

RAPPORT

Windpark Spuisluis te IJmuiden

Beoordeling effecten op de waterveiligheid - Fase 3

Klant: Eneco Wind BV

Referentie: M&ABE7237R001F02

Versie: 02/Finale versie

Datum: 16 mei 2017

Open

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX Amersfoort
Netherlands

Maritime & Aviation

Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 T

+31 33 463 36 52 F

reception.ame-la@nl.rhdhv.com E

royalhaskoningdhv.com W

Titel document: Windpark Spuisluis te IJmuiden

Ondertitel: WP Spuisluis Fase 3

Referentie: M&ABE7237R001F02

Versie: 02/Finale versie

Datum: 16 mei 2017

Projectnaam: Windpark Spuisluis Fase 3

Projectnummer: BE7237

Auteur(s): Jurgen Cools

Opgesteld door: Jurgen Cools

Gecontroleerd door: Ilse Hergarden en Peter Winkelman

Datum/Initialen: 16 mei 2017, PWI

Goedgekeurd door: Arnoud van Gelder

Datum/Initialen: 16 mei 2017, AGE

Classificatie

Open



Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and OHSAS 18001:2007.

Inhoud

1	Introductie	1
1.1	Aanleiding en doel	1
1.2	Afbakening	2
1.3	Revisie	2
2	Projectomschrijving	6
2.1	Projectlocatie	6
2.2	Windparkonderdelen	6
2.3	Projectfasering	10
2.4	Waterkering	10
2.5	Het Gemaal- en spuicomplex	13
2.6	Toekomstige ontwikkelingen	15
3	Projectaanpak	17
3.1	Algemeen	17
3.2	Haalbaarheidsonderzoek fasen 1 en 2	17
3.3	Aanpak beoordeling van ondergrondse effecten van bouw, gebruik en verwijderen van de windturbines	18
3.4	Aanpak beoordeling van bovengrondse effecten door falen van een windturbine	19
3.5	Veiligheidsfilosofie	20
4	Uitgangspunten en randvoorwaarden	24
4.1	Beschikbare informatie	24
4.2	Geometrie	24
4.3	Bodemopbouw	24
4.4	Grondparameters	27
4.5	Waterstanden	28
4.6	Grondwaterstanden	29
4.7	Geotechnisch ondergrondmodel	31
4.8	Belastingen op de waterkering	31
4.8.1	Belastingen tijdens de bouwfase	31
4.8.2	Belastingen tijdens de gebruiksfase	32
4.8.3	Belasting tijdens de verwijderingsfase	33
4.9	Stabiliteitsfactoren macrostabiliteit	33

5	Beoordeling van ondergrondse effecten door bouw, gebruik en verwijderen van windturbines	36
5.1	Beoordelingskader	36
5.2	Relevante faalmechanismen en effecten	36
5.3	Beoordeling effecten op overlopen en golfoverslag (HT)	40
5.4	Beoordeling effecten op binnenwaartse macrostabiliteit (STBI)	42
5.5	Beoordeling effecten op binnenwaartse macrostabiliteit (STBU)	45
5.6	Beoordeling effecten op zettingsvloeiing (STVL)	49
5.7	Beoordeling effecten op bekleding (STBK)	54
6	Beoordeling bovengrondse effecten door falen van een windturbine	57
6.1	Algemeen	57
6.2	Windturbinegegevens	57
6.3	Faalscenario's en faalfrequentienormen	58
6.4	Toetscriterium	59
6.5	Trefafstanden	60
6.6	Kritische strook waterkering en kunstwerken	61
6.6.1	Kritische strook waterkering	61
6.6.2	Kritische strook kunstwerken	62
6.7	Raakfrequenties	64
6.8	Restprofiel waterkering en responstijd	66
6.9	Resthoogte –en sterkte waterkerende kunstwerken	68
6.10	Additionele faalkans door bovengrondse effecten windpark	69
6.11	Conclusie effect falen windturbine op waterkering en kunstwerken	70
	Referenties	72

Tabellen

Tabel 3-1: faalkansverdeling [OI2014v4]	21
Tabel 3-2: vergelijking veiligheidsfactoren volgens OI2014v4 en VTV2006	22
Tabel 4-1: algemene grondopbouw	25
Tabel 4-2: overzicht beschikbaar grondonderzoek per locatie	25
Tabel 4-3: partiele factoren voor grondparameters	27
Tabel 4-4: grondsoorten en rekenwaarden grondparameters	27
Tabel 4-5: kenmerkende waterstanden in de Buitenhaven van IJmuiden [RWS, 2013a]	28

Tabel 4-6 Vereiste stabiliteitsfactoren	35
Tabel 5-1: Omschrijving faalmechanismen (VTV2006) en overzicht effecten	36
Tabel 5-2: relevante faalmechanismen per projectfase en windparkonderdeel	39
Tabel 5-3: rekengevallen binnenwaartse macrostabiliteit	43
Tabel 5-4: berekende en minimaal vereiste stabiliteitsfactoren STBI	44
Tabel 5-5: rekengevallen binnenwaartse macrostabiliteit STBU	46
Tabel 5-6: berekende en minimaal vereiste stabiliteitsfactoren STBU – zijde Hoogovenkanaal	47
Tabel 5-7: berekende en minimaal vereiste stabiliteitsfactoren STBU Buitenspuikanaal	47
Tabel 5-8: beoordeling invloed zettingsvloeiing op waterkering en windturbine	51
Tabel 6-1: windturbinegegevens Nordex 117	57
<i>Tabel 6-2: scenario's en faalfrequenties voor de windturbines [HRW2014]</i>	58
Tabel 6-3: kritische onderdelen Gemaal	63
Tabel 6-4: kritische onderdelen Spuisluis	63
Tabel 6-5: raakfrequenties van de windturbines per kritieke strook	65
Tabel 6-6: raakfrequenties van WTG1 per kritieke strook	65
Tabel 6-7: raakfrequenties van WTG2 per kritieke strook	66
Tabel 6-8: raakfrequenties van WTG3 per kritieke strook	66
Tabel 6-9: toename faalfrequentie waterkering bij falen windturbine conform HRW2014	70
Tabel 6-10: toename faalfrequentie kunstwerken bij bladafwerp door overtoeren	70

Figuren

Figuur 1-1: geplande lijnopstelling van de windturbines en ligging primaire waterkering	1
Figuur 2-1: projectlocatie	6
Figuur 2-2: afmetingen funderingsplaat windturbine [BT Geoconsult 2016]	7
Figuur 2-3: palenplan windturbinefundatie [BT Geoconsult 2016]	8
Figuur 2-4: kernzone en beschermingszones nabij het Gemaal en de sluisluis conform huidige legger	12
Figuur 2-5: Verwachte aanpassing van de Legger	12
Figuur 2-6: Gemaal- en spuicomplex IJmuiden [Rijkswaterstaat 2015]	13
Figuur 2-7: ontwikkeling nieuwe zeeluis	16
Figuur 2-8: geplande dijkverbetering	16
Figuur 4-1: ligging dwarsprofielen ten behoeve van de effectbeoordeling	24
Figuur 4-2: deel van geotechnische lengteprofiel A-A' op de landtong nabij het Gemaal	26
Figuur 4-3: principe grondwaterstand na val buitenwater bij WTG1 (westelijke landtong)	29
Figuur 4-4: principe grondwaterstand bij hoogwater bij WTG2 (voor en na ophoging)	30

Figuur 4-5: principe grondwaterstand op de oostelijke landtong	30
Figuur 5-1: ligging dwarsprofielen ten behoeve van beoordeling STBI	43
Figuur 5-2: ligging dwarsprofielen ten behoeve van beoordeling STBU	46
Figuur 5-3: principe verweking door trillingen en resulterende inscharing en verondieping	49
Figuur 5-4: verwachte verondieping Binnenspuikanaal bij WTG2 door zettingsvloeiing	51
Figuur 5-5: verwachte verondieping Binnenspuikanaal bij WTG3 door zettingsvloeiing	52
Figuur 5-6: verwachte verondieping Binnenspuikanaal bij WTG4 door zettingsvloeiing	52
Figuur 5-7: verwachte verondieping Binnenspuikanaal bij WTG5 door zettingsvloeiing	52
Figuur 6-1: effectafstanden voor verschillende faalscenario's	61
Figuur 6-2: kritische strook voor beoordeling bovengrondse effecten	62
Figuur 6-3: dijkvak dat geraakt kan worden door de gondel bij omvallen van de mast	67

Bijlagen

Bijlage 1	Situatietekeningen
Bijlage 2	Grondonderzoek DinoLoket
Bijlage 3	Geotechnische grondmodellen
Bijlage 4	Inscharingslengte na zettingsvloeiing
Bijlage 5	Kritische strook Spuisluis en Gemaal
Bijlage 6	Berekening kraterdiepte
Bijlage 7	Faalkansen Nordex windturbines

Managementsamenvatting

Eneco Wind BV heeft het voornemen om samen met Windpark IJmond BV het 'windpark Spuisluis' te ontwikkelen in de gemeente Velsen. Het geplande windpark bestaat uit zes windturbines, die zijn voorzien op de landtong langs het Noordzeekanaal, nabij de waterkering en het Gemaal- en Spuicomplex IJmuiden. De kunstwerken en de dijklichamen maken deel uit van de primaire waterkering 'Sluizen IJmuiden' en hebben de functie 'hoogwaterkeren' en 'waterbeheer'.

Van het windpark zijn twee windturbines, WTG1 en WTG2, gepland in of nabij de kern- en beschermingszone van de primaire waterkering. De bouw, het gebruik en het verwijderen van deze windturbines en bijbehorende infrastructuur mag geen nadelige invloed hebben op de waterkerende en waterbeherende functie van de waterkering.

De overige vier turbines zijn gepland buiten de waterkeringszone op de aangrenzende westelijke landtongen langs de 1^e en 2^e Rijksbinnenhaven. Ten aanzien van de waterveiligheid kunnen deze windturbines alleen negatieve gevolgen hebben bij het afwerpen van een rotorblad tijdens een calamiteit. De afstand van deze windturbines is meer dan 600 m tot het Gemaal- en Spuicomplex en hebben hierdoor geen nadelige invloed op het waterbeheer.

Dit rapport betreft fase 3 van een haalbaarheidsonderzoek. In fase 1 en 2 is door Deltares het risico op 'zettingsvloeiing' als gevolg van de plaatsing, aanwezigheid en verwijdering van windturbines beschouwd. In fase 3 wordt naast het risico op zettingsvloeiing, ook een kwantitatieve analyse uitgevoerd voor alle overige relevante faalincidenten van de waterkering en de windturbines. Onderscheid is gemaakt tussen:

- Ondergrondse effecten op de waterveiligheid van de dijk bij de bouw, gebruik en verwijderen van de windturbines en bijbehorende werken.
- Bovengrondse effecten op de waterveiligheid ten gevolge van het mogelijk falen van een windturbine of een onderdeel hiervan tijdens de gebruiksfase.

Ondergrondse effecten op de waterveiligheid en waterbeheer

Ten aanzien van de ondergrondse effecten is per potentieel faalmechanisme het volgende geconcludeerd:

- Het faalmechanisme '*piping*' is niet relevant voor de zandige dijk en daarom niet nader onderzocht.
- Het mechanisme '*microstabiliteit*' wordt niet nadelig beïnvloed. De windturbines en bijbehorende civiele werken hebben geen invloed op de grondwaterstroming door de dijk. Ook blijft de opbouw en sterkte van de waterkering op het niveau van uitstromen ongewijzigd.
- De faalmechanismen '*stabiliteit bekleding*', '*overloop*' en '*overslag*' kunnen negatief worden beïnvloed door de aanleg van parkbekabeling en aanpassing van de weg op de waterkering tussen WTG1 en het Gemaal. Tijdens de bouw- en verwijderingsfase dienen de volgende voorwaarden in acht te worden genomen:
 - De sleuf voor parkbekabeling mag niet worden ontgraven tijdens een periode met hoogwaterstand.
 - De profielopbouw en de grasmat dienen zoveel mogelijk in de oorspronkelijke sterkte te worden teruggebracht. Tijdens de uitvoering van de graaf- en aanvuilwerkzaamheden moet ervoor worden gezorgd dat de grond goed wordt verdicht en dat goed aanvuilmateriaal wordt gebruikt. De bekleding dient te bestaan uit minimaal 0,9 m klei.
 - Bij beschadiging van de grasmat dient een vernagelde 3D structuurmat te worden toegepast. De mat dient voorzien te worden van 0,05 m bovengrond en te worden ingezaaid. De mat dient om de erosiebestendigheid te garanderen, totdat de grasmat volledig is ontwikkeld.

- In verband met een geplande dijkverbetering is afstemming met RWS nodig voor inpassing van het ontwerp in de versterkingsopgave.
- De '*binnenwaartse stabiliteit*' blijft in alle beschouwde situaties en projectfasen gewaarborgd. Op basis van de berekeningen worden de volgende afnamen van de binnenwaartse macrostabiliteit verwacht:
 - Bij WTG2 neemt de stabiliteit van de binnenberm af met maximaal 17% ten opzichte van de huidige situatie (bij een maatgevende hoogwaterstand). Deze afname treedt op tijdens de bouw- en sloopfase met maximale kraanbelasting op de kraanopstelplaats. Dit betreft een zeer tijdelijke situatie. Bij uitvoering onder 'normale hydraulische omstandigheden' zal de stabiliteit hoger zijn.
 - Tijdens de bouwfase neemt de binnenwaartse stabiliteit van de weg tussen het gemaal en WTG2 af met circa 4% tijdens zwaar transport over de weg (volledig geladen SPMT).
 - Tijdens de gebruiksfase neemt de binnenwaartse stabiliteit van het grondlichaam direct naast het fundament van WTG2 af met maximaal 7%. Deze afname is ten gevolg van trillingen en ophoging voor de kraanopstelplaats.

Als voorwaarden dient te worden gesteld:

- Funderingspalen dienen trillingsvrij te worden aangebracht.
- Bij WTG2 dient een drainageconstructie te worden aangebracht tussen het fundament en het talud;
- De palen worden niet verwijderd en het funderingsblok dient trillingsarm te worden gesloopt. Voor de sloop dient een verwijderingsplan te worden opgesteld. Deze voorwaarde zal ook in de landlease overeenkomst worden meegenomen.
- De '*buitenwaartse macrostabiliteit*' blijft in alle beschouwde situaties en projectfasen gewaarborgd. Op basis van de berekeningen worden de volgende afnamen van de macrostabiliteit verwacht:
 - Bij WTG2 neemt de stabiliteit van de binnenberm af met maximaal 17% ten opzichte van de huidige situatie. Deze afname treedt op tijdens de bouw- en sloopfase met maximale kraanbelasting op de kraanopstelplaats, in combinatie met een maatgevende hoogwaterstand. Dit betreft een zeer tijdelijke situatie. Bij uitvoering onder 'normale omstandigheden' zal de stabiliteit hoger zijn.
 - Tijdens de bouwfase neemt de binnenwaartse stabiliteit van de weg tussen het gemaal en WTG2 af met circa 4% tijdens zwaar transport over de weg (volledig geladen SPMT).
 - Tijdens de gebruiksfase neemt de binnenwaartse stabiliteit van het grondlichaam direct naast het fundament van WTG2 af met maximaal 7%. Deze afname is ten gevolge van trillingen en ophoging voor de kraanopstelplaats.
 - Tijdens de realisatie en sloop van WTG1 (onder maatgevende omstandigheden) neemt de stabiliteit van het buitentalud aan de kant van het Hoogovenkanaal af met maximaal 14% ten opzichte van de huidige situatie. Maatgevend is situatie met maximale kraanbelasting op de kraanopstelplaats. Aan de zijde van het Buitenspuikanaal blijft de buitenwaartse macrostabiliteit tijdens de bouwfase onveranderd.
 - Zwaar transport (volledig geladen SPMT) over de weg tussen het gemaal en WTG1 tijdens de bouwfase heeft geen negatieve gevolgen voor de buitenwaartse stabiliteit.
 - Tijdens de gebruiksfase neemt de buitenwaartse stabiliteit af met maximaal 3% voor het grondlichaam (buitenberm) direct naast het fundament van WTG1.

Als voorwaarden dient te worden gesteld:

- Funderingspalen dienen trillingsvrij te worden aangebracht.
- Bij WTG2 dient een drainageconstructie te worden aangebracht tussen het fundament en het talud;
- De palen worden niet verwijderd en het funderingsblok dient trillingsarm te worden gesloopt. Voor de sloop dient een verwijderingsplan te worden opgesteld.

- De kans op het optreden van ‘*zettingsvloeiing*’ en schade door zettingsvloeiing aan de landtong en verondieping van de geul is aanzienlijk, ook zonder de aanwezigheid van windturbines. De invloed van trillingen door de windturbines in de gebruiksfase op deze kans zijn beperkt, maar onzeker. Op basis van het verwachte inscharringsprofiel na zettingsvloeiing is bepaald dat de dijk de waterkerende functie zal kunnen blijven vervullen. Wel kan bij de locaties WTG1, WTG2 en WTG4 de verwachte inscharringslengte na zettingsvloeiing reiken tot aan het fundament. Dit is onwenselijk in verband met mogelijk falen van de windturbine. Voor deze locaties zijn verbetermaatregelen voorgesteld, zoals:
 - Het aanbrengen van taludbestorting, of;
 - Het aanbrengen van een damwand in het talud.

In verband met de onzekerheid in het gedrag van de ondergrond op lange termijn onder invloed van trillingen zal een monitoringprogramma worden opgesteld. Gedurende de gebruiksfase zullen de trillingen van het fundament en de relatieve dichtheid van de grondlagen worden gemeten. Voor de trillingen zullen trillingssensoren worden aangebracht op het fundament en op diepte. Sonderingen zullen worden uitgevoerd (bijvoorbeeld eens per 2 jaar) om de relatieve dichtheid af te leiden. De relatieve dichtheid is een maat voor de verwekingsgevoeligheid van de grondlagen. Het onderzoek zal zich vooral richten op de Spisulalaag. Het aantal sonderingen per locatie, de afstand tot het fundament en de meetfrequentie zal met RWS nader worden afgestemd in de fase ‘detail planning en ontwerp’.

Bovengrondse effecten op de waterveiligheid

Risico's ten gevolge van falen van de windturbine zijn gekwantificeerd conform het Handboek Risicozonering Windturbines van 2014 [HRW2014]. Onderscheid is gemaakt in risico's voor de waterkering en de waterkerende kunstwerken (Gemaal en Spuisluis).

Voor de *waterkering* is het volgende geconcludeerd:

- De aanwezigheid van de windturbines WTG1, WTG2 en WTG3 leidt tot circa 0,3% toename van de autonome faalkans.
- Maatgevend is het scenario van mastomval van de windturbines WTG1 en WTG2, waarbij schade aan de buitenzijde van de waterkering kan optreden.
- Voor de overige faalscenario's van de windturbine is de faalkanstoename verwaarloosbaar. De toename van de faalkans is voor alle scenario's minder dan het aangehouden criterium van maximaal 1%.

Voor de *kunstwerken* is het volgende geconcludeerd

- Voor het Gemaal, Spuisluis en Noordersluis is alleen het faalscenario ‘bladbreek bij overtoeren’ relevant. Voor de overige faalscenario's reikt de trefafstand niet tot de kunstwerken.
- De aanwezigheid van de windturbines hebben een verwaarloosbaar effect (0-0,01% faalkanstoename) op de functie ‘*waterkeren*’ (hoogte).
- Ten aanzien van de functie ‘*waterbeheer*’ geldt dat de effecten op de Spuisluis en de Noordersluis zeer gering zijn; de faalkanstoename is minder dan 1%.
- Voor het Gemaal is bepaald dat de additionele faalkans 2,8% bedraagt. Hierbij is er conservatief van uitgegaan dat het raken van een rotorblad samenvalt met een situatie, waarbij volledige capaciteit van het gemaal benodigd is. Hierbij wordt het volgende opgemerkt:
De berekening is gebaseerd op faalfrequenties overeenkomstig HRW2014. Deze waarden zijn conservatief en representatief voor oudere windturbintypes. De incidenten waarop de faalkansen zijn gebaseerd gaan tot 2007, waardoor de veiligheidsverbeteringen van de afgelopen 10 jaar niet zijn meegenomen in deze berekeningen. Door verbeteringen van het veiligheidssysteem en verbeterde technologie en kwaliteitscontrole zijn de huidige generatie windturbines veel veiliger

geworden. Ter indicatie heeft Nordex recent nieuwe faalkansen afgegeven, welke zijn bepaald volgens standaard ISO 13849-1. De kans op falen van een rotorblad door overtoeren bedraagt $2,2 \cdot 10^{-7}$ per jaar, dit is een factor 20 lager dan de faalkans $5,0 \cdot 10^{-6}$ per jaar volgens het HRW2014. Op basis van deze meer recente faalkansen is de faalkanstoename ruim lager dan de acceptabele 1%.

1 Introductie

1.1 Aanleiding en doel

Eneco Wind BV heeft het voornemen om samen met Windpark IJmond BV het 'Windpark Spuisluis' te ontwikkelen in de gemeente Velsen. Het geplande windpark bestaat uit zes windturbines met een vermogen van 2-4 MW. De turbines zijn voorzien op de landtong langs het Noordzeekanaal, nabij de waterkering en het gemaal- en spuicomplex. De kunstwerken en de dijklichamen maken deel uit van de primaire waterkering 'Sluizen IJmuiden' (dijkkring verbindende waterkering 7) en vervullen hiermee de functie 'hoogwaterkeren'. Het gemaal- en spuicomplex vervult nog een tweede primaire functie, namelijk 'water(kwantiteits)beheer': het naar zee transporteren van water door middel van water pompen (Gemaal) en water afvoeren (Spuisluis). De waterkering en kunstwerken zijn in beheer bij Rijkswaterstaat (RWS).

Rijkswaterstaat heeft een beleidsregel¹ voor het plaatsen van windturbines op, in of over rijkswaterstaatswerken. Deze beleidsregel is als volgt:

Plaatsing van windturbines in de kern- of beschermingszone van een waterkering in beheer van het Rijk, wordt slechts toegestaan indien door de initiatiefnemer voldoende kan worden aangetoond dat deze geen negatieve gevolgen heeft voor de waterkerende functie van de waterkering conform de veiligheidsnorm bij of krachtens de Waterwet.

Van het windpark zijn twee windturbines, WTG1 en WTG2, gepland in of nabij de kern- en/of beschermingszone van de primaire waterkering, zie Figuur 1-1. Voor deze locaties dient te worden aangetoond dat de waterkerende en waterbeherende functie van de waterkering is gewaarborgd tijdens de installatie, de exploitatie en de ontmanteling van het park.



Figuur 1-1: geplande lijnopstelling van de windturbines en ligging primaire waterkering

De overige vier turbines zijn gepland buiten de waterkeringszone op de aangrenzende westelijke landtongen langs de 1^e en 2^e Rijksbinnenhaven. Ten aanzien van de waterveiligheid kunnen deze windturbines alleen negatieve gevolgen hebben bij het afwerpen van een rotorblad tijdens een calamiteit. Ten aanzien van waterbeheer zouden de windturbines ook negatieve gevolgen kunnen hebben voor het waterbeheer door verondieping van het kanaal als gevolg van zettingsvloeiing.

¹ "Beleidsregel voor het plaatsen van windturbines op, in of over rijkswaterstaatswerken", 21 november, artikel 7

Het doel van dit rapport is om te analyseren wat de gevolgen zijn van het windpark op alle faalmechanismen die van belang zijn voor de waterveiligheid en het waterbeheer. Bij significante negatieve gevolgen zijn mitigerende of compenserende maatregelen voorgesteld.

In de beoordeling is onderscheid gemaakt tussen de volgende twee soorten effecten:

- Ondergrondse effecten op de waterveiligheid van de dijk bij de *bouw, gebruik en verwijderen* van de windturbines en bijbehorende werken.
- Bovengrondse effecten op de waterveiligheid ten gevolge van het mogelijk *falen* van een windturbine of een onderdeel hiervan tijdens de gebruiksfase.

1.2 Afbakening

Dit rapport beperkt zich tot effecten op de waterveiligheid. De effecten van het windpark op de externe veiligheid (passantenrisico, gasleidingen etc.) maken geen onderdeel uit van dit onderzoek. Hiervoor wordt verwezen naar de risicoanalyse [RHDHV2016].

Van locatie WTG6 zijn op dit moment onvoldoende gegevens (grondonderzoek, peilingen waterbodem) beschikbaar voor beoordeling van eventuele gevolgen. Vanwege de ligging op grote afstand van de waterkering en het sluisencomplex zijn de gevolgen voor waterveiligheid en waterbeheer verwaarloosbaar. Locatie WTG6 is daarom niet verder beschouwd in dit onderzoek.

De beoordeling van de effecten op de waterveiligheid is, in overleg met RWS, uitgevoerd op basis van de “oude” toetssystematiek en oude normering.

Per 1 januari 2017 zijn nieuwe normen van kracht, welke gebaseerd zijn op een overstromingskans en hebben daarmee een andere veiligheidsfilosofie dan de voorgaande normen die gebaseerd zijn op een overschrijdingskans van de hydraulische belasting. Het Wettelijk Beoordelings Instrumentarium (WBI2017) waarmee waterkeringen in de toekomst moeten worden getoetst komt pas in de loop van 2017 beschikbaar. In onderhavige analyse is daarom gebruik gemaakt van de VTV2006.

1.3 Revisie

Een concept versie van dit rapport (versie D1, 9 februari 2017) is door Rijkswaterstaat getoetst. De opmerkingen zijn per mail ontvangen op 21 maart 2017. Het concept rapport en een eerste reactie op de opmerkingen zijn besproken op het kantoor van Rijkswaterstaat te Haarlem op 29 maart 2017. De opmerkingen zijn in onderstaande tabel samengevat. Tevens is aangegeven hoe de opmerking in dit rapport is verwerkt.

Pag/alinea	Tekst	Opmerking RWS	Revisie RHDHV
VI/a3	'geen nadelige invloed op waterbeheer'	Waar is de invloed beschreven van zettingsvloeiing op (water)afvoer en scheepvaart?	Effect van verondieping door zettingsvloeiing op scheepvaart is beschreven in paragraaf 5.6.
VI/a5	'parkbekabeling'	Is rekening gehouden met bestaande kabels? (Zie ook opmerking bij brief.)	De bestaande en nieuwe bekabeling is nader omschreven in paragraaf 2.2. Verwezen wordt naar het werkplan, waarin dit nader is omschreven.
VII	'binnenwaartse stabiliteit'	Er moet staan 'De palen worden niet verwijderd' i.p.v. 'mogen niet'. Verder is een verwijderingsplan nodig	Is aangepast

Pag/alineea	Tekst	Opmerking RWS	Revisie RHDHV
VII	'verbetermaatregelen'	Bij zettingsvloeiing is er beperkt inzicht op lange termijn effecten trillingen. Opnemen in een monitoringsplan. Maatregel overdimensionering fundering is ingewikkeld, beter weglaten. Bij de andere plannen dient ook naar beheer en onderhoud gekeken te worden.	In de samenvatting en paragraaf 5,6 is opgenomen dat lange termijn effecten onzeker zijn en gemonitord dienen te worden met behulp van trillingsensoren en controlesonderingen.
VII	'kunstwerken'	Er dient vermeld te worden over welke turbine(s) het gaat.	Is aangepast
VII	'kunstwerken criterium'	Opmerking/vergelijk Krammer niet terecht (binnen versus buitenzijde en achterliggende waterkering)	Deze opmerking is verwijderd
		In de HRW2014 wordt geen 10% genoemd voor waterkeringen (geldt voor dezelfde opmerkingen hierover verder in het rapport)	Opmerking over 10% is verwijderd. Bedoeld werd het 10% criterium uit de handleiding risicoberekeningen Bevi; het handboek voor het uitvoeren van QRA's aan inrichtingen met gevaarlijke stoffen. Als een domino-initiërend incident de faalfrequentie met minder dan 10% verhoogt dan wordt dit als niet significant gezien (paragraaf 3.2.2. Handboek risicoberekeningen Bevi v 3.3).
		Opmerking over faalfrequenties oudere windturbintypes en nieuwe is niet geldig. De inschatting van factor 10 veiliger, wordt alleen onderbouwd vanuit risk en safety standaarden (Nordex bijlage). Er is betere onderbouwing nodig.	De onderbouwing is aangepast. Ter onderbouwing zijn faalkansen van Nordex opgenomen in Bijlage 7. Nordex recent nieuwe faalkansen afgegeven, welke zijn bepaald volgens standaard ISO 13849-1. De kans op falen van een rotorblad door overtoeren bedraagt $2,2 \cdot 10^{-7}$ per jaar, dit is een factor 20 lager dan de faalkans $5,0 \cdot 10^{-6}$ per jaar volgens het HRW2014.
VII	'gemaal'	Er is meer onderbouwing nodig om percentage terug te dringen. Los van de vraag of RWS dit percentage wil accepteren, zouden alle partijen samen een detailniveau dieper moeten kijken naar de kritische constructie van de onderdelen.	De kritische zones voor het Gemaal en Spuisluis zijn nader vastgesteld. De uitwerking is toegevoegd in bijlage 7 van het rapport.
1	tekening 1.1	Figuur geeft niet de goede beheersituatie, de gele lijn is ook in beheer bij RWS en niet bij HHNK.	De figuur is gebaseerd op leggerkaarten uit 2014. Volgens de leggerkaarten houdt het beheersgebied op ter plaatse van de overgang. Figuur is daarom niet aangepast.
2	afbakening	Hoe wordt verder gegaan met WTG6 als het gaat om de overige functies? Is overdraaiing van de weg bij WTG2 meegenomen in de externe risico's?	WTG6 is beschouwd in de QRA voor externe risico's. Deze worden niet in dit rapport beschouwd.
		Uitgangspunt VTV2006, maar wel meenemen of er (grote) verschillen met WBI2017 worden verwacht. Bovenstaande wordt nog door RWS verder bekeken.	Beschouwing van de veiligheidsfilosofie is toegevoegd in paragraaf 3.5.
4	fundering	Toetsingsrapport aan deze uitgangspunten vereist bij het definitief ontwerp: valt alles onder deze berekeningen?	Benodigde verificatie in DO fase toegevoegd in paragraaf 2.2

Pag/alinea	Tekst	Opmerking RWS	Revisie RHDHV
5	kraanopstelplaatsen	Lijkt 'lichte' uitvoering, daarom vraag of dit type kraanopstelplaatsen overeen komt met andere projecten, zoals Krammer. Aandachtspunt hierbij is de beperkte ruimte bij verschillende turbines met name bij WGT2 (m.b.t. de waterveiligheid). Er zijn al opmerkingen geplaatst bij het rapport funderingen opstelplaatsen die moeten worden verwerkt.	De belastingen en het funderingsontwerp zijn vergelijkbaar met Windpark Krammer.
5	bouw- en onderhoudsweg	Verdere uitwerking is nodig, is er ruimte om kraan te bouwen, waar wordt materiaal opgeslagen, kruising openbare weg enz. Bovendien loopt de weg naar WTG1 langs het bestaande gemaal, er moet rekening gehouden worden met een uitbreiding gemaal (incl. bouwput). Er zijn voor de bouw- en onderhoudswegen een werk/bouwplan met o.a. tekeningen en dwarsdoorsneden en een verkeersplan nodig	Verwijzing naar het werkplan is opgenomen. Er is rekening gehouden met maatgevende belastingen en situaties. Met een ontgraving voor de toekomstige uitbreiding is geen rekening gehouden omdat hiervoor nog geen plannen beschikbaar zijn.
6	bekabeling	Zie ook opmerkingen onder brief: Waar komt het inkoopstation, hoe ziet het eruit en meer informatie is nodig over de kabels incl. de interferentie met andere kabels (bv. hoeveel KV en waar).	Dit is nader omschreven in paragraaf 2.2 met verwijzing naar het werkplan.
7/8	WTG1 en WTG2	Korte toelichting/beschrijving nodig op locaties van de beide turbines, kernzone, binnen- en buitenzijde. Daarin meenemen dat dit de locaties zijn bepaald door de voorwaarden provincie	Beschrijving is toegevoegd in par. 2.1
13	fase 2	De conclusies zijn niet smart genoeg en minder nauwkeurig. Tegenover de zeer conservatieve aannamen staat de onzekerheid van trillingen op de lange termijn; deze hebben invloed (aangetoond) en de effecten zullen moeten worden gemonitord. (Vooral spijula laag blijft vraagteken.)	De conclusies van fase 2 (kwantitatieve analyse) zijn meer smart gemaakt.
16/al2	HRW2014	Zie ook bij brief. Er worden geen percentages genoemd, dus geen 10% noemen. Keringen die direct buitenwaterende keringen zijn kritischer dan achterliggende waterkeringen.	Opmerking over 10% is verwijderd.
20	RC3 versus waarden VTV2006	Wordt nog door RWS naar gekeken.	-
24	kraanopstelplaatsen	Komen de belastingen overeen wat bij Krammer is berekend? In H5 worden afnames berekend, dit moet ook plek krijgen in conclusies. Verder wordt in H5 een signalering gemist of conclusie over de aansluitconstructies (fundering/grond).	Belastingen komen overeen met belastingen voor Windpark Krammer. Afnames zijn nu ook opgenomen in de samenvatting/conclusies. Aansluiting met de grond/bekleding is alleen relevant voor WTG1 (buitendijks) en is al beschreven in paragraaf 5.7.
25	trillingsintensiteit	In de paragraaf wordt een weergave	Er wordt ook gerefereerd aan berekeningen van

Pag/alineea	Tekst	Opmerking RWS	Revisie RHDHV
		gegeven van de beschikbare informatie over trillingen. Door Fugro wordt in opdracht van RWS nader onderzoek gedaan naar monitoring. De daadwerkelijke invloed/effeten van gebruikstrillingen is op lange termijn nog niet in te schatten. Er moet een basis komen met nul-meting voor monitoring vóór productie van alle turbines. In genoemd Fugro rapport is gemeten met windsnelheden van 3 tot 6 bf op locaties in A'dam, niet representatief voor deze locatie.	Plaxis. Deze komen overeen met de beschikbare meetgegevens. Het is inderdaad een 'best guess'. Toegevoegd is dat een monitoringsplan zal worden opgesteld om de trillingen te meten.
27/4.9	stabiliteitsfactoren	Wat is de waarde van de opsomming, zijn dit inderdaad redenen om factor naar beneden bij te stellen? De redenering is onvoldoende. Een betere onderbouwing is nodig.	Aangenomen wordt dat deze opmerking betrekking heeft op de schematiseringsfactor. Deze geldt doorgaans voor lange dijkvakken en trajecten. Voor de windturbinelocaties wordt slechts een zeer korte dijkstrekking beschouwd. De variatie van parameters (geometrie, grondwaterstand en laagdikte) zijn zo gering, dat een uitgebreide kwantitatieve gevoeligheidsanalyse overbodig is.
33	basis Deltahoogte uit RWS 2009	Wordt nog door RWS naar gekeken.	-
42/5.6	effecten op zettingsvloeiing	De beschrijving en beoordeling van de effecten is degelijk en is naar verwachting voldoende. Er loopt nog een interne toetsing bij RWS.	-
46	verbetermaatregelen	De 'meest voor de hand liggende maatregel' benoemen met onderbouwing	De methode 'overdimensioneren fundering' is verwijderd. Van de overige twee methoden zal de technisch en economisch beste oplossing nader bepaald moeten worden in de detail ontwerp fase.
47	bouwfase	Een kritieke situatie kan ook buiten stormseizoen optreden. De opmerking over stormseizoen is niet heel relevant zonder dat de risico's hieromtrent niet beschreven zijn. Er moet werkplan komen wat te doen bij maatgevende omstandigheden en specifieke situaties onafhankelijk van seizoen.	De maatregelen betreffende het werken buiten het gesloten stormseizoen is verwijderd. Een verwijzing naar het werkplan is opgenomen.
52	toetscriterium	Zie eerdere opmerkingen. H6 de wijze van benadering is akkoord en RWS gaat er vanuit dat het correct berekend is (geldt ook voor bijlage 6 Nordex).	-
61	gemaal	Noordersluis heeft spuifunctie, maar deze is niet actief in gebruik. Het is ook nog niet bekend wat de functie van de Noordersluis wordt na opening nieuwe zeesluis.	
		Hoofdstuk 6.9 over waterbeheer wordt nog door RWS getoetst.	-

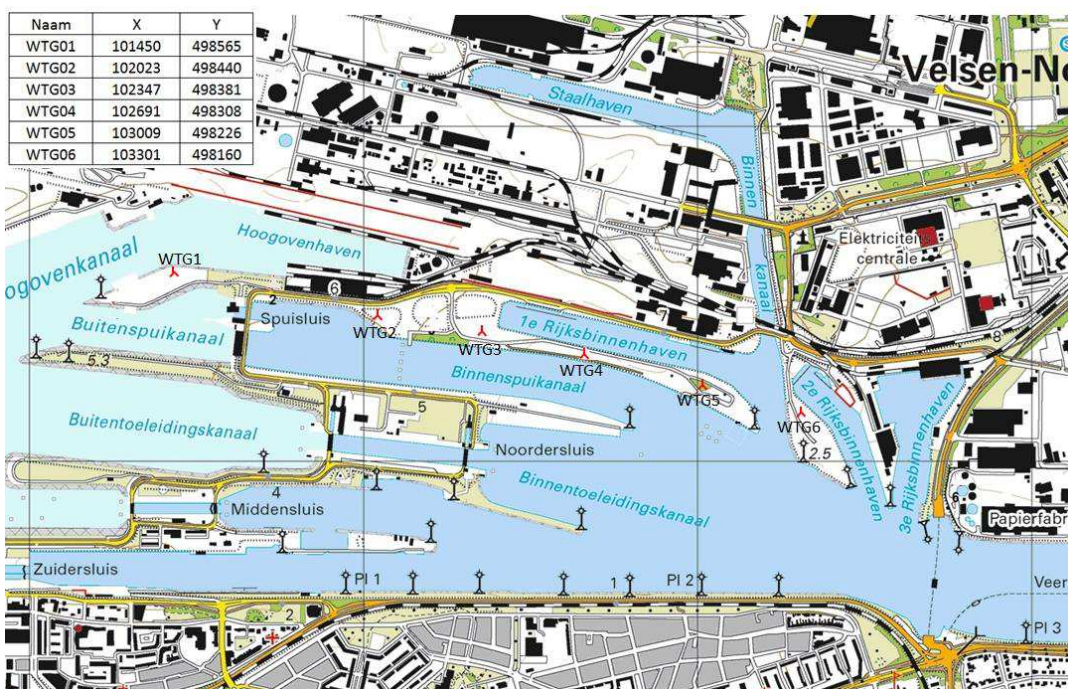
2 Projectomschrijving

2.1 Projectlocatie

Het 'Windpark Spuisluis' is voorzien op de strekdammen langs het Noordzeekanaal, zie Figuur 2-1. Het windpark zal bestaan uit zes windturbines, die zijn gelegen nabij de waterkering en het Gemaal- en spuicomplex. Het Gemaal, de Spuisluis en de dijklichamen maken deel uit van de primaire waterkering 'Sluizen IJmuiden' (dijkring verbindende waterkering 7).

De opstelling van de windturbines is bepaald in overeenstemming met de voorwaarden van de provincie Noord-Holland. Windturbine 1 (WTG1) is gepland op de westelijke strekdam langs het Hoogovenkanaal. Deze windturbine bevindt zich buitendijks in de buitenbeschermingszone van de waterkering. De afstand van de windturbine tot het Gemaal bedraagt circa 200 m.

Windturbines 2, 3, 4 en 5 zijn voorzien binnendijks langs het Binnenspuikanaal. Windturbines 6 zal worden aangelegd op de strekdam langs de 2^e Rijksbinnenhaven. WTG2 is gelegen binnen de kernzone van de waterkering. De afstand van windturbine WTG2 tot het Gemaal bedraagt circa 350 m. De overige windturbines bevinden zich buiten de beschermingszone en op ruime afstand van het gemaal- en spuicomplex.



Figuur 2-1: projectlocatie

2.2 Windparkonderdelen

Voor de beoordeling van de effecten op de waterveiligheid wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende onderdelen:

- Windturbine en fundatie;
- Kraanopstelplaats;
- Bouwweg;
- Windparkbekabeling.

Het voorontwerp van de onderdelen is uitgewerkt door BT Geoconsult [BT Geoconsult 2016]. In Bijlage 1 zijn situatietekeningen opgenomen van de projectlocatie. De onderdelen zijn hieronder nader omschreven.

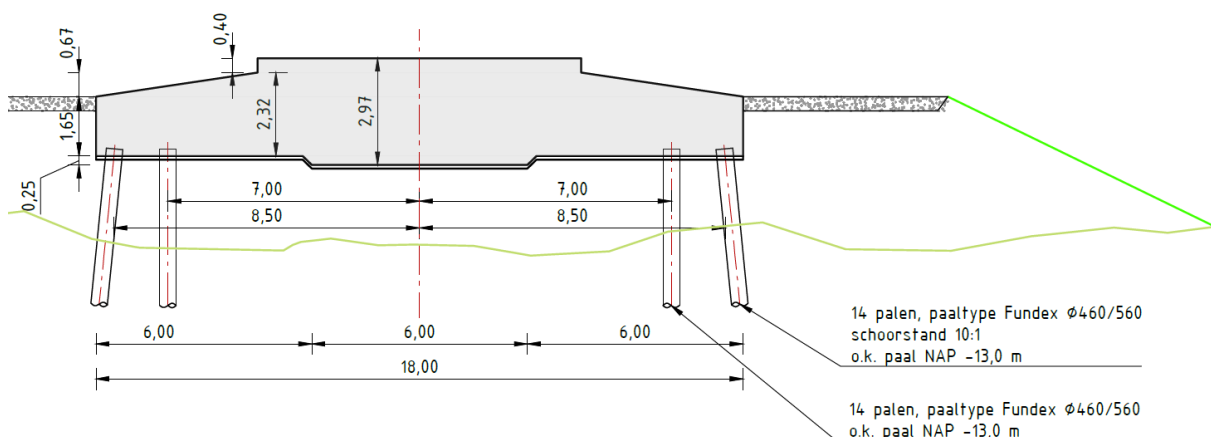
Windturbine en fundatie

De windturbines vallen in de 2-4 MW klasse. Op dit moment is nog niet vastgesteld wat voor type windturbine toegepast zal worden. In het funderingsontwerp [BT Geoconsult 2016] is uitgegaan van een Nordex windturbine type N117/3000 R120, IEC 2a/DIBt 2. Van de overwogen leveranciers heeft dit type windturbine de zwaarste gewichten van de onderdelen (mast, rotorblad, gondel). Voor de fundatie resulteert dit in maatgevende plaat- en paalafmetingen. In geval van falen van de windturbine wordt bij dit type de grootste schade aan de waterkering verwacht. Indien gekozen wordt voor een ander type, dan dient te worden nagegaan of deze een gelijk (of geringer) gewicht heeft. In de fase 'definitieve planning & ontwerp' zal worden geverifieerd of de gekozen windturbine en fundament vallen binnen de aangehouden bovengrenzen.

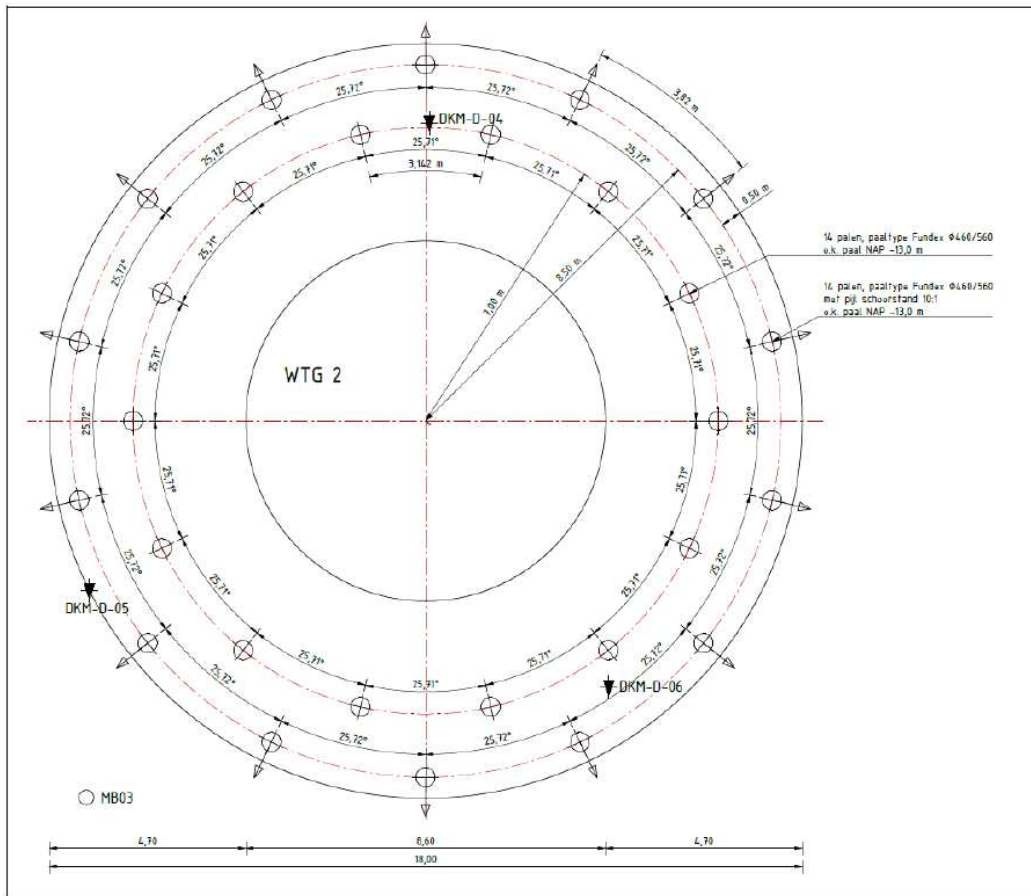
Het referentieontwerp van de funderingsplaat bestaat uit een cirkelvormige gewapende betonnen plaat met een diameter van 18 m en een dikte van 1,65 m aan de rand en 2,97 m in het midden, zie Figuur 2-2. De funderingsplaat wordt ondersteund door 28 palen, waarvan 14 palen onder een schoorstand van 10:1 aangebracht dienen te worden. Het niveau onderkant funderingsplaat van de windturbines (WTG1 t/m 6) varieert tussen NAP +0,6 m en NAP +3,1 m.

Om de kans op zettingsvloeiing tijdens de bouwphase zo klein mogelijk te houden is voor de uitvoeringsmethode van paalfundering voor een trillingsvrij systeem gekozen. Het gekozen paaltype betreft een (in de grond gevormde) schroefpaal van het type Fundex 460/560. Het paalpuntniveau is op basis van de locatie WTG2 bepaald op NAP -13,0 m.

