

RAPPORT

Invloed Windpark Rozenburg op waterveiligheid waterkeringen

Kwantitatieve beoordeling invloed door ondergrondse
effecten op Verbindende Waterkering 8

Klant: Wolff Nederland Windenergie

Referentie: MABF6173R002F03

Status: 3.0/Finale versie

Datum: 29 november 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: MABF6173R002F03

Status: 3.0/Finale versie

Datum: 29 november 2018

Projectnaam: WP Rozenburg

Projectnummer: BF6173

Auteur(s): Ilse Hergarden

Opgesteld door: Ilse Hergarden

Gecontroleerd door: Jurgen Cools

Datum/Initialen: 21-08-2018/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	5
2.4	Waterkering	5
2.5	Bestaande windturbines	6
3	Eisen voor de waterkering	7
3.1	Zonering waterkering	7
3.2	Normspecificatie	8
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	Partiële veiligheidsfactoren	12
5	Belastingen	14
5.1.1	Belastingen tijdens de bouwfase	14
5.1.2	Belastingen tijdens de gebruiksfase	16
5.1.3	Belastingen tijdens de verwijderingsfase	17

6	Kwantitatieve beoordeling ondergrondse effecten	18
6.1	Bewezen sterkte waterkering in relatie tot trillingen	18
6.2	Relevante faalmechanismen	18
6.3	Beoordeling effecten op overloop en golfoverslag (HT)	22
6.4	Beoordeling op binnenwaartse stabiliteit (STBI)	23
6.5	Beoordeling op buitenwaartse stabiliteit (STBU)	25
6.6	Beoordeling op stabiliteit talud Calandkanaal (STBU)	27
6.7	Beoordeling effecten op opbarsten, piping en heave (STPH)	28
6.8	Beoordeling effecten voor bekleding	29
6.9	NWO's	29
7	Conclusies en aanbevelingen	30
7.1	Conclusies	30
7.2	Aanbevelingen	31
8	Referenties	32
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	12
	Tabel 4-4 modelfactoren	12
	Tabel 4-5 materiaalfactoren (verwerkt in rekenwaarden van de grondparameters)	12
	Tabel 4-6 schematiseringsfactoren	13
	Tabel 6-1 Omschrijving faalmechanismen (VTV2006)	20
	Tabel 6-2: Relevante faalmechanismen per projectfase met mogelijk effect	22
	Tabel 6-3 Resultaten berekening stabiliteit binnenwaarts – talud zijde Nieuwe waterweg	24
	Tabel 6-4 Resultaten berekening stabiliteit buitenwaarts – talud zijde Calandkanaal	26
	Tabel 6-5 Resultaten berekening stabiliteit buitenwaarts – talud Calandkanaal	27
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 5-1 Inschatting trillingssnelheden conform Muller (links) en CUR166 (rechts)	14
Figuur 5-2 Verwachte grondversnellingen	15
Figuur 6-1 Voorbeelden stabiliteitsberekeningen binnentalud	23
Figuur 6-2 Voorbeelden stabiliteitsberekeningen buitentalud	25
Figuur 6-3 Voorbeelden stabiliteitsberekeningen talud Calandkanaal	27
 Figuur A- 1 Locatie Verbindende Waterkering uit Hydraulische Randvoorwaarden 2006 [Ref 3]	33
Figuur A- 2 Trajectindeling nieuwe normering [Ref 4]	34
Figuur A- 3 Normering [Ref 4]	34
Figuur A- 4 Zonering kering RWS [Ref 5]	35
Figuur A- 5 Locaties geotechnische boringen opgenomen in DINO-loket	37
Figuur A- 6 Locaties uitgevoerde sonderingen posities 1-1a en 2-2a [Ref 2]	38
Figuur A- 7 Locaties uitgevoerde sonderingen posities 3-3a en 4-4a [Ref 2]	38
Figuur A- 8 Locaties uitgevoerde sonderingen positie 5-5a [Ref 2]	39
Figuur A- 9 Locaties uitgevoerde sonderingen posities 6a en 7a [Ref 2]	39
Figuur A- 10 Locaties uitgevoerde sonderingen posities 8a en 9a [Ref 2]	40

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	Sonderingen
A7	Informatie waterstanden
A8	Bepaling faalkanseisen en afleiding veiligheidsfactoren
A9	Afleiding waterstanden
A10	Bepaling schematiseringsfactor
A11	Resultaten stabiliteitsberekeningen STBI
A12	Resultaten stabiliteitsberekeningen STBU
A13	Resultaten stabiliteitsberekeningen talud Calandkanaal

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 9 grotere turbines;
- Het plaatsen van 2 extra windturbines op de landtong in de richting van Rozenburg.

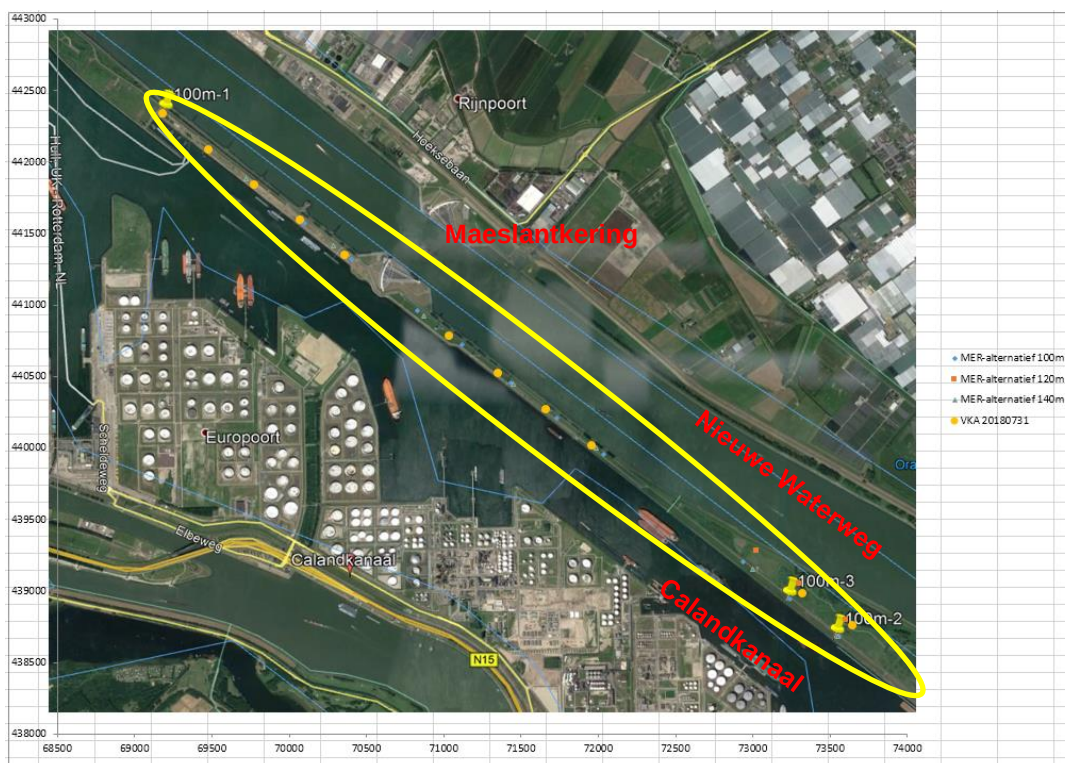
De milieueffectrapportage (MER) is opgesteld, waarin een aantal alternatieve opstellingen is onderzocht, zie Figuur 1-1. Als voorkeursalternatief (VKA) is de volgende opstelling voorgesteld:

- Rotordiameter 110 – 130 m;
- Ashoogte 110-130 m;
- 9 turbines ter plaatse van de bestaande turbines;
- 2 extra 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.

In het kader van de Waterwet en ten behoeve van het MER is onderzocht 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.

In april 2018 is een kwalitatieve beoordeling van de ondergrondse effecten van de beoogde windturbines op de veiligheid van de kering uitgevoerd, gerapporteerd en besproken met de opdrachtgever, RWS en PMB Rotterdam (document MABF6173R001F1.0 d.d. 30 april 2018).

Het doel van dit rapport is het uitvoeren van een kwantitatieve beoordeling van de ondergrondse effecten op de waterveiligheid.

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 gedetailleerde *kwantitatieve 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.

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. In de kwalitatieve beoordeling zijn alle faalmechanismen beschouwd, in onderhavige kwantitatieve beoordeling zijn alleen nog de voor deze situatie relevante faalmechanismen beschouwd (zie eerder genoemde rapportage):

- Overloop en golfoverslag (HT)
- Piping (STPH)
- Macro-instabiliteit binnenwaarts (STBI)
- Macro-instabiliteit buitenwaarts (STBU)
- Instabiliteit van de bekleding (STBK)

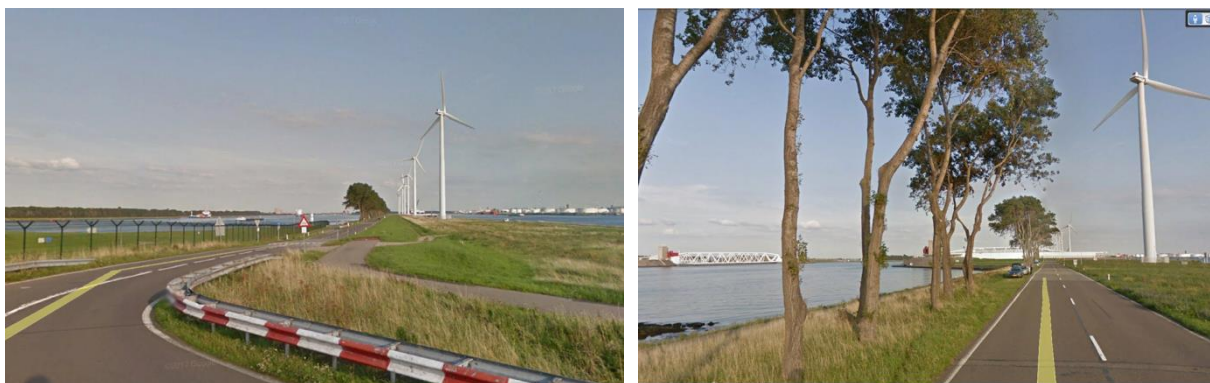
Voor genoemde faalmechanismen is bepaald wat de mogelijke effecten zijn op de sterkte en/of de belasting van de waterkering. De effecten zijn geanalyseerd voor alle projectfasen: bouw-, gebruiks- en verwijderfase. Mogelijke effecten zijn:

- 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.

2 Projectomschrijving

2.1 Projectlocatie

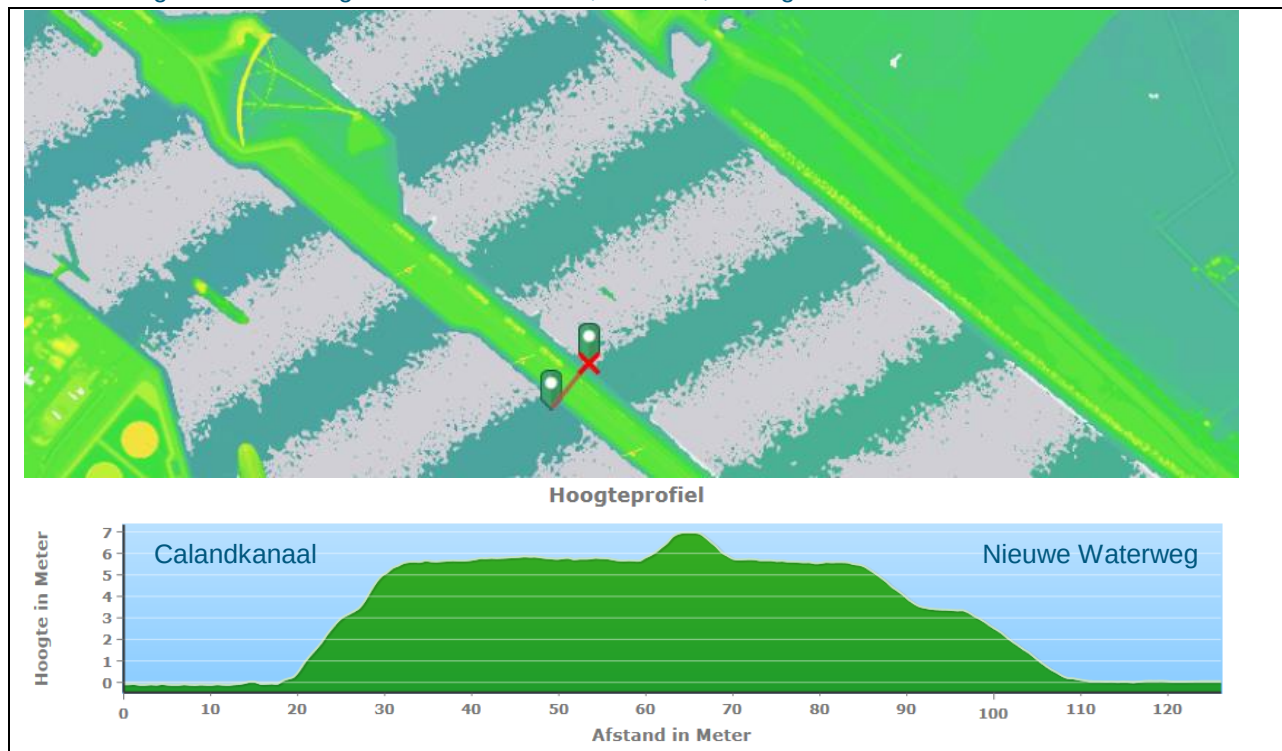
Het plan voor Windpark Landtong Rozenburg betreft de aanleg van 11 windturbines op de landtong aan de zuidzijde van de Nieuwe Waterweg. Vijf turbines zijn voorzien aan de Noordzee-zijde van de stormvloedkering, de overige aan de rivierzijde (Rozenburg) hiervan. In de huidige situatie bevindt zich al 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 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 tussen 110 m en 130 m, met ashoogtes tussen 110 m en 130 m. In de effect beoordeling is uitgegaan van de maatgevende windturbine. Indien gekozen wordt voor een ander type, dan dient te worden nagegaan of deze een gelijk (of geringer) gewicht heeft.

