendam

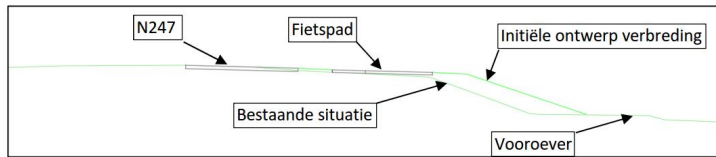
A.1 Weg N247

N247 is een belangrijke provinciale weg voor de afwikkeling van het verkeer in de regio Waterland in Noord-Holland. In deze regio komt de doorstroming en bereikbaarheid voor openbaar vervoer en autoverkeer steeds meer onder druk te staan. In het kader van het project zijn onder andere werkzaamheden voorgenomen in Monnickendam ter hoogte van de primaire kering langs het Monnickendammergat (incl. Nieuwendam). De rapportage "Geotechnisch onderzoek Primaire kering Monnickendammergat" van AnteaGroup (2018) beschouwt de geotechnische impact van deze werkzaamheden – zie Figuur A.1.

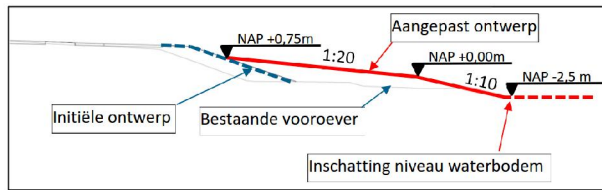
De extra rijstrook (Figuur A.2) wordt gerealiseerd waar in de huidige situatie het fietspad aanwezig is – buitendijks. Het huidige fietspad wordt verschoven naar waar nu de insteek van het bestaande talud is. Naast het nieuwe fietspad is er ruimte voor een circa 2 meter brede berm. Dit wordt verder afgewerkt met een talud.



Figuur A.1 Afbeelding N247 huidige situatie en onderzoek AnteaGroup (2018)



(a) initiële ontwerp

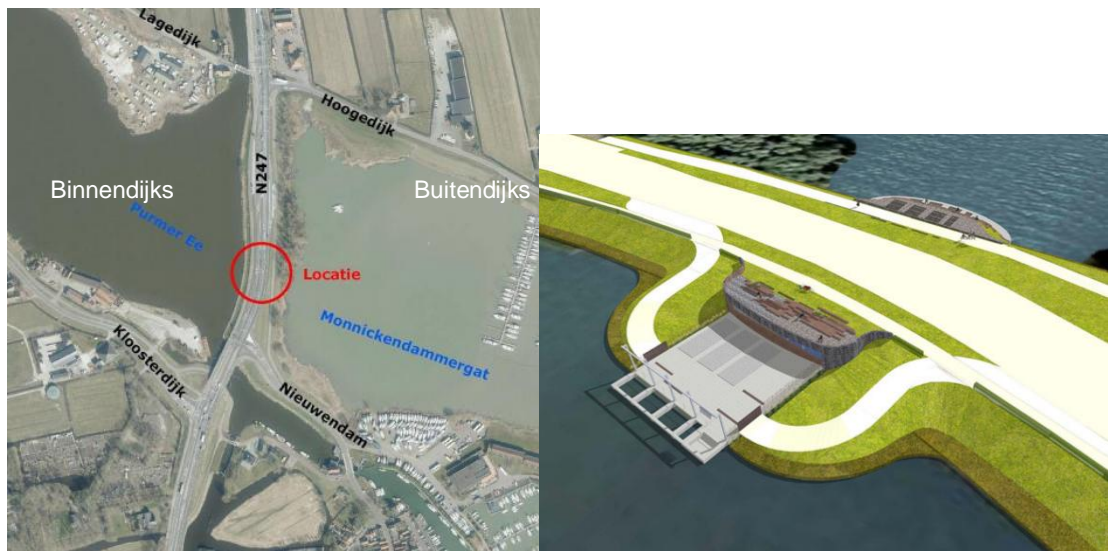


(b) Afmetingen aangepast ontwerp na onderzoek Antea Group (2018)

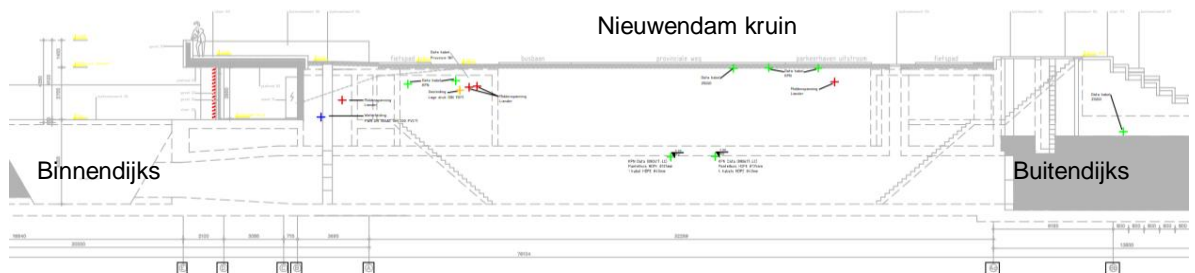
Figuur A.2 Dwarsprofiel verbreding N247 t.h.v. Monnickendammergat (buitendijks) – Antea Group (2018)

A.2 Gemaal

De planlocatie voor het gemaal en de instroomconstructie ligt binnendijks, ten westen van de N247, op een nog aan te winnen stuk land in de Purmer Ee. De uitstroomconstructie ligt buitendijks, ten oosten van de N247 en grenst aan het Monnickendammergat – Zie Figuur A.3 (gemaal is tussen DP3 en DP2 ingepland). De spuikokers kruisen de primaire waterkering tussen de Purmer Ee en de Gouwee waarover de N247 loopt. De onderstaande Figuur A.4 laat zien een dwarsprofiel leiding t.h.v. gemaal (die tussen DP3 en DP2 is ingepland).



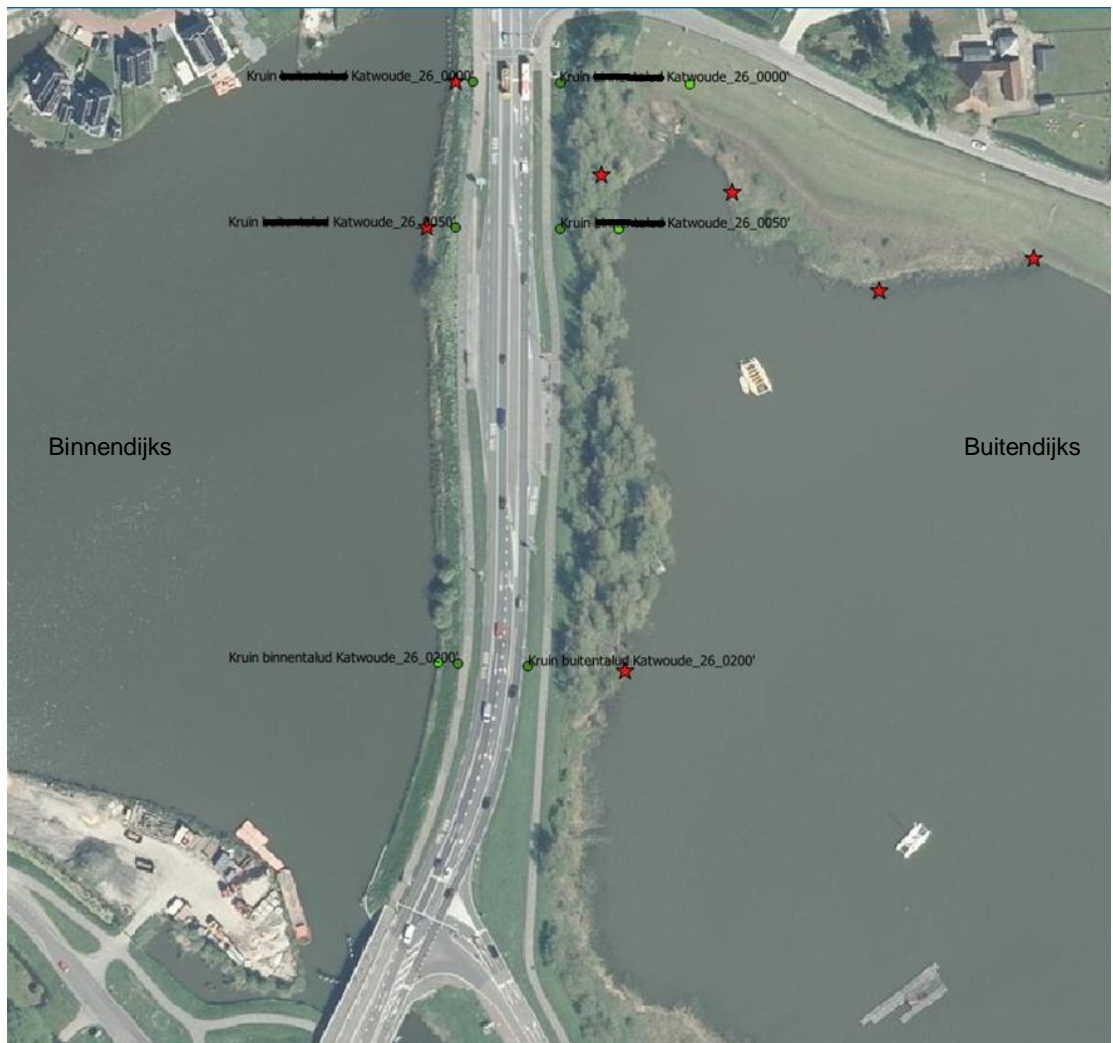
Figuur A.3 Plangebied en locatie gemaal (HHNK, 2014) en 3D visualisatie (hollandszicht.nl @ 2015)



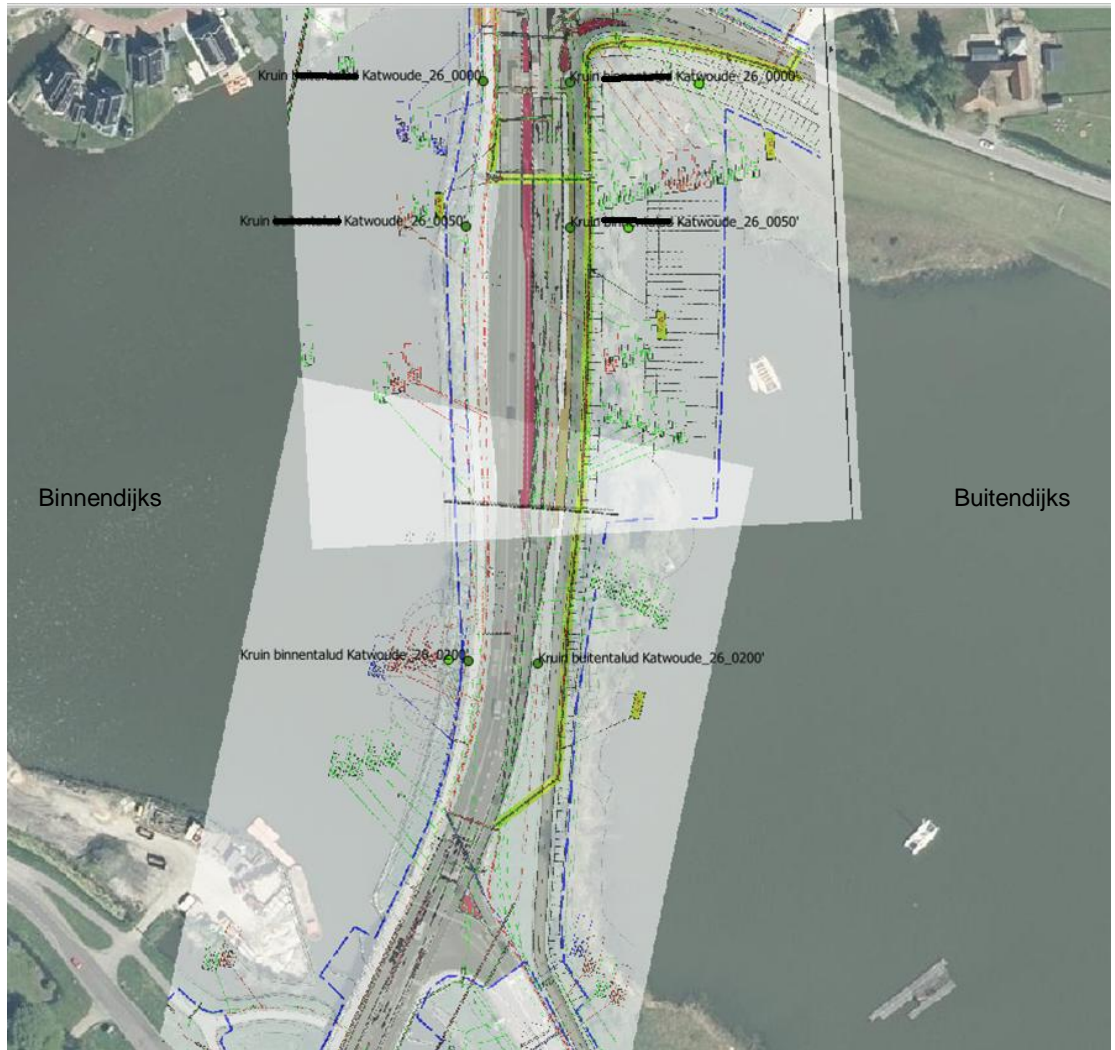
Figuur A.4 Dwarsprofiel leiding t.h.v. gemaal (niveau van dwarsprofiel zuid)

B Nieuwendam – dijk en leidingen

Locatie van binnen en buiten kruin van de Nieuwendam:



Locatie van binnen en buiten kruin van de Nieuwendam incl. leidingen locatie:

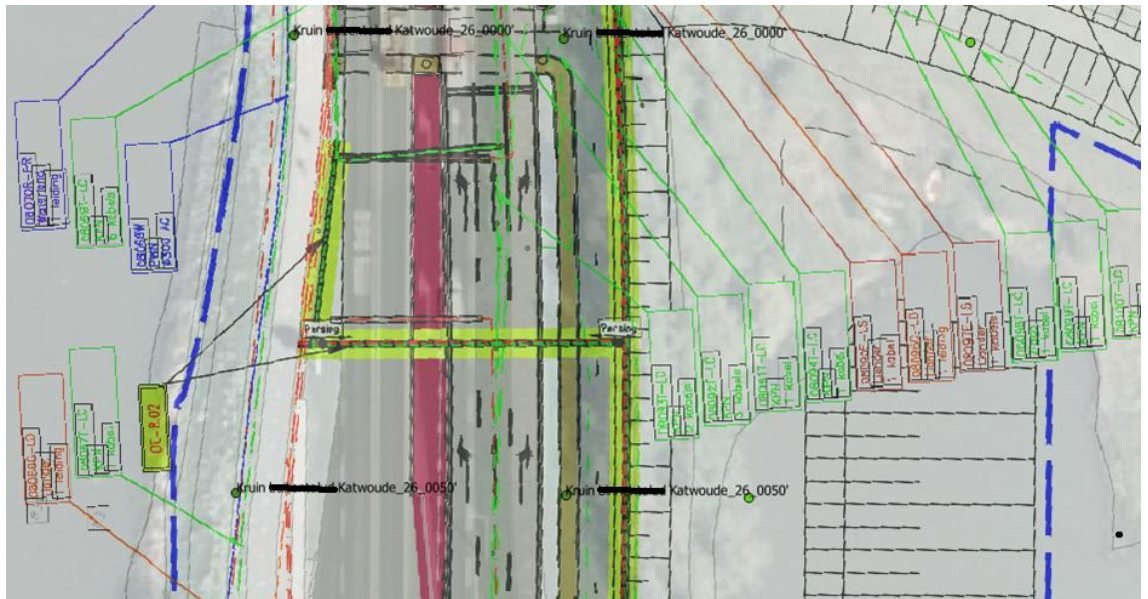


Locatie van binnen en buiten kruin van de Nieuwendam incl. leidingen locatie (ZOOM IN aan elke doorsnede):

Katwoude_26_0000 & Katwoude_26_0050

Binnendijks

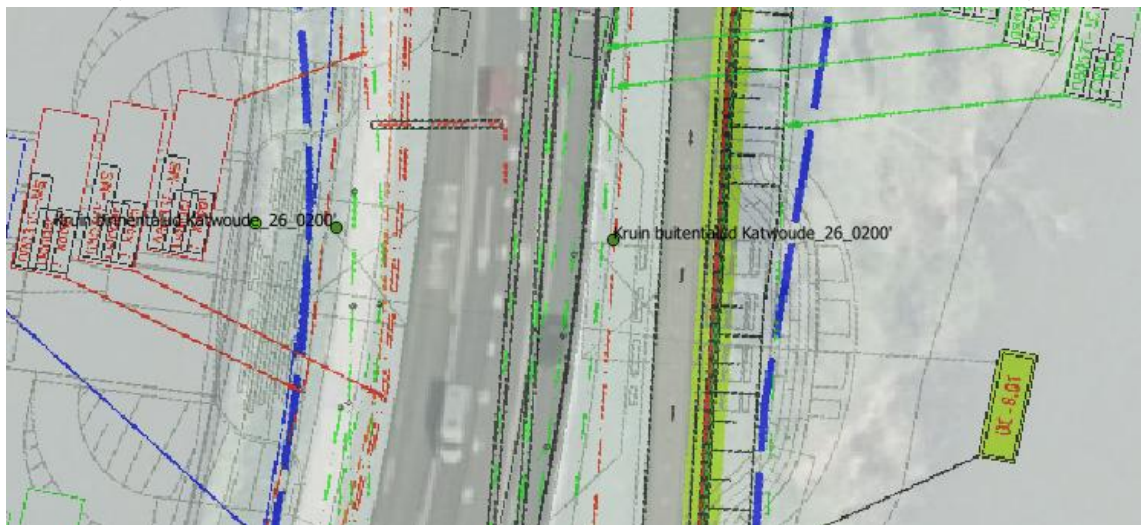
Buitendijks



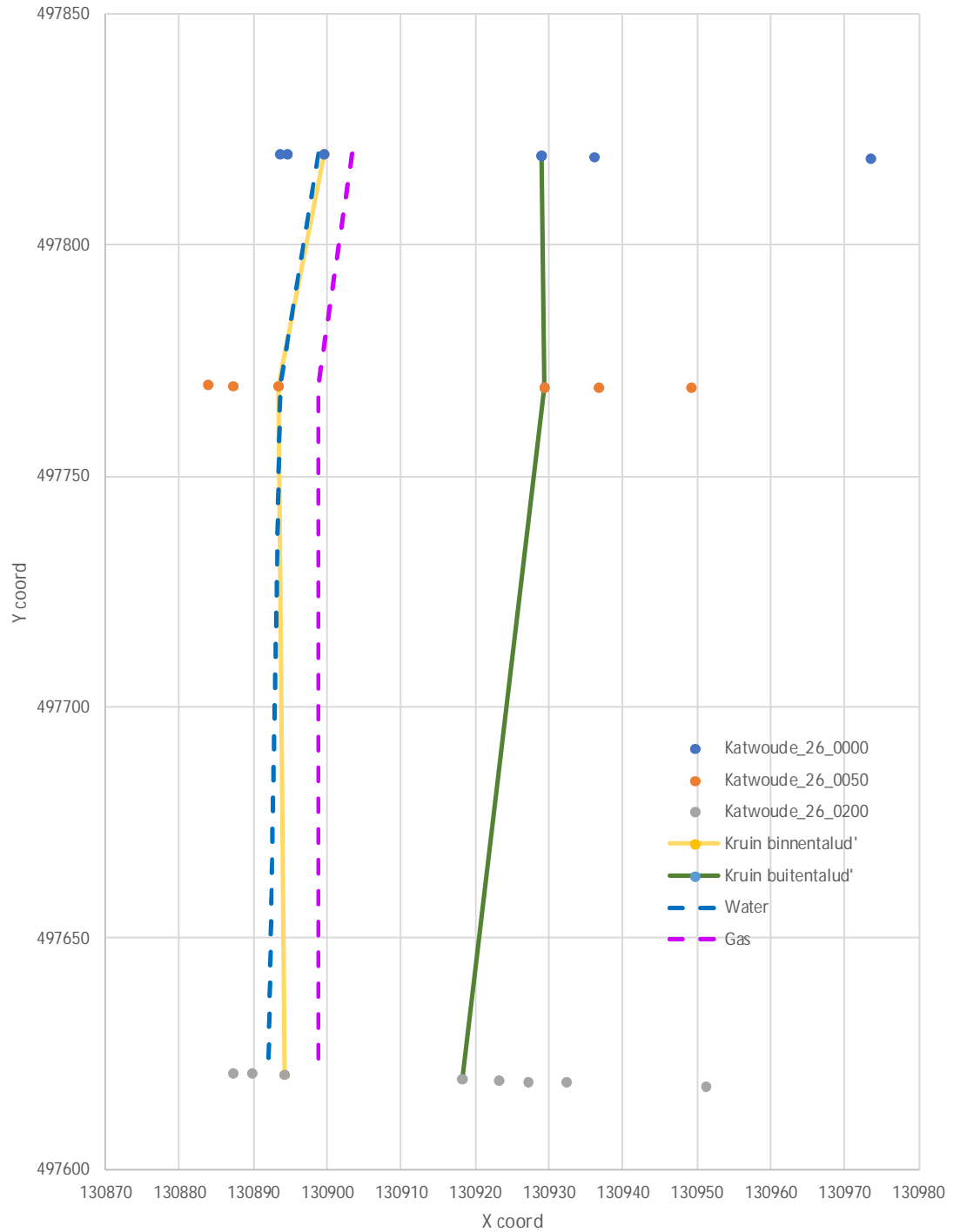
Katwoude_26_0200

Binnendijks

Buitendijks



Locatie van binnen en buiten kruin van de Nieuwendam incl. leidingen locatie
(zie ook Tabel B.1 in volgende pagina)



Tabel B.1 Coördinaten tabel van dijk karakteristiek punten, leidingen en relatief afstanden – Nieuwendam

	Katwoude_26_0000	_0050	_0200
binnenkruin X coord.	130899.587	130893.341	130894.318
binnenkruin Y coord.	497819.675	497769.701	497620.66
Buitenkruin X coord.	130929.086	130929.34	130918.292
Buitenkruin Y coord.	497819.388	497769.392	497619.545
Kruinbreedte (m)	29.5	36.0	24.0
Water leiding X coord	130898.887	130893.641	130892.018
Water leiding Y coord	497819.675	497769.701	497620.66
Gas leiding X coord	130903.387	130898.841	130898.718
Gas leiding Y coord	497819.675	497769.701	497620.66
Aftand water-gas (m)	4.5	5.2	6.7
Afstand binnenkruin-water (m)	0.7	-0.3	2.3
Afstand binnenkruin-gas (m)	-3.8	-5.5	-4.4
Afstand Buitenkruin-water (m)	30.2	35.7	26.3
Afstand Buitenkruin-gas (m)	25.7	30.5	19.6

* maatgevende waarden

C Sonderingen Nieuwendam

Een van de belangrijkste punten bij stabiliteits- en vervormingsberekeningen is de beoordeling van de bodemopbouw. Voor Nieuwendam is de bodemopbouw bepaald op basis van gegevens van eerdere bodemonderzoeken, met name CPT's uit:

- Fugro (2017) Grondonderzoek nieuw gemaal Monnickendam; kenmerk 1317-0162.
- Inpijn-Blokpoel (2016) Grondonderzoek dijk D26 (Nieuwendam) aan de N247 /waterkeringen pad te Monnickendam; kenmerk 01P001813-RG-01.

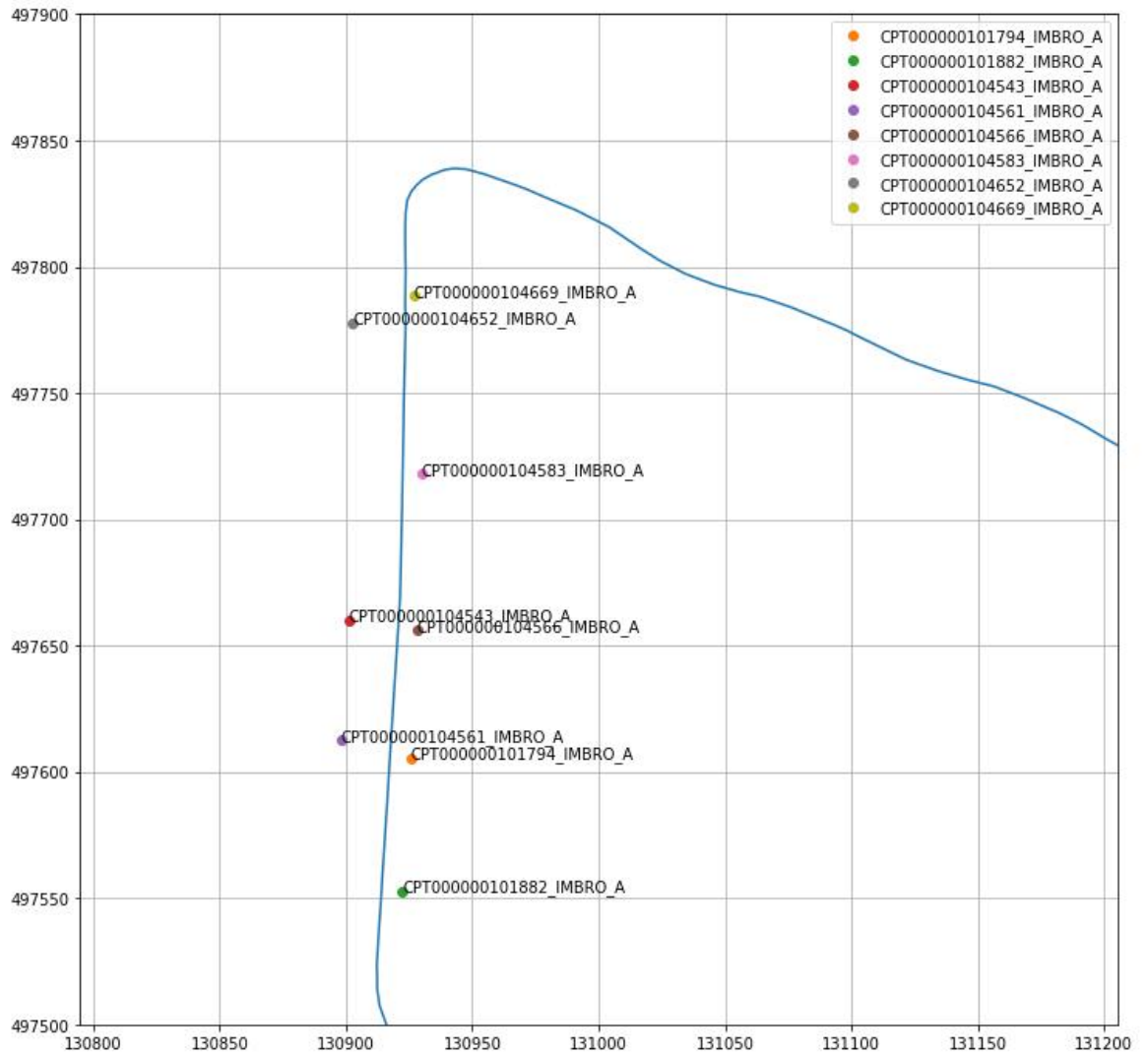
Tabel C.1. Samenvatting van de beschikbare CPT's bij Nieuwendam

CPT ID	Onderzoek	Locatie		
		Buitentalud	Kruin	Achterland
DKMP_01	Fugro (2017)			✓
DKMP_02	Fugro (2017)			✓
DKMP_03	Fugro (2017)			✓
DKMP_04	Fugro (2017)			✓
DKMP_05	Fugro (2017)			✓
DKMP_06	Fugro (2017)			✓
DKMP_07	Fugro (2017)		✓	
DKMP_08	Fugro (2017)		✓	
DKMP_09	Fugro (2017)		✓	
DKMP_10	Fugro (2017)	✓		
DKMP_11	Fugro (2017)	✓		
DKMP_12	Fugro (2017)	✓		
DKMP_13	Fugro (2017)			
DKMP_01	Inpijn – Blokpoel (2016)		✓	
DKMP_02	Inpijn – Blokpoel (2016)		✓	
DKMP_03	Inpijn – Blokpoel (2016)		✓	
DKMP_04	Inpijn – Blokpoel (2016)		✓	
DKMP_05	Inpijn – Blokpoel (2016)		✓	
DKMP_06	Inpijn – Blokpoel (2016)		✓	
DKMP_08	Inpijn – Blokpoel (2016)		✓	
DKMP_09	Inpijn – Blokpoel (2016)		✓	

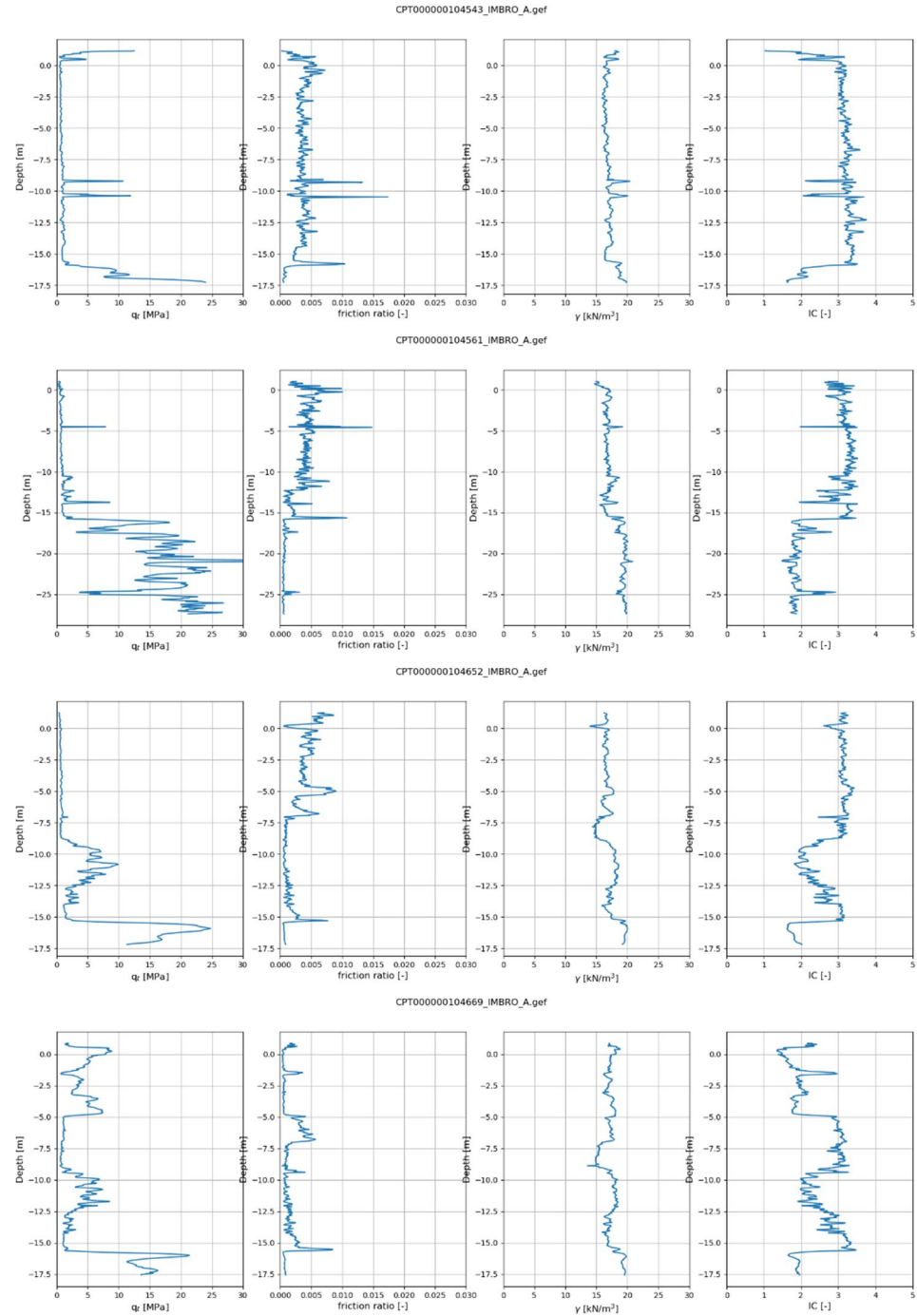
C.1 CPT uit DINOloket – Inpijn – Blokpoel (2016)

De onderstaande kaart laat zien de sonderingen die uit DINOloket zijn gedownload. Deze zijn uit 2016 en zijn blijkbaar degene die worden gedaan tijdens de grondonderzoek dijk D26.

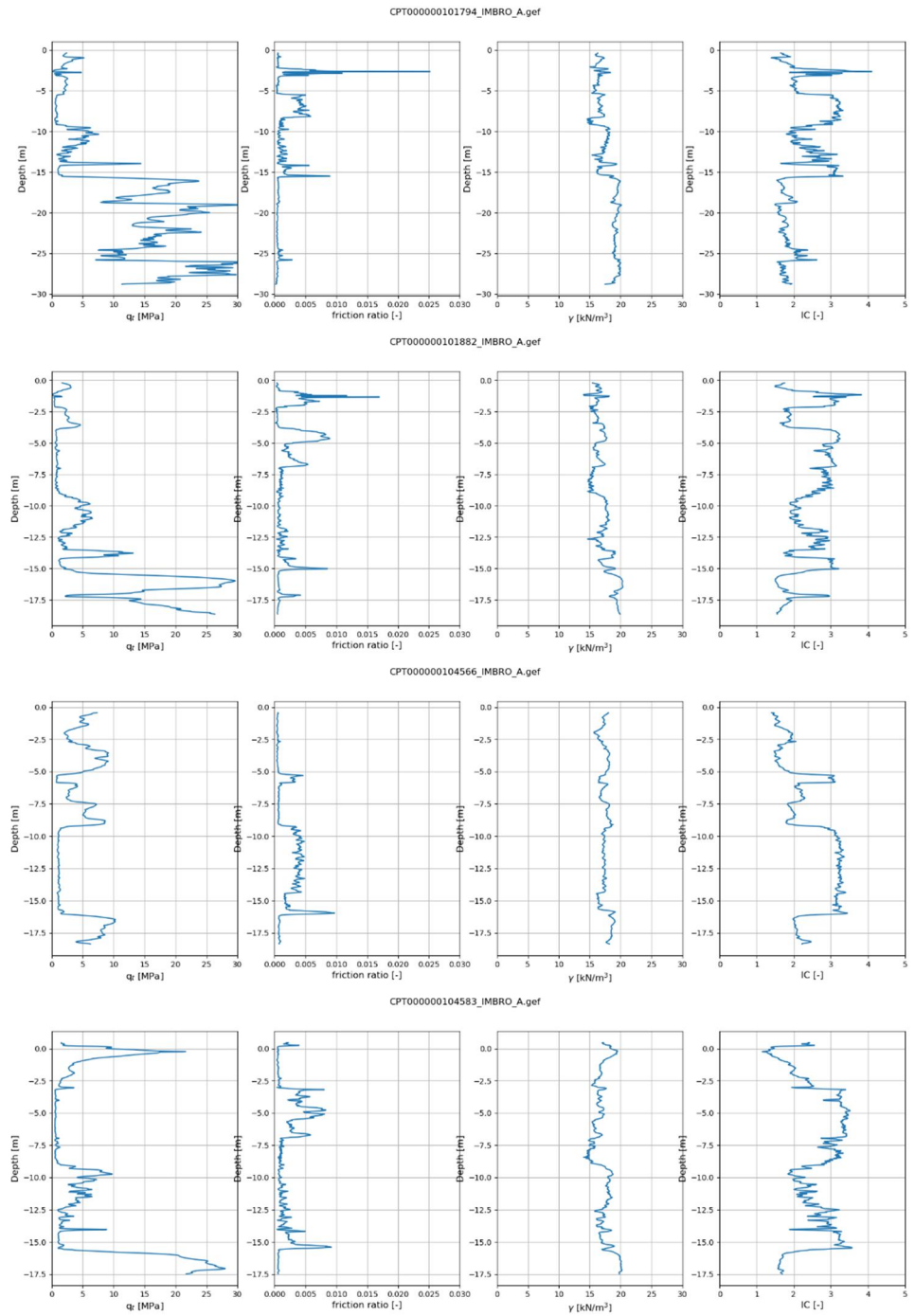
Map Nieuwendam met de sonderingen uit DINOloket:



Sonderingen DINOloket @ kruin (4543, 4561, 4652, 4669):



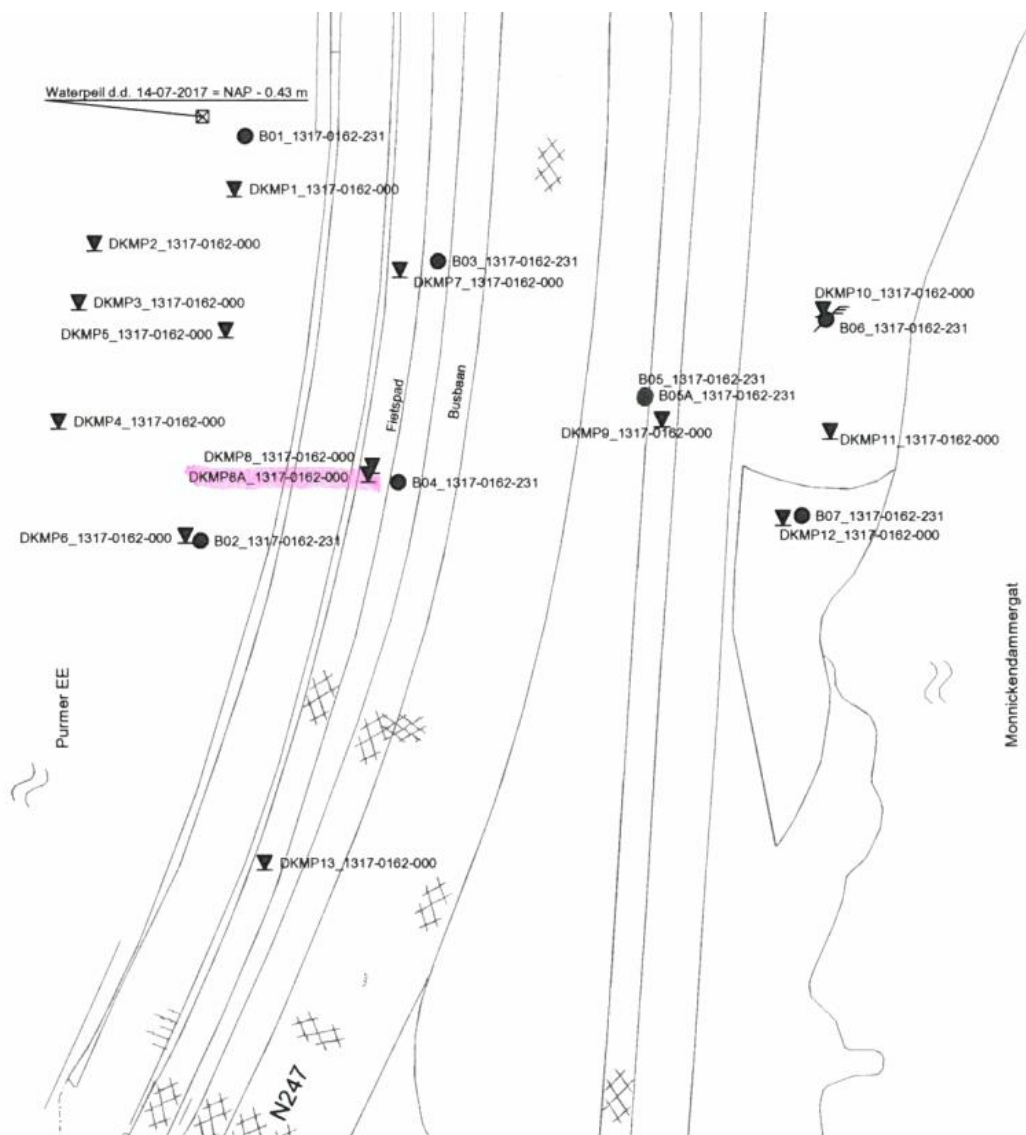
Sonderingen DINOloket @ teen (1794, 1882, 4566, 4583):



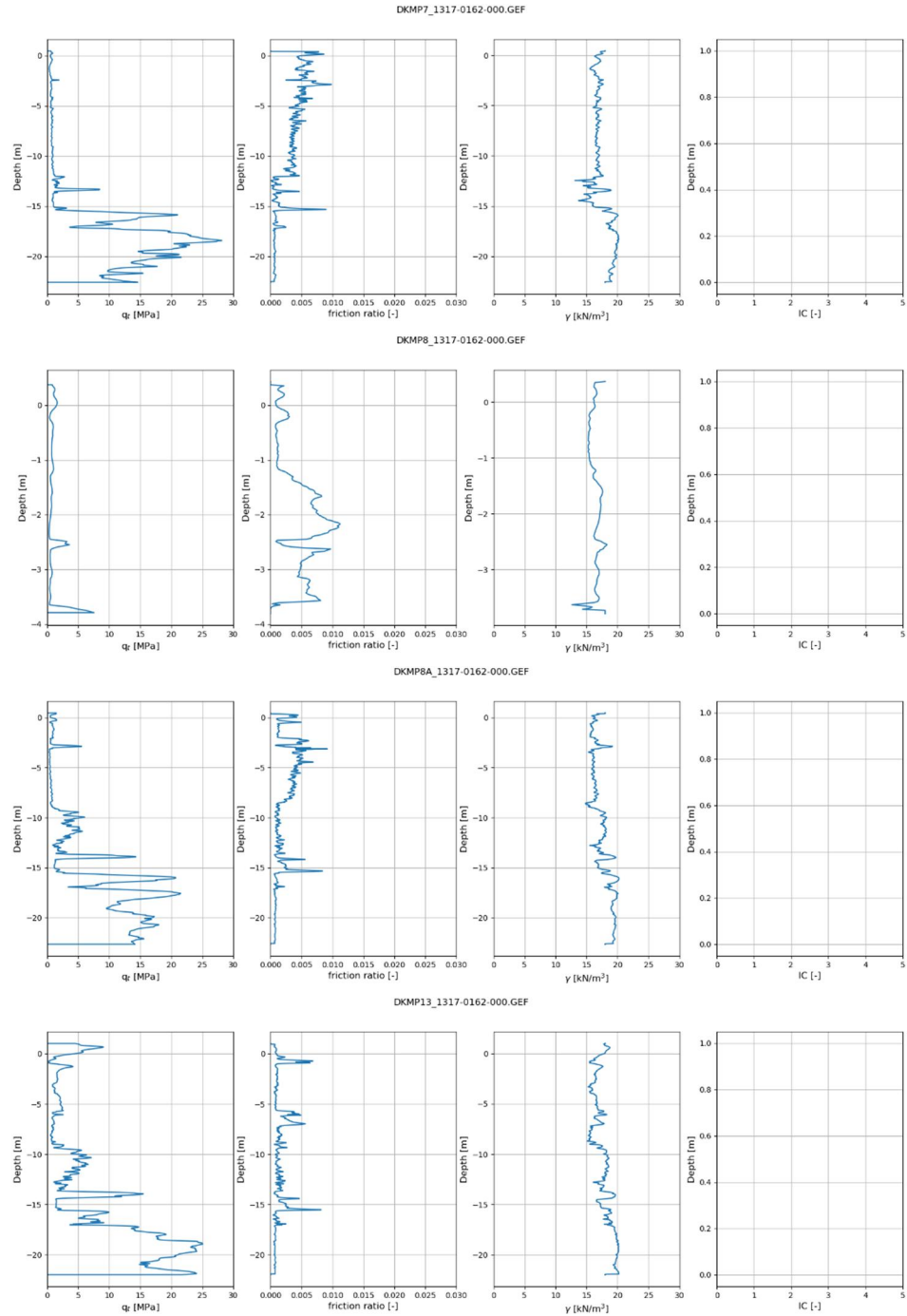
C.2 CPT t.b.v. gemaal FUGRO (2017)

De onderstaande figuren laten zien de IC waarden uit de sonderingen die t.b.v. het gemaal zijn gemaakt (uit 2017).