Voor de verwijdering van de windturbinefundering wordt ervan uitgegaan dat de paalfundering gehandhaafd blijft. Het verwijderen van de palen kan leiden tot ongewenste trillingen en verstoring van de ondergrond. Voor de achtergebleven palen in de waterkering (WTG2) geldt dat hiermee rekening moet worden gehouden in verplichte 12-jaarlijkse veiligheidstoetsing. De palen dienen te worden beschouwd als niet-waterkerende objecten.



Figuur 2-2: afmetingen funderingsplaat windturbine [BT Geoconsult 2016]



Figuur 2-3: palenplan windturbinefundatie [BT Geoconsult 2016]

Kraanopstelplaats

Naast elke windturbine zal een kraanopstelplaats worden gerealiseerd. De kraanopstelplaatsen dienen geschikt te zijn voor belastingen door rupsbanden of kraanstempels. Door BT Geoconsult [BT Geoconsult 2016] is een voorontwerp van de kraanopstelplaats voor maatgevende locatie WTG2 opgesteld.

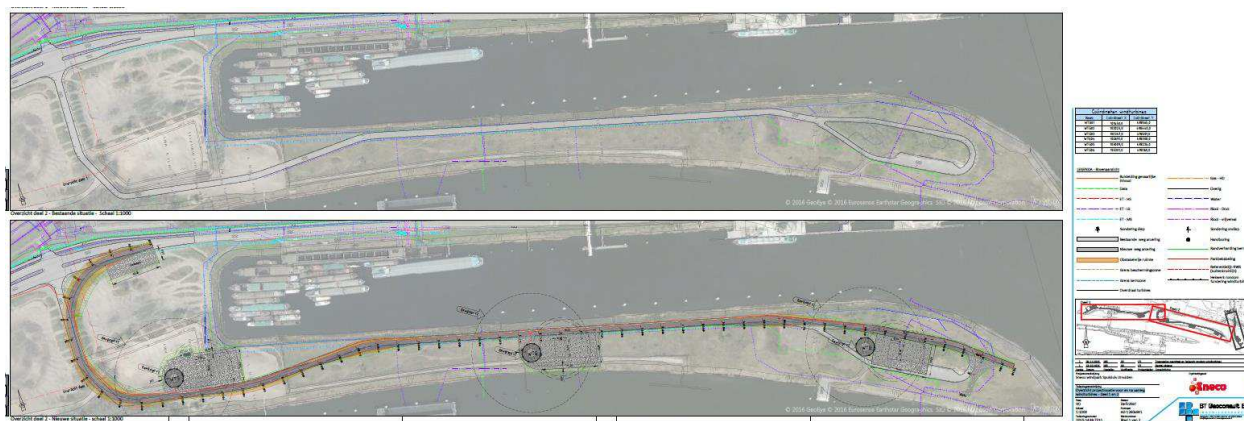
Uitgegaan is van een rekenwaarde van de maximale funderingsdruk van 250 kPa (karakteristiek 167 kPa). Het ontwerp van de kraanopstelplaats heeft de volgende kenmerken:

- De afmetingen zijn 40 m x 55 m.
- De fundering bestaat uit een toplaag van 0,4 m menggranulaat met daaronder goed verdicht zand.
- Rondom de kraanopstelplaats is een strook van 3,0 m als beloopbaar werkgebied aangehouden. Hierna start het talud van de (eventueel) nieuwe ophoging met helling 1:2.
- Het toekomstig maaiveld ter plaatse van de kraanopstelplaatsen (en funderingsniveau van de kraanopstelplaatsen) is aangehouden gelijk aan het niveau van de weg, voor WTG2 op NAP + 5,0 m.
- De belastingen vanuit de kraanstempels en rupsbanden worden geacht via draglineschotten naar het maaiveld afgedragen te worden. In het voorontwerp is uitgegaan van een representatief belast oppervlak van 10 m bij 16 m.

Ontwerp bouw- en onderhoudsweg

In deze fase (Voorontwerp & vergunningen) is als basisuitgangspunt aangehouden dat de bestaande infrastructuur geschikt is voor het transport, met uitzondering van enkele beperkte aanpassingen. Via de bestaande infrastructuur en de benodigde aanpassingen zijn alle windturbinelocaties bereikbaar voor de

noodzakelijke transporten. voor een nadere omschrijving van de Nabij WTG1 is een nieuwe weg voorzien met een lengte van circa 300 m. Nabij WTG1 en WTG2 ligt de weg deels in de kern- en beschermingszone van de waterkering. Voor de bouwweg naar de overige windturbines ligt de weg buiten de waterkeringszone. Voor deze weg is slechts plaatselijk een geringe aanpassing nodig in verband met vereiste bochtstralen. Als bijlage bij de vergunningsaanvraag is een 'Overzicht projectlocatie voor en na aanleg windturbines' bijgesloten, waarin de aanpassingen worden aangegeven. In Figuur 2-4 is een deel hiervan weergegeven.



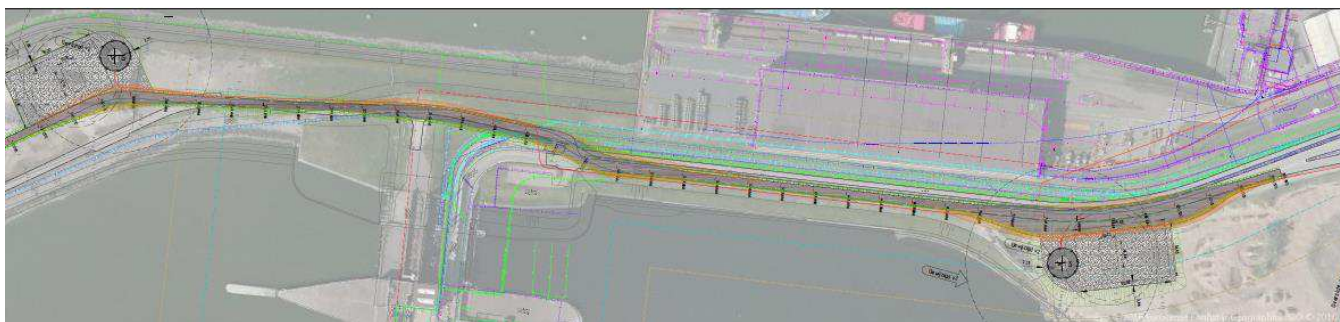
Figuur 2-4: Aan- en afvoerroutes bouw en onderhoud windparkonderdelen WTG 3/4/5

Windparkbekabeling

De windparkbekabeling voor Windpark Spuisluis betreft een elektrische verbinding tussen windturbines onderling. De transformatoren worden in de windturbines geplaatst. De windparkbekabeling zorgt voor het transport van het geproduceerde elektrisch vermogen naar het netstation voor de interface met de netbeheerder. Het netstation is voorzien nabij WTG3. De elektrische infrastructuur van Windpark Spuisluis bestaat uit een aantal hoofdonderdelen:

- De 33kV windparkbekabeling, welke de windturbines onderling met elkaar verbindt; en
- De netaansluiting, de verbinding van de 33kV verbinding met het station te Velsen (het regionale elektriciteitsnet).

In figuur 4-2 is ter illustratie het eerste deel van het kabeltracé weergegeven, waarbij de rode lijn de parkbekabeling is.



Figuur 2-5: deel kabeltracé tussen WTG 1 en WTG2

Bij de totstandkoming van het kabeltracé zijn in de beoordeling alle bestaande kabels en leidingen aanschouwd. Er is daarbij rekening gehouden met het risico op interferentie en de mogelijkheden om bestaande kabels te verleggen. De bestaande kabels en leidingen zijn van het type:

- Datatransportkabels;
- Middenspanningskabels;
- Laagspanningskabels (voornamelijk t.b.v. verlichting).

Tijdens de fase “detail planning & ontwerp” zal er opnieuw een KLIC-melding worden uitgevoerd en zullen de eigenaren van de aanwezige kabels en leidingen worden benaderd.

Ligging in het waterkerende deel van de primaire waterkering is zoveel mogelijk vermeden. Waar het niet anders kan is het kabeltracé gelegen in het binnentalud van de primaire waterkering en op een zo hoog mogelijk niveau (boven toetspeil). Op een plek is er sprake van het volledig kruisen van het waterkerende deel van de primaire waterkering.

De kruising bevindt zich tussen WTG1 en WTG2. Er wordt vanuit gegaan dat de kabels worden aangelegd in een sleuf met een diepte van 1,0 m en een breedte van 0,7 m. Bij de kruising is geen kwelscherm nodig aangezien de kabels over meer dan 3 m lengte boven het hoogwaterpeil ligt.

Naast de elektrische verbinding worden de windturbines ook nog onderling verbonden via een communicatienetwerk (glasvezel), benodigd voor het Supervisory Control And Data Acquisition system, ofwel het SCADA-systeem.

Voor meer informatie omtrent de parkbekabeling wordt verwezen naar het werkplan, dat bij de aanvraag zal worden ingediend.

2.3 Projectfasering

In de beoordeling van de invloed van de windparkonderdelen op de waterkerende functie worden de volgende projectfasen onderscheiden:

- *Bouwfase*: deze fase betreft de realisatie van alle windparkonderdelen;
- *Gebruiksfase*: het operationeel zijn van alle windparkonderdelen (inclusief beheer en onderhoud);
- *Verwijderingsfase*: deze fase betreft het na de gebruiksfase, deels of volledig, verwijderen van de windparkonderdelen. De oorspronkelijke situatie van voor de aanleg zal hierbij worden hersteld.

2.4 Waterkering

Primaire waterkering

De sluizen in IJmuiden en de aanliggende gronden zijn een verbindende waterkering en maken deel uit van dijkkringgebied 44 (Kromme Rijn). Volgens de Waterwet behoort de waterkering tot categorie b [Rijkswaterstaat 2009]. Categorie b waterkeringen zijn primaire waterkeringen, die een zee- of rivierarm af (kunnen) sluiten van de directe invloed van het buitenwater. Een dergelijke kering ligt dus voor een dijkkringgebied en keert buitenwater. De sluizen van IJmuiden beschermen dijkkringgebied 13 (Noord-Holland) en dijkkringgebied 14 (Zuid Holland) tegen de Noordzee.

De primaire waterkering in IJmuiden heeft een lengte van circa 4,1 km. In het noorden ter hoogte van de Hoogovenhavenaansluiting (TataSteel terrein) sluit de waterkering aan op de primaire waterkering in beheer bij het hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (zie Figuur 1-1). In het zuiden sluit de waterkering aan op de primaire waterkering in beheer bij het hoogheemraadschap van Rijnland.

Waterkerende functie

De primaire waterkering bestaat uit een vast dijklichaam op deltahoogte van NAP +7,50 m, dat wordt onderbroken door het Gemaal- en spuicomplex. Omdat de verbindende waterkering de dijkkringgebieden 13 en 14 beschermt, is de norm van de kering $1/10.000^2$.

Grondlichaam tussen het Gemaal en het Tata terrein

Het grondlichaam tussen het Gemaal en Tata terrein heeft een hoogte van NAP +7,92 m. De dijk heeft een kruinbreedte van ca. 8 m en aan beide zijde een talud 1 : 3. Onder de grasmat ligt een kleibekleding met een dikte van 0,9 m.

De oeverbekleding aan de zeezijde is als volgt opgebouwd:

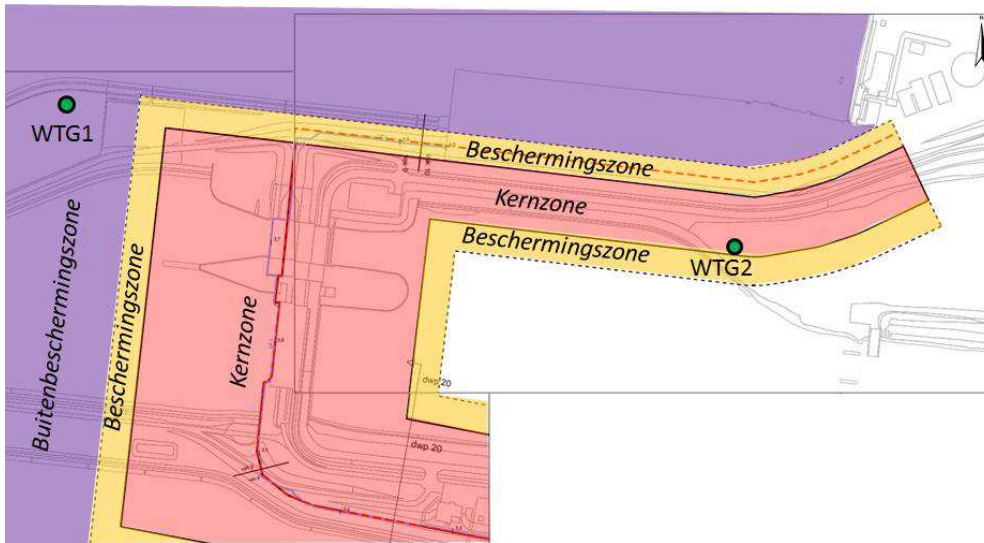
- op het dijkta-lud van NAP +5,20 m tot NAP +2,50 m een met Haringmanblokken beklede glooiing met een helling van ca. 1 : 2;
- van NAP +2,50 m tot NAP -0,60m een met gietasfalt gepenetreerde basalt glooiing met een helling van ca. 1 : 2 opgesloten met een aaneengesloten rij perkoenpalen;
- op NAP -0,6 m een 3 m brede plasberm bekleed met stortsteen;
- aansluitend op de plasberm een met stortsteen bekleed kraagstuk met een helling van 1:3 tot NAP -5,00 m.

Kernzone, beschermings- en buitenbeschermingszone

Zowel aan de zeezijde als aan de zijde van het Noordzeekanaal (NZK) zijn in de Legger [Rijkswaterstaat 2009] zones aanwezig die een bijdrage leveren aan de waterveiligheid. De gehele waterkeringszone is hiertoe onderverdeeld in een kernzone met aan beide zijden hiervan een beschermings- en buitenbeschermingszone, zie Figuur 2-4. Conform de Legger zijn de zones als volgt gedefinieerd:

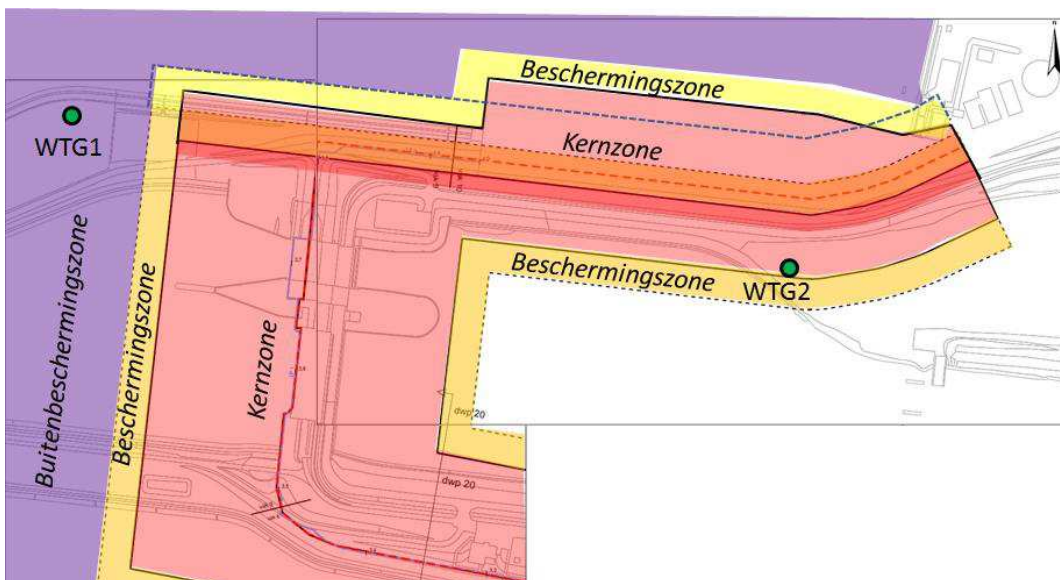
- De kernzone van de dijk omvat de kruin van de dijk en de constructieve elementen die schade aan de dijk moeten voorkomen. Voor de aanwezige dijklichamen betekent dit dat de kernzone wordt bepaald door de teen van de aanwezige oeverbescherming, afgerond op gehele 5 m afstand tot de waterkeringslijn.
- De beschermingszone is 25 m breed voor alle grondlichamen van IJmuiden en omvat het deel van het kanaalprofiel dat bijdraagt aan de huidige stabiliteit van de dijk.
- De buitenbeschermingszone betreft de zone tot de NAP -20m lijn voor de kust, aansluitend aan de beschermingszone aan de zeezijde. Aan de zijde van het Noordzeekanaal is geen buitenbeschermingszone gedimensioneerd.

² Doorkijk naar nieuwe normering: faalkanseis voor traject 44-3 is $1/30.000$ per jaar (signaalkans). Ondergrens (of maximaal toelaatbare kans is $1/10.000$ per jaar).



Figuur 2-6: kernzone en beschermingszones nabij het Gemaal en de sluisluis conform huidige legger

Opgemerkt wordt dat uit overleg met RWS (Erik Stapper, IJmuiden, 19 december 2016) is gebleken dat de zonering in de huidige Legger onjuist is. Uit Figuur 2-4 blijkt dat ten noorden van de Noordersluisweg de buitenkruinlijn (gestippelde rode lijn) buiten de kernzone ligt. Ook wordt mogelijk de kadeconstructie op het terrein van Tata Steel gerekend tot de waterkering. De kernzone zal hierdoor breder worden. Figuur 2-5 toont de verwachte toekomstige aanpassing van de Legger. In dit onderzoek is uitgegaan van de verbrede kernzone (conservatief).



Figuur 2-7: Verwachte aanpassing van de Legger

Normfrequentie

De in deze analyse toegepaste veiligheidsnorm van de verbindende waterkering bedraagt 10^{-4} (1/10.000) per jaar.

2.5 Het Gemaal- en spuicomplex

Het gemaal- en spuicomplex (zie Figuur 2-6) is essentieel voor de waterhuishouding in West-Nederland. Het gemaal- en spuicomplex vervult diverse functies, zoals hoogwaterkeren, waterbeheer (water afvoeren, pompen) en waterkwaliteit (zoet-zout scheiden). Onderstaande beschrijving van de onderdelen van het complex is overgenomen uit de Legger [Rijkswaterstaat 2009] en de notitie [Rijkswaterstaat 2015].



Figuur 2-8: Gemaal- en spuicomplex IJmuiden [Rijkswaterstaat 2015]

Spuisluis

De Spuisluis dateert uit 1940 en is ontworpen met een ontwerplevensduur van 100 jaar. In 1998 is een renovatie uitgevoerd. De maximale capaciteit is vergroot van 500 m³/s tot 900 m³/s. De Spuisluis wordt gebruikt om water onder vrij verval van het Noordzeekanaal (NZK) in de Noordzee te spuien.

De lengte van het kunstwerk is ca. 70,7 m. De breedte is ca. 43 m. De bovenkant van de drempels aan de kanaal- en zeezijde liggen op NAP -9,70 m. De bovenkant van het ontvangbed en het stortebed ligt op NAP -11,75 m.

De Spuisluisconstructie bestaat uit een op staal gefundeerde gewapende betonconstructie. De betonnen constructie is omgeven door een stalen damwand tot een diepte van NAP -18,10 m. De betonnen buitenwanden zijn waterkerend. De in deze gevel aanwezige lichtopeningen zijn waterkerend gemaakt met glazen bouwstenen.

De Spuisluis bestaat uit 7 naast elkaar liggende spuiokers, elk met een breedte van 5,90 m en een hoogte van 4,80 m. De bovenkant van elke spuioker ligt op een hoogte van NAP -4,45 m. Elk spuikanaal heeft één uit twee delen bestaande stalen glijschuif met een hydraulische cilinder als bewegingswerk. De stalen noodschuif is uitgerust met elektrische takels.

Onder normale omstandigheden wordt zo veel mogelijk water afgevoerd via deze spuiokers. Dit kan alleen tijdens laagwater op zee, waardoor maximaal enkele uren per dag kan worden gespuid. Als niet kan worden geloosd op zee door te hoge buitenwaterstanden en de waterstanden op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal (ARK) onacceptabel hoog dreigen te worden, wordt het Gemaal

ingezet om de peilen op het NZK/ARK te handhaven. Het doel is om ongeveer tweederde deel van het water af te voeren via de Spuisluis en een derde deel via het Gemaal. In de praktijk komt dit ongeveer neer op een 50%-50% verdeling.

Verbinding tussen de Spuisluis en het Gemaal

Tussen het Gemaal (bedieningsgebouw) en de Spuisluis loopt de waterkering langs de verbindingsgalerij met een betonnen frontmuur.

Gemaal

Het Gemaalgebouw is geheel opgetrokken uit gewapend beton. De onderbouw bevat de zuig- en persleidingen en de pompschachten. In de daarop geplaatste bovenbouw bevinden zich de ruimten voor de technische installaties, de controleruimte, de computerruimte, diverse kantoorruimten en de montage- en onderhoudshal. Deze is ruim 20 meter hoog en wordt aan beide zijden afgesloten door roldeuren. Hierop sluit de betonnen draagconstructie aan van de bovenloopkraan waaraan de pompeenheden zijn bevestigd. Over de instroomkokers van de sluis en het Gemaal loopt een doorgaande weg die het complex ontsluit (bron: De Nederlandse Gemalen Stichting).

Het Gemaal bestaat uit zes maalgangen die ieder voorzien zijn van een horizontale schroefpomp. Vier van de zes pompen zijn gebouwd in 1975 met een ontwerplevensduur van 80 jaar. De andere twee pompen zijn geïnstalleerd in 2005. De totale capaciteit na uitbreiding van het Gemaal is 260 m³/s. Elke pomp kan worden opgetakeld en met een kraan naar het naastgelegen onderhoudsgebouw worden verplaatst. Aan alle pompen wordt op deze manier (buiten het stormseizoen) onderhoud gepleegd.

De lengte van het kunstwerk na uitbreiding is ca. 67 m (inclusief onderhoudsloods). De breedte is ca 61,5 m. Het Gemaal bestaat uit een op staal gefundeerde gewapende betonconstructie. De betonnen constructie is omgeven door een stalen damwand tot een diepte van NAP -18,10 m.

De kerende hoogte van het Gemaal is NAP +8,00 m. Het Gemaal heeft 6 maalgangen met elk een pompkanaal, dat overgaat in twee (parallelle) perskanalen. De 12 perskanalen worden afgesloten met stalen schuiven van 5,00 m hoog, 2,00 m breed en 0,20 m dik. Aan de zeezijde zijn de vier maalgangen elk voorzien van een passief kerend stalen kleppenraam.

Operationeel beheer van het complex

De bediening van het Gemaal- en spuicomplex gebeurt vanuit het Centraal Bedieningsgebouw in Schellingwoude.

Waterkerende functie en normering

Het Gemaal en de Spuisluis betreffen waterkerende constructies. De hoogwater kerende hoogte voor golfoverslag van het Gemaal en de Spuisluis zijn respectievelijk NAP+8,00 m en NAP+8,70 m. De gehanteerde veiligheidsnorm van de waterkering bedraagt 10⁻⁴ (1/10.000) per jaar. Voor de Spuisluis betekent dit, dat de schuiven van de Spuisluis zijn berekend op een waterstandsverschil met een over- of overschrijdingsfrequentie van 10⁻⁴ per jaar in de voorhaven en het streefpeil op het Noordzeekanaal.

De Technische Adviescommissie Waterkeringen (TAW) heeft in de Leidraad Kunstwerken [TAW2003] ontwerpnormen afgeleid waaraan waterkerende constructies dienen te voldoen. Deze normen hebben betrekking op de hoogte, de kans op niet sluiten en de kans op constructief falen van het betreffende kunstwerk.

- De kerende hoogte van de constructie dient zodanig te zijn dat de kans op overschrijding kritisch peil in achterliggend gebied door overslag en overloop van systeem RWS in samenhang met de naastgelegen dijkkringdelen kleiner of gelijk is aan de normfrequentie: 10⁻⁴/jaar

- De kans op overschrijding kritisch peil in het achterliggend gebied door niet-sluiten van de constructie dient kleiner of gelijk te zijn aan 0,1 keer de normfrequentie: 10^{-5} /jaar
- De kans op bezwijken van de constructie dient kleiner of gelijk te zijn aan 0,01 keer de normfrequentie: 10^{-6} /jaar

Afwaterende functie

Hoogwatersituaties op het NZK/ARK treden meestal op tijdens perioden met veel neerslag in combinatie met sterke wind uit westelijke tot noordelijke richting. In die gevallen is het door de hoge buitenwaterstanden bij het Gemaal- en spuicomplex vaak niet mogelijk om te spuien naar zee en is de maximale afvoercapaciteit beperkt tot de Gemaalcapaciteit. Bij aanhoudende hevige neerslag kan de aanvoer van water naar het NZK/ARK zo hoog worden dat de Gemaalcapaciteit niet toereikend is om al het aangevoerde water af te voeren naar zee. Het gevolg is dan dat de waterstand op het NZK/ARK stijgt.

Het streefpeil op het NZK/ARK is NAP-0,40 m. Wanneer een peil van NAP-0,30 m wordt bereikt, wordt gebruik gemaakt van alternatieve afvoerroutes. Bij het bereiken van NAP -0,20 m (dreigend hoogwater) vindt boezemoverleg plaats. De regionale beheerders overleggen dan met Rijkswaterstaat waar er ruimte zit in het systeem. De inzet van het Gemaal Zeeburg kan in het uiterste geval het systeem ontlasten, door water af te voeren naar het Markermeer. Vanaf NAP-0,15 m vindt overstort van regenrioolstelsels plaats. Dan wordt een groot deel van Amsterdam en de boezem van Waterschap Amstel, Gooi en Vecht ten westen van het ARK afgesloten van het NZK/ARK door de kunstwerken van het IJfront en Amstelfront te sluiten. Bij NAP +0 m lopen de kades van de zijkanalen en het ARK over en volgt er mogelijk een afvoerbeperking/afvoerstop voor omliggende waterbeheerders.

Wanneer het streefpeil van NAP-0,40 m niet gehandhaafd kan worden ontstaat dus niet onmiddellijk een probleem. Momenteel is er geen vastgestelde 'norm' die bepaalt wanneer het Gemaal- en spuicomplex niet meer voldoet aan de afwaterende functie.

2.6 Toekomstige ontwikkelingen

Nieuwe zeesluis

Tussen de Noordersluis en de Middensluis wordt een nieuwe grote zeesluis (project Zeetoegang IJmond) gerealiseerd. De nieuwe sluis is 500 m lang en 70 m breed, zie Figuur 2-7. Oplevering wordt verwacht in 2019. De afstand van de nieuwe sluis tot de dichtstbijzijnde turbine bedraagt circa 430 m. Vanwege deze grote afstand is uitgesloten dat de constructie getroffen wordt door een weggeworpen rotorblad (zie paragraaf 6.4). Om deze reden zijn de bovengrondse effecten (afgeworpen rotorblad) op de nieuwe sluis niet meegenomen in de beoordeling.



Figuur 2-9: ontwikkeling nieuwe zeesluis

(Figuur uit presentatie Startbijeenkomst ZTY,

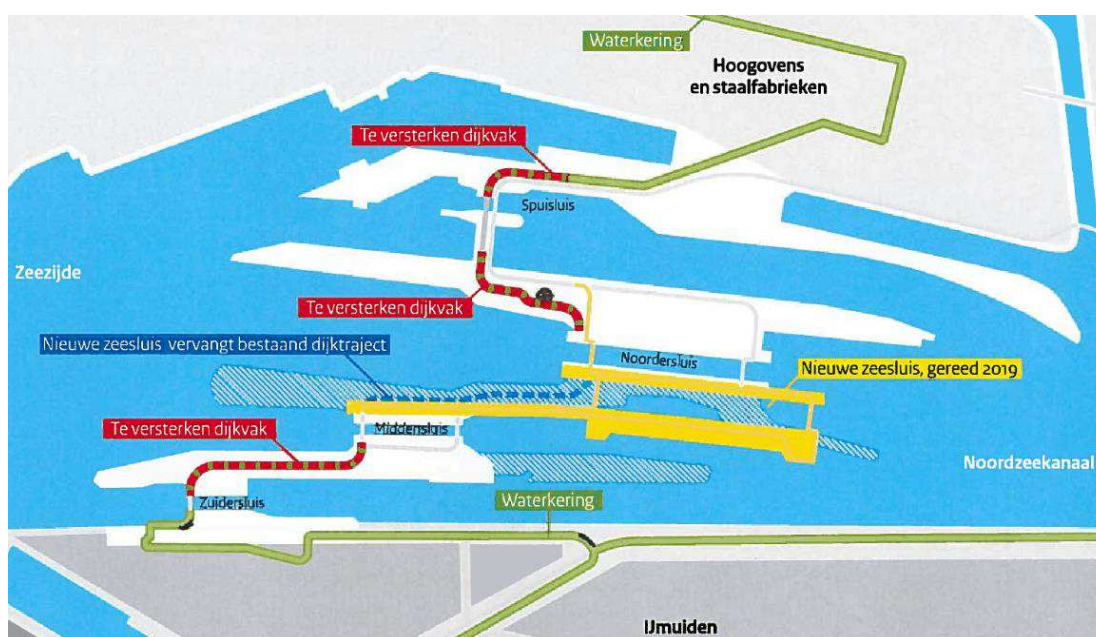
https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Presentatie%20bewonersavond%2031%20oktober%202016_tcm21-95568.pdf)

Dijkverbetering

De kering rondom het sluisencomplex bij IJmuiden is afgekeurd omdat de bekleding (gras en steenbekleding) niet voldoet aan de veiligheidsnormen. Op een aantal plaatsen zal de bekleding van de waterkering worden versterkt, zie Figuur 2-8.

De werkzaamheden die nodig zijn voor de verbetering, worden meegenomen met de bouw van de nieuwe zeesluis. In 2019 zal de versterking zijn uitgevoerd.

Het te versterken dijkvak ten noorden van het Gemaal heeft raakvlakken met de aanpassing van de weg voor de realisatie van het windpark. *Afstemming met RWS is nodig voor inpassing van het ontwerp in de versterkingsopgave.*



Figuur 2-10: geplande dijkverbetering

3 Projectaanpak

3.1 Algemeen

Dit rapport betreft fase 3 van een haalbaarheidsonderzoek. In de eerste twee fasen van het onderzoek is door Deltares in opdracht van Eneco Wind BV het risico op 'zettingsvloeiing' als gevolg van de plaatsing, aanwezigheid en verwijdering van windturbines beschouwd. In de huidige fase 3 wordt naast het risico op zettingsvloeiing, ook een kwantitatieve analyse uitgevoerd voor alle overige relevante faalincidenten van de waterkering en de windturbines tijdens de bouw, het gebruik en het verwijderen van het windpark. Voor deze fase worden twee soorten analyses onderscheiden:

1. Analyse van de gevolgen voor de waterveiligheid door ondergrondse effecten van de bouw, gebruik en verwijderen van de windturbines.
2. Analyse van de gevolgen voor de waterveiligheid door bovengrondse effecten bij falen van de windturbine.

In de volgende paragrafen is de aanpak van de verschillende onderzoeken nader beschreven.

3.2 Haalbaarheidsonderzoek fasen 1 en 2

Door Eneco Wind BV is in overleg met Deltares en Rijkswaterstaat bepaald, dat het faalmechanisme 'zettingsvloeiing' het grootste risico vormt voor de haalbaarheid van het windpark Spuisluis. Trillingen als gevolg van het inbrengen van palen, het gebruik van de windturbines en de sloop kunnen een trigger zijn voor het optreden van zettingsvloeiing. Zettingsvloeiing kan leiden tot schade aan de strekdam of waterkering en de daarop aanwezige constructies, waaronder de windturbines zelf. Daarnaast kan zettingsvloeiing resulteren in verondieping van de (vaar)geul, dat kan leiden tot belemmering van scheepvaart of spuicapaciteit.

Middels een haalbaarheidsonderzoek is door Deltares in twee fasen onderzocht of tijdens de bouw en de gebruiksfase van de windturbines de kans op het ontstaan van een zettingsvloeiing acceptabel klein is. De verrichte werkzaamheden en de bevindingen van het eerder onderzoek zijn hieronder kort beschreven. Voor meer achtergrondinformatie wordt verwezen naar de rapportage van Deltares voor fase 1 [Deltares, 2015] en fase 2 [Deltares, 2016].

In fase 1 zijn de ervaringen ten aanzien van zettingsvloeiingen geïnterpreteerd. Gebruik is gemaakt van de bij Deltares beschikbare gegevens en ervaringen van Rijkswaterstaat. Op basis van de gegevens is een kwalitatieve beschouwing uitgevoerd van het risico op het optreden van zettingsvloeiing en de bijdrage van windturbines daaraan. Op basis van de beschouwing is het volgende geconcludeerd:

- Tijdens de bouwfase is de kans op het ontstaan van een vloeiing niet verwaarloosbaar, maar door een aangepaste uitvoeringsmethode (trillingsvrij paalsysteem) kan deze kans naar verwachting wel acceptabel klein worden.
- Voor de bedrijfsfase wordt de kans op het ontstaan van een vloeiing klein geacht.

Fase 2 betrof een kwantitatieve beschouwing van het risico op het optreden van en schade ten gevolge van zettingsvloeiing en de bijdrage van windturbines daaraan. De belangrijkste conclusies van fase 2 zijn:

- De kans op het optreden van zettingsvloeiing en schade door zettingsvloeiing aan de landtong en verondieping van de geul is aanzienlijk, ook zonder de aanwezigheid windturbines.

- De invloed van trillingen door de windturbines in de gebruiksfase op deze kans zijn beperkt, helemaal als in acht wordt genomen dat enkele zeer conservatieve aannamen zijn gedaan. Berekeningen met Plaxis hebben aangetoond dat in de Spisulalaag onder aan het talud geen plastische vervorming, en daarmee geen compactie en ontwikkeling van wateroverspanningen zal plaatsvinden. Uit de analyses volgt dat de maximale versnelling in de zandlaag 0.02 m/s^2 ($0.002g$) is. Zelfs bij zeer conservatieve aannamen komt de relatieve wateroverspanning niet boven de 1% uit.
- De toename van de optredingskans tijdens de gebruiksfase bedraagt in het profiel aan Hoogovenhaven-zijde ongeveer 15% en aan Buitenpuikanaal-zijde 13%. Dat lijkt een forse toename. Hierbij dient het volgende in ogenschouw genomen te worden:
 - De absolute toename van de kans op schade door zettingsvloeiing ligt in de ordegrootte van 10^{-5} .
 - In de berekening is aangenomen dat de kans van optreden van een belasting in de vorm van een versnelling van $0.002g$ en 1% wateroverspanning 100% is. In werkelijkheid is die kans vele malen kleiner, wellicht ordegrootte 1%. Indien een volledige faalkansanalyse wordt gedaan, waarin de kans op zettingsvloeiing wordt “uitgeïntegreerd” over alle mogelijke belastingen ten gevolge van trillingen (zie paragraaf 4.7), zal een aanzienlijk kleinere kans op schade door zettingsvloeiing berekend worden. In paragraaf 5.1 is verder vastgesteld dat de rekamplituden bij een maximale belasting in de zandlaag zo gering zijn, dat wateroverspanningen niet eens kunnen optreden. Indien met alleen een versnelling van $0.001g$ wordt gerekend, is de toename in kans nog maar 1.03. Tot slot is uitgegaan van een zeer geringe afstand tussen de windturbines en het onderwatertalud. Indien de daadwerkelijke afstand groter is, zullen de spannings- en rekamplituden ter plaatse van het onderwatertalud nog geringer zijn.
- De berekende grote kansen op schade door zettingsvloeiing zijn niet alleen een aandachtspunt met betrekking tot de waterveiligheid (bijdrage aan de kans op overstroom door kruinverlaging na inscharing of vermindering spuicapaciteit door verondieping), maar ook met betrekking tot de veiligheid van de fundering van de windturbines zelf.

3.3 Aanpak beoordeling van ondergrondse effecten van bouw, gebruik en verwijderen van de windturbines

De analyse van de waterveiligheid betreft een toetsing van alle relevante grondmechanische (faal)mechanismen voor de watering, het Gemaal en de Spuisluis. De in de toetsing te beschouwen faalmechanismen komen overeen met de toetssporen van de Voorschriften Toetsen op Veiligheid (VTV2006). Deze faalmechanismen zijn:

- Overlopen en overslag (HT)
- Piping en heave (STPH)
- Macro-instabiliteit binnenwaarts (STBI)
- Macro-instabiliteit buitenwaarts (STBU)
- Micro-instabiliteit (STMI)
- Instabiliteit van de bekleding (STBK)
- Instabiliteit van het voorland door afschuiving of zettingsvloeiing (STVL)

Voor elk faalmechanisme is bepaald wat de mogelijke effecten zijn op de sterkte en/of de belasting van de waterkering en de kunstwerken. De effecten op de waterveiligheid zijn geanalyseerd voor alle projectfasen (zie paragraaf 2.3) gedurende de gehele planperiode.

Rekening is gehouden met onder andere de volgende effecten:

- de dynamische belastingen ten gevolge van de windbelastingen tijdens exploitatie;
- de belasting door hoofdkranen op de kraanopstelplaatsen;
- de belasting door hulpkranen en transport;
- de afname van de sterkte door ophogingen of tijdelijke ontgravingen.

De mogelijke effecten zijn per faalmechanisme beoordeeld. Gebruik is gemaakt van toets- en rekenregels conform de vigerende voorschriften en richtlijnen voor waterkeringen en kunstwerken. Voor de toetsing van de macrostabiliteit is gebruik worden gemaakt van het rekenprogramma D-GeoStability (versie 16.1) van Deltares.

Voor instabiliteit van het voorland als gevolg van verweking is gebruik gemaakt van de resultaten van Fase 2. Per locatie is op basis van aanvullende informatie (sonderingen, profielen, damwand- en bestortingsgegevens) de kans op zettingsvloeiing bepaald.

De waterveiligheid voor de nieuwe situatie is vervolgens vergeleken met de waterveiligheid in de huidige situatie. Als uitgangspunt geldt dat geen noemenswaardige vermindering van de waterveiligheid mag optreden en dat voldaan moet worden aan de afgestemde normen. Indien er sprake is van een significant negatief effect, zijn maatregelen voorgesteld, waarmee de negatieve effecten verholpen of voorkomen kunnen worden. Voor de maatregelen zijn principeoplossingen beschreven.

3.4 Aanpak beoordeling van bovengrondse effecten door falen van een windturbine

Voor de risicoanalyse zijn de volgende stappen doorlopen.

Stap 1: Vaststellen faalscenario's

De risicoanalyse is uitgevoerd in lijn met het Handboek Risicozonering Windturbines van 2014 (versie 3.1) [HRW2014]. Het handboek stelt dat er drie faalscenario's zijn die een extern risico opleveren voor de directe omgeving. De drie faalscenario's zijn:

1. Het omvallen van de mast, inclusief gondelhuis en rotor;
2. Het neerkomen van het gondelhuis met de rotor;
3. Bladbreek of het afbreken van delen van een rotorblad.

Stap 2: Vaststellen faalfrequentie per scenario

Voor elk van de scenario's is op basis van het HRW2014 de faalfrequentie vastgesteld. Hiervoor is een keuze gemaakt voor het maatgevende windturbinetype op basis van masthoogte en gewichten van de windturbine-onderdelen.

Stap 3: Vaststellen kritische strook waterkering, Spuisluis en Gemaal

De kritische strook van de waterkering is gelijk gesteld aan de kernzone van de waterkering. Aan de waterzijde wordt alleen het deel boven de Laagwaterstand meegenomen. Aangenomen zal worden dat het neerkomen van een onderdeel in het water niet leidt tot falen van de waterkering. Voor het neerkomen van een windturbine, of een onderdeel hiervan, in de kritische strook wordt aangenomen dat dit direct kan leiden tot falen van de waterkering.

Voor de Spuisluis en het Gemaal is de gehele constructie beschouwd als kritische zone. Aangenomen is dat bij neerkomen van een rotorblad op de constructie, ongeacht de locatie, de waterveiligheid en het waterbeheer nadelig kunnen worden beïnvloed. Dit is een conservatieve aanname, aangezien sommige delen van de constructie minder gevoelig zijn voor schade.

Stap 4: Vaststellen raakfrequentie

Per faalscenario is het maximale valbereik of trefafstand van een falende windturbine of windturbineonderdeel vastgesteld. Voor het faalscenario 'bladbreek' is de trefafstand bepaald voor nominaal toeren en overtoeren. Het resultaat is de trefkans van de zones ten gevolge van de afzonderlijke windturbines. De combinatie van de trefkans met de faalfrequentie van de windturbines resulteert in de 'totale raakfrequentie' (=faalfrequentie x trefkans).

Stap 5: Bepalen kans op falen restprofiel tijdens de herstelperiode

Op basis van een grondmechanische (energie)beschouwing is een inschatting gemaakt van de te verwachte schade (kraterdiepte) aan de waterkering bij neerkomen van de windturbine (gondel of rotorblad). Op basis van de te verwachten schade is het restprofiel van de waterkering bepaald. Het resultaat van deze stap is een inschatting van de maximale buitenwaterstand, die het restprofiel nog kan keren. De faalfrequentie van de kering wordt bepaald door de kans dat deze waterstand optreedt tijdens de reparatieperiode.

Voor de Spuisluis en het Gemaal is op basis van expertkennis geschat wat de schade aan het complex is (bijvoorbeeld uitvallen van één of meerdere pompen). Op basis hiervan is de kans bepaald dat niet meer voldaan kan worden aan de eisen die gesteld worden aan de kerende hoogte, de betrouwbaarheid van het sluiten en de constructieve sterkte en stabiliteit.

Stap 6: Berekenen additionele faalfrequentie en toetsing aan criterium

Tenslotte is per scenario de additionele faalfrequentie berekend op basis van de faalfrequenties voor het falen van de windturbine, de totale raakfrequenties en de kans op falen van de kering of het kunstwerk tijdens reparatie.

Voor de toetsing van de Spuisluis, het Gemaal en de waterkering zijn geen wettelijke criteria opgesteld waaraan voldaan moet worden. **Aangezien de waterkering direct het buitenwater keert, wordt in deze beoordeling voor de waterkering en kunstwerken een eis van 1% van de autonome normfrequentie gehanteerd.**

Wanneer de totale faalkansbijdrage van alle windturbines gezamenlijk kleiner is dan het criterium, is aangetoond dat de geplande windturbines niet leiden tot een noemenswaardige risicoverhoging.

3.5 Veiligheidsfilosofie

Oude normering

In de aanpak is in overleg met Rijkswaterstaat gekozen voor een beoordeling volgens de VTV2006. Volgens deze normering geldt voor de waterkering een overschrijdingsfrequentie (van de waterstand) van 1/10.000. Bij deze overschrijdingskans van de waterstand wordt gesteld dat voor de hoogte van de waterkering 100% faalkansruimte wordt gereserveerd ($P_f = 1 \cdot 10^{-4}$ /jaar). Voor overige faalmechanismen wordt 10% gereserveerd ($P_f = 1 \cdot 10^{-5}$ /jaar).

Vanuit deze top-eis voor alle overige faalmechanismen dient middels een foutenboom een faalkansverdeling gemaakt te worden voor de diverse onderdelen van een waterkering. Conform de Leidraad Rivieren (2007) dient voor het faalmechanisme binnenwaartse stabiliteit voldaan te worden aan een schadefactor van $\gamma_n=1,21$. Hierbij behoort een betrouwbaarheidsindex van $\beta=4,6$ met een bijbehorende faalkans van circa $2,6 \cdot 10^{-6}$ /jaar. Voor de buitenwaartse stabiliteit bedraagt de schadefactor $\gamma_n=1,14$. Hierbij hoort een betrouwbaarheidsindex van $\beta=4,3$ met een bijbehorende faalkans van $7,8 \cdot 10^{-6}$ /jaar (factor 3 hoger). Afhankelijk van het toegepaste rekenmodel en of er wel of geen opdrijven aan de orde is, dient er nog een modelfactor te worden toegepast en ook een schematiseringsfactor.

Nieuwe normering

Per 1 januari 2017 geldt voor de primaire waterkeringen in Nederland een nieuwe normering, die niet meer uitgaat van een overschrijdingskans van de waterkering, maar van een overstromingskans. De nieuwe normering is vastgelegd in de 'Handreiking Ontwerpen met Overstromingskansen – Veiligheidsfactoren en Belastingen bij nieuwe Overstromingskansnormen' (OI2014v4). Globaal is de aanpak van de beoordeling van de faalmechanismen vergelijkbaar met de gehanteerde aanpak volgens de VTV2006. De verschillen en de mogelijke invloed op de beoordeling zijn hieronder omschreven.

- In de nieuwe normering wordt niet meer uitgegaan van 1 norm voor een hele dijkkring, maar zijn de dijkkringen opgedeeld in dijktrajecten, met per dijktraject een nieuwe norm. In plaats van een overschrijdingsfrequentie wordt per dijktraject uitgegaan van een overstromingskans. De overstromingskans wordt uitgedrukt in een signaleringswaarde en een ondergrens. De signaleringswaarde is opgenomen vanuit de gedachte dat het versterken van een kering enkele jaren kost. De ondergrens betreft de maximaal toelaatbare overstromingskans. De verbindende waterkering bij de Sluizen behoort volgens de nieuwe systematiek bij Dijktraject 44-3, onderdeel van dijkkring Kromme Rijn, met een lengte van 4200 m. Voor dit dijktraject geldt een signaleringswaarde van 1/30.000 per jaar, de maximaal toelaatbare faalkans is 1/10.000 per jaar. Deze ondergrens komt overeen met de gehanteerde overschrijdingsnorm.
- In het OI2014 wordt een standaard faalkansverdeling gehanteerd voor de verschillende faalmechanismen, zie tabel 3-1.

Tabel 3-1: faalkansverdeling [OI2014v4]

Type waterkering	Faalmechanisme	Type traject	
		Zandige kust	Overig (dijken)
Dijk	Overloop en golfoverslag ^a	0,0	0,24
	Opbarsten en piping	0,0	0,24
	Macrostabiliteit binnenwaarts	0,0	0,04
	Beschadiging bekleding en erosie	0,0	0,10
Kunstwerk	Niet sluiten	0,0 ^b	0,04
	Piping	0,0 ^b	0,02
	Constructief falen	0,0 ^b	0,02
Duin	Duinafslag	0,70	0,0 / 0,10 ^c
Overig		0,30	0,30 / 0,20 ^c
Totaal		1,0	1,0

- a Overloop en golfoverslag bij kunstwerken is samengevoegd met overloop en golfoverslag bij dijken vanwege de zeer sterke ruimtelijke correlaties tussen deze faalmechanismen bij kunstwerken en dijkvakken met dezelfde oriëntatie.*
- b Veel trajecten langs de zandige kust bevatten geen kunstwerken of dijken. Als dit wel het geval is, dan moet hoe dan ook van de hier gepresenteerde faalkansbegroting worden afgeweken.*
- c Voor dijktrajecten die voor een gedeelte uit duinen bestaan, zal duinafslag vaak een relatief kleine faalkansbijdrage leveren. Daarom is voor dergelijke gevallen 10% van de post 'overig' toegewezen aan duinafslag. Dit voorkomt dat voor dergelijke situaties een specifiek voorstel voor de faalkansbegroting moest worden opgesteld.*

Figuur 3-1: standaard faalkansverdeling [OI2014v4]

- Op basis van de faalkansbegroting kan per faalmechanisme op doorsnedeniveau een faalkanseis worden afgeleid. Voor macrostabiliteit zijn op basis van de faalkansruimtefactor van 0,04 en de dijktrajectlengte van 4200 m de schadefactoren afgeleid. In tabel 3-2 is een overzicht gegeven van de afgeleide veiligheidsfactoren voor binnenwaarts macrostabiliteit (STBI en buitenwaartse macrostabiliteit (STBU). In de tabel is ook de veiligheidsfactor volgens VTV2006 aangegeven.