De fundering zal bestaan uit een ronde funderingsplaat, welke wordt gefundeerd op grondverdringende palen. De afmetingen van de fundering dienen nog ontworpen te worden na keuze van het type windturbine. De diameter van een fundering varieert veelal tussen 15 en 20 m. De globale plaatdikte is circa 1,5 m aan de rand en circa 3 m in het midden. De paallengte zal naar verwachting 30 à 40 m bedragen.

Voor de effectbeoordeling is uitgegaan van een ontgraving tot 1,5 m diepte en een diameter van 20 m op ontgravingsniveau.

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 en zal in de ontwerpfase nader gedetailleerd worden. 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;
- *Gebruiksfase*: het operationeel zijn van alle windparkonderdelen. De beoogde planperiode bedraagt 20 jaar;
- *Verwijderingsfase*: 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.

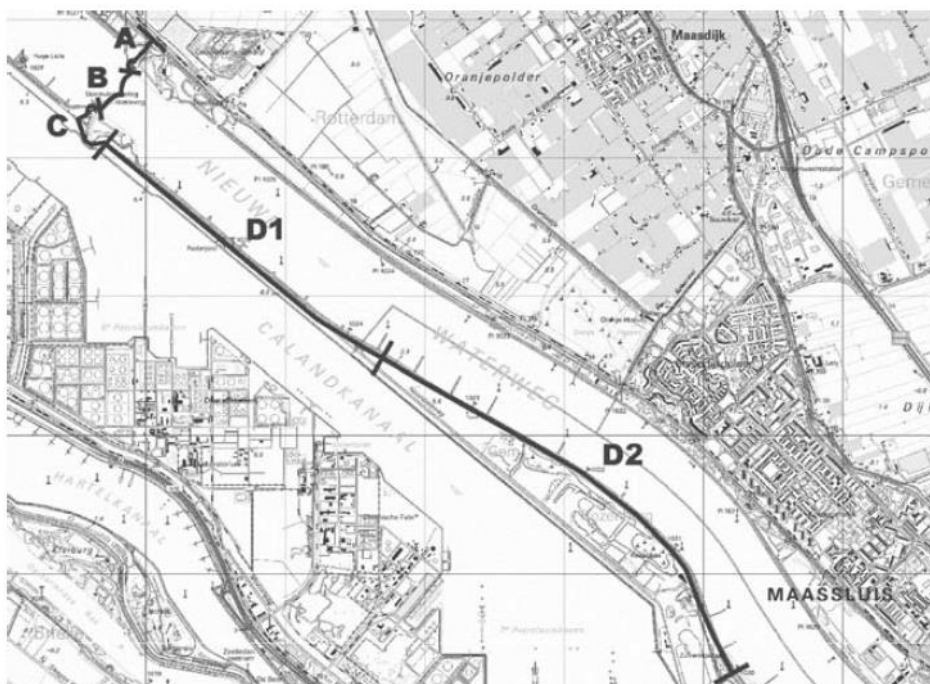
2.4 Waterkering

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). Daarnaast vormt de waterkering een waterscheiding tussen de Nieuwe Waterweg en 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 2 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 plaat is gefundeerd op vibropalen $\varnothing$ 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 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

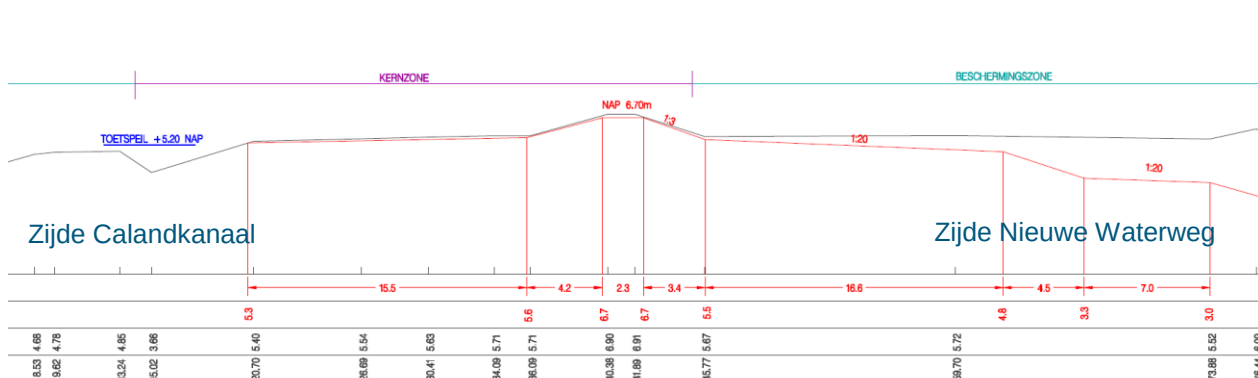
3.1 Zonering waterkering

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.

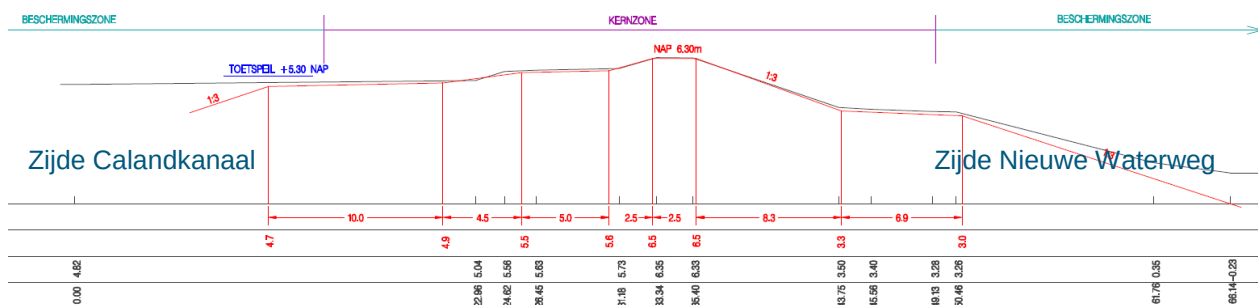
Onderstaand zijn de profielen van secties D1 en D2 opgenomen, zie ook bijlage A3. De kenmerken ten aanzien van de zonering zijn als volgt:

- 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 0 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].

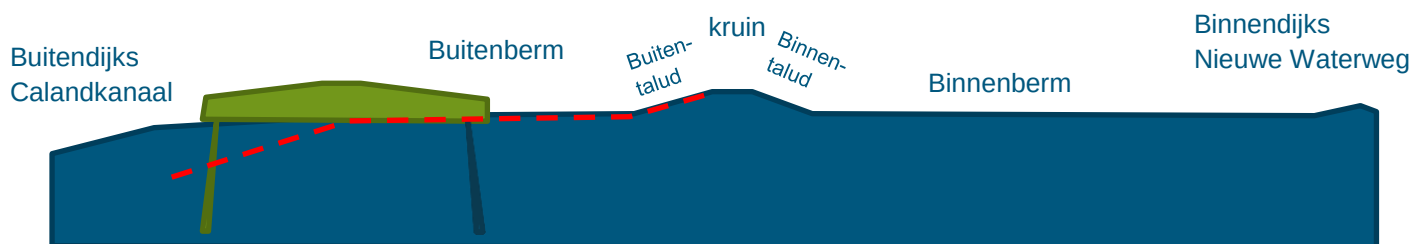
Opgemerkt wordt dat de beschikbare sonderingen zijn uitgevoerd ter plaatse van de toekomstige locatie(s) van de windturbines ter vervanging van de bestaande windturbines. Voor de nieuwe locaties zijn (nog) geen sonderingen uitgevoerd (zie bijlage A5).

4.2 Geometrie kering

Voor de analyse van de waterkering zijn twee doorsneden beschouwd: één ter plaatse van D1 (zie 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

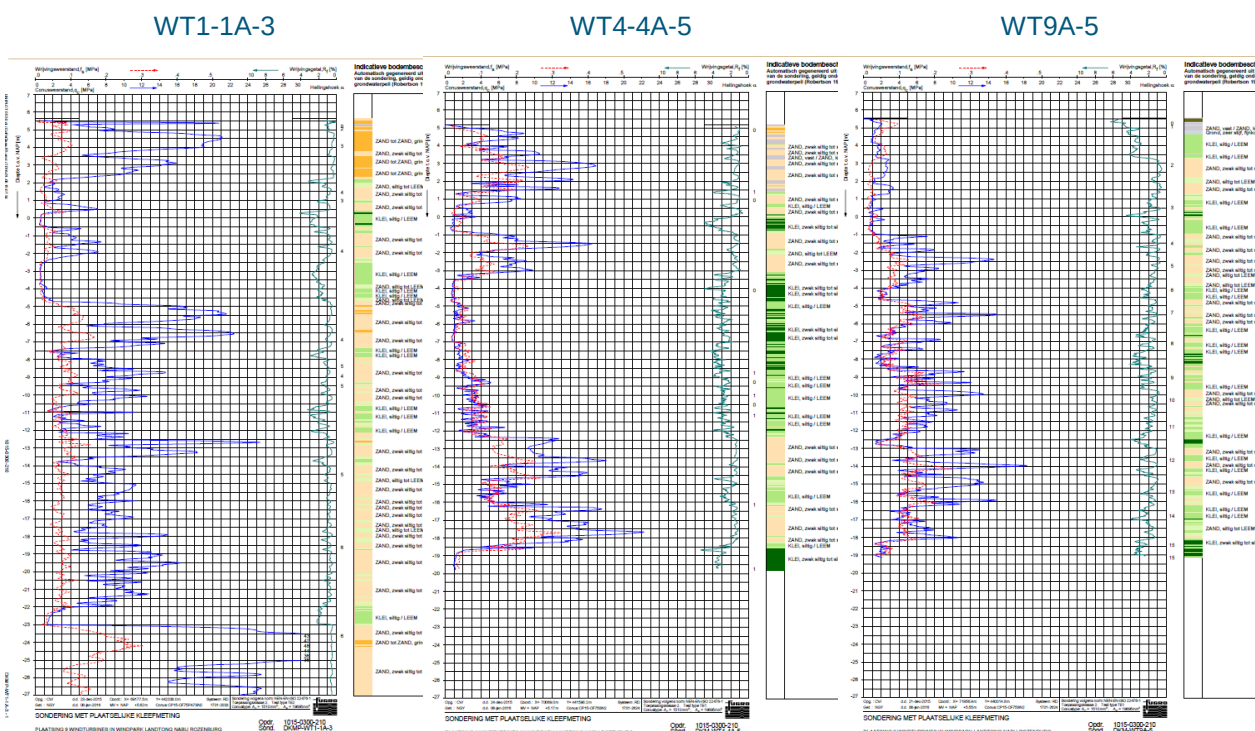
De toekomstige windturbines zijn voorzien aan de buitenzijde van de kering (zijde Calandkanaal), op geringe afstand uit de buitenteen, zie schematische weergave in onderstaande figuur (Figuur 4-1). De exacte locatie van het fundament moet nog worden ontworpen. Vanuit de voorwaarden geldt dat de onderzijde van het fundament buiten het leggerprofiel moet blijven. In onderstaande figuur is ter indicatie het leggerprofiel aan de buitenzijde weergegeven (in rood), zie ook rode lijnen in Figuur 3-1 en Figuur 3-2.



