

RAPPORT

Invloed Windpark Rozenburg op waterveiligheid waterkeringen

Kwalitatieve beoordeling invloed door ondergrondse
effecten op Verbindende Waterkering 8

Klant: Wolff Nederland Windenergie

Referentie: M&ABF6173R001F1.0

Versie: 1.0/Finale versie

Datum: 30 april 2018

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**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Invloed Windpark Rozenburg op waterveiligheid waterkeringen

Ondertitel: Waterveiligheid WP Rozenburg
Referentie: M&ABF6173R001F1.0
Versie: 1.0/Finale versie
Datum: 30 april 2018
Projectnaam: WP Rozenburg
Projectnummer: BF6173
Auteur(s): Ilse Hergarden

Opgesteld door: Ilse Hergarden

Gecontroleerd door: Jurgen Cools

Datum/Initialen: 30 april 2018/JCO

Goedgekeurd door: Michiel de Jong

Datum/Initialen:

Classificatie

Projectgerelateerd



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	Inleiding	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doel	2
1.3	Afbakening	2
1.4	Beschrijving aanpak	2
2	Projectomschrijving	3
2.1	Projectlocatie	3
2.2	Windparkonderdelen	4
2.3	Projectfasering	4
2.4	Waterkering	5
2.5	Bestaande windturbines	6
3	Eisen voor de waterkering	7
3.1	Zonering waterkering	7
3.2	Normspecificatie	7
3.3	Eisen ten aanzien van veiligheid	8
3.4	Eisen ten aanzien van robuustheid	8
3.5	Eisen ten aanzien van beheer en onderhoud	8
4	Uitgangspunten en randvoorwaarden	9
4.1	Beschikbare informatie	9
4.2	Geometrie kering	9
4.3	Bodemopbouw	10
4.4	Grondparameters	10
4.5	Hydraulische belastingen	11
4.5.1	Waterstanden Calandkanaal	11
4.5.2	Waterstanden Nieuwe Waterweg	11
4.5.3	Grondwaterstanden	11
4.6	Faalkanseisen	12
4.7	Belastingen	12
4.7.1	Belastingen tijdens de bouwfase	12
4.7.2	Belastingen tijdens de gebruiksfase	14
4.7.3	Belastingen tijdens de verwijderingsfase	15
4.7.4	Monitoring belastingen	15
4.8	Partiële veiligheidsfactoren	16

5	Kwalitatieve beoordeling ondergrondse effecten	17
5.1	Bewezen sterkte waterkering in relatie tot trillingen	17
5.2	Relevante faalmechanismen	17
5.3	Beoordeling effecten op overloop en golfoverslag (HT)	20
5.4	Beoordeling op binnenwaartse stabiliteit (STBI)	21
5.5	Beoordeling op buitenwaartse stabiliteit (STBU)	21
5.6	Beoordeling effecten op opbarsten, piping en heave (STPH)	21
5.7	Beoordeling effecten voor bekleding	22
6	Conclusies en aanbevelingen	23
7	Referenties	24

Tabellen

Tabel 4-1 Grondparameters (karakteristieke waarden)	11
Tabel 4-2 Hydraulische belasting ten behoeve van beoordeling behorende bij signaleringswaarde (norm 1/100.000 per jaar)	11
Tabel 4-3 schadefactoren	16
Tabel 4-4 modelfactoren	16
Tabel 4-5 materiaalfactoren	16
Tabel 4-6 schematiseringsfactoren	16
Tabel 5-1 Omschrijving faalmechanismen (VTV2006)	17
Tabel 5-2: Relevante faalmechanismen per projectfase met mogelijk effect	20

Figuren

Figuur 1-1 Geplande locaties windturbines WP Landtong Rozenburg (in gele contour)	1
Figuur 2-1 Bestaande turbines op landtong richting Rozenburg (links) en nabij stormvloedkering (vanuit westen gezien, rechts)	3
Figuur 2-2 Hoogtegegevens uit AHN2-viewer	3
Figuur 2-3 Overzicht sectie indeling kering 208 (uit [Ref 1])	5
Figuur 3-1 Profiel sectie D1 Europoort 1	7
Figuur 3-2 Profiel sectie D2 Europoort 1	7
Figuur 4-1 Locatie Windturbine fundatie ten opzichte van kering	9
Figuur 4-2 Voorbeelden van sonderingen op projectlocatie	10
Figuur 4-3 Inschatting trillingssnelheden conform Muller (links) en CUR166 (rechts)	13
Figuur 4-4 Verwachte grondversnellingen	13

Figuur A- 1 Locatie Verbindende Waterkering uit Hydraulische Randvoorwaarden 2006 [Ref 3]	25
Figuur A- 2 Trajectindeling nieuwe normering [Ref 4]	26
Figuur A- 3 Normering [Ref 4]	26
Figuur A- 4 Zonering kering RWS [Ref 5]	27
Figuur A- 5 Locaties geotechnische boringen opgenomen in DINO-loket	29
Figuur A- 6 Locaties uitgevoerde sonderingen posities 1-1a en 2-2a [Ref 2]	30
Figuur A- 7 Locaties uitgevoerde sonderingen posities 3-3a en 4-4a [Ref 2]	30
Figuur A- 8 Locaties uitgevoerde sonderingen positie 5-5a [Ref 2]	31
Figuur A- 9 Locaties uitgevoerde sonderingen posities 6a en 7a [Ref 2]	31
Figuur A- 10 Locaties uitgevoerde sonderingen posities 8a en 9a [Ref 2]	32

Bijlagen

A1	Verbindende Waterkering 8 (nu traject 208)
A2	Zonering primaire waterkering
A3	Profielen sectie D1 en D2 Europoort 1
A4	Bodemgegevens DINOloket
A5	Locaties Sonderingen Fugro
A6	Informatie waterstanden
A7	Bepaling faalkanseisen en afleiding veiligheidsfactoren
A8	Afleiding waterstanden

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Wolff Nederland Windenergie (WNW) heeft het voornemen om Windpark Landtong Rozenburg in de gemeente Rotterdam te ontwikkelen. De geplande ontwikkeling betreft:

- Het vervangen (repowering) van het bestaande windpark Landtong Rozenburg bestaande uit 10 turbines door 6 tot 10 grotere turbines;
- Het plaatsen van 2 of 3 extra windturbines op de landtong in de richting van Rozenburg.

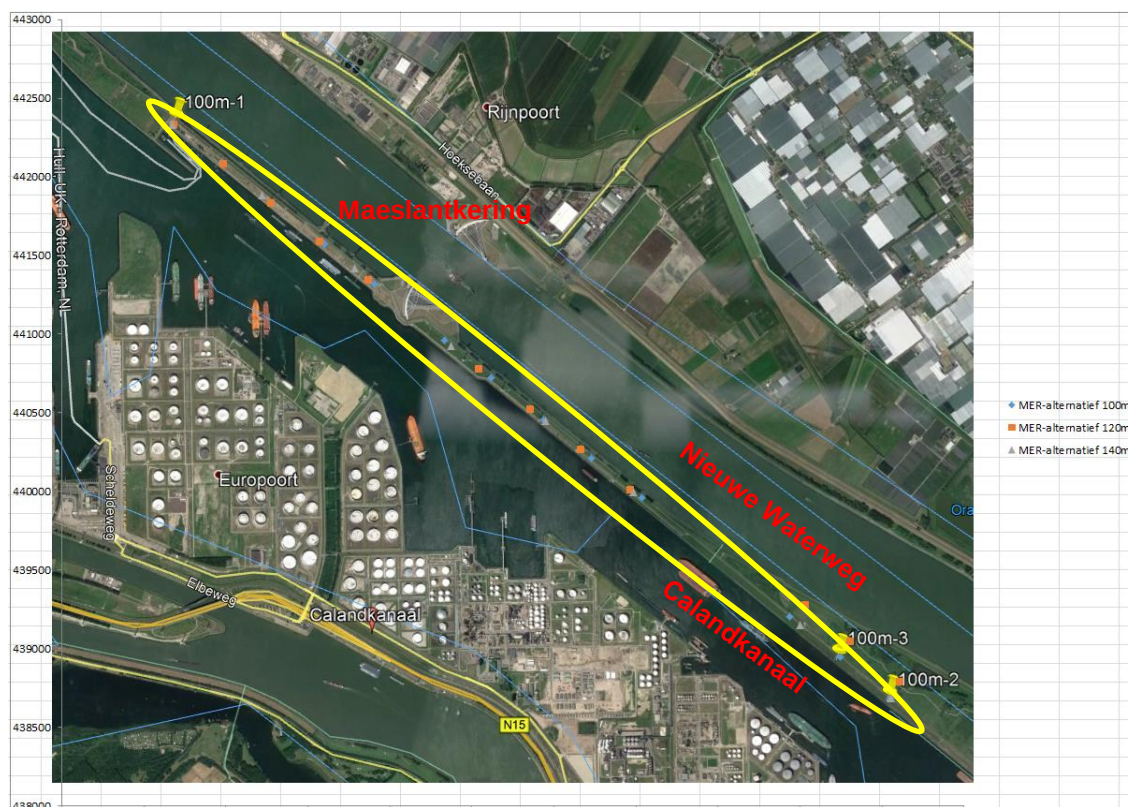
Op dit moment wordt een milieueffectrapportage (MER) opgesteld, waarin een 3-tal alternatieve opstellingen wordt onderzocht, zie Figuur 1-1:

- Rotordiameter 100 m: 13 turbines, waarvan 10 ter plaatse van de bestaande turbines;
- Rotordiameter 120 m: 12 turbines, waarvan 9 ter plaatse van de bestaande turbines;
- Rotordiameter 140 m: 8 turbines, waarvan 6 ter plaatse van de bestaande turbines.

Het windpark is voorzien op de landtong tussen de Nieuwe Waterweg en het Calandkanaal in de omgeving van de stormvloedkering (Maeslantkering).

Een aantal van de windturbines is voorzien in de kern- en beschermingszone van de primaire waterkering, Verbindende Waterkering 208 (Maeslantkering/Europoort, voorheen Stormvloedkering Nieuwe Waterweg en Europoort 8), zie bijlage A1 en A2.

Voor de alternatieven dient in het kader van de Waterwet en ten behoeve van het MER onderzocht te worden wat de effecten van de windturbines zijn op de waterveiligheid (waterkerende functie van de bestaande keringen). De kering is in beheer bij Rijkswaterstaat (RWS).



Figuur 1-1 Geplande locaties windturbines WP Landtong Rozenburg (in gele contour)

1.2 Doel

Vanwege de voorgenomen ligging van (een aantal) van de windturbines in de kern- en beschermingszone van de kering dient te worden aangetoond dat de waterkerende functie is gewaarborgd tijdens de bouw, het gebruik en het verwijderen van het windpark. Daarnaast mag het doelmatig beheer en onderhoud aan de waterkering niet worden bemoeilijkt en moet de kering in de toekomst versterkt kunnen worden.

Het doel van dit rapport is het uitvoeren van een kwalitatieve beoordeling van de ondergrondse effecten van de beoogde windturbines op de veiligheid van de kering.

Dit rapport bevat een beschrijving van de geïnventariseerde gegevens, afgeleide en met RWS afgestemde randvoorwaarden en uitgangspunten en resultaten van de beoordeling voor alle faalmechanismen die van belang zijn voor de waterveiligheid.

1.3 Afbakening

De *kwalitatieve beoordeling* is uitgevoerd voor de *ondergrondse* (grondmechanische) effecten van de trillingen van de windturbines in de gebruiksfase. Daarnaast is gekeken naar de ondergrondse effecten tijdens de bouw- en verwijderfase door aanleg van de fundering en door ontgravingen, aanleg en gebruik van wegen en de bekabeling.

Na keuze van het voorkeursalternatief zal een gedetailleerde (*kwantitatieve*) beoordeling worden uitgevoerd voor de aanvraag van de watervergunning. Onderhavige veiligheidsstudie zal dan verder worden uitgewerkt.

Beoordeling van de additionele faalfrequentie van de waterkering ten gevolge van *bovengrondse* effecten is geen onderdeel van deze rapportage. Bovengrondse effecten betreffen het mogelijk falen van de windturbines of een onderdeel hiervan tijdens de gebruiksfase. Dit is afzonderlijk beschouwd en gerapporteerd door Bosch&van Rijn.

1.4 Beschrijving aanpak

De analyse van de gevolgen door ondergrondse effecten betreft een beoordeling van alle relevante grondmechanische (faal)mechanismen voor de waterkering. De beschouwde faalmechanismen zijn:

- Overloop en golfoverslag (HT)
- Piping (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. De effecten zijn geanalyseerd voor alle projectfasen: bouw-, gebruiks- en verwijderfase.

Mogelijke effecten zijn:

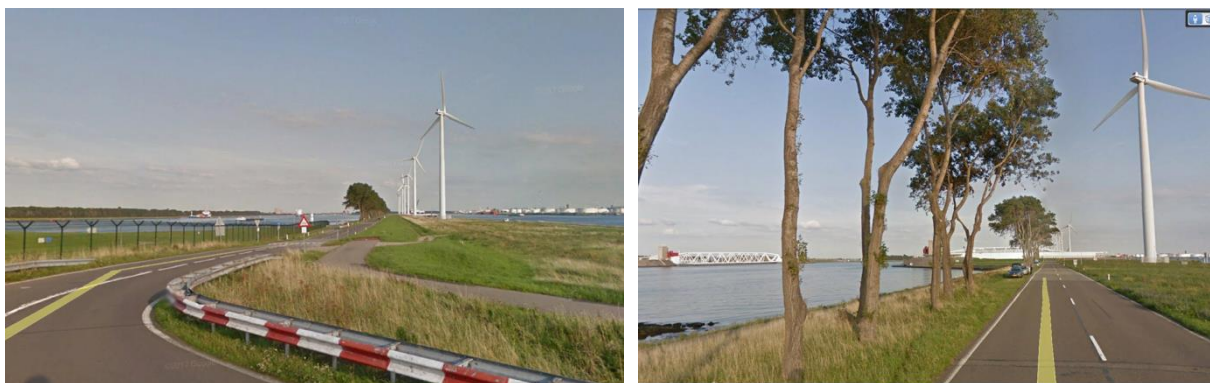
- Dynamische belastingen (trillingen) ten gevolge van het inheien van de funderingspalen;
- Dynamische belastingen (trillingen) ten gevolge van de windbelasting tijdens exploitatie;
- Belasting door hoofdkranen op de kraanopstelplaatsen;
- Belasting door hulpkranen en transport;
- Afname van de sterkte door ophoging of tijdelijke ontgravingen.

De effecten zijn per faalmechanisme eerst kwalitatief beoordeeld. Aangegeven is of en voor welk(e) faalmechanisme(n) een nadere kwantitatieve analyse benodigd is voor de Watervergunning.