Voor macrostabiliteit binnenwaarts wordt op basis hiervan een schadefactor berekend van $\gamma_n=1,10$; met een bijbehorende betrouwbaarheidsindex van $\beta=4,74$ en een bijbehorende faalkans van circa $1,1 \cdot 10^{-6}$ /jaar.

Voor de buitenwaartse stabiliteit geldt vooralsnog een 10% hogere toerlaatbare faalkans. Daarmee bedraagt de schadefactor voor de buitenwaartse stabiliteit $\gamma_n=1,03$; met bijbehorende betrouwbaarheidsindex van $\beta=4,25$ en een faalkans van circa $1,1 \cdot 10^{-5}$ /jaar.

Voor de Spuisluis is het model 'Mohr Coulomb niet opdrijven' relevant. Voor dit kan worden geconcludeerd dat de nieuwe stabiliteitsfactoren lager zijn dan de gehanteerde waarden volgens de VTV2006.

Tabel 3-2: vergelijking veiligheidsfactoren volgens OI2014v4 en VTV2006

		STBI				STBU			
		OI2014v4			VTV2006	OI2014v4			VTV2006
Factoren		CSSM	MC opdrijven	MC niet opdrijven		CSSM	MC opdrijven	MC niet opdrijven	
schematiseringsfactor	γ_b	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
materiaalfactor	γ_m	1	1	1	1	1	1	1	1
schadefactor	γ_n	1,12	1,10	1,10	1,21	1,05	1,03	1,03	1,14
modelfactor Bishop	γ_d	1,11	1,10	1,00	1,00	1,11	1,00	1,00	1,00
modelfactor Uplift Van	γ_d	1,06	1,05	0,95	-	1,06	0,95	0,95	-
modelfactor Spencer	γ_d	1,06	1,05	0,95	-	1,06	0,95	0,95	-
modelfactor EEM	γ_d	-	1,05	1,00	-	-	1,00	1,00	-
Overall veiligheid incl. schematiseringfactor									
Bishop		1,37	1,33	1,21	1,33	1,28	1,14	1,14	1,25
Uplift Van		1,31	1,27	1,15		1,22	1,08	1,08	
Spencer		1,31	1,27	1,15		1,22	1,08	1,08	
EEM		-	1,27	1,21		-	1,14	1,14	

- Een belangrijk verschil tussen de VTV2006 en OI2014v4 is het toe te passen rekenmodel voor de macrostabiliteitsanalyses. De analyses zelf zijn vergelijkbaar, gebaseerd op semi-probabilistische

rekenregels. In de VTV2006 worden de analyses uitgevoerd volgens het Mohr-Coulomb (MC) model op basis van gedraineerde schuifsterkten van de ondergrond. In de nieuwe ontwerpnormen is overgestapt naar het Critical State Soil Model (CSSM). Dit model is gebaseerd op de ongedraineerde schuifsterkte van de grondlagen. Vooral voor klei en veen betekent dit dat het grondgedrag anders kan zijn. De waterkering en ondergrond op de projectlocatie bestaan voornamelijk uit zand. Hierdoor heeft het toe te passen rekenmodel geen noemenswaardige invloed op de stabiliteit.

- Ten aanzien van windturbines als niet waterkerende objecten (NWO's), wordt er de nieuwe normering geen faalkansruimte gereserveerd. In principe dient de faalkansruimte voor de bijdrage van NWO's gevonden te worden binnen het betreffende faalmechanisme. Hierbij dient in een eerste eenvoudige toets, getoetst te worden of de bijdrage aan de directe faalmechanismen, als gevolg van de aanwezigheid van een NWO, verwaarloosbaar is. Dit is bijvoorbeeld het geval als het verstoringsprofiel het beoordelingsprofiel niet snijdt. Deze aanpak is overeenkomstig de gehanteerde aanpak volgens de VTV2006. In de aanpak zijn belastingen of afname sterkte door de windturbine beschouwd bij de relevante faalmechanismen. Als verwaarloosbare kansbijdrage wordt veelal een waarde van 1% van de norm op doorsnedeniveau gehanteerd.

4 Uitgangspunten en randvoorwaarden

4.1 Beschikbare informatie

Voor het afleiden van de randvoorwaarden is gebruik gemaakt van beschikbaar gestelde informatie. Aan het eind van dit rapport is een lijst met referenties opgenomen. De beschikbare informatie bestaat uit:

- Dwarsprofielen;
- Terreinmetingen;
- Grondonderzoek;
- Peilingen van de waterbodem.

4.2 Geometrie

Per locatie is op basis van de beschikbare dwarsprofielen, terreinmetingen, peilingen en het Algemeen Hoogtebestand Nederland [AHN] een dwarsprofiel opgesteld ter plaatse van de windturbine. Daarnaast zijn dwarsprofielen afgeleid voor de bouwweg tussen WTG 1 en WTG2, waarbij de belasting nabij het talud van de waterkering aangrijpt. De ligging van de beschouwde dwarsprofielen is weergegeven in Figuur 4-1. In paragraaf 4.7 en Bijlage 3 zijn de dwarsprofielen weergegeven als onderdeel van het geotechnisch ondergrondmodel.



Figuur 4-1: ligging dwarsprofielen ten behoeve van de effectbeoordeling

4.3 Bodemopbouw

In fase 1 van het haalbaarheidsonderzoek [Deltares 2015] is een inventarisatie gemaakt van beschikbaar grondonderzoek en afgeleide geotechnische lengteprofielen. Uit de inventarisatie is gebleken dat de ondergrond ter plaatse van het gemaal- en spuicomplex, evenals ter plaatse van de westelijke landtong vrij homogeen is. Tabel 4-1 geeft een overzicht van de algemene bodemopbouw.

Tabel 4-1: algemene grondopbouw

	Van [NAP m]	Tot [NAP m]	Beschrijving	Conus- weerstand	Opmerking
Holoceen	Maaiveld	+0	Zand	<10 MPa	
	+0	-7 à -9	Zand, vast gepakt	20 – 40 MPa	
	-7 à -9	-13	Zand, los tot matig gepakt, schelphoudend, gelaagd	5-15 MPa	Lokaal ook doorsneden met dunne kleilagen. Naar het type schelpen wordt deze laag ook wel de Spisulalaag genoemd
	-13	-17	Zand, vast gepakt	15-30 MPa	
	-17	-20	Afsluitende kleilaag en Basisveen		
Pleisoceen	-20		Zand, vast gepakt		

Figuur 4-1 toont een deel van geotechnisch lengteprofiel A-A', dat is opgesteld ten behoeve van de uitbreiding van het Gemaal.

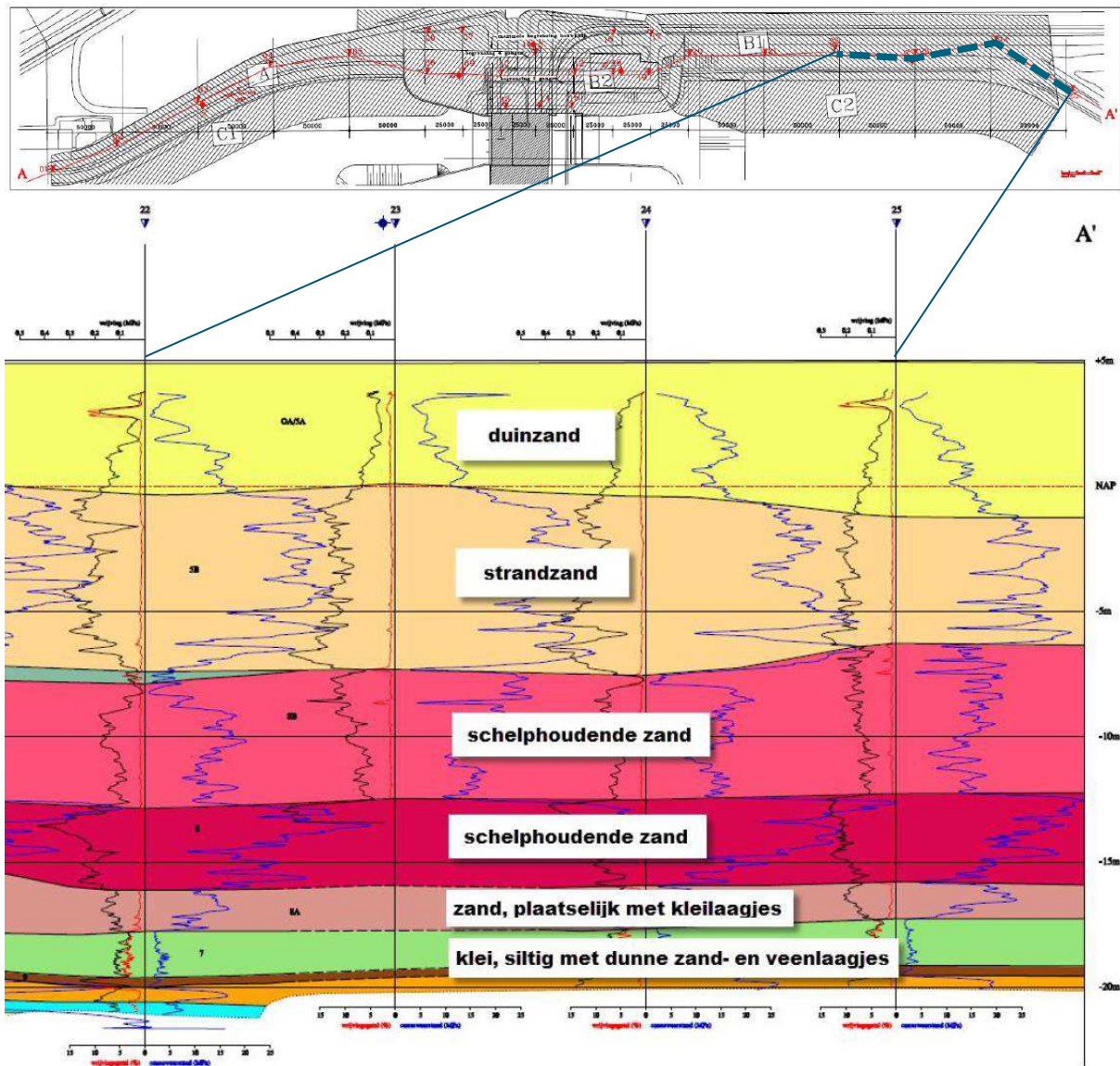
In juni 2016 is door BT Geoconsult een aanvullend grondonderzoek uitgevoerd. Het onderzoek heeft bestaan uit boringen en sonderingen ter plaatse van de windturbinelocaties en kraanopstelplaatsen.

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van het beschikbaar grondonderzoek (Bijlage 2) per turbine locatie

Tabel 4-2: overzicht beschikbaar grondonderzoek per locatie

Onderzoek	WTG1	WTG2	WTG3	WTG4	WTG5	WTG6
BT Geoconsult	DKM-D-01 DKM-02 HB04	DKM-D-04 DKM-D-05 DKM-D-06 DKM-08 DKM-10 HB16	DKM-D-09 DKM-14 HB26	DKM-D-11 DKM17 HB33	DKM-D-14 DKM21 HB38	-
DinoLoket	S25A01427 S25A01428	-	-	B25A3496 S25A02234	B25A0997 B25A0998 B25A3523	-

Op basis van het grondonderzoek is per locatie de bodemopbouw afgeleid. In paragraaf 4.7 is deze is weergegeven in de geotechnische ondergrondmodellen.



Figuur 4-2: deel van geotechnische lengteprofiel A-A' op de landtong nabij het Gemaal

4.4 Grondparameters

De karakteristieke waarden voor de grondparameters zijn geschat aan de hand van tabel 2.b van de Eurocode 7 [NEN 9997-1+C1:2016]. De materiaalfactoren om te komen tot rekenwaarden zijn eveneens conform Eurocode 7. Voor locaties binnen de waterkeringszone zijn materiaalfactoren aangehouden voor betrouwbaarheidsklasse RC3. Voor locaties buiten de waterkeringszone is uitgegaan van de lagere klasse RC2. De gehanteerde materiaalfactoren zijn aangegeven in Tabel 4-3. De rekenwaarden van de grondparameters zijn aangegeven in Tabel 4-4.

Tabel 4-3: partiele factoren voor grondparameters

Parameter	Symbool	RC2	RC3
Hoek van inwendige wrijving ($\tan \varphi'$)	$\gamma_{\varphi'}$	1,25	1,3
Effectieve cohesie	γ_c	1,45	1,6
Volumiek gewicht	γ_r	1,0	1,0

Tabel 4-4: grondsoorten en rekenwaarden grondparameters

Grondsoort	$\gamma_{d/n}$ [kN/m ³]	Karakteristiek		RC2			RC3		
		c'_k [kPa]	φ'_k [°]	c'_d [kPa]	φ'_d [°]	$\varphi'_{d;u}{}^a$ [°]	c'_d [kPa]	φ'_d [°]	$\varphi'_{d;u}{}^a$ [°]
Menggranulaat	23/23	0	40	0	33,9	33,6	0	32,8	32,6
Ophoogzand	18/20	0	35	0	29,3	29,0	0	28,3	28,1
Klei (dijkbekleding)	16/16	5	17,5	3,4	14,2	14,0	3,1	13,6	13,5
Zand, los (duinzand)	17/19,5	0	30	0	24,8	24,6	0	23,9	23,7
Zand, vast (strandzand)	18/20,5	0	35	0	29,3	29,0	0	28,3	28,1
Spisula (schelphoudend) zand, los	17/19	0	27,5	0	22,6	22,4	0	21,8	21,6
Schelphoudend zand, vast	18/20,5	0	35	0	29,3	29,0	0	28,3	28,1
Zand, met kleilaagjes	18/20	0	25	0	20,5	20,3	0	19,7	19,6
Klei, siltig, matig	14/16	5	22,5	3,4	18,3	18,2	3,1	17,7	17,5
Basisveen, matig	12/12	2,5	15	1,7	12,1	12,0	1,6	11,6	11,5
Pleistoceen zand	18/20,5	0	35	0	29,3	29,0	0	28,3	28,1

a) Schijnbare hoek van inwendige wrijving met reductie door relatieve wateroverspanning (u) van 1%, zie paragraaf 4.8.2.

Waarbij:

- $\gamma_{d/n}$ natuurlijk en verzadigd volumegewicht
- c'_k karakteristieke waarde cohesie
- c'_d rekenwaarde cohesie
- φ'_k karakteristieke waarde hoek van inwendige wrijving
- φ'_d rekenwaarde hoek van inwendige wrijving

4.5 Waterstanden

De maatgevende waterstanden voor het gebied zijn:

- Zeezijde:
 - Toetspeil: NAP + 5,2 m [HR 2006].
 - LLWS (laaglaagwaterspring) NAP – 0,95 m.
 - LAT (lowest astronomical tide): NAP – 1,03 m.
 - Overige waterstanden zie tabel 4-5.
- Kanaalzijde: volgens [Deltares 2016] varieert het kanaalpeil tussen NAP -0,2 m en NAP -0,6 m. Het streefpeil bedraagt NAP -0,4 m. Bij waterstanden hoger dan NAP -0,4 m worden maatregelen genomen, zoals beschreven in paragraaf 2.5.

Tabel 4-5: kenmerkende waterstanden in de Buitenhaven van IJmuiden [RWS, 2013a]

Noordzeekust IJmuiden Buitenhaven

Standen in cm t.o.v. NAP

Getijtype cq grootheid	Slotgemiddelden			Waarden maansverloop	
	HW- stand	LW- stand	tijverschil	HW	LW
Gem. springtij	116	-72	188	2:36	10:40
Gem. tij	101	-68	169	2:35	10:35
Gem. doottij	76	-61	137	2:36	10:30
Gem. duur rijzing				4:25	
Gem. duur daling				8:00	
Gem. waterstand		4			

Gemiddelde over- en onderschrijdingsfrequenties		
Frequentie	Overschrijding hoogwaterstanden	Onderschrijding laagwaterstanden
1x per 10.000 jaar	520	
1x per 5.000 jaar	490	
1x per 4.000 jaar	480	
1x per 2.000 jaar	460	
1x per 1.000 jaar	440	
1x per 500 jaar	410	
1x per 200 jaar	380	
1x per 100 jaar	360	
1x per 50 jaar	340	-230
1x per 20 jaar	315	-215
1x per 10 jaar	295	-210
1x per 5 jaar	275	-195
1x per 2 jaar	255	-175
1x per jaar	235	-165
2x per jaar	220	-155
5x per jaar	195	-140
LAT		-103

Hoogst bekende waarde 385 cm 1 feb 1953 Periode 1900-2010
 Laagst bekende waarde -250 cm 12 jan 1913 Periode 1900-2010

Bijzonderheden:

- 1871 Aanvang waarnemingen
- 1 sep 1883 Peilschrijver geplaatst
- 14 jan 1988 DNM geplaatst

4.6 Grondwaterstanden

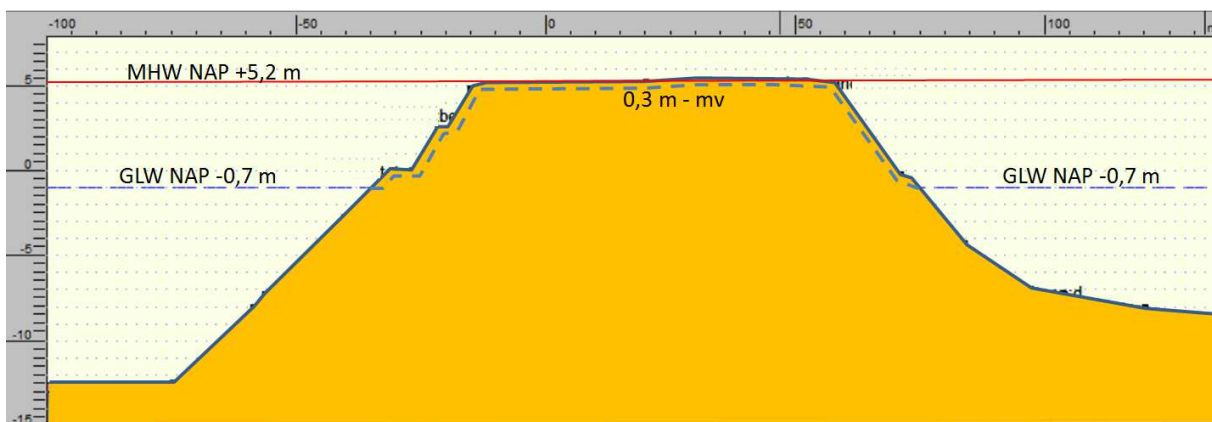
Algemeen

De projectlocatie wordt aan alle zijden omringd door oppervlaktewater. De wisselende waterstanden beïnvloeden de richting en grootte van de freatische grondwaterstand. Uit berekeningen van CSO [Geodelft 2000] is gebleken dat het grondwater vanaf het midden van de landtong naar de Hoogovenhaven en het Binnenspuikanaal afstroomt. In 2000 zijn door Geodelft voor een bodemonderzoek peilbuizen geplaatst met filters in het freatische zandpakket (boven de kleilaag op NAP -18 m) en in het onderliggende Pleistocene zand. Uit de peilbuismetingen is gebleken dat sprake is van een beperkte infiltratiesituatie. De waargenomen freatische grondwaterstand was enkele decimeters hoger dan de stijghoogte in het diepere zandpakket.

Freatische grondwaterstand zeezijde nabij WTG1

Aan de zeezijde is de freatische grondwaterstand op 22 juni 2016 gemeten in boring HB04 nabij WTG01 [BT Geoconsult 2016]. De grondwaterstand bedroeg NAP +1,85 m, 3,5 m onder maaiveld.

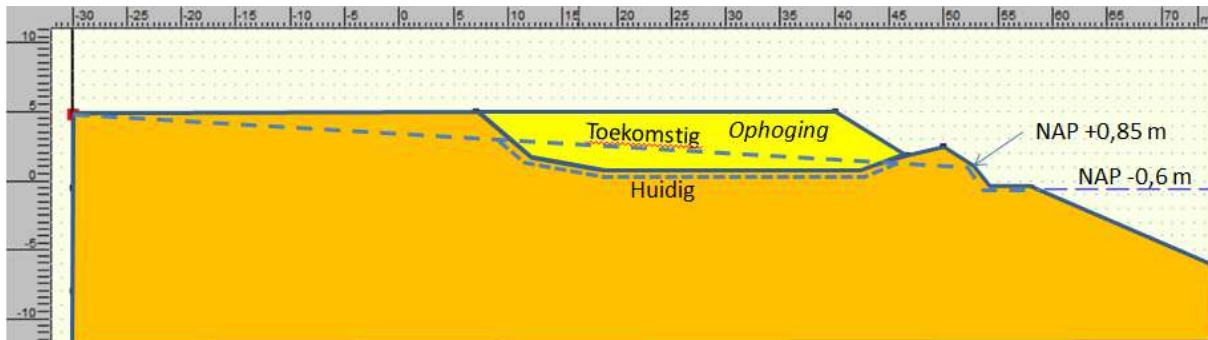
Voor de macrostabiliteit bij WTG1 is val van de buitenwaterstand maatgevend. Uitgegaan is van val van toetspeil (NAP +5,2 m) naar een niveau van Gemiddeld Laag Water (GLW) van NAP -0,7 m. In de stabiliteitsberekeningen wordt ervan uitgegaan dat de landtong tot het niveau NAP +5,2 m verzadigd is, met een maximum van 0,3 m onder maaiveld, zie Figuur 4-3. Dit is conservatief gezien de goed doorlatende bodemopbouw. Gedurende de val (over een periode van circa 17 uur, gelijk aan een halve stormduur) zal de freatische grondwaterstand deels mee zakken.



Figuur 4-3: principe grondwaterstand na val buitenwater bij WTG1 (westelijke landtong)

Freatische grondwaterstand WTG2

Maatgevend voor locatie WTG2 is de stabiliteit aan de binnenzijde (kanaalzijde) tijdens hoogwater op het Hoogovenkanaal (NAP +5,2 m) en laagwater in het kanaal (NAP -0,6 m). Op basis van het Technische Rapport Waterspanningen bij Dijken is het verloop van de freatische waterstand en stijghoogte afgeleid. Uitgegaan is van een model voor een zanddijk op een zandondergrond. De hoogte van de freatische grondwaterstand aan de binnenzijde is hierbij gelijk aan 0,25 keer het verval over de dijk, ofwel NAP +0,85 m. Het verloop is schematische weergegeven in Figuur 4-4.



Figuur 4-4: principe grondwaterstand bij hoogwater bij WTG2 (voor en na ophoging)

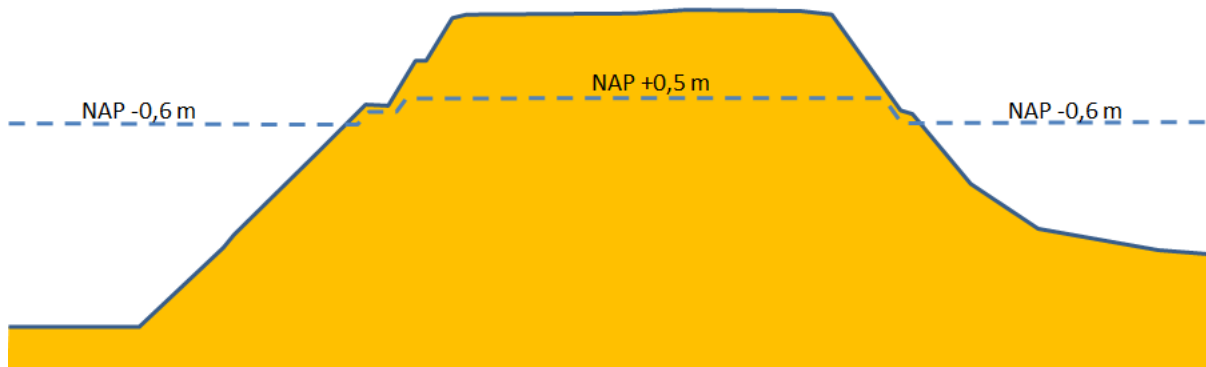
Freatische grondwaterstand kanaalzijde voor locaties WTG3, 4 en 5

Tijdens onderzoek in 2000 [Geodelft 2000] is de freatische grondwaterstand aan de kanaalzijde waargenomen tussen circa NAP 0 m en NAP -0,4 m. De gemiddelde grondwaterstand bedroeg NAP +0,10 m.

Tijdens het grondonderzoek in 2016 door BT Geoconsult is de freatische grondwaterstand waargenomen op de volgende niveaus:

- WTG02 (HB16): NAP +0,10 m, ofwel 2,3 m onder maaiveld;
- WTG03 (HB26): NAP -0,85 m, ofwel 2,5 m onder maaiveld;
- WTG04 (HB33): NAP -0,15 m, ofwel 2,8 m onder maaiveld;
- WTG05 (HB38): NAP +0,25 m, ofwel 2,5 m onder maaiveld.

In navolging van het advies in fase 2 wordt voor de freatische grondwaterstand in de landtong (kanaalzijde) uitgegaan van NAP +0,5 m. Het verloop is schematisch weergegeven in Figuur 4-5.



Figuur 4-5: principe grondwaterstand op de oostelijke landtong

Stijghoogte

Ondanks dat sprake is van een infiltratiesituatie, is de stijghoogte gelijk gesteld aan de freatische grondwaterstand. In de modellering wordt uitgegaan van een hydrostatisch verloop van de waterspanningen met de diepte.

4.7 Geotechnisch ondergrondmodel

Voor het beoordelen van de veiligheid van de waterkering ten aanzien van geotechnische faalmechanismen is een geotechnisch ondergrondmodel opgezet. Dit model is samengesteld op basis van:

- De geometrie van de bestaande situatie (paragraaf 4.1);
- De bodemopbouw met classificatie van de grondsoorten (paragraaf 4.3);
- De geotechnische eigenschappen per grondlaag (paragraaf 4.4);
- De grondwaterstand en waterspanningen in de ondergrond (paragraaf 4.6).

De modellen zijn weergegeven in Bijlage 3.

4.8 Belastingen op de waterkering

4.8.1 Belastingen tijdens de bouwfase

Kruinbelasting door zwaar transport

Voor de beschouwing van de macrostabiliteit zal rekening worden gehouden met een kruinbelasting op de (bouw)weg als gevolg van zwaar transport tijdens de bouw. In deze fase is nog niet bekend welk type windturbine, hoofdkraan en hulpkraan wordt toegepast. Op basis van ervaring is bekend dat de maatgevende belasting optreedt bij transport van een hulpkraan op een 8-assig of 12-assig voertuig, een zogenaamde “self propelled modular transporter” (SPMT). Ditzelfde voertuig kan worden gebruikt voor transport van de windturbine-onderdelen naar de windturbinelocaties. In de stabiliteitsberekeningen wordt uitgegaan van een rekenbelasting van 100 kPa (inclusief belastingfactor van 1,43 voor RC3) over 3 m breedte. De belasting grijpt aan op de rand van de verharding en is een tijdelijke belasting, waarop de cohesieve ondergrond vrijwel ongedraineerd reageert (10% consolidatiegraad). De belasting spreidt zich in de ondergrond onder een hoek van 30°.

Belasting kraanopstelplaats

Naast elke windturbine bevindt zich een kraanopstelplaats (zie paragraaf 2.2). Voor de kraanopstelplaats geldt conform de aangehouden specificatie [Nordex 2014] dat deze geschikt dient te zijn voor een rekenbelasting van 250 kPa. Deze belasting wordt beschouwd als een rekenwaarde van een equivalente uniforme belasting. In werkelijkheid zal een niet-uniforme belasting optreden onder de rupsen of stempels als gevolg van excentrische belasting. De piekspanningen kunnen aanzienlijk groter zijn dan 250 kPa. Door middel van platen/balken kunnen de spanningen verder worden verlaagd tot de maximale equivalente steundruk van 250 kPa.

Het oppervlak waarover de equivalente belasting van 250 kPa aangrijpt is niet gespecificeerd. Het belaste oppervlak is afhankelijk van het type kraan (rups- of stempelkraan), de belastingspreiding (afmetingen platen of balken) en het belastinggeval (hijsen van de mast of hijsen van onderdelen). Een typische afmeting voor een belastingspreidende plaat is 5 m.

In de stabiliteitsberekeningen wordt voor de belasting op de kraanopstelplaats uitgegaan van:

- 250 kPa over een werkende breedte van 5 m.
- De belasting grijpt aan op 3 m afstand van het talud.
- De cohesieve ondergrond reageert vrijwel ongedraineerd met 10% consolidatiegraad.
- De belasting spreidt zich in de ondergrond onder een hoek van 30°.

4.8.2 Belastingen tijdens de gebruiksfase

Kruinbelasting door verkeer

Voor de gebruiksfase wordt uitgegaan van een verkeersbelasting tijdens een calamiteit. Conform het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies wordt uitgegaan van een verkeersbelasting van 13,3 kPa over een strookbreedte van 2,5 m. De belasting grijpt aan op de rand van de verharding en is een tijdelijke belasting, waarop de ondergrond vrijwel ongedraineerd reageert.

Trillingsintensiteit tijdens gebruik windturbines

Tijdens de gebruiksfase kunnen trillingen in de ondergrond ontstaan als gevolg van cyclische windbelastingen. Deze trillingen leiden tot grondversnellingen. Deltares heeft in fase 2 [Deltares, 2016] dynamische EEM-berekeningen uitgevoerd voor het bepalen van de grondversnelling in het talud in de Spisulalaag. Geconcludeerd is dat versnelling maximaal $0,02 \text{ m/s}^2$ ($0,002g$) bedraagt. Conservatief is aangenomen dat deze versnelling gelijktijdig optreedt met een maximale wateroverspanning.

De waarde zoals door Deltares berekend komen goed overeen met de waarden zoals gemeten nabij windturbines. In het verleden heeft Fugro trillingsmetingen uitgevoerd nabij opgestelde 3 MW turbines in de Afrikahaven te Amsterdam (2008) en nabij Noordland op de Neeltje Jans (2009). De metingen zijn uitgevoerd aan de buitenzijde van het fundament en binnen op de vloer van de toren. Tijdens de metingen is een windkracht van 3 tot 6 Bft (tot 14 m/s) opgetreden). De tijdens in bedrijf zijn van de turbine gemeten waarden zijn³:

	<u>Noordland</u>	<u>Afrikahaven</u>
• Horizontaal:	0 tot $0,025 \text{ m/s}^2$	0,01 tot $0,035 \text{ m/s}^2$
• Verticaal:	0,02 tot $0,075 \text{ m/s}^2$	0,015 tot $0,05 \text{ m/s}^2$

Fugro heeft tevens trillingsmetingen uitgevoerd rondom een 6MW windturbine nabij de Eemshaven⁴. Op circa 15 m afstand waren aan maaiveld / op diepte nagenoeg geen verhoging meer waarneembaar ten opzichte van de achtergrondtrillingen. De grootste versnellingen treden op tijdens opstarten/noodstops, waarbij waarden van $0,015$ tot $0,03 \text{ m/s}^2$ waren gemeten.

Voor de stabiliteitsberekeningen wordt op basis van de bovenstaande informatie uitgegaan van een horizontale versnelling van $0,02 \text{ m/s}^2$ en een bijbehorende verticale versnelling van $0,04 \text{ m/s}^2$. In de stabiliteitsberekeningen wordt voor het gehele grondmodel een gelijke versnelling opgelegd, zonder rekening te houden met demping. Dit is een conservatieve aanname.

Opgemerkt wordt dat de werkelijk optreden trillingen onzeker zijn. In de definitieve ontwerp- en planningsfase zal een monitoringsplan worden opgesteld, waarin de trillingen ter plaatse van het fundament en het talud gemeten zullen worden. De metingen zullen worden verricht voorafgaan aan de bouw (nul-meting), tijdens de bouw en tijdens de exploitatie.

Waterspanningen door trillingen tijdens gebruik

Door het trillen van het fundament als gevolg van wisselende belastingen worden wateroverspanningen in de ondergrond gegenereerd. Door Deltares zijn in fase 2 van het onderzoek geavanceerde Plaxis-berekeningen uitgevoerd ter bepaling van de wateroverspanningen in het talud van de landtong ten gevolge van trillingen. Geconcludeerd is dat met de meest conservatieve aannamen de relatieve wateroverspanning (r_u) niet boven de 1% uitkomt. In de stabiliteitsberekeningen wordt rekening gehouden

³ Uit rapport van Fugro Geoservices, effectbepaling waterkering t.g.v. windturbinepark Nieuwe Waterweg Maasdijk, november 2012.

⁴ Resultaten hiervan zijn gepresenteerd tijdens de Fugro Workshop "Dijken voor de Wind" in januari 2016.

met deze wateroverspanning door reductie van de schuifsterkte. De zogenaamde 'schijnbare' hoek van inwendige wrijving is bepaald als: $\tan \varphi' = (1 - r_u) \tan \varphi'_0$

4.8.3 Belasting tijdens de verwijderingsfase

Trillingen door verwijdering van de fundatie en windturbines

Uitgangspunt voor de beoordeling van de effecten is dat de paalfundatie niet wordt verwijderd. Het verwijderen van de palen kan leiden tot ongewenste trillingen en verstoring van de ondergrond. Voor de achtergebleven palen in de waterkering (WTG2) geldt dat hiermee rekening moet worden gehouden in verplichte 12-jaarlijkse veiligheidstoetsing. De palen dienen te worden beschouwd als niet-waterkerende objecten.

Voor het verwijderen van de betonnen funderingsplaat zal als hoofdmaterieel veelal gebruik worden gemaakt van een hydraulische graafmachine met een sloophamer. Sloophamers draaien doorgaans met 310-390 toeren/min, ofwel een frequentie van 5 à 6 Hz. Bij deze frequentie wordt een versnelling verwacht van circa horizontaal $0,3 \text{ m/s}^2$ en verticaal $0,15 \text{ m/s}^2$. De te verwachten versnellingen liggen tussen de waarden voor het heien van palen en de waarden voor de windturbine in gebruik. Gezien de gevoeligheid van de waterkering en landtong voor vloeiingen worden deze trillingen als onacceptabel geacht. Uitgegaan wordt van trillingsarm slopen van het blok, bijvoorbeeld door middel van zagen, knippen of kraken. Als grenswaarde kan worden gesteld dat de versnelling onder in het talud niet hoger mag zijn dan $0,02 \text{ m/s}^2$.

Terreinbelasting kraanopstelplaats

De kraan voor het ontmantelen van de windturbine zal vergelijkbaar zijn met de kraan voor het installeren van de windturbine. De belasting wijkt hierdoor niet af van de bouwphase en is daarom niet apart beschouwd.

Verkeersbelasting op de bouwweg

De belasting op de bouwweg door zwaar transport is vergelijkbaar met de situatie tijdens de bouw van de windturbine. Deze situatie is niet apart beschouwd.

4.9 Stabiliteitsfactoren macrostabiliteit

De stabiliteit van de dijk wordt volgens de vigerende richtlijnen bepaald met een semi-probabilistische methode op basis van partiële veiligheidsfactoren. De volgende partiële veiligheidsfactoren worden onderscheiden:

- De materiaalfactor;
- De modelfactor;
- De schadefactor;
- De schematiseringsfactor.

Voor het toepassen van de factoren wordt onderscheid gemaakt tussen 'toetsen' en 'ontwerpen' van het dijkprofiel. Toetsen heeft betrekking op de delen van de waterkering waar de geometrie ongewijzigd blijft en waar geen niet-waterkerende constructies zijn in de waterkering. Ontwerpen is van toepassing op de dijkstrekking met windturbinelocatie en de kraanopstelplaats.

Het enige onderscheid tussen 'toetsen' en 'ontwerpen', is de toepassing van de schematiseringsfactor. Deze factor leidt tot een verhoogde stabiliteitsfactor.

Materiaalfactor

De stabiliteitsberekeningen zijn uitgevoerd met rekenwaarden voor de grondparameters. De rekenwaarden zijn bepaald met materiaalfactoren (γ_m) conform VTV2006. Aangezien de grondeigenschappen zijn afgeleid op basis van tabel 2b van de Eurocode 7 zijn ook de materiaalfactoren uit de Eurocode 7 toegepast, behorend bij veiligheidsklasse RC3. De gehanteerde waarde zijn eerder in dit rapport aangegeven in Tabel 4-3.

Modelfactor

De stabiliteitsberekeningen worden uitgevoerd voor de situatie zonder opdrijven volgens de methode Bishop met een modelfactor $\gamma_d = 1,0$.

Schadefactor

Conform het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies geldt dat tijdens de bouwphase de schadefactor voor glijvlakken, die het waterkerende vermogen van de dijk aantasten, minimaal 1,0 moet zijn. Voor glijvlakken die het waterkerend vermogen niet aantasten wordt 0,9 aanbevolen.

Tijdens de gebruiksfase gelden de volgende schadefactoren (conform de Legger en conform de VTV2006), behorend bij een normfrequentie van 1/10.000 per jaar:

- Binnenwaarts (STBI): $\gamma_n = 1,21$
- Buitenwaarts (STBU): $\gamma_n = 1,14$

Schematiseringsfactor

Het Addendum bij het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies uit 2009 geldt als ontwerprichtlijn voor de windturbinelocatie met kraanopstelplaatsen. Het technisch rapport geeft een standaardwaarde van 1,3 voor de schematiseringsfactor. De schematiseringsfactor verdisconteert de onzekerheid in diverse ontwerpparameters, zoals laagdikte, geometrie en waterstanden. Met behulp van het rapport Stappenplan Schematiseringsfactor van Rijkswaterstaat kan deze factor worden verlaagd tot 1,1.

Aangezien bij het ontwerp van de windturbinelocaties slechts een klein dijktraject wordt beschouwd zijn de variaties in de diverse parameters gering. Voor een berekening van een profiel dat maatgevend is voor een klein traject wordt daarom een lagere schematiseringsfactor gevonden, dan wanneer een profiel voor een langer traject maatgevend wordt gesteld.

Voor het ontwerp van de windturbinelocaties wordt uitgegaan van een schematiseringsfactor van 1,1. Redenen hiervoor zijn:

- In de berekeningen wordt al uitgegaan van een 'worst case' scenario met maatgevende waterstanden en een hydrostatisch verloop van de waterspanningen.
- Ter plaatse van de windturbinelocaties en kraanopstelplaatsen is een grondonderzoek uitgevoerd, bestaande uit sonderingen en boringen.
- De ondergrond bestaat uit zand zonder samendrukbare of waterremmende grondlagen; de variatie in grondeigenschappen is hierdoor gering.
- De geometrie is lokaal ingemeten.

Stabiliteitsfactoren

De vereiste stabiliteitsfactor voor toetsing is gelijk aan het product van de modelfactor en de schadefactor: Voor ontwerpen wordt deze nog vermenigvuldigd met de schematiseringsfactor. De resulterende stabiliteitsfactoren zijn aangegeven in Tabel 4-6.

Tabel 4-6 Vereiste stabiliteitsfactoren

Fase		Toetsing		Ontwerp	
		Binnenwaarts	Buitenwaarts	Binnenwaarts	Buitenwaarts
Bouw- en verwijderingsfase	waterkerend vermogen niet in het geding	0,90	0,90	0,99	0,99
	waterkerend vermogen in het geding	1,00	1,00	1,10	1,10
Gebruiksfase		1,21	1,14	1,33	1,25

5 Beoordeling van ondergrondse effecten door bouw, gebruik en verwijderen van windturbines

5.1 Beoordelingskader

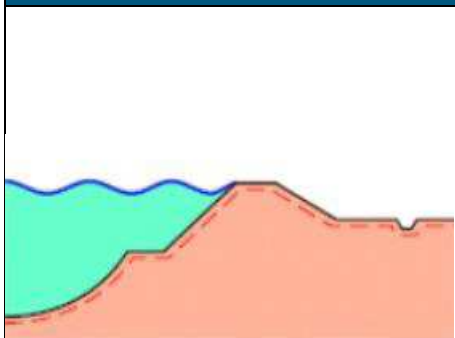
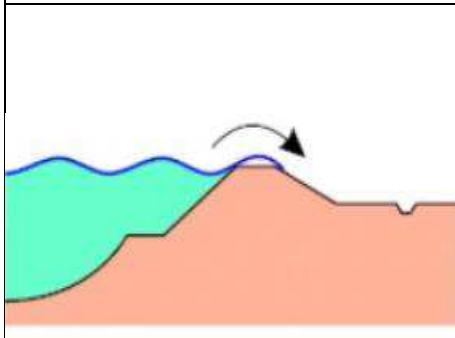
Voor het dimensioneren van windturbines in en nabij waterkeringen bestaat nog geen normatief ontwerpinstrumentarium (leidraden, voorschriften en dergelijke).

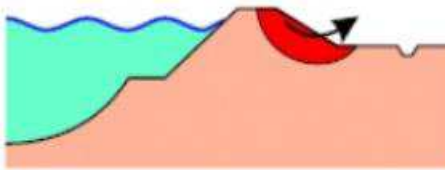
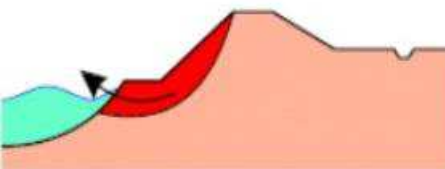
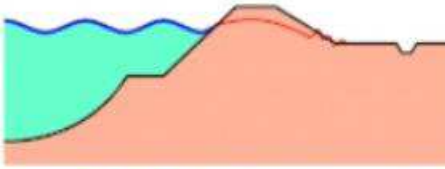
In overleg met Rijkswaterstaat is de effectbeoordeling uitgevoerd aan de hand van de Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen (VTV2006) en de Hydraulische Randvoorwaarden (HR2006).

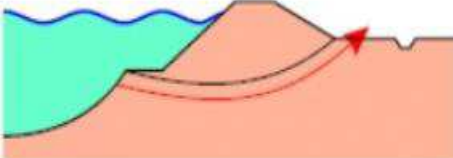
5.2 Relevante faalmechanismen en effecten

Het beschouwen van mogelijke effecten van de windturbines op de waterveiligheid wordt bepaald aan de hand van verschillende faalmechanismen. Een korte beschrijving van de verschillende faalmechanismen waartussen de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) onderscheid maakt, is gegeven in Tabel 5-1. In deze tabel is aangegeven of onderdelen van het windpark effect kunnen hebben op de sterkte van, of de belasting op de waterkering.

Tabel 5-1: Omschrijving faalmechanismen (VTV2006) en overzicht effecten

Faalmechanisme	Omschrijving effecten op belasting/sterkte
 overloep	Overlopen betreft inundatie van het dijkgebied door een combinatie van hoge waterstand en golfploop zonder dat de waterkering bezwijkt. De weerstand wordt bepaald door de kruinhoogte. <u>Effecten</u> <i>Bouwphase:</i> - Tijdelijke afname van de kruinhoogte door aanleg van kruisende parkbekabeling (tussen WTG1 en WTG2) in een open ontgraving. - Kans op kruinhoogtedaling door erosie op het buitentalud bij aanleg parkbekabeling. <i>Gebruiksphase:</i> - Geen effect op belastingen (waterstand en golfploop) en weerstand (kruinhoogte) <i>Verwijderingsfase:</i> - Overeenkomstige de bouwphase, maar dan bij het verwijderen van bekabeling.
 overslag	Golfoverslag kan leiden tot erosie van het binnentalud door de kracht van het stromend water. De belasting wordt gevormd door de hydraulische randvoorwaarden en het daaruit voortvloeiende overslagdebiet. De weerstand tegen kruinhoogtedaling wordt bepaald door de stijfheid van de ondergrond (zettingen) en erosiebestendigheid van de kruin en het binnentalud. <u>Effecten</u> <i>Bouwphase:</i> - Tijdelijke afname van de erosiebestendigheid van bekleding op de kruin en binnentalud door de aanleg van de parkbekabeling en verbreding van de weg (bochtverflauwing) tussen WTG1 en WTG2. <i>Gebruiksphase:</i> - Geen effect op belastingen (waterstand en golfploop) en weerstand (erosiebestendigheid)

Faalmechanisme	Omschrijving effecten op belasting/sterkte
	<i>Verwijderingsfase:</i> • Overeenkomstige de bouwfase, maar dan bij het verwijderen van bekabeling en herstel van de weg.
 macroinstabiliteit binnenwaarts	Instabiliteit (afschuiven) van het binnentalud kan optreden, hetzij door infiltratie van het overstromend water bij een combinatie van hoge waterstand en golfoverslag, hetzij door waterdruk tegen de waterkering en verhoogde waterspanning in de ondergrond. Naast waterdruk bestaat de belasting uit het gewicht van de waterkering en verkeers- en windbelasting. De weerstand wordt gevormd door de schuifweerstand van de grond, welke afhankelijk is van de korrelspanning. <u>Effecten</u> <i>Bouwphase:</i> • Toename van de belasting door zwaar transport op de bouwweg; • Toename van de belasting door kranen op de opstelplaats; • Toename van de belasting door grondophoging. <i>Gebruiksphase:</i> • Toename van de belasting door trillingen van het fundament als gevolg van cyclische windbelastingen; • Afname van de schuifsterkte van grond door wateroverspanningen als gevolg van trillingen. <i>Verkeersfase:</i> • Overeenkomstig de bouwfase, <i>mits het blok trillingsarm wordt gesloopt en palen in de grond achterblijven.</i>
 macroinstabiliteit buitenwaarts	Instabiliteit (afschuiven) van het buitentalud na een snelle daling van de buitenwaterstand. Naast waterdruk wordt het aandrijvend moment bepaald door het gewicht van de waterkering en verkeersbelastingen. De weerstand wordt bepaald door de geometrie van de waterkering en de schuifsterkte van de grond. <u>Effecten</u> Effecten zijn overeenkomstige 'macro-instabiliteit binnenwaarts'.
 microinstabiliteit	Instabiliteit van het binnentalud door uittredend kwelwater door het grondlichaam. De belasting wordt bepaald door de buitenwaterstand en de doorlatendheid van het dijklichaam (stroomsnelheid). De sterkte wordt bepaald door de weerstand van kleibekleding tegen opbarsten en weerstand tegen uitspoelen (korrelverdeling en hoek van inwendige wrijving). <u>Effecten</u> De windturbines en bijbehorende civiele werken hebben geen invloed op de grondwaterstroming door de dijk. Ook blijft de opbouw en sterkte van de waterkering op het niveau van uitstromen ongewijzigd. Dit mechanisme zal dan ook niet verder worden beschouwd.