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

In de effectbeoordeling is de bodemopbouw als volgt geschematiseerd:

- Profiel D01: op basis van sonderingen bij WT6A, sondering DKM-WT6A-3, zie bijlage A6;
- Profiel D02: op basis van sonderingen bij WT9A, sonderingen DKM-WT9A-2 en DKM-WT9A-3, zie bijlage A6.

4.4 Grondparameters

In de volgende tabel (4-1) zijn de grondparameters voor de verschillende lagen gepresenteerd. 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 [-]	POP [kN/m ²]
Klei, siltig, matig vast	17/17	22,5	5	0,9	0,25	15
Klei, lemig, vast	18/18	22,5	5	0,9	0,25	15
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 A9.

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 +6,90 m
Beoordeling hoogte (oploophoogte bij golfoverslag van 10 l/s/m, situatie 1/416.667 per jaar))	NAP +8,89 m	NAP +8,93 m

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 A9.

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 freatische 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.

Voor de stijghoogte van het grondwater in het diepere zand is een stijghoogte van NAP +1,0 m aangehouden voor de dagelijkse situatie. Tijdens hoogwater is aangenomen dat de stijghoogte toeneemt tot NAP +6 m. Bij een val na hoogwater zal de stijghoogte ook afnemen, hier is een niveau van NAP +2 m voor aangehouden.

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 A8):

- Macrostabieliteit binnenwaarts: 1/14.545.000 per jaar
- Macrostabieliteit buitenwaarts: 1/1.454.500 per jaar
- Piping: 1/4.472.222 per jaar.

4.7 Partiële veiligheidsfactoren

Voor het afleiden van de partiële veiligheidsfactoren wordt verwezen naar bijlage A8. Een overzicht is gegeven in onderstaande tabel.

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 (verwerkt in rekenwaarden van de grondparameters)

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	1,0 Bepaald conform TRGS, zie bijlage A10 (Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren)	

Veiligheidsfactoren voor de beoordeling

Stabiliteitsberekeningen voor de kwantitatieve beoordeling van de effecten van de windturbines op de waterkering zullen worden uitgevoerd met rekenwaarden voor de grondparameters (dus inclusief materiaalfactoren). Dit leidt tot de volgende veiligheidsfactor waaraan moet worden getoetst:

- STBI – Bishop/CSSM: $1,2 * 1,11 * 1,0 = 1,33$
- STBI – Bishop/Mohr-Coulomb: $1,16 * 1,0 * 1,0 = 1,16$
- STBU – Bishop/CSSM: $1,13 * 1,11 * 1,0 = 1,25$
- STBU – Bishop/Mohr-Coulomb: $1,11 * 1,0 * 1,0 = 1,11$.

5 Belastingen

5.1.1 Belastingen tijdens de bouwfase

Uitgangspunt in de beoordeling is dat de werkzaamheden welke van invloed kunnen zijn op de veiligheid van de waterkeringen zullen plaatsvinden onder 'normale' omstandigheden (buiten het gesloten stormseizoen) en daardoor niet gelijktijdig plaatsvinden met maatgevende hydraulische belastingen.

Kruinbelasting

Uitgangspunt is dat tijdens de bouwfase 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.

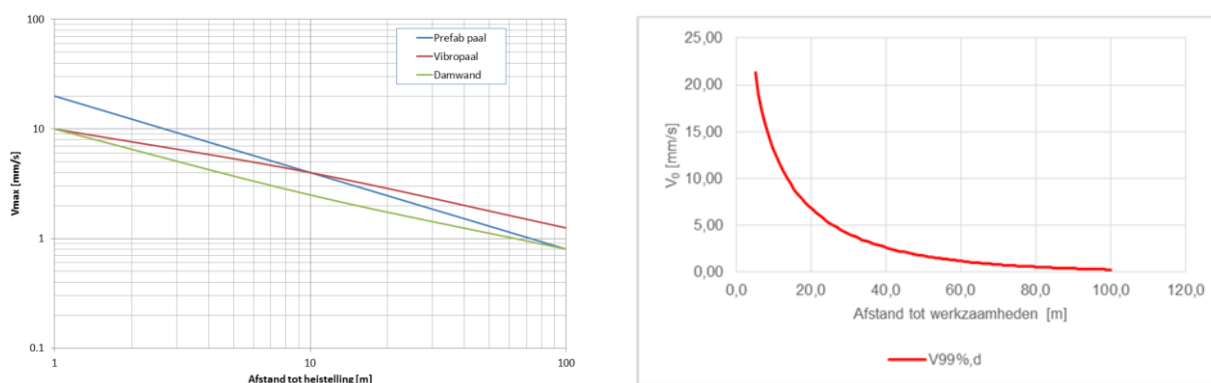
Grondversnellingen door heien

Voor de fundering van de windturbines is in eerste instantie 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.

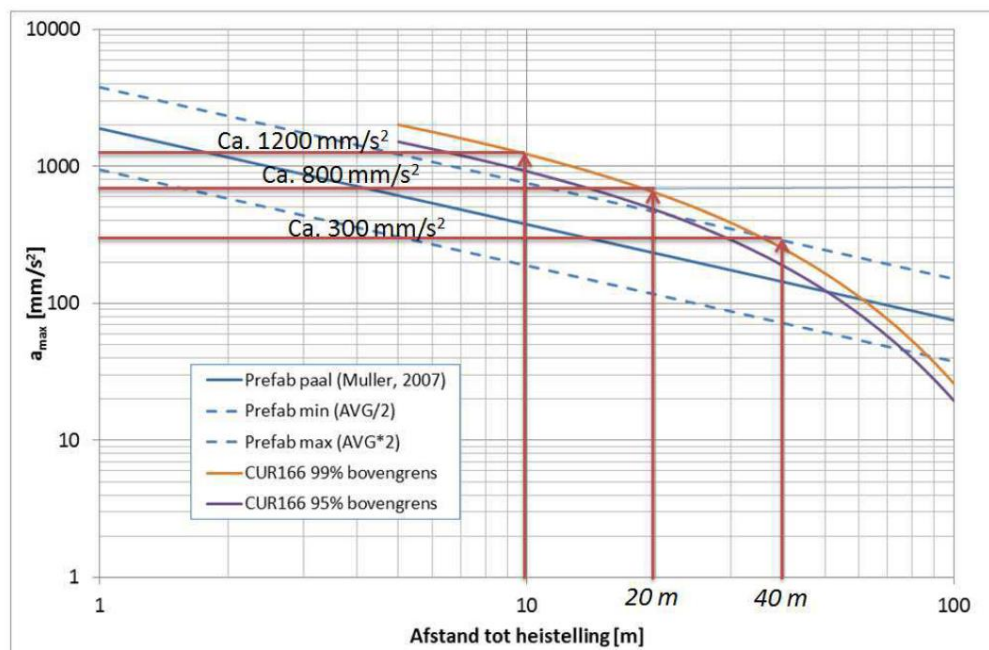


Figuur 5-1 Inschatting trillingssnelheden conform Muller (links) en CUR166 (rechts)

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 5-2 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**.

De stabiliteitsberekeningen zijn met het programma D-Geo Stability uitgevoerd. Hierbij is 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.

5.1.2 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 lage en gemiddelde windsnelheden:**
voor dagelijkse omstandigheden (windsnelheden tot 12,5 m/s, gemiddeld 8,5 m/s) 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:**
bij windsnelheden tussen 12,5 m/s en 25 m/s (hoge windsnelheid) is het nominaal vermogen bereikt. Om overtoeren te voorkomen worden de bladen uit de windrichting gedraaid, zodat de draaisnelheid van de generator gelijk blijft. Op basis van onderzoek door Deltares (Hölscher, 2016) is voor deze windcondities uitgegaan van een versnelling van de ondergrond nabij de funderingsplaat van 0,08 m/s².
Bij windsnelheden hoger dan 25 m/s wordt uitgeschakeld en zijn de bladen in vaanstand. Zodra de bladen stilstaan, is de versnelling tijdens de extreme windomstandigheden, nabij de funderingsplaat, circa 0,16 m/s².
Op basis van bovengenoemd onderzoek is afgeleid dat voor de situatie waarbij de turbine in één klap wordt uitgezet de 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:
 - **Extreme situatie met draaiende bladen:**
 - Horizontaal: **0,08 m/s²**
 - Verticaal: **0,04 m/s²**
 - **Extreme situatie met stilstaande bladen:**
 - Horizontaal: **0,16 m/s²**
 - Verticaal: **0,08 m/s²**
 - **Extreme situatie met noodstop:**
 - Horizontaal: **0,3 m/s²**
 - Verticaal: **0,15 m/s²**

In de stabiliteitsberekeningen is voor het gehele grondmodel een gelijke versnelling opgelegd, zonder rekening te houden met damping. Dit is een conservatieve aanname.

Wateroverspanningen

Tijdens het gebruik worden de cyclische belastingen via het stijve funderingsblok over de palen verdeeld. Wateroverspanningen zullen op korte afstand al zijn afgenomen (<10m). Het effect van de wateroverspanningen in de gebruiksfase is niet relevant voor de macrostabiliteit van de waterkering.

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 trillingsnelheid 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.

5.1.3 Belastingen tijdens de verwijderingsfase

Net als bij het heien zullen sloopwerkzaamheden plaatsvinden onder 'normale' omstandigheden (buiten het gesloten stormseizoen) en daardoor niet gelijktijdig plaatsvinden met maatgevende hydraulische belastingen.

Kruinbelasting

Tijdens de verwijderingsfase is ervan uitgegaan 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 (zonder hoogwater) en daarom niet maatgevend.

6 Kwantitatieve beoordeling ondergrondse effecten

6.1 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.

6.2 Relevante faalmechanismen

Het beschouwen van mogelijke effecten van de windturbines op de waterveiligheid is in de kwalitatieve analyse bepaald aan de hand van verschillende faalmechanismen. Een korte beschrijving van de *relevante* faalmechanismen, evenals de potentiële effecten op de sterkte van of de belasting op de waterkering, is gegeven in

Tabel 6-1.

Opgemerkt wordt, dat de effecten op het achterland door het falen van de verbindende waterkering beperkt zullen. Aangezien sprake is van een water-waterscheiding (tussen het Calandkanaal de Nieuwe Waterweg) zal een dijkbraak leiden tot stijging van het waterpeil in de Nieuwe-Waterweg. Er is geen directe overstrooming van bewoond gebied.

Tabel 6-1 Omschrijving faalmechanismen (VTV2006)

Faalmechanisme	Omschrijving effecten op belasting/sterkte
 Overlopen (A)	Overlopen betreft inundatie van het dijkringgebied 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 heitruillingen; - Een tijdelijke open ontgraving voor de kruising van kabels leidt tot een tijdelijke kruinhoogteverlaging. <u>Gebruiksfase:</u> - Afname van de kruinhoogte door verdichting/verweking van de zandige waterkering als gevolg van trillingen van het fundament; <u>Verwijderingsfase:</u> - Afname van de kruinhoogte door verdichting/verweking van de zandige waterkering als gevolg van trillingen tijdens sloop van het fundament.
 Golfoverslag (B)	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> <u>Bouwfase:</u> - 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 <u>Alle fasen:</u> - 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.
 Afschuiven binnentalud (C)	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> <u>Bouwfase:</u> - Toename van belasting door trillingen tijdens het heien van palen; - Ontgraving voor een eventuele kabelsleuf evenwijdig aan de waterkering. <u>Gebruiksfase:</u> - Trillingen van het fundament als gevolg van cyclische windbelastingen kunnen leiden tot toename van de grondbelasting; <u>Verwijderingsfase:</u> - Toename van belasting door trillingen tijdens het slopen van het fundament.

Faalmechanisme	Omschrijving effecten op belasting/sterkte
 Afschuiven buitentalud	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).
 "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>Gebruiksfase:</i> • Kruisende kabel kan leiden tot erosie door piping/kwelstroming langs de kabel. • Kiervorming langs palen, waardoor kwelweg wijzigt; <i>Verwijderfase:</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>Gebruiksfase:</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.

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

Tabel 6-2: 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	-	-
Niet-waterkerende objecten (NWO)	Aanleg kabels	Objecten/faciliteiten t.b.v. gebruik windpark (o.a. lantaarnpalen, schakelkasten, etc)	-

Deze potentiële faalmechanismen worden hierna nader kwantitatief beoordeeld. Ten aanzien van piping geldt dat de bekabeling wordt beschouwd als Niet Waterkerende Object (NWO). De bekabeling is zodanig afzonderlijk beschouwd.

6.3 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 op de kruin en het binnentalud 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.