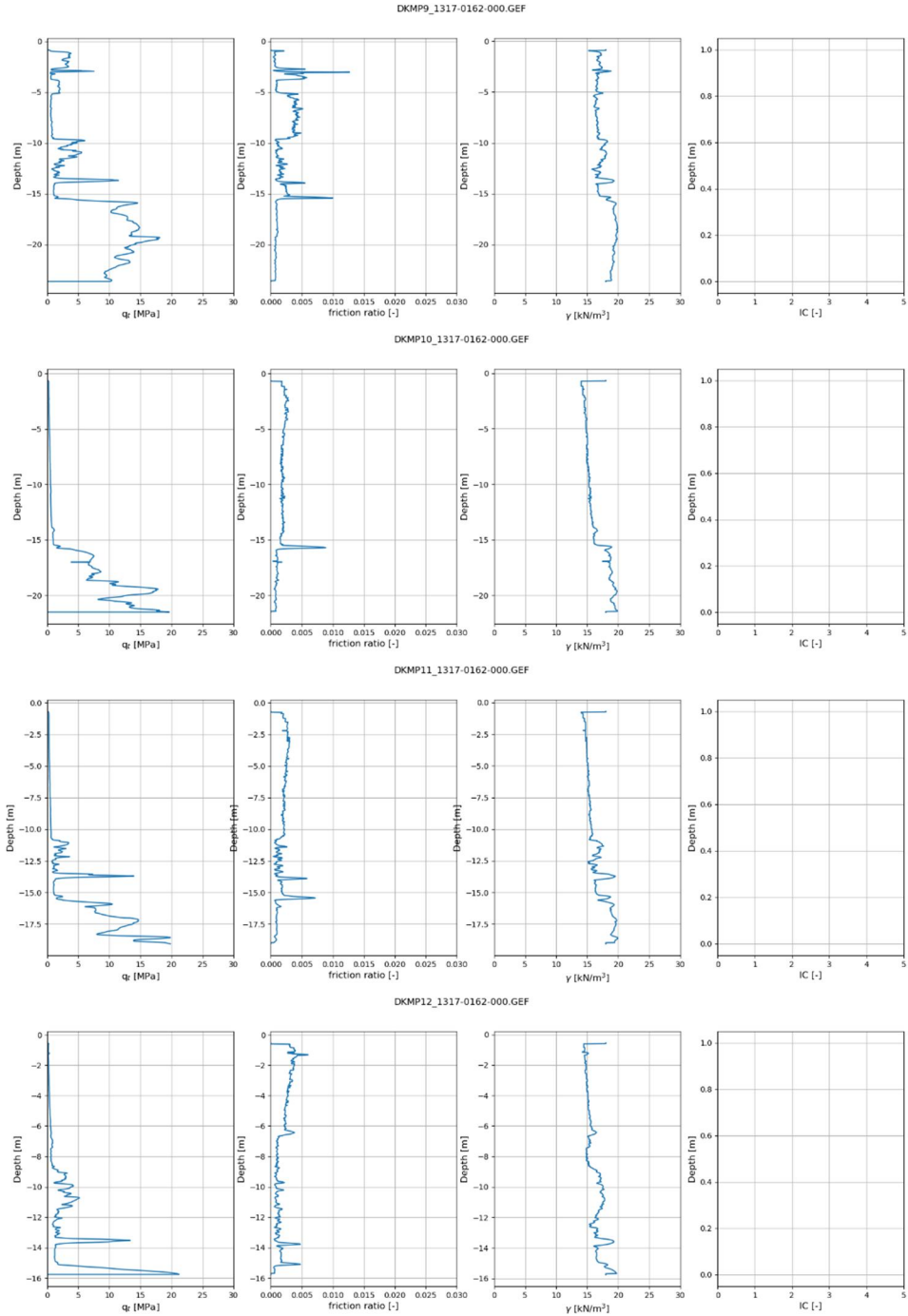
Map Nieuwendam met de sonderingen t.b.v. gemaal:



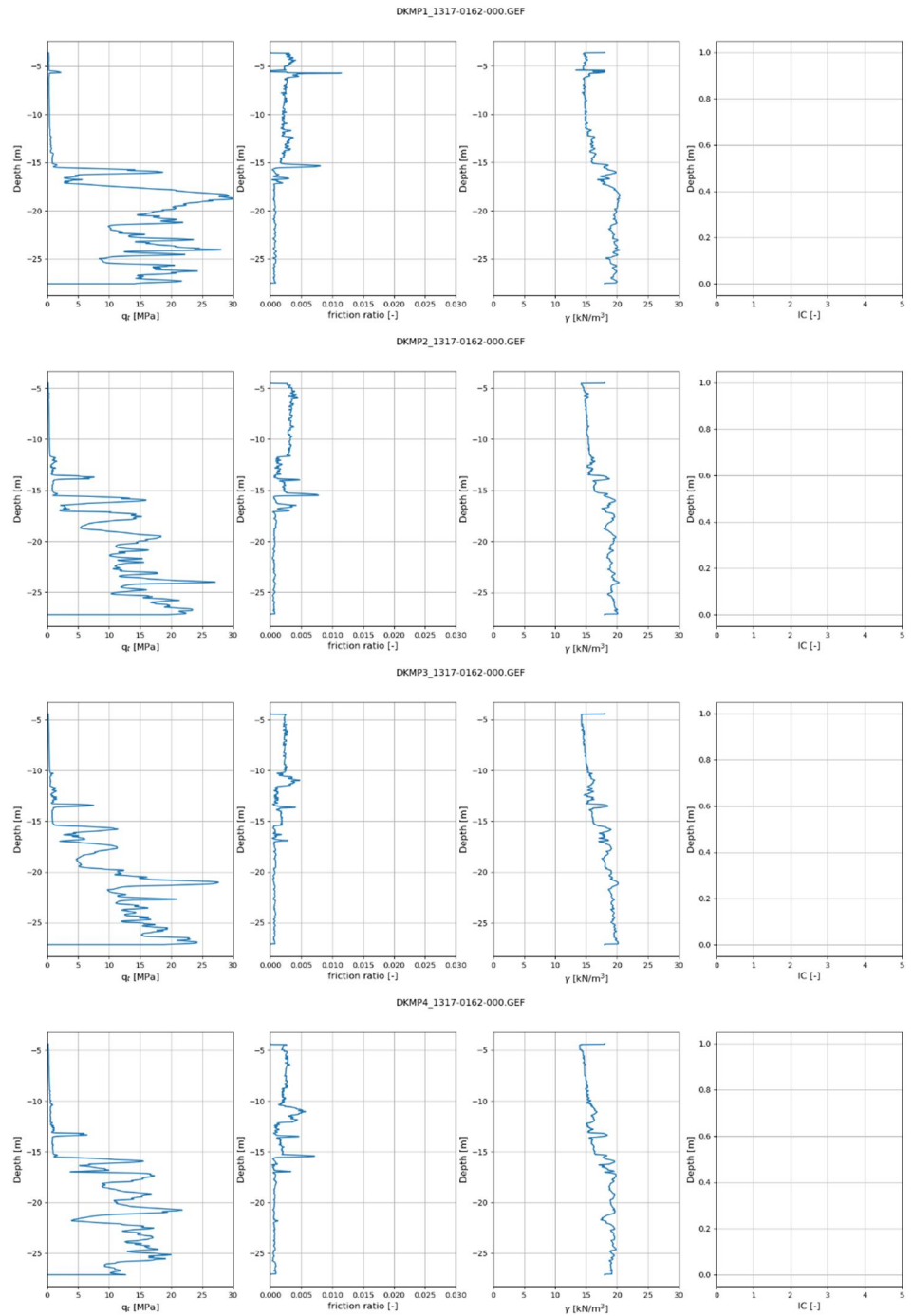
Sonderingen t.b.v.emaal @ kruin (DKMP 7, 8, 13):



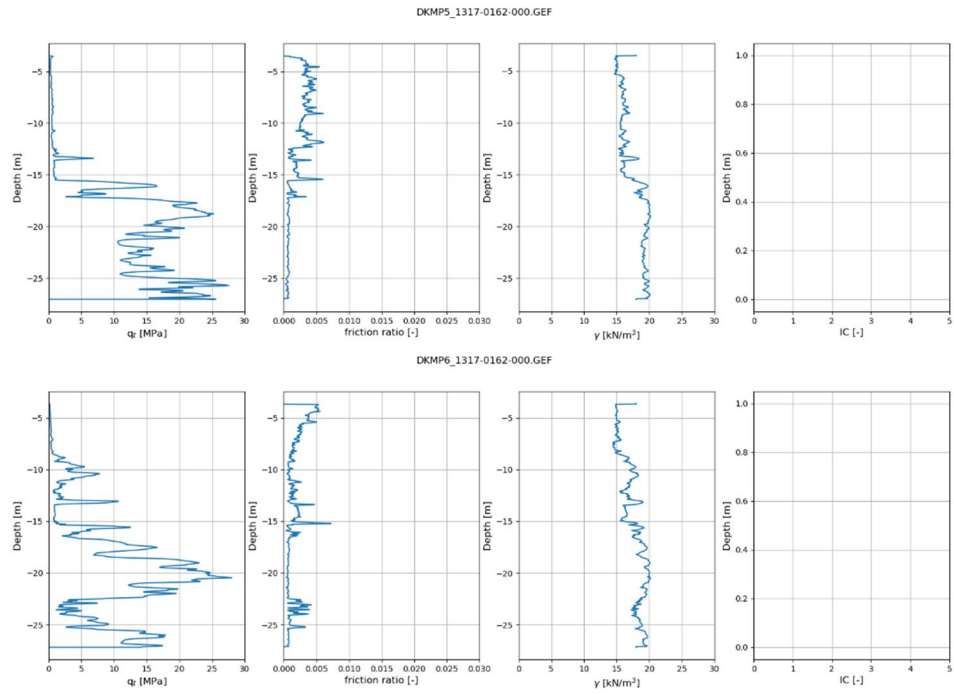
Sonderingen t.b.v.emaal @ buitenteen (DKMP 9 t/m 12):



Sonderingen t.b.v.emaal @ binnenteen (DKMP 1 t/m 4):



Sonderingen t.b.v.emaal @ binnenteen (DKMP 5 t/m 6):



D Berekening van leiding kraters – NEN 3651

Hierbij wordt gebruik gemaakt van onderdelen van bijlage A van NEN 3651 (NEN, 2012f).

D.1 Erosiekrater gasleiding

De erosiekrater gasleiding is afhankelijk van het vochtgehalte van de grond. Met de waterretentiekaracteristiek voor 'leemarm zand' (Wosten et al., 2001) volgt een vochtgehalte van >10% vol. Vertaald naar gewichtsperscentage volgt >5%. Gegeven een vochtgehalte van de ondergrond van meer dan 5% kan de diepte en straal van de erosiekrater berekend worden met:

Diepte:

$$D_k = 1.6 \cdot D_o + H$$

De uitwendige diameter van de leiding, D_o , in meter is 0.11.

De dekking op de leiding, H , in meter is 0.8.

De diepte van de ontgrondingskuil, D_k , in meter is zodoende **0.98**.

Straal:

$$G_B = R(w) \cdot \left\{ \frac{g}{D_k^2} \cdot \left(\pi + \left(\frac{D_i}{2} \right)^2 \right)^3 \cdot \left(\frac{\rho^* \cdot u^{*2} + (p^* - p_{omg})}{\rho_{omg} \cdot g} \right)^3 \cdot t^2 \right\}^{1/8}$$

$$\rho^* = \rho_0 \cdot \left(\frac{p^*}{p_0} \right)^{\frac{1}{\kappa}}$$

$$p^* = p_0 \cdot \left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}}$$

$$u^* = \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa + 1} \cdot \frac{p_0}{\rho_0}}$$

De vochtafhankelijke constante, $R(w)$, is 0.025.

De diepte van de ontgrondingskuil, D_k , in meter is 0.98.

De omgevingsdruk, p_{omg} , is 1 bar(A) oftewel 100 000 Pa.

De druk van het gas in de leiding, p_0 , is 1.3 bar(A) oftewel 0.3 bar(G) oftewel 130 000 Pa.

De dichtheid van gas bij omgevingsdruk, ρ_{omg} , is 0.833 kg/m³ (aardgas).

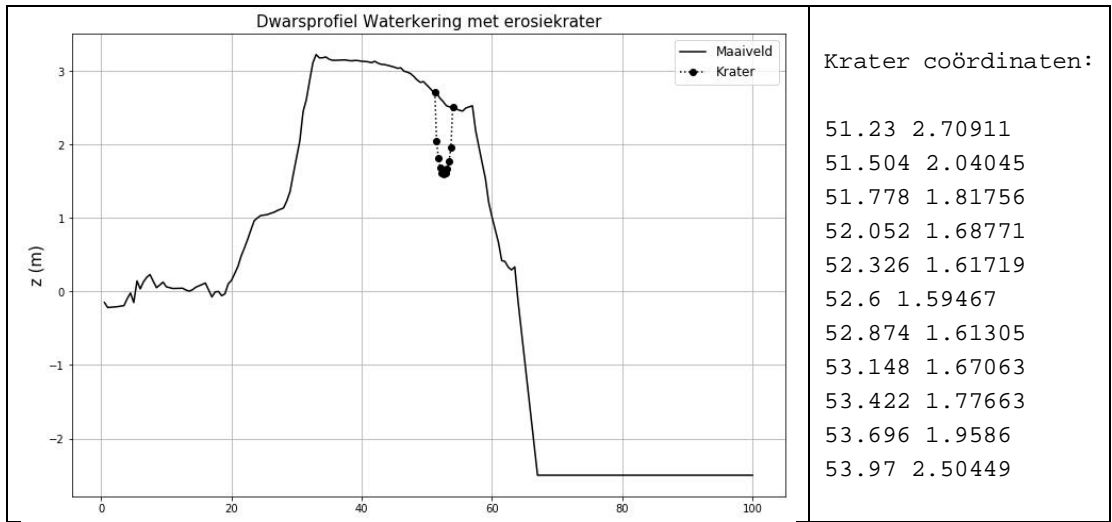
De dichtheid van gas in de leiding is, ρ_0 , is 1.0 kg/m³ ($= \frac{p_0}{p_{omg}} \cdot \rho_{omg}$).

De inwendige diameter van de leiding, D_i , is in meter 0.1046.

De constante, κ , is 1.33.

De halve breedte van de ontgrondingskuil, G_B , in meter is zodoende **1.37**.

Coördinaten bovenzijde van gasleiding is $x = 52.6$; $z = 1.8$ (zie onderstaande figuur)



D.2 Erosiekrater bij gapend lek waterleiding

Diepte:

$$D_k = 1.2 \cdot (D_o + H)$$

De uitwendige diameter van de leiding, D_o , in meter is 0.346.

De dekking op de leiding, H , in meter is 1.50.

De diepte van de ontgrondingskuil, D_k , in meter is zodoende **2.22**.

Straal:

$$R_B = 7,8d_g \left(\frac{QH}{g^{1/2} \mu d_g^{7/2}} \right)^{0,243}$$

De maximale bedrijfsdruk, h_m , in meter waterkolom (mwk) is 30.6.

De inwendige diameter van de leiding, D_i , in meter is 0.300.

Coördinaten bovenzijde van waterleiding is $x = 59.3$; $z = 0$

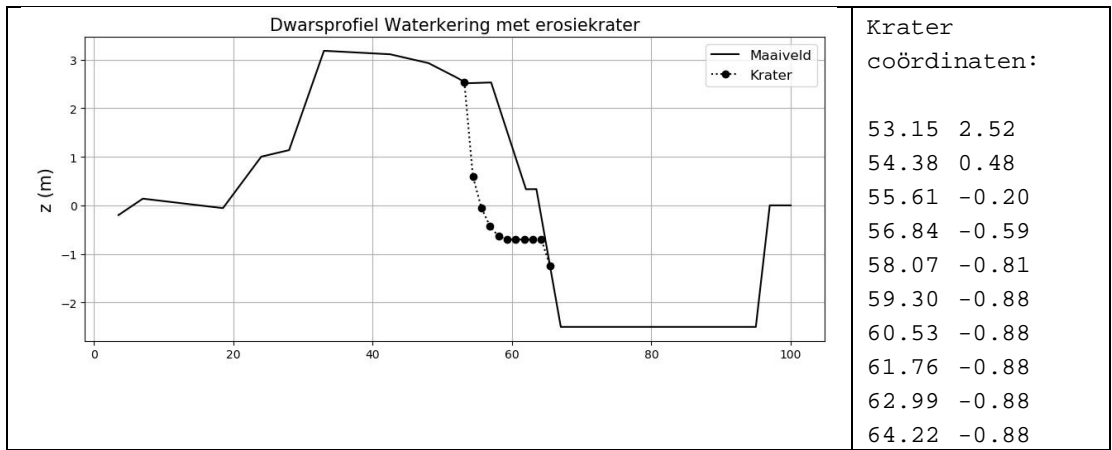
Voor een specifieke lokale drukhoogte wordt een bijbehorende volumestroom berekend op basis van de netconfiguratie. Voor een locatie in het proefgebied bepaalt het hydraulisch rekenpakket de volgende QH-relaties

Lokale drukhoogte in de leiding	H (mwk)	1	5	10	15	20
Volumestroom van het lek	Q (m ³ /h)		1001	864	707	515
Volumestroom van het lek	Q (m ³ /s)	0,0000	0,2781	0,2400	0,1964	0,1431
Gemiddelde snelheid lekstraal in gat	v_{uit} (m/s)	4,4	9,9	14,0	17,2	19,8
Afvoercoëfficiënt gat	μ (-)	0,98	0,91	0,82	0,75	0,68
Oppervlakte van lekstraal (netto)	A_s (m ²)	0,0000	0,0281	0,0171	0,0114	0,0072
Oppervlakte gat in buis (bruto)	A_g (m ²)	0,0000	0,0310	0,0209	0,0154	0,0106
Diameter gat in de leiding	d_g (m)	0,000	0,199	0,163	0,140	0,116
Straal van ontgrondingskuil	R_B (m)	#####	5,15	5,85	6,15	6,07

Lokale drukhoogte in de leiding	H (mwk)	25	30	35	40	45	50
Volumestroom van het lek	Q (m ³ /h)	277					
Volumestroom van het lek	Q (m ³ /s)	0,0769	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Gemiddelde snelheid lekstraal in gat	v_{uit} (m/s)	22,1	24,3	26,2	28,0	29,7	31,3
Afvoercoëfficiënt gat	μ (-)	0,63	0,58	0,55	0,52	0,51	0,50
Oppervlakte van lekstraal (netto)	A_s (m ²)	0,0035	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Oppervlakte gat in buis (bruto)	A_g (m ²)	0,0056	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Diameter gat in de leiding	d_g (m)	0,084	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Straal van ontgrondingskuil	R_B (m)	5,36	#####	#####	#####	#####	#####

De halve breedte R_B , in meter is zodoende **6.15** meter.

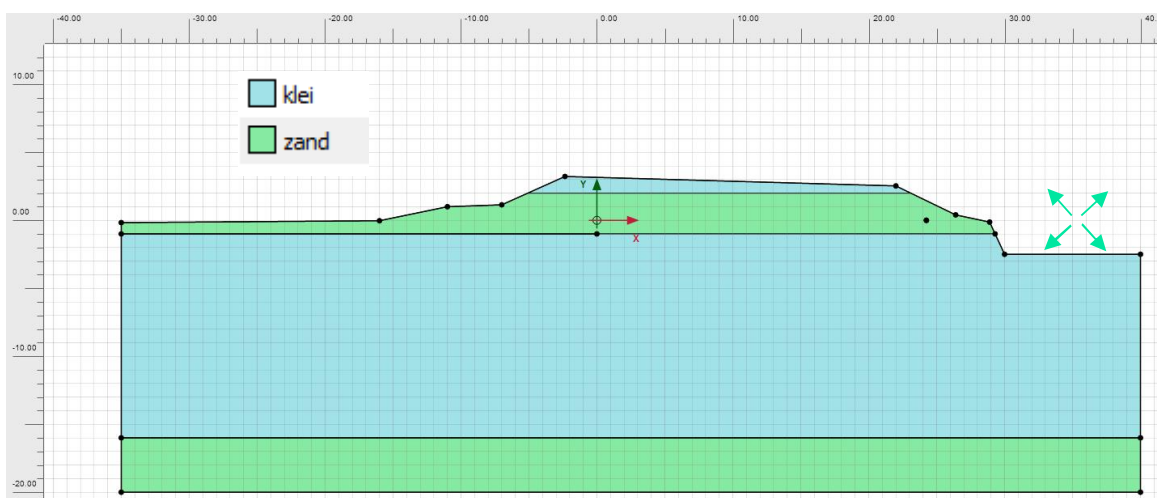
Coördinaten bovenzijde van waterleiding is $x = 59.3$; $z = 0$ (zie onderstaande figuur)



E Freatische lijn gegeven sluipend lek

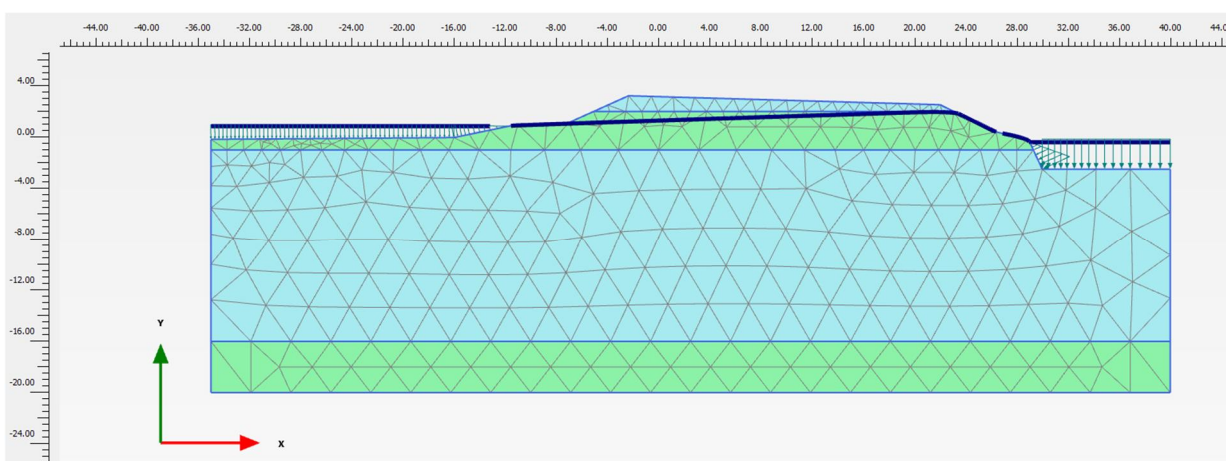
Een detailanalyse van de stijging freatische lijn als gevolg van een sluipend lek van de waterleiding is gemaakt (PLAXIS 2D grondwaterstromingsberekeningen). De uitgangspunten voor de berekening zijn:

- Grondopbouw dijk zoals in fase 1 (1D SOS).
- De bron van de lekkage is ter plaatse van de leiding.
- Sluipende lekkages van $Q = 3$ en $10 \text{ m}^3/\text{dag/m}$.
- “steady state flow” berekeningen.
- Initiële condities met freatische lijn bij WBN.
- $K_{\text{zand}} = 1 \text{ m/dag}$ en $K_{\text{klei}} = 0.01 \text{ m/dag}$ (waar K de doorlatendheid van de grondlaag is).

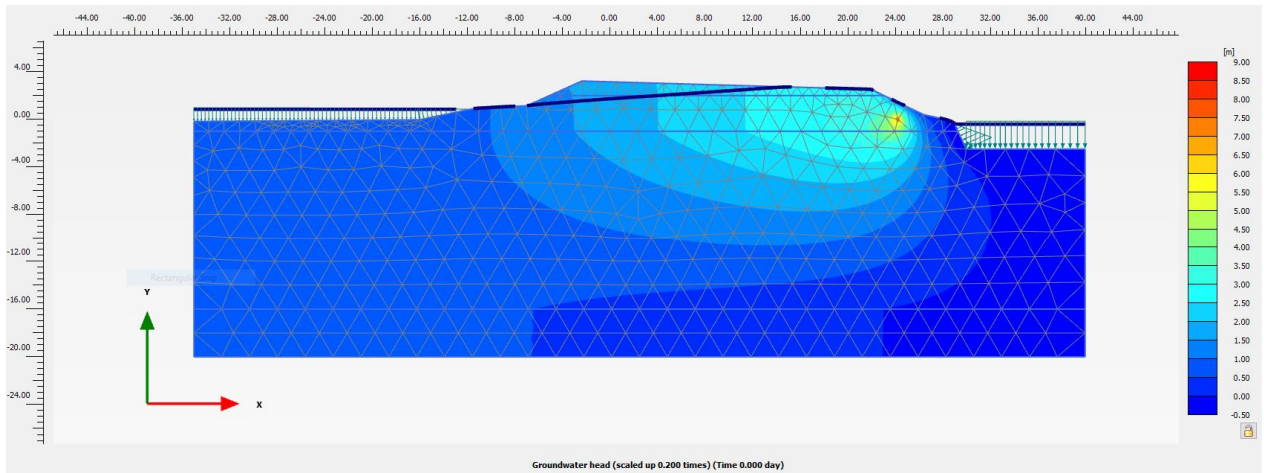
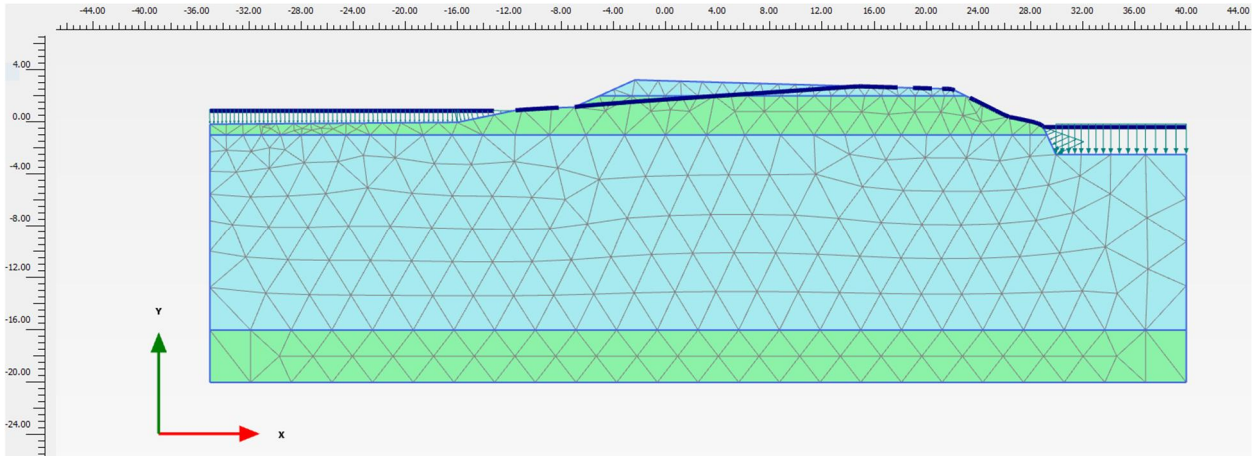


De grondwaterstromingsberekeningen zijn uitgevoerd voor 2 verschillende lekkage debieten. De resulterende freatische lijnen zijn in de onderstaande figuren te zien:

$$Q = 3 \text{ m}^3/\text{dag/m}$$



$Q = 10 \text{ m}^3/\text{dag}/\text{m}$



De volgende coördinaten zijn het resultaat van de freatische lijn(en) positie na "steady state":

PL uit PLAXIS
3 m³/dag/m

X [m]	PL [m+NAP]
-35.071	0.85
-12.034	0.85
21.617	2.016
22.898	1.821
24.075	1.3
26.211	0.518
26.429	0.411
29.465	-0.55
64.929	-0.55

PL uit PLAXIS
10 m³/dag/m

X [m]	PL [m+NAP]
-35.071	0.85
-12.034	0.85
15.929	2.5
21.939	2.5
24.075	1.3
26.211	0.518
26.429	0.411
29.465	-0.55
64.929	-0.55

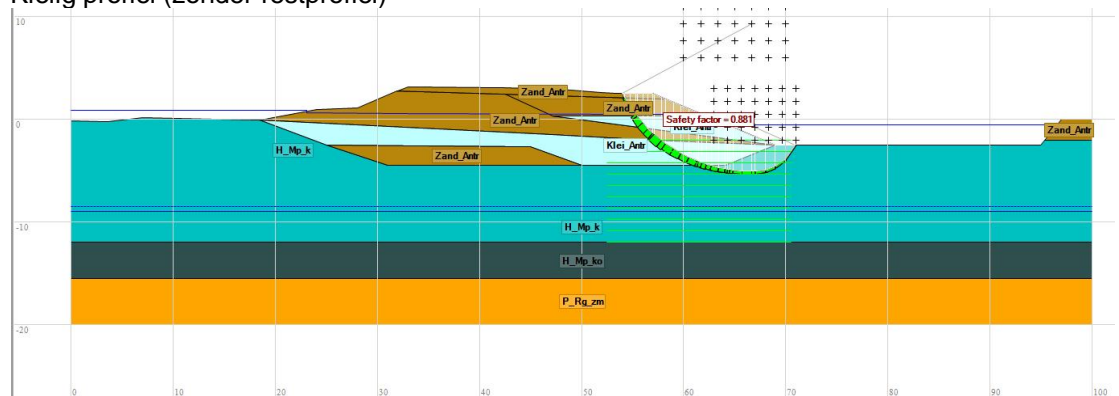
F Kritieke glijvlakken bij macro-instabiliteit

Hieronder zijn de resultaten van macro-instabiliteit (binnen- en buitenwaarts) weergegeven voor alle berekend profielen (kleiig en zandig) en faalpaden (zonder leidingfalen, gapend en sluispend lek).