2 Projectomschrijving

2.1 Projectlocatie

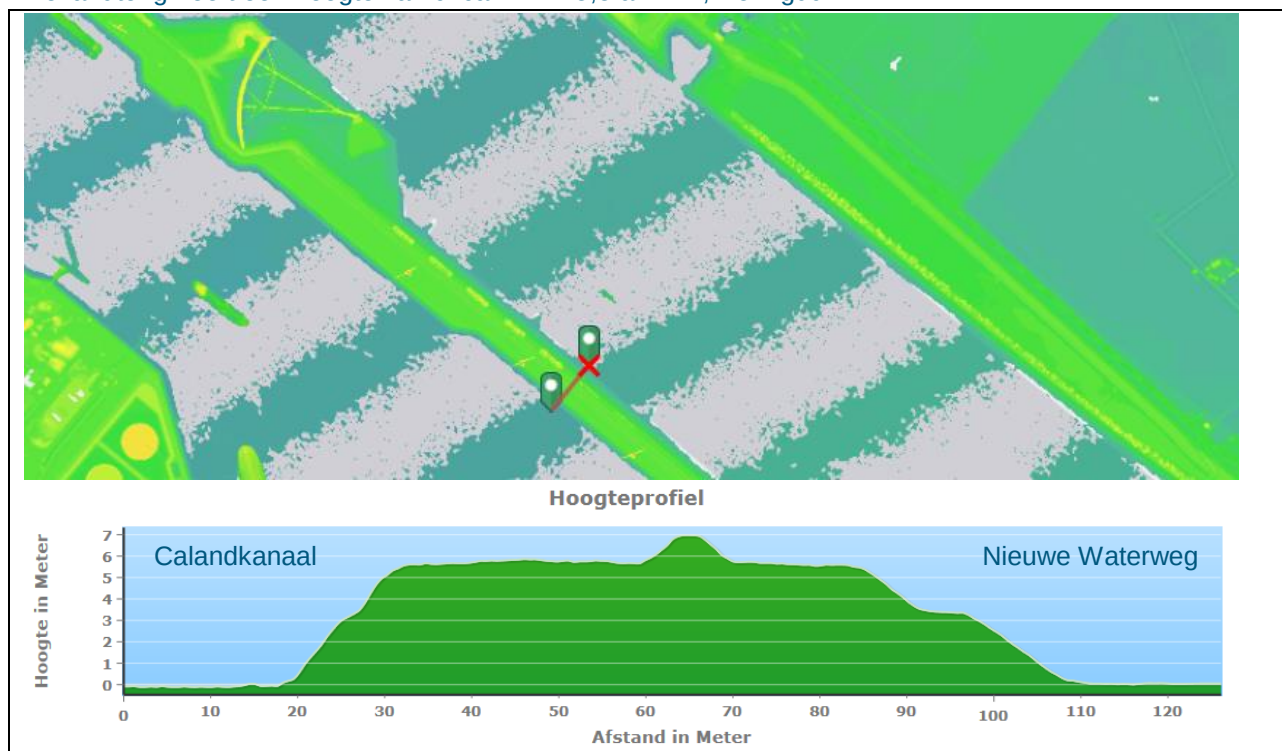
Het plan voor Windpark Landtong Rozenburg betreft de aanleg van 8, 12 of 13 windturbines (afhankelijk van te kiezen alternatief) op de landtong aan de zuidzijde van de Nieuwe Waterweg. Vijf of drie turbines zijn voorzien aan de Noordzee-zijde van de stormvloedkering, de overige aan de rivierzijde (Rozenburg) hiervan. In de huidige situatie bevindt zich al een aantal windturbines op de landtong, zie Figuur 2-1 en paragraaf 2.5.



Figuur 2-1 Bestaande turbines op landtong richting Rozenburg (links) en nabij stormvloedkering (vanuit westen gezien, rechts)

De lengte van de landtong waar de windturbines zijn gepland is circa 5.800 m. De breedte van de landtong bedraagt veelal circa 100 m, het deel waar de 2 of 3 extra turbines zijn voorzien is breder (tot maximaal ca. 400 m).

De landtong heeft een hoogte van circa NAP +5,5 à +7 m, zie Figuur 2-2.



Figuur 2-2 Hoogtegegevens uit AHN2-viewer

2.2 Windparkonderdelen

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

- Windturbine en fundatie;
- Civiele werken: kraanopstelplaats en toegangswegen;
- Elektrische werken: windparkbekabeling.

Windturbine en fundatie

Op dit moment is nog niet bekend welk type windturbine toegepast zal worden. Bij de variantenanalyse wordt gekeken naar 3 typen uit de 3MW-klasse: rotordiameter 100 m, 120 m of 140 m, met ashoogtes van respectievelijk 100 m, 120 m en 140 m.

De fundering zal bestaan uit een ronde funderingsplaat, welke wordt gefundeerd op palen. De afmetingen van de fundering dienen nog ontworpen te worden na keuze van het type windturbine. Een gangbare diameter van een fundering bedraagt circa 15 m. De globale plaatdikte is circa 1,5 m aan de rand en circa 3 m in het midden. De paallengte zal naar verwachting 25 à 30 m bedragen.

Zodra de definitieve toe te passen windturbine is gekozen en de afmetingen van de fundatie bekend zijn, dient te worden geverifieerd of deze vallen binnen de aangehouden afmetingen/gewichten.

Kraanopstelplaats

Naast elke windturbine zal een kraanopstelplaats worden gerealiseerd. De afmetingen hiervan zijn over het algemeen circa 40x60 m².

De kraanopstelplaatsen dienen geschikt te zijn voor belastingen door rupsbanden of kraanstempels. De rekenwaarde van de maximale funderingsdruk bedraagt veelal 250 kPa (na spreiding door schotten). De fundering van de kraanopstelplaatsen is in deze fase nog niet uitgewerkt. Gangbaar is een fundering bestaande uit een laag menggranulaat (0,5 à 1,5 m dikte, afhankelijk van de sterkte van de ondergrond). Meerdere lagen geogrids kunnen worden aangebracht om de laagdikte te minimaliseren. Bij een zeer zettingsgevoelige ondergrond kan een paalfundering nodig zijn, om zettingen te minimaliseren.

Toegangswegen

Transport naar en van de windturbinelocaties zal grotendeel plaatsvinden via de bestaande verhardingen, namelijk de Noordzeeweg en de bestaande verhardingen naar de huidige windturbines. Op een aantal locaties zal een nieuwe op- en afrit naar de weg worden aangelegd. De wegverharding bestaat doorgaans uit een laag menggranulaat van circa 400 mm op een laag geogrid (Tensar Triax TX160 of vergelijkbaar).

Windparkbekabeling

Voor de aansluiting van de windturbines zullen kabels worden aangelegd. De locatie(s) van de bekabeling is (zijn) nog niet bekend. De verwachting is dat de kabels parallel aan de Noordzeeweg zullen lopen, in de berm van de weg.

Voor de diepteligging en tijdelijke ontgraving voor de kabels wordt uitgegaan van een sleuf met een diepte van 1,0 m en een breedte van 0,3 m.

2.3 Projectfasering

In de beoordeling van de invloed van de windparkonderdelen op de functionaliteit van de waterkering zijn de volgende fasen onderscheiden:

- *Bouwfase*: deze fase betreft de realisatie van alle windparkonderdelen, waaronder het ontgraven ten behoeve van de fundering, het inbrengen van de palen, storten van beton en ontgravingen ten behoeve van de bekabeling;

- *Gebruiksfas*e: het operationeel zijn van alle windparkonderdelen. De beoogde planperiode bedraagt 20 jaar;
- *Verwijderingsfas*e: deze fase betreft het na de gebruiksfase, deels of volledig, verwijderen van de windparkonderdelen. Voor de verwijdering van de windturbinefundering is er vanuit gegaan dat de paalfundering gehandhaafd blijft.

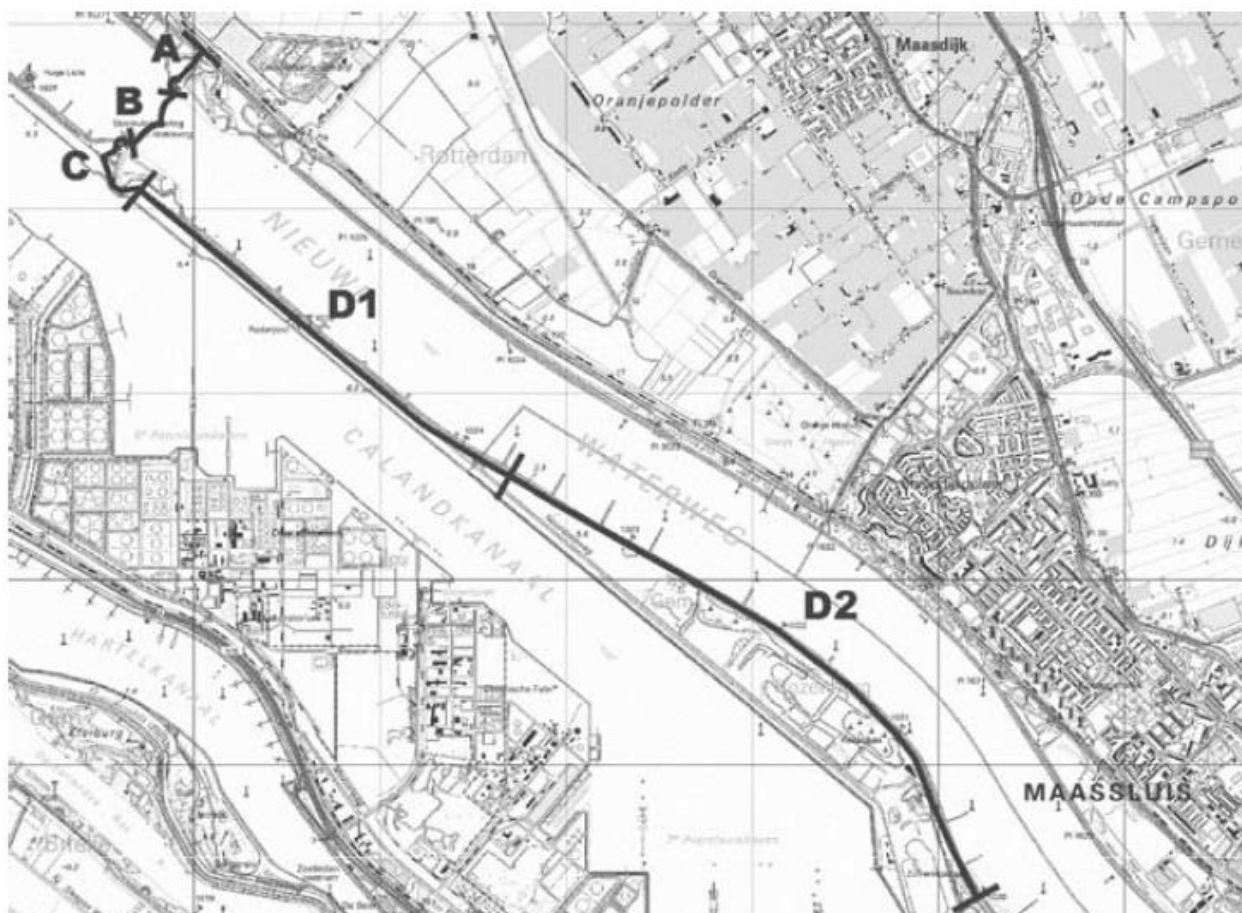
2.4 Waterkering

De te beoordelen waterkering Europoort I is onderdeel van dijktraject 208, zie Figuur A- 2 in bijlage A1. De waterkering is in beheer bij RWS. De totale lengte van het traject bedraagt 7,3 km.

Traject 208 vormt, samen met dijktraject 19-1 (Rozenburg) en traject 209 (Hartelkering), de verbinding tussen dijkkring 14 (Zuid-Holland, in beheer bij Hoogheemraadschap Delfland) en dijkkring 20 (Voorne-Putten, in beheer bij waterschap Hollandse Delta). De waterkering keert hoogwater vanuit de Noordzee (in het Calandkanaal).

Uit de Legger van RWS [Ref 1] blijkt dat het te beschouwen deel van de kering (Europoort I –EPK-1) als secties D1 en D2 worden aangeduid, zie Figuur 2-3.

De kernzone van de kering is aangegeven in Figuur A- 4 in bijlage A2. Ten zuidoosten van de stormvloedkering is de landtong over de gehele breedte onderdeel van de kernzone, tot de verbreding waar de 3 nieuwe turbines zijn gepland. Het deel van de landtong ten noordwesten van de stormvloedkering is geen onderdeel van de kernzone.



Figuur 2-3 Overzicht sectie indeling kering 208 (uit [Ref 1])

2.5 Bestaande windturbines

In 2007 is ter plaatse van de landtong Rozenburg een windpark aangelegd met 10 turbines. Onderstaand zijn de voor de geotechnische analyse relevante kenmerken van de bestaande windturbines opgenomen, gebaseerd op informatie uit [Ref 8] en [Ref 9]:

- De bestaande 10 windturbines bevinden zich aan de buitenzijde van de landtong. Turbines 1 t/m 5 bevinden zich ten westen van de stormvloedkering, buiten de kern- en beschermingszone van de kering. Turbines 6 t/m 10 bevinden zich op de buitenberm van de waterkering;
- De bestaande fundering bestaat uit een plaat van 15x15 m². De plaats is gefundeerd op vibropalen $\phi 406$ mm met een inheinniveau NAP -35 m. De bovenzijde van het funderingsblok is op NAP +5,8 m en de onderzijde op NAP +3,8 m.. Uitgangspunt is dat de palen verticaal staan (geen indicatie dat schoorpalen zijn geadviseerd);
- Locatie 6 bevindt zich ter plaatse van het bredere deel van de landtong, net ten oosten van de stormvloedkering. De overige locaties bevinden zich ter plaatse van het smallere deel van de landtong. Uit het bovenaanzicht blijkt dat de fundering zich direct naast de knik in het buitentalud bevindt, de rand van de fundering is circa 15 m uit de buitenteen.

In de Wbr vergunning voor de aanleg van het bestaande windpark is opgenomen dat *'bij gehele of gedeeltelijke wijziging, vernieuwing of opruiming van de werken' de 'materialen die krachtens deze vergunning in de bodem aanwezig zijn, door of vanwege de vergunningshoudergeheel uit de bodem worden verwijderd'*.

Hoewel in de vergunning voorgeschreven, wordt afgeraden de bestaande palen te verwijderen. Ter plaatse van waterkeringen wordt (veelal) een fundering met een grondverdringend paalsysteem voorgeschreven, zodat de invloed van (het inbrengen) van de palen op de waterkering wordt beperkt. Bij het verwijderen van funderingspalen kan eveneens grond meekomen, dat leidt tot verzwakking van het buitentalud. Daarnaast kan door de holle ruimte eventueel een (nieuw) intredepunt worden gevormd voor piping.

3 Eisen voor de waterkering

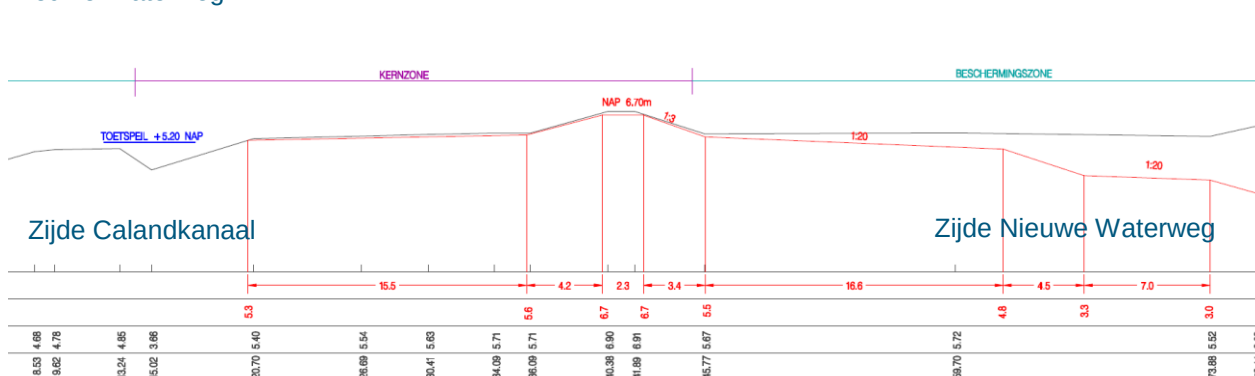
3.1 Zonering waterkering

In de beleidsregels voor het bouwen van windturbines in, op of over een waterkering [Ref 7] zijn eisen opgenomen ten aanzien van de veiligheid, robuustheid en beheer en onderhoud van primaire waterkeringen. Eisen zijn in veel gevallen gekoppeld aan de specifieke waterkeringszonering.