6.4 Beoordeling op binnenwaartse stabiliteit (STBI)

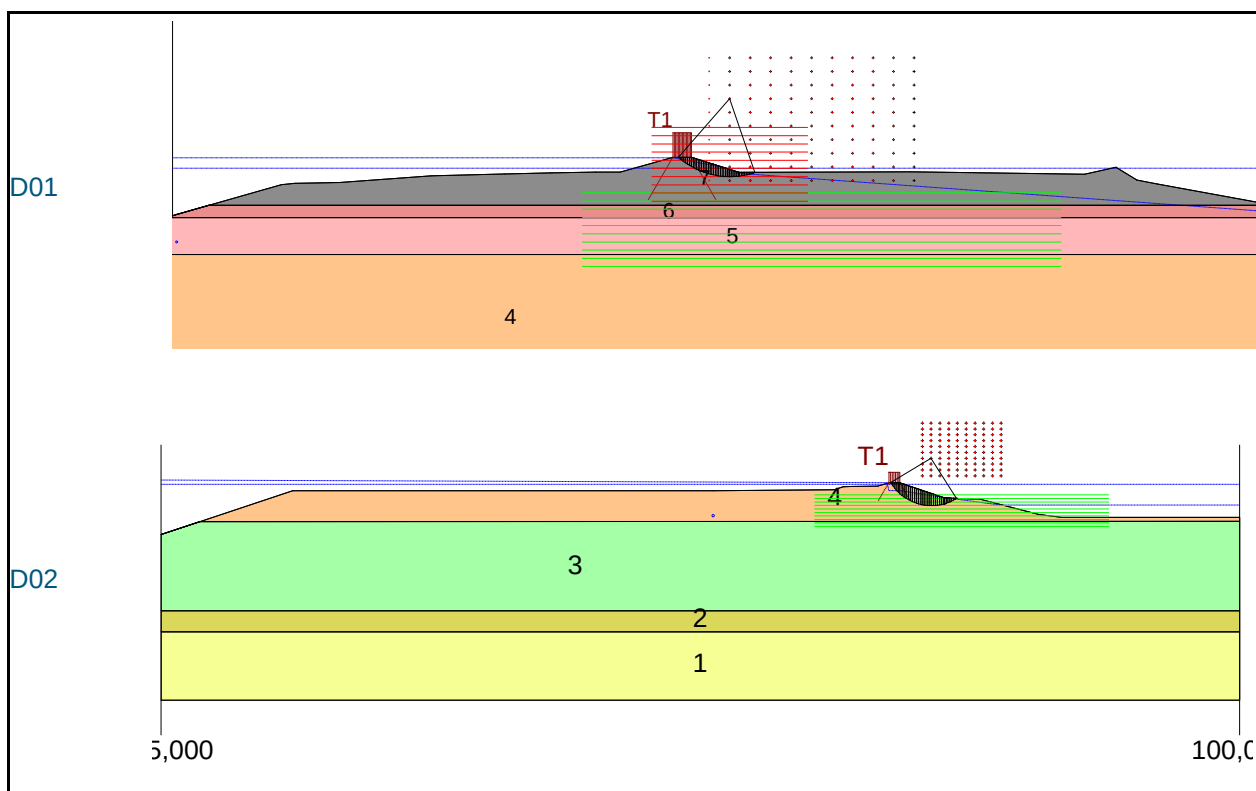
De ontwikkeling van het windpark leidt niet tot verandering van de bodemopbouw van de waterkering of de ondergrond.

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.

Tijdens de bouw (en het verwijderen) van het windpark wordt de waterkering extra belast door trillingen ten gevolge van het heien van de funderingspalen. Door middel van glijvlakberekeningen is nagegaan wat het effect hiervan is op de stabiliteit, zie bijlage A11.

Tijdens het gebruik van de windturbines wordt de horizontale windbelastingen via de fundering overgedragen naar de ondergrond. Deze belastingen resulteren in geringe trillingen (grondversnellingen). De belastingen blijven veelal beperkt tot de bovenste grondlagen en dempen uit naarmate de afstand tot het fundament toeneemt. In hoofdstuk 5 zijn de te verwachten grondversnellingen afgeleid. Door middel van glijvlakberekeningen is nagegaan wat het effect hiervan is op de stabiliteit van de waterkering.

Ter illustratie is in onderstaande figuur het resultaat van enkele berekeningen opgenomen.



Figuur 6-1 Voorbeelden stabiliteitsberekeningen binnentalud

De resultaten van de stabiliteitsberekeningen staan in de volgende tabel.

Tabel 6-3 Resultaten berekening stabiliteit binnenwaarts – talud zijde Nieuwe waterweg

Locatie Profiel	Situatie		WS BU	WS BI	SH	Kruin	Versnelling		Berekende
			[m NAP]	[m NAP]	[m NAP]	[kPa]	Hor	Vert	Stab.factor
D01	Huidig	Dagelijks	+1,3	+0,9	+1,0	0	0	0	1,91
		Extreem	+6,85	+2,1	+6,0	13,3	0	0	1,08
	Bouw	Dagelijks	+1,3	+0,9	+1,0	0	0,12g	0,12g	1,37
	Gebruik	Dagelijks	+1,3	+0,9	+1,0	0	0,004g	0,004g	1,88
		Extreem-draaiend	+6,85	+2,1	+6,0	13,3	0,008g	0,004g	1,05
		Extreem-stilstaand	+6,85	+2,1	+6,0	13,3	0,016g	0,008g	1,03
		Extreem-noodstop	+6,85	+2,1	+6,0	13,3	0,03g	0,015g	0,99
D02	Huidig	Dagelijks	+1,3	+0,9	+1,0	0	0	0	1,71
		Extreem	+6,85	+2,1	+6,0	13,3	0	0	1,13
	Bouw	Dagelijks	+1,3	+0,9	+1,0	0	0,12g	0,12g	0,94
	Gebruik	Dagelijks	+1,3	+0,9	+1,0	0	0,004g	0,004g	1,68
		Extreem-draaiend	+6,85	+2,1	+6,0	13,3	0,008g	0,004g	1,10
		Extreem-stilstaand	+6,85	+2,1	+6,0	13,3	0,016g	0,008g	1,07
		Extreem-noodstop	+6,85	+2,1	+6,0	13,3	0,03g	0,015g	1,02

WS BU Waterstand in Calandkanaal
 WS BI Waterstand Nieuwe waterweg
 SH Stijghoogte van grondwater in diepere zand
 Hor/vert Horizontale en verticale versnelling

Uit de stabiliteitsberekeningen van het binnentalud (zijde Nieuwe Waterweg) blijkt het volgende:

- In de 'huidige' situatie onder extreme omstandigheden zonder trillingen (=referentiesituatie hoogwater), voldoet de kering niet aan de gestelde eis. De berekende stabiliteitsfactor is 1,08 à 1,13 (veiligheidsfactor dient $\geq 1,33$ te zijn);
- Tijdens de aanleg van de windturbines (heien van funderingspalen) voldoet profiel D02 niet aan de gestelde eis. Geadviseerd wordt een trillingsarm paalsysteem toe te passen, zodat heitruillingen worden voorkomen (zie ook resultaten van berekeningen van het talud van Calandkanaal in paragraaf 6.6);
- Tijdens gebruik van de windturbines voldoen beide locaties. De berekende stabiliteitsfactoren laten een afname zien van 2%, ten opzichte van de referentiesituatie onder dagelijkse omstandigheden;
- Voor de gebruikssituatie onder extreme omstandigheden, met hoogwater, zwaar verkeer op de kruin van de waterkering en extreme wind is de berekende veiligheidsfactor 1,02 à 1,1. Ten opzichte van de referentiesituatie is dit een afname van 3% tot 10%.

Op basis van het voorgaande wordt geconcludeerd dat gebruik van heipalen bij de aanleg van de fundering van het windpark mogelijk te grote effecten kan hebben op de waterveiligheid. Daarom wordt geadviseerd een trillingsarm paalsysteem toe te passen.

Uit de analyses blijkt verder dat de aanwezigheid van het windpark geringe effecten zal hebben op de binnenwaartse macrostabiliteit. Onder dagelijkse omstandigheden neemt de berekende stabiliteitsfactor met circa 2% af, maar wordt nog steeds aan de eis voldaan. De veiligheid ten opzichte van macrostabiliteit binnenwaarts neemt dan met 0,08% af.

Onder extreme omstandigheden neemt de stabiliteitsfactor af met 3% tot 10% (afname veiligheid ten opzicht van macrostabiliteit binnenwaarts met maximaal 0,4%). Opgemerkt wordt dat de referentiesituatie (huidige situatie zonder trillingen) bij deze hoogwatersituatie niet voldoet aan de eis.

In overleg met RWS dient te worden bepaald of de berekende veiligheidsfactoren acceptabel zijn voor deze extreme situaties.

Een eventuele toekomstige stabiliteitsverhogende maatregel (taudverflauwing of inbrengen grondkering) blijft bij aanwezigheid van windturbines gewoon mogelijk.

Als voorwaarde geldt verder dat de uitvoering buiten het stormseizoen dient plaats te vinden.

6.5 Beoordeling op buitenwaartse stabiliteit (STBU)

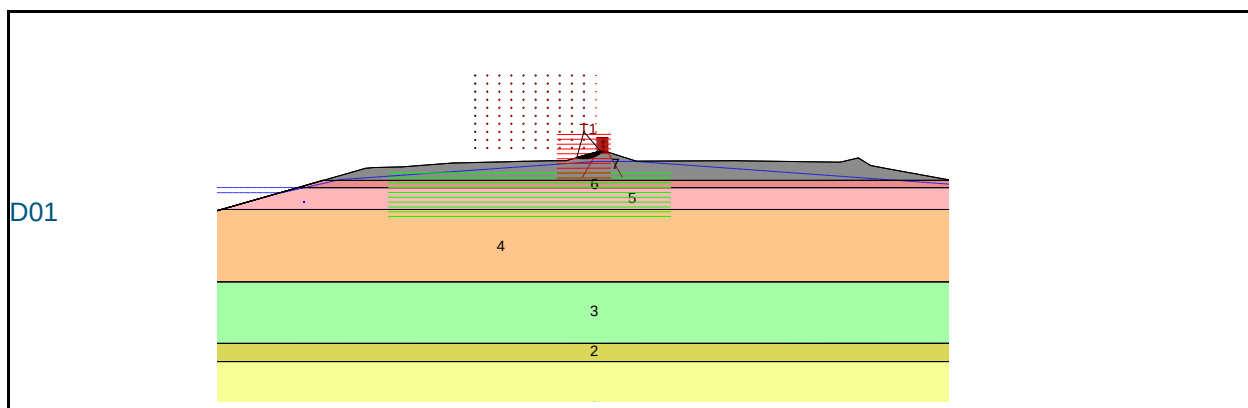
De ontwikkeling van het windpark leidt niet tot verandering van de bodemopbouw van de waterkering of de ondergrond.

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.

Tijdens de bouw (en het verwijderen) van het windpark wordt de waterkering extra belast door trillingen ten gevolge van het heien van de funderingspalen. Door middel van glijvlakberekeningen is nagegaan wat het effect hiervan is op de stabiliteit.

Tijdens het gebruik van de windturbines wordt de horizontale windbelastingen via de fundering overgedragen naar de ondergrond. Deze belastingen resulteren in geringe trillingen (grondversnellingen). De belastingen blijven veelal beperkt tot de bovenste grondlagen en dempen uit naarmate de afstand tot het fundament toeneemt. In hoofdstuk 5 zijn de te verwachten grondversnellingen afgeleid. Door middel van glijvlakberekeningen is nagegaan wat het effect hiervan is op de stabiliteit van de waterkering.

Ter illustratie is in onderstaande figuur het resultaat van een berekening opgenomen.



Figuur 6-2 Voorbeelden stabiliteitsberekeningen buitentalud

De resultaten van de stabiliteitsberekeningen staan in de volgende tabel, zie ook bijlage A12.