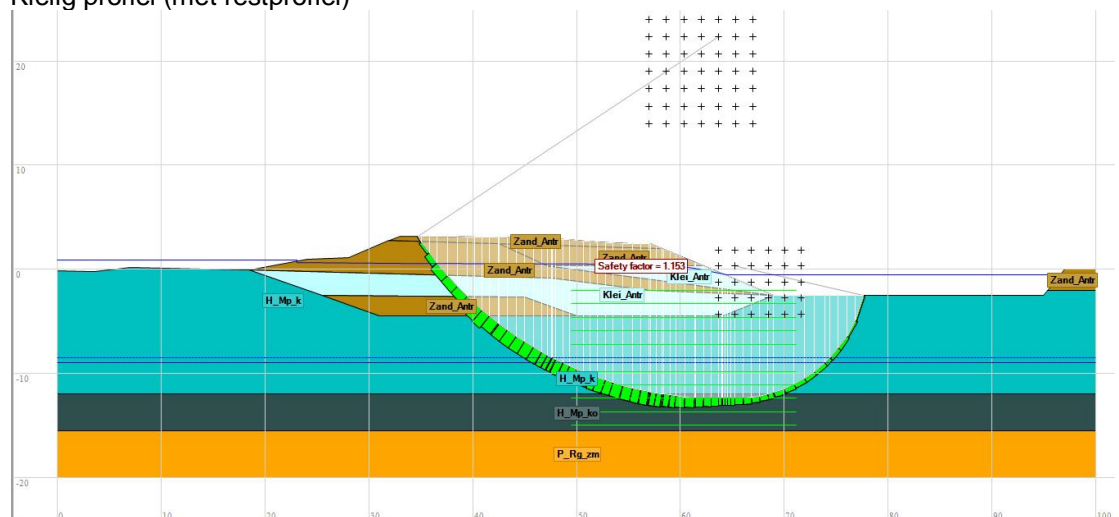
F.1 Zonder leiding falen

F.1.1 STBI-Klei

Kleiig profiel (zonder restprofiel)

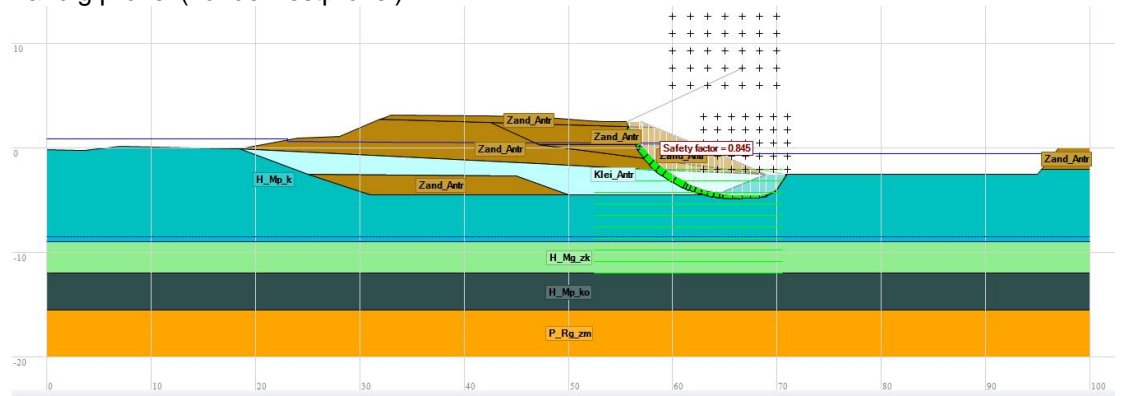


Kleiig profiel (met restprofiel)

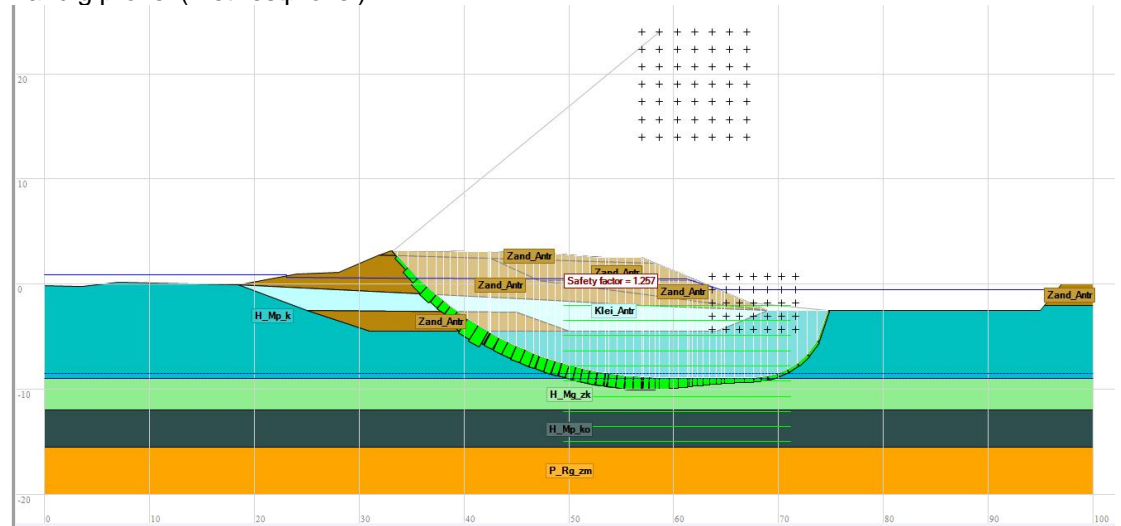


F.1.2

STBI-Zand
Zandig profiel (zonder restprofiel)

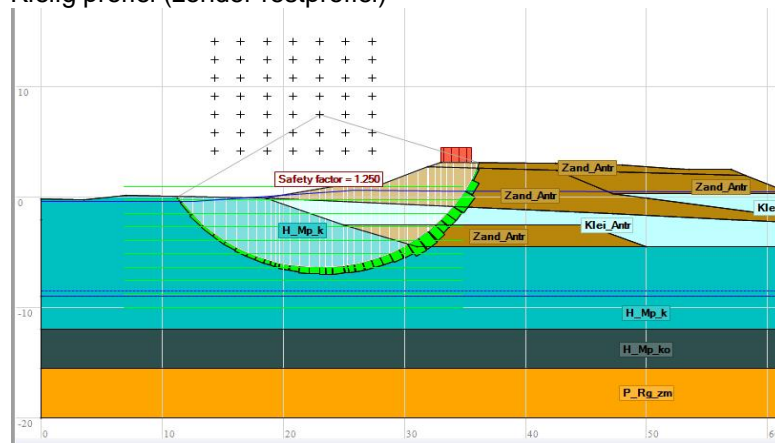


Zandig profiel (met restprofiel)

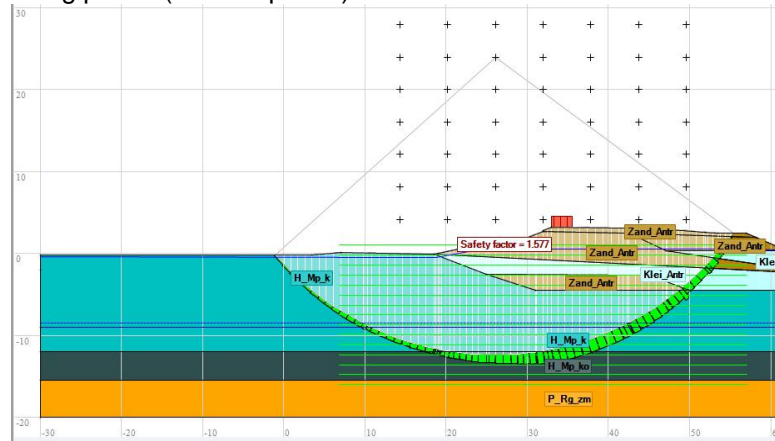


F.1.3

STBU-Klei
Kleiig profiel (zonder restprofiel)



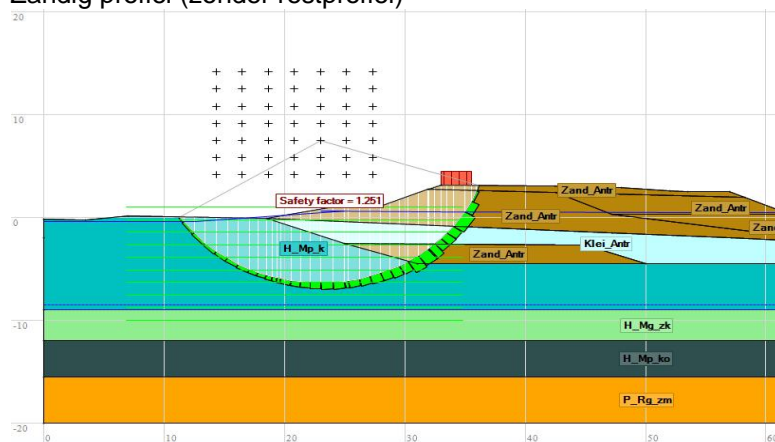
Kleiig profiel (met restprofiel)



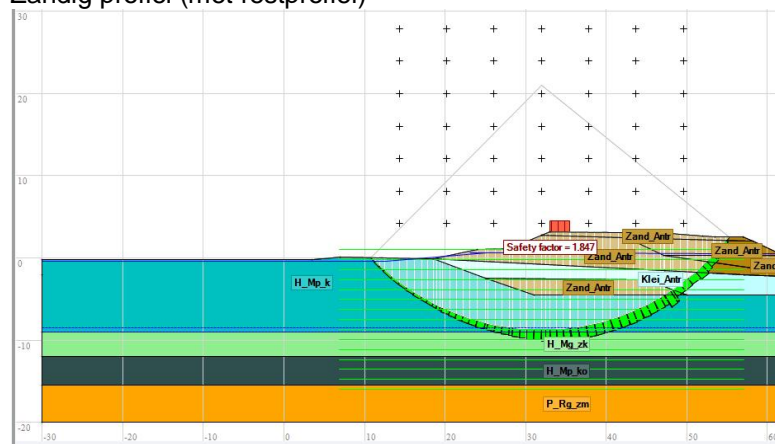
F.1.4

STBU-Zand

Zandig profiel (zonder restprofiel)



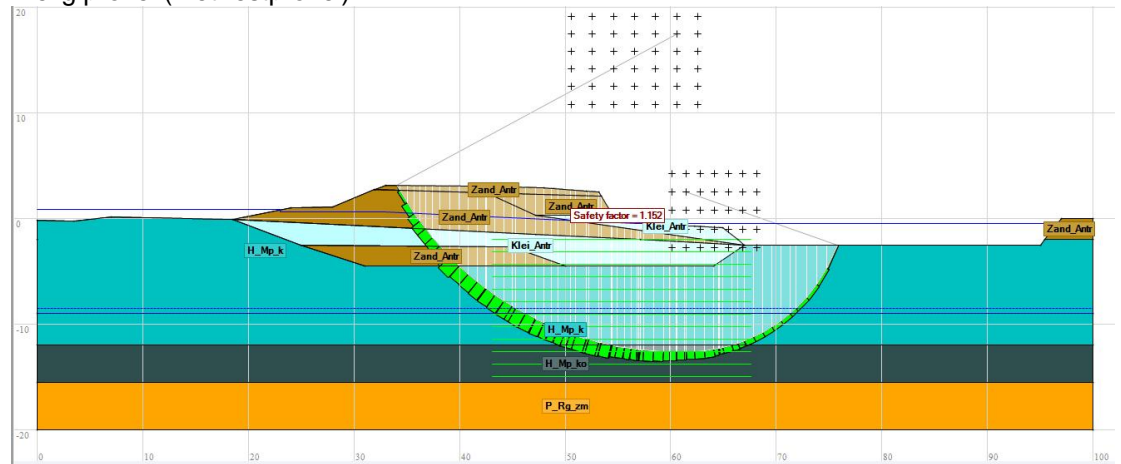
Zandig profiel (met restprofiel)



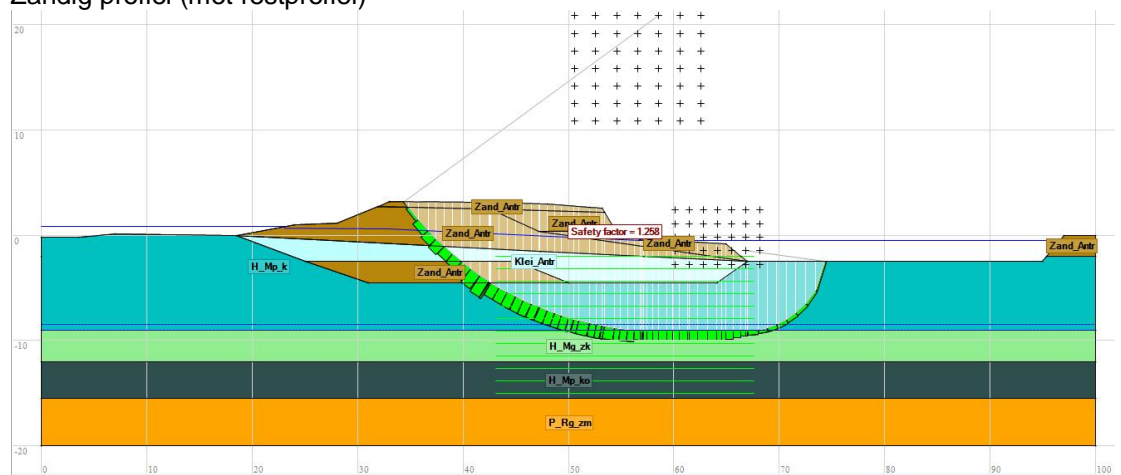
F.2 Gapend lek

F.2.1 STBI

Kleiig profiel (met restprofiel)

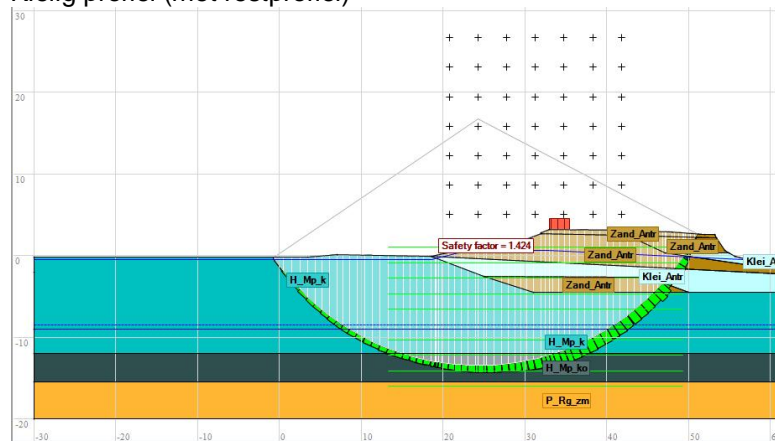


Zandig profiel (met restprofiel)

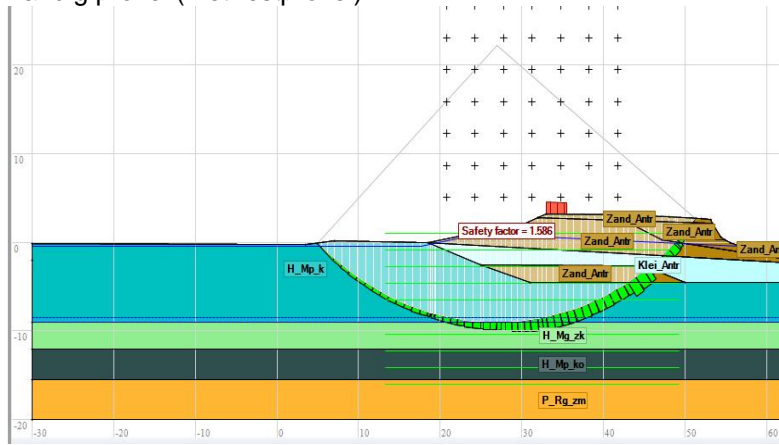


F.2.2 STBU

Kleiig profiel (met restprofiel)



Zandig profiel (met restprofiel)

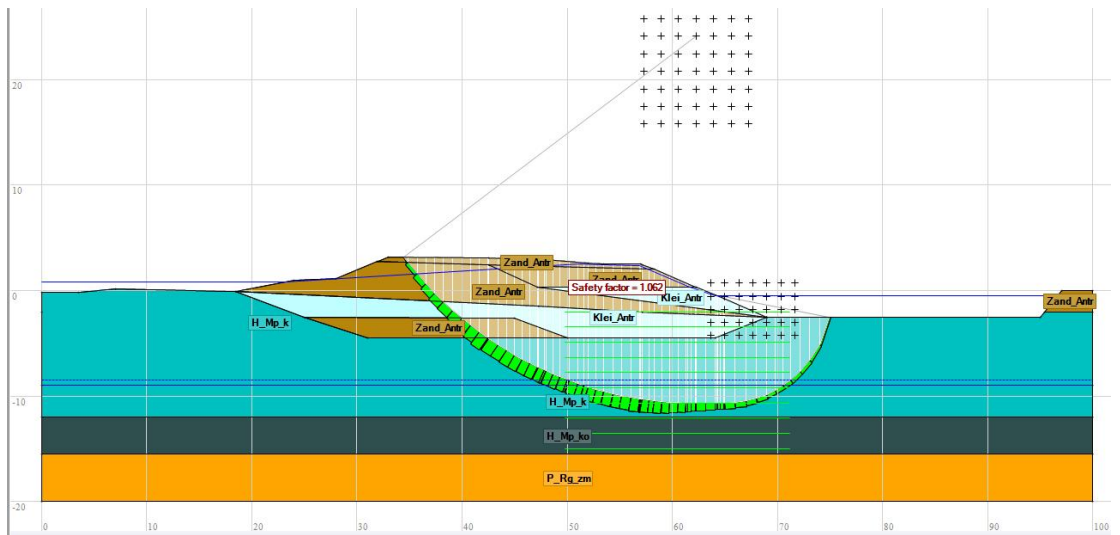


F.3 Sluipend lek

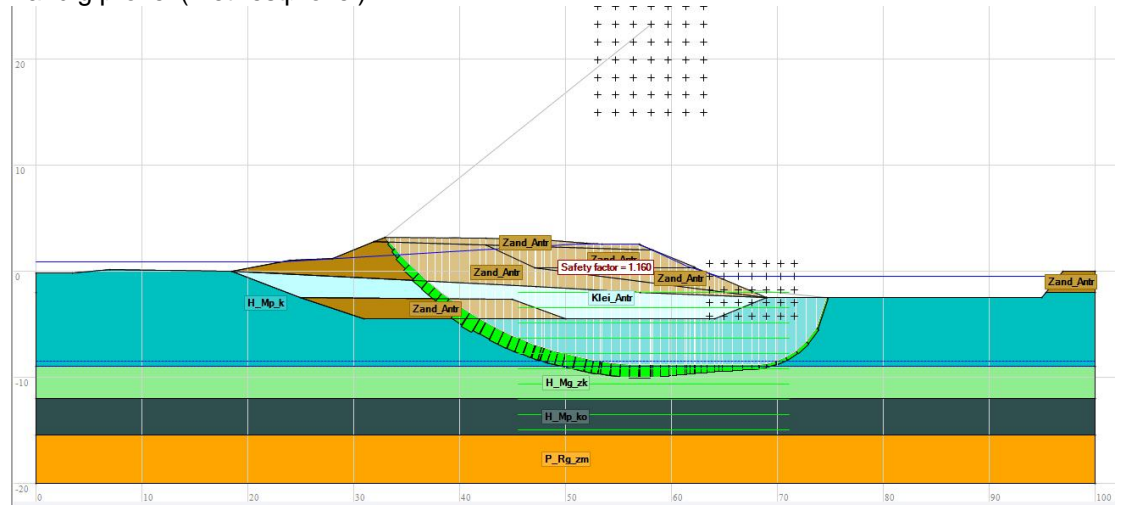
Met freatische lijn als berekend in Bijlage E.

F.3.1 STBI

Kleilig profiel (met restprofiel)



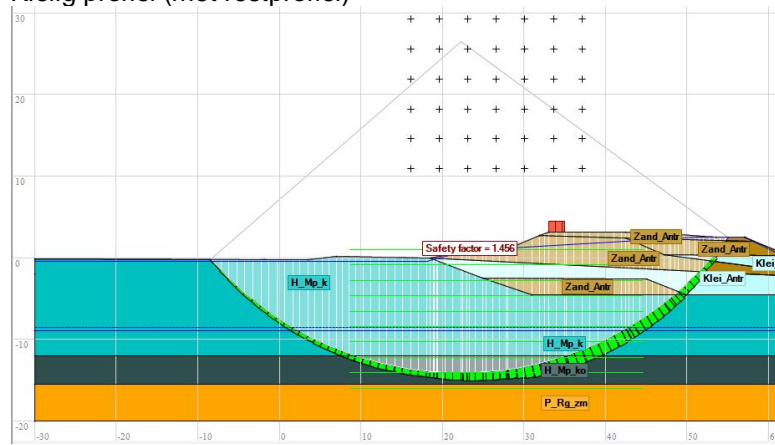
Zandig profiel (met restprofiel)



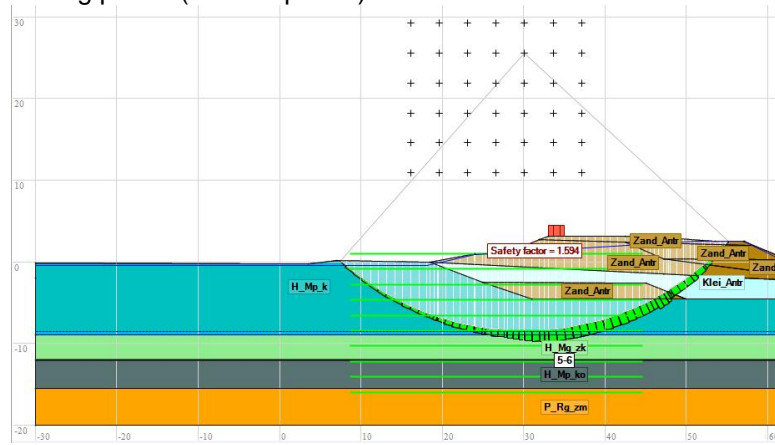
F.3.2

STBU

Kleilig profiel (met restprofiel)



Zandig profiel (met restprofiel)



G Grondvervormingen waterkering: analyse door Deltares

Memo 11205719-002-GEO-0004 (volgende pagina) uit *30 Jun 2020*

Memo

Aan

Marco Lammers
R+K consulting engineers

Datum

30 jun 2020

Ons kenmerk

11205719-002-GEO-0004

Aantal pagina's

1 van 12

Contactpersoon

Ana Teixeira

Doorkiesnummer

+31(0)88 335 7214

E-mail

Ana.Teixeira@deltares.nl

Onderwerp

Verwachte verplaatsingen van de grondlagen rondom de waterleiding in de binnentee van de Nieuwendam

Deze memo/bijlage beschrijft de eindige-elementen-analyses die zijn uitgevoerd met betrekking tot de berekening van de verplaatsingen van de grond rondom de waterleiding in de binnentee van de Nieuwendam. Ook zijn de grondverplaatsingen tijdens maatgevend hoogwater uitgerekend. Deze verplaatsingen vormen een belasting op de waterleiding. De analyses zijn uitgevoerd met PLAXIS 2D, versie 2019.

1 Uitgangspunten

De uitgangspunten van de uitgevoerde berekeningen zijn afgeleid uit de volgende informatie:

[1] Schematisatie:

- a. 1D: Alliantie Markermeerdijken (2018). Consequentieanalyse WBI Katwoude. Uitgangspuntennotitie & Veiligheids-rapportage.
- b. 2D: Anteagroup (2018). Geotechnisch onderzoek Primaire kering Monnickendammergat. N247 km 29.20-31.65 en km 36.80-43.35. N235/N247 Doorstromingsmaatregelen en Groot Onderhoud. definitief revisie 1.0D d.d.12-8-2018.

[2] CPT's:

- a. 2020: Geotechnisch onderzoek Nieuwbouw gemaal aan de N247 te Monnickendam (Wiertsema & Partners B.V. mrt 2020)
- b. 2020: Sonderingen weggedeelte N247 2020-01-15.pdf
- c. 2017: Grondonderzoek Fugro 2017.pdf
- d. 2016: DinoLoket / Inpijn – Blokpoel

[3] Modelparameters: Werkwijze ontwerp damwanden (Versterking Markermeerdijken). Documentnummer AMMD-008756,.def. apr 2020.**[4] Aanleg waterkering:** De opbouw van de waterkering is afgeleid uit de gegevens:

- a. Info oude waterkering in 1916
- b. Versterking van de dijk in 1950
- c. Onderhoud in 1970
- d. Aanleg van de water leiding in 1979

De waterleiding heeft een diameter van 346 mm (uitwendig). De inwendige diameter is 300 mm. De leiding is gelegen in de binnenkant/talud van de Nieuwendam (~ 1.5 m gronddekking). De waterleiding is in 1979 door PWN aangelegd. De ligging van de leiding is afgeleid uit een KLIC melding. De diepte ligging is afgeleid uit twee proefsleuven in het midden van de waterkering.

2 Plaxis berekeningen

2.1 Schematisatie

De sonderingen zijn geïventariseerd [2] en gecategoriseerd. Er zijn twee categorieën te beschouwen met betrekking tot de ondergrond. In de eerste categorie is alleen klei en organische klei aanwezig. De organische klei is op verschillende locaties op verschillende diepten aanwezig en is soms afwezig. In de andere ondergrond categorie komen op grotere diepte zandlagen voor.




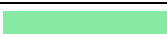


Met betrekking tot de dijk kunnen eveneens twee categorieën worden onderscheiden. Alhoewel duidelijk is dat ter plaatse van de oude dijk aan de buitendijkse zijde meer kleilagen voorkomen dan aan de binnendijkse zijde zijn twee categorieën te onderscheiden. In de eerste categorie bestaat de waterkering ook aan de binnendijkse zijde ook vooral uit kleilagen, terwijl in de tweede categorie meer zandlagen aanwezig zijn.

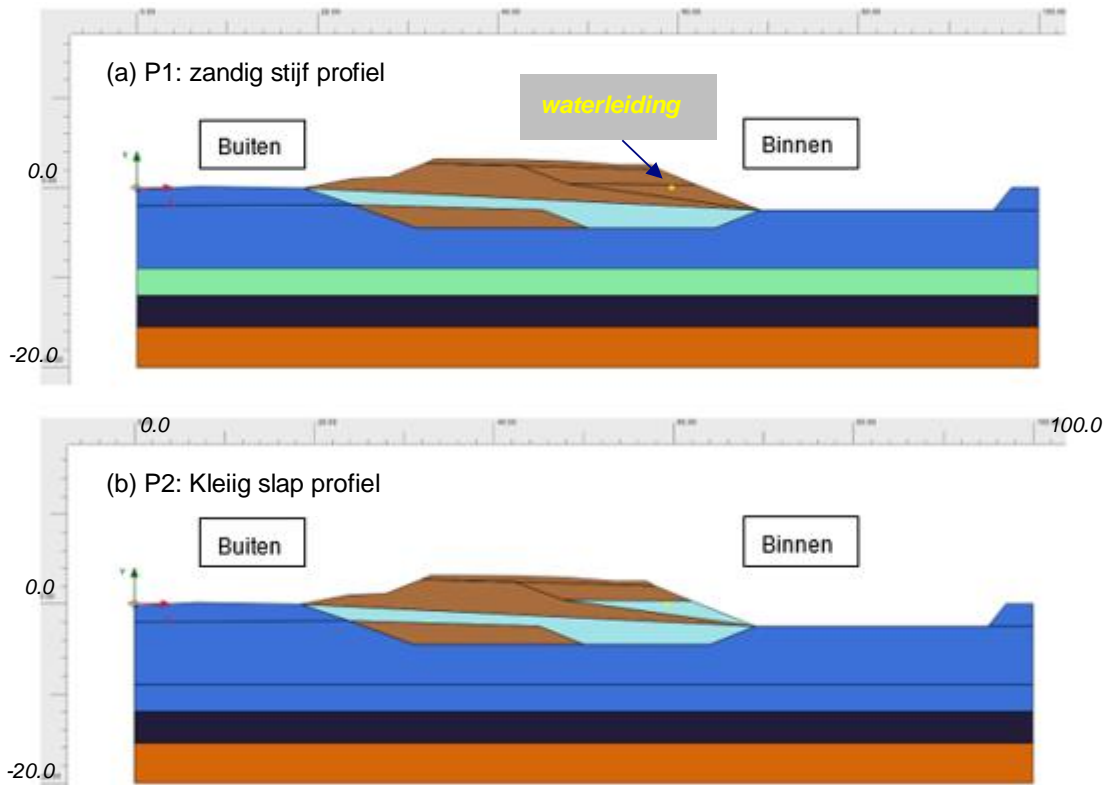
Op basis van de onderscheiden categorieën kunnen twee ondergrond worden afgeleid. Een stijf grondprofiel en een slap grondprofiel:

- P1: zandig stijf profiel
- P2: kleiig slap profiel

In figuur 1 a en b zijn de profielen te zien. Zie ook Tabel 1 voor de grondlagen.

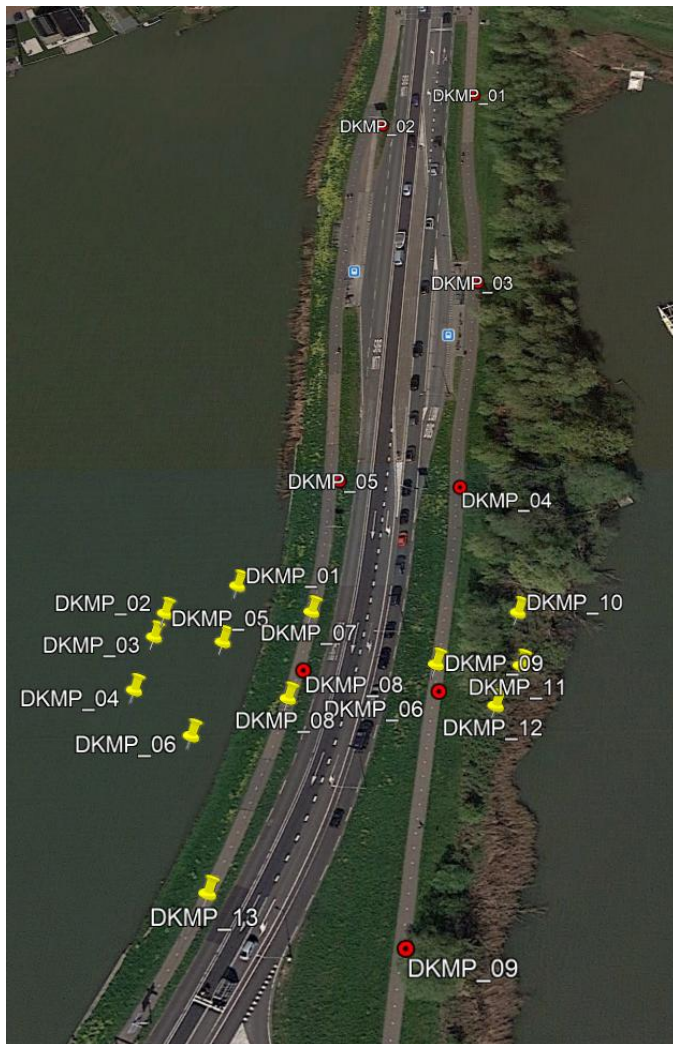
Tabel 1. Ondergrond types bij Nieuwendam.

SOS id	Grondtype	γ_{nat} [kN/m ³]	γ_{verz} [kN/m ³]	Kleur code
Klei_Antr	Klei antropogeen	14.1	14.1	
Zand_Antr	Zand antropogeen	18	20	
H_Mp_k	Klei Duinkerken	13.4	13.4	
H_Mg_zk	Zand Calais	18	20	
H_Mp_ko	Klei Calais	14.8	14.8	
P_Rg_zm	Zand Pleistocene	18	20	



Figuur 1. Schematisering van de beschouwde doorsnede bij Nieuwendam met waterleiding.

In Profiel P1 bestaat het lichaam van het nieuw aangelegde dijkdeel voor een groter deel uit zand, terwijl in profiel P2 een klei antropogene laag aanwezig is. Daarnaast heeft de ondergrond in Profiel P1 een zandlaag bij -9 m NAP m tot -12 m NAP, terwijl op dezelfde diepte een kleilaag aanwezig is in profiel P2. Wat betreft vervormingen wordt profiel P1 als stijver beschouwd dan profiel P2.



Figuur 2. Overview CPT's location Nieuwendam [2]

2.2 Constitatieve modellen en modelparameters

Voor de Plaxis-berekening wordt het *Soft Soil Creep* (SSC) model toegepast voor de kleilagen en het *Hardening Soil* (HS) model voor de zandlagen lagen (zie Tabel 2). Deze parameters zijn overgenomen uit de rapportage van een nabij gelegen waterkeringsdeel [3]. Deze parameters kunnen gebruikt worden voor de berekening van de grondvervormingen bij de Nieuwendam, omdat het vergelijkbare grondlagen betreft. De overige parameters zijn overgenomen uit de consequentie analyse [1], bijvoorbeeld de volumieke gewicht en POP-waarden. Voor numerieke doeleinden werd de cohesiewaarde voor de klei en zandlagen in de Plaxis-berekeningen ingesteld op 1 kPa, terwijl een dilatantie van $\psi = 0$ wordt beschouwd.

Tabel 2. Gebruikte modelparameters (karakteristieke lage waarden), bij Nieuwendam met waterleiding.

(a) SSC-model

Grondlaag	λ^* [-]	κ^* [-]	μ^* [-]	v_{ur} [-]	POP [kPa]	ϕ' [grad]	c' [kPa]
Klei antropogeen	0.1485	0.0443	0.0072	0.20	20	29.0	1
Klei Duinkerken	0.1648	0.0508	0.0085	0.18	12	34	1
Klei Calais	0.1290	0.0391	0.0059	0.20	11	29	1

(a) HS-model

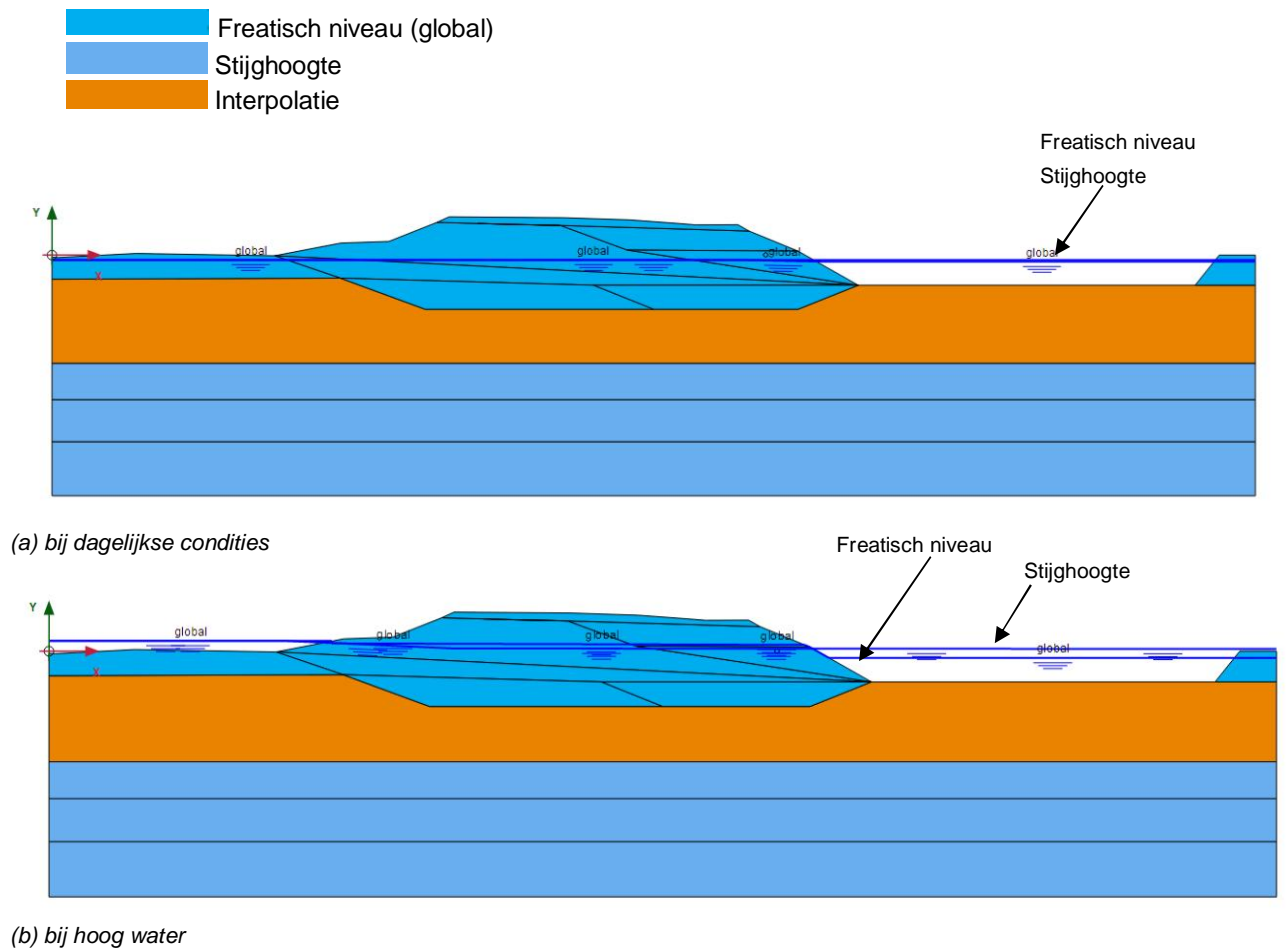
Grondlaag	E_{50} [kPa]	E_{oed} [kPa]	E_{ur} [kPa]	m [-]	ϕ' [grad]	c' [kPa]
Zand antropogeen	20,000	20,000	60,000	0.5	30	1
Zand Calais	20,000	20,000	60,000	0.5	30	1
Zand Pleistoceen	20,000	20,000	60,000	0.5	30	1

2.3 Waterspanning

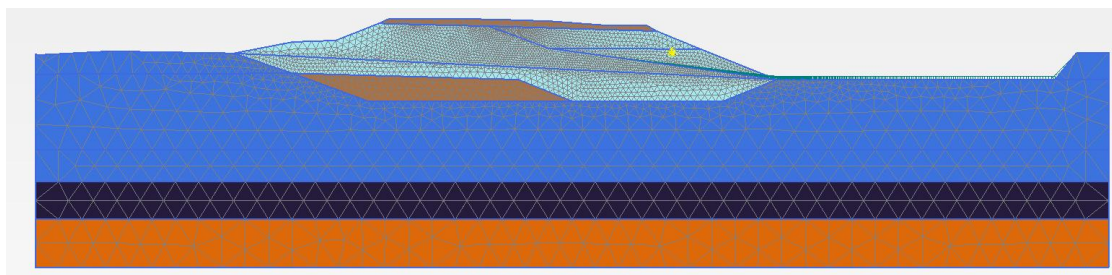
De hydraulische randvoorwaarden tijdens dagelijkse omstandigheden en tijdens hoogwater (NAP+0.85m) zijn uitgewerkt volgens de uitgangspunten [1]. De schematisatie hiervan is in Figuur 3 te zien.

2.4 Model instellingen

Het toegepaste eindige-elementennet, met in totaal 7460 elementen, is in Figuur 4 weergegeven. Om de grondverplaatsingen ter plaatse van de leiding eenvoudig te kunnen opvragen is ter plaatse van de leiding een geogrid gemodelleerd, met een verwaarloosbare axiale stijfheid ($EA = 1 \times 10^{-3}$ kN/m/m').



Figuur 3. Freatisch niveau en stijghoogte in zandlaag in Plaxis, Nieuwendam met waterleiding.



Figuur 4. Eindige-elementennet Plaxis voor Nieuwendam met waterleiding (binnentalud).

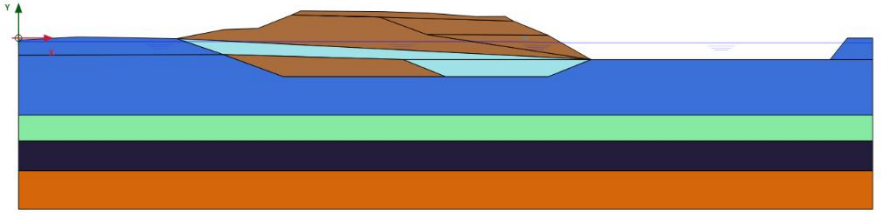
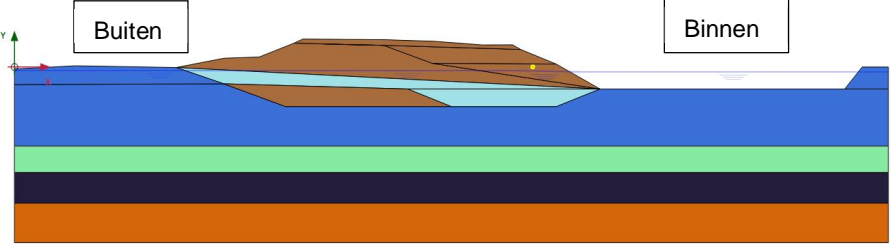
2.5 Rekenstappen

Voor de vervormingsberekening zijn de hieronder rekenstappen gevolgd, en zoals in Tabel 3 geïllustreerd:

- Initiaal fase en evenwicht
- Verkeerbelasting op kruin en consolidatie
- Ophoging 1950
- Ophoging 1970
- Consolidatie tussen 1979 t/m 2020
- Te analyseren scenario's:
 - o Consolidatie over 50 jaar
 - o Consolidatie over 100 jaar
 - o Maatgevend hoogwater (beginfase 2020).

Tabel 3. Rekenstappen voor Plaxis berekening bij Nieuwendam met waterleiding.

Fase	Rekenstap	Doorsnede
Initiaal Fase	Waterkering voor 1950 (jaar 1940 is geselecteerd)	
Fase 1	Nullstap (1000 dagen) om de spanningen in evenwicht te brengen.	
Fase 2	Kruin met verkeerbelasting (waterkering 1940), van 13.3 kPa	
Fase 3	Verkeerbelasting van 13.3 kPa onbelasten.	
Fase 4	Consolidatie tussen 1940 t/m 1950	
Fase 5	Ophoging 1950	
Fase 6	Consolidatie tussen 1950 t/m 1970	

Fase	Rekenstap	Doorsnede
Fase 7	Ophoging 1970	
Fase 8	Consolidatie tussen 1970 t/m 1979	
Fase 9	1979: Leiding is geactiveerd	
Fase 10	Consolidatie tussen 1979 t/m 2020	
Scenario's		
Fase 11	Consolidatie over 50 jaar (2020-2070)	
Fase 12	Consolidatie over 100 jaar (2020-2120) ¹	
Fase 13	Maatgevend hoogwater (beginfase 10).	

2.6 Plaxis berekeningen resultaten

De berekende horizontale en verticale verplaatsingen (per profiel) zijn in Tabel 4 weergegeven

Tabel 4. Horizontale en verticale verplaatsingen ter plaatse van de **waterleiding**, per scenario. De **Max** en **Min** waarden per richting zijn gemarkeerd.

Profiel	Scenario's	Verticale Verplaatsing [m]	Horizontale Verplaatsing [m]
P1 zandig	1979-2020 consolidatie	1.1E-01	1.4E-02
P1	2020+ 50 jaar consolidatie	5.8E-02	1.1E-02
P1	2020+ 100 jaar consolidatie	9.3E-02	1.9E-02
P1	Hoogwater	3.5E-03	-
P2 kleilig	1979-2020 consolidatie	1.7E-01	2.2E-02
P2	2020+ 50 jaar consolidatie	8.2E-02	1.7E-02
P2	2020+ 100 jaar consolidatie	1.3E-01	3.1E-02
P2	Hoogwater	-2.6E-03	-

Het kan worden geconcludeerd dat:

- (i) De grootste verplaatsingen al zijn opgetreden voor de aanleg van leiding. De dijkverbeteringen zijn lang geleden uitgevoerd en het onderhoud in 1970 betrof slechts een geringe toename van de belasting.
- (ii) De vervormingen die na aanleg van de leiding zijn opgetreden worden veroorzaakt door kruip van de kleilagen.
- (iii) De maximale verwachte grondverplaatsing ter plaatse van de leiding door het optreden van kruip zal (gerekend vanaf 1979) maximaal 30 cm bedragen in verticale richting en maximaal 5 cm in de horizontale richting.
- (iv) Tijdens hoogwater zijn er nagenoeg geen grondvervormingen ter plaatse van de leiding.