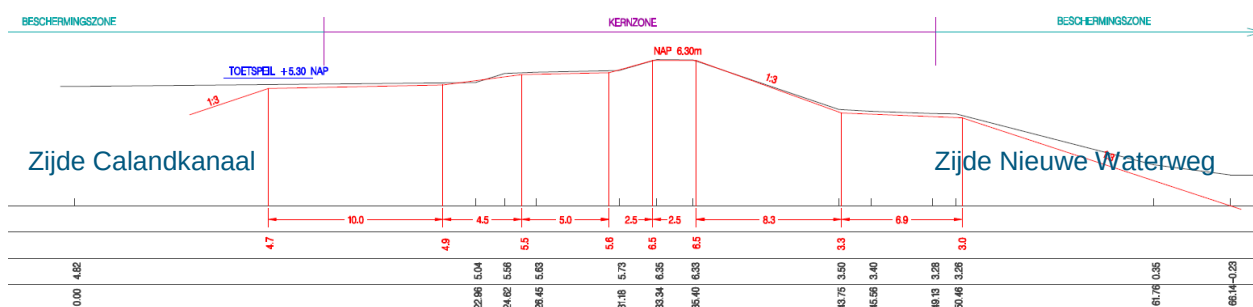
Onderstaand zijn de profielen van secties D1 en D2 opgenomen, zie ook bijlage A3. De kenmerken ten aanzien van de zonering zijn als volgt:

- Sectie D1: kernzone is 31 m breed, buitenberm is over een breedte van 15,5 m opgenomen in de legger, met een hoogte van NAP +5,4 à +5,7 m;
- Sectie D2: kernzone is 34 m breed, buitenberm is over een breedte van 19,5 m opgenomen in de legger, met een hoogte van NAP +4,7 à +5,6 m.

De beschermingszone is normaal gesproken 30 m breed, maar in dit geval is bij secties D1 en D2 een veel grotere afstand aangehouden, vanwege de diepte van het Calandkanaal en de Nieuwe Waterweg. De aangehouden breedte is hier 90 m aan de zijde van het Calandkanaal en 60 m aan de zijde van de Nieuwe Waterweg.



Figuur 3-1 Profiel sectie D1 Europoort 1



Figuur 3-2 Profiel sectie D2 Europoort 1

3.2 Normspecificatie

De normspecificatie voor de primaire waterkering, uitgedrukt in een overstromingskans per dijktraject, is conform [Ref 4] voor traject 208 vastgesteld op 1:100.000 per jaar (signaleringswaarde). De Maximaal Toelaatbare kans is een factor 3 groter dan de normspecificatie (afgerond op de dichtstbijzijnde

normklasse) en is hier 1:30.000 per jaar. Uitgangspunt is, op dit moment, dat wordt getoetst aan de *signaleringswaarde*.

3.3 Eisen ten aanzien van veiligheid

Voor de waterkering gelden de volgende eisen:

- Plaatsing van windturbines in de kern- en de beschermingszone van de primaire waterkering wordt slechts toegestaan mits dit geen negatieve gevolgen heeft voor de waterkerende functie van de primaire waterkering;
- De veiligheid van de waterkering dient gewaarborgd te zijn bij de in paragraaf 3.2 genoemde norm (in overleg met RWS is uitgegaan van de signaleringswaarde);
- De ontwerplevensduur voor de windturbines is vastgesteld op 20¹ jaar. Dit betekent dat hoogte en stabiliteit van de kering voor een periode van minimaal 20 jaar gewaarborgd dient te zijn.

3.4 Eisen ten aanzien van robuustheid

Ten aanzien van de robuustheid (toekomstvastheid) gelden de volgende eisen:

- Uitgangspunt is dat een ontwerpwaterstand moet worden aangehouden die verwacht wordt aan het einde van de technische levensduur van 20¹ jaar. Dit is verder uitgewerkt in paragraaf 4.5;
- Constructies inclusief funderingen mogen het profiel van vrije ruimte en de waterkering niet doorsnijden. Bovenop het profiel van vrije ruimte zijn zij wel toegestaan. Paalfundaties van bouwwerken mogen buiten de kernzone het profiel van vrije ruimte wel doorsnijden, mits een grondverdringend paalsysteem wordt toegepast.

3.5 Eisen ten aanzien van beheer en onderhoud

Voor de waterkering gelden de volgende eisen:

- Werken mogen niet belemmerend zijn voor inspectie, monitoring of het algehele beheer van de waterkering;
- Het uitvoeren van het onderhoud van de kering moet op een doelmatige wijze mogelijk blijven;
- Het gebruik van de waterkering mag niet ten koste gaan van de kwaliteit van de grasmat en/of overige bekledingstypen.

¹ Opgemerkt wordt dat voor het ontwerpen van waterkeringen veelal wordt uitgegaan van een ontwerplevensduur van 50 jaar voor groene keringen en 100 jaar voor constructies.

4 Uitgangspunten en randvoorwaarden

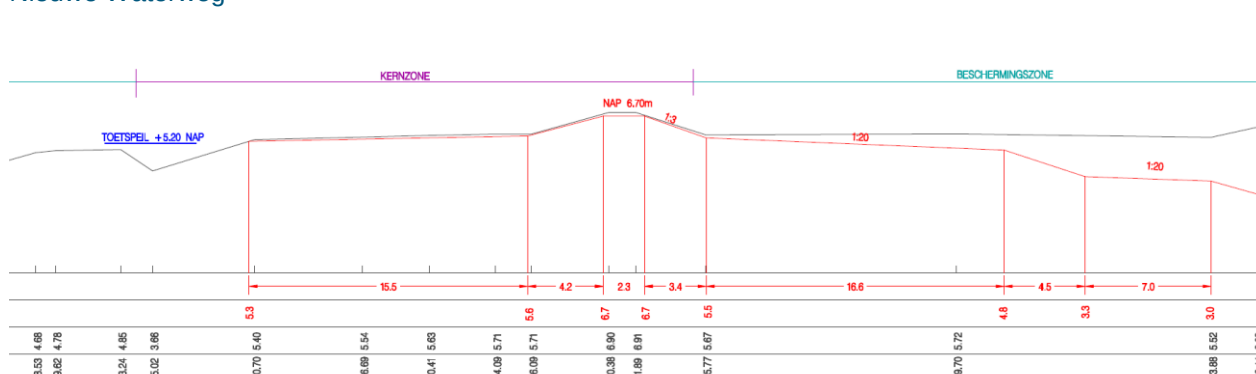
4.1 Beschikbare informatie

Ten behoeve van de beoordeling van de effecten van de windturbine op de waterveiligheid is de waterkering geschematiseerd. Hierbij is gebruik gemaakt van de volgende onderzoeken en gegevens:

- Beschikbaar grondonderzoek:
 - Sonderingen ter plaatse van de bestaande en beoogde turbine locaties (Fugro, 2004, 2015 en 2016), zie bijlage A5;
 - Boringen ter plaatse van de landtong, zie bijlage A4;
- Informatie over grondparameters uit rapport van Fugro [Ref 2];
- Informatie over de kering uit leggerdocumenten [Ref 1].

4.2 Geometrie kering

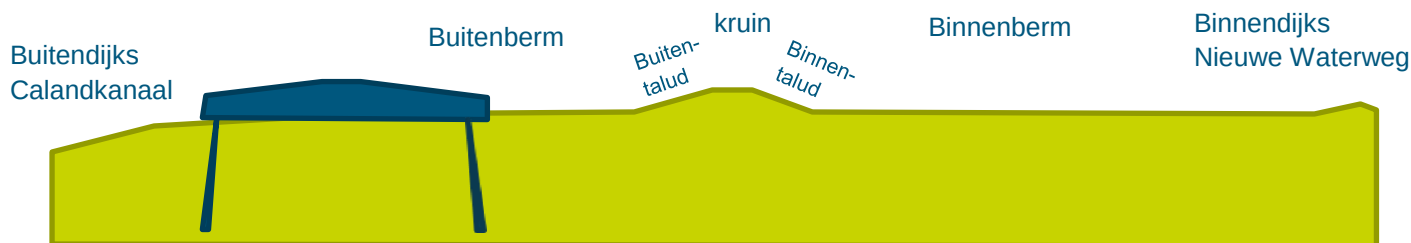
Voor de analyse van de waterkering zijn twee doorsnedes beschouwd: één ter plaatse van D1, zie De beschermingszone is normaal gesproken 30 m breed, maar in dit geval is bij secties D1 en D2 een veel grotere afstand aangehouden, vanwege de diepte van het Calandkanaal en de Nieuwe Waterweg. De aangehouden breedte is hier 90 m aan de zijde van het Calandkanaal en 60 m aan de zijde van de Nieuwe Waterweg



Figuur 3-1, en één ter plaatse van D2 (zie Figuur 3-2). Op basis van de legger en de in paragraaf 3.1 opgenomen profielen is uitgegaan van de volgende afmetingen van de waterkering:

	Profiel D1	Profiel D2
Kruinhoogte (tevens legger)	NAP +6,7 m	NAP +6,3 m
Kruinbreedte	2,3 m	2,5 m
Buitentalud helling	Ca. 1:4	Ca. 1:3
Buitenberm	NAP +4,7 à +5,7 m; 27,5 m breed	NAP +4,7 à +5,6 m; >29,5 m breed
Binnentalud helling	Ca. 1:3	Ca. 1:3
Binnenberm (legger)	NAP +3,0 à +5,5 m; 28,1 m breed	NAP +3,0 à +3,3 m; 6,9 m breed
Binnenberm werkelijk	NAP +4,7 à +5,7 m; 34 m breed	NAP +3,3 à +3,5 m; 6,7 m breed

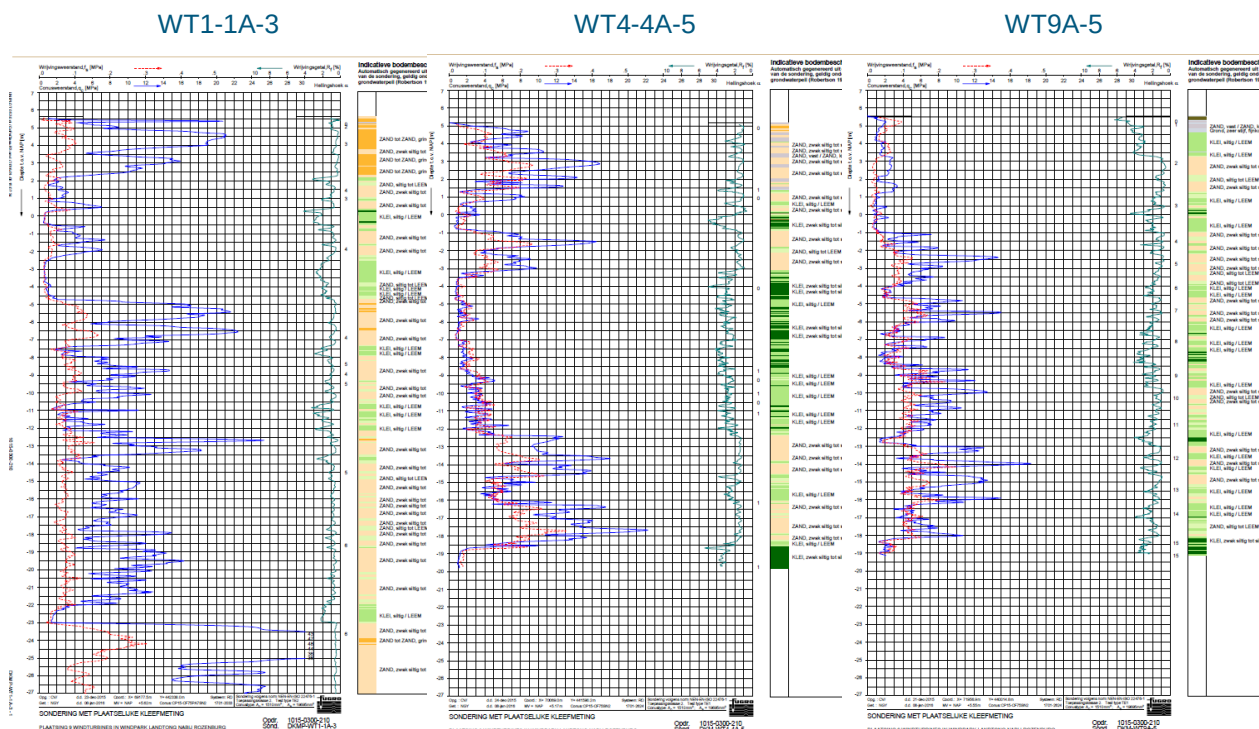
De toekomstige windturbines zijn voorzien aan de buitenzijde van de kering (zijde Calandkanaal), op geringe afstand uit de buitenteen, zie schematische weergave in onderstaande figuur (Figuur 4-1). De exacte locatie van het fundament moet nog worden ontworpen. Vanuit de voorwaarden geldt dat de onderzijde van het fundament buiten het leggerprofiel moet blijven.



Figuur 4-1 Locatie Windturbine fundatie ten opzichte van kering

4.3 Bodemopbouw

Uit de resultaten van de sonderingen en boringen blijkt dat de ondergrond op de projectlocatie zeer heterogeen is en bestaat uit een afwisseling van zand- en kleilagen. Vanaf maaiveld (NAP +5 à +6 m) wordt meestal een zandlaag (dijksmateriaal) aangetroffen, los tot vast gepakt, vaak siltig. Vervolgens is een wisselende opbouw aanwezig met matig vast zand en kleiige lagen. De kleilagen zijn vaak 1 à 2 m dik, maar aaneengesloten kleiige pakketten van enkele meters komen ook voor. Ter plaatse van de noordelijk gelegen turbines (noordwestelijke zijde van de stormvloedkering) is de ondergrond wat zandiger dan de zuidoostelijk gelegen turbines. Vanaf NAP -17 à -23 m komen vast gepakte zandlagen voor. In Figuur 4-2 is een drietal voorbeelden van sondeerresultaten opgenomen.



Figuur 4-2 Voorbeelden van sonderingen op projectlocatie

4.4 Grondparameters

In

Tabel 4-1 zijn de grondparameters voor de verschillende lagen gepresenteerd. Deze zijn voor de huidige kwalitatieve beoordeling niet relevant, maar vast opgenomen om als uitgangspunt te kunnen worden besproken met RWS.

De grondparameters voor de stabiliteitsberekeningen zijn bepaald op basis van de resultaten van het grondonderzoek, tabel 2.b uit de Eurocode, Handreiking ontwerpen met overstromingskansen (OI2014V4, RWS 2017), gangbare waarden uit de Schematiseringshandreiking Macrostabiliteit (RWS-WVL, 2016) en ervaring.