Tabel 6-4 Resultaten berekening stabiliteit buitenwaarts – talud zijde Calandkanaal

Locatie profiel	Situatie		WS BU	WS BI	SH	Kruin	versnelling		Berekende
			[m NAP]	[m NAP]	[m NAP]	[kPa]	hor	vert	Stab.factor
D01	huidig	dagelijks	+0,9	+0,9	+1,0	0	0	0	2,14
		extreem	+1,3	+2,1	+2,0	13,3	0	0	1,58
	bouw	dagelijks	+0,9	+0,9	+1,0	0	0,12g	0,12g	1,50
		gebruik	+0,9	+0,9	+1,0	0	0,004g	0,004g	2,11
	gebruik	Extreem-noodstop	+1,3	+2,1	+2,0	13,3	0,03g	0,015g	1,49
D02	huidig	dagelijks	+0,9	+0,9	+1,0	0	0	0	4,48
		extreem	+1,3	+2,1	+2,0	13,3	0	0	2,76
	bouw	dagelijks	+0,9	+0,9	+1,0	0	0,12g	0,12g	1,89
		gebruik	+0,9	+0,9	+1,0	0	0,004g	0,004g	4,39
	gebruik	Extreem-noodstop	+1,3	+2,1	+2,0	13,3	0,03g	0,015g	2,21

WS BU Waterstand in Calandkanaal
 WS BI Waterstand Nieuwe waterweg
 SH Stijghoogte van grondwater in diepere zand
 Hor/vert Horizontale en verticale versnelling

Uit de stabiliteitsberekeningen van het buitentalud van de kering (zijde Calandkanaal) blijkt het volgende:

- De berekende stabiliteitsfactor voldoet voor alle situaties aan de gestelde eis (veiligheidsfactor dient $\geq 1,25$ te zijn);
- Tijdens de aanleg van de windturbines (heien van funderingspalen) neemt de stabiliteitsfactor van de kering wel flink af (30% tot 58%), maar blijft deze factor voldoende hoog;
- Tijdens gebruik van de windturbines onder dagelijkse omstandigheden neemt de stabiliteitsfactor met 1% à 2% af;
- Voor de gebruikssituatie onder extreme omstandigheden, met hoogwater, zwaar verkeer op de kruin van de kering en een noodstop van de rotor, is de berekende stabiliteitsfactor 1,5 à 2,2. Ten opzichte van de referentiesituatie is dit een afname van 6% à 20%.

Op basis van het voorgaande wordt geconcludeerd dat de plaatsing en aanwezigheid van het windpark geringe effecten zal hebben op de buitenwaartse macrostabiliteit, maar dat in alle situaties aan de gestelde eis wordt voldaan.

Onder dagelijkse omstandigheden zal bij het gebruik van het windpark de stabiliteit van de waterkering met 1% à 2% zijn afgenomen. Bij extreme omstandigheden is de afname groter (6% à 20%).

De veiligheid ten op zichte van macrostabiliteit buitenwaarts neemt met maximaal 0,08% af.

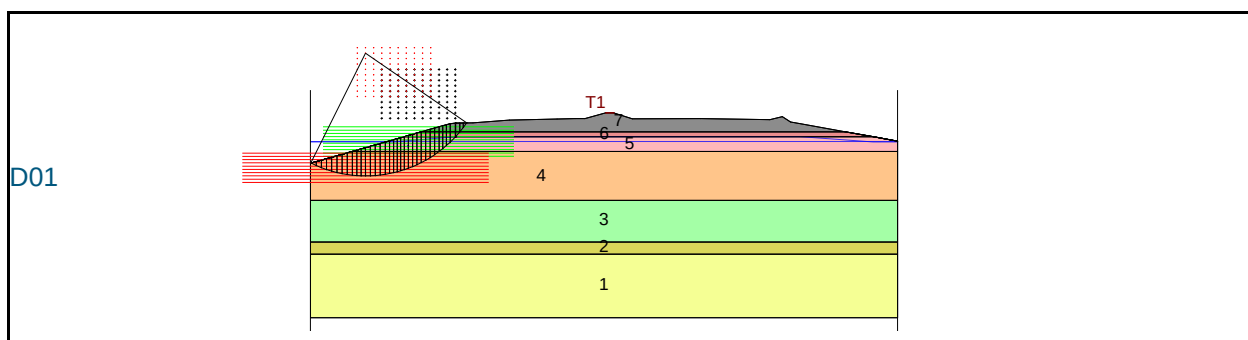
6.6 Beoordeling op stabiliteit talud Calandkanaal (STBU)

Het talud van het Calandkanaal is apart beschouwd. De geometrie van het talud is niet bekend, in de berekening is het talud met een helling van circa 1:3 doorgezet tot NAP -3,5m.

De ontwikkeling van het windpark leidt niet tot verandering van de bodemopbouw of geometrie ter plaatse van het talud van het Calandkanaal. Tijdens de bouw (en het verwijderen) van het windpark wordt het talud extra belast door trillingen ten gevolge van het heien van de funderingspalen. Door middel van glijvlakberekeningen is nagegaan wat het effect hiervan is op de stabiliteit.

Tijdens het gebruik van de windturbines wordt de horizontale windbelastingen via de fundering overgedragen naar de ondergrond. Deze belastingen resulteren in geringe trillingen (grondversnellingen). De belastingen blijven veelal beperkt tot de bovenste grondlagen en dempen uit naarmate de afstand tot het fundament toeneemt. In hoofdstuk 5 zijn de te verwachten grondversnellingen afgeleid. Door middel van glijvlakberekeningen is nagegaan wat het effect hiervan is op de stabiliteit van het talud van het kanaal.

Ter illustratie is in onderstaande figuur het resultaat van een berekening opgenomen.



Figuur 6-3 Voorbeelden stabiliteitsberekeningen talud Calandkanaal

De resultaten van de stabiliteitsberekeningen staan in de volgende tabel, zie ook bijlage A13.

Tabel 6-5 Resultaten berekening stabiliteit buitenwaarts – talud Calandkanaal

Locatie profiel	Situatie		WS BU [m NAP]	WS BI [m NAP]	SH [m NAP]	Kruin [kPa]	versnelling		Berekende Stab.factor
							hor	vert	
D01	huidig	dagelijks	+0,9	+0,9	+1,0	0	0	0	1,19
	bouw	dagelijks	+0,9	+0,9	+1,0	0	0,12g	0,12g	0,68
	gebruik	dagelijks	+0,9	+0,9	+1,0	0	0,004g	0,004g	1,17
		dagelijks-noodstop	+0,9	+0,9	+1,0	0	0,03g	0,015g	1,02
D02	huidig	dagelijks	+0,9	+0,9	+1,0	0	0	0	1,20
	bouw	dagelijks	+0,9	+0,9	+1,0	0	0,12g	0,12g	0,77
	gebruik	dagelijks	+0,9	+0,9	+1,0	0	0,004g	0,004g	1,18
		Dagelijks-noodstop	+0,9	+0,9	+1,0	0	0,03g	0,015g	1,06

WS BU Waterstand in Calandkanaal
 WS BI Waterstand Nieuwe waterweg
 SH Stijghoogte van grondwater in diepere zand
 Hor/vert Horizontale en verticale versnelling

Uit de stabiliteitsberekeningen van het talud van het Calandkanaal blijkt het volgende:

- De stabiliteit van het talud van het Calandkanaal voldoet in alle situaties niet aan de gestelde eis van 1,25;
- Tijdens de aanleg van de fundering kan de stabiliteit van het talud ten gevolge van de trillingen van het heien onvoldoende worden (factor <1). Geadviseerd wordt een trillingsarm paalsysteem toe te passen, zodat heitruillingen worden voorkomen;
- Tijdens het gebruik van de windturbines onder dagelijkse omstandigheden neemt de stabiliteitsfactor met 2% af tot 1,17 à 1,18;
- Tijdens het gebruik van de windturbines bij een noodstop van de rotor (extreme grondversnelling), neemt de stabiliteitsfactor met 12% tot 14% af tot 1,02 à 1,06.

Opgemerkt wordt dat de referentiesituatie (huidige situatie zonder trillingen) niet voldoet aan de eis.

Op basis van het voorgaande wordt geconcludeerd dat gebruik van heipalen bij de aanleg van de fundering van het windpark mogelijk te grote effecten kan hebben de stabiliteit van het talud. Daarom wordt geadviseerd een trillingsarm paalsysteem toe te passen.

Uit de analyses blijkt verder dat de aanwezigheid van het windpark geringe effecten zal hebben op de stabiliteit van het talud van het Calandkanaal. Onder dagelijkse omstandigheden neemt de stabiliteitsfactor met circa 2% af.

Onder extreme omstandigheden neemt deze factor af met 12% tot 14%.

Voor de veiligheid ten opzicht van macrostabiliteit buitenwaarts betekent dit een afname van maximaal 0,06%.

In overleg met RWS bepalen of de berekende veiligheidsfactoren acceptabel zijn voor deze extreme situaties.

Als voorwaarde geldt verder dat de uitvoering buiten het stormseizoen dient plaats te vinden.

6.7 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 uitrede 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.

6.8 Beoordeling effecten voor bekleding

Bij graverij ten behoeve van de aanleg of verwijderen van de kabels en het fundament kan de deklaag en bekleding aan het buitentalud lokaal worden verstoord. Geadviseerd wordt om de uitvoering buiten het stormseizoen uit te voeren.

Tijdens de gebruiksfase kunnen de aansluitingen van harde constructieonderdelen (funderingspoer) op het dijklichaam extra gevoelig zijn voor materiaaluitspoeling door geconcentreerde oppervlakteafstroming bij neerslag of golfoverslag. Bij plaatsing van windturbines op/nabij het buitentalud van een waterkering vormen de aansluitingen extra gevoelige punten voor erosie/materiaaluitspoeling bij golfaanval.

In het definitief ontwerp dient aandacht te worden besteed aan het aansluiten van het funderingsblok en de verhardingen voor de kraanopstelplaats en bouwwegen op de bestaande bekleding. Voorwaarden voor het definitief ontwerp zijn:

- De bekleding in een zone van circa 10 m rondom de funderingsconstructie (helft van de blokdiameter) dient te worden ontworpen met een verhoogde hydraulische belasting: binnen deze zone dient de bekleding te worden versterkt, circa 1,5 maal de bestaande dikte.
- De aansluiting van de harde bekleding op het funderingsblok dient flexibel te worden uitgevoerd om de mogelijk optredende horizontale en verticale deformaties te kunnen opvangen.
- Bij verwijdering van de fundering dient de bekleding minimaal op de oorspronkelijke sterkte te worden teruggebracht.
- Bij het aanvullen van grond moet nauwkeurig worden gewerkt; cohesieve lagen moeten in dunne lagen worden teruggebracht (conform oorspronkelijke opbouw) en voldoende worden verdicht.

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.

6.9 NWO's

Niet-waterkerende objecten welke ten behoeve van het gebruik van het windpark op of bij de waterkering worden geplaatst dienen zodanig te worden geplaatst dat:

- Deze objecten zich buiten het legger profiel bevinden;
- Aansluitingen op bekleding zorgvuldig worden uitgevoerd;
- Bij eventuele fundering op palen dient een grondverdringend paalsysteem te worden toegepast;
- Aanleg van kabels en leidingen dient buiten het stormseizoen te gebeuren. Aanvulling van de sleuf dient zorgvuldig en met herstel van oorspronkelijk bodemprofiel te worden gedaan.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

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

- Hoogte (overlopen en golfoverslag);
- 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 binnenwaarts' zijn beoordeeld aan de hand van stabiliteitsberekeningen. Trillingen tijdens aanleg van de fundering zijn dusdanig dat geadviseerd wordt met een trillingsarm paalsysteem te werken.

Bij gebruik van het windpark onder dagelijkse omstandigheden neemt de veiligheid met circa 0,08% af, maar wordt nog steeds aan de eis voldaan.

Onder extreme omstandigheden neemt de veiligheid af met maximaal 0,4%. Opgemerkt wordt dat de referentiesituatie (huidige situatie zonder trillingen) bij deze hoogwatersituatie niet voldoet aan de eis. In overleg met RWS dient te worden bepaald of de berekende veiligheidsfactoren acceptabel zijn voor deze extreme situaties. Een eventuele toekomstige stabiliteitsverhogende maatregel (taludverflauwing of inbrengen grondkering) blijft bij aanwezigheid van windturbines gewoon mogelijk.

De effecten op de 'macrostabiliteit buitenwaarts' zijn beoordeeld aan de hand van stabiliteitsberekeningen. De plaatsing en aanwezigheid van het windpark zullen geringe negatieve effecten hebben op de buitenwaartse macrostabiliteit, maar in alle situaties wordt aan de gestelde eis voldaan.

Onder dagelijkse omstandigheden zal bij het gebruik van het windpark de veiligheid van de waterkering met maximaal 0,008% afnemen. Bij extreme omstandigheden is de afname groter, namelijk maximaal 0,08%.

De effecten op de stabiliteit van het talud van het Calandkanaal zijn separaat beoordeeld.

Opgemerkt wordt dat de referentiesituatie (huidige situatie zonder trillingen) niet voldoet aan de eis.

Het gebruik van heipalen bij de aanleg van de fundering van het windpark kan mogelijk te grote effecten hebben op de stabiliteit van het talud. Daarom wordt geadviseerd een trillingsarm paalsysteem toe te passen.

Uit de analyses blijkt verder dat de aanwezigheid van het windpark geringe effecten zal hebben op de stabiliteit van het talud van het Calandkanaal. Onder dagelijkse omstandigheden neemt de veiligheid met circa 0,008% af. Onder extreme omstandigheden neemt de veiligheid af met 0,06%.

In overleg met RWS dient te worden bepaald of de berekende veiligheidsfactoren acceptabel zijn voor deze extreme situaties.

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.