Faalmechanisme	Omschrijving effecten op belasting/sterkte
 piping/heave	Piping betreft kwelstroming door de ondergrond waarbij achter de dijk erosie ontstaat en grond meegevoerd wordt (zandmeevoerende wellen). Voor dit mechanisme zijn het verval (hoge buitenwaterstand) en de stroomsnelheid van belang. De weerstand wordt bepaald door de kwelweglengte en grondeigenschappen (korrelverdeling, dikte, gewicht en doorlatendheid). <u>Effecten</u> De waterkering betreft een zanddijk op een zandondergrond. Voor dit type dijken is piping niet relevant. Daarnaast heeft het windpark geen effect op de grondwaterstroming door de dijk en ondergrond. De kwelweglengte en opbouw van de ondergrond blijven ongewijzigd. Dit mechanisme wordt daarom niet nader beschouwd.
 instabiliteit vooroever	Instabiliteit vooroever als gevolg van afschuiving en zettingsvloeiing. De weerstand wordt bepaald door de geometrie van de vooroever (geul) en de grondeigenschappen (o.a. pakingsdichtheid, korrelspanning en korrelvorm). Trillingen (windturbine, baggeren) of toename van een bovenbelasting op de vooroever kan instabiliteit initiëren. <u>Effecten</u> Bouwfase • Toename belasting door zwaar transport • Verandering van de geometrie door ophoging bij WTG2. De belasting kan aandrijvend zijn voor instabiliteit van de vooroever. Gebruiksfase: • Trillingen kunnen extra belastingen op een onbeschermde geulrand veroorzaken waardoor een verweking van zand kan worden ingeleid. Verwijderingsfase: • Geen effecten, <i>mits het blok trillingsarm wordt gesloopt en palen in de grond achterblijven.</i>
 instabiliteit van bekleding	Erosie en/of instabiliteit van de bekleding (steenzetting en grasmat) betreft schade door golfklappen, golfoploop, golfoverslag, wateroverdrukken en stroming. De schade kan leiden tot het bloot komen van de kern van de dijk. De sterkte wordt bepaald door de materiaaleigenschappen (sterkte en stijfheid) en de actuele staat van de bekleding. <u>Effecten</u> Bouwfase • Afname van de sterkte tijdens ontgraving van het fundament; • Afname (tijdelijk) sterkte van de grasmatbekleding ter plaatse van nieuwe ophogingen en windparkbekabeling. Herstel/nieuwe bekleding dient te zijn afgestemd op geplande dijkverbetering. Gebruiksfase: • Erosie kan optreden op de overgang van het fundament en de bekleding Verwijderingsfase: • Overeenkomstige de bouwfase, maar dan bij het verwijderen van bekabeling en herstel van de weg.

Een overzicht van de relevante faalmechanismen is gegeven in Tabel 5-2.

Tabel 5-2: relevante faalmechanismen per projectfase en windparkonderdeel

Faalmechanisme	Bouwfase	Gebruiksfase	Verwijderingsfase
Overlopen (HT)	✓ Parkbekabeling (kruinhoogteverlaging)	-	✓ Parkbekabeling (kruinhoogteverlaging)
Golfoverslag (HT)	✓ Parkbekabeling (verstoring bekleding) ✓ Bouwweg (verstoring bekleding)	-	✓ Parkbekabeling (verstoring bekleding) ✓ Bouwweg (verstoring bekleding)
Afschuiven binnentalud (STBI)	✓ Bouwweg (externe belasting) ✓ Kraanopstelplaats (externe belasting)	✓ Windturbine (externe belasting en wateroverdruk)	✓ Bouwweg (externe belasting) ✓ Kraanopstelplaats (externe belasting)
Afschuiven buitentalud (STBU)	✓ Bouwweg (externe belasting) ✓ Kraanopstelplaats (externe belasting)	✓ Windturbine (externe belasting en wateroverdruk)	✓ Bouwweg (externe belasting) ✓ Kraanopstelplaats (externe belasting)
Microstabiliteit (STMI)	-	-	-
Piping (STPH)	-	-	-
Vooroever (STVL)	✓ Bouwweg (externe belasting) ✓ Kraanopstelplaats (externe belasting)	✓ Windturbine (externe belasting en wateroverdruk)	✓ Bouwweg (externe belasting) ✓ Kraanopstelplaats (externe belasting)
Bekleding (STBK)	✓ Windturbine (verstoring/erosie) ✓ Parkbekabeling (verstoring bekleding) ✓ Bouwweg (verstoring bekleding)	✓ Windturbine (erosie)	✓ Windturbine (verstoring/erosie) ✓ Parkbekabeling (verstoring bekleding) ✓ Bouwweg (verstoring bekleding)

De potentiële faalmechanismen worden hierna nader beoordeeld. De overige faalmechanismen worden in dit rapport niet verder beschouwd.

5.3 Beoordeling effecten op overlopen en golfoverslag (HT)

Algemeen

Het grondlichaam tussen het Gemaal en het terrein van Tata Steel heeft een hoogte van NAP +7,92 m. De dijk heeft een kruinbreedte van ca. 8 m en aan beide zijde een talud 1:3. Onder de grasmatten ligt een kleibekleding met een dikte van 0,9 m [RWS 2009].

De Deltahoogte van de waterkering is in IJmuiden berekend op NAP +7,50 m [RWS 2009]. Bij deze hoogte zal bij stormvloed geen significante overloop door golfslag plaatsvinden. Daarbij is rekening gehouden met een zeespiegelstijging van 0,25 m de komende 50 jaar.

Dit betekent dat in de huidige situatie en voor de komende 20 jaar (planperiode windpark) het overslagdebiet minder zal zijn dan 0,1 l/m/s en dat een kruinhoogtemarge aanwezig is van meer dan 0,5 m. Er worden hierdoor voor de faalmechanismen 'overloop' en 'overslag' geen eisen gesteld aan de bekleding op de kruin en het binnentalud.

Mogelijke effecten

De veiligheid van de dijk tegen de faalmechanismen overloop en overslag wordt bepaald door de kruinhoogtemarge en het overslagdebiet. Zoals al aangegeven in tabel 5-1 beperken de effecten zicht tot de bouw- en verwijderingsfase. De mogelijke effecten zijn:

- HT1.1 - Tijdelijke afname van de kruinhoogte door aanleg van kruisende parkbekabeling (tussen WTG1 en WTG2) in een open ontgraving.
- HT1.2 - Kans op afname van de kruinhoogte door erosie van het buitentalud en kruin door golfaanval tijdens de aanleg van parkbekabeling en aanpassing van de weg vanaf de kruin naar WTG1.

Er wordt geen kruinhoogtedaling verwacht als gevolg van verdichting of zetting in de ondergrond. Redenen hiervoor zijn dat een trillingsvrij paalsysteem wordt toegepast, en dat de ondergrond niet zettingsgevoelig is.

Beoordeling van effecten

Bouwfase

- HT1.1 - De parkbekabeling kruist de waterkering tussen WTG1 en WTG2. De kruinhoogte van de waterkering is hier circa NAP +8,0 m. De kruinhoogte wordt tijdelijk verlaagd tot circa NAP +7,0 m. Tijdens het aanwezig zijn van de sleuf is de kruinhoogte onder de vereiste dijktafelhoogte. Dit betreft echter een zeer tijdelijke situatie, waarbij uitvoering tijdens een hoogwaterstand vermeden kan worden.
- HT1.2 - Erosie van het buitentalud dient te worden voorkomen door een voldoende sterke bekleding terug te brengen na aanleg van de parkbekabeling. Daarnaast dient bij aanpassing (verbreding) van de weg de verharding goed aan te sluiten op de grasmatten. In het ontwerp en bij de uitvoering zal met het volgende rekening dienen te worden gehouden:
 - Tijdens de uitvoering van de graaf- en aanvuilwerkzaamheden moet ervoor worden gezorgd dat de grond goed wordt verdicht, goed aanvuilmateriaal wordt gebruikt en de oorspronkelijke profielopbouw zoveel mogelijk wordt hersteld. De bekleding dient te bestaan uit minimaal 0,9 m klei.
 - Bij beschadiging van de grasmatten op het buitentalud kan als maatregel een 3D structuurmat worden toegepast. De mat dient om de erosiebestendigheid te garanderen, totdat de grasmatten volledig is hersteld.

Gebruiksfas

Het windpark heeft in de gebruiksfas geen negatieve gevolgen voor de faalmechanismen overloop en overslag. Voorwaarde is dat de nieuwe grasmat op het buitentalud voldoende is ontwikkeld en dat de verharding van de verbrede weg aansluit op de grasmat en kleibekleding.

Verwijderingsfas

De beoordeling van de effecten in de verwijderingsfas komt overeen met de bouwfas.

Conclusie

Op basis van de beoordeling kan worden geconcludeerd dat de aanleg van parkbekabeling en aanpassing van de weg op de waterkering tussen WTG1 en WTG2 negatieve gevolgen kan hebben voor de faalmechanismen 'overloop' en 'overslag'. De kruinhoogte wordt tijdelijk verlaagd tot circa NAP +7,0 m door aanleg en verwijderen van parkbekabeling in een sleuf. Daarnaast kan de kruinhoogte worden verlaagd door erosie op het buitentalud en kruin bij schade aan de grasmat en/of slechte aansluiting van de wegverbreding op de grasmat.

Verbetermaatregelen

Om voldoende kruinhoogte te waarborgen dienen tijdens de bouw- en verwijderingsfas de volgende voorwaarden in acht te worden genomen:

- De sleuf voor parkbekabeling mag niet worden ontgraven tijdens een periode met hoogwaterstand.
- De profielopbouw en de grasmat dienen zoveel mogelijk in de oorspronkelijke sterkte te worden teruggebracht. Tijdens de uitvoering van de graaf- en aanvulwerkzaamheden moet ervoor worden gezorgd dat de grond goed wordt verdicht en dat goed aanvulmateriaal. De bekleding dient te bestaan uit minimaal 0,9 m klei.
- Bij beschadiging van de grasmat dient een vernagelde 3D structuurmat te worden toegepast. De mat dient voorzien te worden van 0,05 m bovengrond en te worden ingezaaid. De mat dient om de erosiebestendigheid te garanderen, totdat de grasmat volledig is ontwikkeld.
- Als alternatieve aanlegmethode kan worden overwogen om de kruising van de waterkering uit te voeren met een gestuurde boring.

5.4 Beoordeling effecten op binnenwaartse macrostabiliteit (STBI)

Algemeen

Relevant voor de beschouwing van de gevolgen van het windpark voor de binnenwaartse macrostabiliteit zijn locatie WTG2 en de transportweg tussen het Gemaal en WTG3.

Windturbine WTG2 is gelegen op een brede binnenberm van de primaire waterkering. Het fundament is gelegen in de kernzone. De afstand van het hart van de windturbine tot de as van de waterkering bedraagt circa 50 m.

Naast het fundament is een kraanopstelplaats voorzien. De kraanopstelplaats bevindt zich op de binnenberm, grotendeels binnen de kernzone. Voor de kraanopstelplaats is een ophoging van het terrein voorzien.

Tussen het Gemaal- en sluiscomplex en WTG3 wordt de bestaande weg gebruikt voor zwaar transport tijdens de bouw- en verwijderingsfase. De weg is gelegen op de binnenberm van de waterkering.

Mogelijke effecten

Zoals in Tabel 5-1 aangegeven kan de binnenwaartse macrostabiliteit negatief worden beïnvloed door de volgende effecten:

Bouw- en verwijderingsfase:

- STBI1.1: Toename van de belasting door zwaar transport op de weg;
- STBI1.2: Toename van de belasting door kranen op de opstelplaats;
- STBI1.3: Toename van de belasting door grondophoging voor de kraanopstelplaats en het fundament.

Een voorwaarde voor de verwijderingsfase is dat het funderingsblok trillingsarm wordt gesloopt en palen in de grond achterblijven.

Gebruiksfase:

- STBI2.1 - Toename van de belasting door trillingen van het fundament als gevolg van cyclische windbelastingen;
- STBI2.2 - Afname van de schuifsterkte van grond door wateroverspanningen als gevolg van trillingen.

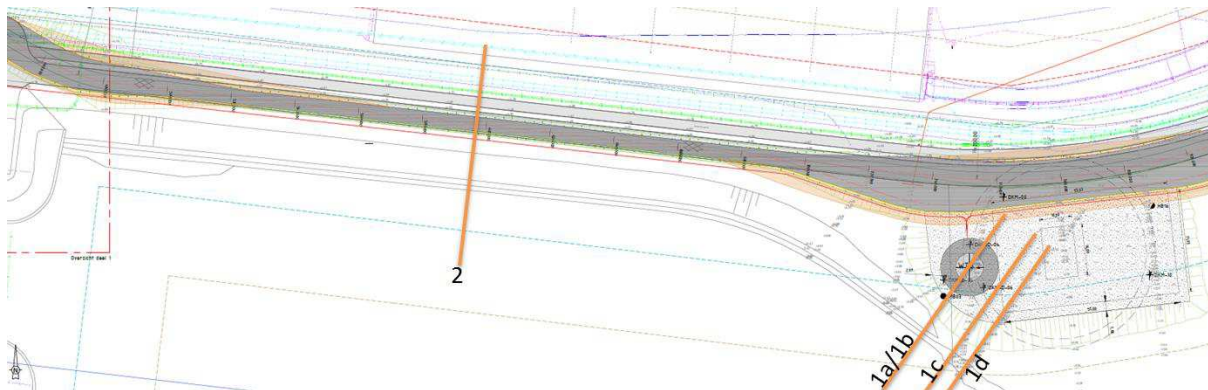
Beoordeling van effecten

Voor de beoordeling zijn gedetailleerde stabiliteitsberekeningen uitgevoerd met het programma D-GeoStability (versie 16.1) van Deltares Systems. De berekeningen zijn uitgevoerd volgens het Bishop model. Beschouwd is de situatie met maximaal verval over de waterkering tijdens maatgevend hoogwater.

Stabiliteitsberekeningen zijn uitgevoerd voor de volgende maatgevende doorsneden:

1. Doorsnede ter plaatse van WTG2
 - a. Huidige situatie
 - b. Toekomstig profiel ter plaatse van WTG2 inclusief fundatie;
 - c. Toekomstig profiel naast het fundament van WTG2 (zonder fundatie)
 - d. Toekomstig profiel ter plaatse van de kraanopstelplaats van WTG2
2. Doorsnede ter plaatse van de weg tussen het Gemaal en WTG2
 - a. Huidige situatie met normaal verkeer
 - b. Toekomstig met zwaar transport

De ligging van de beschouwde doorsneden is weergegeven in Figuur 5-1.



Figuur 5-1: ligging dwarsprofielen ten behoeve van beoordeling STBI

In tabel 5-3 is een overzicht gegeven van de beschouwde doorsneden en gehanteerde wijzigingen in belasting en sterkte.

Tabel 5-3: rekengevallen binnenwaartse macrostabiliteit

Doorsnede	Bouwfase	Gebruiksfase	Verwijderingsfase
1a. Huidig dijkprofiel WTG2 (referentie)	N.v.t.	- Verkeersbelasting (13 kPa)	N.v.t.
1b. Toekomstig dijkprofiel WTG2 (Ontwerp)	- Aanvulling rondom fundament - Ontgraving ter plaatse van fundament - Nog geen paalfundatie - Belasting bouwmaterieel (15 kPa)	- Grondbelasting door cyclische windbelasting: horizontaal 20 mm/s² en verticaal 40 mm/s² - Gereduceerde schuifsterkte voor 1% relatieve wateroverspanning - Verkeersbelasting (13 kPa)	Minimaal gelijkwaardig aan bouwfase (palen blijven achter)
1c. Toekomstig dijkprofiel naast fundament WTG2 (Toetsing)	- Aanvulling rondom fundament - Belasting bouwmaterieel (15 kPa)	- Grondbelasting door cyclische windbelasting: horizontaal 20 mm/s² en verticaal 40 mm/s² - Gereduceerde schuifsterkte voor 1% relatieve wateroverspanning - Verkeersbelasting (13 kPa)	Zie bouwfase
1d. Kraanopstelplaats WTG2 (Ontwerp)	- Aanvulling tot NAP +5,0 m - Belasting door hoofdkraan 250 kPa over 5 m breedte op 3 m afstand van talud	- Grondbelasting door cyclische windbelasting: horizontaal 20 mm/s² en verticaal 40 mm/s² - Gereduceerde schuifsterkte voor 1% relatieve wateroverspanning - Verkeersbelasting (13 kPa)	Zie bouwfase
2a. Huidige weg tussen Gemaal en WTG2 (Toetsing)	N.v.t.	- Verkeersbelasting (13 kPa)	N.v.t.
2b. Huidige weg met zwaar transport (Toetsing)	- Transportbelasting 100 kPa over 3 m breedte	N.v.t.	Zie bouwfase

Resultaten stabiliteitsberekeningen

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de berekende stabiliteitsfactoren per locatie en per projectfase. De cellen zijn groen gekleurd indien voldaan wordt aan de minimaal vereiste stabiliteitsfactor.

Tabel 5-4: berekende en minimaal vereiste stabiliteitsfactoren STBI

Doorsnede	Bouwfase	Gebruiksfase	Verwijderingsfase
1a. Huidig dijkprofiel	N.v.t.	1,39	N.v.t.
F_{min}	-	1,21	-
1b. Fundament WTG2 inclusief palen	1,33	1,38 ¹⁾	1,33
F_{min}	0,99	1,33	1,00
Verskil met. huidige situatie	-4%	-1%	-4%
1c. Dijk naast fundament WTG2 (zonder palen)	1,32	1,29	1,32
F_{min}	0,90	1,21	0,90
Verskil met. huidige situatie	-5%	-7%	-5%
1d. Kraanopstelplaats WTG2	1,15	1,34	1,15
F_{min}	0,99	1,33	0,99
Verskil met. huidige situatie	-17%	-4%	-17%
2. Huidige weg tussen Gemaal en WTG2	N.v.t.	1,08 ²⁾	N.v.t.
F_{min}	-	1,21	-
2a. Huidige weg met zwaar transport	1,04	N.v.t.	1,04
F_{min}	0,90	-	0,90
Verskil met. huidige situatie	-4%	-	-4%

1) Voor dit geval was de stabiliteit net onvoldoende ($F=1,29$), vergelijkbaar met 1c. Als maatregel dient nabij de teen (tussen het fundament en de geul) een horizontale drainage (buisdrainage of grindkoffer) te worden aangebracht.

2) In de huidige situatie is de stabiliteit minder dan vereist. In dit geval is de absolute waarde niet relevant, maar gaat het om de relatieve afname voor de bouw- en verwijderingsfase.

Uit de berekeningsresultaten blijkt het volgende:

- **De binnenwaartse stabiliteit blijft in alle beschouwde situaties en projectfasen gewaarborgd, op voorwaarde dat een drainage constructie wordt aangebracht tussen het fundament van WTG2 en het talud.**
- Tijdens de realisatie en sloop van de windturbine (onder maatgevende omstandigheden) neemt de stabiliteit van de binnenberm af met maximaal 17% ten opzichte van de huidige situatie. Maatgevend is situatie met maximale kraanbelasting op de kraanopstelplaats. Dit betreft een zeer tijdelijke situatie. Bij uitvoering onder 'normale omstandigheden' zal de stabiliteit hoger zijn.
- Tijdens de bouwfase neemt de stabiliteit van de weg af met circa 4% tijdens zwaar transport over de weg (volledig geladen SPMT).
- Tijdens de gebruiksfase neemt de stabiliteit af met maximaal 7% voor het grondlichaam direct naast het fundament.

5.5 Beoordeling effecten op binnenwaartse macrostabiliteit (STBU)

Algemeen

Windturbine WTG1 is gelegen aan de buitenzijde van de waterkering op een strekdam in de buitenbeschermingszone. De afstand van de rand van het fundament tot de beschermingszone bedraagt 33 m. Ten aanzien van macrostabiliteit kan de beschermingszone worden beschouwd als invloedszone. Vanwege de ligging buiten de invloedszone, zal een ontgraving voor het fundament geen invloed hebben op de stabiliteit van de waterkering. Stabiliteit van de landtong dient echter wel gewaarborgd te zijn om indirecte schade (secundaire glijvlakken of erosie na afschuiven) aan de waterkering te voorkomen.

Tussen WTG1 en het Gemaal zal een nieuwe bouwweg worden aangelegd. De weg sluit aan op de bestaande verharding op de kruin van de waterkering. Voor de weg is een beperkte ophoging en verbreding voorzien. Deze ophoging heeft een gunstig (tegenwerkend) effect op de macrostabiliteit en wordt daarom niet nader beschouwd.

In dit hoofdstuk is nader onderzocht wat het effect is van de windturbine en de bouwweg op de macrostabiliteit van de landtong en waterkering.

Mogelijke effecten

De effecten voor de buitenwaartse macrostabiliteit komen overeen met die voor de binnenwaartse macrostabiliteit.

Bouw- en verwijderingsfase:

- STBU1.1: Toename van de belasting door zwaar transport op de weg;
- STBU1.2: Toename van de belasting op door kranen op de opstelplaats;
- STBU1.3: Toename van de belasting door grondophoging voor de kraanopstelplaats en het fundament.

Gebruiksfase:

- STBU2.1 - Toename van de belasting door trillingen van het fundament als gevolg van cyclische windbelastingen;
- STBU2.2 - Afname van de schuifsterkte van grond door wateroverspanningen als gevolg van trillingen.

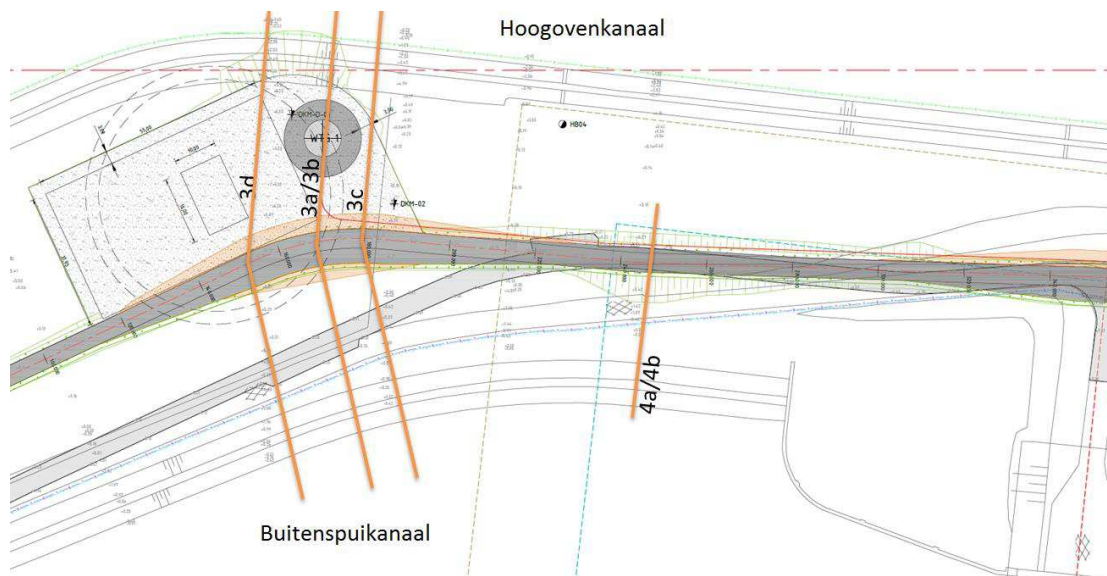
Beoordeling van effecten

Voor de beoordeling zijn gedetailleerde stabiliteitsberekeningen uitgevoerd met het programma D-GeoStability (versie 16.1) van Deltares Systems. De berekeningen zijn uitgevoerd volgens het Bishop model. Uitgegaan wordt een maatgevende situatie na val van de buitenwaterstand.

Stabiliteitsberekeningen zijn uitgevoerd voor de volgende maatgevende doorsneden:

3. Doorsnede ter plaatse van WTG1
 - a. Huidige situatie
 - b. Toekomstig profiel ter plaatse van WTG1 inclusief fundatie;
 - c. Toekomstig profiel naast het fundament van WTG1 (zonder fundatie)
 - d. Toekomstig profiel ter plaatse van de kraanopstelplaats van WTG1
4. Doorsnede ter plaatse van de weg tussen het Gemaal en WTG1
 - a. Huidige situatie met normaal verkeer
 - b. Toekomstig met zwaar transport

De stabiliteit is berekend voor het talud aan de zijde van het Hoogovenkanaal, evenals aan de zijde van het Buitenspuikanaal. De ligging van de beschouwde doorsneden is weergegeven in Figuur 5-2.



Figuur 5-2: ligging dwarsprofielen ten behoeve van beoordeling STBU

In tabel 5-5 is een overzicht gegeven van de beschouwde doorsneden en gehanteerde wijzigingen in belasting en sterkte.

Tabel 5-5: rekengevallen binnenwaartse macrostabiliteit STBU

Doorsnede	Bouwfase	Gebruiksfase	Verwijderingsfase
3a. Huidig dijkprofiel WTG1 (referentie)	N.v.t.	- Verkeersbelasting (13 kPa)	N.v.t.
2b. Toekomstig dijkprofiel WTG1 (Ontwerp)	- Aanvulling rondom fundament - Ontgraving ter plaatse van fundament - Nog geen paalfundatie - Belasting bouwmaterieel (15 kPa)	- Grondbelasting door cyclische windbelasting: horizontaal 20 mm/s² en verticaal 40 mm/s² - Gereduceerde schuifsterkte voor 1% relatieve wateroverspanning - Verkeersbelasting (13 kPa)	Minimaal gelijkwaardig aan bouwphase (palen blijven achter)
2c. Toekomstig dijkprofiel naast fundament WTG1 (Toetsing)	- Aanvulling rondom fundament - Belasting bouwmaterieel (15 kPa)	- Grondbelasting door cyclische windbelasting: horizontaal 20 mm/s² en verticaal 40 mm/s² - Gereduceerde schuifsterkte voor 1% relatieve wateroverspanning - Verkeersbelasting (13 kPa)	Zie bouwphase
2d. Kraanopstelplaats WTG1 (Ontwerp)	- Aanvulling tot NAP +5,0 m - Belasting door hoofdkraan 250 kPa over 5 m breedte op 3 m afstand van talud	- Grondbelasting door cyclische windbelasting: horizontaal 20 mm/s² en verticaal 40 mm/s² - Gereduceerde schuifsterkte voor 1% relatieve wateroverspanning - Verkeersbelasting (13 kPa)	Zie bouwphase
4a. Huidige weg tussen Gemaal en WTG1 (Toetsing)	N.v.t.	- Verkeersbelasting (13 kPa)	N.v.t.
4b. Huidige weg met zwaar transport (Toetsing)	- Transportbelasting 100 kPa over 3 m breedte	N.v.t.	Zie bouwphase

Resultaten stabiliteitsberekeningen

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de berekende stabiliteitsfactoren per locatie en per projectfase.

Tabel 5-6: berekende en minimaal vereiste stabiliteitsfactoren STBU – zijde Hoogovenkanaal

Doorsnede	Bouwfase	Gebruiksfase	Verwijderingsfase
3a. Huidig dijkprofiel buiten	N.v.t.	1,28	N.v.t.
F_{min}	-	1,14	-
3b. Fundament WTG1 inclusief palen	N.v.t. ¹⁾	1,36	N.v.t. ¹⁾
F_{min}		1,25	
Vershil met. huidige situatie		+6%	
3c. Dijk naast fundament WTG1 (zonder palen)	N.v.t. ¹⁾	1,25	N.v.t. ¹⁾
F_{min}		1,14	
Vershil met. huidige situatie		-3%	
3d. Kraanopstelplaats WTG1	1,12	N.v.t.	1,12
F_{min}	0,99		0,99
Vershil met. huidige situatie	-14%		-14%
4a. huidige weg	N.v.t.	1,25	N.v.t.
F_{min}		1,14	
4b. huidige weg met zwaar transport	1,25	n.v.t.	1,25
F_{min}	0,99		0,99
Vershil met. huidige situatie	0%		0%

Tabel 5-7: berekende en minimaal vereiste stabiliteitsfactoren STBU Buitenspuikanaal

Doorsnede	Bouwfase	Gebruiksfase	Verwijderingsfase
3a. Huidig dijkprofiel	N.v.t.	1,41	N.v.t.
F_{min}	-	1,14	-
3b. Fundament WTG1 inclusief palen	1,41	1,38	1,41
F_{min}	0,99	1,25	1,00
Vershil met. huidige situatie	0%	-2%	0%
3c. Dijk naast fundament WTG1 (zonder palen)	1,41	1,38	1,41
F_{min}	0,90	1,14	0,90
Vershil met. huidige situatie	0%	-7%	0%
3d. Kraanopstelplaats WTG1	1,41	N.v.t.	1,41
F_{min}	0,99		0,99
Vershil met. huidige situatie	0%		-17%
4a Huidig dijkprofiel met weg tussen WTG1 en Gemaal	N.v.t.	1,20	N.v.t.
F_{min}		1,14	

Doorsnede	Bouwfase	Gebruiksfase	Verwijderingsfase
4b. Weg met zwaar transport	1,20	N.v.t.	1,20
F_{min}	0,90	-	0,90
Vershil met. huidige situatie	0%	-	0%

Conclusie

Uit de berekeningsresultaten blijkt het volgende:

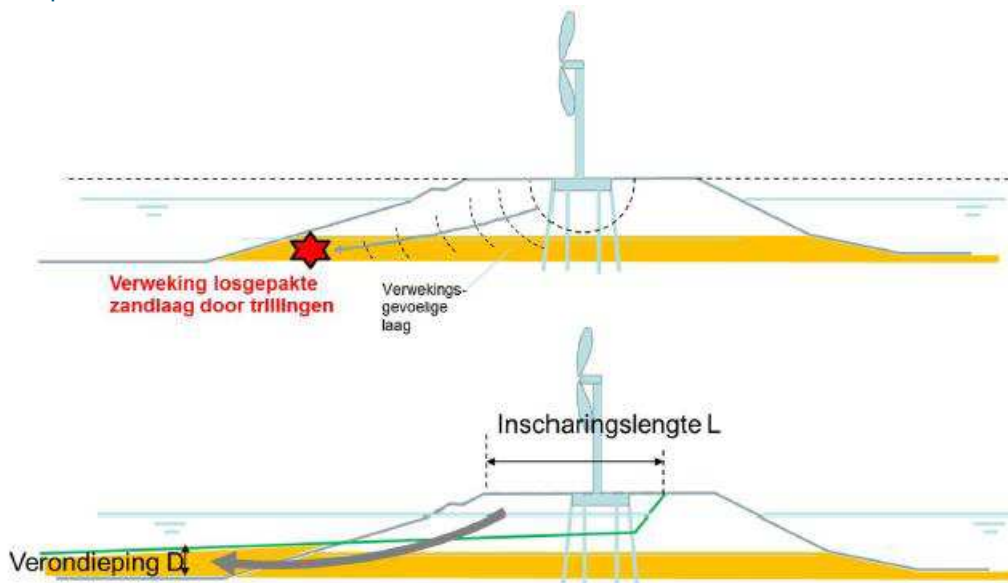
- **De buitenwaartse macrostabiliteit blijft in alle beschouwde situaties en projectfasen gewaarborgd.**
- Tijdens de realisatie en sloop van WTG1 (onder maatgevende omstandigheden) neemt de stabiliteit van het talud aan de kant van het Hoogovenkanaal af met maximaal 14% ten opzichte van de huidige situatie. Maatgevend is situatie met maximale kraanbelasting op de kraanopstelplaats. Aan de zijde van het Buitenspuikanaal blijft de macrostabiliteit tijdens de bouwfase onveranderd.
- Zwaar transport (volledig geladen SPMT) over de weg tijdens de bouwfase heeft geen negatieve gevolgen voor de stabiliteit.
- Tijdens de gebruiksfase neemt de stabiliteit af met maximaal 3% voor het grondlichaam direct naast het fundament van WTG1.

5.6 Beoordeling effecten op zettingsvloeiing (STVL)

Algemeen

Op het sluizencomplex IJmuiden zijn in het verleden met grote regelmaat zettingsvloeiingen opgetreden. Het ontstaan van een zettingsvloeiing wordt daarom als het grootste geotechnisch risico gezien. De opgetreden zettingsvloeiingen van het voorland hangen samen met de aanwezigheid van de verwekingsgevoelige Spisula zandlaag. De zettingsvloeiing is vermoedelijk het gevolg van een combinatie van verwekingsvloeiing en bresvloeiing [Deltares2015].

Trillingen als gevolg van het inbrengen van palen, het gebruik van de windturbines en de sloop kunnen een trigger zijn voor het optreden van zettingsvloeiing. Ook activiteiten door derden (bijvoorbeeld baggeren) kunnen leiden tot trillingen en zettingsvloeiing veroorzaken. Zettingsvloeiing kan leiden tot schade aan de strekdam of waterkering en de daarop aanwezige constructies, waaronder de windturbines zelf, zie Figuur 5-3. Daarnaast kan zettingsvloeiing resulteren in verondieping van de (vaar)geul dat kan leiden tot belemmering van scheepvaart of beperking van de aan- en afvoercapaciteit van het Gemaal en de Spuisluis.



Figuur 5-3: principe verweking door trillingen en resulterende inschaling en verondieping [Deltares2016]

Door Deltares is in fase 1 [Deltares, 2015] en fase 2 [Deltares, 2016]) van het haalbaarheidsonderzoek onderzocht of tijdens de bouw en de gebruiksfase van de windturbines de kans op het ontstaan van een zettingsvloeiing acceptabel klein is. In fase 1 is geconcludeerd dat tijdens heien van palen de kans op het ontstaan van een vloeiing niet verwaarloosbaar is. Eneco heeft naar aanleiding hiervan gekozen voor een trillingsvrij paalsysteem. De kans op optreden van zettingsvloeiing tijdens de bouwphase is hierdoor acceptabel klein. Voor de bedrijfsfase werd de kans op het ontstaan van een vloeiing klein geacht.

Fase 2 betrof een kwantitatieve beschouwing van het risico op het optreden van en schade ten gevolge van zettingsvloeiing en de bijdrage van windturbines daaraan. De belangrijkste conclusies van fase 2 zijn:

- De kans op het optreden van zettingsvloeiing en schade door zettingsvloeiing aan de landtong en verondieping van de geul is aanzienlijk op basis van lokale bodemopbouw en geometrie, ook zonder de aanwezigheid windturbines.
- De invloed van trillingen door de windturbines in de gebruiksfase op deze kans zijn beperkt.

Door Deltares is in het onderzoek uitgegaan van één kenmerkende doorsnede voor de projectlocatie. In deze paragraaf is meer specifiek per afzonderlijke windturbine locatie nagegaan welke schade door zettingsvloeiing wordt verwacht. Op basis van de verwachte inscharing door zettingsvloeiing is bepaald of deze schade nadelige gevolgen kan hebben voor de waterveiligheid (bijdrage aan de kans op overstromen door kruinverlaging na inscharing) of waterbeheer (vermindering spuicapaciteit door verondieping). Tevens is de te verwachten schade aan de fundering van de windturbines zelf beoordeeld. Voor WTG2 kan bezwijken van de fundering indirect gevolgen hebben voor de waterveiligheid, zie hoofdstuk 6 bij mechanisme 'omvallen mast'. Indien schade wordt verwacht zijn verbetermaatregelen voorgesteld.

Mogelijke effecten

De mogelijke effecten voor zettingsvloeiing zijn:

Bouwfase

- STVL1.1 - Toename belasting door zwaar transport
- STVL1.2 – Verandering van de geometrie door ophoging bij WTG2. De belasting kan aandrijvend zijn voor instabiliteit van de vooroever.

Gebruiksfase:

- STVL2.1 - Trillingen kunnen extra belastingen op een onbeschermde geulrand veroorzaken waardoor een verweking van zand kan worden ingeleid.

Beoordeling van de effecten

Door Deltares is geconcludeerd dat de invloed van trillingen van de windturbines op zettingsvloeiing beperkt lijkt, maar dat de kans op zettingsvloeiing met of zonder windturbines redelijk groot lijkt, en dat dit zowel invloed kan hebben op de waterkering, overige delen van de landtong en de fundering van de windturbine zelf.

Invloed op waterkering door inscharing na zettingsvloeiing

In Bijlage 4 van dit rapport is op basis van de methodiek overeenkomstig Bijlage B van het fase 2 rapport [Deltares 2016] de verwachtingswaarde van de inscharringslengte (L) bepaald. Vervolgens is deze getoetst aan de aanwezige lengte van de voorland/berm tot aan de windturbine en waterkering. Indien de verwachte inscharringslengte groter is, dan is een verbetermaatregel voorgesteld.

De resultaten zijn samengevat in tabel 5-8.

Uit de tabel blijkt het volgende:

- De kans op optreden van zettingsvloeiing is een factor 2 tot 10 kleiner dan op basis van het algemene profiel, dat door Deltares is gebruikt.
- Voor alle locatie is de verwachte inscharringslengte toelaatbaar ten aanzien van de waterveiligheid. De aanwezigheid van de windturbines ten aanzien van waterveiligheid is acceptabel.
- Voor de locaties WTG1, WTG2 en WTG4 is de inscharringslengte groter dan toelaatbaar voor de windturbine. Op deze locaties kan falen van de windturbinefunderatie optreden door zettingsvloeiing. Voor deze locaties zijn verbetermaatregelen nodig.

Tabel 5-8: beoordeling invloed zettingsvloeiing op waterkering en windturbine

			Deltares		WTG1	WTG2	WTG3	WTG4	
		hoogoven- haven	buitenspuikanaal	hoogoven- haven	buitenspuikanaal	buitenspuikanaal	buitenspuikanaal	buitenspuikanaal	bu ka
P(ZV Si)	[%]	0,10%	0,15%	0,07%	0,04%	0,04%	0,02%	0,01%	0,0
L	[m]	27,6	29,6	39,8	28,4	26,7	23,0	19,6	23
Ltoelaatbaar	windturbine	[m]		3	49	17	32	10	38
	waterkering	[m]		>50	>50	>50	n.v.t.	n.v.t.	n.v.

Invloed op waterbeheer door verondieping na zettingsvloeiing

Als een zettingsvloeiing plaatsvindt, zal de grond boven in het profiel richting de geul naar de zijanten afvloeien. Het uitvloeingsprofiel wordt gekenmerkt door een zeer flauw talud van het uitgevloeide materiaal. Als gevolg treedt een verondieping op in het kanaal.

Bij WTG1 geldt dat het Buitenspuikanaal is bestort. Op deze locatie wordt geen verondieping van het kanaal verwacht. Verondieping aan de zijde van het Hoogovenkanaal heeft geen gevolgen voor het waterbeheer.

Voor de overige windturbinelocaties is het inscharringsprofiel na zettingsvloeiing grafisch weergegeven. De te verwachten verondieping bedraagt 2 à 3 m nabij de teen van het onderwatertalud.

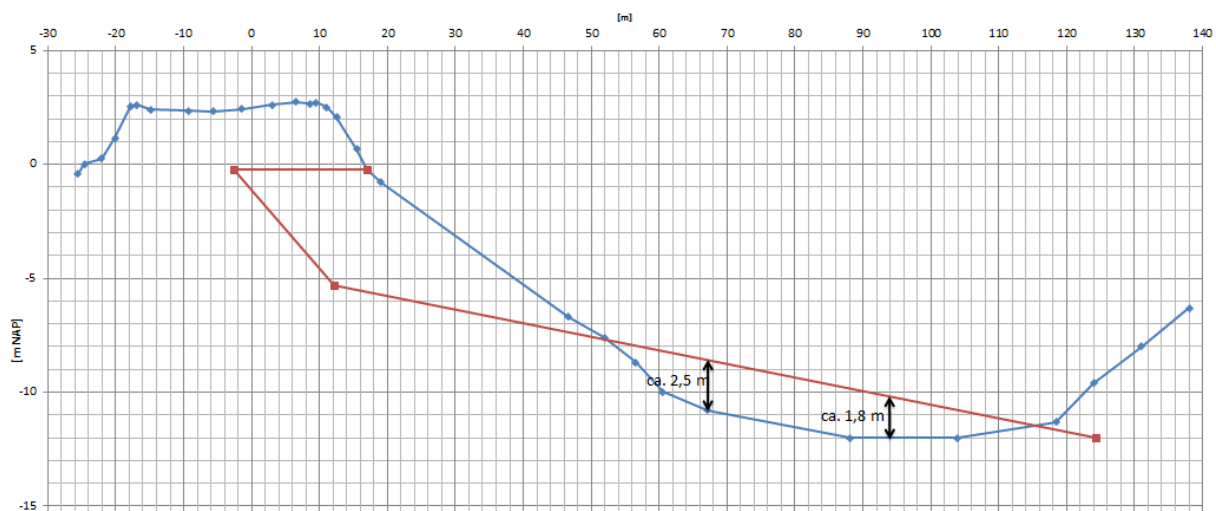
Voor locatie WTG2 zal een maatregel worden genomen ter voorkoming van zettingsvloeiing, zie tabel 5-8. Dit betekent dat in het ongunstigste geval een verondieping kan optreden bij WTG3. Dit is op ruim 600 m afstand van het Gemaal en de Spuisluis. Op deze afstand wordt verwacht dat de beperkte verondieping geen invloed heeft op het waterbeheer.



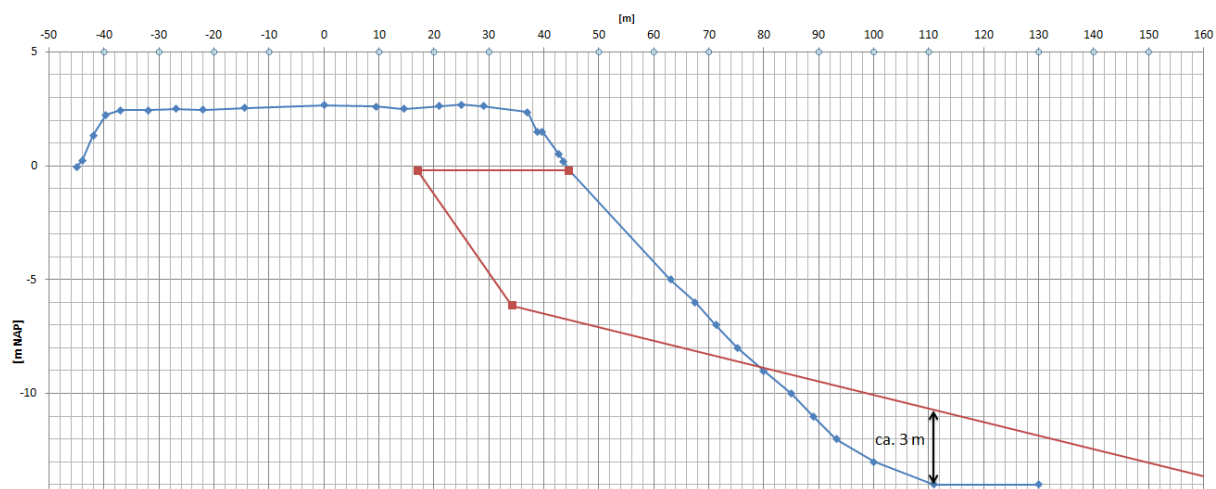
Figuur 5-4: verwachte verondieping Binnenspuikanaal bij WTG2 door zettingsvloeiing



Figuur 5-5: verachte verondieping Binnenspuikanaal bij WTG3 door zettingsvloeiing



Figuur 5-6: verachte verondieping Binnenspuikanaal bij WTG4 door zettingsvloeiing



Figuur 5-7: verachte verondieping Binnenspuikanaal bij WTG5 door zettingsvloeiing

Conclusie

De invloed van het windpark op het faalmechanisme 'zettingsvloeiing' is klein. Zelfs bij optreden van zettingsvloeiing zal de dijk de waterkerende functie kunnen blijven vervullen. Wel is voor de locaties

WTG1, WTG2 en WTG4 de verwachte inscharingslengte na zettingsvloeiing groter dan toelaatbaar voor de windturbine. Op deze locaties kan falen van de windturbinefundatie optreden door zettingsvloeiing. Voor deze locaties zijn verbetermaatregelen nodig.

Ten aanzien van waterbeheer worden geen nadelige effecten verwacht. In het ongunstigste geval kan een verdieping van 2 à 3 m optreden bij WTG3, op ruim 600 m afstand van het Gemaal en de Spuisluis.

Verbeter- en beheersmaatregelen

Verbetermaatregelen voor WTG1, WTG2 en WTG4 kunnen bestaan uit een van de volgende opties:

- Aanbrengen van een bestorting op het talud en geulbodem (voor het fundament) over circa 50 m breedte ter voorkoming van ontstaan van zettingsvloeiing.
- Aanbrengen van een damwand over circa 50 m breedte in het talud om eventuele inscharing tot aan het fundament en waterkering te voorkomen.

Ten aanzien van zettingsvloeiing bestaat onzekerheid over het lange termijn gedrag van de ondergrond onder invloed van trillingen. Om meer zekerheid hierover te krijgen zal een monitoringprogramma worden opgesteld als onderdeel van het detail ontwerp. Gedurende de gebruikperiode zullen de trillingen van het fundament en de relatieve dichtheid van de grondlagen worden gemeten. Voor de trillingen zullen trillingssensoren worden aangebracht op het fundament en op diepte in de ondergrond. Sonderingen zullen worden uitgevoerd (bijvoorbeeld eens per 2 jaar) om de relatieve dichtheid af te leiden. De relatieve dichtheid is een maat voor de verwekingsgevoeligheid van de grondlagen. Het onderzoek zal zich vooral richten op de verwekingsgevoelige Spisulalaag. Het aantal sonderingen per locatie, de afstand tot het fundament en de meetfrequentie zal met RWS nader worden afgestemd in de fase 'detail planning en ontwerp'.

5.7 Beoordeling effecten op bekleding (STBK)

Algemeen

In paragraaf 5.3 is vastgesteld dat het dijklichaam een kruinhoogte heeft waarbij geen significante overloop door golfslag zal plaatsvinden. Er worden hierdoor geen eisen gesteld aan de bekleding op de kruin en het binnentalud. Voor de waterveiligheid is de bekleding aan de zeezijde relevant. De oeverbekleding aan de zeezijde is als volgt opgebouwd:

- op het dijktaalud van NAP +5,20 m tot NAP +2,50 m een met Haringmanblokken beklede glooiing met een helling van ca. 1 : 2;
- van NAP +2,50 m tot NAP -0,60m een met gietasfalt gepenetreerde basalt glooiing met een helling van ca. 1 : 2 opgesloten met een aaneengesloten rij perkoenpalen;
- op NAP -0,6 m een 3 m brede plasberm bekleed met stortsteen;
- aansluitend op de plasberm een met stortsteen bekleed kraagstuk met een helling van 1:3 tot NAP -5,00 m.

De kering rondom het sluizencomplex bij IJmuiden is in de derde veiligheidstoetsing afgekeurd omdat de bekleding (gras en steenbekleding) niet voldoet aan de veiligheidsnormen. Op een aantal plaatsen zal de bekleding van de waterkering worden versterkt, zie Figuur 2-8 in paragraaf 2.6.