Tabel 4-1 Grondparameters (karakteristieke waarden)

grondsoort	Volumieke massa [kN/m ³] Verzadigd/droog	Mohr Coulomb model		CSSM model		
		Wrijvingshoek [°]	Cohesie [kPa]	m [-]	S [-]	OCR
Klei, siltig, matig vast	17/17	22,5	5	0,9	0,25	1,1
Klei, lemig, vast	18/18	22,5	5	0,9	0,25	1,1
Zand, los/matig gepakt	19/17	30	0	-	-	-
Zand, matig/vast gepakt	20/18	32,5	0	-	-	-
Zand, kleiig en/of klei, zandig	19/17	27	0	-	-	-

4.5 Hydraulische belastingen

4.5.1 Waterstanden Calandkanaal

De hydraulische belastingen zijn afgeleid conform het document 'Werkwijze bepaling hydraulische ontwerprandvoorwaarden' (Deltares, 2016). Deze werkwijze sluit aan bij het OI2014 [Ref 4].

De waterstanden zijn afgeleid voor het zichtjaar 2050 met behulp van het programma Hydro-NL. De resultaten zijn opgenomen in onderstaande tabel en bijlage A8.

Tabel 4-2 Hydraulische belasting ten behoeve van beoordeling behorende bij signaleringswaarde (norm 1/100.000 per jaar)

	Sectie D1	Sectie D2
Geotechnische beoordeling Norm 1/100.000 per jaar	NAP +6,85 m	NAP +6,9 m
Beoordeling hoogte (oploophoogte bij golfoverslag van 10 l/s/m, situatie 1/416.667 per jaar))	NAP +8,89	NAP +8,93

Opgemerkt wordt dat in de huidige situatie de waterkering onvoldoende hoog is, bij golfoverslag van 10 l/s/m.

Voor de maximale dagelijkse omstandigheden (voor de bouw- en gebruiksfase) wordt uitgegaan van de volgende gemiddelde hoogwaterstand: NAP +1,3 m, zie bijlage A6.

4.5.2 Waterstanden Nieuwe Waterweg

Voor de waterstand op de Nieuwe Waterweg is voor de hoogwatersituatie uitgegaan van NAP +2,1 m, zie bijlage A8.

Onder dagelijkse omstandigheden is de waterstand aangehouden op NAP +0,9 m.

4.5.3 Grondwaterstanden

Er zijn geen peilbuismetingen beschikbaar in het projectgebied. Door Fugro is aangegeven dat de grondwaterstand in het gebied een niveau van circa NAP +2 m heeft. Gezien de waterstand in normale situatie van circa NAP +0,9 m en de zandige bodem van de landtong, wordt een opbolling van circa 1 m reëel geacht.

4.6 Faalkanseisen

De signaleringskans is uitgesplitst naar verschillende faalmechanismen. Dit resulteert in faalkanseisen per faalmechanisme. Voor de effectbeoordeling wordt de standaard faalkansruimteverdeling aangehouden, zoals opgenomen in [Ref 4]. Voor de te beschouwen kering gelden dan de volgende faalkansruimtefactoren per mechanisme:

- Overloop en golfoverslag (HT): 0,24
- Opbarsten en piping: 0,24
- Macrostabieliteit binnenwaarts: 0,04
- Bekleding en erosie dijklichaam: 0,10

De faalkanseisen ($P_{eis,dsn}$) zijn dan als volgt (zie bijlage A7):

- Macro stabiliteit binnenwaarts: 1/14.545.000 per jaar
- Macro stabiliteit buitenwaarts: 1/1.454.500 per jaar
- Piping: 1/4.472.222 per jaar

4.7 Belastingen

4.7.1 Belastingen tijdens de bouwphase

Werkzaamheden welke van invloed kunnen zijn op de veiligheid van de waterkeringen zullen plaatsvinden buiten het gesloten stormseizoen en daardoor niet gelijktijdig plaatsvinden met maatgevende hydraulische belastingen.

Kruinbelasting

Uitgangspunt is dat tijdens de bouwphase geen bovenbelasting op de kruin van de waterkering aanwezig is.

Belasting kraanopstelplaats

De kraanbelastingen bevinden zich aan de buitenzijde van de waterkering, op de buitenberm. Deze belastingen hebben een gunstig (tegenwerkend) effect op de stabiliteit van de kering. In de beschouwing is om deze reden geen rekening gehouden met de kraanbelastingen.

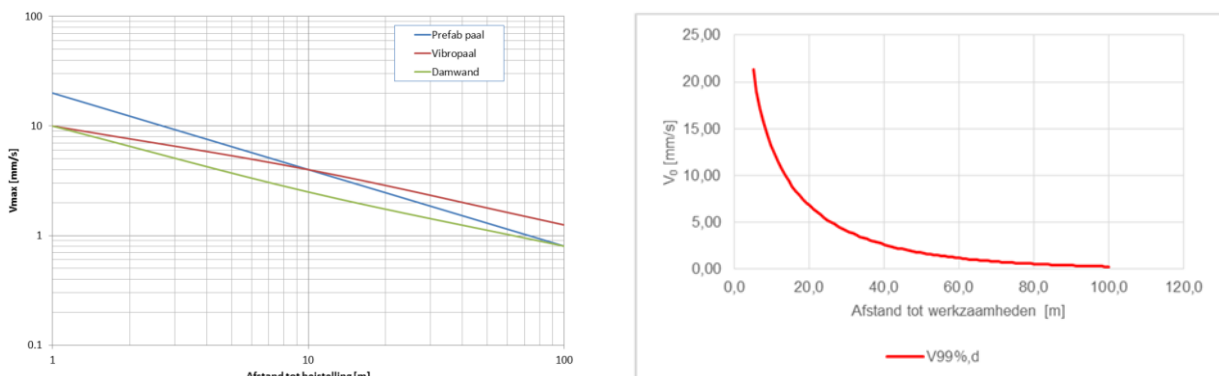
Grondversnellingen door heien

Voor de fundering van de windturbines wordt uitgegaan van grondverdringende palen die heidend op diepte worden gebracht, zoals prefab beton palen of vibropalen.

Doorgaans is de dominante frequentie (f) bij heien van prefab betonpalen 10 à 15 Hz en van vibropalen 20 à 25 Hz. De te verwachten trillingssnelheden zijn afhankelijk van de ondergrond, hei-energie en de afstand tot de heistelling. Om een inschatting te maken van de te verwachten trillingen zijn de methodes IFCO (Muller) en CUR166 'Damwandconstructie' toegepast.

Door Muller zijn op basis van monitoringgegevens de verwachtingswaarden voor de trillingssnelheden bepaald, zie figuur 4-3.

In CUR166 kan voor verschillende Nederlandse grondprofielen op basis van de potentiële hei-energie een inschatting worden gemaakt van de grondversnellingen. Voor de grondkarakteristieken is het grondprofiel van Amsterdam aangenomen. De trillingssnelheid voor een slagenergie van 110 kN (globale inschatting) en 1% kans van overschrijding is weergegeven in figuur 4-3.

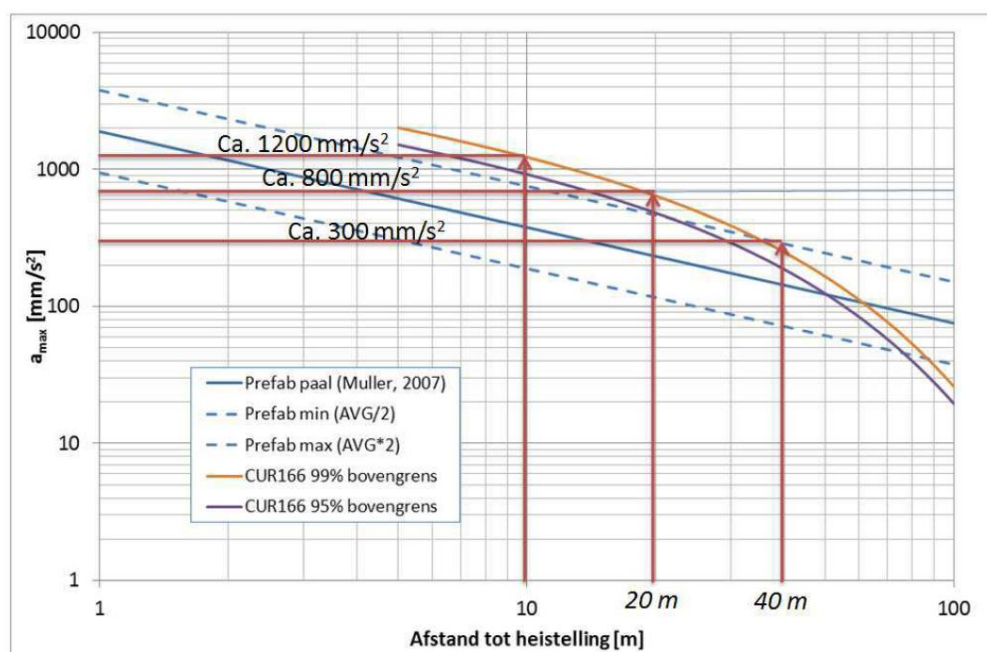


Figuur 4-3 Inschatting trillingssnelheden conform Muller (links) en CUR166 (rechts)

Op basis van de verwachte trillingssnelheden is de bijbehorende grondversnelling bepaald volgens:

$$a_{\max} = (2 \times \pi \times f) \times v_{\max}$$

De grondversnellingen op basis van beide methoden zijn grafisch weergegeven in figuur 4-4.



Figuur 4-4 Verwachte grondversnellingen

Duidelijk blijkt dat de versnellingen in de ondergrond het grootst zijn bij de heipaal en snel afnemen met de afstand.

Bij een afstand tussen de fundering en het buitentalud van 10 m, is de grondversnelling, op basis van bovenstaande figuur 4-4, 1200 mm/s², ofwel 1,2 m/s².

In de volgende fase, bij de kwalitatieve analyse, worden stabiliteitsberekeningen met het programma D-Geo Stability uitgevoerd. Hierbij wordt deze grondversnelling opgelegd als een aardbevingscomponent. Aangezien in de berekeningsmodellen de versnellingscomponent voor het gehele grondprofiel geldt, is dit een conservatieve modellering. Er wordt geen rekening gehouden met demping.

Voor de stabiliteit is een horizontale versnelling ongunstiger dan een verticale versnellingscomponent. Op korte afstand is de horizontale trillingsrichting dominant. Op een afstand tot de trillingsbron van 1,5 à 2 maal de paallengte (circa 50 à 60 m) wordt de verticale trillingsrichting dominant. Op korte afstand tot de trillingsbron varieert de verticale component tussen 0,5 en 1,0 maal de horizontale component. In dit geval zijn de horizontale en verticale component aan elkaar gelijk gesteld.

Wateroverspanningen

Naast versnelling zal als gevolg van heien een relatieve wateroverspanning kunnen optreden in de ondergrond. De wateroverspanning in zandlagen bedraagt zelden meer dan 20% van de verticale korrelspanning. Na enkele uren is de wateroverspanning weer verdwenen (Deltares, 2016).

Vanwege de zandige opbouw van de waterkering en de ondergrond zullen wateroverspanningen snel afnemen bij toenemende afstand tot de paal. Wateroverspanningen komen beperkt voor in een zone van enkele meters rondom de paal. Doorgaans is de invloed van de relatieve waterspanningen op een afstand van meer dan 10 m van de paal verwaarloosbaar klein.

De afstand tussen het talud en het fundament is voor de te beschouwen locaties minimaal 10 m, er is geen rekening gehouden met wateroverspanningen.

4.7.2 Belastingen tijdens de gebruiksfase

Kruinbelasting

Voor de gebruiksfase wordt uitgegaan van een verkeersbelasting op de kruin tijdens een calamiteit. Conform het Technische Rapport Waterkerende Grondconstructies wordt uitgegaan van een verkeersbelasting van 13,3 kPa over een strookbreedte van 2,5 m.

Trillingsintensiteit tijdens gebruik windturbines

Tijdens de gebruiksfase ontstaan trillingen in de ondergrond door het draaien van de rotorbladen, door de variaties in windsnelheid en door de trillingen in de constructie. Deze trillingen leiden tot toename van de belasting op de ondergrond door grondversnellingen.

Onderscheid wordt gemaakt in de volgende omstandigheden:

- **Dagelijkse omstandigheden met gemiddelde windsnelheden:** voor dagelijkse omstandigheden wordt in stabiliteitsberekeningen uitgegaan van een maximale horizontale en verticale grondversnelling van **0,04 m/s²**, zie kader voor toelichting;
- **Extreme omstandigheden met hoge windsnelheden:** voor een windturbine op een waterkering moet verondersteld worden dat de extreme stormsituatie kan optreden bij hoogwater. Dit betekent dat uitgegaan moet worden van een windsnelheid in de range van 30-45 m/s. Bij deze stormsituatie wordt de turbine uitgeschakeld. De rotor staat dan stil, zodat deze draaiing geen bijdrage meer levert aan de trillingen. De invloed van het roteren van de rotor is beperkt. In een onderzoek door Deltares (Hölscher, 2016) is afgeleid dat voor deze omstandigheden de gemiddelde trillingssnelheid in de bodem in de orde van 5 mm/s zal zijn, met een hoge waarde van 8-10 mm/s. De frequenties liggen in de range van 0,2-5 Hz. Dit leidt tot een maximale versnelling van circa 0,3 m/s² nabij de funderingsplaat. Uit metingen is gebleken dat de verticale component snel afneemt bij toenemende afstand. De horizontale trillingen nemen veel minder snel af. In de berekeningen is daarom uitgegaan van:
 - **Horizontaal: 0,3 m/s²**
 - **Verticaal: 0,15 m/s²**

De waarde van de grondversnelling onder dagelijkse omstandigheden is gebaseerd op beschikbare metingen bij andere projecten (Fugro, 2012 en Deltares, Hölscher, 2016). De versnellingen zijn gemeten op het fundament nabij opgestelde 3 MW turbines in de Afrikahaven te Amsterdam (2008) en nabij Noordland op de Neeltje Jans (2009). Door Deltares zijn in 2016 metingen verricht bij een windturbine in Gouda. De metingen van Fugro zijn verricht bij lage en gemiddelde windsnelheden tot circa 14 m/s (windkracht tot 6 Bft). De gemeten waarden voor de versnellingen waren:

	Noordland	Afrikahaven
a_{hor}	0 tot 0,025 m/s ²	0,01 tot 0,035 m/s ²
a_{vert}	0,02 tot 0,075 m/s ²	0,015 tot 0,05 m/s ²

Bij metingen door Deltares bij Gouda bedroeg de gemiddelde windsnelheid 14-16 m/s en de maximale windsnelheid 22-24 m/s. De grootste gemeten trillingssnelheid op de fundering is 4 mm/s geweest. De trillingen in de grond waren gemiddeld 1-2 mm/s, met een maximale snelheid van 3 mm/s. Trillingen namen duidelijk af bij toenemende afstand. Dominant voor de horizontale trillingen is de frequentie van 3 Hz. Hierbij bedraagt de versnelling 0,04 m/s².

Daarnaast zijn door Fugro in 2016 trillingsmetingen uitgevoerd rondom een 6MW windturbine nabij de Eemshaven. Op circa 15 m afstand waren aan maaiveld en op diepte nagenoeg geen verhogingen meer waarneembaar ten opzichte van de achtergrondtrillingen. De grootste versnellingen traden op bij opstarten/noodstops, waarbij waarden van 0,015 tot 0,03 m/s² zijn gemeten.

In de stabiliteitsberekeningen (voor deze kwalitatieve analyse niet relevant) wordt voor het gehele grondmodel een gelijke versnelling opgelegd, zonder rekening te houden met demping. Dit is een conservatieve aanname.

4.7.3 Belastingen tijdens de verwijderingsfase

Net als bij het heien zullen sloopwerkzaamheden plaatsvinden buiten het gesloten stormseizoen en daardoor niet gelijktijdig plaatsvinden met maatgevende hydraulische belastingen.