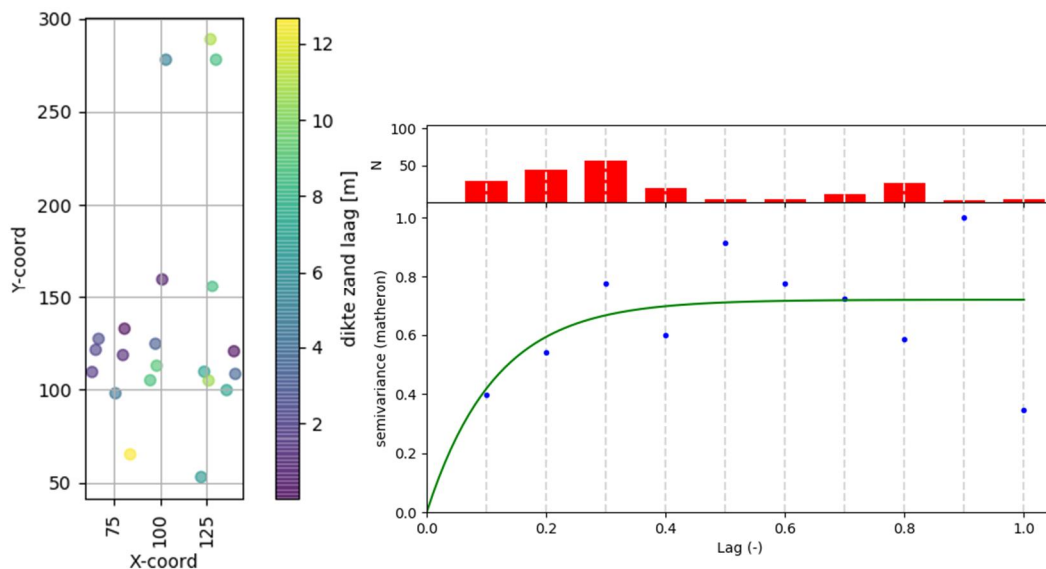
3 Verschilverplaatsingen

Voor een leiding zijn niet zozeer de absolute verplaatsingen van de grondlagen rondom de leiding relevant. De belasting op de leiding wordt vooral bepaald door de verschilverplaatsingen die over een bepaald afstand kunnen optreden.

In het voorgaande zijn de vervormingen berekend voor een stijf zandig grondprofiel en voor een slap kleilig grond profiel. Deze profielen kunnen allebei voorkomen ter plaatse van de waterkering. Er is niet voldoende grondonderzoek beschikbaar om exact te kunnen vast stellen waar welk grondprofiel voorkomt. De overgangsafstand tussen de beide profielen is onderzocht door middel van een semi-variogram.

Er is een semi-variogram voor de diktes van de zandlagen uit de sonderingen tot NAP-15m gemaakt. In de onderstaande figuur zijn de locaties van de sonderingen te zien, die met de dikte van de zandlagen zijn geassocieerd. Door een semi variogram is onderzocht wat de kleinste afstand is waarover de kleilig en zandige profielen in elkaar overgaan. Het variogram (20 bins, met exponentieel model) is hieronder weergegeven.

Uit het variogram blijkt dat er een ruimte verband aanwezig is bij een $lag < 0.2$ af te leiden is (lag 1.0 is 250 m dus lag 0.2 = 50 m). Aangezien het aantal sonderingen met korte tussenafstanden niet zo groot is en de afstand met een ruimtelijk verband theoretisch nog iets kleiner zou kunnen zijn wordt op conservatieve wijze ingeschat dat de overgangslengte tussen het slappe en het stijve grondprofiel 35 meter is.



Figuur 5. Overgangslengte grondprofielen.

4 Te hanteren verschilverplaatsingen

De hieronder tabel toont de totaal berekende grondverplaatsingen ter plaatse van de leiding (sinds 1979). De overgangslengte (λ) is op basis van een semi-variogram bepaald, die is gebaseerd op de dikte van de zandlagen. In de vorige paragraaf is beschreven dat de afstand minimaal 20 m bedraagt.

De verplaatsingen van de grond langs de leiding kunnen worden berekend met de volgende vergelijking:

$$verplaatsing(x) = z_{P1} + \frac{z_{P2} - z_{P1}}{2} \cdot \left[1 + \sin\left(\frac{\pi \cdot x_{loc}}{\lambda}\right) \right]$$

Waar:

$verplaatsing(x)$ is de verplaatsing van de leiding (horizontaal of verticaal) op locatie x [m]
 z_{P1} is de verplaatsing van profiel P1 ter plaatse van de leiding [m]
 z_{P2} is de verplaatsing van profiel P2 ter plaatse van de leiding [m]
 λ is de overgangslengte [m], $\lambda = 35$ m
 x_{loc} is $x - x_{grens}$, waar $x_{grens} = 35$ m

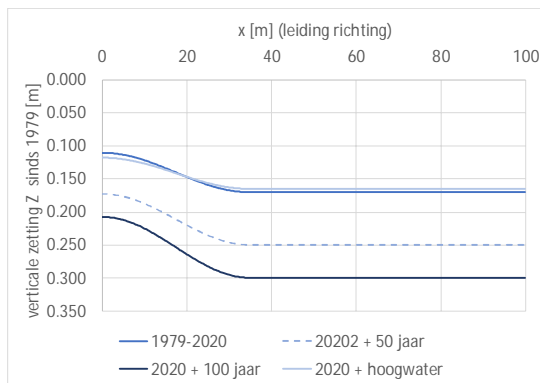
In de onderstaande tabel is aangegeven voor welke scenario's de verschil vervormingen zijn berekend.

Tabel 5. Horizontale en verticale verplaatsingen per scenario sinds 1979, ter plaatse van de **waterleiding**.

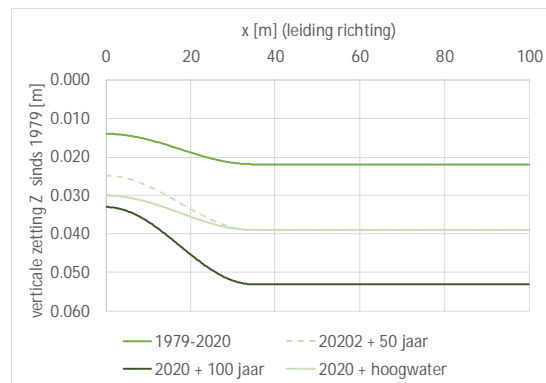
Profiel	Scenario's (sinds 1979)	Verticale Verplaatsing [m]	Horizontale Verplaatsing [m]
P1 zandig	1979-2020	0.11	0.014
P1	1979-2020 +50 jaar consolidatie	0.17	0.025
P1	1979-2020 +100 jaar consolidatie	0.21	0.033
P1	1979-2020 +Hoogwater	0.12	0.030
P2 kleilig	1979-2020	0.17	0.022
P2	1979-2020 +50 jaar consolidatie	0.25	0.039
P2	1979-2020 +100 jaar consolidatie	0.30	0.053
P2	1979-2020 +Hoogwater	0.16	0.039

Het scenario met 50 jaar consolidatie (moet eigenlijk kruip zijn, maar de naam bestond al in de berekeningsopzet) betreft dus de vervormingen vanaf 1979 tot aan 2020 plus de vervormingen van 2020 tot 2070.

De Figuur 6 hieronder laten de grondverplaatsingen die berekend zijn ter plaatste van de waterleiding bij Nieuwendam zien (sinds 1979). In de onderstaande Tabel 6 zijn de grondverplaatsingen per leiding richting coördinaat weergegeven. Tevens is de aanwezige grondsoort rondom de leiding weergegeven.



(a) verticale richting



(b) horizontale richting

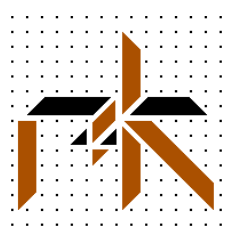
Figuur 6. Horizontale en verticale verplaatsingen (sinds 1979) t.p.v. waterleiding voor alle 4 scenario's zoals in Tabel 5 met een overgangslente $\lambda = 35$ meter.

Tabel 6. Horizontale en verticale verplaatsingen Z (sinds 1979) t.p.v. waterleiding voor alle 4 scenario's zoals in Tabel 5 met een overgangslente $\lambda = 35$ meter.

X [m]	0	10	15	20	25	35	45	55~
verticaal								
Z[m] 1979-2020	0.11	0.12	0.13	0.15	0.16	0.17	0.17	0.17
1979-2020 +50 jaar consolidatie	0.17	0.19	0.20	0.22	0.23	0.25	0.25	0.25
1979-2020 +100 jaar consolidatie	0.21	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.30	0.30
horizontaal								
Z[m] 1979-2020	0.014	0.016	0.017	0.019	0.020	0.022	0.022	0.022
1979-2020 +50 jaar consolidatie	0.025	0.028	0.030	0.034	0.036	0.039	0.039	0.039
1979-2020 +100 jaar consolidatie	0.033	0.037	0.041	0.045	0.049	0.053	0.053	0.053
Grond rondom de leiding	zand	zand	zand	zand/klei	klei	klei	klei	klei

H Leidingsterkte: analyse door R+K

Rapport r+k 5-226-515 v2 (volgende pagina) uit 2 nov 2020



Berekening
van de vervormingen en de spanningen
in een AC (asbest cement) waterleiding
in de Nieuwendam
nabij Monnickendam

rapport 5-226-515 v2

In opdracht van:



Deltares te Delft

2	DEFINITIEVE UITGAVE (opmerkingen review verwerkt)	2 nov. 2020	Ir. M. Lammers	√		
1.1	DEFINITIEVE UITGAVE	24 sept. 2020	Ir. M. Lammers	√		
0	INITIELE UITGAVE	20 juli. 2020	Ir. M. Lammers	√	A.Tesfaye	√
REVISIES		DATUM	AUTEUR	QA CONTROLE		
Client ref.: Opdracht met kenmerk 11205719-002-GEO-0002 van Marien Harkes. d.d. 7 mei 2020		r+k project: 5-226-515				

INHOUD

pagina

1.	Inleiding	2
2.	Uitgangsgegevens sterkteberekeningen	3
2.1	Leidingconfiguratie	3
2.2	Materiaal- en doorsnedegegevens	3
2.3	Grondmechanische parameters	4
2.4	Externe randvoorwaarden	4
2.5	Belastingen	4
2.6	Uitgangspunten voor spanningsberekeningen	5
3.	Uitgevoerde berekeningen	6
4.	Resultaten, samenvatting en conclusies	7
4.1	Resultaten van de berekeningen	7
4.2	Samenvatting en conclusies	8
	Referenties	9
	Figuren 1 t/m 5 (plotuitvoer Ple4Win)	10
Bijlagen:		
A.	Geotechnische gegevens	14
B.	Korte beschrijving Ple4Win	16
C.	Computer in- en uitvoer Ple4Win	21
1.	Berekening 2020-t=21,975-ACdam-BC3	22
2.	Berekening 2020-t=21,975-ACdam-BC4	30
3.	Berekening 2020-t=20,95-ACdam-BC4	33
4.	Berekening 2070-t=20,72-ACdam-BC4	38

Noot: In bijlage C1 is alle invoer en een relevant deel van de uitvoer opgenomen. In bijlagen C2 t/m C4 zijn alleen tabellen opgenomen die verschillen t.o.v. bijlage C1.

1. INLEIDING

Ten noorden van Monnickendam ligt een AC (asbestcement) waterleiding evenwijdig aan de N247 bij de Nieuwendam. Door werkzaamheden aan de Nieuwendam zullen zettingen optreden en nu moet worden bekeken of de AC waterleiding bestand is tegen deze grondvervormingen. Tevens zal de wanddikte van de leiding in de loop van de tijd afnemen. Door middel van uitgebreide sterkteberekeningen zal worden nagegaan of de leiding blijft voldoen aan de NEN 3650 serie [1].

De AC buis heeft een diameter van 346 millimeter en een oorspronkelijke wanddikte van 23 millimeter, de buisdelen hebben een lengte van 5 meter. Dit type buis is veelal door middel van een mof-spie verbinding met elkaar verbonden. De werkdruk bedraagt 2,8 bar en het temperatuurtraject gaat van 10°C tot 25°C. Omdat in de NEN 3650 serie het materiaal AC niet is opgenomen, is gebruik gemaakt van de Provinciale Pijpleiding Code, revisie 1992 [2] en van gegevens van Eternit, de fabrikant van de leidingen. Voor de toelaatbare spanning is 10 N/mm² aangehouden. De spanning in zowel axiale als tangentiële richting mag deze waarde niet overschrijden. Te toelaatbare afschuifspanning mag niet meer dan 5 N/mm² bedragen. Er zullen uitgebreide berekeningen worden gemaakt om de leiding te toetsen.

Deltares te Delft heeft r+k raadgevend ingenieurs- en konstruktieadviesbureau b.v. te Rijswijk gevraagd de sterkteberekeningen voor het betreffende leidingtraject te maken. De sterkteberekeningen zijn uitgevoerd op basis van de norm NEN 3650 en voor het AC materiaal van de Provinciale Pijpleiding Code, revisie 1992 voor twee belastingcombinaties in combinatie met de huidige situatie en de situatie over 50 jaar en met verschillende wanddiktes. Het doel van de berekeningen is om te controleren of de optredende verplaatsingen, spanningen en vervormingen in de buisleiding voldoen aan de eisen van de normen. Benodigde uitgangsgegevens worden in het tweede hoofdstuk besproken.

Aan r+k raadgevend ingenieurs- en konstruktieadviesbureau zijn gegevens verstrekt over de grond, over de te verwachten zettingen en over de te verwachten wanddikte afname. Deze gegevens komen uit een memo van Deltares [3]. De grondprofielen P1 en P2 zijn in bijlage A opgenomen.

De sterkteberekeningen, zoals beschreven in hoofdstuk 3, zijn door r+k uitgevoerd met *Ple4Win* [4], 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 B opgenomen. De computer in- en uitvoer staat in bijlage C.

De berekeningsresultaten zijn (numeriek) samengevat in paragraaf 1 van hoofdstuk 4 en grafisch weergegeven in de figuren aan het eind van het rapport. De berekende spanningen en vervormingen van de leiding in het genoemde traject zijn hierbij getoetst aan de criteria van de NEN 3650 en de Pijpleiding Code. In paragraaf 2 van hoofdstuk 4 wordt een samenvatting gegeven en worden conclusies getrokken ten aanzien van de sterkte en stabiliteit van het onderhavige leidingtraject.

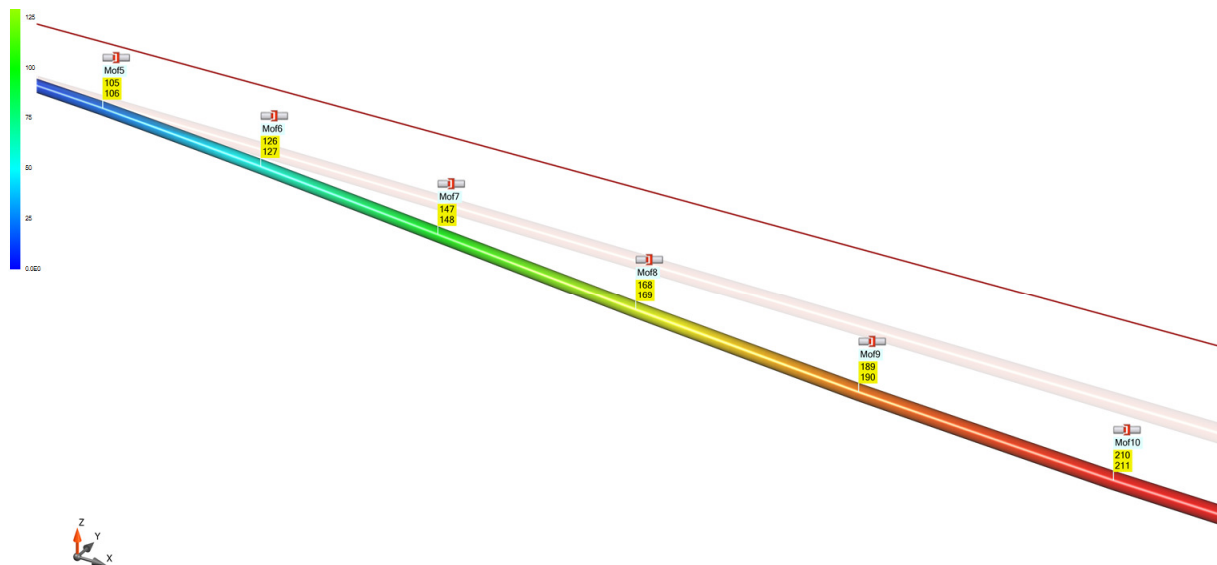
2. UITGANGSGEGEVENS STERKTEBEREKENINGEN

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

Van de betreffende leidingsectie zijn geen goede tekeningen ter beschikking gesteld. Wel is e.e.a. met de leidingeigenaar afgestemd en de volgende uitgangspunten zijn gekozen: A] in dit deel van het leidingtracé zijn geen bochten opgenomen. B] de dekking op de leiding ligt tussen de 1,2 en 1,5 meter. Omdat een dekking van 1,5 meter ongunstiger is, zal deze in de berekeningen worden toegepast. C] Er is geen detailtekening van de koppelingen tussen de buisdelen. Er zal daarom in eerste instantie worden uitgegaan van een beperkte rotatiemogelijkheid, 1,5°. D] voor de temperatuurbelasting wordt uitgegaan van een delta T van 15°C.

Het verloop van de leiding, zoals ingevoerd in het PLE programma via tabellen ORIGIN en POLYDIF, is in de figuren 1a en 1b en hieronder 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 eenmaal de leidingdiameter, waardoor de berekeningsonnauwkeurigheid in de orde van 5% of lager is. Dit volgt uit een vergelijk met het analytische model van een elastisch ondersteunde ligger met de onderhavige buis- en grondkarakteristieken.



Hierboven een deel van het leidingmodel. Zichtbaar is een aantal mof-spie verbindingen (Mof5 t/m Mof10) en de zetting (vergroot met een factor 10) t.o.v. de oorspronkelijke positie, die in lichtgrijs is weergegeven. De rode lijn is het grondprofiel. Bij het begin en het einde van het model zijn vrije uiteinden, deze simuleren goed het effect van de aansluitende leidingdelen, die met mof-spie verbindingen zijn uitgevoerd.

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 mediumbuis	D_e	346	mm
Oorspronkelijke wanddikte mediumbuis*	t_n	23	mm
Materiaal mediumbuis		Asbestcement	
Zuivere treksterkte materiaal	R_e	25	N/mm ²
Toelaatbare afschuifkracht	(θ)	5	N/mm ²
Verhouding zuivere trek-/ buigtreksterkte (omtrek)	α	0,5	-
Elasticiteitsmodulus materiaal	E	25.000	N/mm ²
Dwarscontractiecoëfficiënt materiaal	ν	0,3	-
Volumieke massa materiaal	ρ_s	2200	kg/m ³

* In de berekeningen zijn andere wanddiktes toegepast: voor het jaar 2020 is dit 21, 975 en 20,95 millimeter en voor het jaar 2070 is dit 20,72 millimeter.

2.3 Grondmechanische parameters

De grondmechanische parameters zijn, met behulp van de Soil Wizard, berekend volgens de NEN 3650 serie op basis van profielen uit een memo van Deltares [3], zie bijlage A.

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 / reële grondbelasting (SOILNB)

De onzekerheidsfactoren zijn toegepast conform NEN 3650. Om de meest ongunstige situatie te verkrijgen voor de spanningen zijn de parameters met hun respectievelijke factoren vermenigvuldigd, zie tabel UNCER, bijlage C. De grondmechanische parameters zijn ingevoerd in tabellen KLH t/m RH en SOILNB in bijlage C. De waarden langs de leidingas van de belangrijkste parameters staan in figuur 2.

2.4 Externe randvoorwaarden

Zowel het begin- als eindpunt heeft een oplegging met zeer stijve laterale, horizontale veren, een zeer slappe verticale veer en matig stijve rotatieveren. Deze opleggingen simuleren de aansluitende leidingdelen. Zie de tabellen ENDPTS en ELSPRS in bijlage C.

2.5 Belastingen

De volgende belastingen zijn in rekening gebracht:

Inwendige druk

De ontwerpdruk voor de buisleiding bedraagt 2,8 bar.

Temperatuurbelasting

Voor de ontwerp temperatuur is uitgegaan van een hoogste waarde van +25°C en een laagste waarde van 10°C. De referentietemperatuur bedraagt eveneens 10°C. Zie tabel TEMP in bijlage C.

Eigen gewicht leiding

Het eigen gewicht van de leiding bestaat uit het gewicht van de AC buis en het medium in de buis. Indien de leiding onder de waterspiegel ligt, wordt de opwaartse druk van het water in rekening gebracht. Zie tabel DEADW in bijlage C.

Grondzakkingen

De grondverplaatsingen bestaan uit zettingen die voornamelijk ontstaan door kruip van de grond in de loop van de tijd. De grootte van deze kruip is bepaald voor zowel de huidige situatie als voor twee toekomstige situaties; één over 50 jaar en één over 100 jaar na nu. Bij zettingen moet, volgens de NEN3650, een onzekerheidsfactor van 2 in rekening worden gebracht. De zettingen staan in de SETY, SETZ en SUBSIDE tabellen in bijlage C. Een uitvoeringszakking is niet in rekening gebracht omdat dit de invloed van de aangebrachte zettingsverschillen zal vertroebelen,

Grondbelasting

De grondbelasting is het gewicht van de grond bovenop de leiding. Omdat de leiding al vele jaren in de grond ligt, wordt de neutrale grondbelasting toegepast. Deze staat vermeld in de tabel SOILNB in bijlage C.

Verkeersbelasting

Omdat de leiding onder een schuin talud is aangebracht, wordt boven de leiding geen verkeersbelasting toegepast.

Rekenfactoren

De voornoemde karakteristieke belastingen moeten met rekenfactoren worden vermenigvuldigd volgens de NEN 3650.

<u>Belasting</u>	<u>rekenfactor</u>	
inwendige druk	1,15	(deze factor is 1,25 bij de bepaling van de hoop stress σ_p bij BC2)
eigen gewicht leiding	1,10	
grondzakkingen	1,10	
grondbelasting	1,00	
temperatuurbelasting	1,10	
verkeersbelasting	1,35	

De rekenfactoren staan in tabel LOCASE (specificatie belastingcombinatie); voor de bovenbelasting van de grond in tabel SOILNB en voor de verkeersbelasting in tabel TOPLOAD.

2.6 Uitgangspunten voor spanningsberekeningen

De spanningsberekeningen zijn gebaseerd op gegevens en criteria uit de NEN 3650 [1] en de Provinciale Pijpleiding Code, revisie 1992 [2]. De volgende punten zijn van belang als basis voor of als toetsingscriterium na de spanningsberekeningen.

Opleghoek

De opleghoek is 30° voor de AC buis. Zie hiervoor de tabel SUPANG in bijlage C.

Horizontale steundruk

Er is geen neutrale, horizontale steundruk in rekening gebracht.

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 neutrale 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- en spanningen plaatsvindt, meestal resulterend in een spanningsreductie. Herverdeling van spanningen is toegestaan volgens NEN 3650.

Toelaatbare spanningen in de AC buis

De toelaatbare spanningen worden bepaald aan de hand van de Provinciale Pijpleiding Code, revisie 1992 [2]

In zowel de omtreks- als langsrichting moet worden voldaan aan het volgende criterium:

$$\sigma_t \leq \sigma_{t\text{-toel}}$$

waarin:

σ_t = berekende spanning in omtreks- of langsrichting

$\sigma_{t\text{-toel}}$ = toelaatbare spanning: $2/5 * R_c$ (zuivere treksterkte) = $2/5 * 25 = 10 \text{ N/mm}^2$

Tevens mogen de afschuifspanningen niet te groot worden:

$$\tau \leq \tau_{\text{toel}}$$

waarin:

τ = berekende afschuifspanning

τ_{toel} = toelaatbare afschuifspanning: 5 N/mm^2

Omdat deze waarden in de laatste revisies van de PC ('90 en '92) worden genoemd, ga ik er vanuit dat de laatste stand van zaken m.b.t. de kennis over AC buizen is toegepast. Ik zie daarom geen reden om van deze waarden af te wijken.

Daarnaast dient rekening gehouden te worden met de verhouding tussen de zuivere treksterkte en de buigtreksterkte. Deze wordt uitgedrukt in een factor α . Deze factor α moet worden toegepast in omtreksrichting en bedraagt 0,5. In axiale richting is factor α gelijk aan 1. De factor kan worden toegekand in de SWEIGH tabel. Zie ook bijlage D.

Toelaatbare deflectie van de AC leiding

Over de toelaatbare deflectie voor een AC leiding is niets te vinden. Aangezien deze buizen erg stijf zijn, zal de deflectie een zeer lage waarde hebben (< 1%) en zullen de spanningen maatgevend zijn. Om deze reden zal er geen toets worden uitgevoerd m.b.t. de leidingdeflectie.

3. UITGEVOERDE BEREKENINGEN

Uitgaande van de basisgegevens, zoals vermeld in het vorige hoofdstuk, zijn een aantal runs met *Ple4Win* [4] gedraaid ten einde te toetsen of de berekende spanningen voldoen aan de criteria, gesteld in par. 2.6 van dit rapport.

De beschouwde belastingcombinaties zijn conform NEN3650:

1. Belastinggeval 3 (BC3): De leiding in drukloze toestand met eigen gewicht, zonder temperatuursbelasting, met zettingen, externe belastingen, grondbelasting en wanddikte afname;
2. Belastinggeval 4 (BC4): De leiding met interne druk, eigen gewicht, temperatuursbelasting, zettingen, externe belastingen, grondbelasting en wanddikte afname.

De runs zullen in het vervolg geïdentificeerd worden met de naam van de betreffende ontwerpdatabase, zoals in het programma gebruikt. Deze naam staat ook boven of onder elke tabellarisch of grafische uitvoer van het programma.

<u>Run</u>	<u>Belastingcombinatie</u>	<u>Berekende belangrijke grootheden</u>
2020-t=21,975-ACdam-BC3	Drukloos, zetting Eigen gewicht.	Toetsspanning σ_f en σ_x , Afschuifspanning τ ,
2020-t=21,975-ACdam-BC4	Ontwerpdruk 2,8 bar, Temperatuursbelasting, Zetting, eigen gewicht.	Toetsspanning σ_f en σ_x , Afschuifspanning τ ,
2020-t=20,95-ACdam-BC4	Ontwerpdruk 2,8 bar, Temperatuursbelasting, Zetting, eigen gewicht.	Toetsspanning σ_f en σ_x , Afschuifspanning τ ,
2070-t=20,72-ACdam-BC4	Ontwerpdruk 2,8 bar, Temperatuursbelasting, Zetting, eigen gewicht.	Toetsspanning σ_f en σ_x , Afschuifspanning τ ,

In de memo van Deltares (tabel 5) [3] is ook gekeken naar hoogwater. De verticale verschilverplaatsingen die dan optreden zijn kleiner dan de situatie zonder hoogwater; 6 centimeter zonder en 4 centimeter met hoogwater. De horizontale verschilverplaatsingen die optreden zijn iets groter dan de situatie zonder hoogwater; 8 millimeter zonder en 9 millimeter met hoogwater. Aangezien de verschilverplaatsingen grotendeels verantwoordelijk zijn voor de toename in belastingen op de buisleiding, zal hoogwater geen maatgevend belastinggeval zijn. Om deze reden is er geen leidingberekening gemaakt met hoogwater.

4. RESULTATEN, SAMENVATTING EN CONCLUSIES

De belangrijkste resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in de figuren 3 t/m 5. Bovenin elke figuur staat het verloop van het maaiveld, de grondwaterspiegel en de leidingas. Gedetailleerde uitvoer van de computerberekeningen is in bijlage C opgenomen.

4.1 Resultaten van de berekeningen

Verplaatsingen

Figuur 3 toont de zijwaartse (U-Y) en neerwaartse (U-Z) verplaatsingen van de leiding bij BC4. De numerieke waarden zijn te vinden in de DISPLAC tabellen in bijlage C. De zijwaartse leidingverplaatsing is maximaal 31 millimeter, de neerwaartse leidingverplaatsing is maximaal 177 millimeter.

Spanningen in de stalen mediumbuis

De berekende spanningen moeten voldoen aan de criteria, vermeld in hoofdstuk 2.6. De resultaten van de spanningsberekeningen voor twee verschillende belastingcombinaties wordt in figuur 4 en 5 getoond. De in deze figuur en in de tabellen CSTRMAX in bijlagen C weergegeven spanningen zijn de axiale- (SXHT-M), omtreks- (SFHT-M) en de afschuifspanningen (TAUIMAX-M en TAUOMAX-M). Het resultaat van het toetsen van de spanningen is in navolgende tabel gegeven.

Run	Plot-figuur	Spanningstoets	Berekende max. waarde	Toelaatbare waarde	Voldaan aan toets
2020-t=21,975-ACdam-BC3	5	SXHT-M	3,16	10	ja
	-	SFHT-M	3,01	10	ja
	5	TAUIMAX-M	2,67	5	ja
	-	TAUOMAX-M	2,12	5	ja
2020-t=21,975-ACdam-BC4		SXHT-M	5,32	10	ja
		SFHT-M	4,09	10	ja
		TAUIMAX-M	4,92	5	ja
		TAUOMAX-M	3,78	5	ja
2020-t=20,95-ACdam-BC4		SXHT-M	5,52	10	ja
		SFHT-M	4,44	10	ja
		TAUIMAX-M	5,19	5	nee
		TAUOMAX-M	3,97	5	ja
2070-t=20,72-ACdam-BC4	4	SXHT-M	5,99	10	ja
	-	SFHT-M	4,63	10	ja
	4	TAUIMAX-M	5,44	5	nee
	-	TAUOMAX-M	4,17	5	ja

De berekende maximale spanningen en afschuifspanningen voldoen niet in alle beschouwde belastingcombinaties aan de genoemde spanningscriteria van de Provinciale Pijpleiding Code.

Deflectie van de AC buis

Hoewel we geen toets uitvoeren, is het wel nuttig om te weten hoe groot de deflectie zal zijn. De maximaal optredende procentuele diameterwijziging bedraagt, zowel in 2020 als in 2070 0,08% van de diameter van de leiding.

Verplaatsingen en hoekverdraaiingen in de verbindingen van de AC buis

De AC buizen hebben een lengte van 5 meter en zijn aan elkaar gekoppeld door middel van mof-spie verbindingen. Van deze verbinding hebben we geen gegevens, maar de bewegingen in de verbindingen mogen niet te groot worden, anders gaat de verbinding lekken. Kijken we naar dit leidingmodel, dan zien we het volgende: De axiale en laterale verplaatsingen zijn nihil en de grootste rotatie bedraagt 0,15°. Zowel de axiale en laterale verplaatsing als de rotatie is erg klein, waardoor er geen problemen te verwachten zijn bij de buisverbindingen. De bovenstaande waarden zijn terug te vinden in de DISPJNT tabel in bijlage C.

4.2 Samenvatting en conclusies

Ten noorden van Monnickendam ligt een AC (asbestcement) waterleiding evenwijdig aan de N247 bij de Nieuwendam. Door werkzaamheden aan de Nieuwendam zullen zettingen optreden en nu moet worden bekeken of de AC waterleiding bestand is tegen deze grondvervormingen. Tevens neemt de wanddikte van de buis in de loop van de tijd af, waardoor de buisleiding een deel van zijn sterkte verliest. Door middel van uitgebreide sterkteberekeningen zal worden nagegaan of de leiding blijft voldoen aan de NEN 3650 serie.

Van de AC buizen is niet heel veel bekend, maar de buizen die in Nederland zijn toegepast zijn veelal van Eternit. Informatie van zowel deze fabrikant als uit de Provinciale Pijpleiding Code biedt voldoende handvatten om een berekening en toetsing van deze buizen uit te voeren.

Vanwege het in de loop van de tijd vervormen van het dijklichaam, zal de AC leiding te maken krijgen met door de grond opgedrongen vervormingen, zowel in verticale als horizontale zin. In een memo van Deltares is gekeken naar deze vervormingen. Terecht wordt in deze memo opgemerkt dat het niet om de absolute verplaatsingen gaat, maar om de verschilverplaatsingen. In dit geval ontstaan de verschillen door verschillen in de bodemopbouw: Bij profiel 1 zijn er meer en dikkere zandlagen en bij profiel 2 meer kleilagen. De zettingen zullen bij het tweede profiel groter worden dan bij het eerste profiel. Omdat de lengte waarover deze overgang plaatsvindt van groot belang is, is hiervoor ook een schatting gemaakt. In het leidingmodel zijn deze zettingen ingevoerd en is het verloop aangebracht.

Uit de berekeningen blijkt dat de AC buizen relatief gevoelig zijn voor buiging. Hierdoor ontstaan afschuifkrachten in de leiding. Hoe gelijkmatiger het zettingsverloop, hoe lager de afschuifkrachten zullen zijn. Behalve de krachten in de leiding, zijn ook de vervormingen in de buisverbindingen van belang, deze zullen beperkt moeten blijven om de kans op een lek uit te sluiten.

Op grond van de in dit rapport beschreven uitgangspunten en de daarop volgende berekeningsresultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

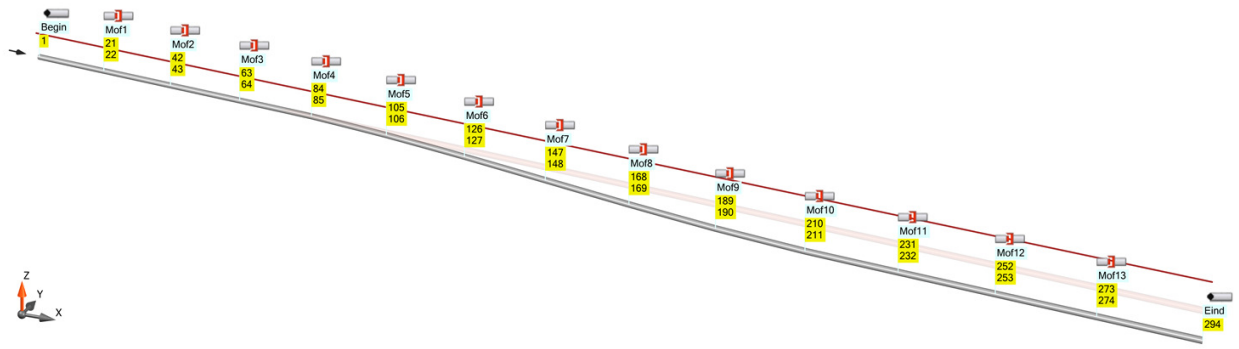
- 1. De spanningen in de AC leiding, veroorzaakt door de operationele en de omgevingsbelastingen, voldoen bij een beperkte wanddikte afname (1,025 mm) in 2020 aan de daaraan door de NEN 3650 serie en de Provinciale Pijpleiding Code gestelde eisen.*
- 2. De spanningen in de AC leiding, veroorzaakt door de operationele en de omgevingsbelastingen, voldoen bij een grotere wanddikte afname (2,05 mm) in 2020 niet meeraan de daaraan door de NEN 3650 serie en de Provinciale Pijpleiding Code gestelde eisen.*
- 3. De spanningen in de AC leiding, veroorzaakt door de operationele en de omgevingsbelastingen, voldoen bij een wanddikte afname van 2,28 mm in 2070 niet meeraan de daaraan door de NEN 3650 serie en de Provinciale Pijpleiding Code gestelde eisen.*
- 4. De omtrekspanningen, veroorzaakt door de ontwerpdruk, voldoen aan de NEN 3650.*
- 5. De verplaatsingen en hoekverdraaiingen in de verbindingen van de AC buis zijn zeer klein waardoor er geen problemen te verwachten zijn bij de buisverbindingen*
- 6. Omdat de optredende zettingen voor een belangrijk deel bepalen hoe zwaar de leiding belast wordt, is het aan te bevelen om metingen uit te voeren om na te gaan hoe de werkelijke zettingen zich verhouden tot de vooraf bepaalde zettingen.*
- 7. Omdat de wanddikte afname zorgt voor een minder sterke buis, is het aan te bevelen om metingen uit te voeren om na te gaan hoeveel deze afname in de loop van de tijd is geweest.*
- 8. Omdat bij hoogwater de verschilzettingen die optreden kleiner zijn dan de situatie zonder hoogwater, is hoogwater geen maatgevend geval.*

REFERENTIES

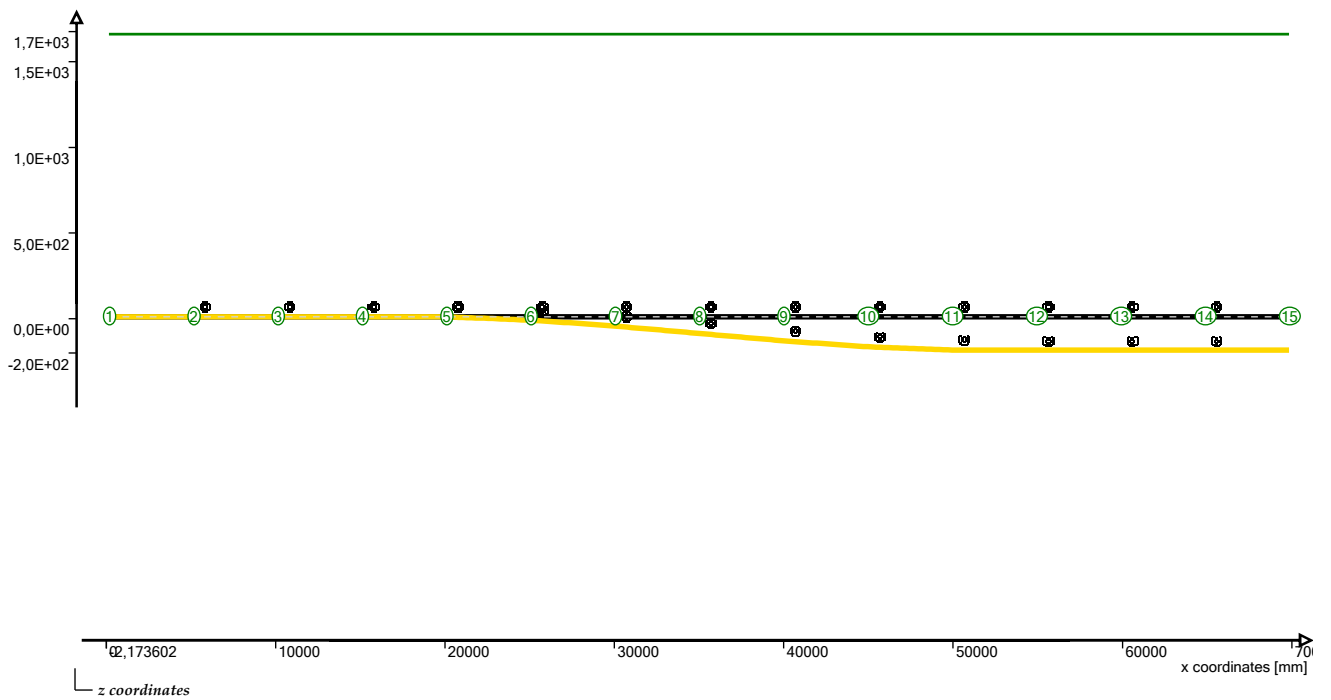
1. NEN 3650-1, Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 1: Algemene eisen, januari 2020.
2. Provinciale Pijpleiding Code, revisie 1992, artikel III.5.D.2 (pagina's 73 t/m 76).
3. Memo Deltares met kenmerk 11205719-002-GEO-0001 van Ana Teixeira, d.d. 30 juni 2020.
4. *Ple4Win*, versie 4.6.1, revision 20020 (5 february 2020), © Expert Design Systems.