Het te versterken dijkvak ten noorden van het Gemaal heeft raakvlakken met de aanpassing van de weg voor de realisatie van het windpark. *Afstemming met RWS is nodig voor inpassing van het ontwerp in de versterkingsopgave.*

Mogelijke effecten

Als gevolg van het windpark ontstaat er geen extra belasting op het buitentalud. De mogelijke effecten hebben betrekking op (tijdelijke) afname van de sterkte van de bekleding.

Bouwfase

- STBK1.1 - Afname van de sterkte tijdens ontgraving van het fundament;
- STBK1.2 - Afname (tijdelijk) sterkte van de grasmatbekleding ter plaatse van nieuwe ophogingen en windparkbekabeling.

Gebruiksfase:

- STBK2.1 - Erosie kan optreden op de overgang van het fundament en de bekleding

Verwijderingsfase:

- Overeenkomstige de bouwfase, maar dan bij het verwijderen van bekabeling en herstel van de weg.

Beoordeling effecten

Bouwfase

- STBK1.1 – Op de landtong, ter plaatse van het fundament van WTG1, is een toplaag van los granulair materiaal aangetroffen (puin met asfalt, betonbrokken en bakstenen in boring HB04 uit [BT Geoconsult 2016]). De landtong is vlak en op een niveau gelijk aan toetspeil. De belasting door golven en stroming is gering. Tijdens het ontgraven van het fundament dient voorkomen te worden dat bij optreden van een hoogwaterstand een erosie van de landtong optreedt. Als maatregel kunnen zandzakken (bigbags) worden aangebracht rondom de tijdelijke ontgraving. Voor meer informatie omtrent de maatregel wordt verwezen naar het werkplan, dat bij de aanvraag zal worden ingediend.

- STBK1.2 – Aan de buitenzijde van de waterkering zal de kleibekleding op het buitentalud tijdelijk worden ontgraven voor de aanleg van bekabeling. De effecten zijn gelijk aan effect HT1.2 in paragraaf 5.3. Erosie van het buitentalud door golfaanval en stroming dient te worden voorkomen door een voldoende sterke bekleding terug te brengen na aanleg van de parkbekabeling. Daarnaast dient bij aanpassing (verbreding) van de weg de verharding goed aan te sluiten op de grasmat. In het ontwerp en bij de uitvoering dient met het volgende rekening te worden gehouden:
 - Uitvoering van de graafwerkzaamheden op het buitentalud buiten het stormseizoen.
 - Tijdens de uitvoering van de graaf- en aanvuilwerkzaamheden moet ervoor worden gezorgd dat de grond goed wordt verdicht, goed aanvuilmateriaal wordt gebruikt en de oorspronkelijke profielopbouw zoveel mogelijk wordt hersteld. De bekleding dient te bestaan uit minimaal 0,9 m klei.
 - Bij beschadiging van de grasmat op het buitentalud dient als maatregel een 3D structuurmat worden toegepast. De mat dient om de erosiebestendigheid te garanderen, totdat de grasmat volledig is hersteld.

Gebruiksfasen:

- STBK2.1 - De overgang van het fundament van WTG1 en de granulaire toplaag op de landtong is gevoelig voor erosie. Om te voorkomen dat de grond om de voet erodeert dient rondom de funderingsconstructie een beschermingsconstructie te worden aangebracht. Bij het dimensioneren van deze beschermingsconstructie wordt aanbevolen om de hydraulische belasting te verhogen met een factor 1,5 om de effecten van turbulentie rondom het fundament op te vangen. Op basis van de aanwezige toplaagdikte wordt verwacht dat een granulaire toplaag met 1m voldoende zal zijn. De breedte van de strook rondom de constructie dient volgens ontgrondingsvoorspelling bepaald te worden. Een indicatie is een strook tot een afstand gelijk aan de diameter van het funderingsblok.

Verwijderingsfase:

Bij verwijdering van de windturbine en parkbekabeling dient de bekleding minimaal op de oorspronkelijke sterkte te worden teruggebracht.

Conclusie

Op basis van de beoordeling kan worden geconcludeerd dat de aanleg van windturbine WTG1 en de parkbekabeling en aanpassing van de weg op de waterkering tussen WTG1 en WTG2 negatieve gevolgen kan hebben voor de faalmechanismen 'instabiliteit bekleding'. De sterkte van de granulaire toplaag op de landtong en de sterkte van de kleibekleding op het buitentalud wordt tijdelijk verlaagd door graafwerkzaamheden. Door hiermee in het ontwerp rekening te houden en maatregelen te nemen tijdens de uitvoering kan de stabiliteit worden gewaarborgd.

Verbetermaatregelen

Om de stabiliteit van de bekleding te waarborgen dienen tijdens de bouw-, gebruiks- en verwijderingsfase de volgende voorwaarden in acht te worden genomen:

Bouw van fundering WTG1

- Ontgraving voor het fundament van WTG1 mag niet worden uitgevoerd tijdens een periode met hoogwaterstand. Uitvoering dient bij voorkeur plaats te vinden buiten het stormseizoen. Een alternatief is het aanbrengen van zandzakken rondom de tijdelijke ontgraving.
- Om te voorkomen dat de grond om de voet erodeert dient rondom de funderingsconstructie een beschermingsconstructie te worden aangebracht. Uitgaande van de aanwezige toplaag van 0,6 m granulair materiaal wordt aanbevolen om 1,0 m granulair materiaal (verhoogde hydraulische belasting met een factor 1,5) aan te brengen rondom de constructie tot een afstand gelijk aan de diameter van het funderingsblok.

Parkbekabeling en nieuwe bouwweg

- De verharding van de wegverbreding dient goed aan te sluiten op de grasmat en kleibekleding.
- In de sleuf voor parkbekabeling dienen de profielopbouw en de grasmat zoveel mogelijk in de oorspronkelijke sterkte te worden teruggebracht. Tijdens de uitvoering van de graaf- en aanvuwerkzaamheden moet ervoor worden gezorgd dat de grond goed wordt verdicht en dat goed aanvulmateriaal. De bekleding dient te bestaan uit minimaal 0,9 m klei.
- Bij beschadiging van de grasmat dient een vernagelde 3D structuurmat te worden toegepast. De mat dient voorzien te worden van 0,05 m bovengrond en te worden ingezaaid. De mat dient om de erosiebestendigheid te garanderen, totdat de grasmat volledig is ontwikkeld.

6 Beoordeling bovengrondse effecten door falen van een windturbine

6.1 Algemeen

Tijdens de exploitatiefase van het windpark kan bij eventueel falen van windturbines WTG1 en WTG2 door mastomval, gondelval of bladafworp een onderdeel van de windturbine op de waterkering terecht komen. Voor locaties WTG3 kan alleen bij falen door mastafworp tijdens overtoeren de waterkering worden geraakt. Voor de overige windturbines (WTG4, WTG5 en WTG6) geldt dat ze vanwege de ruime afstand tot de waterkering geen risico vormen voor de waterkering. De aanwezigheid van de windturbines heeft dus een bijdrage aan de faalkans van de waterkering en de waterkerende kunstwerken.

In dit hoofdstuk wordt de additionele faalkansbijdrage bepaald en getoetst aan een criterium. De aanpak is al beschreven in paragraaf 3.4. Wanneer de totale faalkansbijdrage van alle windturbines gezamenlijk kleiner is dan het criterium, is aangetoond dat de geplande windturbines niet leiden tot een noemenswaardige risicoverhoging.

6.2 Windturbinegegevens

Voor het windpark wordt door Eneco Wind BV en Windpark IJmond BV nog een range aan windturbines overwogen. Voor het bepalen van de schade door neerkomen van een windturbineonderdeel is uitgegaan van een Nordex windturbine, type N117/3000 R120 IEC 2a/DIBt 2. Van de overwogen leveranciers heeft dit type windturbine de zwaarste gewichten van de onderdelen (mast, rotorblad, gondel). Voor de massa van de windturbine onderdelen is uitgegaan van de informatie in document van Nordex:

“K0801_041843_EN_R02_Transport_Access_Crane_Requirements_Delta.pdf”.

Bij falen van dit type zal de grootste schade aan de waterkering wordt verwacht. De gehanteerde windturbinegegevens zijn samengevat in Tabel 6-1.

Tabel 6-1: windturbinegegevens Nordex 117

Kenmerk	Waarde	Eenheid
Nominaal vermogen	3000	[kW]
IEC-klasse	IIA	[-]
Rotordiameter (D)	116,8	[m]
Ashoogte (H)	120	[m]
Tiphoogte	178,4	[m]
Rotorblad		
Zwaartepunt blad	15,6	[m]
Lengte bladdeel	57,3	[m]
Bladoppervlak	185	[m ²]
Diameter rotor	116.8	[m]
Gewicht rotorblad (per stuk)	10.9	[t]

Kenmerk	Waarde	Eenheid
Rotornaaf		
Toerental rotor (normaal bedrijf)	12,6	[rpm]
Toerental rotor (overtóeren situatie)	25,2	[rpm]
Gewicht rotornaaf, inclusief 3 bladen	62,7	[t]
Gondel		
Lengte gondel	12,8	[m]
Hoogte gondel	4,0	[m]
Breedte gondel	5,4	[m]
Gewicht gondel (zonder rotornaaf en bladen)	115,5	[t]
Gewicht gondel (incl. rotornaaf en bladen)	178,2	[t]

6.3 Faalscenario's en faalfrequentienormen

Conform het Handboek Risicozonering Windturbines [HRW 2014] worden de risico's van een windturbine voor personen en objecten in de directe omgeving gevormd door drie faalscenario's:

1. Mastbreuk: het omvallen van de turbine, inclusief gondelhuis en rotor;
2. Het neerkomen van het gondelhuis en/of de rotor;
3. Bladbreek of het afbreken van delen van een rotorblad.

De faalfrequenties voor de voorgenomen maatgevende windturbine zijn afkomstig uit het HRW2014 en zijn in onderstaande tabel weergegeven. De waarden zijn geldig voor windturbines vanaf 1 MW tot en met 5 MW.

Tabel 6-2: scenario's en faalfrequenties voor de windturbines [HRW2014]

Scenario	Faalfrequentie [1/jaar]
Omvallen van de mast (inclusief gondel/rotor)	$1,3 \cdot 10^{-4}$
Neerstorten van de gondel en/of de rotor	$4,0 \cdot 10^{-5}$
Bladbreek bij nominaal toerental	$8,4 \cdot 10^{-4}$
Bladbreek bij overtoeren	$5,0 \cdot 10^{-6}$

6.4 Toetscriterium

Rijkswaterstaat stelt als eis dat de veiligheid van de waterkering door de aanwezigheid van de windturbines niet wezenlijk mag verminderen ten opzichte van de situatie zonder windturbines. Er is momenteel geen landelijk vastgesteld criterium voor de toelaatbare bijdrage aan de faalkans van een waterkering door aanwezigheid van windturbines.

Toetscriterium voor de waterkering

Het toetscriterium voor de toelaatbare faalkans van een waterkering wordt doorgaans gerelateerd aan de veiligheidsnorm van de waterkering. De norm is gegeven als een gemiddelde overschrijdingskans per jaar van de waterstand waarop de kering moet zijn berekend. Voor de waterkering in IJmuiden is deze norm $1/10.000$ (10^{-4}) per jaar. Als criterium wordt door beheerders van waterkeringen veelal gehanteerd dat 1 tot 10% additioneel risico (toename faalkansbijdrage) toelaatbaar is.

De 10% additioneel risico komt overeen met de richtwaarde de Handleiding Risicoberekeningen Bevi [RIVM2015], het handboek voor het uitvoeren van QRA's aan inrichtingen met gevaarlijke stoffen. Als een domino-initiërend incident de faalfrequentie met minder dan 10% verhoogt dan wordt dit als niet significant gezien (paragraaf 3.2.2 van [RIVM2015]). Deze richtwaarde wordt gehanteerd voor kabels en leidingen met gevaarlijke stoffen.

Voor waterkeringen wordt veelal ook een bijdrage van 10% van de faalkans gereserveerd voor "overige faalmechanismen", die niet de stabiliteit of hoogte van de waterkering betreffen. De overige mechanismen omvatten de waterkerende en niet-waterkerende objecten zoals windturbines. Voor elk te onderscheiden constructie en mechanisme moet dus worden uitgegaan van een veiligheidsniveau dat nog een orde lager ligt. Veelal wordt hiervoor per constructie of mechanisme een criterium van circa 1% van de norm gehanteerd.

In deze beoordeling wordt voor de maximaal toelaatbare toename van de faalkans van de *waterkering* een eis van 1% van de autonome normfrequentie gehanteerd. De totale faalfrequentie door het windpark dient kleiner te zijn dan: $0,01 \times 10^{-4} = 10^{-6}/\text{jaar}$.

Toetscriterium voor de waterkerende kunstwerken

Voor de *waterkerende kunstwerken* (Spuisluis en Gemaal) wordt eveneens 1% van de autonome (ontwerp)norm gehanteerd. De autonome veiligheidsnorm is aangehouden conform de Leidraad Kunstwerk [TAW2003]. Deze norm heeft betrekking op de functie 'waterkeren'. Of een strengere eis wordt gesteld aan bepaalde constructieonderdelen vanwege de functie 'waterbeheer' is op dit moment niet bekend. De aangenomen autonome veiligheidsnorm is:

- De kerende hoogte van de constructie dient zodanig te zijn dat de kans op overschrijding kritisch peil in achterliggend gebied door overslag en overloop van systeem RWS in samenhang met de naastgelegen dijkringdelen kleiner of gelijk is aan de normfrequentie van 10^{-4} per jaar. De faalkanstoename mag dan niet meer zijn dan $0,01 \times 10^{-4} = 10^{-6}/\text{jaar}$
- De kans op overschrijding kritisch peil in het achterliggend gebied door niet-sluiten van de constructie dient kleiner of gelijk te zijn aan 0,1 keer de normfrequentie. De faalkanstoename mag dan niet meer zijn dan $0,01 \times 0,1 \times 10^{-4} = 10^{-7}/\text{jaar}$.
- De kans op bezwijken van de constructie dient kleiner of gelijk te zijn aan 0,01 keer de normfrequentie. De faalkanstoename mag dan niet meer zijn dan $0,01 \times 0,01 \times 10^{-4} = 10^{-8}/\text{jaar}$.

Voor de kunstwerken wordt opgemerkt dat bij neerkomen van een rotorblad constructieve schade aan een onderdeel van het kunstwerk kan optreden. Constructief bezwijken van bepaalde onderdelen kan leiden tot een situatie vergelijkbaar met 'niet sluiten' (geopend kunstwerk). Constructief bezwijken van het kunstwerk als geheel zal niet optreden. Voor het constructief bezwijken van een onderdeel dient conform Leidraad Kunstwerken toch de eis van constructief bezwijken gehanteerd te worden. Dit houdt verband

met de veelal oncontroleerbare gevolgen van een dergelijke gebeurtenis. Voor het neerkomen van een rotorblad op het kunstwerk wordt daarom de strengste eis voor constructief bezwijken gehanteerd (en niet de minder strenge eis voor 'niet sluiten').

6.5 Trefafstanden

OmvalLEN windturbine

Het faalmechanisme 'omvallen volledige windturbine' wordt beschouwd als het worst case scenario dat kan optreden als de verbinding met het fundament of het fundament bezwijkt, waardoor de windturbine als geheel omvalt. Conform het handboek is het maximale valbereik de som van de ashoogte en een halve rotordiameter. Waarbij wordt opgemerkt dat de werkelijke impactzone voornamelijk wordt bepaald door de lengte van de toren en afmeting van het gondelhuis, de rotorbladen zullen over het algemeen versplinteren en een beperkte impact hebben.

Voor de Nordex N117 is het maximale valbereik **178,5 m**. Alleen windturbine WTG2 staat op een afstand van minder dan 178 m van de waterkering. De afstand tot het Gemaal en Spuisluis is voor alle windturbines ruim groter dan 178,5 m.

Val rotor en of gondel

Het faalmechanisme 'neerstorten gondelhuis' houdt in dat de verbinding tussen de toren en het gondelhuis bezwijkt. In dat geval komt het gondelhuis in zijn geheel naar beneden. De praktijk heeft uitgewezen dat de zone van het neerkomen van het gondelhuis niet verder reikt dan een halve rotordiameter. Het handboek hanteert dan ook een uiterst valbereik van een ½ rotordiameter, ofwel **58,5 m**.

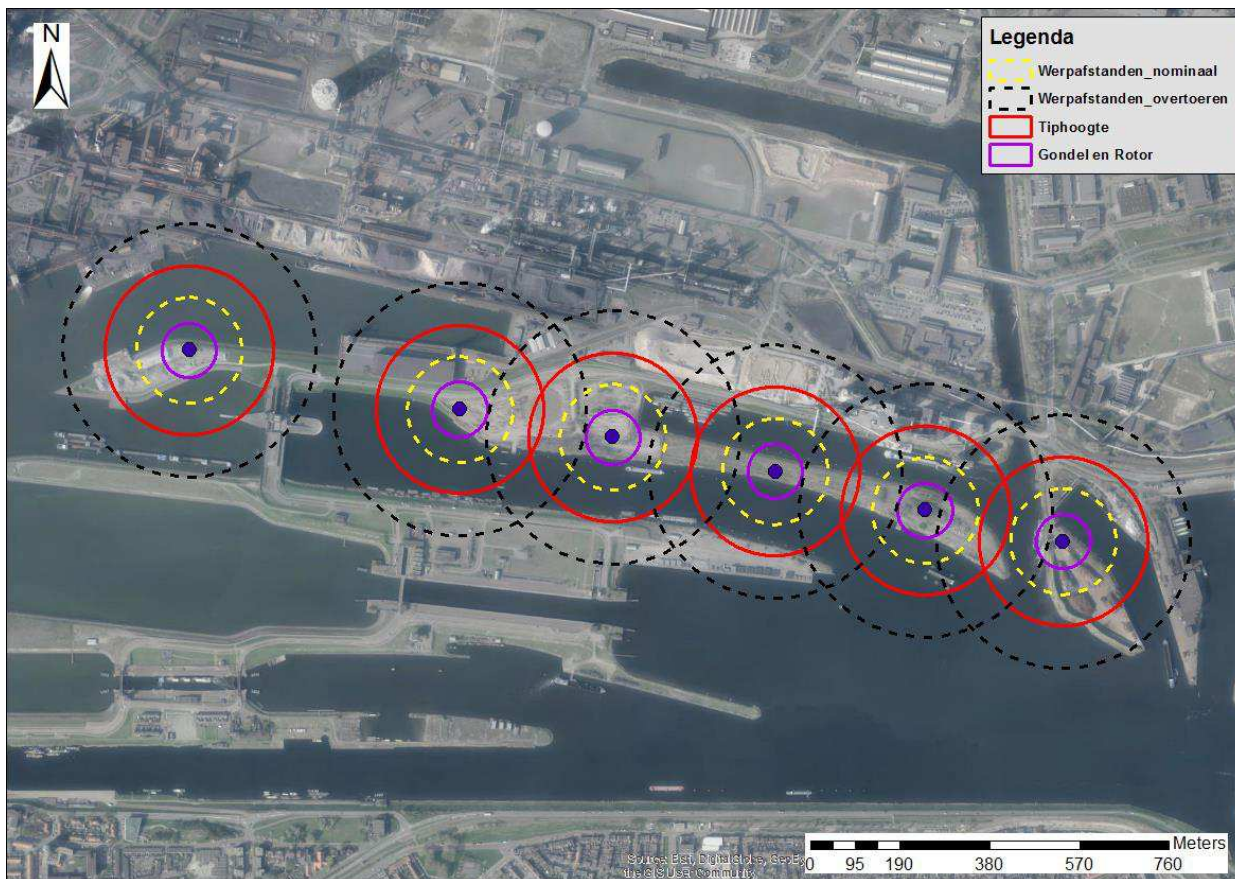
Bladbreek

Het faalmechanisme 'bladbreek' houdt in dat een rotorblad als geheel of een onderdeel van het rotorblad losraakt tijdens het draaien. Afhankelijk van de positie van het rotorblad en het toerental op het moment van het losraken van het rotorblad, kan een rotorblad worden geworpen. Hierbij worden twee scenario's onderscheiden: nominaal toerental en overtoeren (2x nominaal toerental).

De werpafstand is bepaald op **112 m** voor het scenario bladbreek bij nominaal toerental. Alleen bij WTG2 ligt de primaire waterkering binnen dit valbereik.

De werpafstand bedraagt **268 m** voor het scenario bladbreek bij overtoeren (2x nominaal toerental). Alleen bij windturbine WTG1, 2 en 3 kan de waterkering worden geraakt. Voor de WTG4, 5 en 6 is de afstand tot de waterkering te groot.

In de onderstaande Figuur zijn de effectafstanden van de scenario's voor alle windturbines grafisch weergegeven.



Figuur 6-1: effectafstanden voor verschillende faalscenario's

6.6 Kritische strook waterkering en kunstwerken

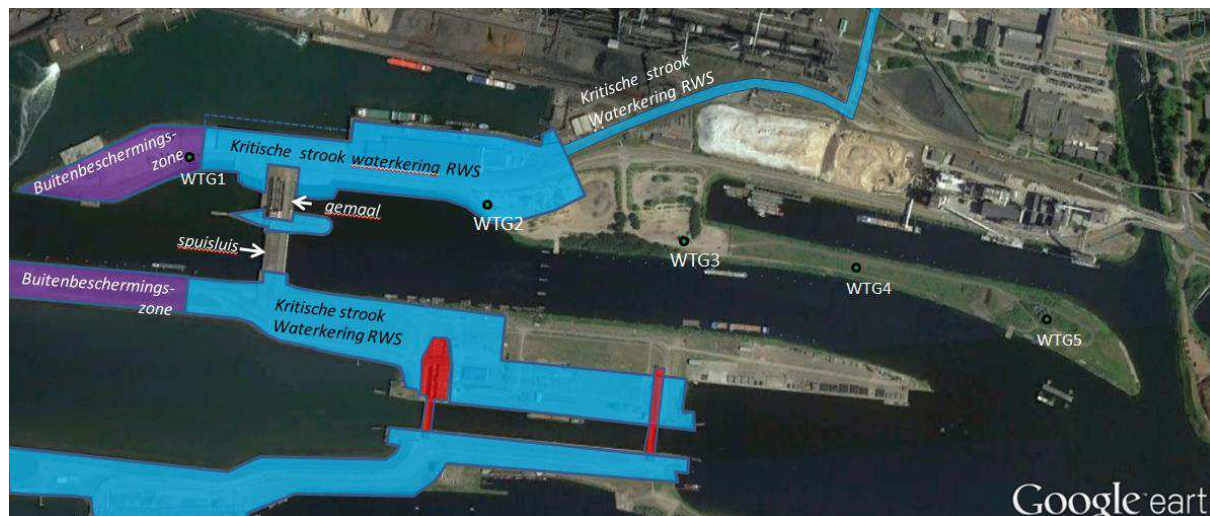
6.6.1 Kritische strook waterkering

De kans dat de waterkering faalt door neerkomen van de windturbine of windturbineonderdeel is afhankelijk van de trefafstand van het onderdeel en de kritische strook van de waterkering. De kritische strook is gedefinieerd als de zone, waarbinnen het neerkomen van de windturbine of windturbineonderdeel kan leiden tot falen van de waterkering. Bij het neerkomen van de windturbine of windturbineonderdeel buiten de kritische strook zal de waterkering blijven functioneren.

Voor het vaststellen van de kritische strook is onderscheid gemaakt tussen de volgende onderdelen:

- Kritische strook van de dijk in beheer bij RWS;
- Kritische strook van de dijk in beheer bij hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier;
- Kritische strook van het Gemaal (inclusief toekomstige uitbreiding)
- Kritische strook van de Spuisluis
- Kritische strook van de Noordersluis

De afleiding van de breedte van de kritische strook is hieronder nader beschreven. De ligging van de kritische strook is weergegeven in Figuur 6-1.



Figuur 6-2: kritische strook waterkering voor beoordeling bovengrondse effecten

Kritische strook van de dijk in beheer bij RWS

De kritische strook van de waterkering is gelijk gesteld aan de kern- en beschermingszone van de waterkering. Aan de waterzijde is alleen het deel boven de Laagwaterstand meegenomen. Aangenomen is dat het neerkomen van een onderdeel in het water niet leidt tot falen van de waterkering. Voor het neerkomen van een windturbine, of een onderdeel hiervan, in de kritische strook wordt aangenomen dat dit gevolgen kan hebben op de hoogte of stabiliteit. De buitenbeschermingszone (zie Figuur 6-1) is niet als onderdeel van de kritische strook beschouwd.

Kritische strook van de dijk in beheer bij hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier;

De ligging en breedte van de kritische strook voor de waterkering is afgeleid op basis van de leggerdwarsprofielen voor dijkvak 132. De waterkering is hier gelegen onder een hooggelegen maaiveld (circa NAP +8,0 m). De breedte van de waterkering (waterstaatswerk en beschermingszone) is hier 20 à 24 m.

6.6.2 Kritische strook kunstwerken

In een eerdere versie van dit rapport was de gehele constructie van het Gemaal en Spuisluis beschouwd als kritische zone. Dit leidde tot een te ongunstige aanname ten aanzien van de additionele faalkans. Om de kritische onderdelen van de kunstwerken vast te stellen heeft op 18 april 2017 een overleg met RWS en een locatiebezoek plaatsgevonden. Gezamenlijk is nagegaan voor welke onderdelen, bij neerkomen van een rotorblad, de waterveiligheid en het waterbeheer nadelig kunnen worden beïnvloed. Een verslag van het bezoek en de vaststelling van de kritische zone is beschreven in Bijlage 5 van dit rapport.

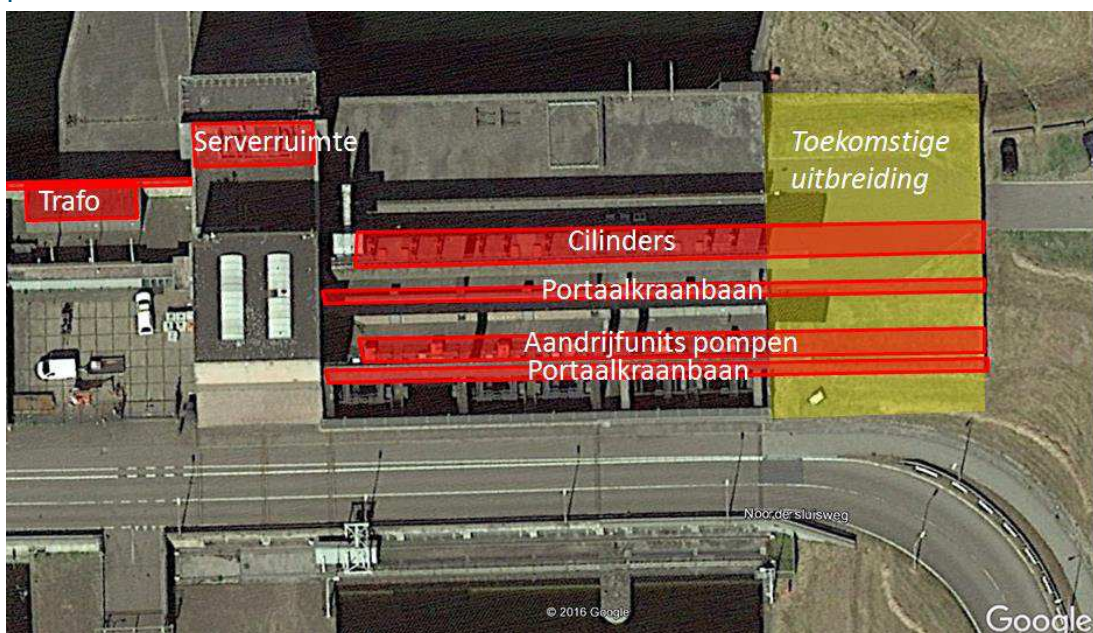
Kritische strook van het Gemaal (inclusief toekomstige uitbreiding)

De kritische onderdelen het Gemaal zijn per faalmechanisme aangegeven in tabel 6-3.

Tabel 6-3: kritische onderdelen Gemaal

Functie	Faalmechanisme		
	Kerende hoogte	Betrouwbaarheid afsluitmiddelen (niet sluiten/niet openen)	Constructief falen (niet functioneren gehele systeem)
Water keren	-	-	-
Water doorlaten (malen)	-	Stroomtoevoer, Transformatorstations, Cilinders, Serverruimte, Aandrijfunits	Stroomtoevoer, Transformatorstations, Cilinders, Serverruimte, Aandrijfunits Kraanbaan portalen

De ligging van de kritische onderdelen is aangegeven in onderstaande figuur. Op basis van de kritische onderdelen is bepaald dat slechts 25% van het oppervlak werkelijk kritisch is.



Figuur 6-3: kritische zone voor het gemaal

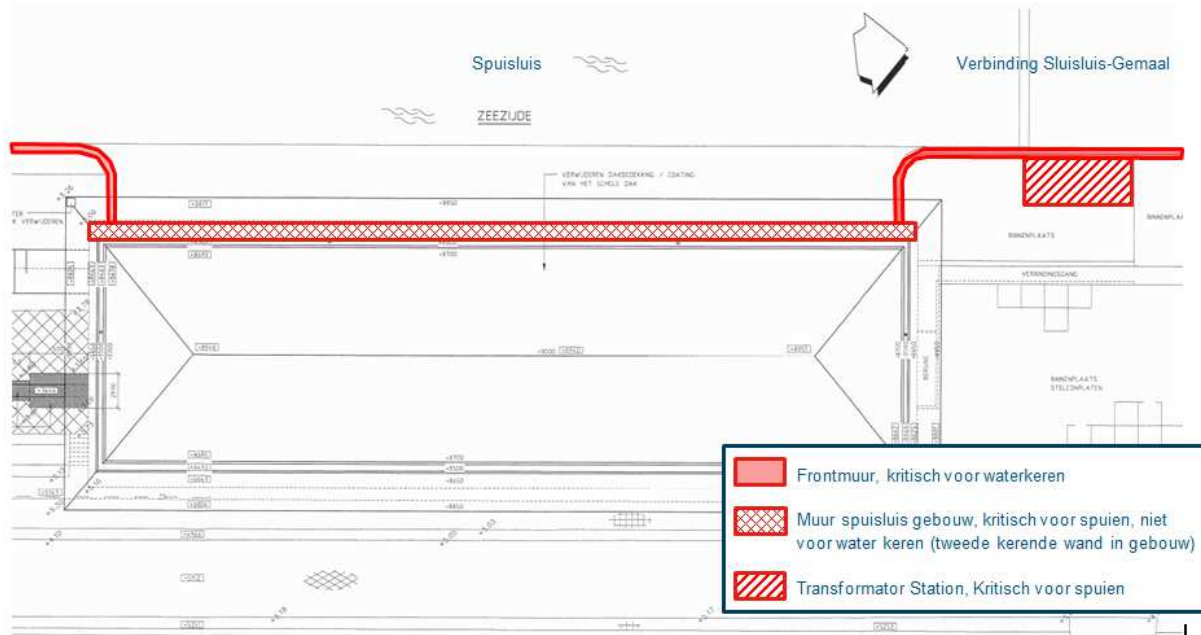
Kritische strook van de Spuisluis

De kritische onderdelen de Spuisluis beperken zich tot de ramen in de westelijke gevel, zie tabel 6-4. Op basis van de kritische onderdelen is bepaald dat slechts 10% van het oppervlak werkelijk kritisch is.

Tabel 6-4: kritische onderdelen Spuisluis

Functie	Kerende hoogte	Betrouwbaarheid afsluitmiddelen	Constructief falen
Water keren	-	-	-
Water doorlaten (spuien)	-	Ramen in westgevel	Ramen in westgevel

De ligging van de kritische onderdelen is aangegeven in onderstaande figuur.



Figuur 6-4: kritische zone voor de Spuisluis

Kritische strook van de Noordersluis

De constructies van de Noordersluis zijn meegenomen als kritische strook, aangezien bij bladworp van WTG2 en WTG3 de constructie nog net geraakt zou kunnen worden. Vanwege de grote afstand (en geringe trefkans) is de gehele constructie als kritische zone beschouwd.

6.7 Raakfrequenties

Berekend is de kans dat een falende windturbine of windturbineonderdeel neerkomt in de kritische strook en daarbij een dusdanige schade veroorzaakt, dat de waterkerende of waterbeherende functie niet meer kan worden gewaarborgd. Vermenigvuldiging van de faalfrequentie (paragraaf 6.3) met de trefkans resulteert in de raakfrequentie.

Trefkansberekeningen

Trefkansberekeningen zijn uitgevoerd conform HRW2014. De berekeningen zijn per incidenttype verschillend.

Voor het scenario *mastbreuk* wordt bepaald binnen welke hoek de mast moet vallen om het gebied te treffen. Deze hoek gedeeld door 360 graden geeft de kans aan dat een mast indien deze valt het gebied zal treffen. Daarbij wordt nog opgeteld dat als de mast net langs het gebied valt de rotor nog een behoorlijk stuk kan uitsteken en het gebied als nog kan treffen. Voor dit effect wordt gecorrigeerd door de additionele hoek te bepalen.

Een vergelijkbare aanpak geldt voor het scenario *gondelval*. Als de gondel op de grond valt dan wordt bepaald welk deel van het mogelijke gebied (hoek) overlap heeft met het te onderzoeken gebied.

Bij de trefkansberekeningen van de incidenten *bladafworp* wordt bij objecten doorgaans gekeken naar directe treffers (als het zwaartepunt binnen het grondoppervlak terecht komt) en naar indirecte treffers (als

het zwaartepunt net buiten het object terecht komt, maar het blad vanwege zijn lengte het object wel kan raken). De hoogte van een object wordt meegenomen in de zogenaamde schaduw werking van het object (omdat een object op hoogte door het gebouw vliegt maar op grondniveau mogelijk buiten het oppervlak terecht komt). Voor gebieden wordt alleen gekeken naar de kans dat het zwaartepunt het gebied treft.

Voor de waterkering worden deze (indirecte) treffers verwaarloosd. Dit is te verantwoorden omdat feitelijk alleen een treffer van de flensverbinding een voldoende impact kan hebben om schade aan de waterkering te veroorzaken. Voor de indirecte treffers geldt dat de flensverbinding ook het object raken. Echter, in grofweg de helft van de gevallen zal de flensverbinding in de richting van het object liggen, terwijl in de helft van de gevallen van een directe treffer de flens juist naast het object terecht komt. Deze twee situaties blijken elkaar ongeveer op te heffen.

Raakfrequenties

Op basis van de trefkansen en de faalfrequenties is per kritieke strook en per windturbine berekend wat de raakfrequentie is. De totale raakfrequenties zijn aangegeven in Tabel 6-3.

Tabel 6-5: raakfrequenties van de windturbines per kritieke strook

Kritische strook	WT1	WT2	WT3	WT4	WT5	WT6	Totaal
Waterkering RWS	$1,25 \cdot 10^{-4}$	$6,33 \cdot 10^{-4}$	$1,66 \cdot 10^{-7}$	0	0	0	$7,58 \cdot 10^{-4}$
Waterkering NHK	0	$2,14 \cdot 10^{-5}$	$1,16 \cdot 10^{-7}$	0	0	0	$2,15 \cdot 10^{-5}$
Gemaal	$2,82 \cdot 10^{-8 \ 1)}$	0	0	0	0	0	$2,82 \cdot 10^{-8}$
Spuisluis	$1,70 \cdot 10^{-9 \ 2)}$	0	0	0	0	0	$1,70 \cdot 10^{-9}$
Noordersluis	0	$1,68 \cdot 10^{-9}$	$8,97 \cdot 10^{-9}$	0	0	0	$1,07 \cdot 10^{-8}$

- 1) De raakfrequentie voor het gehele gemaal, inclusief toekomstige uitbreiding, is berekend op $1,13 \cdot 10^{-7}$. Op basis van de kritische onderdelen (par. 6.6) is bepaald dat slechts 25% van het oppervlak werkelijk kritisch is. De raakfrequentie bedraagt dan $2,82 \cdot 10^{-8}$.
- 2) De raakfrequentie voor de gehele spuisluis, inclusief toekomstige uitbreiding, is berekend op $1,70 \cdot 10^{-8}$. Op basis van de kritische onderdelen (par. 6.6) is bepaald dat slechts 10% van het oppervlak werkelijk kritisch is. De raakfrequentie bedraagt dan $1,70 \cdot 10^{-9}$.

In de onderstaande tabellen zijn deze getallen onderverdeeld naar de verschillende incidenten die voor windturbines worden onderzocht (mastbreuk, gondelval, bladbreuk bij nominaal toerental en bladbreuk bij overtoeren).

Opgemerkt wordt dat hier ook dubbeltellingen inzitten. Een mastbreuk van WTG1 zorgt namelijk in alle gevallen voor een treffer van de landtong, maar in enkele gevallen zal deze mastbreuk ook de kritieke strook van RWS raken.

Tabel 6-6: raakfrequenties van WTG1 per kritieke strook

WT1	mast	gondel	nominaal	overtoeren	Totaal WT1
RWS	$4,30 \cdot 10^{-5}$	0	$8,18 \cdot 10^{-5}$	$4,06 \cdot 10^{-7}$	$1,25 \cdot 10^{-4}$
NHK	0	0	0	0	0
Gemaal	0	0	0	$2,82 \cdot 10^{-8}$	$2,82 \cdot 10^{-8}$
Spuisluis	0	0	0	$1,70 \cdot 10^{-9}$	$1,70 \cdot 10^{-9}$
Noordersluis	0	0	0	0	0

Tabel 6-7: raakfrequenties van WTG2 per kritieke strook

WT2	mast	gondel	nominaal	overtieren	Totaal WT2
RWS	$1,30 \cdot 10^{-4}$	$4,00 \cdot 10^{-5}$	$4,61 \cdot 10^{-4}$	$1,37 \cdot 10^{-6}$	$6,33 \cdot 10^{-4}$
NHK	$2,13 \cdot 10^{-5}$	0	0	$4,61 \cdot 10^{-8}$	$2,14 \cdot 10^{-5}$
Gemaal	0	0	0	0	0
Spuisluis	0	0	0	0	0
Noordersluis	0	0	0	$1,68 \cdot 10^{-9}$	$1,68 \cdot 10^{-9}$

Tabel 6-8: raakfrequenties van WTG3 per kritieke strook

WT3	mast	gondel	nominaal	overtieren	Totaal WT3
RWS	0	0	0	$1,66 \cdot 10^{-7}$	$1,66 \cdot 10^{-7}$
NHK	0	0	0	$1,16 \cdot 10^{-7}$	$1,16 \cdot 10^{-7}$
Gemaal	0	0	0	0	0
Spuisluis	0	0	0	0	0
Noordersluis	0	0	0	$8,97 \cdot 10^{-9}$	$8,97 \cdot 10^{-9}$

6.8 Restprofiel waterkering en responstijd

Indien de windturbine of een windturbineonderdeel neerkomt buiten de kritische strook, dan zal de dijk en intact blijven met voldoende strekte, stabiliteit en hoogte om tijdens herstel de maatgevende buitenwaterstand te kunnen keren. Er geldt dan geen beperking ten aanzien van de responstijd voor herstel van schade.

Bij neerkomen binnen de kritische strook voor dijken zal schade aan de waterkering optreden door kratervorming. In Bijlage 5 zijn berekeningen gemaakt om de kraterdiepte te bepalen. Uit deze berekeningen volgt dat bij neerkomen van een complete gondel met rotor een kraterdiepte van circa **3,8 m** wordt verwacht. Bij neerkomen van een rotorblad wordt een indringing van **1,4 m** verwacht.

Schade aan de waterkering kan leiden tot verlaging van de kruinhoogte, erosie of afschuiven van de waterkering. Voor het neerkomen van de windturbine of windturbineonderdeel binnen de kritische strook, geldt dat nog wel sprake is van een restprofiel, dat nog een bepaalde waterstand kan keren. Er is in dat geval een responstijd tot repareren. Het repareren betreft een noodsituatie, waarbij een noodoplossing wordt aangebracht om het water te keren. Er wordt vanuit gegaan het aanbrengen van een noodoplossing maximaal 7 dagen duurt. In deze periode is er een gereduceerd waterkerend vermogen.

Het restprofiel van de dijk is hieronder per faalmechanisme nader bepaald.

OmvalLEN windturbine

Bij omvallen van de gehele windturbine kan de waterkeringszone worden geraakt door windturbines WTG1 en WTG2.

Bij WTG1 kan de waterkering alleen worden geraakt door het uiteinde van een rotorblad. De schade aan de kernzone zal hierbij beperkt zijn. In vergelijking met afschuifvlakken zal de schade gering zijn en geen probleem geven voor de stabiliteit. Wel kan schade aan de buitenzijde in combinatie met golfaanval leiden tot erosie van de waterkering. Op basis van de hoogte van de landtong op NAP +5,0 m en de ontwerphoogte van NAP +7,5 m, wordt conservatief aangenomen dat een waterstand van NAP +2,7 m (5,2m -2,5 m) nog veilig kan worden gekeerd. Deze waterstand komt 1 keer per 2 jaar voor. De faalkans van de kering tijdens een herstelperiode van 5 dagen is dan:

$$P_{\text{(falen tijdens herstel; mastomval WTG1)}} = 1/2 \times (5/365) = 6,8 \cdot 10^{-3} \text{ (0,7\%)}$$

Bij WTG2 kunnen door mastbreuk de gondel en de rotor (met bladen) op de kruin neerkomen. De strook waarbinnen de gondel kan neerkomen is weergegeven in Figuur 6-2. De kruin zal in dit dijkvak met circa 3,8 m kunnen worden verlaagd van NAP +7,9 m naar NAP +4,1 m. Zoals ook uit de Figuur blijkt is aan de buitenzijde de kadeconstructie van Tata Steel aanwezig. Deze kadeconstructie is voldoende hoog, sterk en stabiel om de maatgevende waterstand van NAP +5,2 m te kunnen keren. De bijbehorende frequentie van voorkomen is 1/10.000 per jaar.

De faalkans van de kering tijdens de herstelperiode na omvallen van een turbine of val van de gondel is dan:

$$P_{\text{(falen tijdens herstel; mastomval WTG2)}} = 1/10.0000 \times (7/365) = 1,9 \cdot 10^{-6}$$



Figuur 6-5: dijkvak dat geraakt kan worden door de gondel bij omvallen van de mast

Val van gondel en/of rotor

De gondel en/of de rotor zal recht naar beneden storten en neerkomen naast de mast. Bij de inslag wordt een krater van maximaal 3,8 m diepte verwacht. Alleen bij WTG2 kan de gondel neerkomen in de kern- en beschermingszone. Op deze locatie vormt de kadeconstructie van Tata Steel een vervangende waterkering, die de maatgevende waterstand van NAP +5,2 m nog kan keren. In overstemming met 'omvallen van de mast' is de faalkans van de waterkering tijdens de herstelperiode:

$$P_{\text{(falen tijdens herstel; val gondel)}} = 1/10.0000 \times (7/365) = 1,92 \cdot 10^{-6}$$

Val van rotorblad

Bij het neerkomen van een rotorblad op de kruin zal deze met 1,4 m kunnen worden verlaagd van NAP +7,5 m naar NAP +6,1 m. Het ontstane restprofiel van de dijk zal een maatgevende buitenwaterstand van NAP +3,8 m (+5,2 – 1,4) nog steeds kunnen keren. De bijbehorende overschrijdingsfrequentie is 1 keer per 200 jaar (zie paragraaf 4.6).

De faalkans van de kering tijdens de herstelperiode na val een rotorblad op de waterkering is dan:

$$P_{(\text{falen tijdens herstel; val rotorblad})} = 1/200 \times (7/365) = 9,6 \cdot 10^{-5} \text{ (0,01\%)}$$

6.9 Resthoogte –en sterkte waterkerende kunstwerken

Het Gemaal en de Spuisluis kunnen alleen geraakt worden door een afgeworpen rotorblad van WTG1 voor situatie met overtoeren. De Noordersluis kan nog net worden geraakt door een bij overtoeren afgeworpen blad van WTG2 en WTG3. De overige faalscenario's zijn niet relevant.

Indien een rotorblad neerkomt buiten de kritische zone (paragraaf 6.6), dan zal deze intact blijven met voldoende sterkte, stabiliteit en hoogte om de waterveiligheid en het waterbeheer te waarborgen. Er geldt dan geen beperking ten aanzien van de responstijd voor herstel van schade.

Bij neerkomen binnen de kritische strook, dan zal schade aan de constructie optreden met mogelijk falen van een onderdeel of het gehele systeem als gevolg. In Bijlage 5 is nader onderzocht welke faalmechanismen kunnen optreden. Uit het onderzoek is gebleken dat falen van een onderdeel voor beide kunstwerken niet leidt tot afname van de *waterveiligheid*. Te allen tijde zullen de kunstwerken water kunnen blijven keren.

Ten aanzien van het *waterbeheer* kan falen van een onderdeel wel leiden tot het gedeeltelijk of volledig uitvallen van de functie.

Gezien de beperkte omvang van een rotorblad (flens) in verhouding tot de afmetingen van het kunstwerk, wordt ervan uitgegaan dat er voldoende ruimte beschikbaar blijft voor het komen tot een noodoplossing. Voor de duur van de herstelperiode (noodreparatie) wordt uitgegaan van 2 dagen (48 uur).

Niet sluiten van een onderdeel

Indien een onderdeel van het Gemaal of de Spuisluis geopend blijft kan het toelaatbaar instromend volume worden overschreden. Door herverdeling van de capaciteit (Gemaal en Spuisluis) kan dit naar verwachting tijdelijk worden opgevangen. Daarnaast geldt dat aan de andere regionale waterbeheerders kan worden gevraagd de afvoer te beperken of te stoppen. De kans op overschrijding van het kritieke peil in het Noorzeekanaal wordt klein geacht. Toch wordt een inschatting gemaakt van de kans op overschrijding van een kritiek kanaalpeil tijdens de herstelperiode van 48 uur.

Bij niet sluiten van een schuif/klep van de *Spuisluis* zal het Gemaal worden ingezet om het peil op het NZK/ARK te handhaven. Op basis van de maximale opvoerhoogte (2,35 m voor de oude pompen en 2,75 m voor de nieuwe pompen) van de pompen van het Gemaal wordt verwacht dat de maximale capaciteit wordt bereikt bij een waterstand van circa NAP +2,0 m (respectievelijk NAP +1,9 m en NAP +2,3 m voor de oude en nieuwe pompen). Bij hogere waterstanden kan het kritisch peil worden overschreden. Deze waterstand komt voor met een frequentie van 5 keer per jaar. De kans op overschrijding is dan:

$$P_{(\text{overschrijding kritisch peil tijdens herstel; Spuisluis})} = 5 \times (2/365) = 0,0068 \text{ (0,68\%)}$$

Bij schade aan een onderdeel (cilinder, aandrijfunit) van het *Gemaal* kunnen één of meerdere pompen uitvallen, waardoor de maalcapaciteit niet meer volledig is. Onder dagelijkse omstandigheden vormt dit geen probleem, aangezien gebruik wordt gemaakt van slechts 2 pompen; er is dan voldoende restcapaciteit aanwezig. De kans bestaat echter dat het afwerpen van een rotorblad samenvalt met een storm, waarbij een volledige maalcapaciteit benodigd is. De frequentie waarmee dit nodig is bedraagt circa 2 keer per jaar.