Kruinbelasting

Tijdens de verwijderingsfase is er vanuit gegaan dat er geen bovenbelasting op de kruin aanwezig is.

Belasting kraanopstelplaats

De kraanbelastingen bevinden zich aan de buitenzijde van de waterkering op de (hoge) buitenberm. De belastingen hebben een gunstig (tegenwerkend) effect op de stabiliteit. In de stabiliteitsberekeningen is om deze reden geen rekening gehouden met de kraanbelastingen.

Grondversnellingen door slopen fundament

Voor de verwijdering van het blok van de windturbine funderingen zal als hoofdmaterieel gebruik worden gemaakt van een hydraulische graafmachine met een sloophamer. Deze draait doorgaans met 310-390 toeren/min, ofwel een frequentie van 5 à 6 Hz. Bij deze frequentie wordt een versnelling verwacht van circa horizontaal 300 mm/s² (**0,3 m/s²**) en verticaal 150 mm/s² (**0,15 m/s²**). Door demping zal deze versnelling ter plaatse van de waterkering geringer zijn. Conservatief is hier geen rekening mee gehouden. De te verwachten versnelling is vergelijkbaar met het heien van palen op circa 40 m afstand en met de windturbine tijdens extreme windcondities.

4.7.4 Monitoring belastingen

Opgemerkt wordt dat de werkelijk optredende trillingen onzeker zijn. Aanbevolen wordt om in de definitieve ontwerp- en planningsfase een monitoringsplan op te stellen, waarin de trillingen ter plaatse van het fundament en het talud worden gemeten. De metingen dienen te worden verricht voorafgaand aan de bouw (nul-meting), tijdens de bouw en tijdens de exploitatie. Hierbij kunnen tevens metingen van de wateroverspanning worden uitgevoerd.

4.8 Partiële veiligheidsfactoren

Voor het afleiden van de partiële veiligheidsfactoren wordt verwezen naar bijlage A7. Een overzicht is gegeven in onderstaande tabel.

Deze factoren zijn voor deze kwalitatieve beoordeling niet relevant, maar ten behoeve van afstemming opgenomen.

Tabel 4-3 schadefactoren

model	Mohr-Coulomb	CSSM
STBI (Bishop)	$\gamma_n = 1,16$	$\gamma_n = 1,20$
STBU (Bishop)	$\gamma_n = 1,11$	$\gamma_n = 1,13$
Piping	$\gamma_{pip} = 1,08$	

Tabel 4-4 modelfactoren

rekenmodel	Mohr-Coulomb	CSSM
Bishop	1,00	1,11
LiftVan	0,95	1,06
Spencer-Van der Meij	0,95	1,07
EEM met MC	1,00	

Tabel 4-5 materiaalfactoren

parameter	Mohr-Coulomb	CSSM
Volumieke massa	1,0	1,0
Cohesie		1,0
Klei	1,25	
Veen	1,50	
Inwendige wrijving (op tan)		1,0
Klei	1,20	
Veen	1,25	
zand	1,20	
samendrukkingsconstanten	1,1	1,0

Tabel 4-6 schematiseringsfactoren

	Mohr-Coulomb	CSSM
Waarde tussen 1,0 en 1,3	Bepalen conform TRGS (Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren)	

5 Kwalitatieve beoordeling ondergrondse effecten

5.1 Bewezen sterkte waterkering in relatie tot trillingen

Het beschouwen van mogelijke effecten van de windturbines op de waterveiligheid is in de volgende paragrafen bepaald voor de aanleg, het gebruik en het verwijderen van de nieuwe turbines.

Ter plaatse van de te beschouwen locaties bevinden zich al windturbines én zijn diverse waterbouwkundige werken uitgevoerd. Onderstaand is een overzicht gegeven van de activiteiten welke van invloed zijn geweest op de waterkering.

1. Bestaande windturbines:

De huidige windturbines zijn in 2007 gebouwd en bevinden zich op nagenoeg dezelfde locaties als de te realiseren windturbines. De bestaande windturbines zijn op palen gefundeerd welke volgens [Ref 2] heidend op diepte zijn gebracht. Hierbij zijn geen schades waargenomen [Ref 2]. Voor zover bekend is de geometrie van de landtong niet recent gewijzigd. Tijdens gebruik van de windturbines zijn geen noemenswaardige schades waargenomen;

2. Olieschermen:

In de buurt van de windturbines zijn olieschermen aangebracht, in het talud van het Calandkanaal. Royal Haskoning heeft in 2012 een trillingsanalyse uitgevoerd hiervoor. De berekende grondversnellingen waren $0,9 \text{ m/s}^2$ op 2,5 m afstand van de paal, vergelijkbaar met de maximale waarde genoemd in paragraaf 4.7. Voor zover bekend, zijn bij installatie van het scherm geen noemenswaardige schades opgetreden aan de waterkering en het talud;

3. Afmeerpalen:

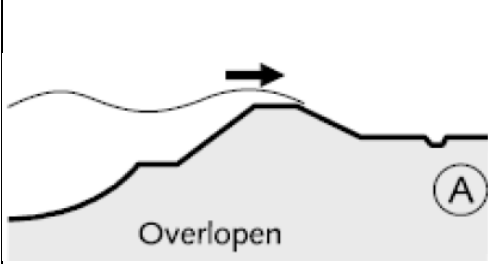
In het talud zijn tevens afmeerpalen geheid. Door Witteveen+Bos is in 2014 een trillingsanalyse uitgevoerd. De berekende versnellingen bedroegen ca. 1 m/s^2 op 5 m afstand van de paal. Ook bij deze activiteiten zijn, voor zover bekend, geen noemenswaardige schades opgetreden aan de waterkering en het talud.

Op basis van bovenstaande activiteiten is de verwachting dat de trilling bij de bouw en gebruik van de nieuwe windturbines, welke van zelfde orde grootte zijn als die in bovenstaand overzicht genoemd, geen noemenswaardige effecten zullen hebben op de waterveiligheid. Onderstaand is dit verder onderbouwd.

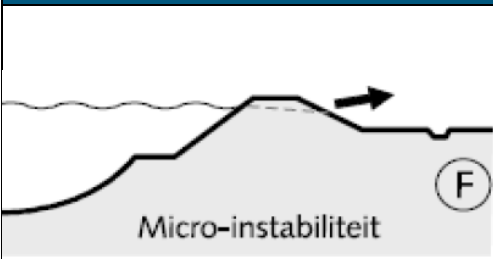
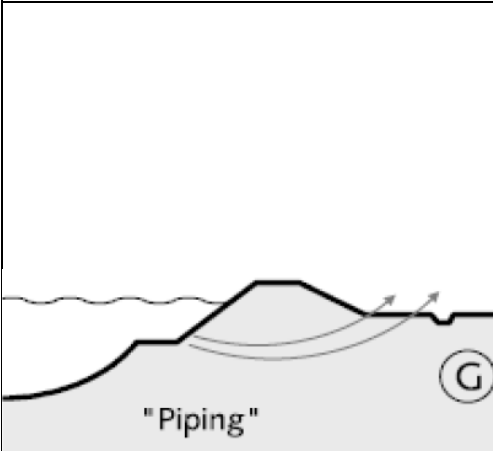
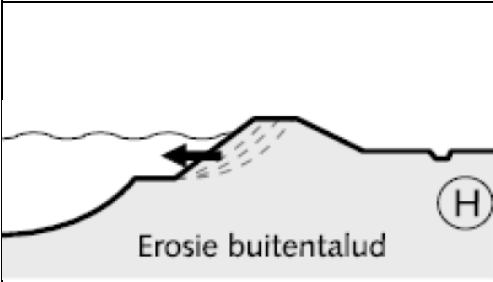
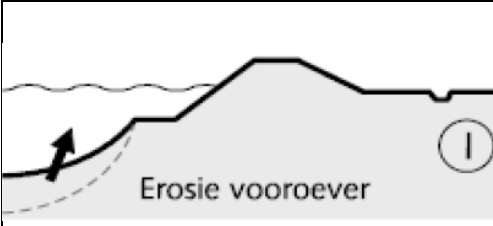
5.2 Relevante faalmechanismen

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, evenals de potentiële effecten op de sterkte van of de belasting op de waterkering, is gegeven in Tabel 5-1.

Tabel 5-1 Omschrijving faalmechanismen (VTV2006)

Faalmechanisme	Omschrijving effecten op belasting/sterkte
	Overlopen betreft inundatie van het dijkgebied door een combinatie van hoge waterstand en golfoverslag zonder dat de waterkering bezwijkt. De weerstand wordt bepaald door de hoogte van de kruin. <u>Effecten</u> <u>Bouwfase:</u> - Afname van de kruinhoogte door verdichting/verweking van de zandige waterkering als gevolg van heitrillingen; - Een tijdelijke open ontgraving voor de kruising van kabels leidt tot een tijdelijke kruinhoogteverlaging.

Faalmechanisme	Omschrijving effecten op belasting/sterkte
	<i>Gebruiksfase:</i> - Afname van de kruinhoogte door verdichting/verweking van de zandige waterkering als gevolg van trillingen van het fundament; <i>Verwijderingsfase:</i> - Afname van de kruinhoogte door verdichting/verweking van de zandige waterkering als gevolg van trillingen tijdens sloop van het fundament.
	Golfoverslag kan leiden tot erosie van de kruin en het binnentalud door de kracht van het stromend water. De belasting wordt gevormd door de hydraulische randvoorwaarden en het daaruit voortvloeiende overslagdebiet. De sterkte wordt bepaald door de erosiebestendigheid van het binnentalud. <u>Effecten</u> <i>Bouwfase:</i> - Door de aanleg van de kabels aan de buitenzijde kan schade optreden aan de grasbekleding met tijdelijk verminderde erosiebestendigheid; - Door aanleg van het fundament aan de buitenzijde kan schade optreden aan de grasbekleding met tijdelijk verminderde erosiebestendigheid <i>Alle fasen:</i> - Net als bij overloop kan in alle fasen een kruinhoogtedaling ten gevolge van verdichting/verweking leiden tot toename van het golfoverslagdebiet en erosie/schade aan de kruin en het binnentalud.
	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. Daarnaast bestaat de belasting uit het gewicht van de waterkering en verkeersbelasting. De sterkte wordt bepaald door de geometrie en het gewicht en de schuifsterkte van de ondergrond. <u>Effecten</u> <i>Bouwfase:</i> - Toename van belasting door trillingen tijdens het heien van palen; - Ontgraving voor een eventuele kabelsleuf evenwijdig aan de waterkering. <i>Gebruiksfase:</i> - Trillingen van het fundament als gevolg van cyclische windbelastingen kunnen leiden tot toename van de grondbelasting; <i>Verwijderingsfase:</i> - Toename van belasting door trillingen tijdens het slopen van het fundament.
	Instabiliteit (afschuiven) van het buitentalud na een snelle daling van de buitenwaterstand. De sterkte wordt bepaald door de geometrie van de waterkering en het gewicht en de schuifsterkte van de ondergrond.. <u>Effecten</u> <i>Bouwfase:</i> - Toename van belasting door trillingen tijdens het heien van palen; - Toename belasting op buitenberm ter plaatse van de kraanopstelplaats en wegen. - Afname sterkte door ontgraving voor kabels en de fundering van de windturbine en kraanopstelplaats. <i>Gebruiksfase:</i> - Trillingen van het fundament als gevolg van cyclische windbelastingen kunnen leiden tot toename van de grondbelasting; <i>Verwijderingsfase:</i> - Toename van belasting door trillingen tijdens het slopen (fundament).

Faalmechanisme	Omschrijving effecten op belasting/sterkte
 Micro-instabiliteit	Instabiliteit van het binnentalud door uittredend kwelwater door het grondlichaam. De belasting wordt bepaald door de buitenwaterstand en de doorlatendheid van het dijklichaam. De sterkte wordt bepaald door de geometrie van de waterkering en de grondopbouw. <u>Effecten</u> De windturbines en bijbehorende werken hebben geen invloed op de grondwaterstroming door de dijk. Ook blijft de opbouw van de kering ongewijzigd. Trillingen zouden kunnen leiden tot toename van de belasting bij afschuiven van de kleibekleding. Doordat aan de binnenzijde een hoge berm aanwezig is, is dit niet relevant.
 "Piping"	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. Op locaties waar een deklaag van klei aanwezig is, is piping een relevant faalmechanisme. <u>Effecten</u> <i>Bouwfase:</i> - Aanleg van kruisende kabel kan leiden tot erosie door kwelstroming langs de kabel; - Ontgraving ten behoeve van aanleg fundament kan een nieuw intredepunt introduceren met kortere kwelweglengte; - Bij doorsteken van de slecht doorlatende grondlagen met funderingspalen kan een nieuwe kwelweg ontstaan. Echter, bij gebruik van grondverdringende palen en een goede aansluiting van de deklaag op het fundament, is de kans hierop minimaal. <i>Gebruiksfasen:</i> - Kruisende kabel kan leiden tot erosie door piping/kwelstroming langs de kabel. - Kiervorming langs palen, waardoor kwelweg wijzigt; <i>Verwijderfasen:</i> - Door het verwijderen van de palen of door betonrot kan kwelwegverkorting optreden.
 Erosie buitentalud	Erosie van het buitentalud of de vooroever door stroming of golfbeweging. Harde objecten, zoals fundaties, in of nabij het buitentalud kunnen leiden tot lokale stroomversnelling en dus toename van de belasting. <u>Effecten</u> <i>Bouwfase:</i> - Bij aanleg van kruisende leiding in een sleuf wordt de bekleding van de dijk tijdelijk verzwakt; <i>Gebruiksfasen:</i> - Het fundament staat op de buitenberm. Erosie rondom het fundament kan eveneens effect hebben op de bekleding. Het aanbrengen van een erosiebestendige aansluiting van de deklaag op het fundament is essentieel.
 Erosie vooroever	Instabiliteit vooroever als gevolg van afschuiving en zettingsvloeiing. Wanneer de grondslag hiervoor gevoelig is, kunnen trillingen of toename van een bovenbelasting op de vooroever deze initiëren. <u>Effecten</u> <i>Alle fasen:</i> De bodemopbouw in dit gebied kan gevoelig zijn voor zettingsvloeiing. Ter plaatse van de beoogde windturbine-locaties is de bodemopbouw echter zeer heterogeen, met een afwisseling van

Faalmechanisme	Omschrijving effecten op belasting/sterkte
	zand en kleilagen. Losgepakte zandlagen komen niet in dikke lagen voor. De lokale bodemopbouw lijkt daarmee niet gevoelig voor zettingsvloeiing. Daarnaast geldt dat trillingen ten gevolge van gebruik van de huidige windturbines en heiwerk voor het oliescherm en meerpalen nabij de locatie voor zover bekend niet hebben geleid tot zettingsvloeiing.

Aan de hand van het voorgaande overzicht kan gesteld worden dat de ontwikkeling van het windpark effect kan hebben op de volgende faalmechanismen:

Tabel 5-2: Relevante faalmechanismen per projectfase met mogelijk effect

Faalmechanisme	Bouwfase	Gebruiksfase	Verwijderingsfase
Overlopen (HT)	Trilling Aanleg kabels	Trilling	Trilling
Golfoverslag (HT)			
Afschuiven binnentalud (STBI)	Trilling	Trilling	Trilling
Afschuiven buitentalud (STBU)	Trilling	Trilling	Trilling
Microstabiliteit (STMI)	-	-	-
Piping (STPH)	Aanleg kabels Aanleg fundament Palen	Palen	Palen
Bekleding (STBK)	Aanleg kabels Aanleg fundament	-	-
Vooroever (STVL)	-	-	-

Deze potentiële faalmechanismen worden hierna nader kwalitatief beoordeeld. De overige faalmechanismen worden in dit rapport niet verder beschouwd. Voor de relevante faalmechanismen volgt in de volgende fase een kwantitatieve beoordeling.