FIGUREN 1 t/m 5**Plotuitvoer *Ple4Win***Verklaring van namen in plot figuren

<u>naam</u>	<u>beschrijving</u>
KLH	horizontale beddingconstante van de grond ter hoogte van de as van de leiding
KLS	verticale beddingconstante van de grond ter plaatse van onderkant leiding
KLT	verticale grondstijfheid 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
SXHT-M	totale spanning in langsrichting (maximum over leidingomtrek)
TAUIMAX-M	afschuifspanning binnenzijde buis (maximum over leidingomtrek)
U-Y	zijwaartse leidingverplaatsing
U-Z	neerwaartse leidingverplaatsing
Z-AXIS	hoogteligging pijpleidingas
Z-GROUND	maaiveldhoogte



Figuur 1a: 3D aanzicht van de leiding. Het startpunt (Begin) ligt links bovenaan, daarna volgen 14 buisdelen van vijf meter elk tot aan het eindpunt (Eind).

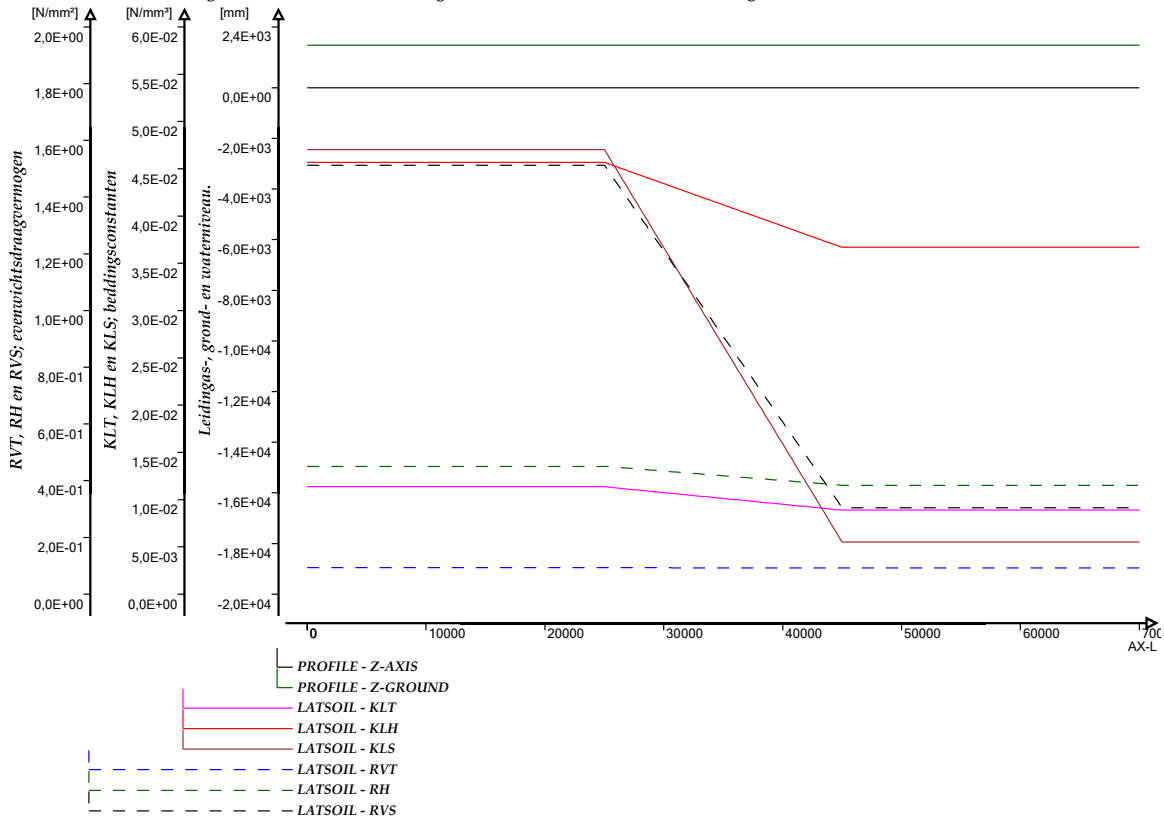


Figuur 1c: Zijaanzicht van de leiding. De leiding is in het zwart (oorspronkelijke positie) en geel (de positie van de leiding nadat de zettingen zijn opgetreden), het maaiveld is groen. De verschillen in de verticale richting zijn met een factor 10 vergroot om het een en ander duidelijker te maken. De zetting begint tussen punt 4 en 5 en is op het laagste punt tussen punt 11 en 12.

Selected multiple graphs

Ple4Win [41936038]: '2070-t=20,72-ACdam-BC4'

Figuur 2: Hor. en verticale beddingsconstanten KLT, KLH en KLS en uiterste grondreacties RVT, RH en RVS

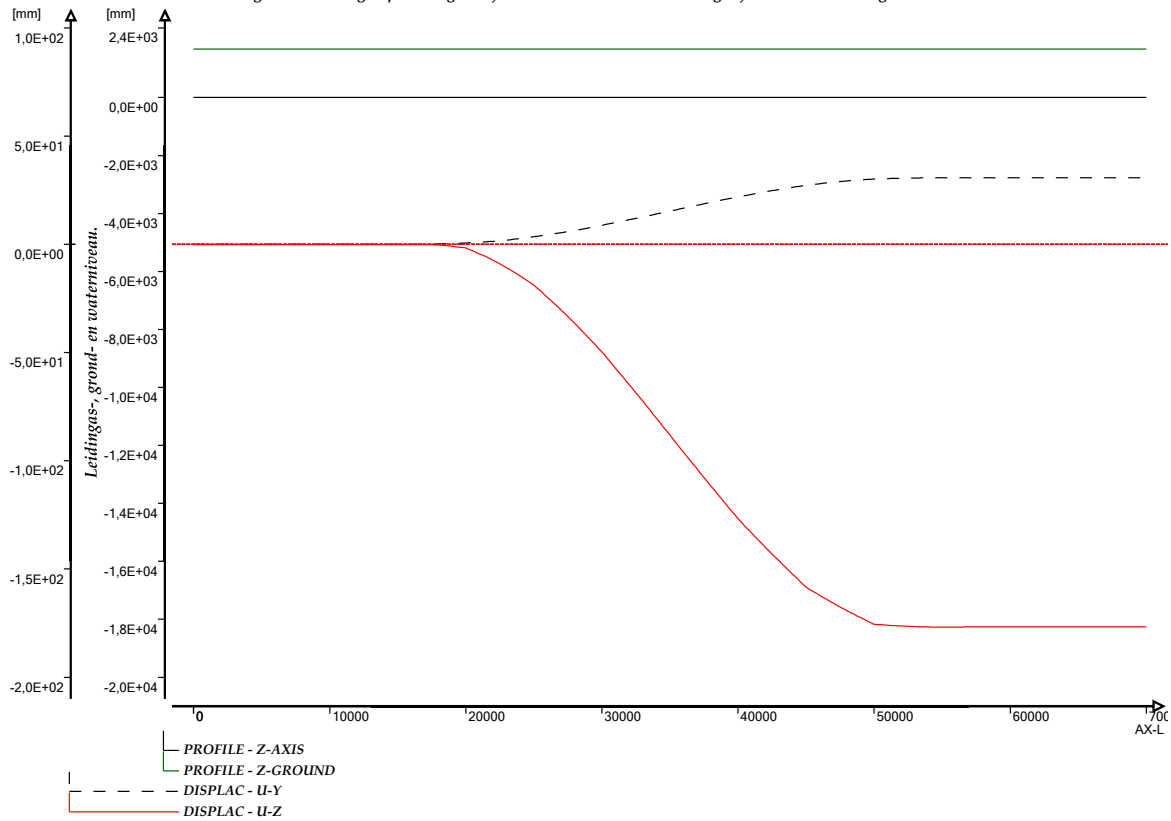


Figuur 2: Beddingsconstanten en uiterste grondreacties bij run 2070-t=20,72-ACdam-BC4.

Selected multiple graphs

Ple4Win [41936038]: '2070-t=20,72-ACdam-BC4'

Figuur 3: Leidingverplaatsing in zijwaartse en neerwaartse richting bij BC4 (met invendige druk)

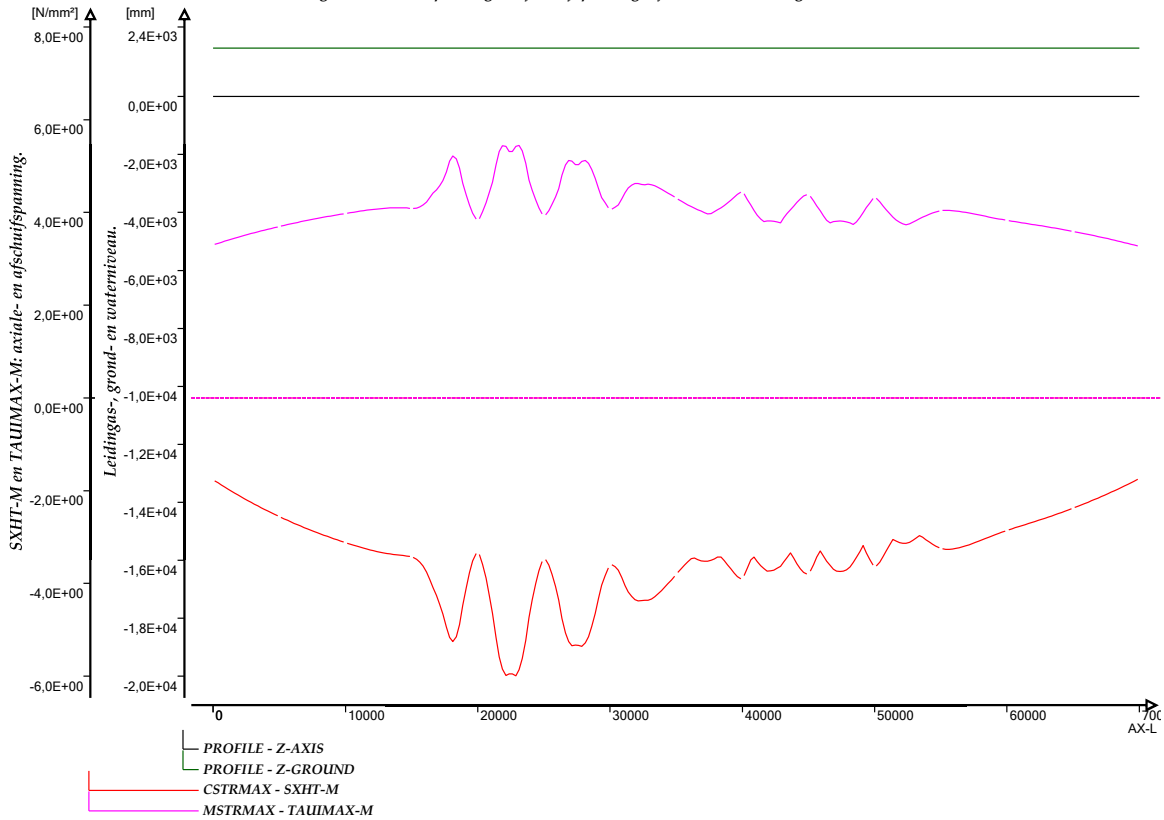


Figuur 3: Leidingverplaatsing in zijwaartse (---) en neerwaartse (—) richting bij run 2070-t=20,72-ACdam-BC4.

Selected multiple graphs

Ple4Win [41936038]: '2070-t=20,72-ACdam-BC4'

Figuur 4: Axiale spanning en afschuifspanning bij BC4 (met inwendige druk).

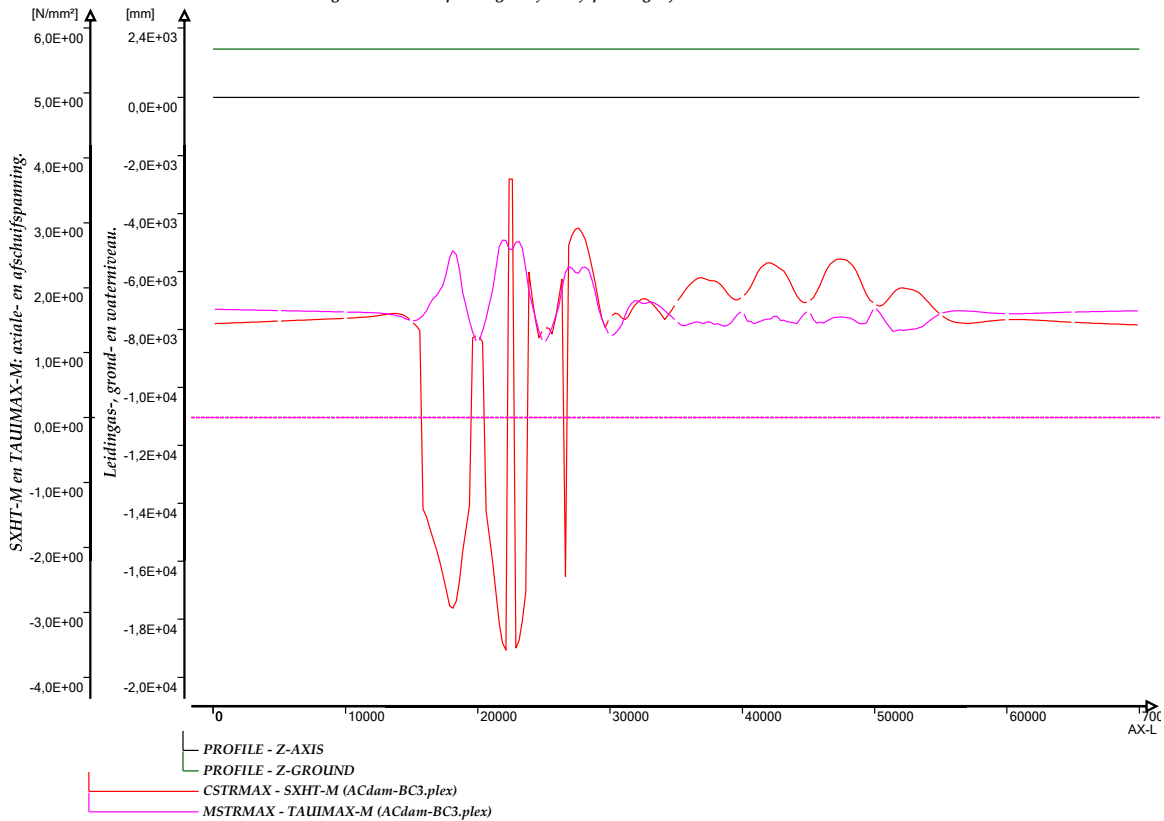


Figuur 4: Axiale spanning (—) en afschuifspanning (—) bij run 2070-t=20,72-ACdam-BC4.

Selected multiple graphs

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3'

Figuur 5: Axiale spanning en afschuifspanning bij BC3 (drukloze situatie)



Figuur 5: Axiale spanning (—) en afschuifspanning (—) bij run 2020-t=21,975-ACdam-BC3.

BIJLAGE A







Geotechnische gegevens

Op basis van de onderscheiden categorieën kunnen twee ondergrond worden afgeleid. Een stijf grondprofiel en een slap grondprofiel:

- P1: zandig stijf profiel
- P2: kleiig slap profiel

In figuur 1 a en b zijn de profielen te zien. Zie ook Tabel 1 voor de grondlagen.

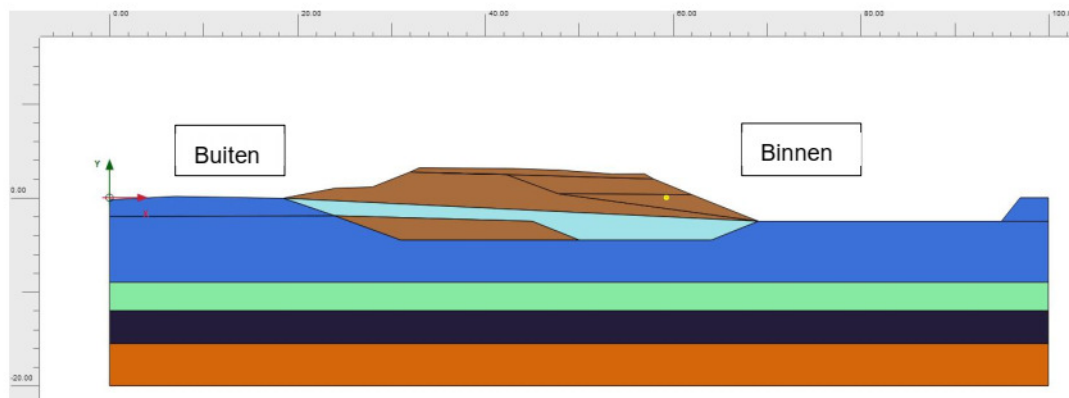
Tabel 1. Ondergrond types bij Nieuwendam.

SOS id	Grondtype	γ_{nat} [kN/m ³]	γ_{verz} [kN/m ³]	Kleur code
Klei_Antr	Klei antropogeen	14.1	14.1	
Zand_Antr	Zand antropogeen	18	20	
H_Mp_k	Klei Duinkerken	13.4	13.4	
H_Mg_zk	Zand Calais	18	20	
H_Mp_ko	Klei Calais	14.8	14.8	
P_Rg_zm	Zand Pleistocene	18	20	

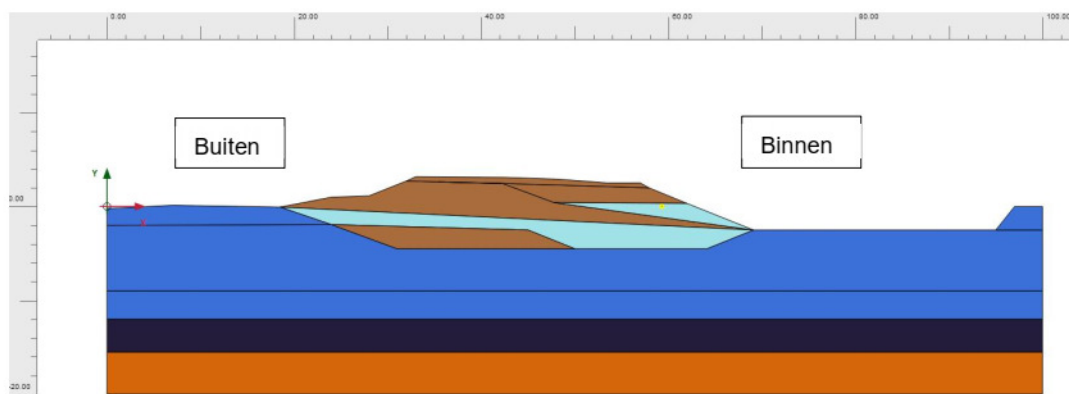
Datum
25 mei 2020

Ons kenmerk
11205719-002-GEO-0004

Pagina
3 van 12



(a) ondergrond profiel P1: zandig stijf



(b) ondergrond profiel P2: Kleiig Slap

Figuur 1. Schematisering van de beschouwde doorsnede bij Nieuwendam met waterleiding.

In Profiel P1 bestaat het lichaam van het nieuw aangelegde dijkdeel voor een groter deel uit zand, terwijl in profiel P2 een klei antropogene laag aanwezig is. Daarnaast heeft de ondergrond in Profiel P1 een zandlaag bij -9 m NAP m tot -12 m NAP, terwijl op dezelfde diepte een kleilaag aanwezig is in profiel P2. Wat betreft vervormingen wordt profiel P1 als stijfer beschouwd dan profiel P2.

BIJLAGE B

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 toroids 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

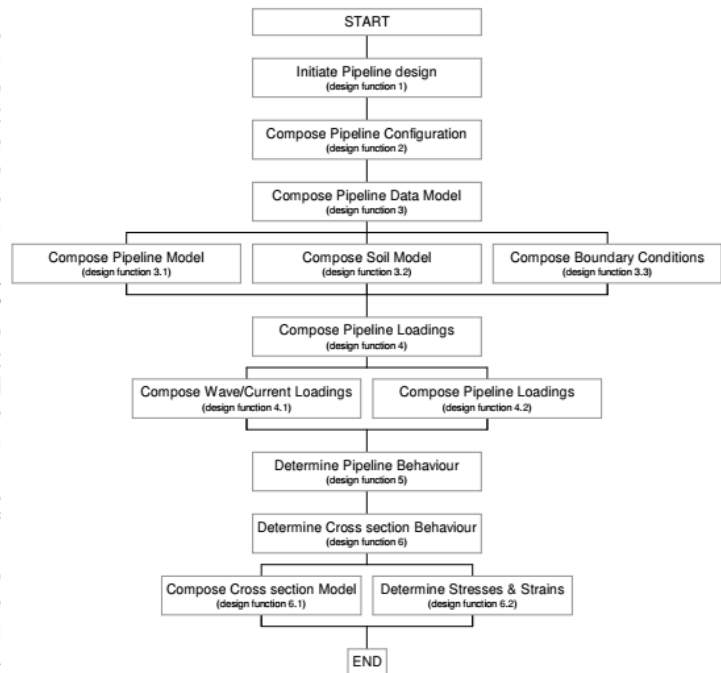
Characteristic for the use of Ple4Win is the application of a design methodology in the structure of the user interface. A great deal of effort has been put into the design of the user interface to facilitate the easy use of the system. The design process is sub-divided into six main design functions 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.



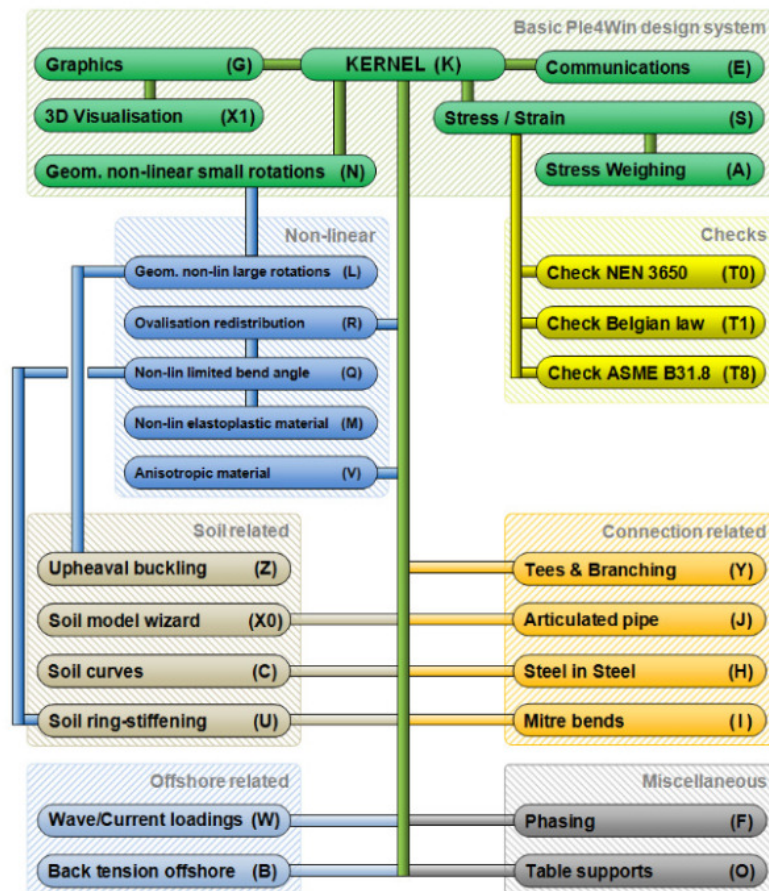
Modular structure of Ple4Win

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>EXPERT DESIGN SYSTEMS b.v</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>r+k consulting engineers</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 C

Computerin-/uitvoer van Ple4Win

BIJLAGE C.1

Berekening 2020-t=21,975-ACdam-BC3

ORIGIN - Pipeline origin

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

IDENT	X-S	Y-S	Z-S	SNODE	SAX-L	SAX-LP
	mm	mm	mm		mm	mm
2	Begin	0	0	0	1	0

POLYDIF - Pipeline polygon points (relative)

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;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	Mof1	5000	0	0				250		
2	Mof2	5000	0	0				250		
3	Mof3	5000	0	0				250		
4	Mof4	5000	0	0				250		
5	Mof5	5000	0	0				250		
6	Mof6	5000	0	0				250		
7	Mof7	5000	0	0			101	250	3	
8	Mof8	5000	0	0				250		
9	Mof9	5000	0	0				250		
10	Mof10	5000	0	0			101	250	3	
11	Mof11	5000	0	0				250		
12	Mof12	5000	0	0				250		
13	Mof13	5000	0	0				250		
14	Eind	5000	0	0				250		

PIPES - Pipeline joints

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

REFIDENT	ΔAX-L	N-PIPE	L-PIPE	E-PIPE	JOINTREF
	mm		mm	mm	
1	Mof1	0			Mof
2	Mof2	0			Mof
3	Mof3	0			Mof
4	Mof4	0			Mof
5	Mof5	0			Mof
6	Mof6	0			Mof
7	Mof7	0			Mof
8	Mof8	0			Mof
9	Mof9	0			Mof
10	Mof10	0			Mof
11	Mof11	0			Mof
12	Mof12	0			Mof
13	Mof13	0			Mof

G-LEVEL - Ground level

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

Identifier	GROUND1	UNCV1	GROUND2	UNCV2
	mm	mm	mm	mm
1	Begin	1675	0	

MATL - Material location

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

Identifier	MATREF
1	Begin
	AC

ISTROP - Isotropic materials

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

MATREF	E _{mod}	G _{mod}	Nu	ALPHA	Re	ReT
	N/mm ²	N/mm ²		1/°C	N/mm ²	N/mm ²
1	AC	25000	0.3	1E-05	22.5	

DIAM - Outer diameter

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

Identifier	DOUT1	DOUT2
	mm	mm
1	Begin	346

WALL - Wall thicknesses

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

Identifier	T-NOM1	COR-AL1	RTOL1	ATOL1	T-NOM2	COR-AL2	RTOL2	ATOL2
	mm	mm	%	mm	mm	mm	%	mm
1 Begin	21,975							

DEADW - Deadweight

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

Node	DEADW1	DEADW2	WLEVEL
	N/mm	N/mm	
1	1	1,27	No

KLH - Horizontal soil stiffness

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

Identifier	KLH1	KLH2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm²	N/mm²			%
1 Begin	0,026865			1,7	5
2 Mof1	0,026865			1,7	5
3 Mof2	0,026865			1,7	5
4 Mof3	0,026865			1,7	5
5 Mof4	0,026865			1,7	5
6 Mof5	0,026865			1,7	5
7 Mof9	0,02158			1,7	5
8 Mof10	0,02158			1,7	5
9 Mof11	0,02158			1,7	5
10 Mof12	0,02158			1,7	5
11 Mof13	0,02158			1,7	5
12 Eind	0,02158			1,7	5

KLS - Downward vertical soil stiffness

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

Identifier	KLS1	KLS2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm²	N/mm²			%
1 Begin	0,023518			2	5
2 Mof1	0,023518			2	5
3 Mof2	0,023518			2	5
4 Mof3	0,023518			2	5
5 Mof4	0,023518			2	5
6 Mof5	0,023518			2	5
7 Mof9	0,003445			1,6	5
8 Mof10	0,003445			1,6	5
9 Mof11	0,003445			1,6	5
10 Mof12	0,003445			1,6	5
11 Mof13	0,003445			1,6	5
12 Eind	0,003445			1,6	5

KLT - Upward vertical soil stiffness

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

Identifier	KLT1	KLT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm²	N/mm²			%
1 Begin	0,0081116			1,4	5
2 Mof1	0,0081116			1,4	5
3 Mof2	0,0081116			1,4	5
4 Mof3	0,0081116			1,4	5
5 Mof4	0,0081116			1,4	5
6 Mof5	0,0081116			1,4	5
7 Mof9	0,0058436			1,5212	5
8 Mof10	0,0058436			1,5212	5
9 Mof11	0,0058436			1,5212	5
10 Mof12	0,0058436			1,5212	5
11 Mof13	0,0058436			1,5212	5
12 Eind	0,0058436			1,5212	5

F - Pipe-soil friction

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

Identifier	F1	F2	UNCF-L	UNCF-H	CFA1	CFA2	VARAR
	N/mm²	N/mm²					%
1 Begin	0,0082211			1,375			5
2 Mof1	0,0082211			1,375			5
3 Mof2	0,0082211			1,375			5
4 Mof3	0,0082211			1,375			5

F - Pipe-soil friction

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

Identifler	F1	F2	UNCF-L	UNCF-H	CFA1	CFA2	VARAR
	N/mm ²	N/mm ²					%
5 Mof4	0.0082211			1.375			5
6 Mof5	0.0082211			1.375			5
7 Mof9	0.0055132			2.2263			5
8 Mof10	0.0055132			2.2263			5
9 Mof11	0.0055132			2.2263			5
10 Mof12	0.0055132			2.2263			5
11 Mof13	0.0055132			2.2263			5
12 Eind	0.0055132			2.2263			5

UF - Displacement at max. soil friction

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

Identifler	UF1	UF2	UNCF-L	UNCF-H
	mm	mm		
1 Begin	4			1.6
2 Mof1	4			1.6
3 Mof2	4			1.6
4 Mof3	4			1.6
5 Mof4	4			1.6
6 Mof5	4			1.6
7 Mof9	7.4745			1.5
8 Mof10	7.4745			1.5
9 Mof11	7.4745			1.5
10 Mof12	7.4745			1.5
11 Mof13	7.4745			1.5
12 Eind	7.4745			1.5

RVS - Sub-soil bearing capacity

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

Identifler	RVS1	RVS2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm ²	N/mm ²			%
1 Begin	0.75609			2	5
2 Mof1	0.75609			2	5
3 Mof2	0.75609			2	5
4 Mof3	0.75609			2	5
5 Mof4	0.75609			2	5
6 Mof5	0.75609			2	5
7 Mof9	0.19071			1.6	5
8 Mof10	0.19071			1.6	5
9 Mof11	0.19071			1.6	5
10 Mof12	0.19071			1.6	5
11 Mof13	0.19071			1.6	5
12 Eind	0.19071			1.6	5

RVT - Ultimate top-soil reaction

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

Identifler	RVT1	RVT2	UNCF-L	UNCF-H	VARAR
	N/mm ²	N/mm ²			%
1 Begin	0.062245			1.5	5
2 Mof1	0.062245			1.5	5
3 Mof2	0.062245			1.5	5
4 Mof3	0.062245			1.5	5
5 Mof4	0.062245			1.5	5
6 Mof5	0.062245			1.5	5
7 Mof9	0.061306			1.5	5
8 Mof10	0.061306			1.5	5
9 Mof11	0.061306			1.5	5
10 Mof12	0.061306			1.5	5
11 Mof13	0.061306			1.5	5
12 Eind	0.061306			1.5	5

RH - Ultimate hor. soil reaction

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

Identifler	RH1	RH2	UNCF-L	UNCF-H	CFH1	CFH2	VARAR
	N/mm ²	N/mm ²					%
1 Begin	0.28167			1.6			5
2 Mof1	0.28167			1.6			5
3 Mof2	0.28167			1.6			5

RH - Ultimate hor. soil reaction

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

Identificer	RH1	RH2	UNCF-L	UNCF-H	CFH1	CFH2	VARAR
	N/mm ²	N/mm ²					%
4 Mof3	0.28167			1.6			5
5 Mof4	0.28167			1.6			5
6 Mof5	0.28167			1.6			5
7 Mof9	0.22627			1.697			5
8 Mof10	0.22627			1.697			5
9 Mof11	0.22627			1.697			5
10 Mof12	0.22627			1.697			5
11 Mof13	0.22627			1.697			5
12 Eind	0.22627			1.697			5

UNCER - Uncertainty factors

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

U-KLH	U-KLS	U-KLT	U-F	U-UF	U-RVS	U-RVT	U-RH
2	High	High	High	High	High	High	High

ENDPTS - Start/end nodes boundary conditions

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

IDENT	COND	STATE	
1	Begin	Free	Open
2	Eind	Free	Open

JOINTS - Joint characteristics

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

JOINTREF	TYPE	x-C	x-T	MaxRot	Rotdir	OVALtype
		mm	mm	°	°	
1 Mof	Ball				2	Normal

PRESS - Internal overpressure

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

Node	PRESS1	PRESS2
	N/mm ²	N/mm ²
1	1	0.28

TEMP - Temperature differences

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

Node	T-ABS1	T-REF1	T-ABS2	T-REF2
	°C	°C	°C	°C
1	1	25	10	

SETY - Soil displacement in Y-direction

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

AX-LP	SETY1	UNCF1	SETY2	UNCF2
mm	mm		mm	
1	0	0	2	
2	17500	0	2	
3	22500	0.39	2	
4	27500	1.51	2	
5	32500	3.11	2	
6	37500	4.89	2	
7	42500	6.49	2	
8	47500	7.61	2	
9	52500	8	2	
10	70000	8	2	

SETZ - Soil displacement in Z-direction

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

AX-LP	SETZ1	UNCF1	SETZ2	UNCF2
mm	mm		mm	
1	0	0	2	
2	17500	0	2	
3	32500	0	2	
4	37500	0	2	
5	42500	0	2	
6	52500	0	2	-60
7	70000	-60	2	

SUBSIDE - Vertical soil subsidence

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

AX-LP	SUBZMAX	UNCF	LENGTH	SINESHape
mm	mm		mm	
1	52500	-60	2	35000 Left

LOCASE - Loading combinations

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

IDENT	GLOADF	PRESS-F	T-DIF-F	DEADW-F	SETL-F	NODAL-F	ELBND-F	WAVC-F
2 BC3	1	0	0	1.1	1.1	0	0	0

SOILCTL - Non-linear elastic soil iteration control

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

MAXSIT	MERPTS	MERFLDS
2	20	0

GEOMCTL - Geometrically non-linear iteration control

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

MAXGIT	RELDISEQ	ABSDISEQ	ROTINCR	REDISOVL
			RAD	
1	50	1E-05	1E-07	0.1 False

DISPLAC - Displacements (loadcase bc3 g-nln/m-lin ...

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

NODE	U-X	U-Y	U-Z	PHI-X	PHI-Y	PHI-Z	U-AX	PHI-AX	U-LAT	PHI-LAT	
	mm	mm	mm	RAD	RAD	RAD	mm	RAD	mm	°	
65	65	5.793E-2	-9.695E-03	-6.449E-2	1.435E-08	-1.874E-05	1.249E-06	.05793	1.437E-08	6.522E-2	261
67	67	5.917E-2	-8.953E-03	-5.520E-2	1.424E-08	-1.058E-05	5.817E-06	.05917	1.428E-08	5.592E-2	261
69	69	6.045E-2	-4.614E-03	-5.225E-2	1.392E-08	1.264E-05	1.736E-05	.06045	1.399E-08	5.245E-2	265
76	76	6.535E-2	1.010E-01	-2.698E-1	3.029E-09	3.100E-04	1.120E-04	.06544	3.839E-09	2.880E-1	291
85	85	7.153E-2	3.712E-01	-1.268E+0	-2.397E-07	2.028E-03	1.991E-04	.07417	-2.408E-07	1.321E+0	286
99	99	7.520E-2	1.343E+0	-9.495E+0	1.987E-07	2.926E-03	4.301E-04	.10368	2.068E-07	9.589E+0	278
123	123	5.149E-2	4.536E+0	-3.351E+1	2.438E-07	4.996E-03	6.868E-04	.22236	2.465E-07	3.382E+1	278
126	126	4.604E-2	5.054E+0	-3.728E+1	2.450E-07	5.025E-03	6.911E-04	.23705	2.451E-07	3.762E+1	278
147	147	-9.615E-3	8.800E+0	-6.615E+1	1.502E-07	5.920E-03	7.853E-04	.38911	1.520E-07	6.673E+1	278
168	168	-6.674E-2	1.256E+1	-9.512E+1	-9.750E-08	5.694E-03	7.270E-04	.48408	-9.621E-08	9.595E+1	278
189	189	-1.002E-1	1.564E+1	-1.190E+2	-1.829E-07	4.608E-03	5.700E-04	.45694	-1.827E-07	1.200E+2	277
231	231	-8.413E-2	1.763E+1	-1.328E+2	3.512E-09	8.840E-05	3.792E-05	-.07196	3.528E-09	1.340E+2	278
232	232	-8.413E-2	1.763E+1	-1.328E+2	-5.642E-13	-5.157E-05	-1.698E-05	-.09146	-6.014E-13	1.340E+2	278

DISP]NT - Displacements in joints (loadcase bc3 g-n...