Het afwerpen van een blad zal alleen optreden als de windturbine in bedrijf is en in overtoeren draait, bijvoorbeeld als gevolg van een systeemstoring. De maximale windsnelheid waarbij dit op kan treden is 25 m/s (windkracht 10). Bij windsnelheden boven de 25 m/s wordt de windturbine stilgezet om overbelasting te voorkomen. De storm waarbij deze windsnelheid optreedt, komt circa 2 keer per jaar voor in IJmuiden. De frequentie is gelijk aan de frequentie waarbij volledige capaciteit van het gemaal wordt gevraagd. Er wordt daarom conservatief vanuit gegaan dat beide gebeurtenissen gelijktijdig optreden. De kans op overschrijding van de maalcapaciteit is dan:

$$P(\text{overschrijding maalcapaciteit tijdens herstel;Gemaal}) = 1 = 100\%$$

Voor de Noordersluis is de trefkans zeer gering. Het trefgebied reikt tot de biedings- en onderhoudsruimte. In alle gevallen zal één van de deuren operationeel blijven. Ondanks de geringe trefkans is de kans op overschrijding tijdens de herstelperiode toch conservatief aangenomen op $P=1$ (100%).

Bezwijken onderdeel

De situatie bij bezwijken van een onderdeel van de Spuisluis of het Gemaal zal overeenkomen met 'niet sluiten' van een onderdeel. De kans op overschrijding van het kritisch peil is gelijk genomen aan 'niet sluiten', zoals hierboven omschreven.

Voor de Noordersluis kan de bedienings- en onderhoudsruimte worden geraakt van het buitenhoofd of het binnenhoofd. Mogelijk kan één van de roldeuren tijdelijk niet worden bediend. Er zal echter geen sprake zijn van constructief bezwijken. Conservatief is de kans op overschrijding tijdens de herstelperiode toch aangenomen op $P=1$ (100%). In werkelijkheid zal dit veel kleiner zijn.

6.10 Additionele faalkans door bovengrondse effecten windpark

De additionele faalfrequentie van de waterkering is per afzonderlijk faalscenario bepaald als product van de volgende faalfrequenties en faalkansen:

- de faalfrequentie van het betreffende scenario (zie par. 6.3);
- de kans dat (een deel van) de windturbine op de kritische strook terecht komt (zie par. 6.7);
- de kans dat de beschadigde waterkering faalt tijdens de herstelperiode (zie par. 6.8).
- de kans dat het waterbeheer onvoldoende is tijdens herstel van het kunstwerk (Gemaal en Spuisluis)

De faalfrequentie van het scenario maal de trefkans is bepaald als de raakfrequentie, zie paragraaf 6.7. Uit de raakfrequentie maal de kans op falen tijdens de herstelperiode volgt dan de faalfrequentie voor de windturbine.

Er geldt dan:

$$\text{Faalfrequentie van waterkering bij falen van een turbine of onderdeel} = \\ \text{Raakfrequentie}_{(\text{scenario})} \times P_{(\text{falen tijdens herstel;scenario})}$$

Door de faalfrequentie van alle windturbines bij elkaar op te tellen, wordt per faalscenario de totale faalfrequentie bepaald. Vervolgens is per scenario de additionele faalkans bepaald ten opzichte van de autonome normfrequentie. De resultaten voor de waterkering, het Gemaal en de Spuisluis zijn samengevat in de tabellen 6-7 en 6-8.

Tabel 6-9: toename faalfrequentie **waterkering** bij falen windturbine conform HRW2014

Faalscenario	Raakfrequentie per turbine [1/j]			Totale raakfrequentie [1/j]	P(falen tijdens reparatie) [-]			Faalfrequentie windpark [1/j]	% van autonome faalkans ¹⁾ [%]
	WT1	WT2	WT3		WT1	WT2	WT3		
Omvalen mast	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	0	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$6,8 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	-	$2,9 \cdot 10^{-7}$	0,3%
Gondel/rotorval	0	$4,0 \cdot 10^{-5}$	0	$4,0 \cdot 10^{-5}$	-	$1,9 \cdot 10^{-6}$	-	$7,6 \cdot 10^{-11}$	0,0001%
Bladbreuk-nominaal	$8,2 \cdot 10^{-5}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$	0	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$9,6 \cdot 10^{-5}$	$9,6 \cdot 10^{-5}$	-	$5,2 \cdot 10^{-8}$	0,05%
Bladbreuk-overtoren	$4,7 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$9,6 \cdot 10^{-5}$	$9,6 \cdot 10^{-5}$	$9,6 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-10}$	0,0002%

1) De autonome faalkans van de waterkering is $1 \cdot 10^{-4}$ per jaar

Tabel 6-10: toename faalfrequentie **kunstwerken** bij bladafworp door overtoeren

Kunstwerk	Raakfrequentie per turbine [1/j]			Totale raakfrequentie [1/j]	Beoordelings-spoor	P(falen tijdens reparatie) [-]	Faalfrequentie windpark [1/j]	Autonome faalkans [1/j]	% van autonome faalkans [%]
	WT1	WT2	WT3						
Gemaal	$2,8 \cdot 10^{-8}$	0	0	$2,8 \cdot 10^{-8}$	Hoogte	0	0	$1 \cdot 10^{-4}$	0%
					Niet sluiten	1	$2,8 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-5}$	0,3%
					Bezwijken	1	$2,8 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-6}$	2,8%
Spuisluis	$1,7 \cdot 10^{-9}$	0	0	$1,7 \cdot 10^{-9}$	Hoogte	0	0	$1 \cdot 10^{-4}$	0%
					Niet sluiten	0,07	$1,2 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-5}$	0,001%
					Bezwijken	0,07	$7,1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-6}$	0,01%
Noordersluis	$1,1 \cdot 10^{-9}$	$9,0 \cdot 10^{-9}$	0	$1,1 \cdot 10^{-8}$	Hoogte	1	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-4}$	0,01%
					Niet sluiten	1	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-5}$	0,1%
					Bezwijken	1	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-6}$	1%

6.11 Conclusie effect falen windturbine op waterkering en kunstwerken

Effecten op de waterkering

De aanwezigheid van de windturbines WTG1, WTG2 en WTG3 leidt tot circa 0,3% toename van de autonome faalkans van de waterkering. Maatgevend is het scenario van mastomval voor locaties WTG1 en WTG2, waarbij schade aan de buitenzijde van de waterkering kan optreden. Voor de overige faalscenario's van de windturbine is de faalkanstoename verwaarloosbaar. De toename van de faalkans is voor alle scenario's minder dan het aangehouden criterium van 1%.

Effecten op de kunstwerken

Voor de kunstwerken (Gemaal, Spuisluis en Noordersluis) is alleen het faalscenario 'bladbreuk bij overtoeren' relevant. Bij de overige faalscenario's kunnen de kunstwerken niet worden geraakt.

Voor de kunstwerken kan het volgende worden geconcludeerd:

- De aanwezigheid van de windturbines hebben een verwaarloosbaar effect (0-0,01% faalkanstoename) op de functie waterkeren (hoogte).
- Ten aanzien van de functie 'waterbeheer' geldt dat de effecten op de Spuisluis en de Noordersluis zeer gering zijn; de faalkanstoename is minder dan 1%.

- Voor het Gemaal is bepaald dat de additionele faalkans 2,8% bedraagt. Hierbij is er conservatief van uitgegaan dat het raken van een rotorblad samenvalt met een situatie, waarbij volledige capaciteit van het gemaal benodigd is.

Opgemerkt wordt dat de berekeningen zijn gebaseerd op de conservatieve faalkans voor 'bladbreek bij overtoeren' conform [HRW2014]. De waarde voor de faalkans uit dit handboek is representatief voor oudere windturbintypes. De incidenten waarop de faalkansen zijn gebaseerd gaan over de periode 2000 tot 2010. Dit betreft windturbines die op dat moment stonden. Het grootste aandeel in deze casuïstiek betreft windturbines die gebouwd zijn in de periode voor 2000. Dit zijn oudere typen die per turbinejaar vaker falen (want minder geoptimaliseerd ontwerp), waardoor de faalkans sterk negatief wordt beïnvloed. Door verbeteringen van het veiligheidssysteem en verbeterde technologie en kwaliteitscontrole zijn de huidige generatie windturbines veel veiliger geworden. Ter indicatie heeft Nordex recent nieuwe faalkansen afgegeven, welke zijn bepaald volgens standaard ISO 13849-1. De recent afgeleide faalkansen zijn opgenomen in Bijlage 7 van dit rapport. De kans op falen van een rotorblad door overtoeren bedraagt $2,2 \cdot 10^{-7}$ per jaar, dit is een factor 20 lager dan de faalkans $5,0 \cdot 10^{-6}$ per jaar volgens het HRW2014. Op basis van deze meer recente faalkansen is de faalkanstoename ruim lager dan de acceptabele 1%.

Referenties

[AHN]

Algemeen Hoogtebestand Nederland, www.ahn.nl

[BT Geoconsult BV 2016]

BT Geoconsult BV, *VO Funderingsadvies Windpark Spuisluis te IJmuiden*. Documentnummer 2015-1438/8 versie 1. Den Haag: 12 september 2016.

[Deltares 2015]

Deltares, Rapportage Windpark IJmond, inventarisatie en globale beoordeling risico verweking en zettingsvloeiing. Kenmerk 1209826-000-GEO-0004-gbh.

[Deltares 2016]

Deltares, Rapportage *Windpark IJmond, fase 2, onderzoek zettingsvloeiingen*. Kenmerk 1209826-001-GEO-0003-gbh. Februari 2016.

[Geodelft 2000]

Geodelft, Milieutechnisch bodemonderzoek Uitbreiding Gemaal sluizencomplex IJmuiden. Nummer CO-393730/10, augustus 2000.

[NEN-EN 1990:2002]

NEN-EN 1990:2002 "*Eurocode 0: Grondslagen van het constructief ontwerp*", december 2002, inclusief de Nationale Bijlage NEN-EN 1990:2002/NB:2007, november 2007.

[NEN 9997-1+C1:2016]

NEN 9997-1+C1:2016 "*Eurocode 7 Geotechnisch ontwerp van constructies – Deel 1: Algemene regels*", Nederlands Normalisatie Instituut, juni 2016.

[Nordex 2014]

Nordex Energy GmbH, Rapport "*Sales document: Wind Turbine Class K08 Delta; Type: N100/3300, N117/3000 and N131/3000 - Transport, Access roads and Crane Requirements*". Kenmerk K0801_041843_EN Revision 01 d.d. 31 januari 2014.

[RIVM2015]

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Handleiding Risicoberekeningen Bevi. Versie 3.3, 1 juli 2015.

[RHDHV2016]

Royal HaskoningDHV, QRA Windpark Spuisluis, Kwantitatieve risicoanalyse. Referentie: I&BBE4373R001F02, Versie: 02/Finale versie. Amersfoort, 12 mei 2016.

[RWS 2009]

Rijkswaterstaat, Legger IJmuiden, Nadere omschrijving van de verschillende invloedszones voor de waterkering IJmuiden t.b.v. de legger, 1 juni 2009.

[RWS 2103a]

Rijkswaterstaat, Kenmerkende waarden Getijgebied 2011.0, Definitief. Ongeclassificeerd, 22 juli 2013

[RWS 2014]

Rijkswaterstaat, Concept nota Waterkering Zeetoegang IJmond. 27 januari 2014.

[RWS 2015]

Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving, Vervangingsopgave Natte Kunstwerken, Meerwaarde van de Gevoeligheidstest Natte Kunstwerken voor Adaptief Deltamanagement, Case Gemaal- en Spuicomplex IJmuiden, 2015.

[RWS 2016]

Rijkswaterstaat, Rapportage *Referentiewaarden waterstanden, IJmuiden*. April 2016.

[TAW2003]

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), Leidraad Kunstwerken. Rapportnummer DWW-2003-059. Delft, mei 2003.

Historische dwarsprofielen

[Rijkswaterstaat 1967]

Rijkswaterstaat, Tekening Noordelijke over Spuikanaal, dwarsprofielen. Tekening 67.B.2.2.1.19. 5 mei 1967.

[VHB 1970]

Van Hattum & Blankenvoort NV, Tekening K.N.H. IJmuiden BUKA 3 Heiplan – Kadetoegang. Tekeningnummer W-455, 19 januari 1970.

[KNHS 1970]

K.N.H.S. te IJmuiden, Tekening BUKA3 Zandontgraving v. werken RWS en zandaanvulling Buka 3. Nummer 349656. 27 maart 1970.

[RWS 1971]

Rijkswaterstaat, Tekening 'Verhogen van glooiingen langs de buitenkanaaloevers te IJmuiden. Tekeningnummer 71.A5.1.1.58. Registratienummer NHKA-1971-38045, 15 februari 1971.

[RWS 1975]

Rijkswaterstaat, Tekening 'Dwarsprofiel over eiland tussen eerste Rijksbinnenhaven en Binnenspuikanaal te IJmuiden. Tekeningnummer 75.B.3.2.2.2.. Registratienummer NHKA-1975-38029, mei 1975.

[RWS 1995]

Rijkswaterstaat, Tekening Bodemverdediging Spuisluis IJmuiden, lengteprofielen Buitenspuikanaal. Tekening BSY-T-96.070, 11 november 1996.

[RWS1996]

Rijkswaterstaat, Tekening Bodemverdediging Spuisluis IJmuiden, dwarsprofielen Buitenspuikanaal. Tekening HHKA 1997-38687, 19 december 1997.

[RWS1997]

Rijkswaterstaat, Tekening Bodemverdediging Spuisluis IJmuiden, revisie dwarsprofielen Buitenspuikanaal. Tekening BSY-T-96.071, 11 november 1996.

[Grontmij 2004]

Grontmij, Tekening Uitbreiding Gemaal IJmuiden, Stroomgeleider zeezijde. Tekeningnummer 3900B-T-5-5311. Registratienummer MHKA-2004-39294. 6 december 2004.

[Grontmij 2005a]

Grontmij, Tekening Uitbreiding Gemaal IJmuiden, Bodem- en oeverbescherming Buitenspuikanaal (zeezijde) voor uitvoering. Tekeningnummer 3900B-T-5-6022. Registratienummer MHKA-2004-39298. 20 juli 2005.

[Grontmij 2005b]

Grontmij, Tekening Uitbreiding Gemaal IJmuiden, Bodem- en oeverbescherming Binnenspuikanaal (kanaalzijde). Tekeningnummer 3900B-T-5-6023. Registratienummer MHKA-2004-39299. 20 juli 2005.

[Grontmij 2005c]

Grontmij, Tekening Uitbreiding Gemaal IJmuiden, Bodem- en oeverbescherming dwarsprofielen. Tekeningnummer 3900B-T-5-6024. Registratienummer MHKA-2004-39300. 20 juli 2005.

Peilingen waterbodem

[DeKlerk 2015]

De Klerk, T1 Dieptecijferkaart 13-02-2015 M22. Project 13A23-AVO. Tekeningnummer 13A23-M22-T1. 17 februari 2015.

[RWS 2011]

Rijkswaterstaat Noord-Holland, Dieptekaart Buitenhaven Tatasteel IJmuiden, oktober 2011. Kaartnummer NHWSI-2011-52132, 29 juli 2011.

[RWS 2012]

Rijkswaterstaat Noord-Holland, Dieptekaart 1^e Rijksbinnenhaven, voorjaar 2012. Kaartnummer NHWSI-2012-52056, april 2012.

[RWS 2013]

Rijkswaterstaat, Dieptecijferkaart Buitenspuikanaal en Binnenspuikanaal, Opnameperiode 25-11-2013 (3 bladen). Kaartnummer NHWSI-2013-5126, 2 december 2013.

Historische grondonderzoeken

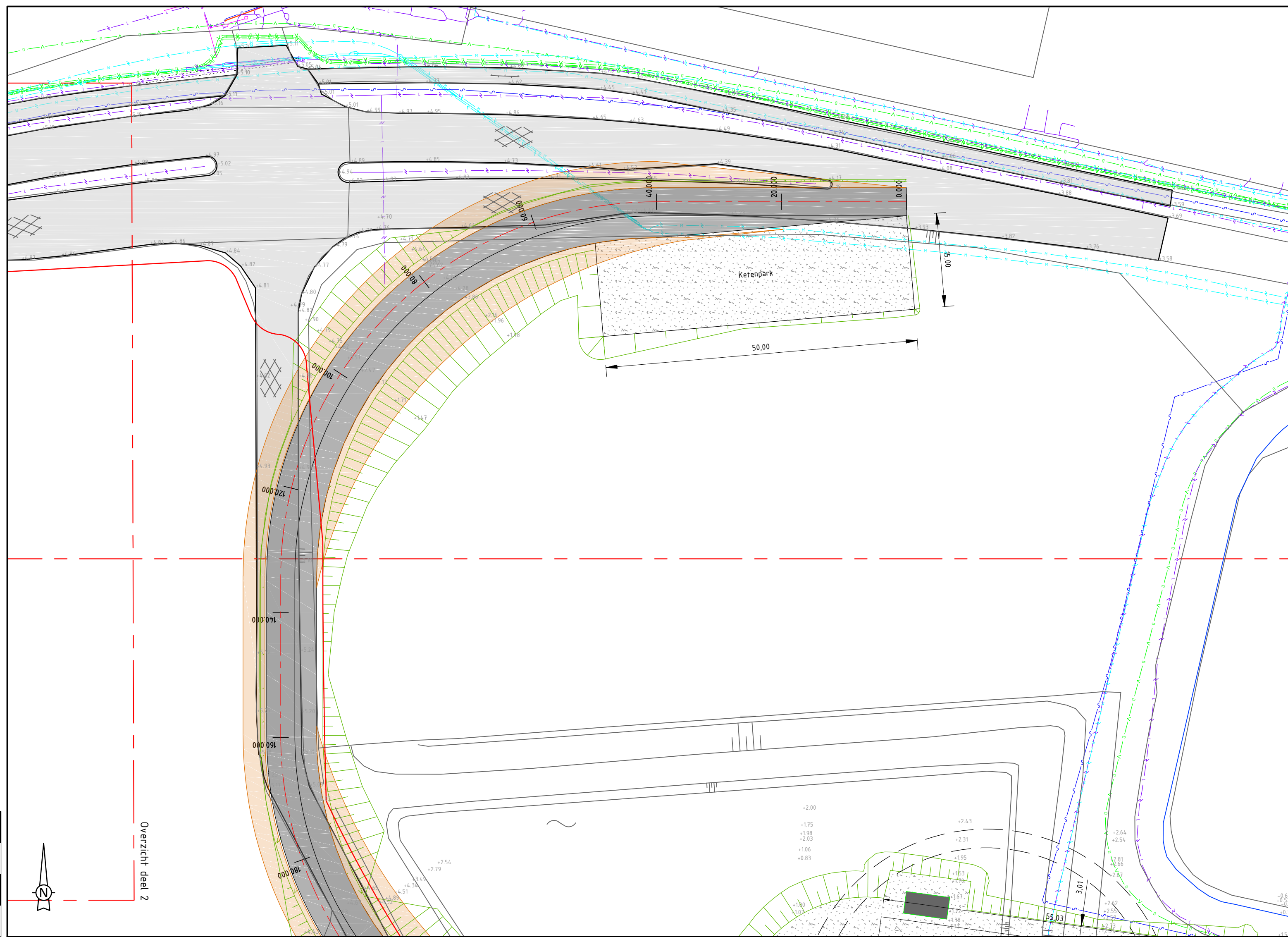
[Geodelft 2000]

Geodelft, Milieutechnisch bodemonderzoek Uitbreiding Gemaal Sluizencomplex IJmuiden. Rapportnummer CO-393730/105, augustus 2000.

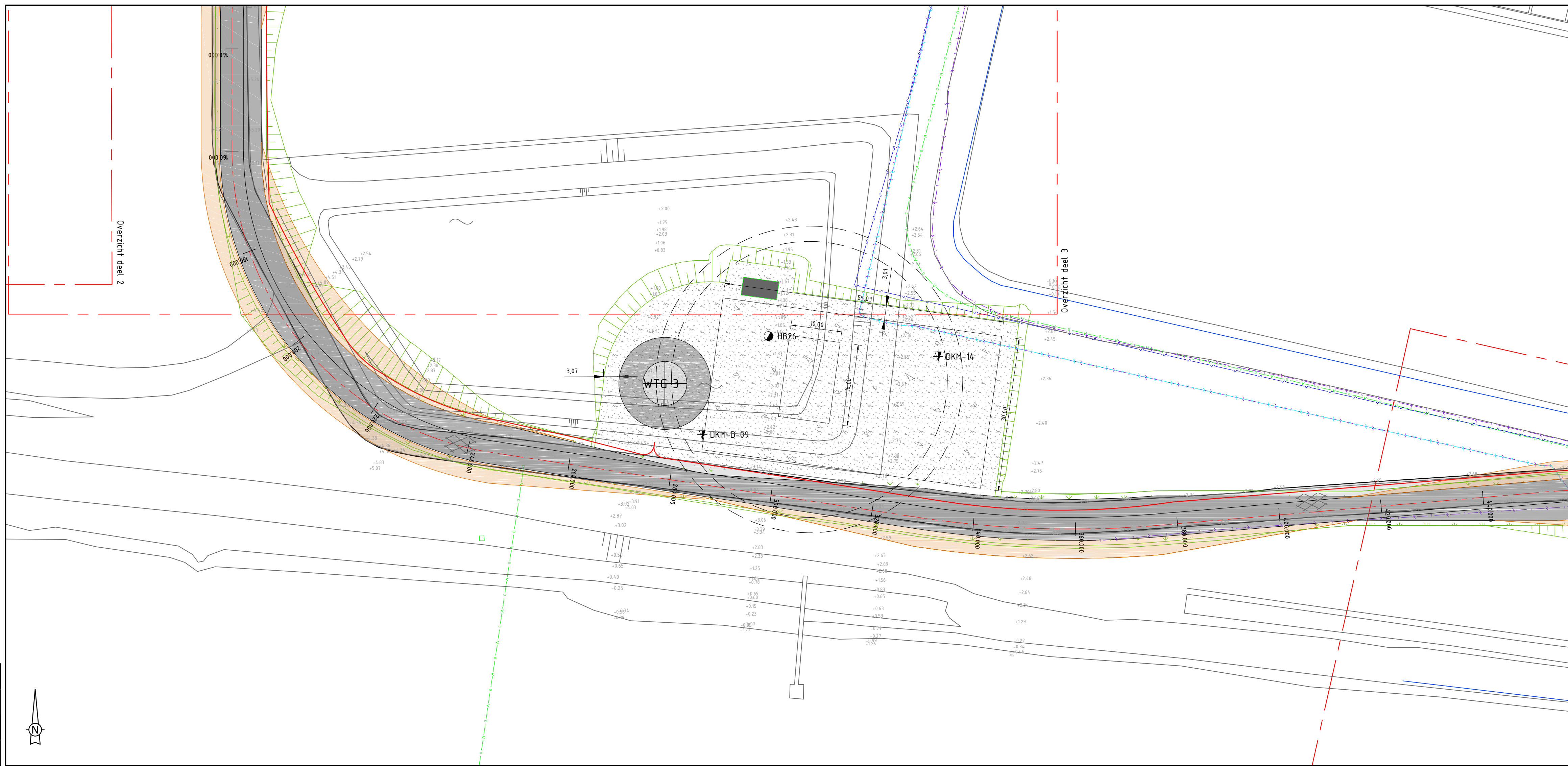
[RWS?]

Rijkswaterstaat, Blad III van onbekend document met boringen 9 t/m 15, inclusief overzichtstekening.

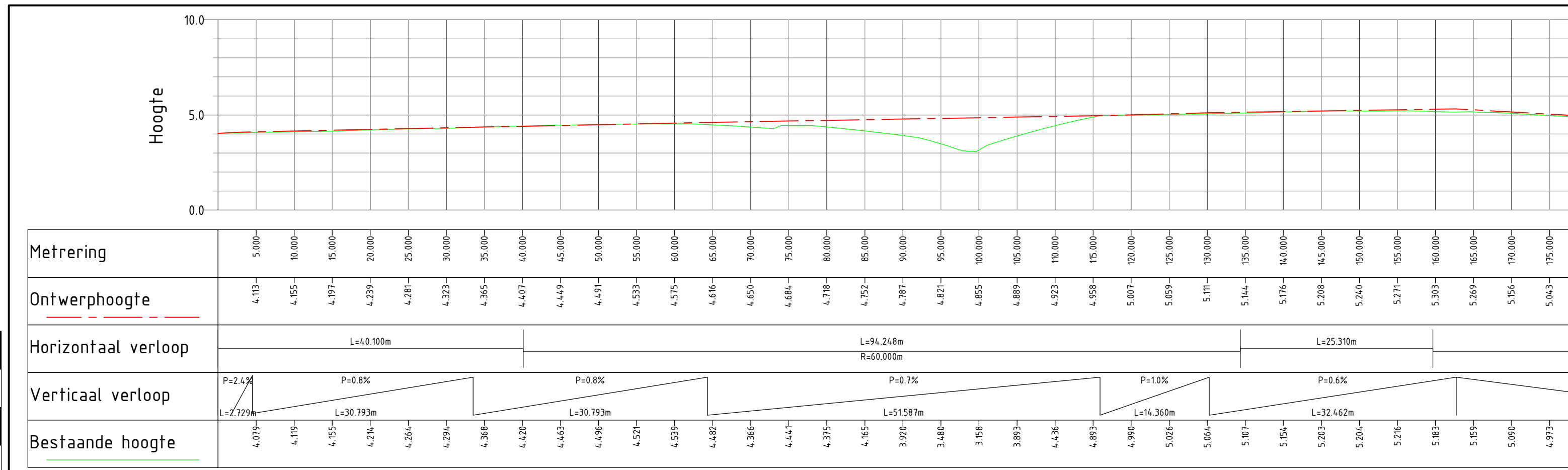
Bijlage 1 Situatietekeningen

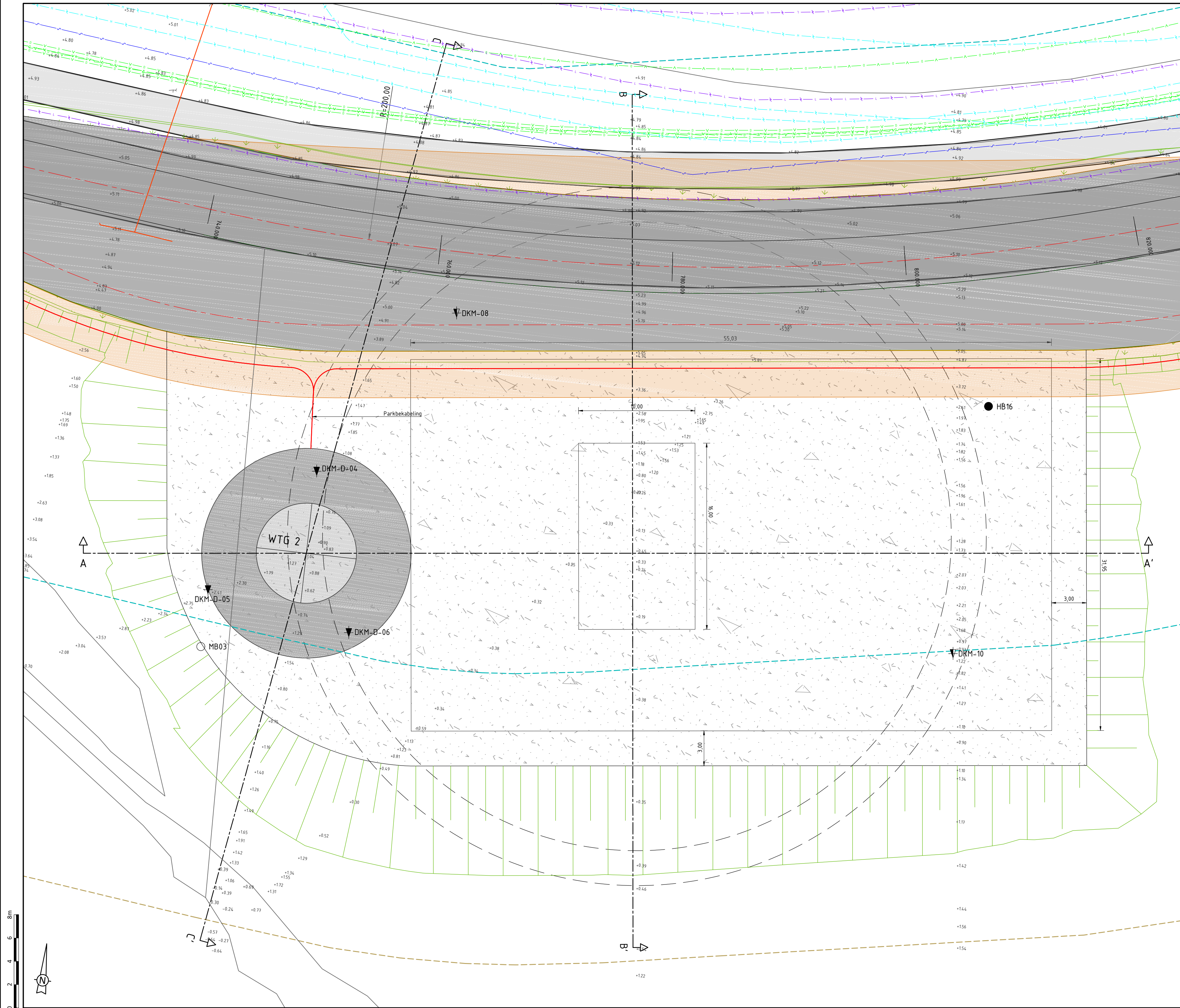


Overzicht deel 3 - schaal 1:500

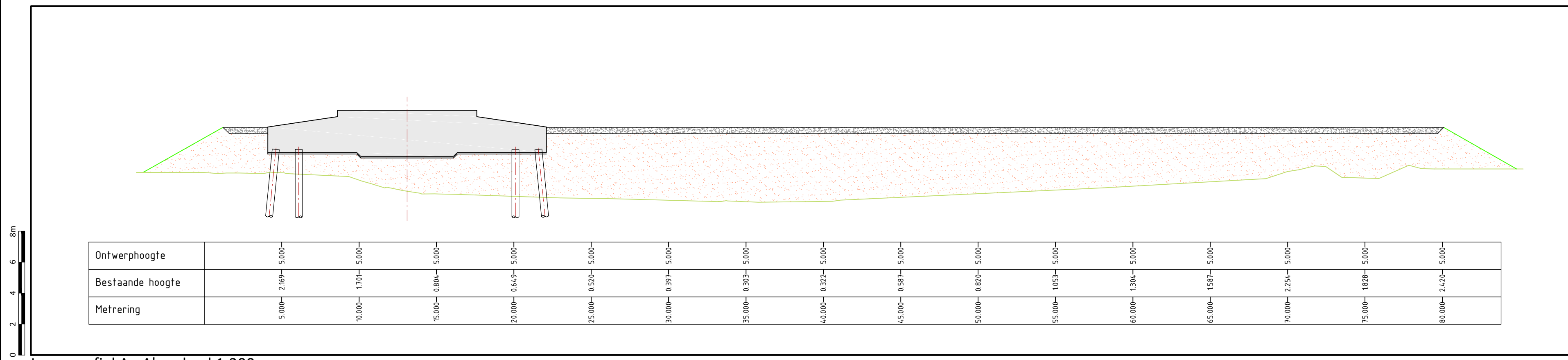


Overzicht deel 4 - schaal 1:500

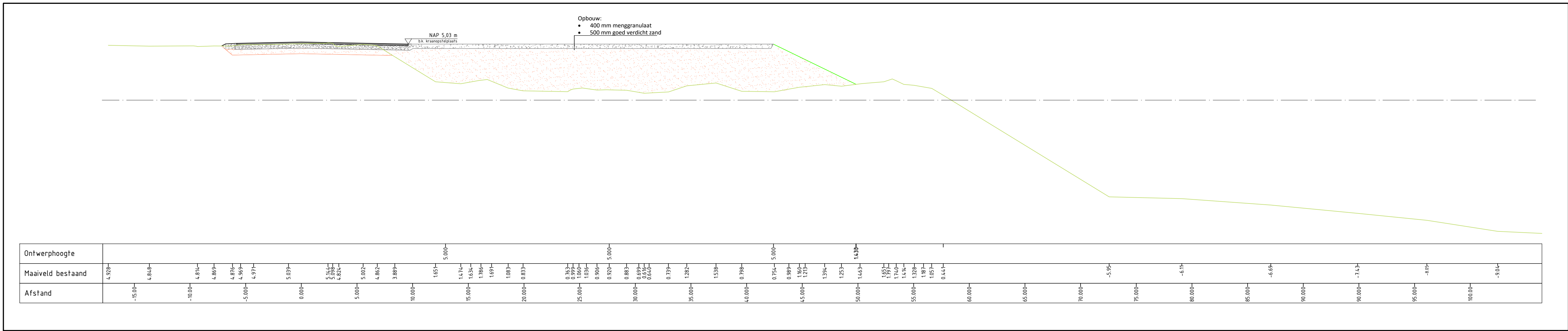




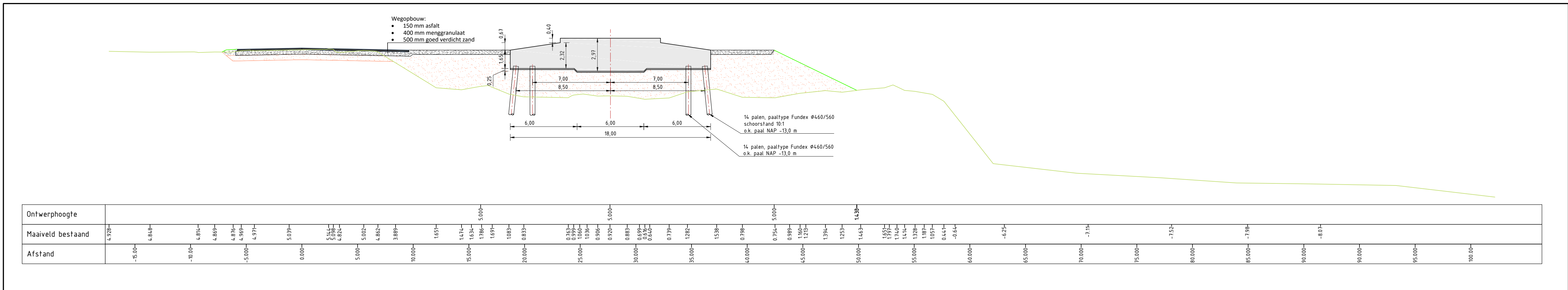
Overzicht - schaal 1:200



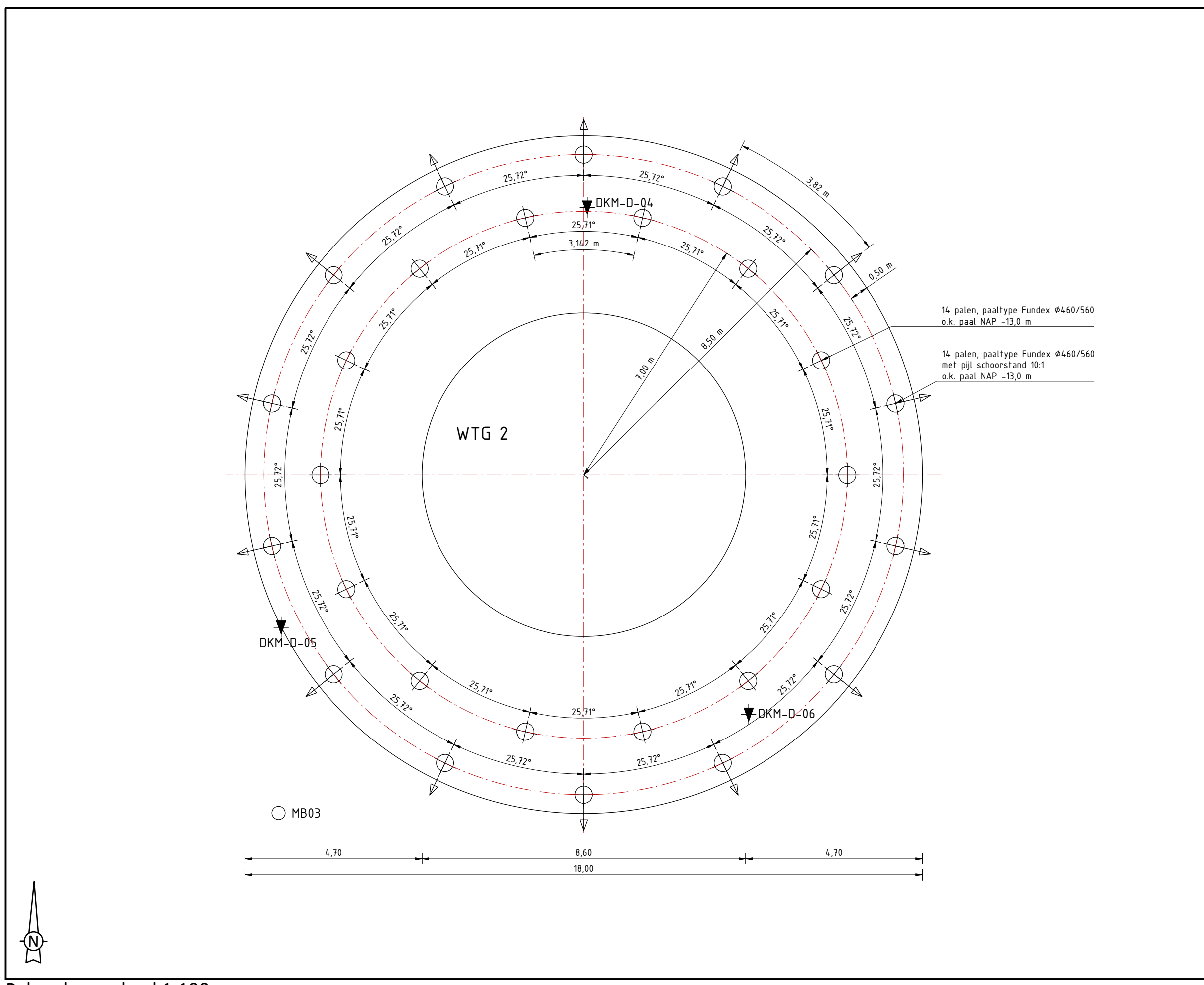
Langsprofil A - A' - schaal 1:200



Dwarsprofiel B - B' - schaal 1:200



Dwarsprofiel C - C' - schaal 1:200



Palenplan - schaal 1:100

Legenda

— Data

--- ET - HS

--- ET - LS

--- ET - MS

Bestaande weg arcering

Obstakel vrije ruimte

Parkbekabeling

Sondering ondiep

Handboring

Funderingspaal

Grens beschermingszone

Grens kernzone

Gas - HD

Overig

Water

Nieuwe weg arcering

Randverharding Berm

Mechanische boring

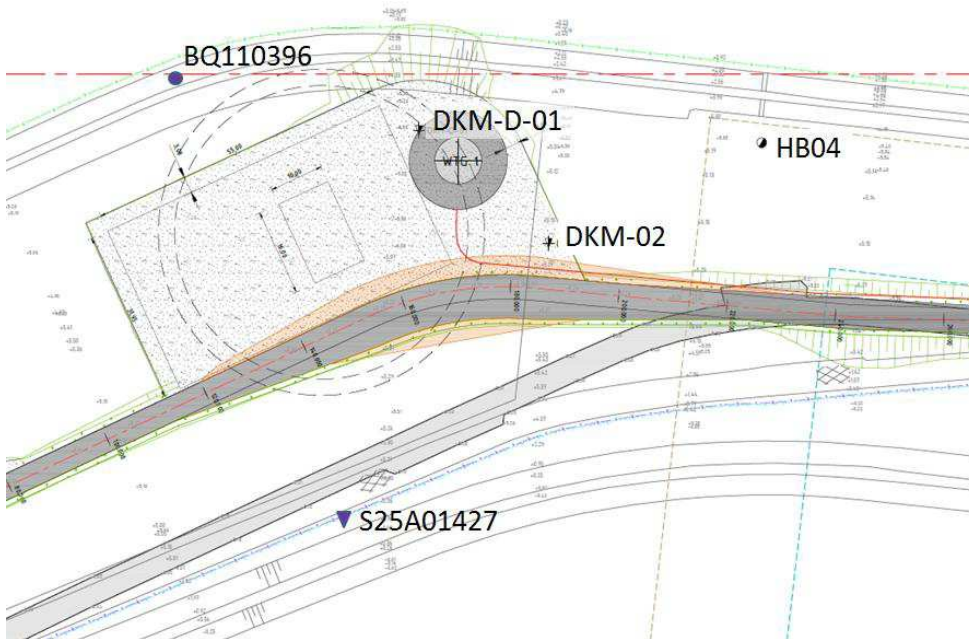
Sondering diep

Paal, paaltipe met schoorstand

1	12-09-2016	AS	AR	JF3	Eerste uitgave
Versie	Datum	Opsteller	Verificatie	Projectleider	Omschrijving
Projectomschrijving					Opdrachtgever
Eneco windpark Spuiusliu IJmuiden					
Tekeningomschrijving					
WTG 2 inclusief kraanopstelplaats					
Overzicht en doorsneden					
Fase	Status				
VO	Definitief				
Schaal	Formaat				
1:100 / 1:200	A1-594x1260				
Tekeningnummer	Bladnummer				
2015-1438-T010	Blad 1 van 1				

Bijlage 2 Grondonderzoek DinoLoket

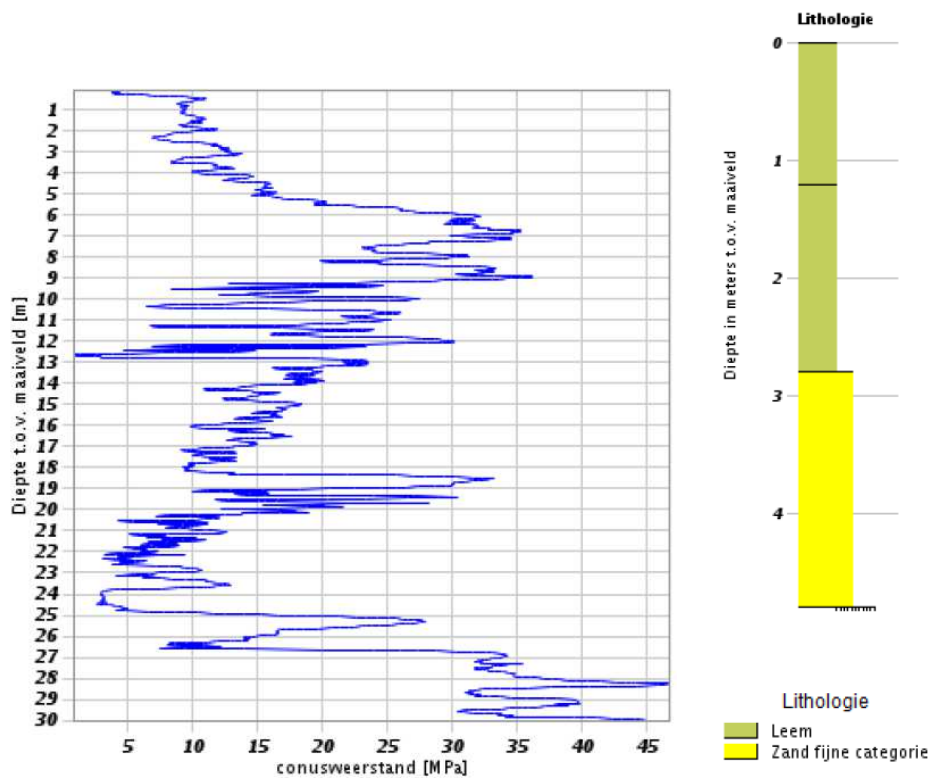
WTG1



Geotechnisch sondeeronderzoek

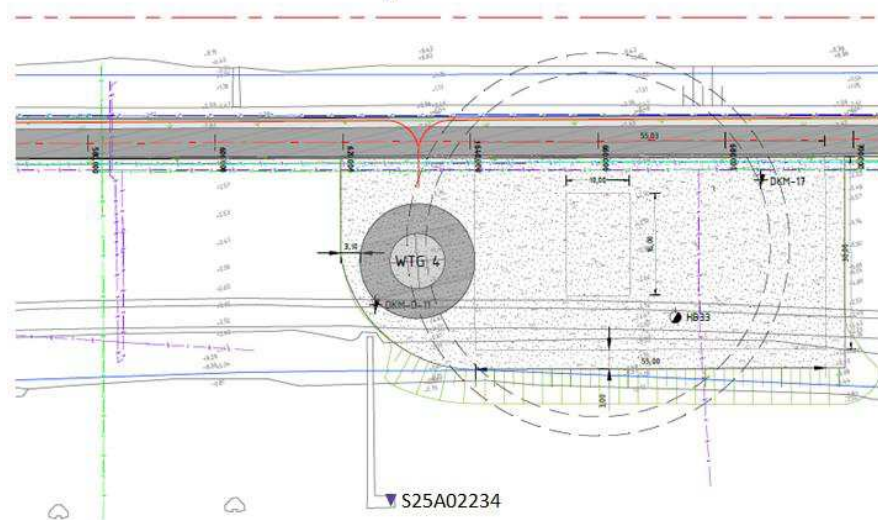
Identificatie: S25A01427
Coördinaten: 101432, 498502

Identificatie: BQ110396
Coördinaten: 101404, 498576
Hoogte maaiveld niet bekend.
Dieptetraject t.o.v. Maaiveld: 0,00 m - 4,80 m



WTG4

B25A3496



DIEPTE (m) t.o.v. NAP	MV (-0.42)	MONSTER	LAAG	DIEPTE NAP [m]		BESCHRIJVING
				VAN	TOT	
			1	-0.42	-0.62	zand, zwak siltig; bruin 'ZMF'
			2			
			3	-0.62	-1.02	zand, zwak siltig; bruin-, grijs 'ZMF'
			4	-1.02	-2.17	zand, zwak siltig; grijs-, zwart 'ZMF'
			4	-2.17	-2.82	niet benoemd; zwart 'NBE'

Geboord tot NAP -2.82 m

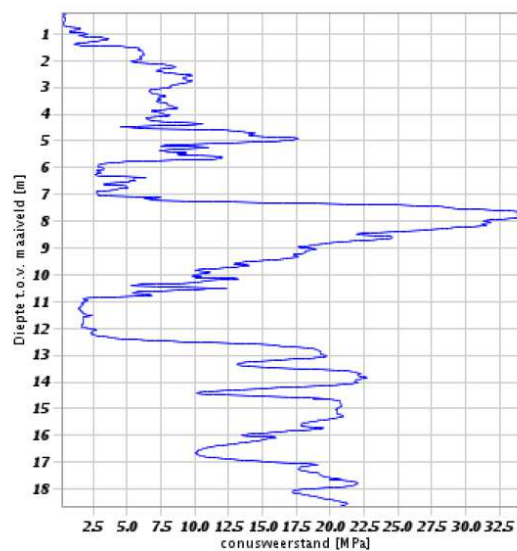
X = 102706 m Y = 498362 m (RD)