Ten aanzien van piping geldt dat de bekabeling wordt beschouwd als Niet Waterkerende Object (NWO). De bekabeling is zodanig afzonderlijk beschouwd.

5.3 Beoordeling effecten op overloop en golfoverslag (HT)

Voor de huidige situatie geldt dat onder maatgevende omstandigheden de waterstand voor de geotechnische beoordeling enkele decimeters hoger is dan de huidige kruinhoogte. De waterstand voor de beoordeling van de hoogte is ruim 2 m hoger dan de bestaande kruinhoogte.

Een (eventuele) verhoging/verbreding van de waterkering in buitenwaartse richting kan door de locatie(s) van de windturbines worden bemoeilijkt, wellicht zijn *plaatselijk* specifieke technische oplossingen nodig. Verhoging van de waterkering is echter niet onmogelijk door de aanleg van de windturbines.

Tijdens de aanleg van de kruisende kabels in een open ontgraving zal de kruinhoogte tijdelijk worden verlaagd. Bij bouw van de windturbines buiten het stormseizoen is voldoende veiligheidsmarge aanwezig.

Tijdens de aanleg van de kabels en het fundament zijn werkzaamheden voorzien die de sterkte van de bekleding kunnen aantasten. Tijdens de uitvoering van de graaf- en aanvulwerkzaamheden zal ervoor

moeten worden gezorgd dat de grond goed wordt verdicht, goed aanvulmateriaal wordt gebruikt en de profielopbouw en grasbekleding zoveel mogelijk wordt hersteld. Daarnaast dient een erosiebestendige aansluiting van de deklaag op het fundament te worden gerealiseerd.

De ondergrond is niet gevoelig voor verweking/verdichting. Er wordt daarom geen afname van de kruinhoogte verwacht.

Op basis van het voorgaande wordt geconcludeerd dat de plaatsing en aanwezigheid van het windpark geen noemenswaardige effecten zal hebben op de mechanismen 'overlopen' en 'golfoverslag', mits de uitvoering van de bekabeling en fundament zorgvuldig wordt verricht met herstel van de profielopbouw en grasbekleding. Als voorwaarde geldt dat de uitvoering buiten het stormseizoen dient plaats te vinden. Een eventuele toekomstige verhoging/verbreding van de waterkering is door de aanwezigheid van de windturbines plaatselijk lastiger, maar niet onmogelijk.

5.4 Beoordeling op binnenwaartse stabiliteit (STBI)

De ontwikkeling van het windpark leidt niet tot verandering van de bodemopbouw van de waterkering of de ondergrond.

Tijdens de aanleg van de windturbine wijzigt de geometrie van de kering tijdelijk, bij graverij ten behoeve van de aanleg van de kabels parallel aan de kering, bij de binnenteen. Deze werkzaamheden vinden plaats buiten het stormseizoen en leiden niet tot verlaging van de waterveiligheid.

Trillingen tijdens aanleg en bij gebruik van de windturbines zijn al eerder opgetreden zonder verlies van stabiliteit. Naar verwachting zal bij de vernieuwing van de windturbines het effect gering zijn.

Op basis van het voorgaande wordt geconcludeerd dat de plaatsing en aanwezigheid van het windpark geringe effecten zal hebben op de binnenwaartse macrostabiliteit.

5.5 Beoordeling op buitenwaartse stabiliteit (STBU)

De ontwikkeling van het windpark leidt niet tot verandering van de bodemopbouw van de waterkering of de ondergrond.

Tijdens de aanleg van de windturbine wijzigt de geometrie van de kering tijdelijk, bij graverij ten behoeve van de aanleg van de kabels en het fundament, aan de buitenzijde. Deze werkzaamheden vinden plaats buiten het stormseizoen en leiden niet tot verlaging van de waterveiligheid.

Trillingen tijdens aanleg en bij gebruik van de windturbines zijn al eerder opgetreden zonder verlies van stabiliteit. Naar verwachting zal bij de vernieuwing van de windturbines het effect gering zijn.

Op basis van het voorgaande wordt geconcludeerd dat de plaatsing en aanwezigheid van het windpark geringe effecten zal hebben op de buitenwaartse macrostabiliteit.

5.6 Beoordeling effecten op opbarsten, piping en heave (STPH)

Bij graverij ten behoeve van de aanleg van de kabels en het fundament kan de bodemopbouw lokaal worden verstoord. Hierdoor kan een nieuw in- of uittrede punt voor piping ontstaan.

Bij het aanvullen van de sleuf en rondom het fundament moet daarom nauwkeurig worden gewerkt, cohesieve lagen moeten in dunne lagen worden teruggebracht (conform oorspronkelijke opbouw) en voldoende worden verdicht.

Ook voor de paalfundering geldt dat de uitvoering zorgvuldig moet geschieden. Gekozen moet worden voor een grondverdringend systeem.

De aandrijvende kracht bij piping is het waterstandverschil over de kering.

Voor de te beschouwen kering geldt dat het niveau van het achterland/binnenberm zodanig hoog is (circa NAP+5,5 m), dat het waterstandsverschil over de kering gering is. Deze situatie wijzigt niet bij of na aanleg van de kabels en het fundament.

Op basis van het voorgaande wordt geconcludeerd dat de plaatsing en aanwezigheid van het windpark geen noemenswaardige effecten zal hebben op het mechanisme piping, mits de uitvoering van de bekabeling en het fundament zorgvuldig wordt verricht met herstel van de 'oorspronkelijke bodemopbouw' en het toepassen van een grondverdringend paalsysteem. Uitvoering dient buiten het stormseizoen plaats te vinden.

5.7 Beoordeling effecten voor bekleding

Bij graverij ten behoeve van de aanleg van de kabels en het fundament kan de deklaag en bekleding aan het buitentalud lokaal worden verstoord.

Bij het aanvullen van de sleuf en rondom het fundament moet daarom nauwkeurig worden gewerkt, cohesieve lagen moeten in dunne lagen worden teruggebracht (conform oorspronkelijke opbouw) en voldoende worden verdicht. De erosie bestendige deklaag dient zorgvuldig te worden aangesloten op het fundament.

Op basis van het voorgaande wordt geconcludeerd dat de plaatsing en aanwezigheid van het windpark geen noemenswaardige effecten zal hebben op de erosiebestendigheid van de bekleding, mits de uitvoering van de bekabeling en het fundament zorgvuldig wordt verricht met herstel van de 'oorspronkelijke bodemopbouw' en het realiseren van een erosiebestendige aansluiting. Uitvoering dient buiten het stormseizoen plaats te vinden.

6 Conclusies en aanbevelingen

Op basis van een *kwantitatieve* effectbeoordeling is vastgesteld dat de bouw, gebruik en verwijderen van het windpark effect kan hebben op de volgende faalmechanismen:

- Hoogte;
- Binnenwaartse en buitenwaartse macrostabiliteit
- Piping;
- Bekleding

De effecten op de mechanismen 'overlopen' en 'golfoverslag' zijn beoordeeld en zijn niet noemenswaardig, mits de uitvoering zorgvuldig wordt verricht met herstel van de profielopbouw en grasbekleding. Een eventuele toekomstige verhoging/verbreding van de waterkering is door de aanwezigheid van de windturbines plaatselijk lastiger, maar niet onmogelijk.

De effecten op de 'macrostabiliteit' zijn beoordeeld en zijn naar verwachting gering. Trillingen tijdens aanleg en bij gebruik van de windturbines zijn al eerder opgetreden zonder verlies van stabiliteit.

De effecten op het mechanisme piping zijn beoordeeld en niet noemenswaardig, mits de uitvoering zorgvuldig wordt verricht met herstel van de 'oorspronkelijke bodemopbouw' bij aanvulling van de sleuf en rondom het fundament. Daarnaast moet een grondverdringend paalsysteem worden toegepast.

De effecten op de bekleding zijn beoordeeld en niet noemenswaardig, mits de uitvoering van de bekabeling en het fundament zorgvuldig wordt verricht met herstel van de 'oorspronkelijke bodemopbouw' en het realiseren van een erosiebestendige aansluiting

Voor meerdere faalmechanismen geldt dat de uitvoering buiten het stormseizoen plaats moet vinden. Door uitvoering onder dagelijkse omstandigheden en met monitoring van trillingen, wateroverspanningen etc. worden geen negatieve effecten verwacht op de waterveiligheid.

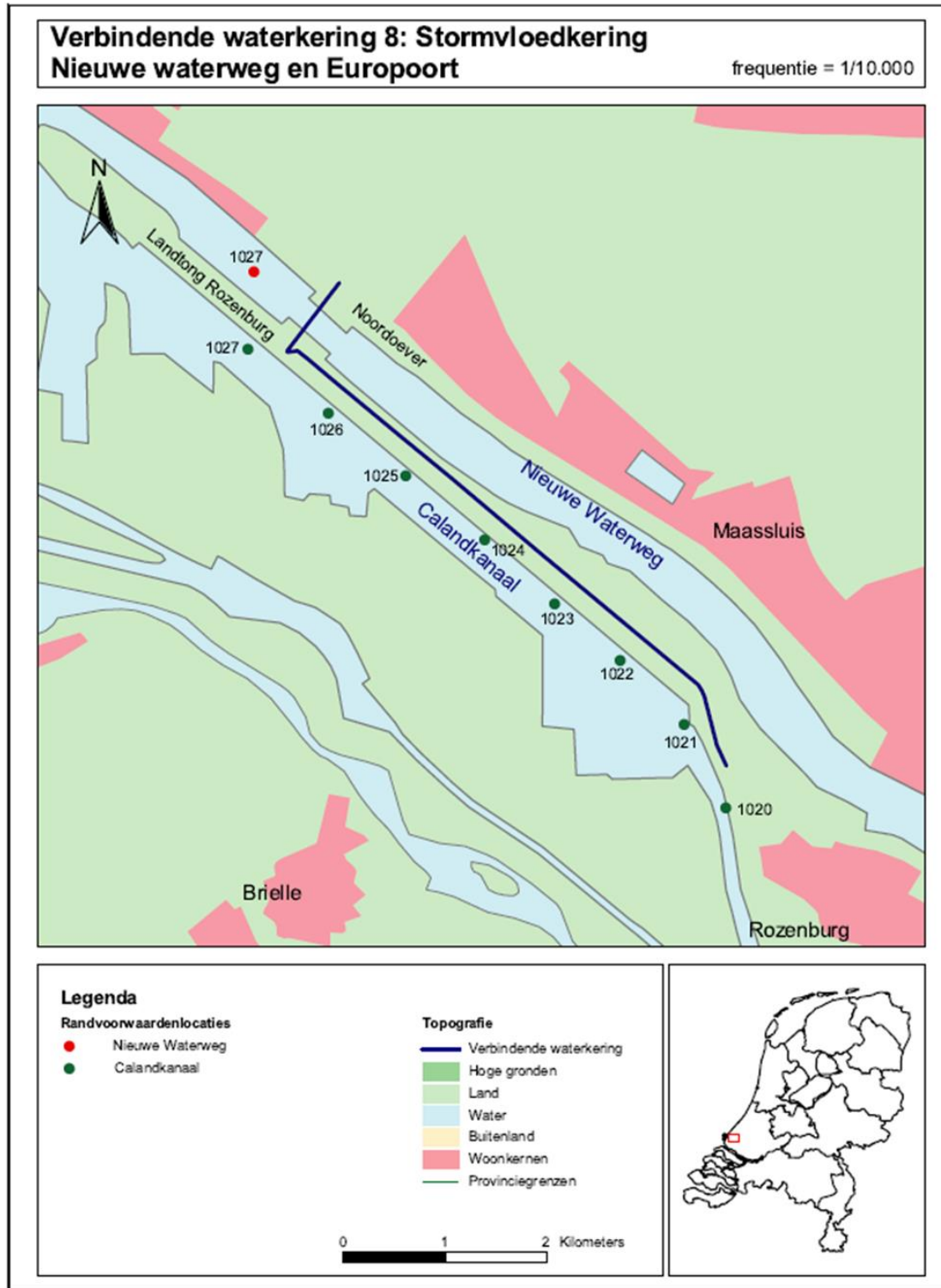
Zodra de keuze van het VKA bekend is zullen op basis van een kwantitatieve analyse (stabiliteitsberekeningen) bovenstaande conclusies worden geverifieerd.

7 Referenties

Bij het opstellen van dit rapport zijn de volgende documenten gebruikt:

- Ref 1. Leggerdocument Dijkkringverbindende Waterkering Stormvloedkering Nieuwe Waterweg/Europoort, Rijkswaterstaat Zuid-Holland, Waterdistrict Nieuwe Waterweg, 073916515:B, DZH-ARN-2009.01201, 3 juli 2009;
- Ref 2. Geotechnisch onderzoek en advies betreffende plaatsing 9 windturbines windpark landtong nabij Rozenburg, Fugro, opdracht nummer 1015-0300-000, 9 september 2016;
- Ref 3. Hydraulische randvoorwaarden primaire waterkering, voor de derde toetsronde 2006-2011 (HR2006), Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Augustus 2007;
- Ref 4. Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, Veiligheidsfactoren en belastingen bij nieuwe overstromingskansen-normen, OI2014v4, Rijkswaterstaat, februari 2017;
- Ref 5. Tekening Landtong Rozenburg met indeling waterstaatswerken en zonering primaire waterkering, Rijkswaterstaat, 08-01-2018;
- Ref 6. Externe Veiligheid Windturbines Landtong, vervanging windturbines, projectnummer 0404024.00, Auteursgroep SAVE, Antea group, 5 december 2016;
- Ref 7. Beleidsregel voor het plaatsen van windturbines op, in of over rijkswaterstaatswerken, Staatscourant 2 juli 2002, nr. 123;
- Ref 8. Concept tekening Overzicht Windturbines Landtong Rozenburg, 15007-001, De Wolff, 04-02-2015;
- Ref 9. Statische berekeningen windturbines Windpark Landtong Rozenburg B.V., NM64C/1500 HH78 NL, WO.02.229_10, Ingenieursgroep Romkes BV, 8-3-2004/15-12-2006;

A1 Verbindende Waterkering 8 (nu traject 208)



Figuur A- 1 Locatie Verbindende Waterkering uit Hydraulische Randvoorwaarden 2006 [Ref 3]



Figuur A- 2 Trajectindeling nieuwe normering [Ref 4]