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

ELEM	EFFECT	dU-x	dU-yz	dPHI-x	dPHI-yz	THETA-dis
		mm	mm	°	°	°
1	21	0.	0.	-1.357E-15	.00	121.0
4	84	0.	0.	-2.484E-06	.08	92.4
5	105	0.	3.661E-15	-4.489E-06	.07	93.3
6	126	0.	0.	-3.307E-06	.04	92.9
7	147	0.	1.465E-14	-2.354E-07	.00	336.3
8	168	0.	1.421E-14	4.976E-06	.04	274.4
9	189	0.	5.687E-14	5.254E-06	.10	275.6
10	210	0.	5.684E-14	-7.443E-07	.11	274.9
12	252	0.	1.421E-13	8.144E-12	.00	108.2

SOILNB - Neutral or real top-soil load

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

Identifier	NB1	UNCF1	LOADF1	NB2	UNCF2	LOADF2
	N/mm²			N/mm²		
1	Begin	0.027036	1.1	1		
2	Mof1	0.027036	1.1	1		
3	Mof2	0.027036	1.1	1		
4	Mof3	0.027036	1.1	1		
5	Mof4	0.027036	1.1	1		
6	Mof5	0.027036	1.1	1		
7	Mof9	0.026628	1.1	1		
8	Mof10	0.026628	1.1	1		
9	Mof11	0.026628	1.1	1		
10	Mof12	0.026628	1.1	1		
11	Mof13	0.026628	1.1	1		

SOILNB - Neutral or real top-soil load Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

Identifier	NB1	UNCF1	LOADF1	NB2	UNCF2	LOADF2
	N/mm ²			N/mm ²		
12 Eind	0.026628	1.1	1			

SUPANG - Soil support angle functions Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

Identifier	ANGMIN	ANGMAX	RVSL	RVSH	CURVE
	°	°	%	%	
1 Begin	30	180	50	100	Sinus

SECTION - Cross-sections to be calculated Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

Start Identifier	End Identifier	TOPLOAD	S-ALLOW
			N/mm ²
1 Begin	Eind	No	10

SWEIGH - Weighing factors stress components Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

Element	SXUB0	SXUB1	SXUBH	SXIOSH	SFIOFH	SFUBA	SFURA	SXIORA	SFIORA
1	1	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5	1

RDPLMAX - Maximum radial deformations (loadcase b... Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

ELEM	WGROUND-M	WBEND-M	W+WD/D-M	WTOTAL-M	RG/KLG-M	KLK-M	AX_BUCKL-M	EXT_PRESS-M
	mm	mm	%	mm	mm	N/mm ²	% critical	% critical
73	76	-13140		-07	-13140			.4
81	85	-09959		-05	-09959			.2
90	94	-12566		-07	-12566			.4
165	173	-11438		-06	-11438			.1

CSTRMAX - Maximum check stresses (loadcase bc3 w... Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

ELEM	MOHR1-M	MOHR2-M	TRESCA-M	MISES-M	SXHT-M	SFHT-M	SHOOP-M
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
73	76	2.950	-3.013	1.507	2.876	-2.719	-3.010
81	85	2.175	-2.186	1.093	1.904	1.364	-2.186
89	93	2.794	-3.160	1.580	3.018	-3.157	-2.865
90	94	2.801	-3.163	1.581	2.967	-3.162	-2.730
190	199	2.401	-2.438	1.219	2.328	2.248	-2.438

MSTRMAX - Maximum principal stresses (loadcase bc3 ... Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [24-9-2020;occ.:1]

ELEM	SIG11-M	SIG12-M	TAUIMAX-M	SIG01-M	SIG02-M	TAUOMAX-M
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
72	75	5.750	-4.150	2.468	3.582	-5.881
73	76	5.899	-4.098	2.521	3.543	-6.020
81	85	4.349	-3.158	1.493	2.721	-4.371
84	88	4.787	-3.614	1.891	3.117	-4.866
89	93	5.588	-4.011	2.671	3.476	-5.730
188	197	4.931	-3.526	1.444	3.047	-5.001
192	201	4.852	-3.559	1.421	3.070	-4.922

STATUS - Program status summary Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [occ.:0]

PROPERTY	VALUE
Program	Ple4Win
Version	V4.6.1.20020
License	41936038 [CmDongle 2-1595724]
Modules included	KSAGNLFT0ERCYWT1T8QOVMJUZX0HX1IPD
Project name	ACdam
Project location & filename	\\RKCSERVER\Team-DC\PL 515 ACdam\Berekeningen\2020-t=21,975-
Project description	Berekening AC waterleiding ter plaatse van de Nieuwendam met geredu
Analysis type	General
Project phase	Initial
Project parent	---
Secondary project	---
Units	Millimeter, Newton, Second

<i>STATUS - Program status summary</i>		<i>Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [occ.:0]</i>
PROPERTY	VALUE	
Separators	Thousands: ''Decimal: ''	
Bend angle	Infinite	
Geometry model	Non-linear	
Section model	Non-ovalising	
Material model	Linear	
Soil ring-stiffening	Ignored	
Soil model	Standard	
Ovalisation redistribution	Allowed	
Loading redistribution	Applied	
Notices table	2 items (warnings, informational messages, messages, debug message)	
2 Pipeline Configuration (occurrence 1)	Pipeline origin [ORIGIN] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Pipeline polygon points [POLYDIF] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Pipeline joints [PIPES] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Ground level [G-LEVEL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Polygon point data [SHAPEP] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Bend location data [SHAPEB] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Polygon subdivision data [LENGTH] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Nodes [NODES] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 24-9- Elements of pipeline [ELEMNTS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Vertical profile data [PROFILE] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Identification names [IDENTS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Element/node groups [AVGRPS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified	
3.1 Pipe Data (occurrence 1)	Material location [MATL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Isotropic materials [ISTROP] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Outer diameter [DIAM] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Wall thicknesses [WALL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Deadweight [DEADW] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Pipe material data [PIPEMAT] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Pipe dimension data [PIPEDIM] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified	
3.2 Soil Data (occurrence 1)	Horizontal soil stiffness [KLH] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Downward vertical soil stiffness [KLS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Upward vertical soil stiffness [KLT] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Pipe-soil friction [F] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 24- Displacement at max. soil friction [UF] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Sub-soil bearing capacity [RVS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Ultimate top-soil reaction [RVT] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Ultimate hor. soil reaction [RH] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Uncertainty factors [UNCER] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Lateral soil mechanical data [LATSOIL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Pipe-soil friction data [AXSOIL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified	
3.3 Model Boundary (occurrence 1)	Start/end nodes boundary conditions [ENDPTS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Joint characteristics [JOINTS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Conditions along pipe axis [CONDI] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Joint characteristics [J-SDATA] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified	
4.2 Pipeline Loading (occurrence 1)	Internal overpressure [PRESS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Temperature differences [TEMP] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Soil displacement in Y-direction [SETY] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Soil displacement in Z-direction [SETZ] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Vertical soil subsidence [SUBSIDE] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Specified pipeline loads [LOADATA] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified	
5 Pipeline Behaviour (occurrence 1)	Loading combinations [LOCASE] (status 'Locked Data', occurrence 2, last modified Non-linear elastic soil iteration control [SOILCTL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Geometrically non-linear iteration control [GEOMCTL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Displacements [DISPLAC] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Overall internal forces [INTFOR] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Overall soil reaction forces [SOILREA] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Global node coordinates of displaced pipeline [DISCOOR] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Displacements in joints [DISPJNT] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Iteration data [ITMON] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Iteration check list [ITCHECS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Specified loads active on elements [E-LOAD] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Applied settlement loads [S-LOAD] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified	
6.1 Cross-Section Data (occurrence 1)	Neutral or real top-soil load [SOILNB] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Soil support angle functions [SUPANG] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Cross-sectional data [CROSDAT] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified	

STATUS - Program status summary

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [occ.:0]

PROPERTY	VALUE
	Deformation redistribution (soil loads) [W-REDIS] (status 'Locked Data',
6.2 Cross-Section Behaviour (General, Material Linear) (occurrence 1)	Cross-sections to be calculated [SECTION] (status 'Locked Data', occur
	Weighing factors stress components [SWEIGH] (status 'Locked Data', o
	General cross-sectional data [CSGEN] (status 'Locked Data', occurrence
	Cross-sectional loading data [CSLOAD] (status 'Locked Data', occurrence
	Weighing multiplication factors [CSWEIGH] (status 'Locked Data', occur
	Maximum radial deformations [RDPLMAX] (status 'Locked Data', occur
	Maximum check stresses [CSTRMAX] (status 'Locked Data', occurrence
	Maximum stresses in straight pipe sections [PSTRMAX] (status 'Locked
	Maximum stresses in bends [BSTRMAX] (status 'Locked Data', occur
	Maximum stresses (lateral loadings) [RSTRMAX] (status 'Locked Data',
	Maximum total stresses [TSTRMAX] (status 'Locked Data', occurrence 1,
	Maximum principal stresses [MSTRMAX] (status 'Locked Data', occur
	Detailed radial deformations [RDISPLC] (status 'Locked Data', occurrence
	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, l
	Detailed principal stresses [MSTRESS] (status 'Locked Data', occurrence

NOTICES - Project notices (errors, warnings & messages)

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC3' [occ.:0]

DF	IDENT	MESSAGE
1	DF 3.1	W310/1 Small diameter/wallthickness ratio
2	DF 3.2	W320/6 Sub > hor > top not satisfied

BIJLAGE C.2

Berekening 2020-t=21,975-ACdam-BC4

LOCASE - Loading combinations Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC4' [23-9-2020;occ.:1]

IDENT	GLOADF	PRESS-F	T-DIF-F	DEADW-F	SETL-F	NODAL-F	ELBND-F	WAVC-F
2 BC4	1	1.15	1.1	1.1	1.1	0	0	0

DISPLAC - Displacements (loadcase bc4 g-nln/m-lin ... Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC4' [23-9-2020;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	-2.169589	-2.399E-09	-8.584E-2	0.	1.486E-11	8.979E-12	-2.169589	0.	8.584E-2	270
65	65	-724837	-9.732E-03	-6.457E-2	1.135E-08	-1.879E-05	1.175E-06	-724839	1.138E-08	6.529E-2	261
67	67	-692439	-9.028E-03	-5.525E-2	1.124E-08	-1.064E-05	5.741E-06	-692440	1.128E-08	5.597E-2	261
69	69	-660635	-4.727E-03	-5.227E-2	1.091E-08	1.252E-05	1.728E-05	-660635	1.098E-08	5.249E-2	265
76	76	-553636	1.007E-01	-2.688E-1	3.290E-11	3.081E-04	1.118E-04	-553541	8.285E-10	2.872E-1	291
85	85	-438665	3.698E-01	-1.256E+0	-2.450E-07	2.036E-03	1.994E-04	-436037	-2.462E-07	1.311E+0	286
123	123	-025395	4.535E+00	-3.351E+1	2.443E-07	4.994E-03	6.864E-04	.145375	2.470E-07	3.382E+1	278
126	126	.001773	5.053E+00	-3.728E+1	2.456E-07	5.022E-03	6.905E-04	.192630	2.458E-07	3.762E+1	278
147	147	.164055	8.800E+00	-6.615E+1	1.499E-07	5.920E-03	7.854E-04	.562790	1.517E-07	6.673E+1	278
232	232	-1.497378	1.764E+01	-1.328E+2	-7.663E-13	-5.118E-05	-1.737E-05	1.190088	-8.059E-13	1.340E+2	278
294	294	2.731887	1.760E+01	-1.327E+2	0.	-1.219E-07	-4.138E-08	2.731870	0.	1.339E+2	278

DISPJNT - Displacements in joints (loadcase bc4 g-n... Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC4' [23-9-2020;occ.:1]

ELEM	EFFECT	dU-x	dU-yz	dPHI-x	dPHI-yz	THETA-dis
		mm	mm	°	°	°
1	21	1.776E-15	0.	-5.109E-15	.00	121.1
4	84	3.386E-15	0.	-2.628E-06	.08	92.4
5	105	-1.183E-15	1.089E-14	-4.311E-06	.07	93.3
6	126	-5.954E-15	2.851E-14	-3.376E-06	.04	92.9
7	147	3.692E-15	1.434E-14	-1.655E-07	.00	338.0
9	189	8.327E-15	1.773E-15	5.357E-06	.10	275.6
10	210	0.	8.534E-14	-6.994E-07	.12	274.9

RDPLMAX - Maximum radial deformations (loadcase b... Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC4' [23-9-2020;occ.:1]

ELEM	WGROUND-M	WBEND-M	W+WD/D-M	WTOTAL-M	RG/KLG-M	KLGM	AX_BUCKL-M	EXT_PRESS-M
	mm	mm	%	mm	mm	N/mm²	% critical	% critical
1	1	-11622		-06	.1184		0.	
73	76	-12903		-07	.1289		.0	
81	85	-09763		-05	.1032		.0	
91	95	-12327		-07	.1279		.1	

CSTRMAX - Maximum check stresses (loadcase bc4 w... Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC4' [23-9-2020;occ.:1]

ELEM	MOHR1-M	MOHR2-M	TRESCA-M	MISES-M	SxHT-M	SFHT-M	SHOOP-M	
	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	
1	1	3.777	-1.589	1.888	3.289	-1.589	3.777	2.374
73	76	4.091	-4.691	2.630	4.784	-4.690	4.091	2.374
81	85	3.323	-3.332	2.042	3.762	-3.332	3.323	2.374
91	95	3.792	-5.323	2.967	5.200	-5.323	3.792	2.374
92	96	3.929	-5.317	2.959	5.207	-5.317	3.928	2.374
214	224	3.720	-2.894	1.860	3.638	-2.894	3.720	2.374
280	293	3.741	-1.563	1.870	3.258	-1.563	3.741	2.374

MSTRMAX - Maximum principal stresses (loadcase bc4 ... Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC4' [23-9-2020;occ.:1]

ELEM	SIG1-M	SIG2-M	TAUIMAX-M	SIGO1-M	SIGO2-M	TAUOMAX-M	
	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	
72	75	8.037	-3.514	4.618	5.883	-4.637	3.531
73	76	8.182	-3.466	4.675	5.842	-4.691	3.489
81	85	6.647	-2.892	3.704	5.034	-3.332	3.101
91	95	7.583	-4.102	4.848	5.841	-5.323	3.779
92	96	7.857	-4.017	4.917	5.764	-5.317	3.715
240	251	7.475	-2.147	3.540	5.457	-2.807	2.802
280	293	7.482	-1.209	2.978	5.460	-2.814	2.239

<i>STATUS - Program status summary</i>		<i>Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC4' [occ.:0]</i>
PROPERTY	VALUE	
Program	Ple4Win	
Version	V4.6.1.20020	
License	41936038 [CmDongle 2-1595724]	
Modules included	KSAGNLFT0ERCYWT1T8QOV MJUZBX0HX1IPD	
Project name	ACdam	
Project location & filename	\\RKCSERVER\Team-DC\PL 515 ACdam\Berekeningen\2020-t=21,975-	
Project description	Berekening AC waterleiding ter plaatse van de Nieuwendam met gereedu	
Analysis type	General	
Project phase	Initial	
Project parent	---	
Secondary project	---	
Units	Millimeter, Newton, Second	
Separators	Thousands: '.'Decimal: ''	
Bend angle	Infinite	
Geometry model	Non-linear	
Section model	Non-ovalising	
Material model	Linear	
Soil ring-stiffening	Ignored	
Soil model	Standard	
Ovalisation redistribution	Allowed	
Loading redistribution	Applied	
Notices table	2 items (warnings, informational messages, messages, debug message)	
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 joints [PIPES] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified	
	Ground level [G-LEVEL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modifie	
	Polygon point data [SHAPEP] (status 'Locked Data', occurrence 1, last m	
	Bend location data [SHAPEB] (status 'Locked Data', occurrence 1, last m	
	Polygon subdivision data [LENGTH] (status 'Locked Data', occurrence 1,	
	Nodes [NODES] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 23-9-	
	Elements of pipeline [ELEMNTS] (status 'Locked Data', occurrence 1, las	
	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 2, last modifi	
	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	
3.2 Soil Data (occurrence 1)	Horizontal soil stiffness [KLH] (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 23-	
	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	
	Joint characteristics [JOINTS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last m	
	Conditions along pipe axis [CONDI] (status 'Locked Data', occurrence 1, l	
	Joint characteristics [J-SDATA] (status 'Locked Data', occurrence 1, last	
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 Y-direction [SETY] (status 'Locked Data', occurrenc	
	Soil displacement in Z-direction [SETZ] (status 'Locked Data', occurrence	
	Vertical soil subsidence [SUBSIDE] (status 'Locked Data', occurrence 2, 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	

STATUS - Program status summary

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC4' [occ.:0]

PROPERTY	VALUE
	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
	Global node coordinates of displaced pipeline [DISCOOR] (status 'Lock
	Displacements in joints [DISPJNT] (status 'Locked Data', occurrence 1, l
	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
	Soil support angle functions [SUPANG] (status 'Locked Data', occurrence
	Cross-sectional data [CROSDAT] (status 'Locked Data', occurrence 1, la
	Deformation redistribution (soil loads) [W-REDIS] (status 'Locked Data',
6.2 Cross-Section Behaviour (General, Material Linear) (occurrence 1)	Cross-sections to be calculated [SECTION] (status 'Locked Data', occur
	Weighing factors stress components [SWEIGH] (status 'Locked Data', o
	General cross-sectional data [CSGEN] (status 'Locked Data', occurrence
	Cross-sectional loading data [CSLOAD] (status 'Locked Data', occurenc
	Weighing multiplication factors [CSWEIGH] (status 'Locked Data', occur
	Maximum radial deformations [RDPLMAX] (status 'Locked Data', occure
	Maximum check stresses [CSTRMAX] (status 'Locked Data', occurrence
	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, l
	Detailed principal stresses [MSTRESS] (status 'Locked Data', occurrence

NOTICES - Project notices (errors, warnings & messages)

Ple4Win [41936038]: '2020-t=21,975-ACdam-BC4' [occ.:0]

DF	IDENT	MESSAGE
1	DF 3.1	W310/1 Small diameter/wallthickness ratio
2	DF 3.2	W320/6 Sub > hor > top not satisfied

BIJLAGE C.3

Berekening 2020-t=20,95-ACdam-BC4

WALL - Wall thicknesses

Ple4Win [41936038]: '2020-t=20,95-ACdam-BC4' [23-9-2020;occ.:1]

Identifier	T-NOM1	COR-AL1	RTOL1	ATOL1	T-NOM2	COR-AL2	RTOL2	ATOL2
	mm		%	mm	mm	mm	%	mm
1	Begin	20,95						

LOCASE - Loading combinations

Ple4Win [41936038]: '2020-t=20,95-ACdam-BC4' [23-9-2020;occ.:1]

IDENT	GLOADF	PRESS-F	T-DIF-F	DEADW-F	SETL-F	NODAL-F	ELBND-F	WAVC-F
2	BC4	1	1,15	1,1	1,1	1,1	0	0

DISPLAC - Displacements (loadcase bc4 g-nln/m-lin i...

Ple4Win [41936038]: '2020-t=20,95-ACdam-BC4' [23-9-2020;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	-2,107761	-2,876E-09	-8,584E-2	0,	1,583E-11	9,832E-12	-2,107761	0,	8,584E-2	270
66	66	-6,77015	-9,463E-03	-6,023E-2	1,408E-08	-1,695E-05	2,244E-06	-6,77016	1,411E-08	6,096E-2	261
67	67	-6,61422	-9,004E-03	-5,572E-2	1,401E-08	-1,164E-05	5,228E-06	-6,61423	1,404E-08	5,644E-2	261
69	69	-6,30677	-4,981E-03	-5,214E-2	1,369E-08	1,116E-05	1,677E-05	-6,30677	1,376E-08	5,238E-2	265
76	76	-5,27377	1,004E-01	-2,667E-1	2,721E-09	3,094E-04	1,127E-04	-5,27282	3,552E-09	2,851E-1	291
85	85	-4,16611	3,725E-01	-1,266E+0	-2,445E-07	2,028E-03	1,978E-04	-4,13973	-2,456E-07	1,321E+0	286
123	123	-,022169	4,536E+00	-3,351E+1	2,489E-07	4,998E-03	6,877E-04	-,148772	2,516E-07	3,382E+1	278
126	126	-,003488	5,055E+00	-3,728E+1	2,501E-07	5,027E-03	6,919E-04	-,194565	2,502E-07	3,762E+1	278
147	147	-,155885	8,800E+00	-6,615E+1	1,527E-07	5,921E-03	7,856E-04	-,554683	1,545E-07	6,673E+1	278
231	231	1,148105	1,763E+01	-1,328E+2	3,331E-09	8,509E-05	3,739E-05	1,159829	3,346E-09	1,340E+2	278
232	232	1,148105	1,763E+01	-1,328E+2	-6,905E-13	-5,116E-05	-1,741E-05	1,140812	-7,311E-13	1,340E+2	278
294	294	2,654156	1,760E+01	-1,327E+2	0,	-1,084E-07	-3,689E-08	2,654141	0,	1,339E+2	278

DISPJNT - Displacements in joints (loadcase bc4 g-nl...

Ple4Win [41936038]: '2020-t=20,95-ACdam-BC4' [23-9-2020;occ.:1]

ELEM	EFFECT	dU-x	dU-yz	dPHI-x	dPHI-yz	THETA-dis
		mm	mm	°	°	°
1	21		0,	-1,043E-15	.00	121,8
4	84	-1,610E-15	0,	-2,582E-06	.08	92,3
5	105	-1,098E-15	3,666E-15	-4,549E-06	.07	93,2
7	147	-3,084E-15	1,519E-14	-2,369E-07	.00	334,0
8	168	-8,142E-15	1,469E-14	5,119E-06	.04	274,3
9	189	3,664E-15	0,	5,401E-06	.10	275,6
10	210	6,180E-15	2,843E-14	-5,993E-07	.12	274,9
12	252	6,439E-15	8,710E-14	1,360E-11	.00	108,8

RDPLMAX - Maximum radial deformations (loadcase bc...

Ple4Win [41936038]: '2020-t=20,95-ACdam-BC4' [23-9-2020;occ.:1]

ELEM	WGROUND-M	WBEND-M	W+WD/D-M	WTOTAL-M	RG/KLG-M	KLG-M	AX_BUCKL-M	EXT_PRESS-M
	mm	mm	%	mm	mm	N/mm²	% critical	% critical
1	1	-1,1350		-,07	.1359			0,
73	76	-1,496		-,08	.1478			.0
81	85	-1,136		-,06	.1184			.0
91	95	-,1428		-,08	.1467			.1

CSTRMAX - Maximum check stresses (loadcase bc4 we...

Ple4Win [41936038]: '2020-t=20,95-ACdam-BC4' [23-9-2020;occ.:1]

ELEM	MOHR1-M	MOHR2-M	TRESCA-M	MISES-M	SXHT-M	SFHT-M	SHOOP-M	
	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	
1	1	4,101	-1,748	2,051	3,569	-1,748	4,101	2,498
73	76	4,442	-4,904	2,738	5,039	-4,904	4,442	2,498
81	85	3,607	-3,480	2,125	3,968	-3,480	3,607	2,498
91	95	4,112	-5,518	3,069	5,410	-5,518	4,112	2,498
92	96	4,261	-5,516	3,062	5,430	-5,516	4,261	2,498
210	220	3,972	-3,050	1,987	3,823	-3,050	3,972	2,498
280	293	4,062	-1,719	2,031	3,535	-1,719	4,062	2,498

MSTRMAX - Maximum principal stresses (loadcase bc4 ...

Ple4Win [41936038]: '2020-t=20,95-ACdam-BC4' [23-9-2020;occ.:1]

ELEM	SIG11-M	SIG12-M	TAUIMAX-M	SIG01-M	SIG02-M	TAUOMAX-M	
	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	
72	75	8,724	-3,642	4,895	6,366	-4,843	3,726
73	76	8,884	-3,592	4,959	6,321	-4,905	3,682
81	85	7,214	-2,994	3,928	5,440	-3,480	3,267
91	95	8,225	-4,226	5,109	6,320	-5,519	3,971

MSTRMAX - Maximum principal stresses (loadcase bc4 ... Ple4Win [41936038]: '2020-t=20,95-ACdam-BC4' [23-9-2020;occ.:1]

	ELEM	SIG1-M	SIG2-M	TAUIMAX-M	SIGO1-M	SIGO2-M	TAUOMAX-M
		N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
92	96	8,522	-4,138	5,188	6,231	-5,517	3,902
208	218	7,956	-2,824	3,844	5,826	-3,049	3,237
280	293	8,124	-1,432	3,221	5,907	-3,213	2,412

STATUS - Program status summary

Ple4Win [41936038]: '2020-t=20,95-ACdam-BC4' [occ.:0]

PROPERTY	VALUE
Program	Ple4Win
Version	V4.6.1.20020
License	41936038 [CmDongle 2-1595724]
Modules included	KSAGNLFT0ERCYWT1T8QOV MJUZBX0HX1IPD
Project name	ACdam
Project location & filename	\\RKCSERVER\Team-DC\PL 515 ACdam\Berekeningen\2020-t=20,95-
Project description	Berekening AC waterleiding ter plaatse van de Nieuwendam met gereedu
Analysis type	General
Project phase	Initial
Project parent	---
Secondary project	---
Units	Millimeter, Newton, Second
Separators	Thousands: '.' Decimal: ','
Bend angle	Infinite
Geometry model	Non-linear
Section model	Non-ovalising
Material model	Linear
Soil ring-stiffening	Ignored
Soil model	Standard
Ovalisation redistribution	Allowed
Loading redistribution	Applied
Notices table	2 items (warnings, informational messages, messages, debug message
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 joints [PIPES] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified Ground level [G-LEVEL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modifie Polygon point data [SHAPEP] (status 'Locked Data', occurrence 1, last m Bend location data [SHAPEB] (status 'Locked Data', occurrence 1, last m Polygon subdivision data [LENGTH] (status 'Locked Data', occurrence 1, Nodes [NODES] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 23-9- Elements of pipeline [ELEMNTS] (status 'Locked Data', occurrence 1, las 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 2, last modifi 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
3.2 Soil Data (occurrence 1)	Horizontal soil stiffness [KLH] (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 23- 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 Joint characteristics [JOINTS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last m Conditions along pipe axis [CONDI] (status 'Locked Data', occurrence 1, l Joint characteristics [J-SDATA] (status 'Locked Data', occurrence 1, last
4.2 Pipeline Loading (occurrence 1)	Internal overpressure [PRESS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last

STATUS - Program status summary

Ple4Win [41936038]: '2020-t=20,95-ACdam-BC4' [occ.:0]

PROPERTY	VALUE
	Temperature differences [TEMP] (status 'Locked Data', occurrence 1, las
	Soil displacement in Y-direction [SETY] (status 'Locked Data', occurrence
	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
	Global node coordinates of displaced pipeline [DISCOOR] (status 'Lock
	Displacements in joints [DISPJNT] (status 'Locked Data', occurrence 1, l
	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
	Soil support angle functions [SUPANG] (status 'Locked Data', occurrence
	Cross-sectional data [CROSDAT] (status 'Locked Data', occurrence 1, la
	Deformation redistribution (soil loads) [W-REDIS] (status 'Locked Data',
6.2 Cross-Section Behaviour (General, Material Linear) (occurrence 1)	Cross-sections to be calculated [SECTION] (status 'Locked Data', occur
	Weighing factors stress components [SWEIGH] (status 'Locked Data', o
	General cross-sectional data [CSGEN] (status 'Locked Data', occurrence
	Cross-sectional loading data [CSLOAD] (status 'Locked Data', occurenc
	Weighing multiplication factors [CSWEIGH] (status 'Locked Data', occur
	Maximum radial deformations [RDPLMAX] (status 'Locked Data', occure
	Maximum check stresses [CSTRMAX] (status 'Locked Data', occurrence
	Maximum stresses in straight pipe sections [PSTRMAX] (status 'Locked
	Maximum stresses in bends [BSTRMAX] (status 'Locked Data', occure
	Maximum stresses (lateral loadings) [RSTRMAX] (status 'Locked Data',
	Maximum total stresses [TSTRMAX] (status 'Locked Data', occurrence 1,
	Maximum principal stresses [MSTRMAX] (status 'Locked Data', occure
	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, l
	Detailed principal stresses [MSTRESS] (status 'Locked Data', occurrence

NOTICES - Project notices (errors, warnings & messages)

Ple4Win [41936038]: '2020-t=20,95-ACdam-BC4' [occ.:0]

DF	IDENT	MESSAGE
1	DF 3.1	W310/1 Small diameter/wallthickness ratio
2	DF 3.2	W320/6 Sub > hor > top not satisfied

BIJLAGE C.4

Berekening 2070-t=20,72-ACdam-BC4

WALL - Wall thicknesses

Ple4Win [41936038]: '2070-t=20,72-ACdam-BC4' [21-9-2020;occ.:2]

Identifier	T-NOM1	COR-AL1	RTOL1	ATOL1	T-NOM2	COR-AL2	RTOL2	ATOL2
	mm		%	mm	mm	mm	%	mm
1	Begin	20,72						

SETY - Soil displacement in Y-direction

Ple4Win [41936038]: '2070-t=20,72-ACdam-BC4' [21-9-2020;occ.:1]

AX-LP	SETY1	UNCF1	SETY2	UNCF2
mm	mm		mm	
1	0	0	2	
2	17500	0	2	
3	22500	0,69	2	
4	27500	2,64	2	
5	32500	5,44	2	
6	37500	8,56	2	
7	42500	11,36	2	
8	47500	13,31	2	
9	52500	14	2	
10	70000	14	2	

SETZ - Soil displacement in Z-direction

Ple4Win [41936038]: '2070-t=20,72-ACdam-BC4' [21-9-2020;occ.:1]

AX-LP	SETZ1	UNCF1	SETZ2	UNCF2
mm	mm		mm	
1	0	0	2	
2	17500	0	2	
3	32500	0	2	
4	37500	0	2	
5	42500	0	2	
6	52500	0	2	-80
7	70000	-80	2	

SUBSIDE - Vertical soil subsidence

Ple4Win [41936038]: '2070-t=20,72-ACdam-BC4' [21-9-2020;occ.:1]

AX-LP	SUBZMAX	UNCF	LENGTH	SINESHape
mm	mm		mm	
1	52500	-80	2	35000 Left

LOCASE - Loading combinations

Ple4Win [41936038]: '2070-t=20,72-ACdam-BC4' [21-9-2020;occ.:1]

IDENT	GLOADF	PRESS-F	T-DIF-F	DEADW-F	SETL-F	NODAL-F	ELBND-F	WAVC-F
2	BC4	1	1,15	1,1	1,1	1,1	0	0

DISPLAC - Displacements (loadcase bc4 g-nl/m-lin i...

Ple4Win [41936038]: '2070-t=20,72-ACdam-BC4' [21-9-2020;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	-2,062915	-5,259E-09	-8,584E-2	0.	2,131E-11	1,764E-11	-2,062915	0.	8,584E-2	270
65	65	-641064	-1,653E-02	-5,928E-2	3,339E-08	-2,502E-05	1,317E-06	-641066	3,344E-08	6,152E-2	254
67	67	-608983	-1,568E-02	-4,683E-2	3,316E-08	-1,457E-05	9,309E-06	-608984	3,324E-08	4,937E-2	251
69	69	-577454	-8,547E-03	-4,250E-2	3,246E-08	1,550E-05	2,963E-05	-577454	3,262E-08	4,336E-2	259
75	75	-485924	1,291E-01	-2,351E-1	1,663E-08	3,242E-04	1,734E-04	-485826	1,852E-08	2,684E-1	299
85	85	-356317	6,511E-01	-1,622E+0	-5,498E-07	2,727E-03	3,522E-04	-351671	-5,529E-07	1,749E+0	292
123	123	.018158	7,931E+00	-4,464E+1	5,993E-07	6,650E-03	1,202E-03	.325118	6,060E-07	4,534E+1	280
126	126	.039238	8,838E+00	-4,965E+1	6,025E-07	6,686E-03	1,209E-03	.382205	6,033E-07	5,043E+1	280
147	147	.145345	1,540E+01	-8,815E+1	3,723E-07	7,891E-03	1,377E-03	.862531	3,766E-07	8,948E+1	280
231	231	1,071394	3,086E+01	-1,769E+2	7,694E-09	1,142E-04	6,553E-05	1,093178	7,727E-09	1,795E+2	280
232	232	1,071394	3,086E+01	-1,769E+2	-3,449E-12	-6,810E-05	-3,093E-05	1,058042	-3,729E-12	1,795E+2	280
294	294	2,584416	3,080E+01	-1,767E+2	0.	-1,400E-07	-6,371E-08	2,584389	0.	1,794E+2	280

DISPJNT - Displacements in joints (loadcase bc4 g-nl...

Ple4Win [41936038]: '2070-t=20,72-ACdam-BC4' [21-9-2020;occ.:1]

ELEM	EFFECT	dU-x	dU-yz	dPHI-x	dPHI-yz	THETA-dis	
		mm	mm	°	°	°	
1	21		0.	1,497E-15	.00	129,6	
4	84		0.	-4,853E-06	.11	93,2	
5	105		-4,663E-15	0.	-1,186E-05	.09	94,3
6	126		-1,003E-14	2,125E-14	-9,547E-06	.05	93,7
7	147		5,663E-15	1,437E-14	-1,033E-06	.00	311,4

DISPJNT - Displacements in joints (loadcase bc4 g-nl... Ple4Win [41936038]: '2070-t=20,72-ACdam-BC4' [21-9-2020;occ.:1]

ELEM	EFFECT	dU-x	dU-yz	dPHI-x	dPHI-yz	THETA-dis
		mm	mm	°	°	°
9	189	1,130E-15	3,035E-14	1,400E-05	.14	277,1
10	210	1,277E-15	3,352E-14	-9,196E-08	.15	276,2

RDPLMAX - Maximum radial deformations (loadcase bc4... Ple4Win [41936038]: '2070-t=20,72-ACdam-BC4' [21-9-2020;occ.:1]

ELEM	WGROUND-M	WBEND-M	W+WD/D-M	WTOTAL-M	RG/KLG-M	KLG-M	AX_BUCKL-M	EXT_PRESS-M
	mm	mm	%	mm	mm	N/mm ³	% critical	% critical
1	1	-1,398		-0,7	.1403			0
73	76	-1,592		-0,8	.1561			.0
81	85	-1,123		-0,6	.1178			.0
92	96	-1,503		-0,8	.1530			.2

CSTRMAX - Maximum check stresses (loadcase bc4 we... Ple4Win [41936038]: '2070-t=20,72-ACdam-BC4' [21-9-2020;occ.:1]

ELEM	MOHR1-M	MOHR2-M	TRESCA-M	MISES-M	SXHT-M	SFHT-M	SHOOP-M
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
1	1	4,180	-1,786	2,090	3,637	-1,786	4,180
73	76	4,630	-5,253	2,900	5,313	-5,252	4,630
81	85	3,551	-3,378	2,090	3,904	-3,378	3,551
92	96	4,279	-5,991	3,293	5,786	-5,990	4,279
207	217	4,041	-3,087	2,020	3,855	-3,087	4,041
280	293	4,140	-1,757	2,070	3,603	-1,757	4,140

MSTRMAX - Maximum principal stresses (loadcase bc4 ... Ple4Win [41936038]: '2070-t=20,72-ACdam-BC4' [21-9-2020;occ.:1]

ELEM	SIG1-M	SIG2-M	TAUIMAX-M	SIG01-M	SIG02-M	TAUOMAX-M
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
73	76	9,260	-3,826	5,215	6,541	-5,256
81	85	7,101	-2,916	3,866	5,414	-3,378
90	94	8,112	-4,587	5,317	6,580	-5,951
91	95	8,102	-4,588	5,316	6,575	-5,953
92	96	8,558	-4,587	5,426	6,474	-5,991
93	97	8,904	-4,397	5,443	6,377	-5,863
207	217	8,082	-2,827	3,839	5,917	-3,103
280	293	8,281	-1,486	3,280	6,015	-3,311

STATUS - Program status summary Ple4Win [41936038]: '2070-t=20,72-ACdam-BC4' [occ.:0]

PROPERTY	VALUE
Program	Ple4Win
Version	V4.6.1.20020
License	41936038 [CmDongle 2-1595724]
Modules included	KSAGNLF0ERCYWT1T8QOVMJUZX0HX1IPD
Project name	ACdam
Project location & filename	\\RKCSERVER\Team-DC\PL 515 ACdam\Berekeningen\2070-t=20,72-
Project description	Berekening AC waterleiding ter plaatse van de Nieuwendam met gereedu
Analysis type	General
Project phase	Initial
Project parent	---
Secondary project	---
Units	Millimeter, Newton, Second
Separators	Thousands: '.'Decimal: ''
Bend angle	Infinite
Geometry model	Non-linear
Section model	Non-ovalising
Material model	Linear
Soil ring-stiffening	Ignored
Soil model	Standard
Ovalisation redistribution	Allowed
Loading redistribution	Applied
Notices table	2 items (warnings, informational messages, messages, debug message)
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 joints [PIPES] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified

STATUS - Program status summary		Ple4Win [41936038]: '2070-t=20,72-ACdam-BC4' [occ.:0]
PROPERTY	VALUE	
	Ground level [G-LEVEL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Polygon point data [SHAPEP] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Bend location data [SHAPEB] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Polygon subdivision data [LENGTH] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Nodes [NODES] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Elements of pipeline [ELEMNTS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Vertical profile data [PROFILE] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Identification names [IDENTS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Element/node groups [AVGRPS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
3.1 Pipe Data (occurrence 1)	Material location [MATL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Isotropic materials [ISTROP] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Outer diameter [DIAM] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Wall thicknesses [WALL] (status 'Locked Data', occurrence 2, last modified 21-9-2017)	
	Deadweight [DEADW] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Pipe material data [PIPEMAT] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Pipe dimension data [PIPEDIM] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
3.2 Soil Data (occurrence 1)	Horizontal soil stiffness [KLH] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Downward vertical soil stiffness [KLS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Upward vertical soil stiffness [KLT] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Pipe-soil friction [F] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Displacement at max. soil friction [UF] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Sub-soil bearing capacity [RVS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Ultimate top-soil reaction [RVT] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Ultimate hor. soil reaction [RH] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Uncertainty factors [UNCER] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Lateral soil mechanical data [LATSOIL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Pipe-soil friction data [AXSOIL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
3.3 Model Boundary (occurrence 1)	Start/end nodes boundary conditions [ENDPTS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Joint characteristics [JOINTS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Conditions along pipe axis [CONDI] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Joint characteristics [J-SDATA] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
4.2 Pipeline Loading (occurrence 1)	Internal overpressure [PRESS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Temperature differences [TEMP] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Soil displacement in Y-direction [SETY] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Soil displacement in Z-direction [SETZ] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Vertical soil subsidence [SUBSIDE] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Specified pipeline loads [LOADATA] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
5 Pipeline Behaviour (occurrence 1)	Loading combinations [LOCASE] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Non-linear elastic soil iteration control [SOILCTL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Geometrically non-linear iteration control [GEOMCTL] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Displacements [DISPLAC] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Overall internal forces [INTFOR] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Overall soil reaction forces [SOILREA] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Global node coordinates of displaced pipeline [DISCOOR] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Displacements in joints [DISPJNT] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Iteration data [ITMON] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Iteration check list [ITCHECS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Specified loads active on elements [E-LOAD] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Applied settlement loads [S-LOAD] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
6.1 Cross-Section Data (occurrence 1)	Neutral or real top-soil load [SOILNB] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Soil support angle functions [SUPANG] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Cross-sectional data [CROSDAT] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Deformation redistribution (soil loads) [W-REDIS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
6.2 Cross-Section Behaviour (General, Material Linear) (occurrence 1)	Cross-sections to be calculated [SECTION] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Weighing factors stress components [SWEIGH] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	General cross-sectional data [CSGEN] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Cross-sectional loading data [CSLOAD] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Weighing multiplication factors [CSWEIGH] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Maximum radial deformations [RDPLMAX] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Maximum check stresses [CSTRMAX] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Maximum stresses in straight pipe sections [PSTRMAX] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Maximum stresses in bends [BSTRMAX] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Maximum stresses (lateral loadings) [RSTRMAX] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Maximum total stresses [TSTRMAX] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Maximum principal stresses [MSTRMAX] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Detailed radial deformations [RDISPLC] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Detailed check stresses [CSTRESS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Detailed stresses in straight pipe sections [PSTRESS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Detailed stresses in bends [BSTRESS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Detailed stresses (lateral loadings) [RSTRESS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Detailed total stresses [TSTRESS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	
	Detailed principal stresses [MSTRESS] (status 'Locked Data', occurrence 1, last modified 21-9-2017)	

NOTICES - Project notices (errors, warnings & messages)

Ple4Win [41936038]: '2070-t=20,72-ACdam-BC4' [occ.:0]

DF	IDENT	MESSAGE
1	DF 3.1	W310/1 Small diameter/wallthickness ratio
2	DF 3.2	W320/6 Sub > hor > top not satisfied

I Faalkans leidingfalen: analyse door KWR

Rapport KWR 2019.085 uit 14 okt 2019

Faalkansbepaling 300 mm AC leiding N247 Monnickendam

KWR 2019.085

Datum

14 oktober 2019

Opdrachtgever

Deltares

Meer informatie

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

T 030 6069 758

E ralph.beuken@kwrwater.nl

Auteur(s)

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

ing. G.A.M. (George) Mesman (KWR/PWN)

ir. A. (Andreas) Moerman (KWR)

B. (Bram) Hillebrand MSc (KWR)

Opdrachtnummer

403055

Kwaliteitsborger(s)

dr. P. (Peter) van Thienen

Projectmanager

ir. A. (Andreas) Moerman

Pagina

1/16

Samenvatting

Deltares voert een integrale faalkansanalyse uit voor een waterkering nabij de N247 te Monnickendam. In de betreffende waterkering ligt een asbestcement (AC) leiding met een diameter van 300 mm die beheerd wordt door drinkwaterbedrijf PWN. Wanneer een waterleiding in een waterkering ligt, kan het optreden van een lekkage aan deze waterleiding leiden tot het (deels) bezwijken van de waterkering. Om een integrale faalkansanalyse uit te kunnen voeren, is het daarom noodzakelijk om een beeld te hebben van de kans op falen van de betreffende AC300 leiding die in deze waterkering ligt.