Einde Boring B25A3496

Geotechnisch sondeeronderzoek

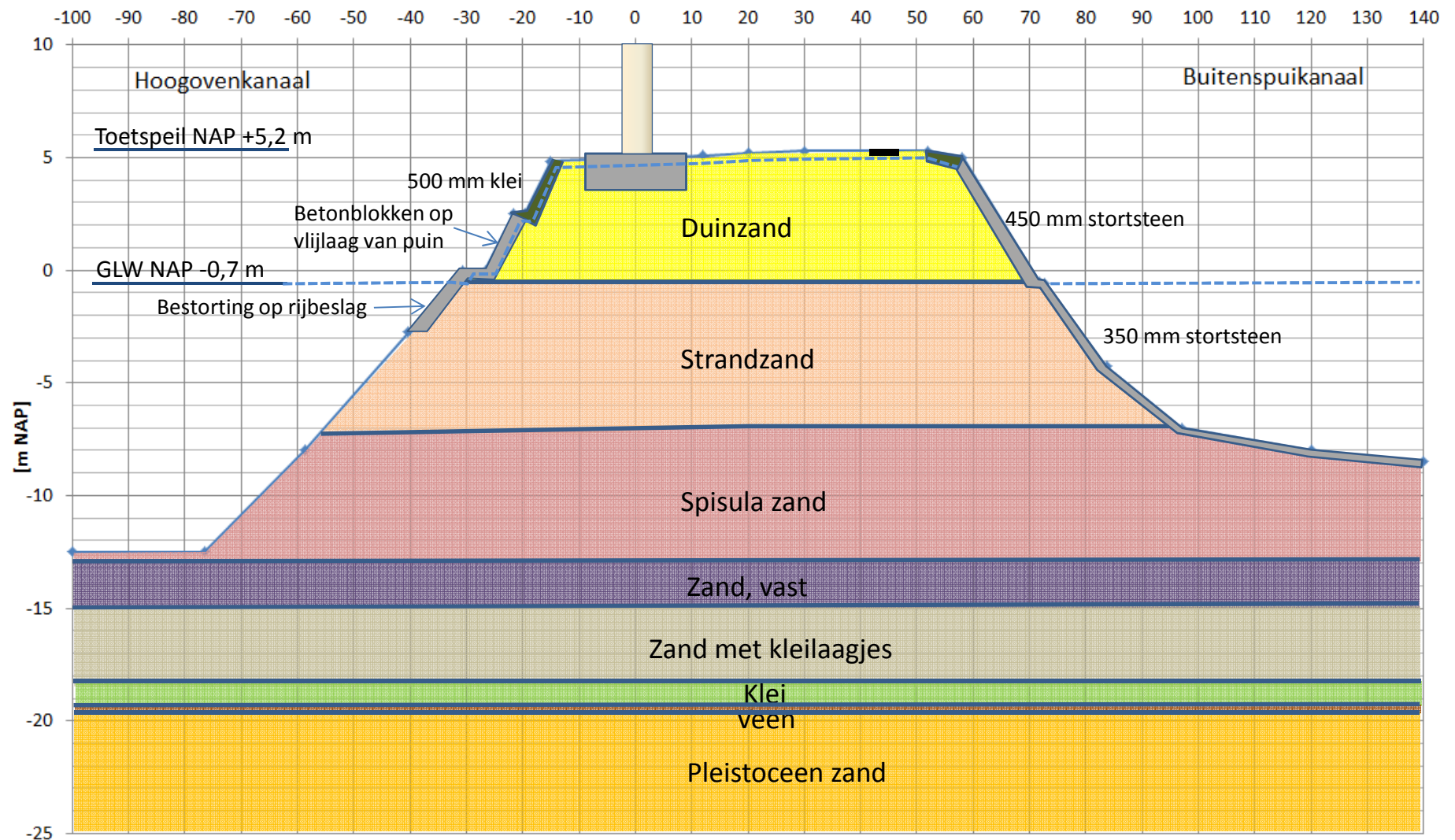
Identificatie: S25A02234

Coördinaten: 102686, 498270



Bijlage 3 Geotechnische grondmodellen

Doorsnede ter plaatse van WTG1



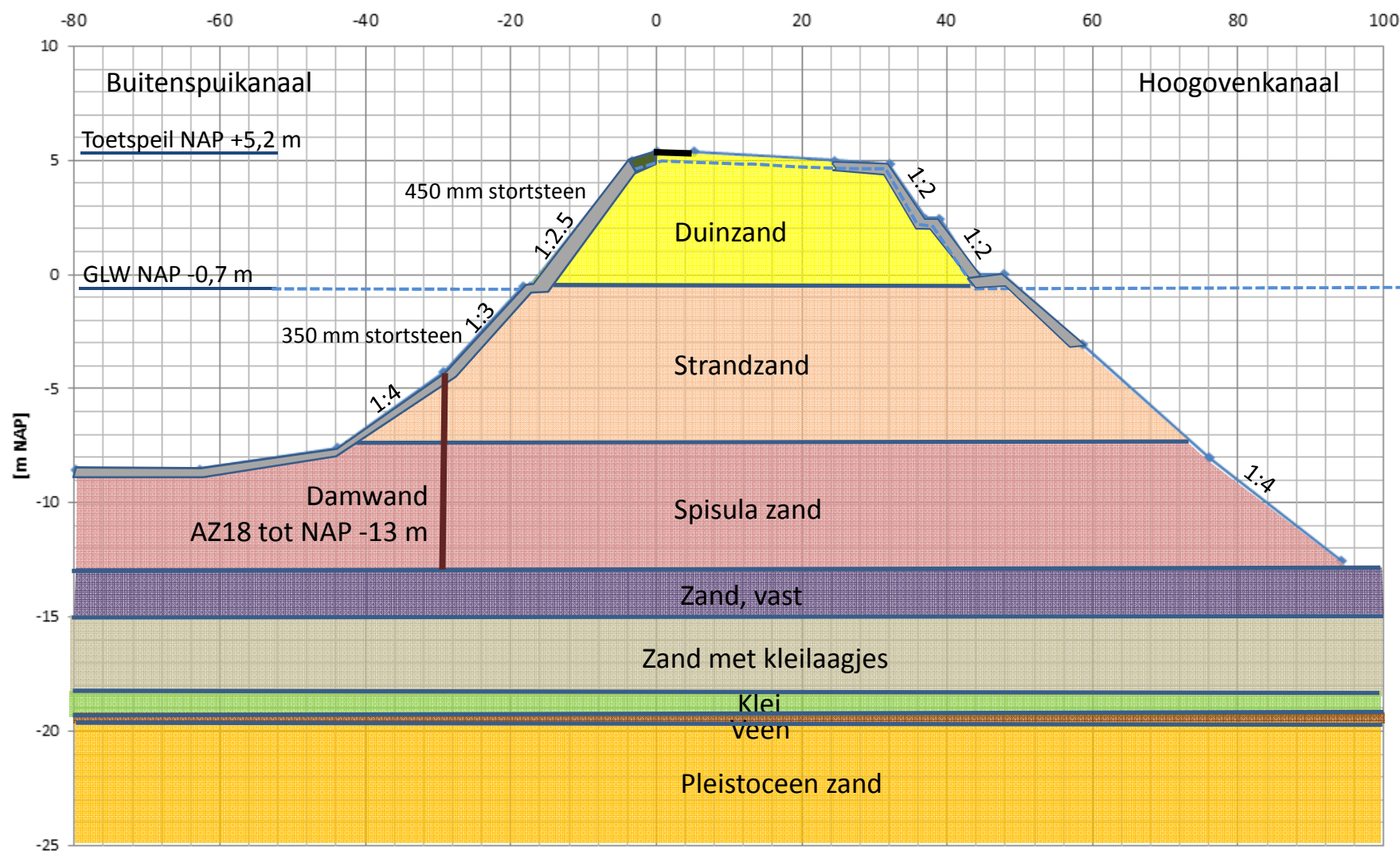
Grondonderzoek: DKM-D01 en DKM02 [BT Geoconsult 2016]

Bestorting Hoogovenkanaal: [Grontmij 2003](99330843 BW Oeverbescherming Bu- Bispkanaal dwarsprofielen.pdf)

Bestorting Buitenspuikanaal: [Grontmij 2004] (99337123 BW Oeverbescherming Buspan (voor uitvoering).pdf)

Grondwaterstand: val van toetspeil (max 0.3 m onder maaiveld) tot GLW.

Doorsnede bouwweg nabij WTG1 aan de zeezijde

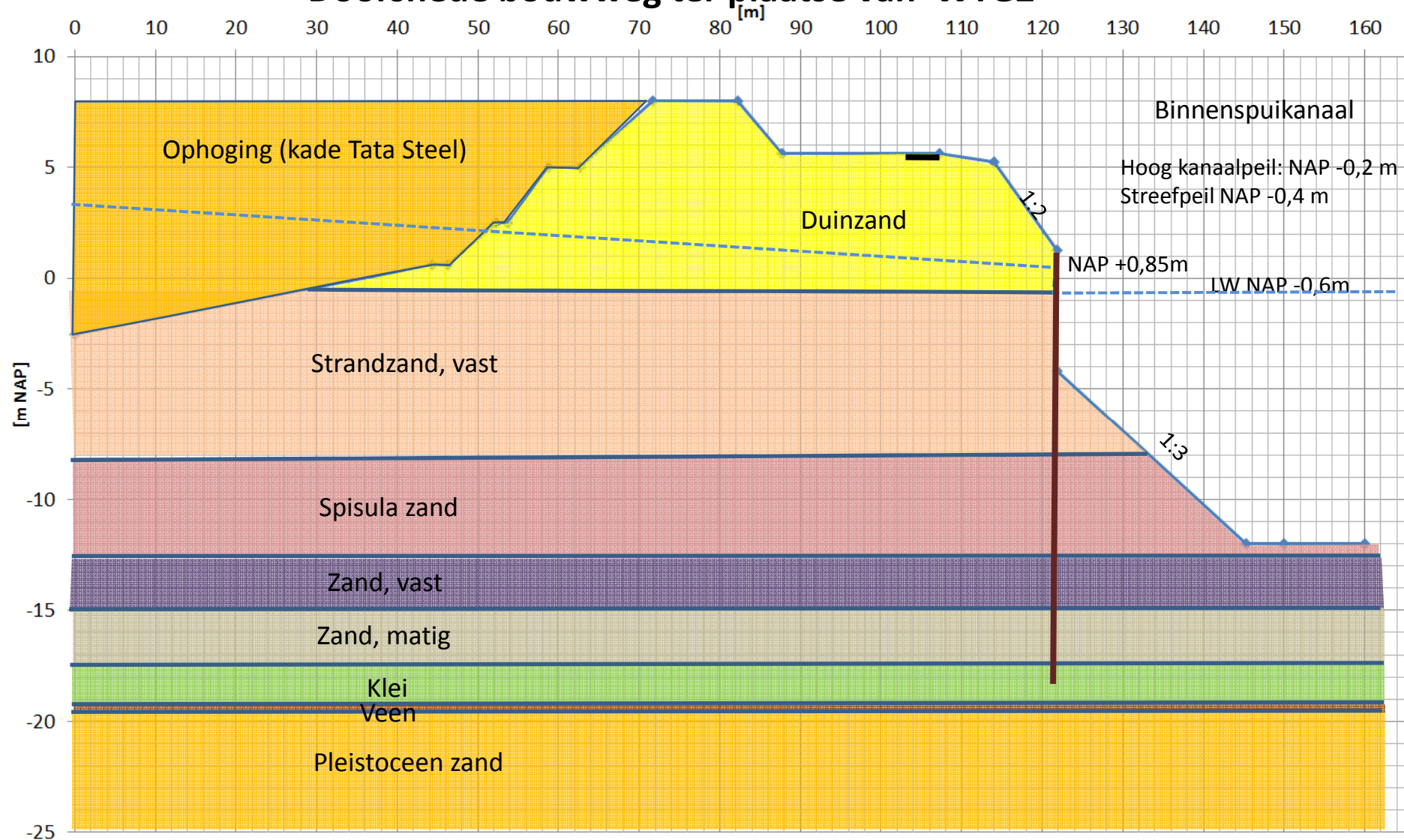


Grondonderzoek: DKM-D01 en DKM02 [BT Geoconsult 2016]

Dwarsprofiel: [Grontmij 2003](99330843 BW Oeverbescherming Bu- Bispkanaal dwarsprofielen.pdf)

Grondwaterstand: val van toetspeil (max 0.3 m onder maaiveld) tot GLW.

Doorsnede bouwweg ter plaatse van WTG2

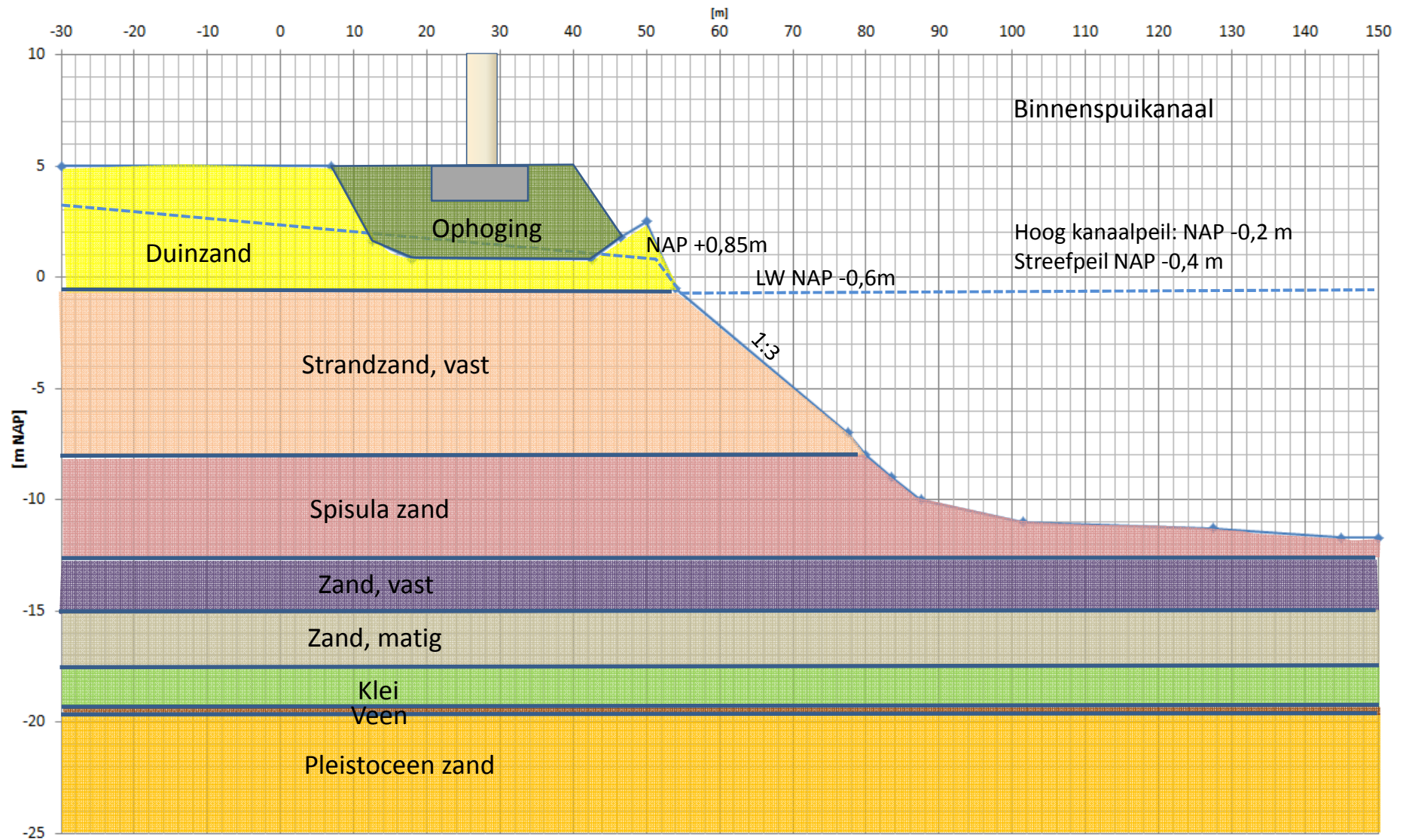


Grondonderzoek: DKM-D04 en DKM-D05 [BT Geoconsult 2016]

Dwarsprofiel: [KNHS 1970] (BUKA3 Zandontgraving en aanvulling 349656.tif) en [Grontmij 2004]

Grondwaterstand: Toetspeil op Hoogovenkanaal en laag kanaalpeil NAP -0,6 m. GWS op talud is NAP +0,85 m (0.25*h)

Doorsnede ter plaatse van WTG2



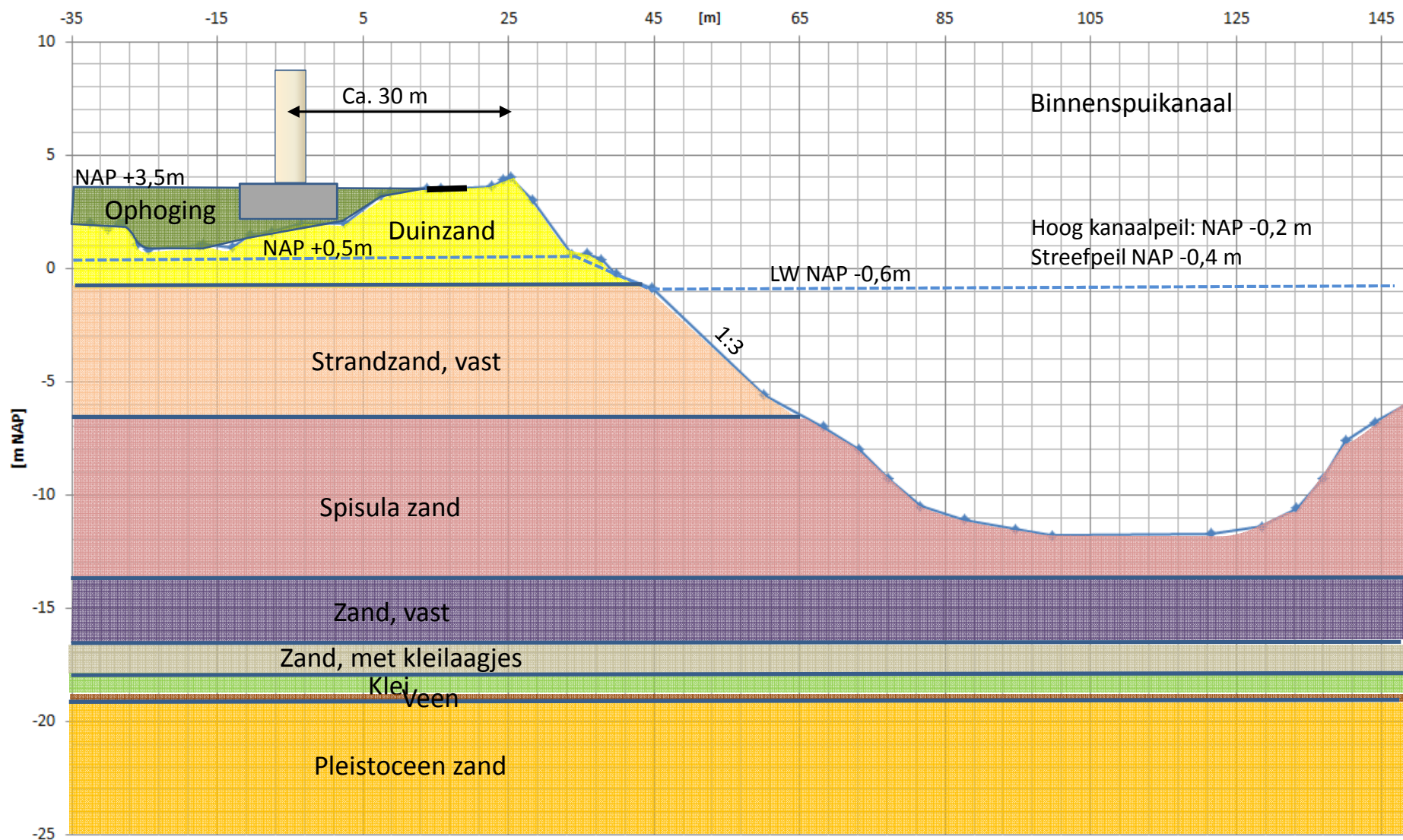
Grondonderzoek: DKM-D04 en DKM-D05 [BT Geoconsult 2016]

Dwarsprofiel: [KNHS 1970] (BUKA3 Zandontgraving en aanvulling 349656.tif)

Onderwatertalud: RWS, opname oktober 2013

Grondwaterstand: Toetspeil op Hoogovenkanaal en laag kanaalpeil NAP -0,6 m. GWS op talud is NAP +0,85 m (0.25*h)

Doorsnede ter plaatse van WTG3



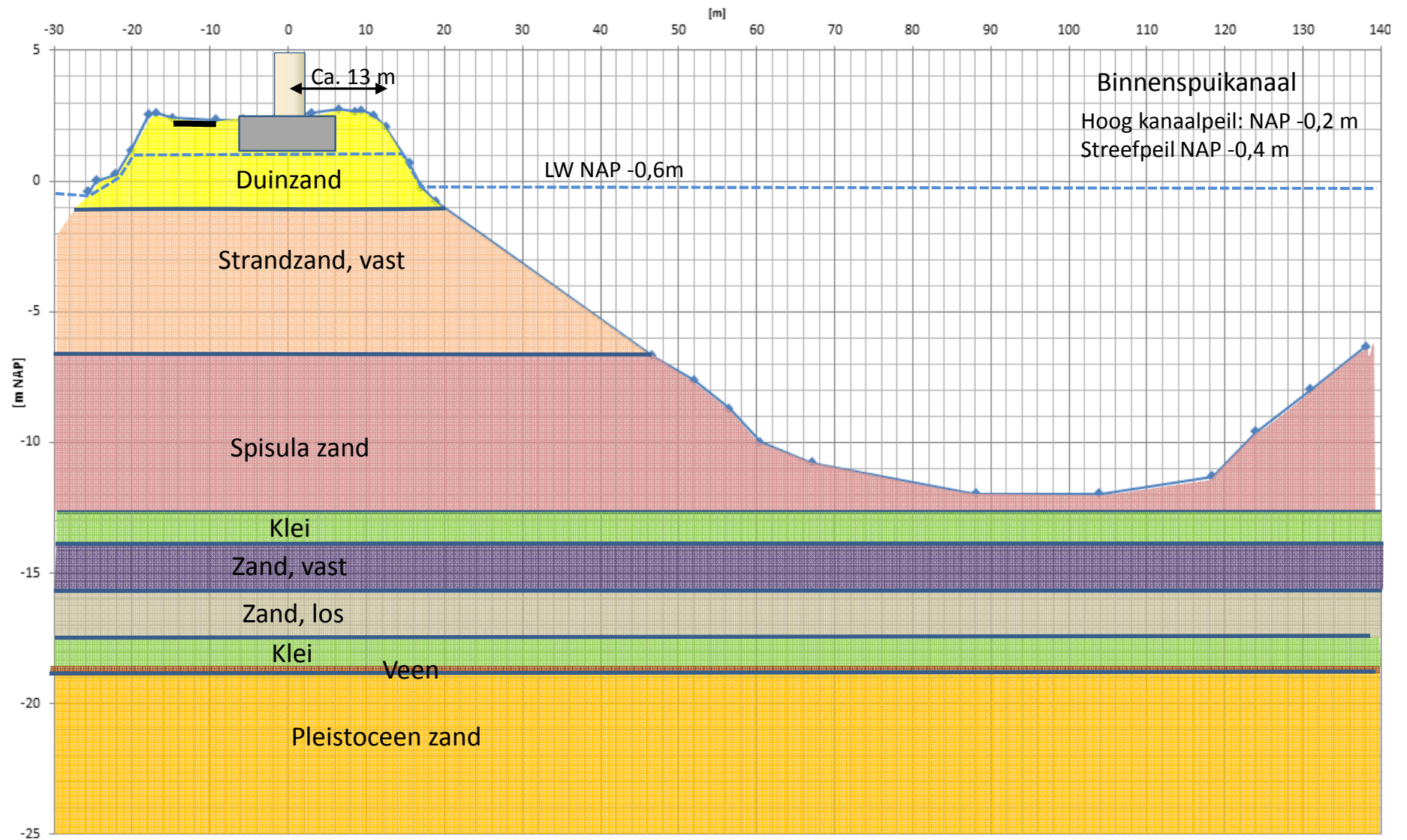
Grondonderzoek: DKM-D09 [BT Geoconsult 2016]

Dwarsprofiel: [RWS 1975] (75-38029.pdf)

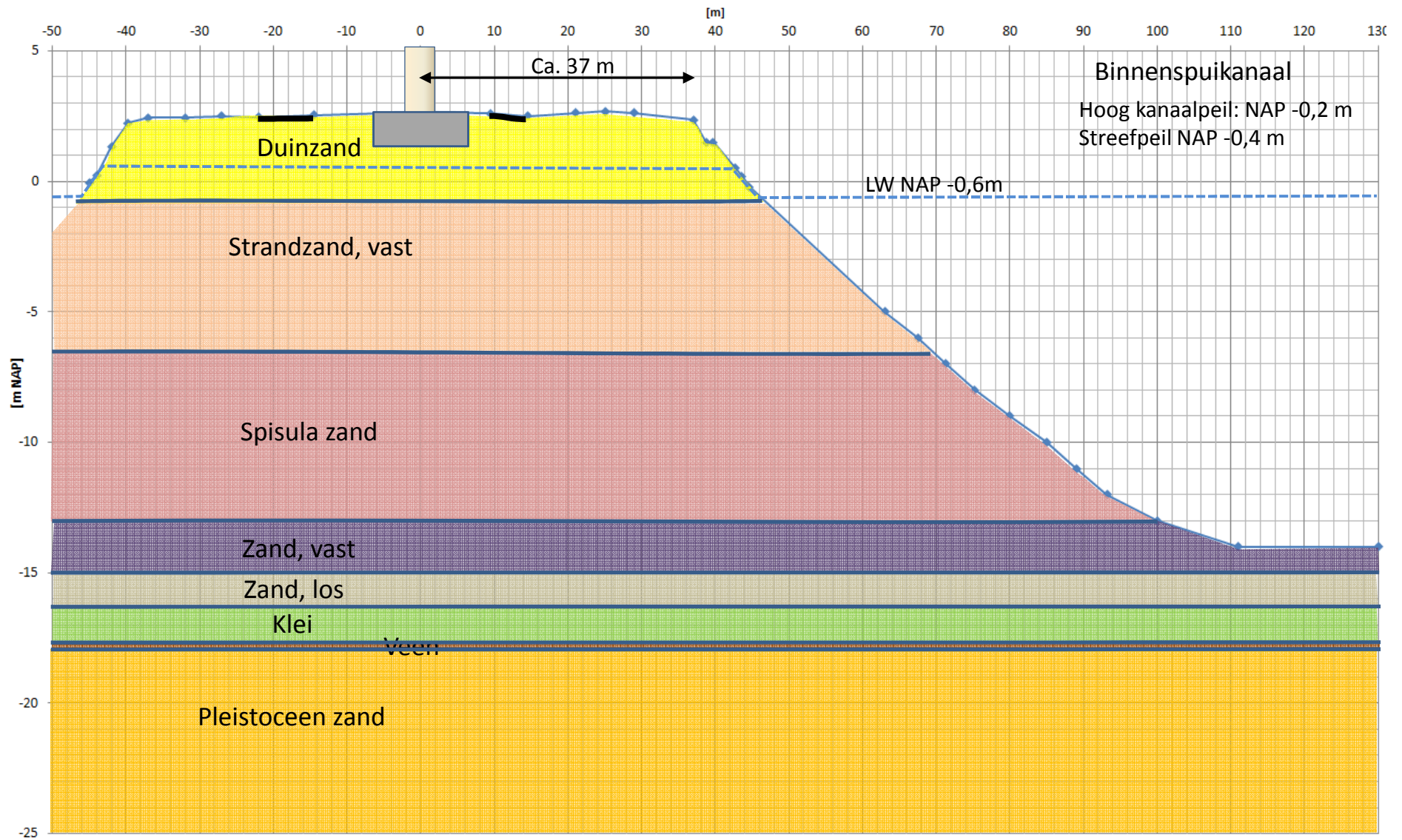
Onderwatertalud: RWS, opname oktober 2013

Grondwaterstand: laag kanaalpeil NAP -0,6 m en GWS op NAP +0,5 m

Doorsnede ter plaatse van WTG4



Doorsnede ter plaatse van WTG5



Grondonderzoek: DKM-D14 [BT Geoconsult 2016]

Dwarsprofiel: Inmeting [BT Geoconsult 2016]

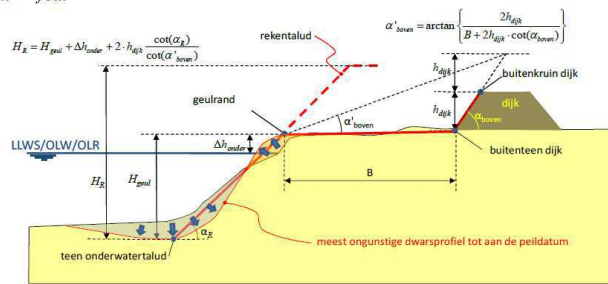
Onderwatertalud: RWS, opname oktober 2013

Grondwaterstand: laag kanaalpeil NAP -0,6 m en GWS op NAP +0,5 m

Bijlage 4 Inscharingslengte na zettingsvloeiing

1. Bepaling optredingskans P(ZV)

$$F(ZV|S_i) = \left(\frac{5}{\cot(\alpha_R)} \right)^5 \left(0.5 \cdot \left(\frac{H_R}{24} \right)^{2.5} \cdot \left(\frac{1}{10} \right)^{-10 \cdot (0.1 + \psi_{5m})} + 0.5 \cdot \left(\frac{H}{24} \right)^5 \cdot \left(\frac{2 \cdot 10^{-4}}{d_{50, \text{gemiddeld}}} \right)^5 \right) \cdot F_{\text{cohesivelayers}} \cdot \frac{V_{\text{lokaal}}}{V_{\text{zeeland}}} = 0.025 \text{ km}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$$

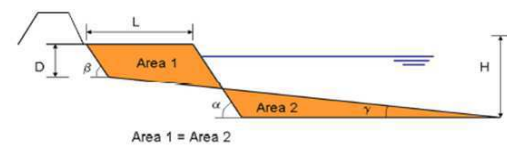


		Deltares 2016		WTG1		WTG2	WTG3	WTG4	WTG5
		hoogoven- haven	buitenspi- kanaal	hoogoven- haven	buitenspi- kanaal	buitenspi- kanaal	buitenspi- kanaal	buitenspi- kanaal	buitenspi- kanaal
$\cot(\alpha_R)$	[-]	3,42	3,09	3,66	3,98	3,53	4,15	4,75	4,12
H_R	[m]	28,20	27,40	27,93	25,83	21,15	20,36	24,16	21,61
ψ_{5m}	[-]	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05
$d_{50, \text{gemiddeld}}$	[mm]	0,15	0,15	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150
$F_{\text{cohesivelayers}}$	[-]	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
V_{lokaal}	[m/jaar]	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
V_{zeeland}	[m/jaar]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
h_{onder}	[m]	14,0	12,0	13,2	8,2	19,6	12,4	12,1	13,4
h_{boven}	[m]	10	10	9,7	11	6	6,64	5,52	5,92
$\cot(\alpha_{\text{onder}})$	[-]	3,42	3,09	3,66	3,98	3,53	4,15	4,75	4,12
$\cot(\alpha_{\text{boven}})$	[-]	2,40	2	2,41	2,48	2	2,86	2,17	2,97
$\cot(\alpha'_{\text{boven}})$	[-]	2,40	2,00	2,41	2,48	13,67	3,46	2,17	2,97
h_{dijk}	[m]	5,0	5,0	4,85	5,5	3	3,32	2,76	2,96
Strekking	[m]	50,00	50,00	50	50	50	50	50	50
B	[m]	0	0	0	0	70	4	0	0
d	[m]	12,05	10,05	11,8	7,8	11,0	9,8	11,4	13,4
Δh_{onder}	[m]	0,95	0,95	0,7	0,2	4,3	1,3	0,35	0
H	[m]	23,95	21,95	22,90	19,20	25,60	19,04	17,62	19,32
$F(ZV S_i)$	[/km/jaar]	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
$F(ZV S_i)$	[/50m/jaar]	9,9E-04	1,5E-03	6,9E-04	3,7E-04	4,1E-04	1,7E-04	1,3E-04	2,0E-04

Omrekening frequentie in een kans via het Poisson proces:

$P(ZV S_i)$	[%]	0,10%	0,15%	0,07%	0,04%	0,04%	0,02%	0,01%	0,02%
-------------	-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

2. Bepaling verwachtingswaarde inschарingslengte L na zettingvloeiing



$$X = \frac{-cH + \sqrt{(cH)^2 + (1-c) \left(\frac{D^2 b}{a} + H^2 c \right)}}{(1-c)}$$

$$a = \cot \gamma - \cot \alpha$$

$$b = \cot \gamma - \cot \beta$$

c = verhouding tussen Area1 en Area2 ($A1=cA2$). c=1,4 kan aangehouden worden
H = de totale hoogte van het onderwatertalud, moet de werkelijke hoogte tot aan het voorland worden genomen (en dus niet fictieve rekenhoogte H_{re})
D = steile gedeelte schadeprofiel

		Deltares 2016		WTG1		WTG2	WTG3	WTG4	WTG5
		hoogoven- haven	buitenspi- kanaal	hoogoven- haven	buitenspi- kanaal	buitenspi- kanaal	buitenspi- kanaal	buitenspi- kanaal	buitenspi- kanaal
H	[m]	11,6	11,6	17,7	13,7	11,5	11,6	11,8	13,8
c	[-]	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
D	[m]	4,99	4,99	7,61	5,89	4,95	4,99	5,07	5,93
b	[-]	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9
a	[-]	13,38	13,71	13,14	12,82	13,27	12,65	12,05	12,68
x	[-]	7,2	7,2	11,1	8,6	7,2	7,3	7,5	8,7
$\cot(\gamma)$	[-]	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8
$\cot(\beta)$	[-]	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
$\cot(\alpha)$	[-]	3,42	3,09	3,66	3,98	3,53	4,15	4,75	4,12
L	[m]	27,6	29,6	39,8	28,4	26,7	23,0	19,6	27,6

3. Bepaling Toelaatbare inscharingslengte $L_{\text{toelaatbaar}}$

			WTG1		WTG2	WTG3	WTG4	WTG5
			hoogoven- haven	buitenspi- kanaal	buitenspi- kanaal	buitenspi- kanaal	buitenspi- kanaal	buitenspi- kanaal
L _{toelaatbaar}	windturbine	[m]	3	49	17	32	10	38
	waterkering	[m]	>50	>50	>50	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
L<L _{toelaatbaar}	windturbine		NEE	JA	NEE	JA	NEE	JA
L<L _{toelaatbaar}	waterkering		JA	JA	JA	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Bestorting/damwand aanwezig vanaf geulbodem			NEE	JA	NEE	NEE	NEE	NEE
Verbetermaatregel:			JA	NEE	JA	NEE	JA	NEE

Bijlage 5 Kritische strook Spuisluis en Gemaal

Verslag (Bijlage 5)

HaskoningDHV Nederland B.V.
Maritime & Aviation

Aanwezig: RWS: Erik Stapper, Maurik de Ruijter, Leon Westhoven, Paul Overtoom, Carlo Zimmerman
RHDHV: Jurgen Cools, Jan Doeksen

Afwezig: -

Van: Jurgen Cools, Jan Doeksen

Datum: 24 april 2017

Locatie: RWS West-Nederland Noord, IJmuiden

Kopie: Anne Melchers (Eneco), Dick Spiering (WP IJmond), Peter Winkelman (RHDHV)

Ons kenmerk: M&ABE7237M001F01

Classificatie: Open

Onderwerp: Windpark Spuisluis IJmuiden - Kritische onderdelen Gemaal en Spuisluis

1 Inleiding

Dit verslag betreft een samenvatting van het overleg op het kantoor van RWS te IJmuiden en een bezoek aan de Spuisluis en het Gemaal (zie figuur 1) op 18 april 2017. Het doel van het overleg en bezoek was om gezamenlijk vast te stellen welke kritische onderdelen van de kunstwerken beschadigd kunnen raken, door een afgeworpen rotorblad van de geplande windturbine WTG1 van Windpark Spuisluis.

Beschadigde onderdelen worden als 'kritisch' beschouwd wanneer ze gevolgen hebben voor het functioneren van het kunstwerk en daarmee de waterveiligheid en waterbeheer.

Aanleiding voor het overleg is de door Royal HaskoningDHV uitgevoerde beoordeling van effecten van het windpark op de waterveiligheid en waterbeheer (zie hoofdrapport met kenmerk M&ABE7237R001D01). Op basis van conservatieve aannamen ten aanzien van kritische zone en hersteltijden is de additionele faalkans voor het Gemaal en Spuisluis bepaald voor het geval van een afgeworpen rotorblad. Voor het gemaal was aangenomen dat bij neerkomen van een blad op 50% van het oppervlak daadwerkelijk constructief bezwijken kan optreden, waardoor het Gemaal als geheel niet meer functioneert. Aan de hand van het bezoek is een meer realistische inschatting gemaakt van het percentage kritisch oppervlak en van de benodigde hersteltijden.



Figuur 1: Gemaal- en spuicomplex IJmuiden [Rijkswaterstaat 2015]:

In deze analyse wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende indeling van constructies:

- Spuisluis, gebouw van de spuisluis en de daarin gelegen installaties, paragraaf 3
- Verbinding tussen spuisluis en het gemaal, inclusief frontmuren aan weerszijden van de spuisluis (identiek), paragraaf 4
- Gemaal, inclusief het bedieningsgebouw en onderhoudsruimte en kraanbaan, paragraaf 5

Ten aanzien van het functioneren wordt onderscheid gemaakt in:

- Waterkerende functie (waterveiligheid)
- Peilbeheer:
 - Spuien (onder vrij verval)
 - Malen (pompen)

Daarnaast is voor de verschillende onderdelen onderscheid gemaakt in het potentiële faalmechanisme:

- Hoogte (algemene kerende hoogte)
- Falen onderdeel (enkele pompen of schuiven, inclusief aandrijving en bediening)
- Constructief falen (bezwijken van eerste en tweede keermiddel)

Bezwijken van constructieonderdelen door verval of instabiliteit van de constructie en grondlichaam als geheel (bijvoorbeeld onderloopsheid) vallen buiten de beschouwing van de faalkansanalyse. De analyse beperkt zicht tot falen ten gevolge van een inslag door een afgeworpen rotorblad.

2 Ontvangen informatie

De volgende gegevens zijn van Rijkswaterstaat ontvangen:

- [1] Architectenbureau VFD bv, Bestektekening gewijzigde gevels en details Spuisluis. Tekeningnummer 19B 19-1B 41. 5 September 1996.
- [2] Architectenbureau VFD bv, Werktekening NSA ruimte met opstelling olietank, plattegrond, gevels, doorsneden en details. Tekeningnummer 19B 19-3-W30. 17 September 1997.
- [3] Bouwdienst Rijkswaterstaat, Tekening Renovatie Spuisluis, Bovenaanzicht, gevelaanzichten en situatie. Nummer 2167-C-4-97.101, 11 april 1997.
- [4] Bouwdienst Rijkswaterstaat, Tekening Renovatie Spuisluis, te maken situatie, bovenaanzicht, gevelaanzichten en situatie. Nummer 2167-C-4-97.102, 11 april 1997.
- [5] Grontmij, Definitief ontwerp uitbreiding gemaal, aanzichten en situatie. Tekeningnummer 3900B-T-5-5010, 26 oktober 2001.
- [6] Grontmij, Definitief ontwerp uitbreiding gemaal, langsdoorsnede J-J, plattegrond op NAP -4.500 met details. Tekeningnummer 3900B-T-5-5011, 10 oktober 2001.

3 Kritische onderdelen Spuisluis

De Spuisluis bestaat uit 7 naast elkaar liggende spuikokers, elk met een breedte van 5,90 m en een hoogte van 4,80 m. De bovenkant van elke spuikoker ligt op een hoogte van NAP -4,45 m. Elk spuikanaal heeft één uit twee delen bestaande stalen glijshuif met een hydraulische cilinder als bewegingswerk. De stalen noodshuif is uitgerust met elektrische takels.

Alle elektrische en mechanische onderdelen bevinden zich inpandig in het zware betonnen gebouw. De constructie van de Spuisluis bestaat uit dikke (ca. 1m) gewapende betonnen muren en vloeren en is (deels) gebouwd door Duitsland tijdens de tweede wereld oorlog. Over het algemeen is dit kunstwerk niet direct gevoelig voor schade door een afgeworpen rotorblad.

Functie

De spuisluis vervult een functie 'water keren' voor het achterland en een functie 'water doorlaten' voor peilbeheer.

Eisen

Op grond van de Waterwet dient de Spuisluis met voldoende betrouwbaarheid de waterkerende en waterbeherende functie te vervullen. Om die reden worden aan dergelijke constructies eisen gesteld ten aanzien van:

- kerende hoogte (maximum instromend volume via gesloten kunstwerk);
- betrouwbaarheid afsluitmiddelen (maximum instromend volume via geopend kunstwerk);
- sterkte en stabiliteit (constructief bezwijken van het kunstwerk).

Definitie falen

In onderstaande tabel is aangegeven wanneer sprake is van falen van een onderdeel of constructie ten aanzien van de specifieke functie.

Tabel 1: Faaldefinitie Spuisluis bij neerkomen van een rotorblad

Functie	Waterbezwaar		Constructief falen gehele systeem ¹
	Kerende hoogte	Betrouwbaarheid afsluitmiddelen	
Water keren	Verlaging kerende muur door inslag met als gevolg instromend water over gesloten kunstwerk (t.g.v overlopen/overslag)	Niet sluiten van een schuif met als resultaat een open verbinding tussen het bovenstroomse en benedenstroomse watersysteem met een optredend lekverlies	Gelijktijdig falen van zowel de glijshuif als de noodshuif (redundantie)
Water doorlaten	Niet van toepassing	Niet openen van een glijshuif of noodshuif na een calamiteit met als resultaten afname van de waterafvoer	Niet openen van een glijshuif of noodshuif na een calamiteit met als resultaten afname van de waterafvoer
Eis voor betrouwbaarheid	$P\{V_{\text{gesloten}} > V_{\text{toel,h}}\} < \text{norm}$	$P\{V_{\text{geopend}} > V_{\text{toel,ns}}\} < 0,1 \times \text{norm}$	$P\{\text{bezwijken} \mid h \leq \text{MHW}\} < 0,01 \times \text{norm}$

1. Met 'falen van het gehele systeem' wordt verstaan, dat als één van de componenten faalt en niet werkt, zoals dit bedoeld is, het gehele systeem faalt.

Kritische onderdelen

De kritische onderdelen bestaan uit:

- De ramen in de waterkerende westgevel, bestaande uit glazen bouwstenen. De ruimte voor bediening bevindt zich achter de westelijke voorgevel op een niveau beneden hoogwater. In de gevel zijn enkele ramen aanwezig bestaande uit glazen bouwstenen, zie figuur 2. Schade wordt alleen verwacht bij het doorbreken van deze ramen:
 - De onderkant van het kozijn bevindt zich op NAP +5.9m. Dit is net boven het toetspeil (NAP +5,2 m volgens HR2006), echter kan bij hoogwater door golfslag de bedieningsruimte (figuur 3) onder lopen.
 - Bij een lagere waterstand zou spatwater schade kunnen veroorzaken in de bedieningsruimte en kortsluiting kunnen veroorzaken.
 - Rondvliegende (brandende) brokstukken kunnen schade veroorzaken aan de aandrijving van de hydraulische schuiven en elektrische onderdelen.

Bij het uitvallen van de elektrische schakelkasten of de hydraulische aandrijfunits zullen de hydraulische schuiven automatisch sluiten. De waterkerende functie van de Spuisluis is dus gegarandeerd.