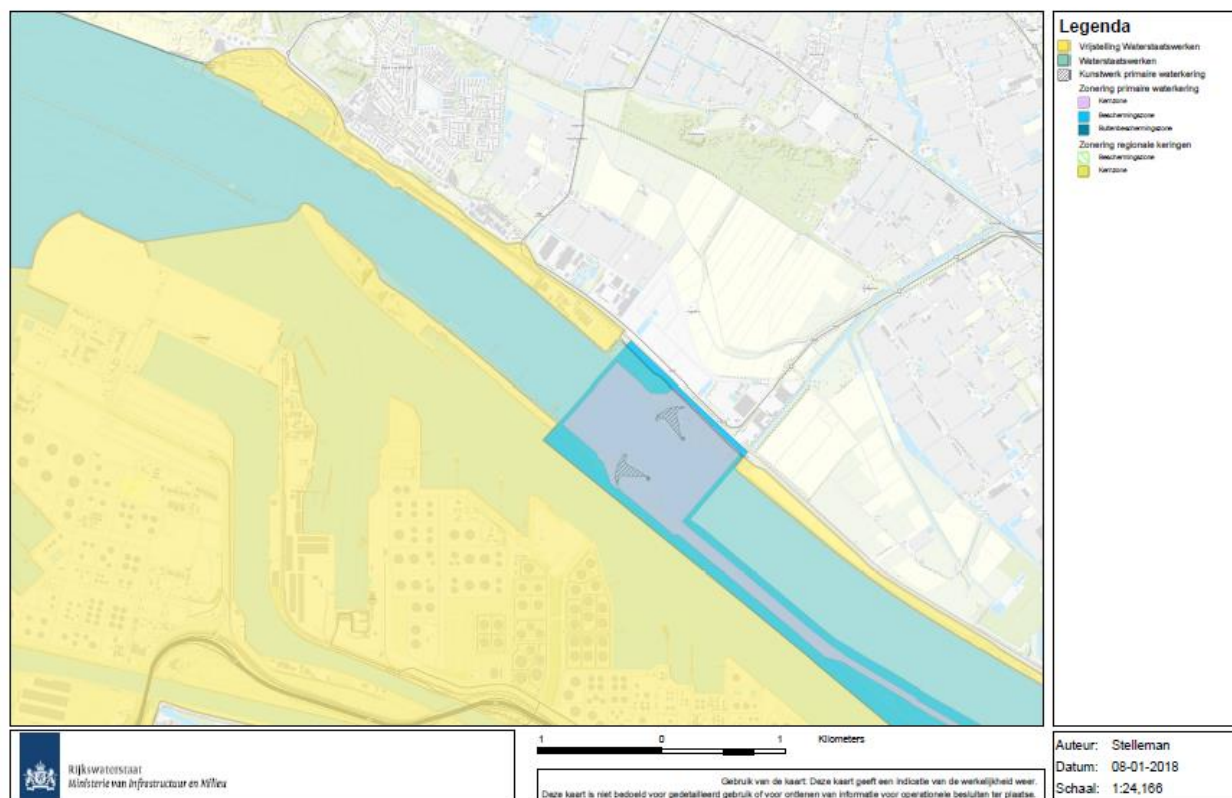
Signalerings- en ondergrenswaarden voorliggende keringen

Traject	Naam kering	Signalerings waarde MKBA	Signalerings waarde LIR	Ondergrens	Maximale faalkanseis niet-sluiten
201	Afsluitdijk	1:10000		1:3000	
202	Kadoelersluis	1:10000	1:1000	1:3000	
204a	Houtribdijk – initiatie falen vanuit IJsselmeer	1:10000		1:3000	
204b	Houtribdijk – initiatie falen vanuit Markermeer	1:1000		1:300	
205	Nijkerkersluis	1:3000		1:1000	
206	Spooldersluis	1:10000		1:3000	
208	Europoort / Maeslantkering	1:100000		1:30000	1:100
209	Europoort / Hartelkering	1:100000		1:30000	1:10

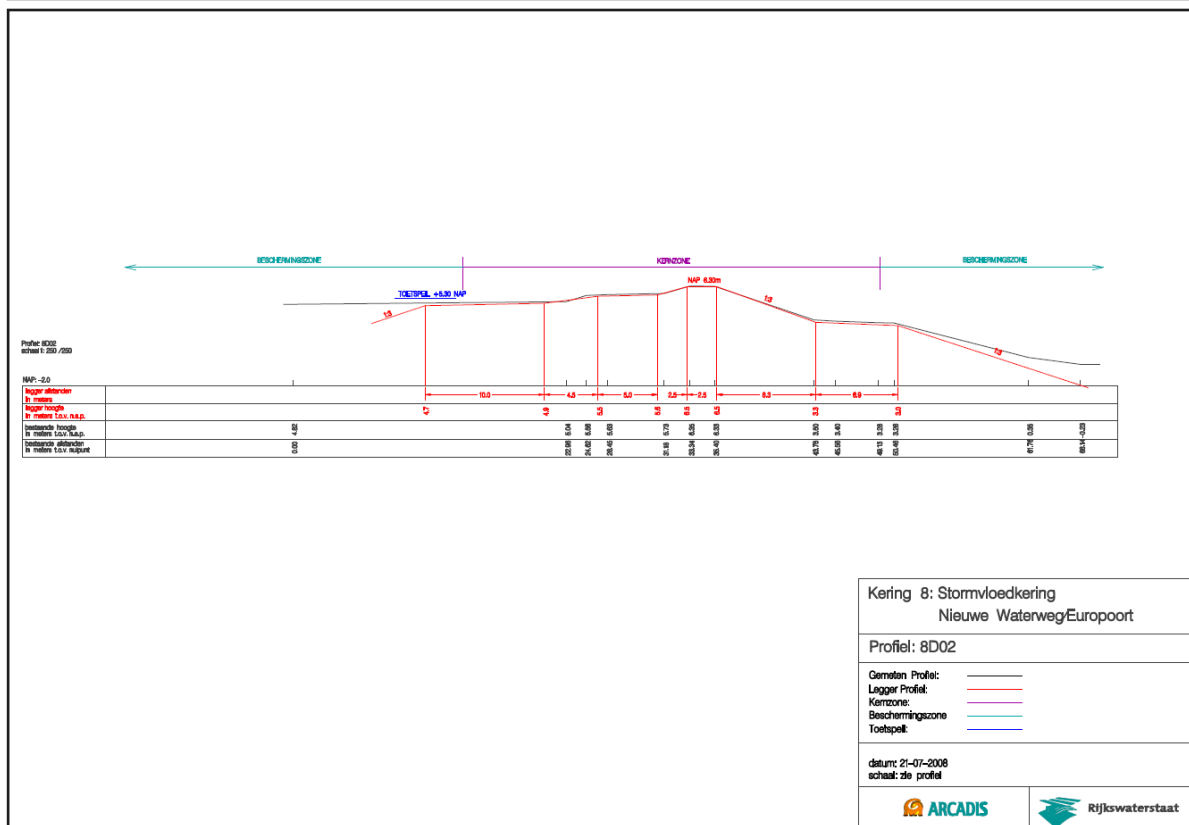
Figuur A- 3 Normering [Ref 4]

A2 Zonering primaire waterkering

landtong rozenburg



Figuur A- 4 Zonering kering RWS [Ref 5]

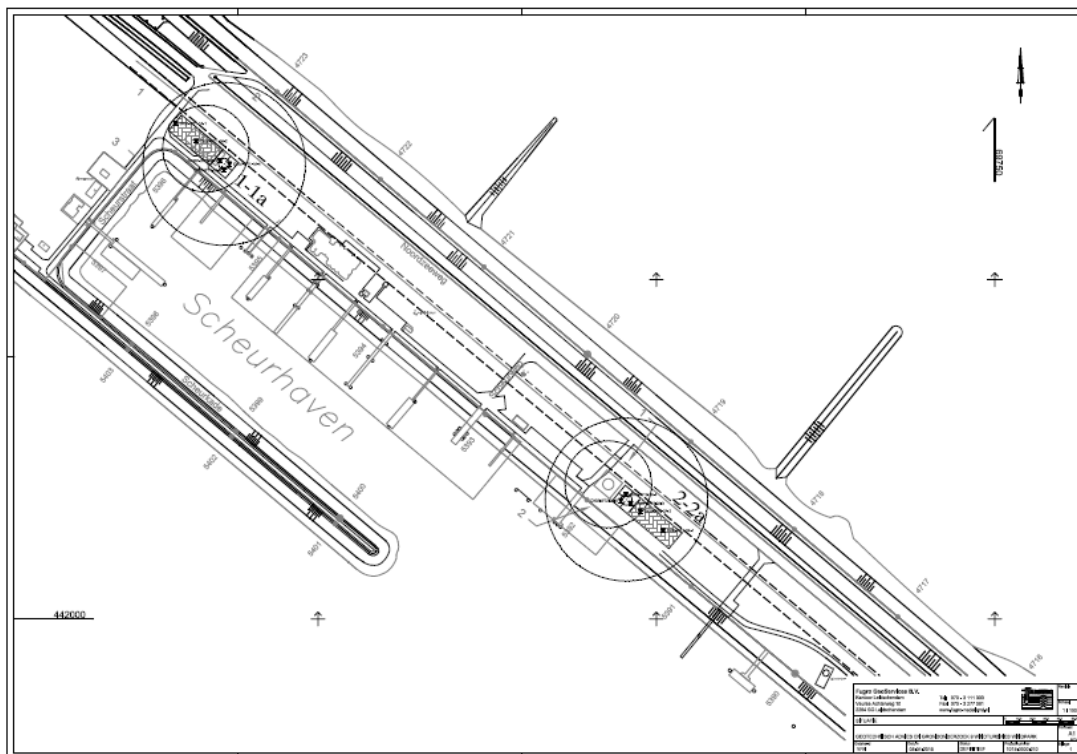


A4 Bodemgegevens DINOloket

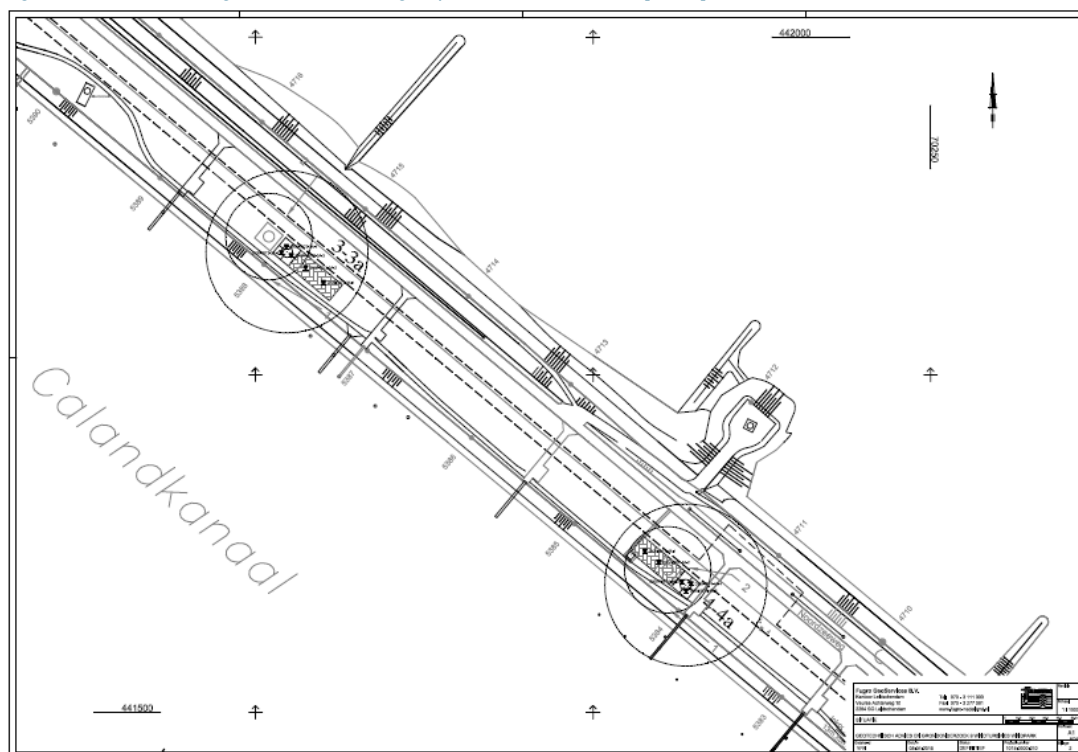


Figuur A- 5 Locaties geotechnische boringen opgenomen in DINO-loket

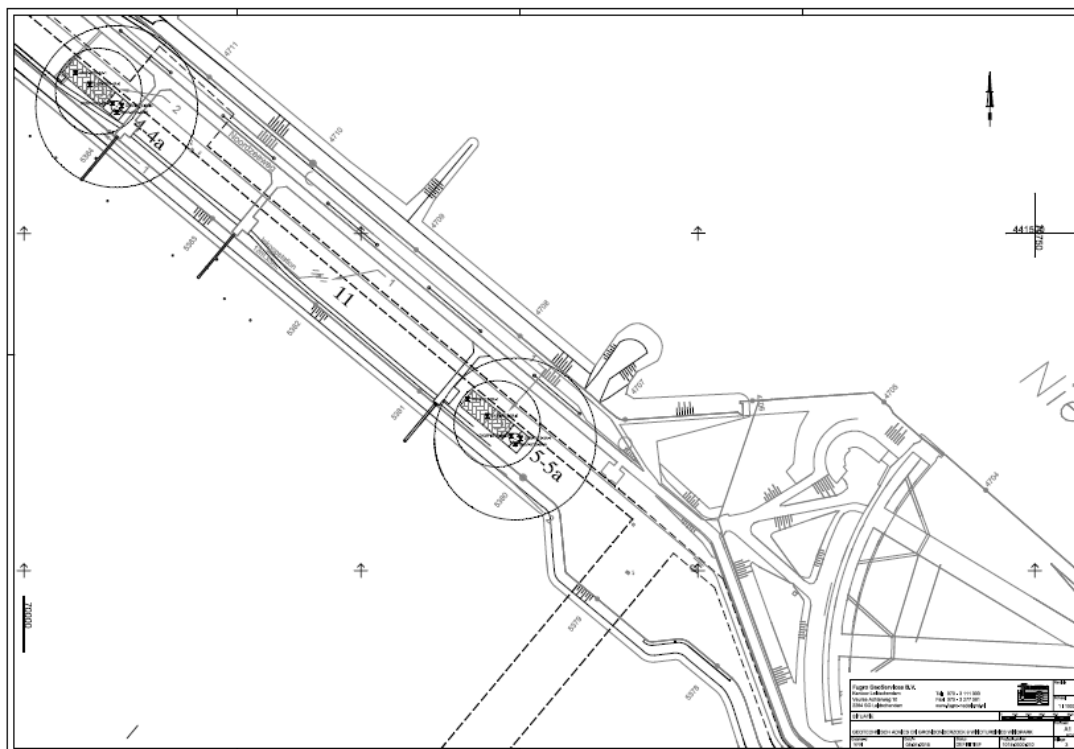
A5 Locaties Sonderingen Fugro



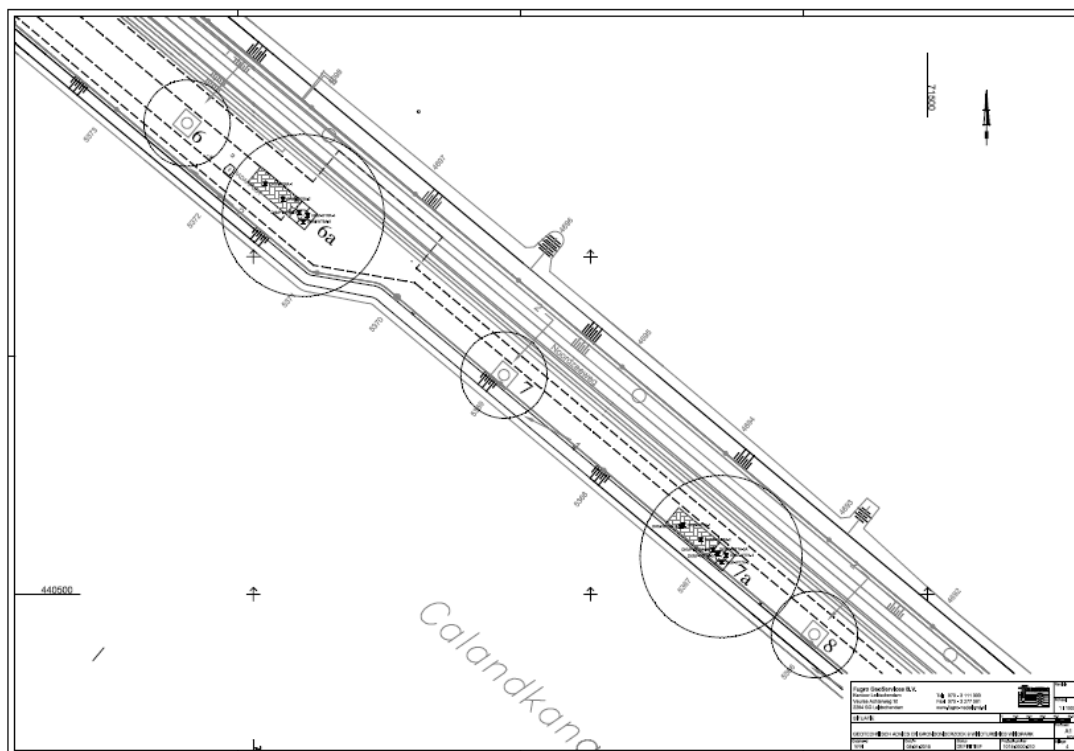
Figuur A- 6 Locaties uitgevoerde sonderingen posities 1-1a en 2-2a [Ref 2]