7.2 Aanbevelingen

Aanbeveling voor de bouw van het windpark

- Voor de twee windturbines die als uitbreiding op het bestaande park worden gebouwd dient ten behoeve van het funderingsontwerp nog geotechnisch onderzoek te worden uitgevoerd. Voor de overige locaties is reeds onderzoek beschikbaar;
- Voor meerdere faalmechanismen geldt dat de uitvoering buiten het stormseizoen plaats moet vinden;
- Voor de paalfunderingen wordt aanbevolen om een trillingsarm grondverdringend paalsysteem toe te passen;
- Voor de uitvoering van de bekabeling en het fundament wordt aanbevolen om de 'oorspronkelijke bodemopbouw' te herstellen in combinatie met een erosiebestendige aansluiting;
- Hoewel in de oorspronkelijke Wbr-vergunning van het bestaande windpark voorgeschreven, wordt afgeraden de bestaande palen onder deze turbines bij de ontmanteling van dat park te verwijderen (zie paragraaf 2.5). Om interactie tussen de palen van de bestaande, te verwijderen windturbines te voorkomen wordt geadviseerd de paalkoppen van de bestaande fundering minimaal 1 meter onder de onderzijde van het nieuwe funderingsblok te verwijderen, dan wel een andere voorziening te treffen die de overdracht van belasting tussen de nieuwe fundatie en de oude paalkoppen minimaliseert.

Monitoring

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.

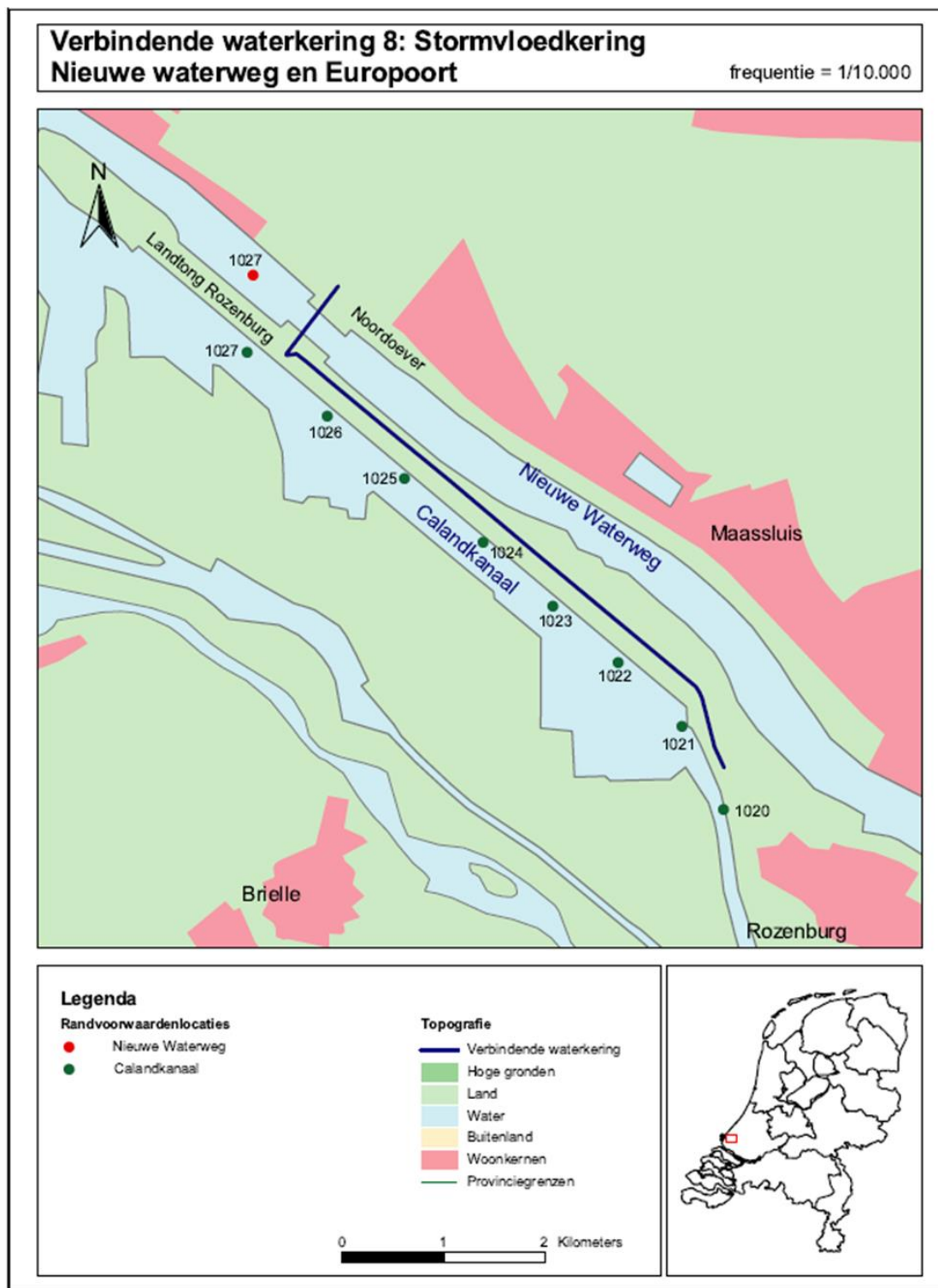
Aanbevolen wordt om in het monitoringsplan ook op te nemen met welke regelmaat (bijvoorbeeld voorafgaand aan en na een stormseizoen) inspecties worden uitgevoerd van de aansluiting van de bekleding op het fundament van de windturbine en verhardingen.

8 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, opdrachtnummer 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]

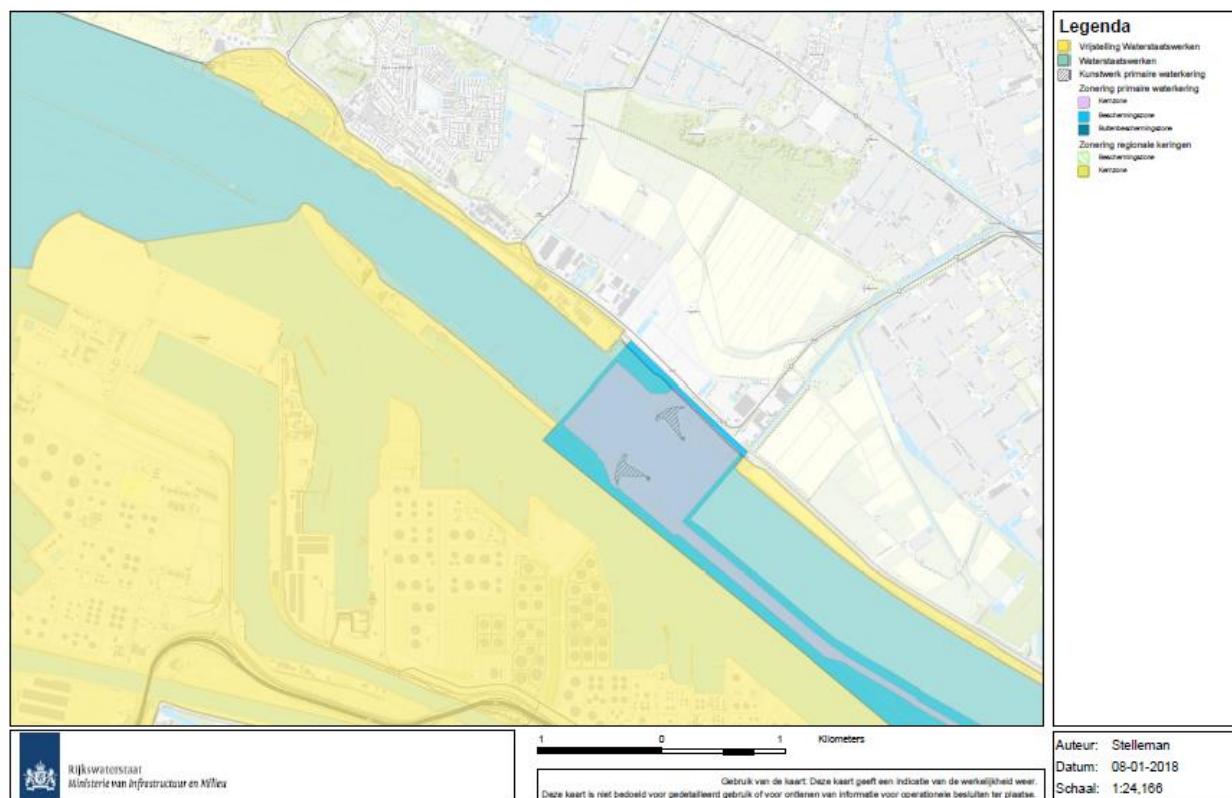
Signalerings- en ondergrenswaarden voorliggende keringen

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



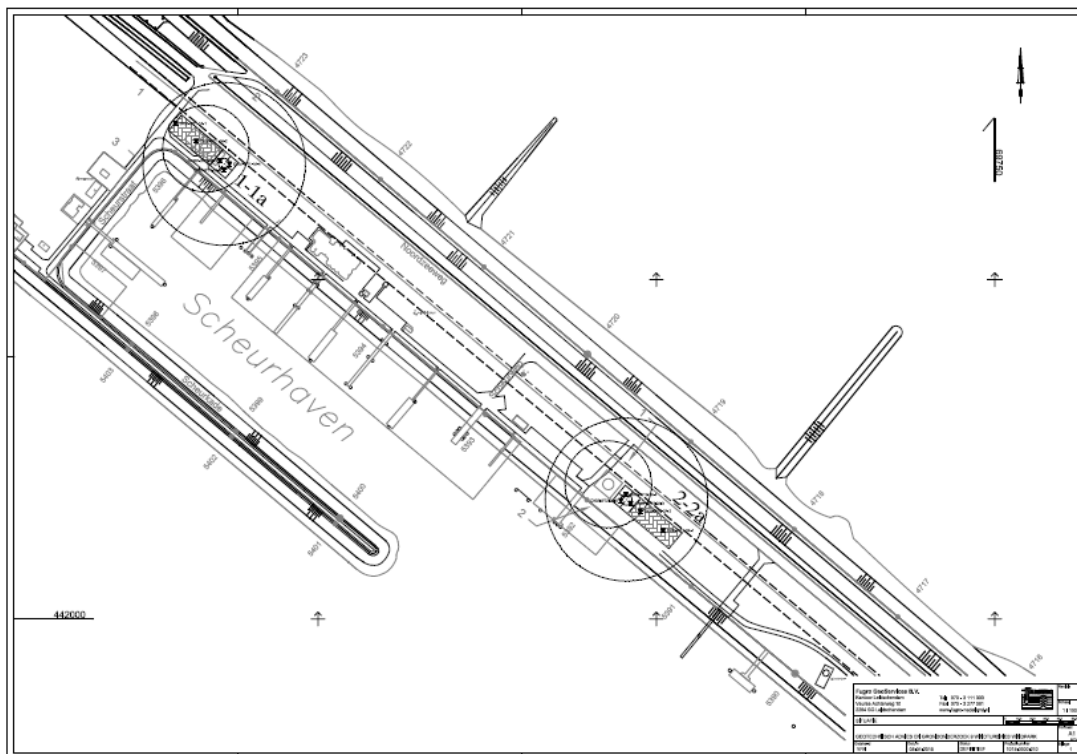
Figuur A- 4 Zonering kering RWS [Ref 5]