Voor het uitvoeren van de integrale faalkansanalyse is het onderscheid tussen een 'gapend' en een 'sluipend' lek van belang. Deze typen lekkages leiden grondmechanisch gezien namelijk tot verschillende bezwijkmechanismen. KWR heeft op basis van USTORE-gegevens een berekening gemaakt van de storingsfrequentie van het cohort leidingen waartoe de betreffende AC300 leiding nabij Monnickendam behoort. In de USTORE-registratie wordt geen onderscheid gemaakt tussen een gapend en een sluipend lek. Wel wordt de verschijningsvorm van een lekkage aangegeven. Op basis van expertkennis en gestaafd met interviews met waterleidingbeheerders is aangegeven voor welke verschijningsvorm mag worden aangenomen dat deze overeenkomt met een sluipend lek en welke voor een gapend lek. Uit de onderzochte literatuur volgen geen bruikbare methoden om uitspraken te doen over eventuele achtergrondlekkage.

Uit de storingsfrequentieberekening volgen storingsfrequenties variërend van 0,0050 tot 0,0088 storings per km leiding per jaar (excl. externe oorzaken)¹ en van 0,0064 tot 0,0106 storings per km leiding per jaar (incl. externe oorzaken)¹ voor gapende lekken. Voor sluipende lekken variëren de storingsfrequenties van 0,0086 tot 0,0152 storings per km leiding per jaar (excl. externe oorzaken)¹ en van 0,0116 tot 0,0192 storings per km leiding per jaar (incl. externe oorzaken)¹. Deze storingsfrequenties zijn bepaald voor het leidingcohort met diameterklasse 290 – 310 mm een aanlegjaar > 1970. Bij een externe oorzaak is er sprake van een storing die aanwijsbaar door een

¹ De spreiding is gelijk aan het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de berekende storingsfrequentie.

derde partij veroorzaakt is. Meestal betreft dit graafschade. Bovenstaande storingsfrequenties worden als representatief beschouwd voor de AC300 leiding te Monnickendam.

Een kopie van dit rapport is verzonden naar PWN.

Inhoud

Samenvatting	1
1 Inleiding	4
2 Methode	4
2.1 Inleiding	4
2.1.1 Definities gapende en sluipende lekken	4
2.1.2 Gegevensbronnen	4
2.2 USTORE	5
2.2.1 Inleiding en faalkansbepaling	5
2.2.2 Vertaling grondmechanische lekdefinities naar leidingbreuktypen	6
2.2.3 Classificatie gapende en sluipende lekken in USTORE	6
2.3 Interviews	7
2.4 Literatuur	8
2.5 Toepassing uitkomsten	8
3 Resultaten	9
3.1 USTORE	9
3.2 Aanvullende informatie uit interviews	11
3.3 Aanvullende informatie uit literatuur	12
3.4 Beschouwing omstandigheden AC300 leiding Monnickendam	13
4 Conclusies	14
5 Referenties	15
I Storingsfrequenties aanliggende leidingcohorten	16

1 Inleiding

Deltares voert voor een waterkering nabij de N247 te Monnickendam een integrale faalkansanalyse uit. In de betreffende waterkering ligt een AC leiding met een diameter van 300 mm die beheerd wordt door drinkwaterbedrijf PWN. Wanneer een waterleiding in een waterkering ligt, kan het optreden van een lekkage aan deze waterleiding leiden tot het (deels) bezwijken van de waterkering. Om een integrale faalkansanalyse uit te kunnen voeren, is het noodzakelijk om een beeld te hebben van de kans op falen van de betreffende AC300 leiding die in deze waterkering ligt.

Het doel van dit project is het geven van een onderbouwde schatting van de faalkans (voorkomen per jaar) van de AC300 leiding in de waterkering nabij de N247 te Monnickendam. Hiervoor zijn verschillende bronnen gebruikt die in hoofdstuk 2 beschreven zijn. De hoofdstukken 3 en 4 beschrijven respectievelijk de resultaten en conclusies van deze studie.

Op verzoek van Deltares is een analyse gemaakt van aanliggende diametercohorten, zie Bijlage 1.

2 Methode

2.1 Inleiding

2.1.1 Definities gapende en sluipende lekken

Bij het falen van een (drink)waterleiding in een dijklichaam maakt Deltares onderscheid tussen een “gapend lek” en een “sluipend lek”. Deltares definieert deze vormen van falen als volgt:

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

Voor de integrale faalkansanalyse van Deltares wordt het onderscheid tussen deze twee vormen van falen bepaald door grondmechanische effecten van een leidinglekkage. Om te komen tot een uitspraak voor een faalkans van de AC300 leiding (gecategoriseerd naar deze twee typen lekkages) is het noodzakelijk om de grondmechanische definities van Deltares te vertalen naar definities die bruikbaar zijn in deze studie. Bruikbaar wil hierbij zeggen dat op basis van informatie over storingen en kennis van leidingmechanica bepaald kan worden in hoeverre een geregistreerde storing aangemerkt kan worden als was het een gapend of een sluipend lek. Deze bepaling is niet bewezen eenduidig. Dat wil zeggen dat een specifieke gerapporteerde verschijningsvorm van leidingfalen (bijvoorbeeld een rondbreuk) niet in alle gevallen óf tot een sluipend óf tot een gapend lek zal leiden. In de volgende paragraaf wordt de categorisering naar gapend en sluipend zoals toegepast in deze studie verder toegelicht.

2.1.2 Gegevensbronnen

Om te komen tot een onderbouwde inschatting van de faalkans (voorkomen per jaar) van de AC300 leiding in de waterkering nabij de N247 te Monnickendam is gebruik gemaakt van drie soorten gegevensbronnen:

- statistische gegevens van storingen van AC300 leidingen;
- kennis van experts bij drinkwaterbedrijven en KWR;
- gegevens uit eventueel beschikbare literatuur (voor zover relevant voor de situatie van de AC300 leiding in de waterkering nabij de N247 te Monnickendam).

Deze drie gegevensbronnen worden in de paragrafen §2.2, §2.3 en §2.4 nader toegelicht.

2.2 USTORE

2.2.1 Inleiding en faalkansbepaling

KWR heeft in 2009 in samenwerking met de drinkwaterbedrijven USTORE opgezet. USTORE is een samenwerkingsprogramma waarbij drinkwaterbedrijven kennis, ervaringen en data uitwisselen over de registratie van storingen van (drink)waterleidingen. Voor het uitwisselen van data wordt daarbij gebruik gemaakt van een centrale server, database en een webapplicatie ('USTOREweb') waarmee drinkwaterbedrijven storingen centraal kunnen registreren. In dit kader duidt het begrip storing op het optreden van een lekkage. Aan het USTORE-programma nemen thans acht drinkwaterbedrijven deel [1]. Inmiddels bevat USTORE meer dan 23.000 storingen die op uniforme wijze verzameld en geregistreerd zijn. In USTORE worden gegevens over verschillende aspecten van een storing opgeslagen:

- datum en locatie (x,y-coördinaten) van optreden;
- eigenschappen van de leiding waarop de storing optrad (diameter, materiaal, aanlegjaar, wanddikte, in- en uitwendige bescherming, kathodische bescherming, etc.);
- storend onderdeel (buis, verbinding, hulpstuk, reparatieklem) en de wijze waarop dit onderdeel stoort ('verschijningsvorm') dat het breuktype omschrijft;
- oorzaak van de storing (extern, interne bedrijfsvoering, spontaan);
- specifieke liggingsomstandigheden die (nog niet geheel dekkend) beschikbaar zijn in andere gegevensbronnen (zoals de Basisregistratie Grootchalige Topografie), zoals de evt. aanwezigheid van verkeersdrempels in de nabijheid van de storingslocatie.

Naast gegevens van storingen zijn in USTORE gegevens van leidingen opgenomen, zodat voor een groep leidingen die een selectie van eigenschappen delen (cohort) een storingsfrequentie berekend kan worden in aantal storingen per km leiding per jaar. De hiervoor gebruikte methode, inclusief de bepaling van een betrouwbaarheidsinterval² over de berekende storingsfrequentie is beschreven in de Praktijkcode Drinkwater (PCD) nr. 9 'Uniforme Storingsregistratie' [2]. Voor de faalkansbepaling van de AC300 leiding is het volgende cohort gedefinieerd:

- materiaal: AC;
- diameterklasse: 290 – 310 mm.

Binnen dit cohort zijn de verscheidenheid naar storend onderdeel, vorm van falen en oorzaak beschouwd. Voor het onderscheid in oorzaak zijn voor deze studie twee groepen storingen gedefinieerd:

- alle storingen (spontaan, veroorzaakt door interne bedrijfsvoering, veroorzaakt door externen);
- alle storingen exclusief externe oorzaken (spontaan, veroorzaakt door interne bedrijfsvoering).

² Voor de bepaling van het betrouwbaarheidsinterval wordt de aanname gedaan dat het aantal storingen voor een cohort Poissonverdeeld is.

Spontaan wil hierbij zeggen dat er geen aanwijsbare reden is om aan te nemen dat de storing veroorzaakt is door derden (als gevolg van graafwerkzaamheden) of de interne bedrijfsvoering (bijv. een geïnitieerde drukschommeling of aanlegfout).

Voor de uitvoering van deze studie zijn gegevens uit USTORE gebruikt met als onttrekkingsdatum 29 januari 2018. Hiervoor is gekozen omdat na deze datum een nieuw USTORE-informatiemodel geïmplementeerd is. Deze implementatie is bij de drinkwaterbedrijven nog niet geheel voltooid, waardoor de gegevens die na januari 2018 geüpload zijn nog niet (altijd) compleet zijn.

2.2.2 Vertaling grondmechanische lekdefinities naar leidingbreuktypen

Onderscheid wordt voor de hier beschreven toepassing gemaakt in het (al dan niet) zichtbaar en detecteerbaar zijn van een lek. Een gapend lek wordt gezien in het tracé (ontgroning, wegverzakking, plassen boven het lek, etc.); een sluipend lek is niet direct zichtbaar en zonder hulpmiddelen ook niet te detecteren. Detectie van een sluipend lek is mogelijk met lekzoekapparatuur of langdurige of toevallige waarneming (voorbeelden: gras blijft lokaal groen in periode van droogte, sneeuw smelt lokaal weg).

De grootte van een lek is gerelateerd aan een gapend of sluipend lek (volgens de definitie van Deltares, §2.1.1) maar niet in absolute zin. De mate van samenhang tussen (a) de grootte van een lek en (b) het feit of een lek als sluipend of gapend beschouwd kan worden, hangt sterk samen met de grondslag en/of de plaats van de leiding in het profiel. De verzadiging van de grond die noodzakelijk is om het lek zichtbaar te laten worden, is sterk afhankelijk van de grondsoort. Ook het oppervlak speelt een rol: in grasland is detectie moeilijker dan in een bestrate omgeving. Onder een bodembedekking zoals asfalt zal dit weer anders zijn. Er wordt in de USTORE registratie niet aangegeven of er sprake is van een ontgroning. Om die reden is er geen cijfermatige relatie te leggen tussen de verschijningsvorm van een storing en het optreden van een sluipend of een gapend lek. Deze is derhalve op expertbasis ingevuld.

De locatie van een lek in de leiding speelt ook een rol. Een lekkend afdichtingsrubber door een langzame aantasting van natuurrubber is langdurig sluipend. Het begint met een volumestroom van bijna nul en eindigt met detectie (na meldingen uit het veld of actief, wanneer over een bepaald tracé bewezen is dat daar een lekkage plaatsvindt). Lekken ten gevolge van verplaatsing van de buis uit de mof (d.w.z. een uitschuivende spie-mofverbinding) gedragen zich als lekkende afdichtingsrubbers. Een langsbreuk of scherfbreuk levert in de meeste gevallen een hoge volumestroom op, waardoor een lek snel gedetecteerd zal worden. Dergelijke lekken kunnen bijna altijd aangemerkt worden als gapende lekken. Een rondbreuk of mofbreuk kan voor grotere diameters zowel tot een gapend als tot een sluipend lek leiden.

In deze studie worden voor gapende en sluipende lekkages van drinkwaterleidingen drie situaties onderscheiden:

- a. Gapende lekken. Deze zullen altijd ontdekt en geregistreerd worden.
- b. Sluipende lekken die (door lekprogressie) na een bepaalde tijd ontdekt en geregistreerd worden.
- c. Sluipende lekken die vrijwel niet toenemen in volumestroom (geen lekprogressie) en daardoor niet ontdekt worden (achtergrondverlies).

2.2.3 Classificatie gapende en sluipende lekken in USTORE





In USTORE worden voor elke geregistreerde storing alleen kenmerken geregistreerd van de betreffende leiding waarop de storing plaatsgevonden heeft. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen storingen op verbindingen, storingen op buisdelen en storingen op reparatieklemmen. Voor storingen op buisdelen en verbindingen wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende zogenaamde 'verschijningsvormen'; dit betreft wijze waarop de storing zichtbaar is [2]. Om te komen tot een inschatting van de faalkans voor sluipende en gapende lekkages zijn de

verschijningsvormen die in USTORE worden geregistreerd ingedeeld in twee groepen (Tabel 2-1). Zoals aangegeven in §2.2.2 zal deze indeling in de praktijk niet altijd opgaan. Deze indeling geeft, op basis van beschikbare gegevens, het best mogelijk beeld van het optreden van de typen lekkage ‘gapend’ en ‘sluipend’. De indeling is getoetst op basis van de interviews met vier experts van drinkwaterbedrijven (§2.3). Bij een rondbreuk en een gescheurde verbinding kan afhankelijk van de gatgrootte en de ondergrond zowel een gapend als een sluipend lek optreden.

Tabel 2-1 Verschijningsvormen van storingen zoals oorspronkelijk³ geregistreerd in USTORE.

Storingscode	Storend object	Betekenis	Gapend lek	Sluipend lek
BUIS LENGTES	Buisdeel	Lengtescheur	x	
BUIS_PUNTLEK	Buisdeel	Puntlek		x
BUIS_RONDBR	Buisdeel	Rondbreuk	x	x
BUIS_SCHERF	Buisdeel	Scherfbreuk	x	
BUIS_AND	Buisdeel	Anders		x
VERB_RINGFL	Verbinding	Lekkage op flensverbinding		x
VERB_RUB	Verbinding	Lekkage op rubberring		x
VERB_SCHEUR	Verbinding	Verbinding (mof of body) gescheurd	x	x
VERB_SCHUIF	Verbinding	Verbinding is uit elkaar geschoven (mof uit spie geschoven)		x
VERB_AND	Verbinding	Anders		x
REPAR	Reparatieklem			x

Voor het ondersteunen van monteurs bij de registratie van storingen aan buisdelen zijn de vier typische verschijningsvormen weergegeven in Figuur 2-1.

Puntlek		Klein gat of scheurtje in buis van PVC, PE, Staal of gietijzer
Rondbreuk		Scheur haaks op de lengte-as van de buis, (gedeeltelijk) rondom
Scherfbreuk		Gat door scheur in wand; scherf ontstaan
Lengtescheur		Scheur / breuk in lengterichting van buis
Anders, namelijk...		

Figuur 2-1. Verschijningsvormen van storingen op buisdelen.

2.3 Interviews

Naast het gebruik van USTORE-gegevens zijn experts van vier drinkwaterbedrijven (niet PWN) geïnterviewd met als doel een beeld te verkrijgen van praktijkervaringen over het voorkomen, de omstandigheden en het opsporen van lekken in grotere AC leidingen. Daarnaast zijn deze interviews belangrijk voor de toetsing van het onderscheid

³ Begin 2019 is USTORE overgegaan op een nieuw informatiemodel; de storingscodes zoals hier weergegeven in Tabel 2-1 betreffen de storingscodes die tot 1 januari 2019 in gebruik waren.

tussen gapende en sluipende lekken (Tabel 2-1). Drinkwaterbedrijf PWN heeft kenmerken van de betreffende AC300 leiding aangeleverd. De vier drinkwaterbedrijven die gevraagd zijn om expertise in te brengen zijn geselecteerd op basis van de mate van relevantie voor het onderwerp van deze studie. Dit betekent dat bedrijven geraadpleegd zijn die (in meer- of mindere mate) AC300 leidingen in beheer hebben en die ervaring hebben met storingen op dergelijke leidingen. De geraadpleegde bedrijven zijn verspreid gesitueerd over Nederland. Tijdens deze interviews zijn de volgende onderwerpen/vragen besproken:

- Welke voorbeelden zijn te geven van leidingbreuken in grotere asbestcement leidingen (≥ 200 mm)? Is het mogelijk een schatting te geven in welke fractie van de gevallen er sprake is van ontgroning en in welke fractie van verzadiging van de ondergrond bij falen?
- Kennen jullie voorbeelden van AC leidingen waar sprake is van een ontwikkeling van een kleinere naar een grotere scheur gedurende langere tijd? Dit is te zien door bijvoorbeeld ingegroeide boomwortels door het lek of erosiesporen op de buiswand naast het lek. Voor welk aandeel van het aantal storingen is sprake van een dergelijke langzame scheurontwikkeling?
- Ken je voorbeelden van leidingen (niet alleen AC) die storen in dijklichamen? Tot wat voor schade leidt dat (ontgroning, verzakking, bezwijken dijk etc.)?
- Wordt een reparatie middels een reparatieklem beschouwd als een tijdelijke of definitieve oplossing? En in hoeverre is dit afhankelijk van de situatie? Dit kan relevant zijn als een reparatieklem leidt tot vervolgschade.
- Heb je ervaring met leidingen die storen nadat een reparatieklem is aangebracht? Was er dan sprake van een zich ontwikkelende scheur (met name langsscheur) of een herhalingsstoring door bijvoorbeeld een verkeerd aangebrachte klem of verzakking als gevolg van graven?
- Welk deel van de storingen (lekken) in het leidingnet wordt gevonden na melding (door het publiek) en welk deel wordt gevonden na een lekzoekactie (die bijv. ingezet worden na uitkomsten van een waterbalans)?
- Hebben jullie ervaringen met detectie van lekken die bij normale bedrijfsvoering niet detecteerbaar zijn maar we met technieken voor lekdetectie zoals leaknoise correlators of smartballs?

2.4 Literatuur

Als aanvulling op de meetgegevens uit USTORE en praktijkervaringen van experts bij drinkwaterbedrijven is een snelle scan uitgevoerd om te onderzoeken of er in de literatuur gegevens beschikbaar zijn over sluipende lekken die representatief kunnen zijn voor de faalkansbepaling van de betreffende AC300 leiding.

2.5 Toepassing uitkomsten

Met de methode beschreven in §2.2 is een storingsfrequentie berekend voor het leidingcohort 'AC, diameterklasse 290 – 310 mm'. Deze storingsfrequentie is gebruikt als schatting voor de storingsfrequentie van de betreffende AC300 leiding bij Monnickendam. Hierbij is de impliciete aanname gedaan dat het hierboven beschreven leidingcohort representatief is voor de individuele AC300 leiding nabij Monnickendam.

Op basis van kennis uit de praktijk (§2.3) en informatie over de betreffende AC300 leiding (geleverd door PWN) kan een aantal kenmerken genoemd worden die relevant zijn voor de AC300 leiding uit deze studie. Het gaat dan om specifieke informatie (bijv. over de ligging) die, in de huidige USTORE-database, niet bekend is voor elke storing en voor de leidingen. Deze aanvullende informatie heeft een kwalitatief karakter en kan als zodanig niet numeriek verdisconteerd worden in de berekende storingsfrequentie.

3 Resultaten

3.1 USTORE

Voor AC leidingen in het diametercohort 290 – 310 mm zijn in de gebruikte USTORE-dataset 223 storingen beschikbaar. Uit de historie van drinkwaterbedrijven is bekend dat in de periode na 1965 geen natuurrubber ringen toegepast zijn op verbindingen (moffen) in AC leidingen vanwege relatief snelle degradatie van deze natuurrubbers [3]. Leidingen van voor 1965 laten dan ook een hogere storingsfrequentie zien. De AC leiding die in dit onderzoek wordt beschouwd, is in 1979 aangelegd. Voor de storingsanalyse zijn AC leidingen meegenomen die zijn aangelegd na 1970. De storingsfrequentie voor AC leidingen van alle diameters aangelegd na 1970 exclusief storingen door externe oorzaak bedraagt 0,0282 – 0,0310 storingen per km leiding per jaar, inclusief externe oorzaak 0,0364 – 0,0395 storingen per km leiding per jaar. Deze frequenties zijn bepaald op basis van respectievelijk 1774 en 2267 storingen op AC leidingen (van alle diameters).

Toepassing van het filter 'aangelegd na 1970' en 'diameter 290 – 310 mm', resulteert in 65 storingen, waarvan er 15 door externe oorzaak zijn ontstaan en 50 storingen beschouwd kunnen worden als spontaan optredend. Voor deze spontane storingen geldt dat in 32 gevallen sprake was van een storing op een verbinding en in 18 gevallen sprake was van een storing op het buisdeel. Voor de opgetreden storingen waarbij de storing een verbinding betrof, was de verdeling naar type verbinding als volgt:

- niet-trekvast steekverbinding (spie-mof): 17;
- trekvast steekverbinding (spie-mof): 5;
- andere verbinding: 10.

Uit de gerapporteerde oorzaken van falen volgt dat er, naar inschatting van de storingsmonteur ter plaatse, in 23 van de 50 storingen (46%) sprake was van falen door zetting.

In Tabel 3-1 en Tabel 3-2 (beide volgende pagina) is de verdeling van de beschikbare storingen over de verschillende verschijningsvormen weergegeven voor de groepen 'storingen exclusief externe oorzaak' en 'storingen inclusief externe oorzaak'. Dit onderscheid wordt gemaakt om aan te sluiten bij de integrale faalkansanalyse van Deltares waarin rekening gehouden wordt met het feit dat de kans op storing, veroorzaakt door derden, in een dijklichaam beperkt is, omdat er specifieke vergunningen benodigd zijn om op dergelijke locaties te graven.

Tabel 3-1 Aantallen storingen in diameterklasse 290 – 310 mm (met als aanlegjaar 1970 of hoger) naar verschijningsvorm exclusief storingen door externe oorzaak.

Storingscode	Aantal storingen		Gapend lek	Sluipend lek
BUIS_LENGTES	6	12%	x	
BUIS_PUNTLEK	0	0%		x
BUIS_RONDBR	7	14%	x	x
BUIS_SCHERF	1	2%	x	
BUIS_AND	4	8%		x
VERB_RINGFL	3	6%		x
VERB_RUB	3	6%		x
VERB_SCHEUR	11	22%	x	x
VERB_SCHUIF	11	22%		x
VERB_AND	4	8%		x
REPAR	0	0%		x
	50	100%		

Tabel 3-2 Aantallen storingen in diameterklasse 290 – 310 mm (met als aanlegjaar 1970 of hoger) naar verschijningsvorm inclusief storingen door externe oorzaak.

Storingscode	Aantal storingen		Gapend lek	Sluipend lek
BUIS_LENGTES	6	9%	x	
BUIS_PUNTLEK	1	2%		x
BUIS_RONDBR	9	14%	x	x
BUIS_SCHERF	3	5%	x	
BUIS_AND	8	12%		x
VERB_RINGFL	3	5%		x
VERB_RUB	3	5%		x
VERB_SCHEUR	13	20%	x	x
VERB_SCHUIF	12	18%		x
VERB_AND	7	11%		x
REPAR	0	0%		x
	65	100%		

Voor de verschillende lektypen (gapend, sluipend) zijn storingsfrequenties bepaald voor de groepen 'storingen exclusief externe oorzaak' en 'storingen inclusief externe oorzaak' (Tabel 3-3).

Op basis van het aantal geregistreerde storingen en een gekozen 1- α betrouwbaarheidsinterval (in dit geval 95%) kunnen, voor de berekende storingsfrequentie van een willekeurig leidingcohort, een onder- en bovengrens

bepaald worden [2]. De uitkomsten voor gapende en sluipende lekken zijn in Tabel 3-3 weergegeven als ‘schatting onderkant betrouwbaarheidsinterval’ – ‘berekende waarde volgens USTORE’ – ‘schatting bovenkant betrouwbaarheidsinterval’.

In Tabel 3-3 is tevens de gezamenlijke storingsfrequentie weergegeven (som gapend en sluipend lek). Deze som is niet gelijk aan de optelling van de individuele storingsfrequentie, aangezien er voor rondbreuken en verbindingsscheuren zowel een gapend als een sluipend lek kan ontstaan zonder dat er informatie is over de verdeling hiervan. Voorgesteld wordt een conservatieve benadering, waarbij de storingen met deze verschijningsvormen volledig zijn toegekend aan gapende lekken en aan sluipende lekken.

Tabel 3-3 Storingsfrequenties (ondergrens, berekend, bovengrens) voor AC300 leiding bij een betrouwbaarheidsinterval van 95%, bepaald conform de PCD 9:2017 [2].

	Storingsfrequentie excl. externe oorzaken [st/(km.jaar)]	Storingsfrequentie incl. externe oorzaken [st/(km.jaar)]
Gapend lek	0,0050 – 0,0068 – 0,0088	0,0064 – 0,0085 – 0,0106
Sluipend lek	0,0086 – 0,0117 – 0,0152	0,0116 – 0,0153 – 0,0192
Gezamenlijk	0,0100 – 0,0136 – 0,0177	0,0135 – 0,0177 – 0,0223

Op basis van de USTORE analyse en de hier gehanteerde uitgangspunten blijkt dat ongeveer 35% van de lekken als gapend is te karakteriseren en 65% als sluipend.

Om te komen tot een storingsfrequentie met eenheid ‘aantal storingen per jaar’ dienen de frequenties uit Tabel 3-3 vermenigvuldigd te worden met de strekkende lengte van de betreffende leiding (voor zover deze in de waterkering aanwezig is).

3.2 Aanvullende informatie uit interviews

Naar aanleiding van de analyse met USTORE-gegevens is KWR in gesprek gegaan met vier experts van verschillende drinkwaterbedrijven. Uit deze interviews zijn de volgende punten naar voren gekomen:

1. Er bestaat een duidelijk verschil tussen storingen van grotere en kleinere diameters AC leidingen (80 – 150 mm). De kleine diameters hebben meer scherfbreuken in het buisdeel dan de grote diameters (200 – 800 mm). In de grote diameters ontstaan eerder storingen op de verbindingen dan op buisdelen, die vaak veroorzaakt worden door zetting. Storingen in grotere diameters komen veel minder vaak voor dan storingen in kleinere diameters AC leidingen per km leiding.
2. Het grootste deel van de breuken op grotere diameters AC leidingen treedt op als rondbreuk, gescheurde mof of lekkende rubberringen⁴.
3. Het is moeilijk onderscheid te kunnen maken tussen ontgrondingen en verweking van de ondergrond bij schades na lekkages en dit wordt ook niet geregistreerd in USTORE. Dit houdt in dat op basis van

⁴ In oudere AC leidingen (aanlegjaar < 1965) worden vaak natuurrubber ringen aangetroffen. Synthetische rubbers, die na 1965 vaker toegepast zijn, degraderen niet onder normale omstandigheden (transport van drinkwater, schone grond). De betreffende AC300 leiding nabij Nieuwendam is in 1979 aangelegd. Overigens tonen de registratieresultaten aan dat lekkende rubberringen voor dit cohort niet vaak voorkomen.

praktijkervaringen ook geen eenduidig onderscheid gemaakt kan worden tussen een sluipend en een gapend lek.

4. Over algemeen leiden lekkages niet vaak tot een ontgrondingskuil. Langdurige lekken worden bij grotere AC leidingen zeer beperkt waargenomen. Erosie van het materiaal komt soms voor als gevolg van aangetast rubber.
5. Reparatieklemmen worden gebruikt en blijven over het algemeen zitten. Oudere reparatieklemmen geven soms lekkage door corrosie van bouten en moeren. Moderne klemmen lijken geen problemen te geven. In sommige gevallen wordt een geplaatste klem als tijdelijke oplossing gezien en na een bepaalde tijd vervangen door een reparatiestuk. Dit is een indicatie dat de aanwezigheid van een reparatieklem een verhoogde kans geeft op een vervolgbreuk.
6. Aangegeven is dat reparatieklemmen ook worden toegepast op rondbreuken, zonder dat er een ontgrondingskuil was. Men spreekt dan van een niet-wijkende rondbreuk. Om die reden is aangenomen dat een rondbreuk zowel kan leiden tot gapend als tot een sluipend lek (twee kruisjes). Geïnterviewden geven ook aan dat een gescheurde mof kan leiden tot een gapend lek of tot een sluipend lek.
7. Leidingen op BEEL- (Beoordeling Externe Effecten Leidingen) locaties (zoals de betreffende leiding) krijgen extra aandacht. Leidingen op dit soort locaties worden eerder vervangen dan andere leidingen. Afsluiters die grenzen aan secties die overlappen met een BEEL-zone worden preventief onderhouden. Aangegeven wordt dat op BEEL-locaties minder storingen optreden dan op andere locaties.
8. Het vinden van kleine sluipende lekken die normaliter niet worden geconstateerd (achtergrondlekkages) is mogelijk met in-line inspectietechnieken. Dit gebeurt vrijwel alleen in pilots en er is op dit moment geen aanleiding om dergelijke kostbare methoden op grote(re) schaal in te zetten.

3.3 Aanvullende informatie uit literatuur

Naast USTORE-gegevens en kennis van experts is een beknopte literatuurstudie uitgevoerd om te onderzoeken of er methoden beschikbaar zijn om een inschatting te maken van het optreden van sluipende lekken, voor zover deze niet gerapporteerd en geregistreerd worden.

Over het algemeen wordt er verschil gemaakt tussen gerapporteerde breuken (reported bursts), ongerapporteerde breuken (unreported bursts) en achtergrondverliezen (unavoidable background losses) [4]. Achtergrondverliezen worden enkel bij toeval gevonden en zijn het lastigst in te schatten. Samen vormen deze breuken de zogenaamde UARL (unaccounted for Annual Real Losses) [4, 5, 6].

Er zijn, op basis van beschikbare literatuur en standaardwerken, verschillende methoden onderzocht om te bepalen of UARL-waarden uit de literatuur (en dan met name het aandeel sluipende lekken daarin) te vertalen zijn naar een faalkans (storingen per km leiding per jaar) voor de situatie van de AC300 leiding uit deze studie. Het blijkt (binnen de tijdspanne van deze studie) niet mogelijk om te komen tot een rationele en voldoende betrouwbare vertaling van UARL-waarden naar storingsfrequenties. Daarom zal in deze studie uitgegaan worden van de geregistreerde gegevens in USTORE, die de meest betrouwbare schatting kunnen geven van de faalkans van de AC300 leiding bij Monnickendam.

Er zijn lekdetectietechnieken om kleine lekken op te sporen (zie ook laatste constatering uit interviews). Hiervoor zijn bijvoorbeeld Smartballs geschikt, zie <https://puretechltd.com/technology/smartball-leak-detection/>.

3.4 Beschouwing omstandigheden AC300 leiding Monnickendam

PWN heeft aan KWR gegevens verstrekt over de AC300 leiding nabij Monnickendam. Op basis van deze gegevens kan het volgende geconcludeerd worden:

- a. Het drinkwater dat vanaf de jaren zeventig door PWN wordt gedistribueerd is van samenstelling dat er nauwelijks sprake is van inwendige uitloging van de AC leidingen. Uitwendige uitloging komt alleen voor in gebieden met veen. De uitloging van AC leidingen door drinkwater van PWN is dus naar verwachting beperkt geweest gedurende de leeftijd van de betreffende AC leiding [6].
- b. Op het dijklichaam ter plaatse van de AC300 leiding te Monnickendam staan geen bomen. Dit betekent dat een eventuele lekkage van de AC300 leiding door ontworteling tijdens een storm in dit geval niet op kan treden.
- c. Op de betreffende AC300 leiding zijn (voor zover dit het traject in de waterkering nabij Monnickendam betreft) geen reparatieklemmen toegepast. Hierdoor is er geen kans op het optreden van sluipende lekkages als gevolg van corrosie aan een (oudere) reparatieklem.

Voor de beschikbare populatie storingen en leidingen van AC300 leidingen in USTORE is niet bekend of deze (a) (in het verleden) blootgesteld zijn aan agressiever water dan bij PWN of (b) in de buurt van bomen voorkomen. Hierdoor is het niet mogelijk om een eventueel mitigerend effect van bovenstaande punten a en b op de berekende storingsfrequentie numeriek te verdisconteren. Ten aanzien van punt c geldt dat er in de beschouwde populatie storingen geen storingen op reparatiestukken van AC300 leidingen voorkomen (Tabel 3-1, Tabel 3-2). Hierdoor kan, statistisch gezien, niet afgeleid worden in welke mate bovengenoemd punt c tot een lagere faalkans leidt voor de AC300 leiding nabij Monnickendam.

Uit de gerapporteerde oorzaken van falen volgt dat er bij 23 van de 50 storingen (46%) sprake was van falen door zetting (§3.1). Het is, op basis van de op dit moment beschikbare gegevens in USTORE, niet bekend hoeveel AC300 leidingen er precies in zettingsgevoelig gebied liggen. Op voorhand kan echter wel gesteld worden dat dit aandeel beduidend lager zal zijn dan 46%. Dit betekent dat AC300 leidingen in zettingsgevoelig gebieden vaker storen dan leidingen die niet in dergelijk gebied liggen. Wanneer voor de betreffende AC300 leiding bij Monnickendam bekend is of deze (al dan niet) in zettingsgevoelig gebied ligt kan (deels) afgeleid worden of de faalkans in de buurt zal liggen van de in §3.1 berekende ondergrens, gemiddelde of bovengrens (Tabel 3-3).

4 Conclusies

Op basis van USTORE-gegevens en expertkennis van geraadpleegde personen van drinkwaterbedrijven zijn storingsfrequenties bepaald voor verschillende scenario's van lekkages en oorzaken (Tabel 4-1). De uitkomsten voor gapende en sluipende lekken zijn in Tabel 4-1 weergegeven als 'schatting onderkant betrouwbaarheidsinterval' – 'berekende waarde volgens USTORE' – 'schatting bovenkant betrouwbaarheidsinterval'.

Tabel 4-1 Storingsfrequenties (ondergrens, berekend, bovengrens) voor AC300 leiding bij een betrouwbaarheidsinterval van 95%, bepaald conform de PCD 9:2017 [2].

	Storingsfrequentie excl. externe oorzaken [st/(km.jaar)]	Storingsfrequentie incl. externe oorzaken [st/(km.jaar)]
Gapend lek	0,0050 – 0,0068 – 0,0088	0,0064 – 0,0085 – 0,0106
Sluipend lek	0,0086 – 0,0117 – 0,0152	0,0116 – 0,0153 – 0,0192
Gezamenlijk	0,0100 – 0,0136 – 0,0177	0,0135 – 0,0177 – 0,0223

De berekende storingsfrequenties worden als beste schatting voor de AC300 leiding die het onderwerp van deze studie is beschouwd. Om te komen tot een storingsfrequentie met eenheid 'aantal storings per jaar' dienen de frequenties uit Tabel 4-1 vermenigvuldigd te worden met de strekkende lengte van de betreffende leiding (voor zover deze in de waterkering aanwezig is).

5 Referenties

- [1] <https://www.kwrwater.nl/tools-producten/ustore/>
- [2] Beuken, R.H.S. en A. Moerman, Uniforme storingsregistratie (USTORE). Praktijkcode voor het beheer van storingsregistratie van leidingnetten, 2017, KWR, Nieuwegein.
- [3] Beuken, R.H.S. en G.A.M. Mesman. Actualisatie driehoeksverdelingen voor onderbouwing investeringsprognoses leidingen, 2015, KWR, Nieuwegein.
- [4] Farley, M. en S. Trow, Losses in Water Distribution Networks, A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control, 2003, IWA Publishing, London.
- [5] Hamilton, S. , R. McKenzie and C. Seago, A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems, 2006, UK House of Commons, London.
- [6] Sharma, S., Performance Indicators of Water Losses in Distribution Systems, Unesco-IHE Presentatie, 2008, Delft.
- [7] Beuken, R.H.S. en G.A.M. Mesman. Kennissysteem Levensduurbepaling Versie 2.0, 2011, KWR, Nieuwegein.

I Storingsfrequenties aanliggende leidingcohorten

Om een beeld te geven van de afhankelijkheid van de storingsfrequentie voor de geselecteerde diameterklasse (290 – 310 mm) zijn ook storingsfrequenties berekend voor de aanliggende diameterklassen. Het gaat dan om AC leidingen met een diameter van 250 mm (klasse 240 – 260 mm) en 400 mm (klasse 390 – 410 mm). De resultaten hiervan zijn weergegeven in Tabel I-1.

Tabel I-1 Storingsfrequenties (ondergrens, berekend, bovengrens) voor AC250, AC300 en AC350 leidingen bij een betrouwbaarheidsinterval van 95%, bepaald conform de PCD 9:2017 [2].

Diameterklasse	Lektype	Storingsfrequentie excl. externe oorzaken [st/(km.jaar)]	Storingsfrequentie incl. externe oorzaken [st/(km.jaar)]
240 – 260 mm	Gapend lek	0,0139 – 0,0177 – 0,0244	0,0161 – 0,0202 – 0,0272
290 – 310 mm	Gapend lek	0,0050 – 0,0068 – 0,0088	0,0064 – 0,0085 – 0,0106
390 – 410 mm	Gapend lek	0,0003 – 0,0009 – 0,0022	0,0004 – 0,0010 – 0,0023
240 – 260 mm	Sluipend lek	0,0173 – 0,0220 – 0,0302	0,0200 – 0,0250 – 0,0337
290 – 310 mm	Sluipend lek	0,0086 – 0,0117 – 0,0152	0,0116 – 0,0153 – 0,0192
390 – 410 mm	Sluipend lek	0,0005 – 0,0015 – 0,0038	0,0007 – 0,0019 – 0,0041
240 – 260 mm	Gezamenlijk	0,0255 – 0,0324 – 0,0445	0,0293 – 0,0366 – 0,0494
290 – 310 mm	Gezamenlijk	0,0100 – 0,0136 – 0,0177	0,0135 – 0,0177 – 0,0223
390 – 410 mm	Gezamenlijk	0,0006 – 0,0018 – 0,0044	0,0008 – 0,0022 – 0,0048

Jaar van publicatie
2019

Meer informatie
ir. R.H.S. (Ralph) Beuken
T 030 6069 758
E ralph.beuken@kwrwater.nl

Keywords

Faalkans, leiding, AC

Groningenhaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR 2019.085 | 14 oktober 2019 ©KWR

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevens bestand, 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.

J Faalkans leidingfalen: Aanvullende analyse door KWR

Rapport KWR 2020.080 uit 16 aug 2020

Aanvulling Faalkansbepaling 300 mm AC leiding N247

KWR 2020.080

Datum

16 augustus 2020

Opdrachtgever

Deltares

Meer informatie

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

T 030 6069 758

E ralph.beuken@kwrwater.nl

Auteur(s)

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

dr. ir. K.A. (Karel) van Laarhoven (KWR)

Opdrachtnummer

403397

Kwaliteitsborger(s)

dr. P. (Peter) van Thienen

Projectmanager

ir. A. (Andreas) Moerman

Pagina

1/14

Samenvatting

In 2019 heeft KWR voor Deltares een project uitgevoerd waarin de integrale faalkans is bepaald voor een AC-drinkwaterleiding parallel aan de N247 bij Nieuwedam, gelegen in Monnickendam. Hiervoor heeft KWR op basis van de USTORE-storingsregistratie een onderbouwing opgesteld van de faalkans voor een asbestcement (AC) leiding met een diameter van 300 mm, zie [1]. De in dit rapport berekende faalkans is weergegeven in Tabel 1-1. Onder externe oorzaak wordt hier verstaan, oorzaken als gevolg van aanwijsbare activiteiten van derden zoals graafwerkzaamheden of extreme verkeerslasten. Grondzettingen vallen niet onder deze categorie. Deze faalkans is berekend met behulp van storingsgegevens van vergelijkbare leidingen (de referentiegroep).