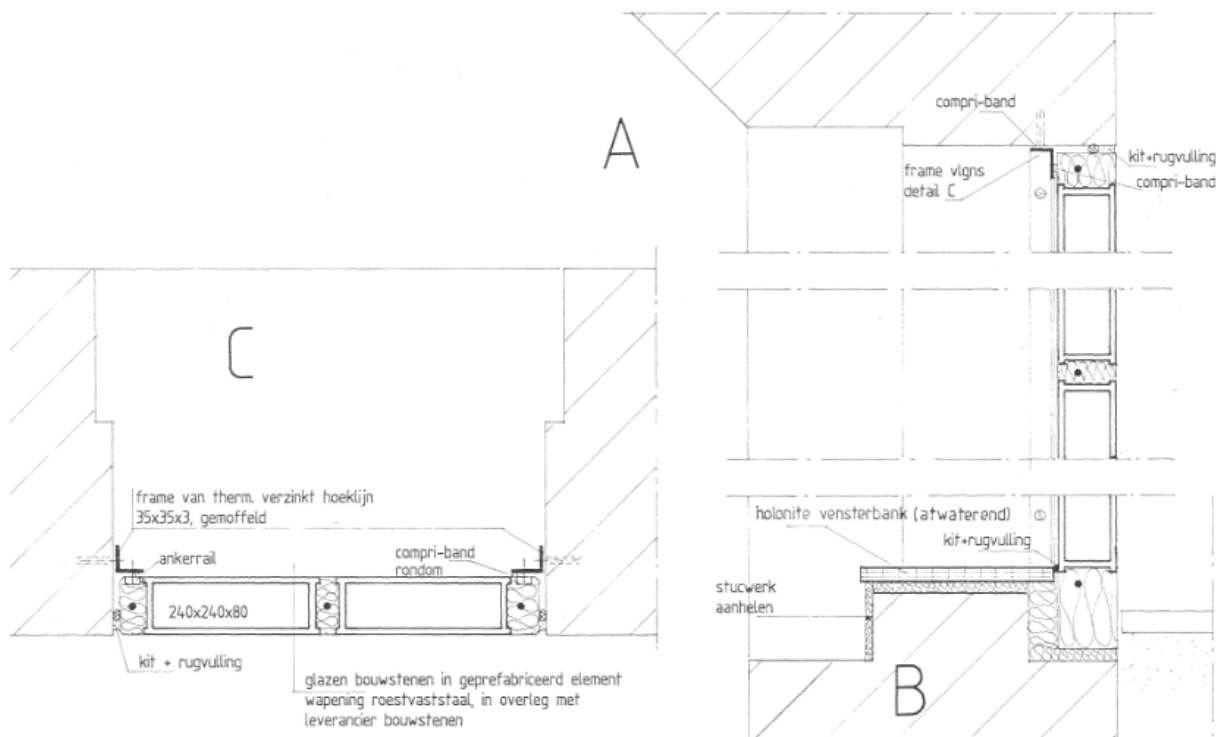
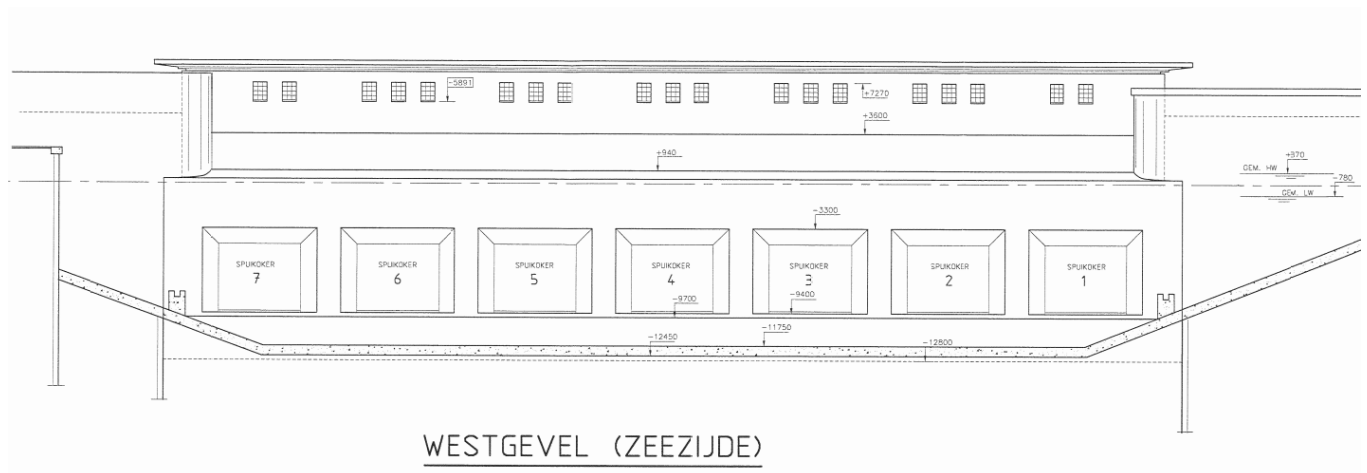
Opmerkingen t.a.v. niet kritische onderdelen:

- Bij uitval van de stroomtoevoer naar de Spuisluis kunnen de schuiven en noodschuiven bediend worden op de noodstroom voorziening. Uitval van de stroomtoevoer (door raken transformatorstations of stroomkabels) is dus niet kritisch.

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de kritische onderdelen voor de Spuisluis. De ligging van de kritische onderdelen is aangegeven in figuur 4.

Tabel 2: kritische onderdelen Spuisluis

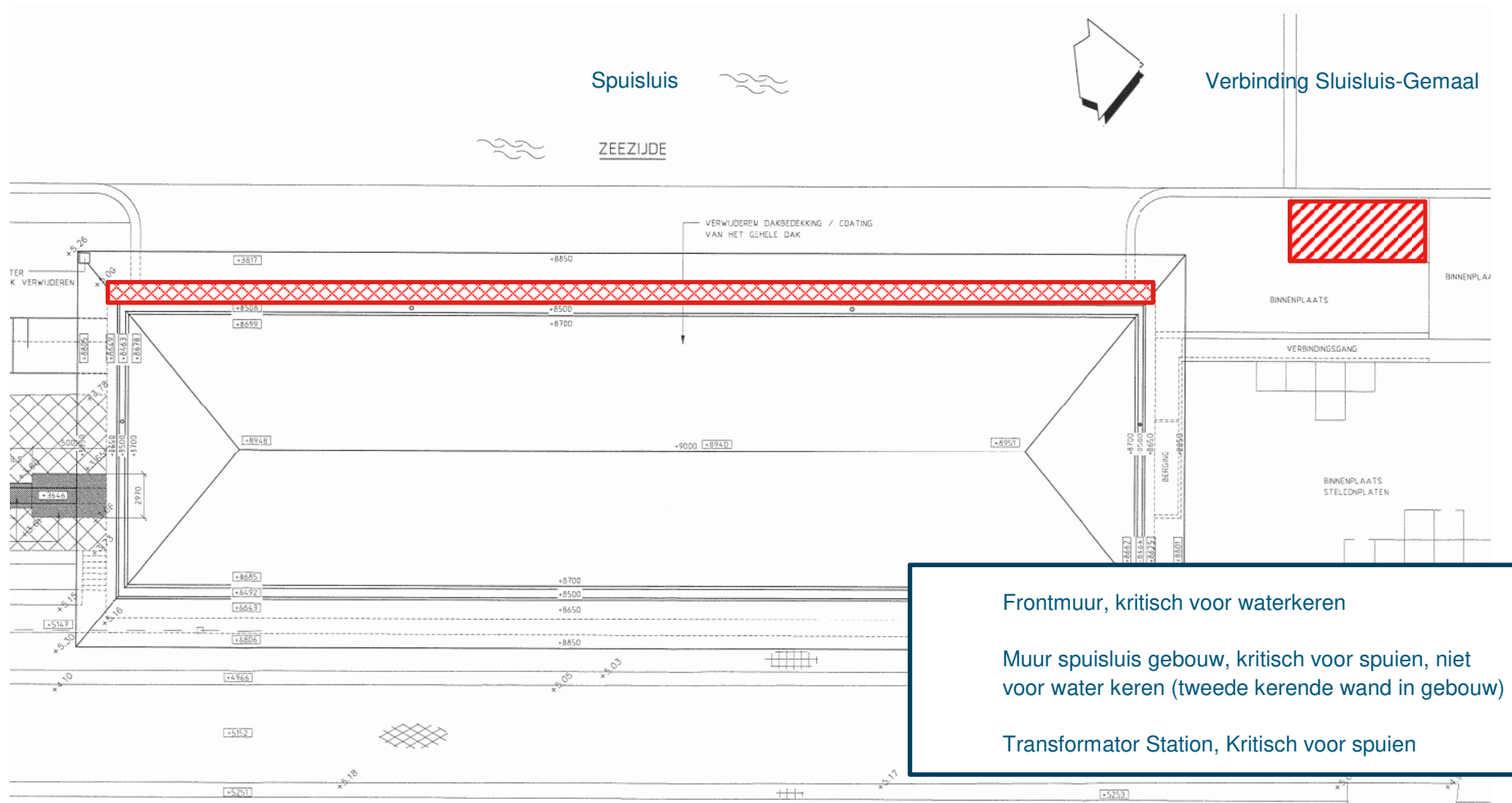
Functie	Kerende hoogte	Betrouwbaarheid afsluitmiddelen	Constructief falen
Water keren	-	-	-
Water doorlaten (spuien)	-	Ramen in westgevel	Ramen in westgevel



Figuur 2: westgevel van Spuisluis [3] met details van de ramen [1]



Figuur 3: Ramen in waterkerende kopwand een laag gelegen bedieningsruimte met schakelkast (rechts) bij de Spuisluis



Figuur 4: ligging kritische zones Spuisluis en verbinding tussen Spuisluis en het Gemaal

4 Kritische onderdelen verbinding tussen de Spuisluis en het Gemaal

Tussen het gemaal, bedieningsgebouw en de spuisluis loopt de waterkering langs de verbindingsgalerij met een betonnen frontmuur van ca. 1m dikte. Hier bevindt zich op de binnenplaats ook het transformator station.

De kritische onderdelen bestaan uit:

- De betonnen kerende frontmuur.
- De transformatorstations, op de binnenplaats, zie figuur 5. Hier staan in totaal 3 transformatoren die zowel de Spuisluis (1 transformator) als het Gemaal (2 transformatoren) voorzien van stroom. Het transformatorhuis staat achter een stevige betonnen muur, waarvan in eerste instantie wordt aangenomen dat deze niet doorbroken wordt. Het dak van het transformator station oogt als een normaal dak die mogelijk wel gevoelig is voor het doorbreken. De transformatoren zijn allen olie gekoeld, dit maakt het transformator station zeer gevoelig voor brandende onderdelen die mogelijk bij het falen van een windturbine door de lucht worden geworpen. Indien er een brandend onderdeel op het dak terecht komt, of door het dak heen breekt is de kans op brand in het transformator huis reëel waarbij de complete stroomvoorziening van het Gemaal en de Spuisluis uitgeschakeld wordt.
 - De pompen van het Gemaal blijven beschikbaar indien slechts 1 van de 2 transformatoren uitgeschakeld wordt.
 - Indien alle transformatoren uitgeschakeld worden blijft de waterkerende functie gewaarborgd omdat de schuiven van het Gemaal en de Spuisluis bediend kunnen worden met de noodstroomvoorziening. De pompen van het Gemaal kunnen niet functioneren op noodstroom (onvoldoende capaciteit).

Opmerkingen t.a.v. niet kritische onderdelen:

- De verbindingsgang, tussen de Spuisluis en het Gemaal zou beschadigd kunnen raken door een afgeworpen rotorblad. Echter heeft deze geen kritische functie voor de waterveiligheid of waterbeheer.



Figuur 5: transformatorstations bij Spuisluis

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de kritische onderdelen voor de verbinderingsruimte. De ligging van de kritische onderdelen is aangegeven in figuur 4.

Tabel 3: kritische onderdelen verbinding Spuisluis en het Gemaal

Functie	Faalmechanisme		
	Kerende hoogte	Betrouwbaarheid afsluitmiddelen (niet sluiten/niet openen)	Constructief falen (niet functioneren gehele systeem)
Water keren	Frontmuur	-	-
Spuien (Spuisluis)	-	-	-
Malen (Gemaal)	-	Transformatorstation	Transformatorstation

5 Kritische onderdelen Gemaal

Het Gemaal bestaat uit een 6-tal pompen elk in pandig gelegen in een betonnen pomp schacht. Aan de zeezijde van de maalgangen bevindt zich een stalen kleppenraam om retour stroming door de pompen te voorkomen. Daarachter zijn er twee schuiven (redundantie), waarmee de perskanalen kunnen worden afgesloten. Deze schuiven werken met een hydraulisch bewegingsmechanisme en kunnen in geval van nood met de hand worden geopend en gesloten. T.b.v. onderhoud zijn er twee betonnen portalen die functioneren als kraanbaan en is het een onderhoudsruimte aan de zuidzijde van het Gemaal waar de pompen d.m.v. de 160tons portaal kraan naar toe kunnen worden getransporteerd. Aan de zeezijde van het onderhoudsgebouw bevindt zich het bedieningsgebouw. Hier zit de noodbediening van zowel de Spuisluis als het Gemaal.

Functie

Het Gemaal vervult een functie 'water keren' voor het achterland en een functie 'water doorlaten' voor peilbeheer.

Eisen

Op grond van de Waterwet dient de Spuisluis met voldoende betrouwbaarheid de waterkerende en waterbeherende functie te vervullen. Om die reden worden aan dergelijke constructies eisen gesteld ten aanzien van:

- kerende hoogte (maximum instromend volume via gesloten kunstwerk);
- betrouwbaarheid afsluitmiddelen (maximum instromend volume via geopend kunstwerk);
- sterkte en stabiliteit (constructief bezwijken van het kunstwerk).

Definitie falen

In onderstaande tabel is aangegeven wanneer sprake is van falen van een onderdeel of constructie ten aanzien van de specifieke functie.

Tabel 4: Faaldefinitie Gemaal bij neerkomen van een rotorblad

Functie	Waterbezwaar		Constructief falen gehele systeem ¹
	Kerende hoogte	Betrouwbaarheid afsluitmiddelen	
Water keren	Verlaging kerende muur door inslag met als gevolg instromend water over gesloten kunstwerk (t.g.v overlopen/overslag)	Niet sluiten van een schuif met als resultaat een open verbinding tussen het bovenstroomse en benedenstroomse watersysteem met een optredend lekverlies	Gelijktijdig falen (niet sluiten) van beide schuiven
Water doorlaten	Niet van toepassing	Niet openen van een schuif na een calamiteit met als resultaten afname van de waterafvoer Niet functioneren van een pomp door stroomuitval of kapotte aandrijfmotor	Uitval pompen door stroomuitval.
Eis voor betrouwbaarheid	$P\{V_{\text{gesloten}} > V_{\text{toel,h}}\} < \text{norm}$	$P\{V_{\text{geopend}} > V_{\text{toel,ns}}\} < 0,1 \times \text{norm}$	$P\{\text{bezwijken} \mid h \leq \text{MHW}\} < 0,01 \times \text{norm}$

2. Met 'falen van het gehele systeem' wordt verstaan, dat als één van de componenten faalt en niet werkt, zoals dit bedoeld is, het gehele systeem faalt.

Kritische onderdelen

Kritische onderdelen voor de het functioneren van het gemaal zijn:

- De stroomtoevoer naar het gemaal. De stroomkabels zijn gelegen op circa 0,8 m onder maaiveld en lopen parallel aan de Noordersluisweg (figuur 9). De voorziening bestaat uit twee parallel aan elkaar gelegen kabels met een tussenafstand van circa 2 m. Beide kabels zouden bij neerkomen kunnen worden geraakt. De kabels zijn in beheer bij Liander. Verwacht wordt dat een noodreparatie binnen 24 uur kan worden uitgevoerd (afstemming met Liander). Bij stroomuitval zullen de schuiven automatisch worden gesloten. Het gemaal kan wel water keren, maar malen is tijdelijk niet meer mogelijk.
- De cilinders (figuur 11) voor het sluiten en openen van de schuiven. Indien de cilinder beschadigd raakt (hydraulisch drukverlies) sluiten de schuiven vanzelf, tenzij de schade zodanig is dat de hydraulische zuiger of stang klemt. De schuiven zelf bevinden zich in pandig en kunnen niet worden geraakt. Voor vervanging van een cilinder dient te worden uitgegaan van 48 uur.
- De serverruimte, welke zich bevindt in de aanbouw op het gemaal (achter de bedieningsruimte). Deze zou zowel door directe impact als door uitlaande brand in de bedieningsruimte zijn functionaliteit kunnen verliezen.
- Aandrijvingsunits van de pompen (figuur 10), deze bevinden zich buiten de pompschacht. Bij het afbreken van rotor blad zouden een of enkele van deze units kunnen worden uitgeschakeld waardoor niet de volledige pomp capaciteit beschikbaar is.
- Transformatorstations, zie hoofdstuk 4.
- De kraanbaan portalen bestaan uit zware betonnen balken ondersteund door een vijftal kolommen. In dwarsrichting zijn de portalen niet verbonden en dat maakt ze gevoelig voor zijdelingse belasting. Zonder nadere berekening wordt het mogelijk geacht dat de portalen

(deels) zouden kunnen omvallen bij een belasting door een afgeworpen rotorblad. Het portaal aan de buitenzijde zou dan op de pompen / aandrijfunits kunnen vallen welk (een aantal van) de pompen zou kunnen uitschakelen. Het portaal aan de binnenzijde zou naar verwachting op het wegdek kunnen vallen. Bij het omvallen van (een van) de portalen kan er mogelijk geen onderhoud worden gepleegd aan de pompen totdat; de kraanbanen zijn hersteld, of tot er een zware hijskraan kan worden gemobiliseerd en terplekke kan komen.

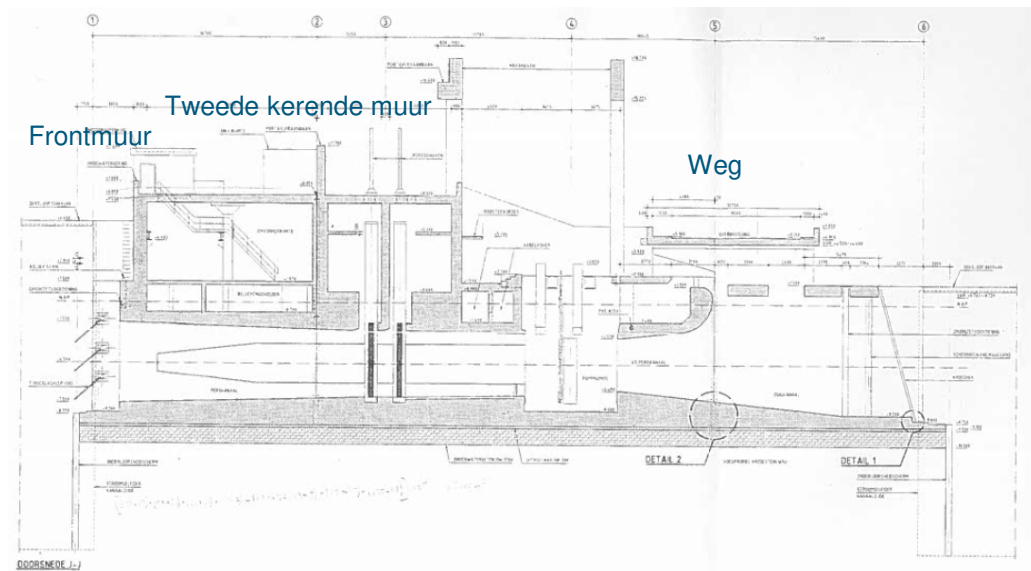
Opmerkingen t.a.v. niet kritische onderdelen:

- De controlekamer/bedieningsruimte is voor noodsituaties. De dagelijkse bediening vindt plaats vanuit de controlekamer in Schellingwoude. De bedieningsruimte is principe niet kritisch, echter als hier brand ontstaat door impact, kortsluiting of afgeworpen brandende onderdelen zou een uitslaande brand andere kritische onderdelen kunnen beschadigen, bijvoorbeeld de naastgelegen serverruimte.
- De pompen bevinden zich in een betonnen schacht en kunnen niet met volledige impact geraakt worden bij neerkomen van een rotorblad. Boven de pomp bevindt zich een stevig stalen vakwerk en verschillende roosters, aangenomen wordt dat de pompen hierdoor niet beschadigd kunnen worden.
- Kleppen aan voorzijde, Indien de kleppen geraakt worden door een afgeworpen rotorblad zou het kunnen dat deze niet meer openen/sluiten. Dit zou kunnen leiden tot een beperkte afname van de maal capaciteit, echter wordt dit niet als kritisch beschouwd. De kleppen zijn verder goed bereikbaar en kunnen relatief snel worden vervangen / hersteld.
- Frontmuur, is een ca. 30cm dikke betonnen muur van geringe hoogte. Het vloerpeil ligt al boven het ontwerp peil en de muur dient vooral om overslag te voorkomen en als bordes. Bovendien is er nog een tweede betonnen muur achter de frontmuur die eventueel overslag water zou kunnen keren. Onder het vloerpeil is de frontmuur ca. 1m dik welk het onwaarschijnlijk maakt dat deze doorbroken wordt. Tevens zijn de ruimtes achter de muur afgesloten en is de waterkerende functie niet verloren als deze vol lopen, zie Figuur 6.
- Het onderhoudsgebouw is een stevige betonnen constructie, echter is schade door een afgeworpen rotor blad wel mogelijk maar dit zal niet direct leiden tot het niet functioneren van het gemaal of van invloed zijn op de waterkerende functie. Wel zou er tijdelijk geen onderhoud gepleegd kunnen worden totdat reparaties zijn voltooid.
- Overige in pandige installaties, zijn over het algemeen niet kritisch behalve de ruimte waar de omvormers staan. Deze zijn essentieel voor de aandrijving van de pompen maar bevinden zich achter meerdere muren en vloeren. Het wordt niet reëel geacht dat deze direct beschadigd kunnen worden door een afgeworpen rotorblad.

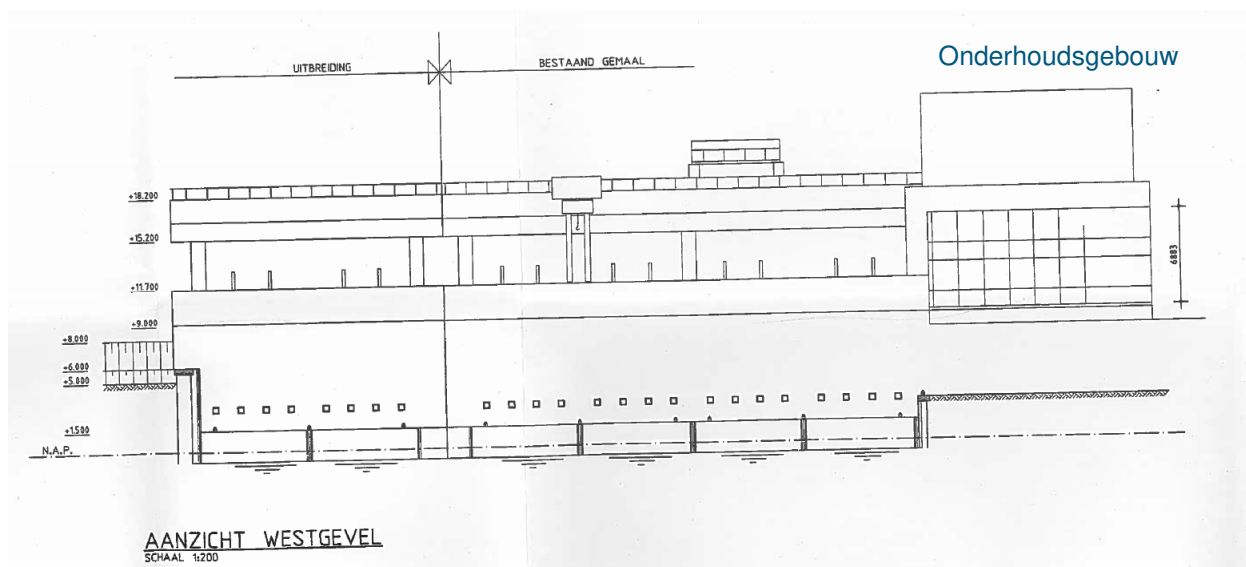
Tabel 5: kritische onderdelen Gemaal

Functie	Faalmechanisme		
	Kerende hoogte	Betrouwbaarheid afsluitmiddelen (niet sluiten/niet openen)	Constructief falen (niet functioneren gehele systeem)
Water keren	-	-	-
Water doorlaten (malen)	-	Stroomtoevoer, Transformatorstations, Cilinders, Serverruimte, Aandrijfunits, Kraanbaan portalen	Stroomtoevoer, Transformatorstations, Cilinders, Serverruimte, Aandrijfunits Kraanbaan portalen

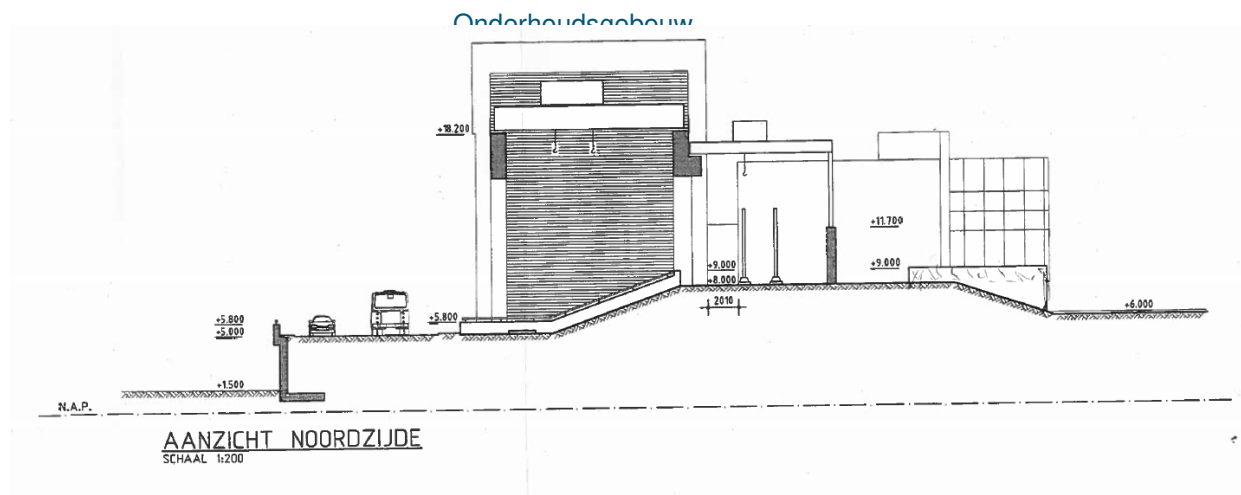
De ligging van de kritische onderdelen is aangegeven in figuur 12.



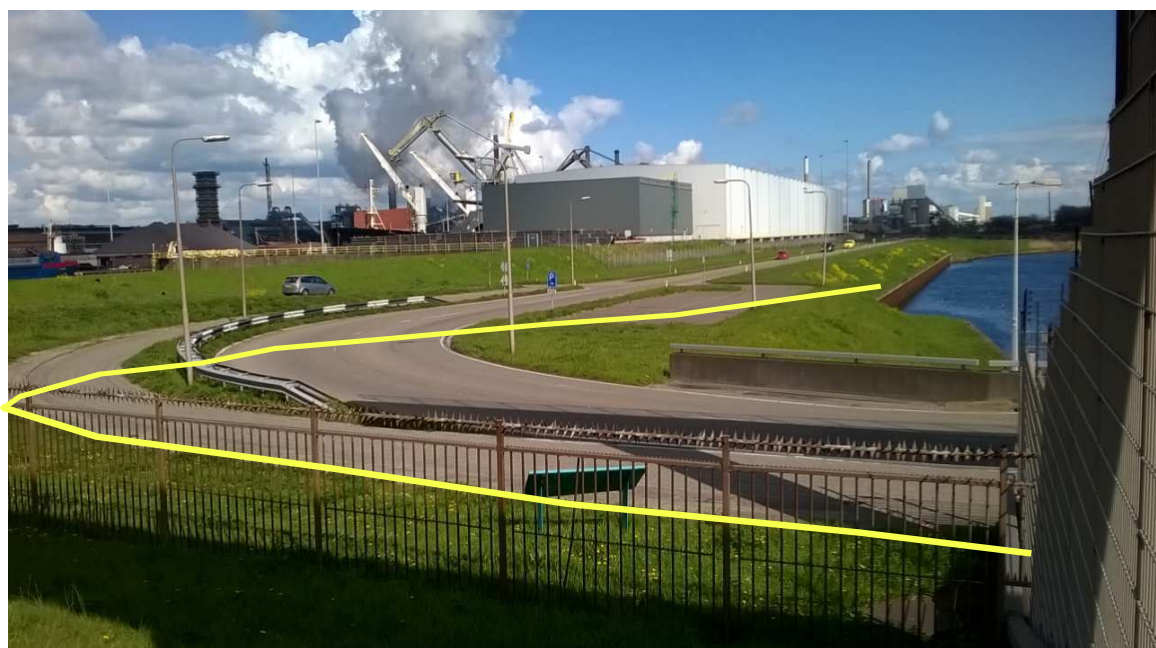
Figuur 6: Doorsnede met maalgang en pompkamer van het gemaal



Figuur 7: Vooraanzicht van het gemaal (gezien vanaf zeezijde).



Figuur 8: Zijaanzicht gemaal, vanaf noordzijde



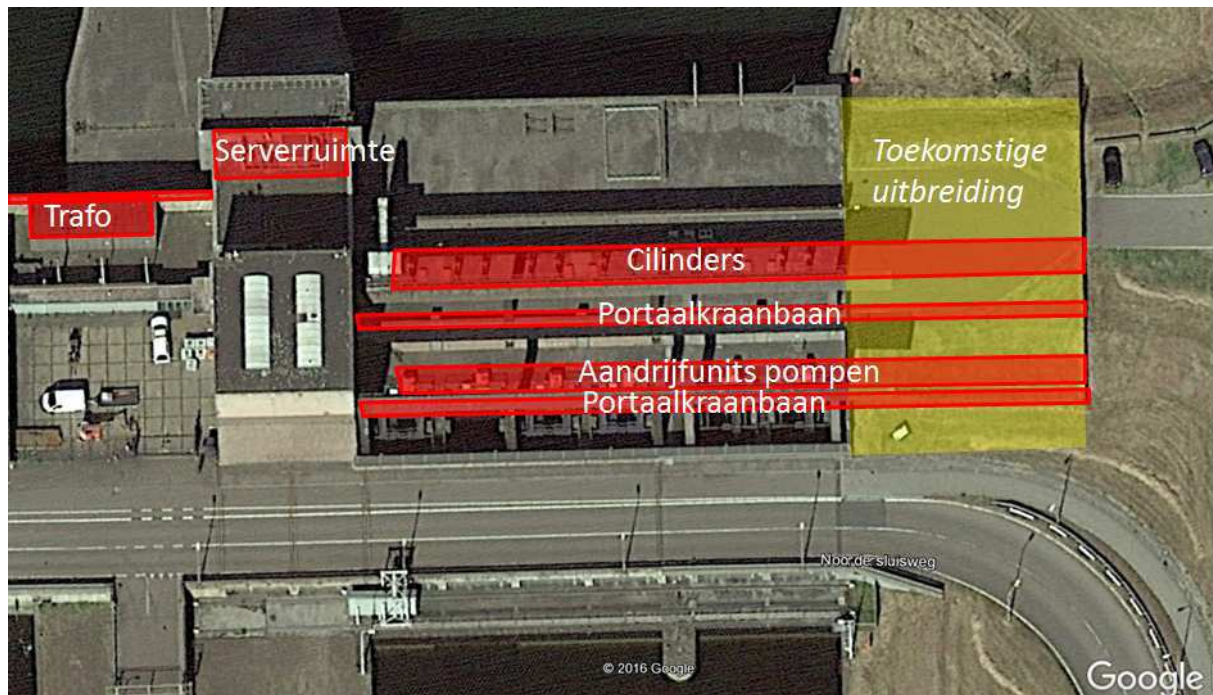
Figuur 9: globaal kabeltracé voor stroomtoevoer Gemaal



Figuur 10: bovenaanzicht pompschachten met aandrijfunits (rood) (links) en pomp in onderhoud (rechts)



Figuur 11: cilinders voor open/sluiten van waterkerende schuiven van het Gemaal (links) kraanbaan portalen (rechts)



Figuur 12: kritische onderdelen voor het Gemaal

Bijlage 6 Berekening kraterdiepte

B6.1 INLEIDING

Het risico op falen van de waterkering is onder meer afhankelijk van de locatie en de wijze van neerkomen van de windturbine of windturbineonderdeel. Daarnaast spelen de situering, de opbouw en de robuustheid van de waterkering een rol. Om inzicht te krijgen in de schade aan de waterkering en het resterende dijkprofiel wordt in deze bijlage een inschatting gemaakt van de kraterdiepte. De kraterdiepte is per faalscenario berekend op basis van een energiebeschouwing.

B6.2 INSCHATTING KRATERDIEPTE

B6.2.1 Kraterdiepte bij neerkomen van de gondel en rotor

Bij het falen van de windturbine of onderdeel hiervan zal het neerkomen van de gondel met rotor en bladen (vanwege het hoogste gewicht) de grootste schade aan de waterkering tot gevolg hebben. Eigenschappen van de gondel en rotor zijn samengevat in onderstaande tabel, zie ook paragraaf 6.2 van het hoofdrapport. De ashoogte van de gondel bedraagt 120 m.

Tabel B6-1: gewichten van de gondel en rotor

Onderdeel	Gewicht (ton)	Gewicht (kN)
Complete gondel met rotornaaf en bladen	178,2	1750
Rotornaaf met bladen	62,7	615

Benaderingswijze

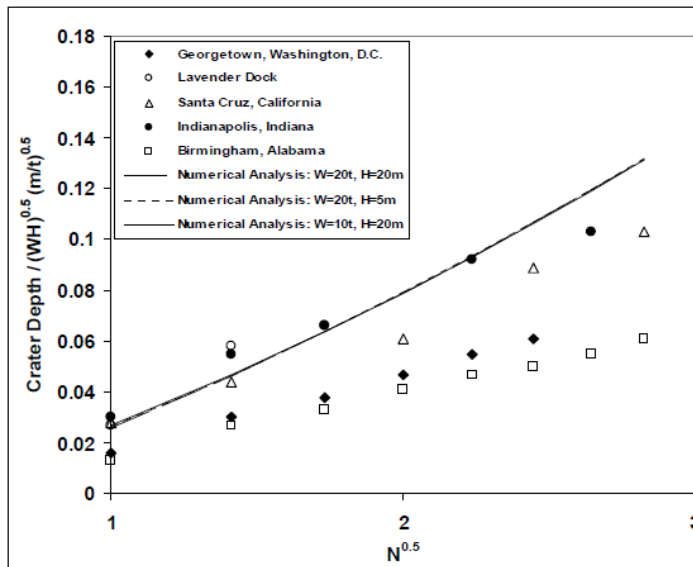
Er is in de praktijk weinig tot geen ervaring met grondvervorming door vallende voorwerpen, die qua afmetingen, gewicht en valsnelheid vergelijkbaar zijn met de situatie van een vallende windturbinegondel. Bestaande theorieën zijn veelal gebaseerd op kleinere voorwerpen (<40 ton) met geringere valhoogten (<50 m), ofwel op inslag van zeer grote voorwerpen (meteorieten) met een zeer hoge valsnelheid (>1 km/s).

Voor de geotechnische inschatting van grondindringing door een vallend onderdeel van de windturbine is in deze risicoanalyse de theorie beschouwd voor kraters door de Menard-methode voor dynamisch grondverdichting. De methode bestaat uit het herhaaldelijk laten vallen (nagenoeg vrije val) van een gewicht van 5 tot 40 ton vanaf 10 à 50 m hoogte. De methode wordt veelal toegepast als grondverbeteringstechniek bij landaanwinning, waarbij de draagkracht wordt verbeterd en restzettingen worden gereduceerd.

Er zijn veel studies en testen verricht naar effectiviteit van de dynamische verdichting. De mate van kratervorming en verdichting is onder andere afhankelijk van de grondsoort, de energie per val, het oppervlak van het valgewicht en het aantal herhalingen.

Inschatting kraterdiepte

Bij het vallen van de gondel (valgewicht) zal een krater ontstaan. Bij dynamische verdichting neemt de kraterdiepte toe bij meerdere herhalingen. Op basis van veldmetingen op 120 locaties is door Mayne⁵ een relatie opgesteld tussen de genormaliseerde kraterdiepte en het aantal herhalingen. De relatie is weergegeven in Figuur B6-1. Opvallend is dat de genormaliseerde kraterdiepte alleen afhankelijk is van N, het aantal herhalingen, en niet van de grondsoort of van de afmeting van het valgewicht.



Figuur B6-1: relatie tussen aantal vallen N , energie $(WH)^{0.5}$ en de kraterdiepte (Mayne, 1984)

De genormaliseerde kraterdiepte wordt uitgedrukt als $a \cdot (WH)^{0.5}$, waarbij WH gelijk is aan het gewicht (ton) maal de valhoogte (m).

Voor de val van de gondel/rotor wordt aangenomen dat 25% van de potentiële energie wordt opgenomen door vervorming van de gondelbehuizing. Het valgewicht (W) is hiervoor gecorrigeerd tot 75% van het totale gewicht: $75\% \times 178,2 \text{ t} = 134 \text{ t}$.

Uit Figuur B3-1 volgt dat de waarde voor 'a' bij één val ($N=1$) varieert tussen 0,015 en 0,03. De variatie is het resultaat van verschillen in de dichtheid en sterkte van de ondergrond.

Op basis van de potentiële energie en de a-factor volgt dat bij val van de gondel en rotor de volgende kraterdiepte kan worden verwacht:

- Ondergrens: $0,015 \times (134 \times 120)^{0.5} = 1,9 \text{ m}$
- Bovengrens: $0,03 \times (134 \times 120)^{0.5} = 3,8 \text{ m}$

Voor de val van de gondel en rotor wordt uitgegaan van een kraterdiepte van 3,8 m.

⁵ Mayne, P.W., Jones, J.S. and Dumas, J.C. (1984), *Ground response to dynamic compaction*, ASCE 110, GT6, pp. 757-773

B6.2.2 Kraterdiepte bij neerkomen van een rotorblad

Een rotorblad is ongeveer 57,3 m lang en heeft een gewicht van 10,9 t, ofwel 107 kN. Het zwaartepunt ligt op 15,6 m vanaf de as van de rotor (R_z). Het blad kan onder verschillende hoeken (α) en met verschillende snelheden (v_0) worden gelanceerd.

Lanceersnelheid

De lanceersnelheid is gelijk aan: $v = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot R_z$, met n het aantal omwentelingen per minuut. Voor de betreffende windturbine bedraagt n :

- Bij nominaal toerental: $n = 12,6 \text{ rpm}$
- Bij overtoeren (2xnominaal): $n = 25,2 \text{ rpm}$

De lanceersnelheid bedraagt dan:

- Bij nominaal toerental: $v_0 = 2 \cdot \pi \cdot (12,6/60) \cdot 15,6 = 20,6 \text{ m/s}$
- Bij overtoeren (2xnominaal): $v_0 = 2 \cdot \pi \cdot (25,2/60) \cdot 15,6 = 41,2 \text{ m/s}$

De inslagkrater van het blad is afhankelijk van de potentiële energie. De potentiële energie wordt bepaald door de lanceerhoogte (masthoogte) en de extra werphoogte.

Maximale werphoogte

Wanneer men de luchtweerstand verwaarloost, dan is de valbeweging bij het wegwerpen van een rotorblad een eenparig versnelde beweging. Wanneer het rotorblad aan zichzelf is overgelaten, beïnvloedt alleen de zwaartekracht nog de beweging. Deze zorgt voor een versnelling naar beneden, die onafhankelijk is van de massa van het voorwerp. Deze valversnelling wordt aangeduid met de letter g (van gravitatie) en is $9,81 \text{ m/s}^2$.

De positie van het rotorblad in de x- en y-richting kan worden beschreven door (met de oorsprong in de as van de rotor):

$$x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t$$

$$y(t) = v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t - g \cdot t^2 / 2$$

Voor de snelheid in verticale richting geldt:

$$v_y(t) = v_0 \cdot \sin \alpha - g \cdot t$$

Op het hoogste punt is de verticale snelheid nul ($v_y=0 \text{ m/s}$) en dus kan de hoogte van de valparabool worden beschreven door:

$$y_{top} = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2g}$$

Het hoogste mogelijke punt wordt bereikt bij $\alpha=90^\circ$ en is:

$$y_{top} = \frac{v_0^2}{2g}$$

De werphoogte ten opzichte van de ashoogte bedraagt dan:

- Bij nominaal toerental: $y_{top} = 20,6^2 / (2 \cdot 9,81) \approx 21,6 \text{ m}$
- Bij overtoeren (2xnominaal): $y_{top} = 41,2^2 / (2 \cdot 9,81) \approx 86,5 \text{ m}$

Opgemerkt wordt dat de luchtweerstand is verwaarloosd. Dit is een conservatieve aanname. Daarnaast neemt de werphoogte af naarmate de lanceerhoek kleiner wordt. Indien wordt aangenomen dat de grootste werpafstand optreedt bij een hoek van 45° , dan bedraagt de werphoogte 10,8 m, respectievelijk 43,3 m.

Kraterdiepte bij val rotorblad

In analogie met de afleiding van de kraterdiepte bij val van de gondel en rotor, is een inschatting gemaakt van de kraterdiepte bij val van een rotorblad. In tegenstelling tot de gondelval is er geen rekening gehouden met energieverlies door verbrijzeling van het blad. De resultaten zijn in onderstaande tabel samengevat.

Tabel B6-2: kraterdiepte bij val rotorblad

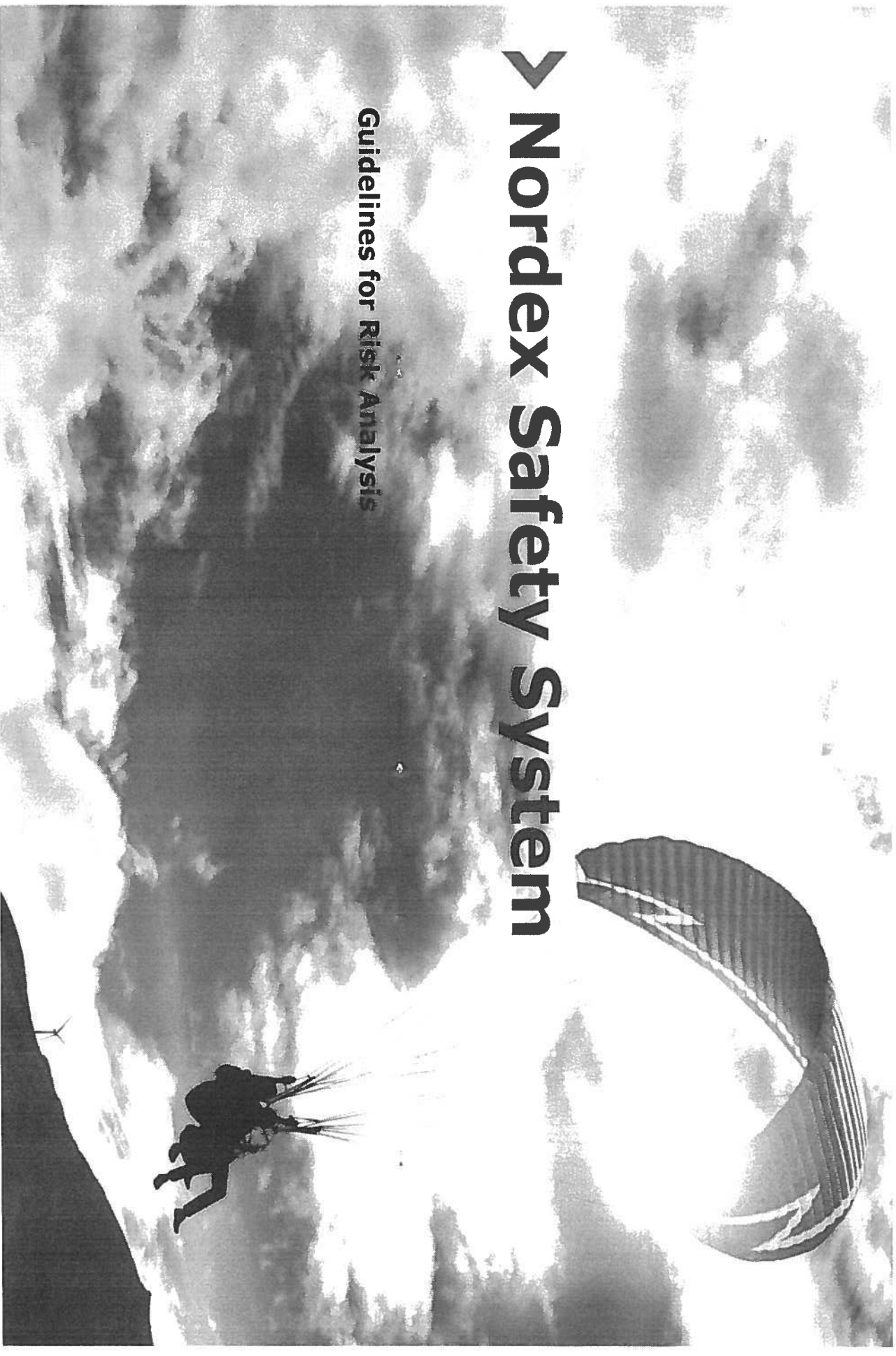
Situatie	Ashoogte [m]	Werphoogte t.o.v. as [m]	Totale hoogte [m]	Kraterdiepte [m]	
				Ondergrens (a=0,015)	Bovengrens (a=0,03)
Nominaal					
- Maximale werphoogte	120	21,6	141,6	0,6	1,2
- Maximale werpafstand	120	10,8	130,8	0,6	1,1
Overtoeren					
- Maximale werphoogte	120	86,5	206,5	0,7	1,4
- Maximale werpafstand	120	43,3	163,3	0,6	1,3

Voor de val van rotorblad wordt uitgegaan van een kraterdiepte van 1,4 m.

Bijlage 7 Faalkansen Nordex windturbines

> Nordex Safety System

Guidelines for Risk Analysis





Safety system design principles

2002 vs. 2017

	2002	2017
System	Stall, Pitch	Pitch
Focus	robustness, reliability	reliability, efficiency
Technology	Stall: almost no safety system Pitch: only few hardwired sensors, just value triggering > shutdown, monitoring of vibrations and rotational speed only	More sensors (incl. pitch angle, pitch speed), more intelligent functions, more software, redundancy, significant increase of safety standards and guidelines. Separated WT control and safety systems
Load cases, events	Basic load cases according to IEC 61400 based on market standard	Significant increase of considered load cases based on experience
Quality	No focus	Very extensive software lab tests

Probability of loosing structural integrity

Safety functions acc. ISO 13849-1 Performance Level

Nordex Safety Function		PL	PFH _d
SF01-A	Emergency stop drive train	d	9,18E-07
SF01-B	Emergency stop yaw drive	d	4,68E-07
SF01-C	Turbine safe condition	d	3,40E-07
SF02	Yaw safe stop	d	8,96E-07
SF03	Yaw system final position limiter	c	1,53E-06
SF04	Drive train safe stop	d	6,31E-07
SF05	Control of service condition for drive train and yaw system	d	8,02E-07
SF07	Pitch speed control	d	2,85E-07
SF08-A	Rotor speed control	d	2,85E-07
SF08-B	Rotor speed control with braking	d	6,42E-07
SF09	Monitoring tower head vibration	d	4,25E-07
SF10	Blade angle control	d	5,49E-07
SF11	Ambient temperature control	d	8,39E-07
SF12	Wind speed control	d	9,03E-07
SF13	Control of the rotor lock service condition	d	7,33E-07
SF16	Control of pitch angle over rotational speed	d	9,09E-07
SF20	Control of individual pitch control system	d	5,49E-07



Probability of loosing structural integrity

Example

Risk type: Loss of structural integrity (blade/tower failure) due to overspeed

Safety function	Control function	Triggers	PFHd
SF08-A	rotor speed control: redundant (safety system SS + operational system BTF) rotational speed control	Pitch Safety Operation (automatic blade pitch into vane position)	2,85E-07
SF08-B	rotor speed control with emergency brake sequence	Pitch Safety Operation (automatic pitch into vane position) + mechanical brake activation	6,42E-07
SF7	Validy chech between the rotational speed (rotor speed control) and pitch angle	Pitch Safety Operation (automatic blade pitch into vane position)	2,85E-07
System Pitch	Siultaneous Event Pitch system failure	Description At least 2 of 3 blades can pitch into a vane position	PFHd 2,20E-07

All funtions needs to fail at same time!

> Together on the same course

Nordex SE

Langenhorn Chaussee 600
22419 Hamburg
Germany

Tel: +49-40-30030-1000
Fax: +49-40-30030-1333
Email: info@nordex-online.com
Web: www.nordex-online.com

Acciona Windpower

Polígono Industrial
Barásain, parcela 2
31395 Barásain
Navarra, Spain

Tel: +34-948-720535
Fax: +34-948-720531
Email: info@windpower@acciona.com
Web: www.acciona-windpower.com