A4 Bodemgegevens DINOloket

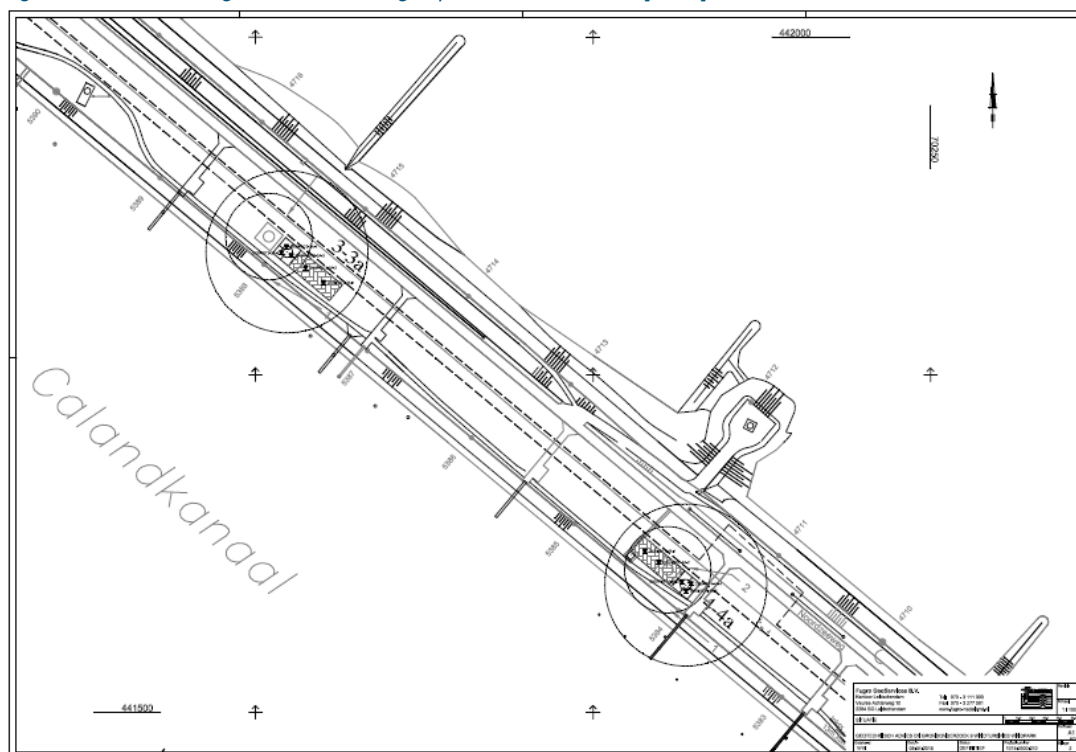


Figuur A- 5 Locaties geotechnische boringen opgenomen in DINO-loket

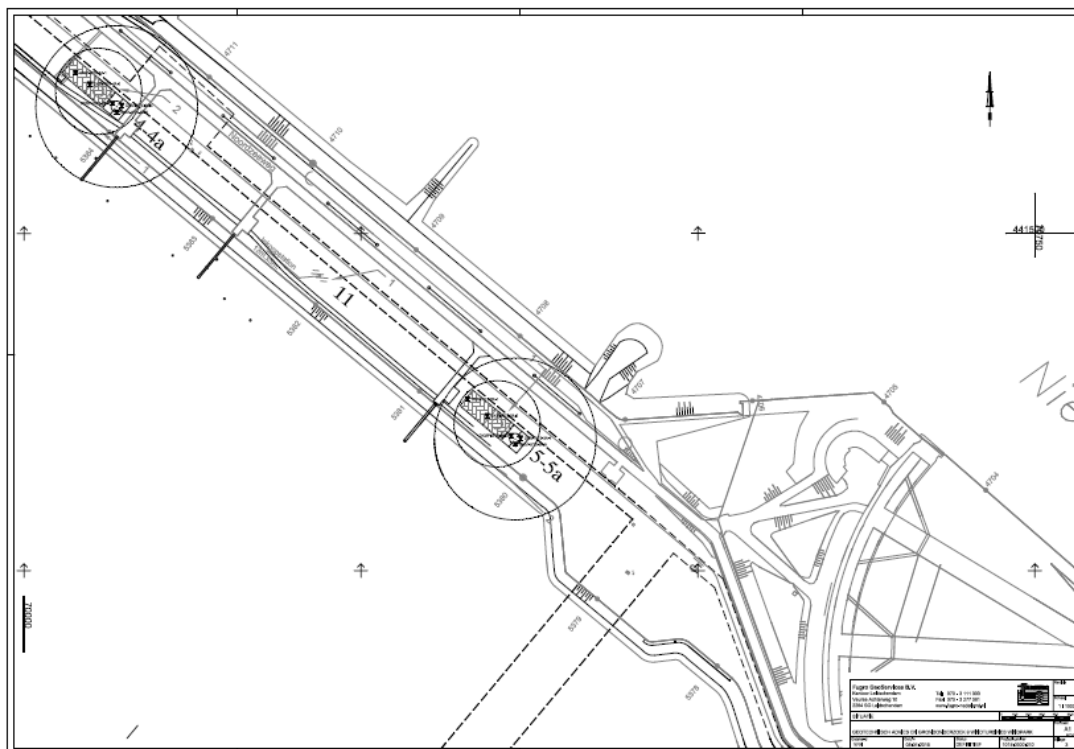
A5 Locaties Sonderingen Fugro



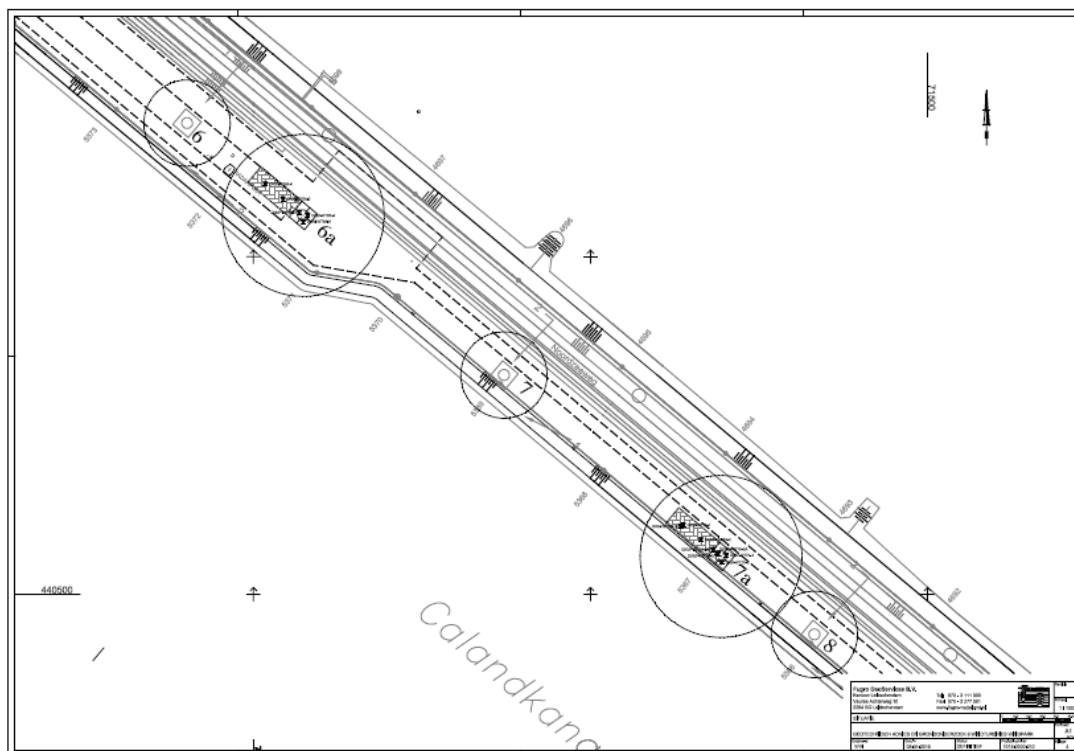
Figuur A- 6 Locaties uitgevoerde sonderingen posities 1-1a en 2-2a [Ref 2]



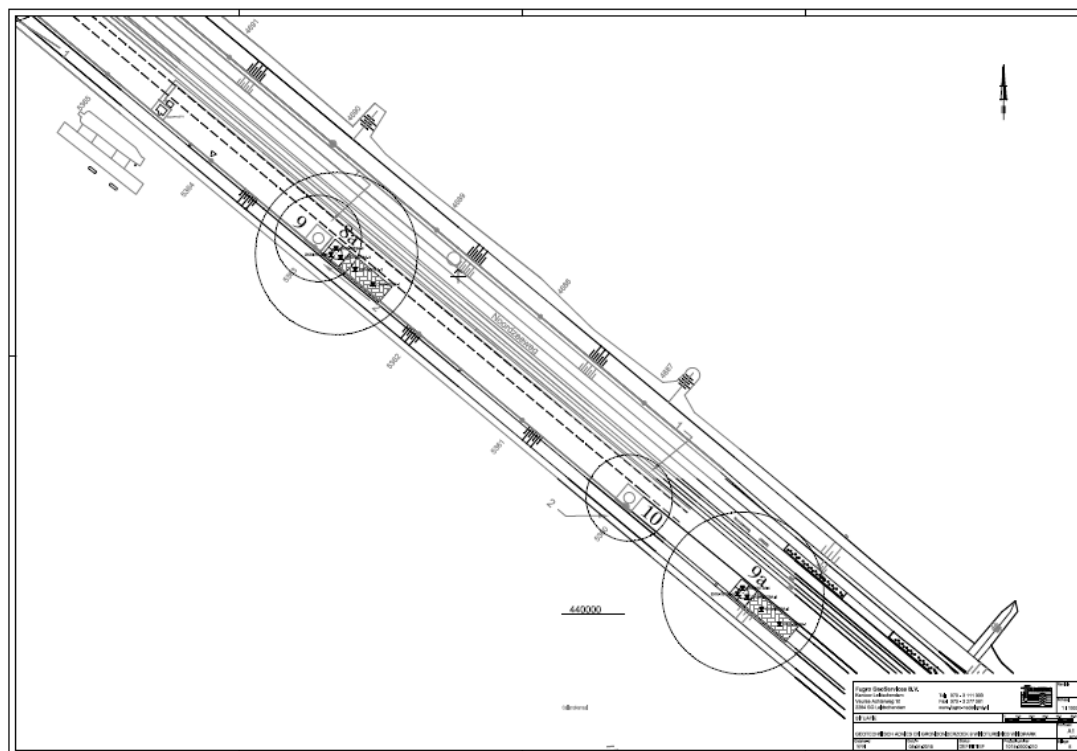
Figuur A- 7 Locaties uitgevoerde sonderingen posities 3-3a en 4-4a [Ref 2]



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



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



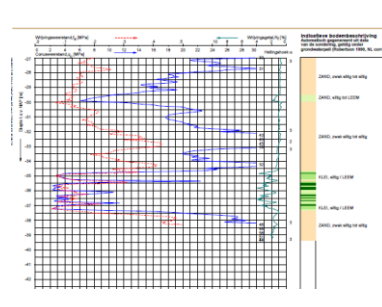
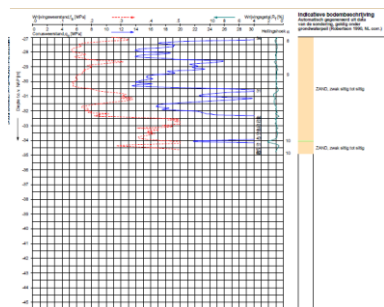
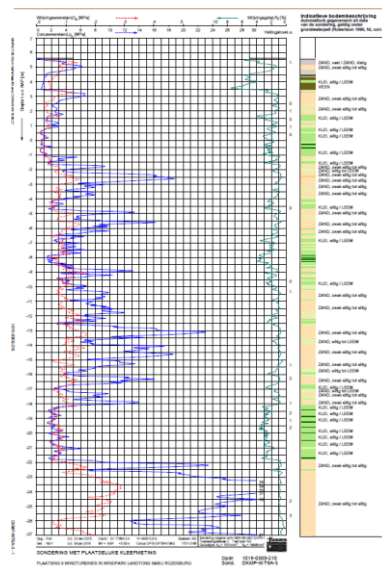
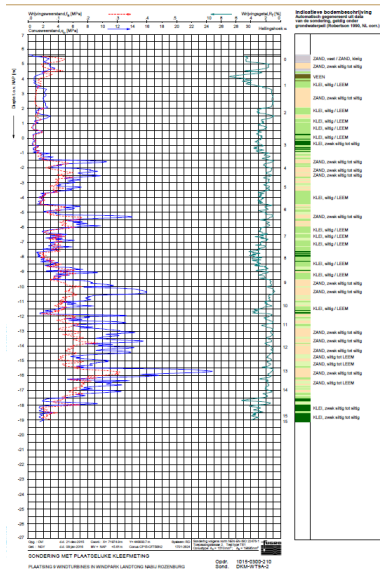
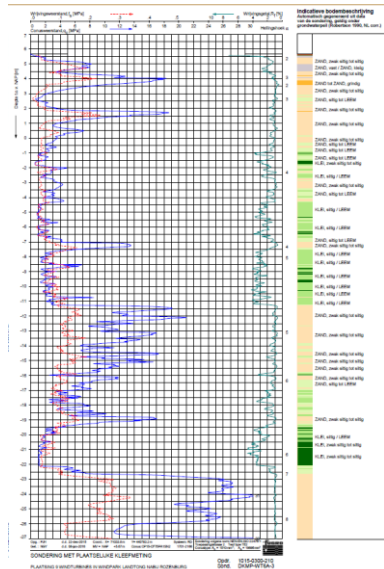
Figuur A- 10 Locaties uitgevoerde sonderingen posities 8a en 9a [Ref 2]

A6 Sonderingen

Sonderingen toegepast bij bodemschematisatie profielen D01 en D02.