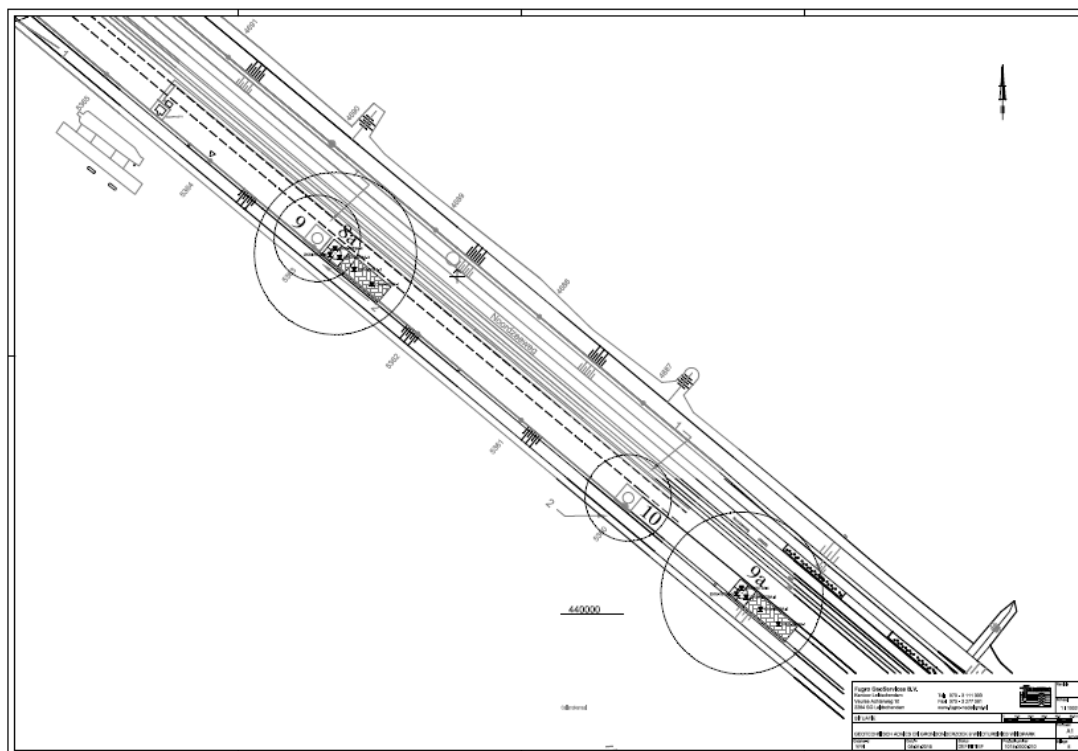
Figuur A- 7 Locaties uitgevoerde sonderingen posities 3-3a en 4-4a [Ref 2]



Figuur A- 8 Locaties uitgevoerde sonderingen positie 5-5a [Ref 2]



Figuur A- 9 Locaties uitgevoerde sonderingen posities 6a en 7a [Ref 2]



Figuur A- 10 Locaties uitgevoerde sonderingen posities 8a en 9a [Ref 2]

A6 Informatie waterstanden

Noordzeekust Hoek van Holland

Standen in cm t.o.v. NAP

Getijtype cq grootheid	Slotgemiddelden			Waarden maansverloop	
	HW- stand	LW- stand	tijverschil	HW	LW
Gem. springtij	132	-63	195	1:32	6:51
Gem. tij	115	-60	175	1:34	7:17
Gem. doottij	90	-55	145	1:36	7:39
Gem. duur rijzing				6:42	
Gem. duur daling				5:43	
Gem. waterstand		9			

Gemiddelde over- en onderschrijdingsfrequenties		
Frequentie	Overschrijding hoogwaterstanden	Onderschrijding laagwaterstanden
1x per 10.000 jaar	510	
1x per 5.000 jaar	480	
1x per 4.000 jaar	470	
1x per 2.000 jaar	450	
1x per 1.000 jaar	430	
1x per 500 jaar	410	
1x per 200 jaar	380	
1x per 100 jaar	360	
1x per 50 jaar	340	
1x per 20 jaar	315	-190
1x per 10 jaar	300	-180
1x per 5 jaar	285	-170
1x per 2 jaar	260	-155
1x per jaar	245	-145
2x per jaar	230	-135
5x per jaar	210	-125
LAT		-92

Hoogst bekende waarde 385 cm 1 feb 1953 Periode 1900-2010
 Laagst bekende waarde -210 cm 12 jan 1913 Periode 1900-2010

Getijgebied

Waterstanden

Scheur, Maassluis

Algemene gegevens

slotgemiddelden 1991.0				waarden maansverloop			gemiddelde over- en onderschrijdings- frequentie per jaar			
type tij	HW- stand	LW- stand	tijver- schil	type tij cq grootheid	HW	LW	overschrijding hoogwaterstanden		onderschrijding laagwaterstanden	
							frequentie	stand	frequentie	stand
gem.	122	-48	170	gem.springtij	2.51	10.15	1x per 10.000 jaar	340	1x per 10 jaar	-150
springtij				gem.doodtij	2.32	8.38	1x per 1.000 jaar	325	1x per jaar	-125
gem. tij	106	-50	156	gem.havengetal	2.43	10.07	1x per 100 jaar	309		
gem.				gem.duur rijzing		5.01	1x per 10 jaar	281		
doodtij	99	-45	144	gem.duur daling		7.24	1x per 2 jaar	248	OLW 1991.0	-80
							(grenspeil)			
gem. waterstand:	13						1x per jaar	237		
							maatgevende waarde	340		
							(Delfland, 1x per 10.000 jaar)			

A7 Bepaling faalkanseisen en afleiding veiligheidsfactoren

$$\beta_{eis,i} = \Phi^{-1}(P_{eis,i}) = \Phi^{-1}\left(\frac{\omega \cdot P_{norm}}{(1 + a \frac{L}{b})}\right)$$

Macro-stabiliteit binnenwaarts:

- $\omega = 0,04$
- $P_{norm} = 1/100.000$ per jaar
- $a = 0,033$
- $b = 50$ m
- $L = 7300$ m

$P_{eis} = 1/14.545.000$ per jaar

$\beta = 5,27$

Mohr-Coulomb

$$\gamma_n = 1 + 0,13(\beta_{eis,dsn} - 4,0) \quad \text{met } \beta_{eis,dsn} = -\phi^{-1}(P_{eis,dsn})$$

CSSM

$$\gamma_n = 0,15\beta_{eis,dsn} + 0,41 \quad \text{met } \beta_{eis,dsn} = -\phi^{-1}(P_{eis,dsn})$$

schadefactor (Mohr-Coulomb) $\gamma_n = 1,17$

schadefactor (CSSM) $\gamma_n = 1,20$

Piping:

- $\omega = 0,24$
- $P_{norm} = 1/100.000$ per jaar
- $a = 0,4$
- $b = 300$ m
- $L = 7300$ m

$P_{eis} = 1/4.472.222$ per jaar

$\beta = 5,05$

$$\gamma_{pip} = 1,04 \cdot e^{(0,37\beta_{eis,dsn} - 0,43\beta_{max})}$$

sterktefactor (piping) $\gamma_{mp} = 1,64$

Macro-stabiliteit buitenwaarts:

- $\omega = 0,04$
- $P_{norm} = 1/100.000$ per jaar
- $a = 0,033$
- $b = 50$ m
- $L = 7300$ m
- Instabiliteit niet gecorreleerd met hoogwater: factor 0,1 toepassen

$P_{eis} = 1/1.454.500$ per jaar

$\beta = 4,83$

Mohr-Coulomb

$$\gamma_n = 1 + 0,13(\beta_{eis,dsn} - 4,0) \quad \text{met } \beta_{eis,dsn} = -\phi^{-1}(P_{eis,dsn})$$

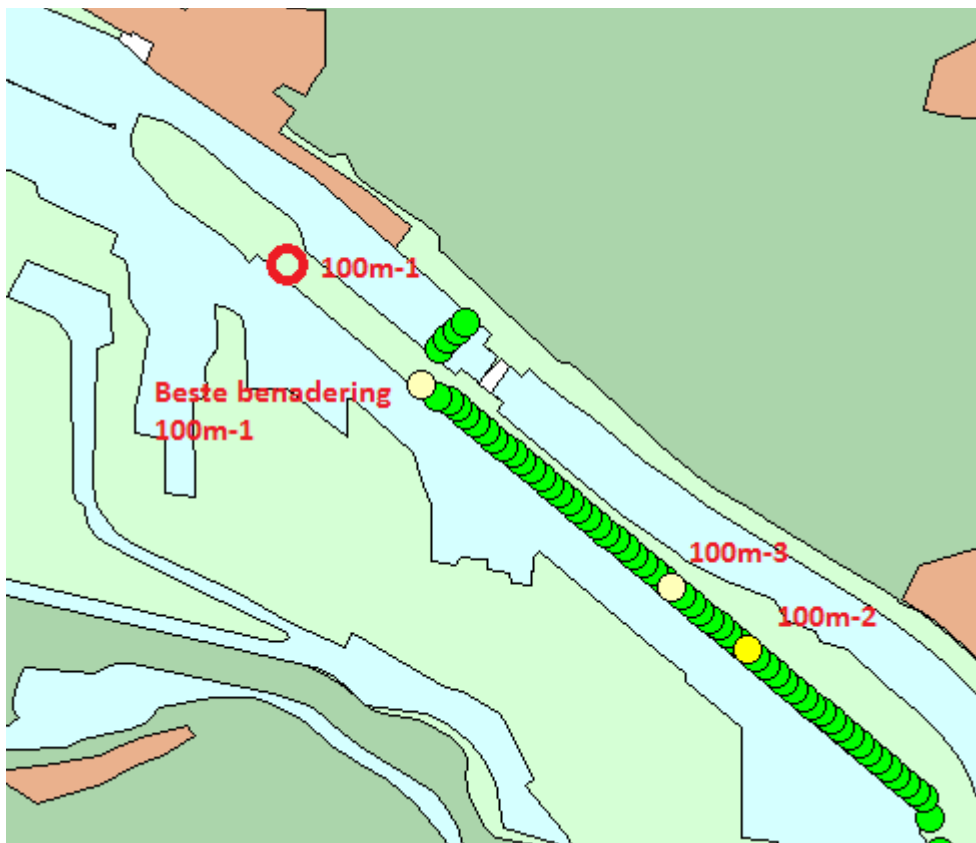
CSSM

$$\gamma_n = 0,15\beta_{eis,dsn} + 0,41 \quad \text{met } \beta_{eis,dsn} = -\phi^{-1}(P_{eis,dsn})$$

schadefactor (Mohr-Coulomb) $\gamma_n = 1,11$

schadefactor (CSSM) $\gamma_n = 1,13$

A8 Afleiding waterstanden



Waterstanden Calandkanaal voor Geotechnische beoordeling

		1/30.000 jaar	1/100.000 jaar
Windmolen	Hydra uitvoerlocatie	h [m]	h [m]
100-m2	CK_1_208_vk_00026	6.44	6.90
100-m3	CK_1_208_vk_00034	6.40	6.85
100-m1	CK_1_208_vk_00060	6.28	6.73

Waterstanden Calandkanaal voor beoordeling hoogte

		416.667 jaar				
Windmolen	Hydra uitvoerlocatie	h [m]	H_s [m]	$T_{m-1,0}$ [s]	r [graden]	z_k [m]
100-m2	CK_1_208_vk_00026	7.47	1.76	4.36	296.6	8.93
100-m3	CK_1_208_vk_00034	7.43	1.76	4.38	296.3	8.89
100-m1	CK_1_208_vk_00060	7.29	2.01	4.70	294.7	9.06

z_k is de oploophoogte voor 10 l/s/m golfoverslag
 r is de hoek van inval

Waterstand in de Nieuwe Waterweg bij hoogwater op Noordzee

	Gesloten Europoortkering (bijdrage aan ov.freq100.0%)
-----	-----
windrichting r (bijdrage aan ov.freq)	NW (69.3%)
zeewaterstand m te Maasmond [m+NAP]	6.22
Rijnafvoer q te Lobith [m³/s]	2200
potentiële windsnelheid u [m/s]	35.5
lokale waterstand h [m+NAP]	6.50

In de ruwe database voor dijktraject 14-3 dit punt opzoeken en de daarbij behorende dichtstbijzijnde waterstand voor de dichtstbijzijnde locatie, welke dezelfde dichtstbijzijnde combinatie heeft van zeewaterstand, rivierafvoer, windsnelheid, windrichting en gesloten toestand van de stormvloedkering.

NW_1_14-3_dk_00531 de dichtstbijzijnde locatie (met het oog in Hydra bepaald). Deze locatie heeft als id in de database 5964.

Vervolgens gesloten keringtoestand, ClosingSituationId=2
Daarna de windrichting: HRDWindDirectionId=5

Vervolgens filteren op de dichtstbijzijnde rijnafvoer, zeewaterstand en windsnelheid, met volgende aannames:

Rijnafvoer = 2000 m³/s (aan de lage kant)
Zeewaterstand = NAP+6.04 m (aan de lage kant)
Windsnelheid = 42 m/s (aan de hoge kant).

Zoekopdracht:

```
Select * From HydroDynamicResultData Where HRDResultColumnId=1 And
HydroDynamicDataId in ( Select HydroDynamicDataId from HydroDynamicInputData
where Value=42.0 and HydroDynamicDataId In (Select HydroDynamicDataId from
HydroDynamicInputData where Value=6.04 And HydroDynamicDataId In (Select
HydroDynamicDataId from HydroDynamicInputData where Value=2000 AND
HydroDynamicDataId In (Select HydroDynamicDataId From HydroDynamicData where
HRDLocationId=5964 AND ClosingSituationId=2 AND HRDWindDirectionId=5)))
```

Met als resultaat een waterstand van **NAP+2.12m** in de Nieuwe Waterweg:

	HydroDynamicDataId	HRDResultColumnId	Value
1	89391475	1	2.11885001

Korte gevoeligheidsanalyse:

Als de Rijn naar 4000 m³/s gaat, gaat de waterstand naar NAP+2.11m
 Als de zeewaterstand naar NAP+7.04m gaat, gaat de waterstand naar NAP+2.13m
 Als de windsnelheid naar 30 m/s gaat, gaat de waterstand naar NAP+2.12m
 Als alle drie veranderen, gaat de waterstand naar NAP+2.12m