Tabel 1-1 Gemiddelde storingsfrequenties en hun 95% betrouwbaarheidsinterval (ondergrens, berekend, bovengrens) voor AC300 leidingen.

Diameterklasse	Lektype	Storingsfrequentie excl. externe oorzaken [st/(km.jaar)]	Storingsfrequentie incl. externe oorzaken [st/(km.jaar)]
290 – 310 mm	Gapend lek	0,0050 – 0,0068 – 0,0088	0,0064 – 0,0085 – 0,0106
290 – 310 mm	Sluipend lek	0,0086 – 0,0117 – 0,0152	0,0116 – 0,0153 – 0,0192
290 – 310 mm	Gezamenlijk	0,0100 – 0,0136 – 0,0177	0,0135 – 0,0177 – 0,0223

Het project waarvan deze berekening onderdeel uitmaakt, is ingebracht als casestudie in het POV. Het POV heeft verzocht om aanvullende informatie te beschouwen bij de bepaling van de faalkans, te weten informatie over de drinkwaterkwaliteit van PWN en sterkteberekeningen van ingenieursbureau r+k.

Door KWR is bovengenoemde aanvullende informatie geanalyseerd en vergeleken met de gegevens van de referentiegroep, om te onderzoeken of de conditie van de betreffende AC leiding substantieel kan afwijken van die van de referentiegroep. De analyse van de aanvullende informatie laat zien dat deze geen onderbouwing geeft voor aanpassing van de eerder berekende storingsfrequenties.

Inhoud

Samenvatting	1
1 Inleiding	3
2 Eerder berekende faalkans	4
3 Additionele informatie over AC 300	6
3.1 Waterkwaliteitsgegevens	6
3.2 Sterkteberekeningen	6
4 Evaluatie van additionele informatie	8
4.1 Analyse aanpassing storingsfrequentie op basis van waterkwaliteit	8
4.1.1 Inwendige uitloging	8
4.1.2 Nieuwe inzichten in de relatie tussen de pH/SI en inwendige uitloging	9
4.1.3 Verhouding SI en pH nabij Nieuwendam en die van de referentieleidingen	9
4.1.4 Synthese	10
4.2 Analyse aanpassing storingsfrequentie op basis van sterkteberekeningen	11
5 Conclusie en discussie	12
5.1 Conclusie	12
5.2 Discussie over het gebruik van de storingsfrequentie	12
6 Referenties	14

1 Inleiding

Deltares heeft voor een waterkering nabij de N247 nabij Nieuwendam gelegen in Monnickendam een integrale faalkansanalyse uitgevoerd. In de betreffende waterkering ligt een AC leiding met een diameter van 300 mm die wordt beheerd door drinkwaterbedrijf PWN. Wanneer een waterleiding in een waterkering ligt, kan een lekkage/storing van deze waterleiding leiden tot het (deels) bezwijken van de waterkering. Deltares heeft een methodiek ontwikkeld om een integrale faalkans te berekenen van een waterkering waarin zich niet-waterkerende objecten (zoals drinkwaterleidingen) bevinden. Een belangrijke invoerwaarde voor deze analyse is de bepaling van de faalkans (zijnde de kans op een storing) van de in de waterkering gelegen drinkwaterleiding. KWR heeft in 2019 een analyse uitgevoerd om deze faalkans te bepalen [1]. Voor de berekende faalkansen, wordt verwezen naar Tabel 1-1. De faalkans is bepaald op basis van storingsregistraties die de drinkwaterbedrijven verzamelen in het kader van het USTORE-programma [3]. Overigens zijn in deze notitie de begrippen falen, storing en lekkage identiek en vooral afhankelijk van de partij die gegevens aanlevert. Deltares spreekt over het falen van een leiding en over sluipende en gapende lekken. Drinkwaterbedrijven en KWR hebben het in dat geval over een storing.

Met als doel de uitvoering te faciliteren van projecten rondom het versterkingen van waterkeringen en met financiering van het Hoogwaterbeschermingsprogramma, werkt het POV Kabels & Leidingen aan producten, nieuwe kennis en het verbinden van werelden van infrabeheerders. Het POV heeft Deltares gevraagd om de analyse voor bovengenoemde waterkering als casestudy in te brengen in het POV. Daarbij heeft het POV aanvullende vragen gesteld om meer inzicht te krijgen in de eerder berekende integrale faalkans (zie [1]). Aan KWR is gevraagd de eerder gepresenteerde faalkans van de AC-leiding te evalueren en eventueel aan te passen. Deze additionele vragen zijn:

1. In hoeverre heeft de waterkwaliteit in het leidingnet van PWN een positief effect op de inwendige uitlogging en kan dit betekenen dat de faalkans van de betreffende leiding lager is dan eerder berekend?
2. In hoeverre geven locatiespecifieke berekeningen van de spanningen in buisdelen en hoekverdraaiingen van verbindingen aanvullende informatie die het aannemelijk maakt dat de faalkans van de betreffende leiding lager is dan eerder berekend?

De achterliggende vraag hierbij is in hoeverre de groep storende leidingen in USTORE die zijn beschouwd in de bepaling van de faalkans (de zogenaamde referentiegroep) voldoende representatief is voor de leiding bij Nieuwendam. Hiervoor is in [1] een beschouwing gegeven die in voorliggende rapportage verder voor bovenstaande vragen wordt uitgediept.

In hoofdstuk 2 is een korte omschrijving gegeven van de eerder berekende faalkans van de betreffende leiding. In hoofdstuk 3 is de additionele informatie beschreven, alsmede is aangegeven hoe de evaluatie plaatsvond en of aanpassing van de eerder bepaalde faalkans is aan te bevelen. Hoofdstuk 4 is de evaluatie beschreven. Hoofdstuk 5 bevat de conclusie.

2 Eerder berekende faalkans

Voor de berekening van de integrale faalkans van een waterkering heeft Deltares informatie nodig over de kans op optreden van een “gapend lek” en een “sluipend lek”. Deltares definieert deze vormen van falen als volgt:

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

Deze definities hebben betrekking op grondmechanische effecten van een leidinglekkage en sluiten niet aan op de bij USTORE gehanteerde registratiewijze. Om te komen tot een uitspraak voor een faalkans van de AC300 leiding (gecategoriseerd naar deze twee vormen van falen) is het noodzakelijk om de grondmechanische definities van Deltares te vertalen naar begrippen die bruikbaar zijn in deze studie. Voor gapende en sluipende lekkages van drinkwaterleidingen worden drie situaties onderscheiden:

- a. Gapende lekken. Deze zullen altijd ontdekt en geregistreerd worden.
- b. Sluipende lekken die (door lekprogressie) na een bepaalde tijd ontdekt en geregistreerd worden.
- c. Sluipende lekken die vrijwel niet toenemen in volumestroom (geen lekprogressie) en daardoor niet ontdekt worden (achtergrondverlies), behalve bij lekdetectie met hoge gevoeligheid voor kleine lekken.

In USTORE worden voor elke storing kenmerken geregistreerd van de storing en de betreffende leiding. Voor storingen worden zogenaamde verschijningsvormen onderscheiden: de verschillende wijzen waarop een storing kan optreden [3]. Om te komen tot een inschatting van de faalkans voor sluipende en gapende lekkages zijn in [1] de categorieën van verschijningsvormen die in USTORE worden geregistreerd toegeedeeld naar gapende en sluipende lekkages (zie Tabel 2-1). Bij een rondbreuk of een gescheurde verbinding kan, afhankelijk van de gatgrootte en de ondergrond, een gapend lek of een sluipend lek optreden.

Tabel 2-1 Verschijningsvormen van storingen zoals geregistreerd in USTORE, afkomstig uit [1].

Storingscode	Storend object	Betekenis	Gapend lek	Sluipend lek
BUIS LENGTES	Buisdeel	Lengtescheur	x	
BUIS_PUNTLEK	Buisdeel	Puntlek		x
BUIS_RONDBR	Buisdeel	Rondbreuk	x	x
BUIS_SCHERF	Buisdeel	Scherfbreuk	x	
BUIS_AND	Buisdeel	Anders		x
VERB_RINGFL	Verbinding	Lekkage op flensverbinding		x
VERB_RUB	Verbinding	Lekkage op rubberring		x
VERB_SCHEUR	Verbinding	Verbinding (mof of body) gescheurd	x	x
VERB_SCHUIF	Verbinding	Verbinding is uit elkaar geschoven (mof uit spie geschoven)		x
VERB_AND	Verbinding	Anders		x
REPAR	Reparatieklem			x

De basisaanname is dat vergelijkbare leidingen in een vergelijkbare situatie een vergelijkbaar storingsgedrag hebben, en dat daarom de storingsfrequentie van de leiding in Nieuwendijk kan worden afgeleid uit de storingsfrequentie van een referentiegroep van vergelijkbare leidingen. Voor de leiding in Nieuwendam (AC 300 uit 1979) zijn als referentiegroep uit USTORE de leidingen geselecteerd met een inwendige diameter tussen 290 en 310 mm, die zijn aangelegd na 1979. Dit cohort besloeg 65 storingen, waarvan er 50 een spontane oorzaak hadden (niet veroorzaakt door externe partijen). De resultaten van de analyse zijn weergegeven in Tabel 2-2. In deze tabel is de storingsfrequentie weergegeven voor gapende en sluipende lekken, alsmede de gezamenlijke storingsfrequentie. De som van de storingsfrequentie voor gapende en sluipende lekken is niet gelijk aan de gezamenlijke storingsfrequentie, aangezien er voor rondbreuken en verbindingsscheuren zowel een gapend als een sluipend lek kan ontstaan zonder dat er informatie is over de verdeling hiervan. Er is hier een conservatieve benadering voorgesteld, waarbij de storingen met deze verschijningsvormen volledig zijn toegekend respectievelijk aan gapende lekken en aan sluipende lekken.

Op basis van het aantal geregistreerde storingen en een gekozen 1- α betrouwbaarheidsinterval (in dit geval 95%) zijn voor de berekende storingsfrequentie ook een onder- en bovengrens bepaald [3]. De uitkomsten voor gapende en sluipende lekken zijn in Tabel 2-2 weergegeven als 'schatting onderkant betrouwbaarheidsinterval' – 'berekende waarde volgens USTORE' – 'schatting bovenkant betrouwbaarheidsinterval'. Het betrouwbaarheidsinterval is groter naarmate het cohort minder storingen bevat. Voor meer informatie wordt verwezen naar [1] en [2].

Tabel 2-2 Storingsfrequenties (ondergrens, berekend, bovengrens) voor AC300 leidingen bij een betrouwbaarheidsinterval van 95%, bepaald conform de PCD 9:2017 [2].

Diameterklasse	Lektype	Storingsfrequentie excl. externe oorzaken [st/(km.jaar)]	Storingsfrequentie incl. externe oorzaken [st/(km.jaar)]
290 – 310 mm	Gapend lek	0,0050 – 0,0068 – 0,0088	0,0064 – 0,0085 – 0,0106
290 – 310 mm	Sluipend lek	0,0086 – 0,0117 – 0,0152	0,0116 – 0,0153 – 0,0192
290 – 310 mm	Gezamenlijk	0,0100 – 0,0136 – 0,0177	0,0135 – 0,0177 – 0,0223

3 Additionele informatie over AC 300

3.1 Waterkwaliteitsgegevens

De door PWN aangeleverde additionele data betreft metingen van de pH in het leidingnet, zie Tabel 3-1. De achtergrond bij deze gegevens is dat zij aangeven dat gedurende de meetperiode de pH in nabijgelegen monsterpunten het leidingnet zich bevond tussen 8,11 en 8,40. Op basis van een publicatie uit 2003 [4] is de vraag gesteld of gezien deze pH-waarden er inwendige uitloging te verwachten is. Hierbij is al direct de kanttekening te maken dat de meetperiode niet overeenkomst met de levensduur van de leiding.

Tabel 3-1 Aangeleverde informatie van PWN over de pH in het leidingnet nabij Nieuwendam-Monnickendam.

Sampled	Hwl smpt codi	Hwl address	Hwl city	Analysis	Component name	Result text	Ur
9-1-2020	DRA-DN-1444GE	Torenmolen 28	Purmerend	PH-BER	zuurgraad berekend actuele temp	8.37	pH
9-1-2020	DRA-DN-1446CL71	Boekweitstraat 71	Purmerend	PH-BER	zuurgraad berekend actuele temp	8.40	pH
10-1-2020	DRA-DN-1135GE28	Nijverheidstraat 28A	Edam	PH-BER	zuurgraad berekend actuele temp	8.31	pH
10-1-2020	DRA-DN-1441ZP3	Landsmeersstraat 3	Purmerend	PH-BER	zuurgraad berekend actuele temp	8.11	pH
14-1-2020	DRA-DN-1135GM9	Molenwerf 3	Edam	PH-BER	zuurgraad berekend actuele temp	8.26	pH
24-1-2020	DRA-DN-1135KK7	Weidemolen 7	Edam	PH-BER	zuurgraad berekend actuele temp	8.24	pH
30-1-2020	DRA-DN-1135LA6	Zuidpolderlaan 6	Edam	PH-BER	zuurgraad berekend actuele temp	8.28	pH
31-1-2020	DRA-DN-1447KH34	Naardermeer 33	Purmerend	PH-BER	zuurgraad berekend actuele temp	8.27	pH
6-2-2020	DRA-DN-1141BR1	Kloosterstraat 1	Monnickendam	PH-BER	zuurgraad berekend actuele temp	8.27	pH
20-2-2020	DRA-DN-1448MD14	Purmerland 312	Purmerend	PH-BER	zuurgraad berekend actuele temp	8.24	pH
20-2-2020	DRA-DN-1445AAP32	Purmerenderweg 18PA	Purmerend	PH-BER	zuurgraad berekend actuele temp	8.27	pH
20-2-2020	DRA-DN-1447ZW61	Bisschop Romerostraat 108	Purmerend	PH-BER	zuurgraad berekend actuele temp	8.29	pH
20-2-2020	DRA-DN-200802	Kempenland 3	Purmerend	PH-BER	zuurgraad berekend actuele temp	8.28	pH
20-2-2020	DRA-DN-1444GE	Torenmolen 28	Purmerend	PH-BER	zuurgraad berekend actuele temp	8.26	pH
3-3-2020	DRA-DN-1446CL71	Boekweitstraat 48	Purmerend	PH-BER	zuurgraad berekend actuele temp	8.28	pH
13-3-2020	DRA-DN-1135GE28	Nijverheidstraat 28	Edam	PH-BER	zuurgraad berekend actuele temp	8.26	pH
13-3-2020	DRA-DN-1135GM9	Molenwerf 11	Edam	PH-BER	zuurgraad berekend actuele temp	8.26	pH

De hypothese dat een aanpassing op kwalitatieve gronden¹ mogelijk is van de storingsfrequentie van de AC 300 mm leiding bij Nieuwendam op basis van de gemeten pH-waarden en de op metingen gebaseerde SI-waarden (SI staat voor Saturatie-Index) in de omgeving van die leiding is te toetsen volgens de volgende deelvragen:

- 1 In hoeverre is het type leidingen dat hier worden beschouwd (300 mm aangelegd na 1970) de inwendige uitloging een relevante bepalende factor voor de storingsfrequentie?
- 2 Zijn er sinds de publicatie in 2003 nieuwe inzichten over de relatie tussen de pH, SI en inwendige uitloging?
- 3 Hoe verhoudt de SI van de leiding bij Nieuwendam zich tot de SI van de referentiegroep, beschouwd vanaf 1979.

3.2 Sterkteberekeningen

Door ingenieursbureau r+k zijn sterkteberekeningen uitgevoerd [5] om na te gaan of de grondvervormingen als gevolg van werkzaamheden aan de N247 en het bijbehorende dijklichaam een dusdanige impact hebben op de AC leiding dat deze niet meer voldoet aan de eisen zoals gesteld in de NEN 3650 [6]. In [5] is aangegeven dat de wanddikte van deze 300 mm leiding 23 mm bedraagt.

Op grond van de in de aangegeven uitgangspunten en de daarop volgende berekeningsresultaten zijn in [5] de volgende conclusies getrokken:

¹ Hieronder wordt verstaan een uitspraak in de zin van: 'gegeven deze informatie is het te verwachten dat de storingsfrequentie van de betreffende leiding hoger/lager is dan de referentiegroep'.

- 1 “De spanningen in de AC leiding, veroorzaakt door de operationele en de omgevingsbelastingen, voldoen aan de daaraan door de NEN 3650 serie en de Provinciale Pijpleiding Code gestelde eisen.
- 2 De omtrekspanningen, veroorzaakt door de ontwerpdruk, voldoen aan de NEN 3650.
- 3 De verplaatsingen en hoekverdraaiingen in de verbindingen van de AC buis zijn zeer klein waardoor er geen problemen te verwachten zijn bij de buisverbindingen.”
- 4 Omdat de optredende zettingen voor een belangrijk deel bepalen hoe zwaar de leiding belast wordt, is het aan te bevelen om metingen uit te voeren om na te gaan hoe de werkelijke zettingen zich verhouden tot de vooraf bepaalde zettingen.”

Ten aanzien van de eerste conclusie is aangegeven dat de maximaal optredende spanning (in axiale richting) 5,71 N/mm² bedraagt, waarbij een toelaatbare spanning wordt gehanteerd van 10 N/mm².

4 Evaluatie van additionele informatie

4.1 Analyse aanpassing storingsfrequentie op basis van waterkwaliteit

4.1.1 Inwendige uitloging

De storingen die als basis hebben gediend voor de eerdere berekening van de storingsfrequentie zijn opnieuw bekeken op basis van de door de monteur aangegeven storingsoorzaak, zie Tabel 4-1. Dit betreft een kwalitatieve inschatting van de oorzaak ten tijde van de reparatie van de leiding. Hierbij is een latere einddatum van de registratieperiode gehanteerd, waardoor het totaal aantal storingen nu 71 beslaat in plaats van 65 in de eerdere analyse [1]. Hierbij is de storingsoorzaak van PWN vergeleken met die van vijf andere drinkwaterbedrijven waarvoor ook storingen zijn geregistreerd in het zelfde cohort (AC-leidingen, diameter van 290-310 mm en aangelegd na 1970²). In Tabel 4-1 is per bedrijf het totaal aantal storingen in de referentiegroep weergegeven. In USTORE worden de storingen in eerste instantie onderverdeeld in de groepen 'Oorzaak derden' (veroorzaakt door externe oorzaken), 'Oorzaak intern' (veroorzaakt door interne bedrijfsvoering) en 'Oorzaak spontaan' (vermoedelijk veroorzaakt door het falen van de leiding zelf). In Tabel 4-1 is van de groep 'Oorzaak spontaan' een verdere onderverdeling gegeven van de subgroepen 'materiaalaantasting', 'uitwendige belasting' en 'onbekend/niet ingevuld'. Voor een definitie van deze begrippen wordt verwezen naar [2].

Tabel 4-1 Nadere analyse van de storingen AC 300 op basis van oorzaak.

Drinkwaterbedrijf	Totaal aantal storingen	Oorzaak derden	Oorzaak intern	Oorzaak Spontaan	Spontaan Aantasting	Spontaan uitw. bel.	Spontaan onbekend/niet ingevuld
PWN	30	5	2	23	2	19	2
Bedrijf A	16	3		13	1	3	9
Bedrijf B	2	0		2	1		1
Bedrijf C	6	3	1	2		2	
Bedrijf D	15	5		10	5	2	3
Bedrijf E	2	0	1	1			1
Totaal	71	16	4	51	9	26	16

Met oog op de conditie van de leidingen zijn de spontane storingen het meest interessant. Aantasting is een generieke term, die voor AC is te lezen als uitloging. De verhouding storingen veroorzaakt door aantasting versus veroorzaakt door uitwendige belasting is 9: 26. Indien we een conservatieve schatting aanhouden en ervan uitgaan dat alle storingen met een onbekende oorzaak aantasting betreffen, dan is deze verhouding 25:26. Op basis van de constatering van monteurs kan aangenomen worden dat het aandeel AC leidingen dat is bezweken als gevolg van uitloging (aantasting) minimaal 26% bedraagt en maximaal 49%. Hierbij geldt dat uitloging zowel inwendig als uitwendig kan zijn en dat de hier onderzochte vraag, die een relatie heeft met de waterkwaliteit, zich alleen richt op de inwendige uitloging.

² Hoewel de leiding is aangelegd in 1979, zijn voor de referentiegroep AC leidingen geschouwd vanaf 1970.

Opvallend is dat het aandeel spontane storingen als gevolg van aantasting bij PWN relatief laag is, minimaal 9% en maximaal 17%. Dit is te verklaren doordat op grond van registratie van monteurs blijkt dat in de ondergrond bij PWN in het algemeen meer zettingen optreden dan bij de meeste andere bedrijven die in deze vergelijking zijn meegenomen.

Antwoord 1:

De inwendige uitloging lijkt in dit cohort een vrij beperkte bijdrage te leveren aan de storingsfrequentie. Dat is een aanwijzing om te stellen dat de impact van de waterkwaliteit op de storingsfrequentie relatief laag is.

4.1.2 Nieuwe inzichten in de relatie tussen de pH/SI en inwendige uitloging

Het belangrijkste degradatiemechanisme van asbestcementbuizen is uitloging: het geleidelijk oplossen van de cementcomponenten van het leidingmateriaal in het drinkwater en/of het grondwater. In [4] is aangegeven dat er “relaties zijn af te leiden tussen de mate van inwendige uitloging en parameters als de zuurgraad en de verzadigingsindex”. Vervolgens is aangegeven dat er “op basis van de beschikbare gegevens tot dusver is te concluderen dat er een significante relatie bestaat tussen de verzadigingsindex van het water en de mate van uitloging van de inwendige leidingwand”. Deze H2O-publicatie is gebaseerd op BTO-rapport Conditiebepaling asbestcement waterleidingen [7].

De rol van zuren (zoals waterstofcarbonaat en koolzuur in het kalk-koolzuurevenwicht) in het drinkwater in relatie tot versnelde uitloging is een in beperkt aantal publicaties beschreven. In [8], [9] en [10] is aangegeven dat het uitlogen van componenten uit de buiswand volgens een volgorde verloopt die overeenkomt met de steeds lagere pH waarbij opeenvolgende componenten stabiel zijn. In de eerste plaats lost het portlandiet (calciumhydroxide) uit het cement op wanneer de pH onder de $\sim 12,5$ komt. Deze eerste stap in het uitlogingsproces is typisch verantwoordelijk voor het overgrote deel van toename in porositeit en afname in sterkte van cement. De calciumionen in de cementsteen-gel (calciumsilicaathydraten) vormen één van de laatste componenten die uitlogen. De chemische samenstelling van de gel verandert hierdoor geleidelijk, tot uiteindelijk een silicagel zonder bindend vermogen overblijft. Deze stap voltrekt zich bij een pH van ongeveer 10,5 [9]. Dit betekent dat AC in contact met drinkwater dat voldoet aan de eisen in het Drinkwaterbesluit - en dus een pH heeft van 7,5 tot 9,5 - in principe altijd uitloopt. Om uitloging toch tegen te gaan wordt gepoogd het contact tussen leiding en water te verbreken. Door de verzadigingsgraad (SI) van calciumcarbonaat hoog genoeg te houden (Norm in het drinkwaterbesluit: $SI > -0,2$), worden omstandigheden gecreëerd waarin zich een deklaag kan vormen van calciumcarbonaat die de wand kan beschermen. Diverse onderzoeken naar Nederlandse asbestcement drinkwaterleidingen tonen aan dat inwendige uitloging in de regel traag verloopt en dat er een grote spreiding is van de uitloging in een individuele buis én tussen de uitlogingsresultaten van diverse buizen, zie [11, 12, 13 en 14].

Antwoord 2:

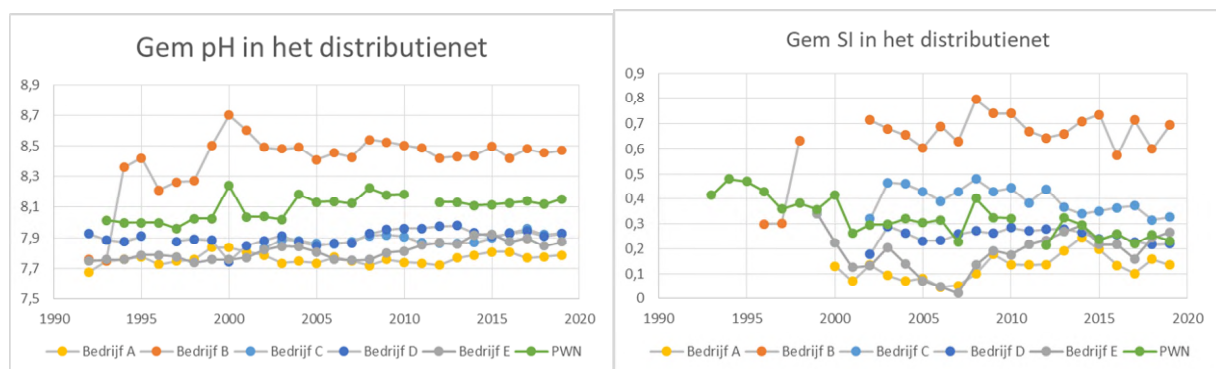
De constatering dat er geen inwendige uitloging optreedt vanwege de gemeten pH-waarden in de nabijheid van de leiding is niet correct.

4.1.3 Verhouding SI en pH nabij Nieuwendam en die van de referentieleidingen

Een lagere pH-waarde en/of een lage SI-waarde hebben een ongunstig effect op inwendige uitloging van AC. In het geval deze waarden bij PWN aanzienlijk gunstiger zijn dan de waarden bij de andere bedrijven van de referentiegroep, dan kan geredeneerd worden dat de storingsfrequentie van de leiding in Nieuwendam lager is dan berekend op basis van de referentiegroep. Hiervoor is het noodzakelijk de waterkwaliteit gedurende de levensduur van de leiding te vergelijken met die van de referentiegroep. Omdat de door PWN aangeleverde gegevens (zie

Tabel 3-1) hiervoor niet voldoen, is gebruik gemaakt van REWAB-gegevens. In de REWAB-database (Registratie Waterkwaliteit Bedrijven) rapporteren drinkwaterbedrijven over de drinkwaterkwaliteit in Nederland.

De geraadpleegde REWAB-data betreft statische kengetallen vanaf 1992 over de gemeten waterkwaliteit afpompstation en in het distributienet per jaar en per locatie. De gemiddelde SI en de pH van de drinkwaterbedrijven met storings in de referentiegroep zijn onderling vergeleken om na te gaan of de waarden van PWN afwijken van die van de overige bedrijven in de referentiegroep. Vanwege de beschikbare tijd zijn deze gemiddelden gebaseerd op de waarden van alle voorzieningsgebieden zonder rekening te houden met de grootte van het voorzieningsgebied. In Figuur 4-1 zijn per drinkwaterbedrijf de jaarwaarden van de pH (links) en SI (rechts) weergegeven als gemiddelden voor meerdere metingen per jaar en voor meerdere distributiegebieden. Er zijn zes bedrijven, waaronder PWN, met storings in de referentiegroep (zie ook Tabel 4-1). Voor wat betreft de gemiddelde pH in het distributienet van PWN, geldt dat deze lager is dan die van Bedrijf B en iets hoger is dan die van de bedrijven A, C, D en E. Voor wat betreft de gemiddelde SI in het distributienet van PWN, geldt dat deze ongeveer overeen komt met het gemiddelde van de overige bedrijven.



Figuur 4-1 pH (links) en SI (rechts) in het distributienet van zes drinkwaterbedrijven. De weergegeven waarden geven per jaar de gemiddelden van meerdere metingen en van meerdere distributiegebieden.

Antwoord 3:

Op grond van de REWAB data is het niet te verwachten dat de waterkwaliteit bij PWN dusdanig afwijkt van die van andere bedrijven, dat de storingsfrequentie die is bepaald op basis van de referentiegroep niet geldig is voor de leiding bij Nieuwendam.

4.1.4 Synthese

Gevraagd is een antwoord te geven op de vraag of de waterkwaliteit in het leidingnet van PWN een positief effect heeft op de inwendige uitloging en of dit kan betekenen dat de storingsfrequentie van de betreffende leiding lager is dan eerder berekend op basis van een referentiegroep. Uit het bovenstaande blijkt ten eerste dat in de referentiegroep inwendige aantasting slechts voor een vrij beperkt deel bijdraagt aan het falen. De gehanteerde redenering dat er geen inwendige uitloging optreedt vanwege de gemeten pH-waarden in de nabijheid van de leiding is niet correct, de pH is niet hoog genoeg om uitloging van calciumhydroxide te doen staken. Verder geldt dat de SI bij PWN niet noemenswaardig afwijkt van de waterkwaliteit van de andere bedrijven met leidingen in de referentiegroep. Er is daarom geen reden om aan te nemen dat de betreffende leiding bij Nieuwendam voor wat betreft de waterkwaliteit afwijkt van de referentiegroep. Een aanpassing van de storingsfrequentie is om die reden niet te rechtvaardigen.

4.2 Analyse aanpassing storingsfrequentie op basis van sterkteberekeningen

Door r+k Consulting Engineers zijn sterkteberekeningen uitgevoerd [5] waaruit blijkt dat de te verwachten spanningen aanzienlijk lager zijn dan de toelaatbare spanningen en dat de te verwachten hoekverdraaiing zeer klein is. De vraag is hoe deze spanningen zich verhouden tot de spanningen in de referentiegroep waar de storingen zijn opgetreden. Om dit te toetsen is gebruik van Comsima-analyses [15]. Comsima is het door KWR ontwikkelde rekenpakket waarmee spanningen in ondergrondse leidingen kunnen worden berekend. Comsima maakt gebruik van gegevens van de leiding, grond, zettingen, verkeer- en bovenbelasting. Bij aanwezigheid van voldoende betrouwbare (geografische) data kan Comsima spanningen uitrekenen voor een groot aantal leidingen.

De door r+k berekende maximum spanning bedraagt voor twee belastingcombinaties respectievelijk 5,7 en 3,8 MPa. In [16] is een berekening gepresenteerd van met Comsima berekende spanningen voor een groot deel van de leidingen van PWN. De rekenresultaten betreffen een spanning als fractie van de bezwijkspanning, welke laatste is bepaald op 50 MPa. Uit deze berekening volgt een verdeling van de optredende maximale spanningen in AC-leidingen bij PWN. Deze blijkt in alle gevallen lager te zijn dan 20 MPa, in ongeveer 90% van de gevallen lager te zijn dan 10 MPa en met een nadrukkelijke piek bij 5 MPa. De door r+k berekende maximale spanningen op de leiding in Nieuwendam lijken daarom goed overeen te komen met de verdeling van optredende spanningen van een groot aantal andere AC-leidingen bij PWN. Op grond van deze optredende spanningen is er geen reden om aan te nemen dat de storingsfrequentie in de leiding bij Nieuwendam afwijkt van die van andere leidingen bij PWN. Deze conclusie is niet direct te vertalen naar de leidingen in de referentiegroep. Er is echter ook geen argument om aan te nemen dat de optredende spanningen en hoekverdraaiingen in de AC leiding bij Nieuwendam kleiner zijn dan die van de referentiegroep.

5 Conclusie en discussie

5.1 Conclusie

In 2019 heeft KWR voor Deltares een project uitgevoerd waarin de integrale faalkans is bepaald voor een AC-drinkwaterleiding parallel aan de N247 bij Nieuwedam, gelegen in Monnickendam. Hiervoor heeft KWR op basis van de USTORE-storingsregistratie een onderbouwing opgesteld van de faalkans voor een asbestcement (AC) leiding met een diameter van 300 mm, zie [1]. Over de betreffende leiding is aanvullende informatie verkregen, te weten over de drinkwaterkwaliteit van PWN en sterkteberekeningen van ingenieursbureau r+k. Door KWR is bovengenoemde aanvullende informatie geanalyseerd en vergeleken met de gegevens van de referentiegroep, ten einde te onderbouwen of de conditie en het storingsgedrag van de betreffende AC leiding naar waarschijnlijkheid substantieel afwijken van die van de referentiegroep.

De conclusie uit de analyse van de aanvullende informatie laat zien dat deze geen onderbouwing geven voor aanpassing van de eerder berekende faalkans.

5.2 Discussie over het gebruik van de storingsfrequentie

In dit onderzoek is aangetoond dat de storingsfrequenties (zie Tabel 1-1) uit de eerder uitgevoerde studie [1] nog steeds gezien moeten worden als de best beschikbare gegevens. Bij het gebruiken van deze gegevens voor nadere analyse zijn de volgende kanttekeningen van belang:

1. In de USTORE gegevens zijn geen storingsgegevens geregistreerd van de betreffende AC 300 leiding in Nieuwendam. Om die reden zijn gegevens gehanteerd van een referentiegroep met dezelfde diameter en dezelfde periode van aanleg. Hierbij speelt altijd de vraag of deze referentiegroep voldoende representatief is voor de te beschouwen leiding. De meeste leidingen uit de referentiegroep zijn transportleidingen gelegen in een reguliere leidingstrekking. Op grond van kwalitatieve constateringens uitspraken is te redeneren dat de liggingomstandigheden van leidingen in veldstrekkingen ongunstiger zijn dan die van de te beschouwen leiding, gelegen in een waterkering en daarmee in een relatief goede beheersituatie. Deze uitspraken kunnen bijvoorbeeld zijn:
 - a. In een veldstrekking is de kans hoger op de aanwezigheid van bomen die bij storm kunnen leiden tot ontworteling.
 - b. In een veldstrekking is vaker sprake van een ondergrond met ongelijkmatige zettingen.
 - c. In een veldstrekking is een minder strikte beheersituatie en een grotere kans op schade door derden.
2. De storingsfrequentie zoals hier verkregen is afkomstig van storingsgegevens uit de periode 2009 tot en met 2019. De door Deltares op te stellen risicoanalyse zal betrekking hebben op een toekomstige periode van meerdere decennia. Aangezien leidingen verouderen, zal dit in de storingsfrequentie verdisconteerd moeten worden. Hierbij kan bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van grondmechanische berekeningen in combinatie met verminderde effectieve wanddikte (dat deel van de wand dat niet is uitgeloozd). Op basis van beoordelingen van uitgenomen leidingen (zogenaamde exitbeoordelingen) zijn verdelingen beschikbaar van afname van de

wanddikte per jaar, zie [11 12, 13 en 14]. Deze verdelingen moeten gezien worden als waarschijnlijkheidsverdelingen en laten alle een grote onnauwkeurigheid (bandbreedte) zien. De vertaling naar een individuele leiding is daarom niet aan te bevelen. Een mogelijkheid is om sterkteberekeningen uit te voeren voor een set aan hypothetische wanddikten en te toetsen of de resultaten van deze berekeningen in 'een voldoende aantal gevallen' aanvaardbaar is. De meest betrouwbare informatie over de effectieve wanddikte zal echter worden verkregen door het uitvoeren van een in-line leidinginspectie.

3. Niet in alle gevallen zal een storing (lekkage) leiden tot een erosiekrater. In de meeste gevallen is er sprake van een klein lek, wat leidt tot een verweking op beperkte schaal. Er zijn echter ook situaties denkbaar dat een klein lek (een sluipend lek) leidt tot schade aan het dijklichaam. Van deze laatste situatie is behoudens enkele anekdotes weinig tot geen statistische informatie beschikbaar. Het bewaken van de leiding met lekdetectie is een optie om een lekkage tijdig te herkennen, voordat grootschalig falen optreedt.

6 Referenties

- [1] Beuken R.H.S., G.A.M. Mesman, A. Moerman en B. Hillebrand (2019). Faalkansbepaling 300 mm AC leiding N247 Monnickendam, KWR 2019.085, KWR, Nieuwegein.
- [2] Beuken, R.H.S. en A. Moerman, Uniforme storingsregistratie – USTORE (2017). Praktijkcode voor het beheer van storingsregistratie van leidingnetten, PCD-9: 2017, KWR, Nieuwegein.
- [3] <https://www.kwrwater.nl/tools-producten/ustore/>
- [4] Slaats N., G. Mesman, en L. Rosenthal (2003). Schade in asbestcement leidingen: vervangen of repareren?, H2O 2003-16.
- [5] r+k Consulting Engineers (2020). Berekening van de vervormingen en de spanningen in een AC (asbest cement) waterleiding in de Nieuwendam nabij Monnickendam, rapport 5-226-515 v0, Rijswijk.
- [6] NEN 3650-1, Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 1: Algemene eisen, januari 2020.
- [7] Slaats, P.G.G. en G.A.M. Mesman (2003). Conditiebepaling asbestcement waterleidingen, wanddikte belastingen, BTO 2003.039, KWR, Nieuwegein.
- [8] Carde C., François, R., Torrenti J.M. (1996). “Leaching of both calciumhydroxide and C-S-H from cement paste: modeling the mechanical behavior”, Cement and Concrete Research, 26, p.1257-1268.
- [9] Alexander, M., Bertron, A., de Belie, N. (2013). “Performance of cement-based materials in aggressive aqueous environments”, Springer, New York
- [10] Carde, C., François, R. (1999). “Modelling the loss of strength and porosity increase due to the leaching of cement pastes”, Cement & Concrete Composites 21, p.181-188.
- [11] Beuken, R., Van Eijk, R., Slaats, N. (2014). “De waarde van exitbeoordelingen op AC- en GGJ-leidingdelen, BTO 2014.016, KWR, Nieuwegein.
- [12] Beuken, R.H.S. (2015). “Exitbeoordelingen AC-leidingen bij WML”, BTO 2015.037, KWR, Nieuwegein.
- [13] Beuken, R.H.S. (2016). “Exitbeoordelingen AC-leidingen bij WML –Fase 2: Nadere analyse”, BTO 2016.094, KWR, Nieuwegein.
- [14] Laarhoven, K.A. van, J. van Vossen en B. Hillebrand (2019). Beoordeling van methodieken voor het voorspellen van toekomstige storingsfrequenties: resultaten van een pilot met AC, BTO 2019.050, KWR, Nieuwegein.
- [15] Wols, B. A., Moerman, A. en Vertommen, I., 2015, Comsima: model voor spanningen op ondergrondse leidingen, Rapport nr. BTO 2015.082, KWR, Nieuwegein.
- [16] Wols, B.A. en A. Moerman (2017). Verouderingsmodule voor spanningsberekeningen in leidingen met Comsima, BTO 2017.074, KWR, Nieuwegein.

Jaar van publicatie
2020

Meer informatie
ir. R.H.S. (Ralph) Beuken
T 030 6069 758
E ralph.beuken@kwrwater.nl

Groningenhaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR 2020.080 | augustus 2020 ©KWR

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, 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.

Keywords

Faalkans, leiding, AC

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl

Colofon

Auteurs

Ana Teixeira | Deltares
Maria Konstantinou | Deltares
Anton van der Meer | Deltares

Betrokkenen

Stefan van den Helder | Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Hester Faber | Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Klaas Weeteling | PWN
Edwin van den Brink | PWN

Reviews

Jan Spiekhout | B&B Advisor
Lambert Vendrik | Waterschap Scheldestromen
Ronald Koets | Waterschap Scheldestromen
Harry Schelfhout | namens Hoogheemraadschap van Delfland

Vaststelling

Stuurgroep POV Kabels & Leidingen