DKM-WT6A-3 tbv D01

DKM-WT9A-2 en DKM-WT9A-3 tbv D02



A7 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. doortij	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)			

A8 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

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

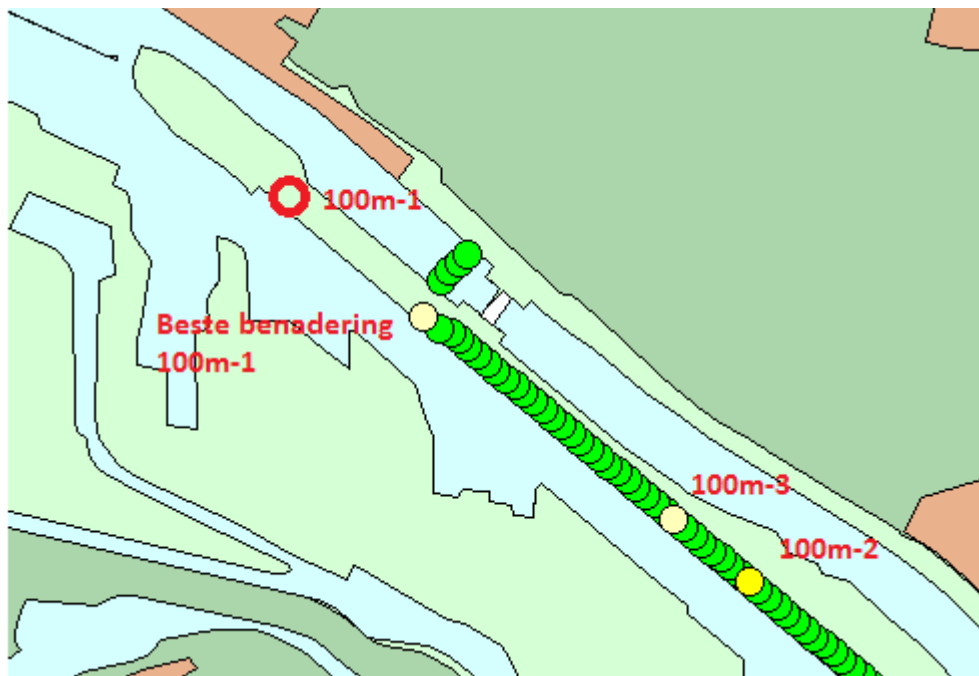
CSSM

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

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

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

A9 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]	$Tm-1,0$ [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
Rijnaafvoer 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 rijnaafvoer, zeewaterstand en windsnelheid, met volgende aannames:

Rijnaafvoer = 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

A10 Bepaling schematiseringsfactor

Gele cellen door gebruiker in te vullen!

Let op: Uitsluitend van toepassing bij het CSSM-materiaalmodel OI2014v4

Macrostabiliiteit_CSSM

Ontwerps in termen van schadefactor γ_n :

1,200

Idem in termen van betrouwbaarheidsindex β_{req} :

5,267

Idem in termen van toelaatbare faalkans:

6,95E-08

met

$$\gamma_n = 0,15\beta_{f(s,d,m)} + 0,41$$

Eerste keuze schematiseringsfactor:

1,140

Stab. factorels in ontwerpanalyse F_d ,els:

1,368

Corresponderende β :

6,387

Corresponderende faalkans:

8,48E-11

Bijdrage ontwerpschematisering aan faalkans:

8,39E-11

SI	P(SI)	$\Delta F_d(D;SI)$	$F_d(D;SI)$	β	$P_{sf}(D;SI)$	$P_{sf}(D;SI)*P(SI)$
1	0,990	0	1,37	6,387	8,48E-11	8,39E-11
2	0,004	0,34	1,71	8,653	2,50E-18	1,00E-20
3	0,003	-0,07	1,30	5,920	1,61E-09	4,83E-12
4	0,003	0	1,37	6,387	8,48E-11	2,54E-13
5			1,37	6,387	8,48E-11	0,00E+00
6			1,37	6,387	8,48E-11	0,00E+00
7			1,37	6,387	8,48E-11	0,00E+00
8			1,37	6,387	8,48E-11	0,00E+00
9			1,37	6,387	8,48E-11	0,00E+00
10			1,37	6,387	8,48E-11	0,00E+00

Omschrijving afwijking:

Basisschematisering D01 STBI Bouw (versn=0,12)

D01 bouw met kleikern ipv zandkern

D01 bouw met MV AL 0,2 m lager

D01 bouw met WS 1 m hoger

Totale faalkans S1 S10 :
 $\Delta F_d(D;SI)$ geeft toename van $F_d(D)$ tov stabiliteitsfactorels
bij aanname van scenario SI

8,90E-11

dit is 0%

van de toelaatbare kans

Indien dit kleiner dan 100% is, dan is de schematiseringfactor
schematiseringsfactor verhogen tot dit percentage < 100% is

Nieuwe schatting voor schematiseringfactor:

Kies nieuwe schematiseringfactor:

1,010

Stab. factorels in ontwerpanalyse:

1,212

Corresponderende β :

5,347

Corresponderende faalkans:

4,48E-08

Bijdrage ontwerpschematisering aan faalkans:

4,43E-08

Indien totale faalkans te groot, hoog dan schemati

Uitgangspunt bij berekening is dat dit leidt tot een

waarbij de stabiliteitsfactoren bij de verschillende

met de ophoging van de schematiseringfactor tot

(ten opzichte van de stabiliteitsfactoren boven)

Nieuwe bijdragen afwijkende schematiseringen:

SI	P(SI)	$F_d(D;SI)$	β	$P_{sf}(D;SI)$	$P_{sf}(D;SI)*P(SI)$
1	0,99	0	1,212	5,347	4,48E-08
2	0,004	0,34	1,552	7,613	1,34E-14
3	0,003	-0,07	1,142	4,880	5,30E-07
4	0,003	0	1,212	5,347	4,48E-08
5	0	0	1,212	5,347	4,48E-08
6	0	0	1,212	5,347	4,48E-08
7	0	0	1,212	5,347	4,48E-08
8	0	0	1,212	5,347	4,48E-08
9	0	0	1,212	5,347	4,48E-08
10	0	0	1,212	5,347	4,48E-08

NB: $F_d(D;SI)$ in deze tabel = $F_d(D;SI)$ uit bovenste tabel verhoogd met
toename stab factorels bij nieuwe schematiseringsfactor (oel f29-f9)

Nieuwe totale faalkans:

4,61E-08

dit is 66%

van de toelaatbare kans

Indien kleiner dan 100%

dan is schematiseringfactor ok

Gele cellen door gebruiker in te vullen!

Let op: Uitsluitend van toepassing bij het Mohr-Coulomb model

Macrostabieliteit_Mohr Coulomb

Ontwerpels in termen van schade factor γ_n : 1,200

Idem in termen van betrouwbaarheidsindex β_{req} : 5,538

Idem in termen van toelaatbare faalkans: 1,53E-08

Eerste keuze schematiseringsfactor: 1,140

Stab. factorels in ontwerpanalyse $F_{d,els}$: 1,368

Corresponderende β : 6,831

Corresponderende faalkans: 4,22E-12

Bijdrage ontwerpschematisering aan faalkans: 4,18E-12

$$\beta = 4 + (F_{d,els} - 1) / 0.13$$

SI	P(SI)	$\Delta F_d(D; SI)$	$F_d(D; SI)$	β	$P_{sf}(D; SI)$	$P_{sf}(D; SI) \cdot P(SI)$
1	0,990	0	1,368	6,831	4,22E-12	4,18E-12
2	0,004	0,34	1,708	9,446	1,76E-21	7,03E-24
3	0,003	-0,07	1,298	6,292	1,56E-10	4,69E-13
4	0,003	0	1,368	6,831	4,22E-12	1,27E-14
5			1,368	6,831	4,22E-12	0,00E+00
6			1,368	6,831	4,22E-12	0,00E+00
7			1,368	6,831	4,22E-12	0,00E+00
8			1,368	6,831	4,22E-12	0,00E+00
9			1,368	6,831	4,22E-12	0,00E+00
10			1,368	6,831	4,22E-12	0,00E+00

Omschrijving afwijking:

Basisschematisering D01 STBI Bouw (versn=0,12)

D01 bouw met kielkern ipv zandkern

D01 bouw met MV AL 0,2 m lager

D01 bouw met WS 1 m hoger

Totale faalkans S1 ... S10 :

4,66E-12

$\Delta F_d(D; SI)$ geeft toename van $F_d(D)$ tov stabiliteitsfactorels bij aanname van scenario SI

dit is 0%

van de toelaatbare kans

Indien dit kleiner dan 100% is, dan is de schematiseringfactor verhoogd tot dit percentage < 100% is

Nieuwe schatting voor schematiseringsfactor:

Kies nieuwe schematiseringsfactor: 1,010

Stab. factorels in ontwerpanalyse: 1,212

Corresponderende β : 5,631

Corresponderende faalkans: 8,97E-09

Bijdrage ontwerpschematisering aan faalkans: 8,88E-09

Indien totale faalkans te groot, hoog dan schemat

Uitgangspunt bij berekening is dat dit leidt tot een

waarbij de stabiliteitsfactoren bij de verschillende

met de ophoging van de schematiseringsfactor to

(ten opzichte van de stabiliteitsfactoren boven)

Nieuwe bijdragen afwijkende schematiseringen:

SI	P(SI)	$F_d(D; SI)$	β	$P_{sf}(D; SI)$	$P_{sf}(D; SI) \cdot P(SI)$
1	0,99	0	1,212	5,631	8,97E-09
2	0,004	0,34	1,552	8,246	8,18E-17
3	0,003	-0,07	1,142	5,092	1,77E-07
4	0,003	0	1,212	5,631	8,97E-09
5	0	0	1,212	5,631	8,97E-09
6	0	0	1,212	5,631	8,97E-09
7	0	0	1,212	5,631	8,97E-09
8	0	0	1,212	5,631	8,97E-09
9	0	0	1,212	5,631	8,97E-09
10	0	0	1,212	5,631	8,97E-09

NB: $F_d(D; SI)$ in deze tabel = $F_d(D; SI)$ uit bovenste tabel verhoogd met toename stab factorels bij nieuwe schematiseringsfactor (oel f29-f9)

Nieuwe totale faalkans:

9,44E-09

dit is 62%

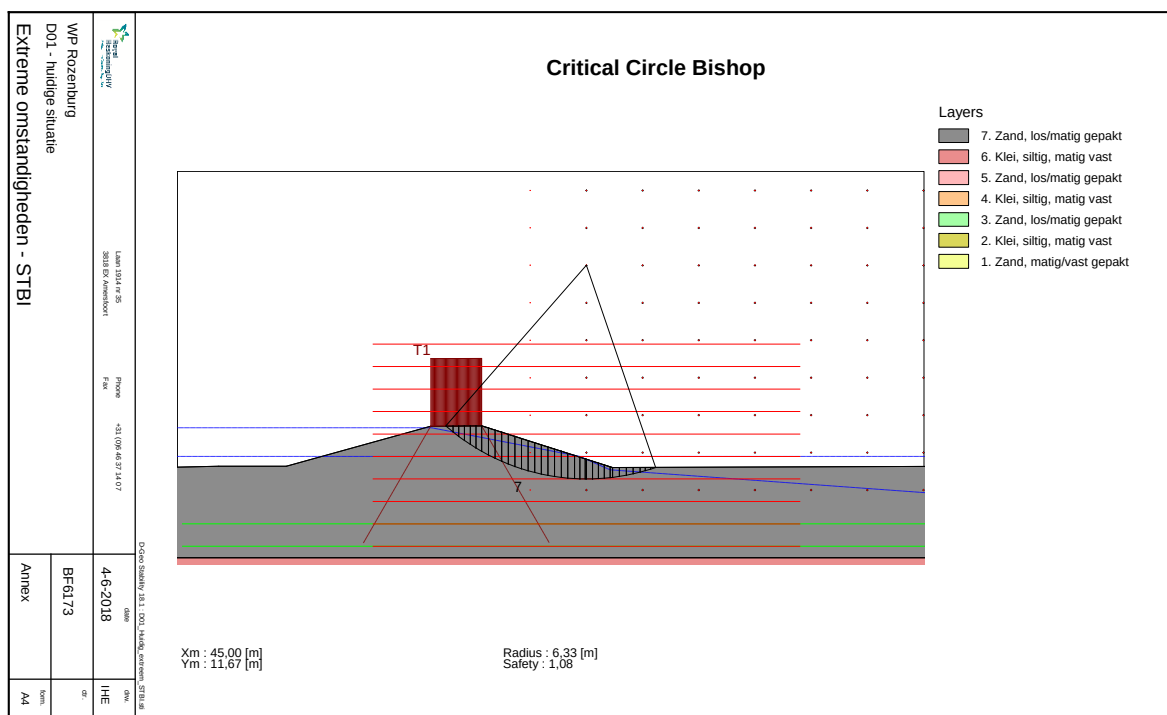
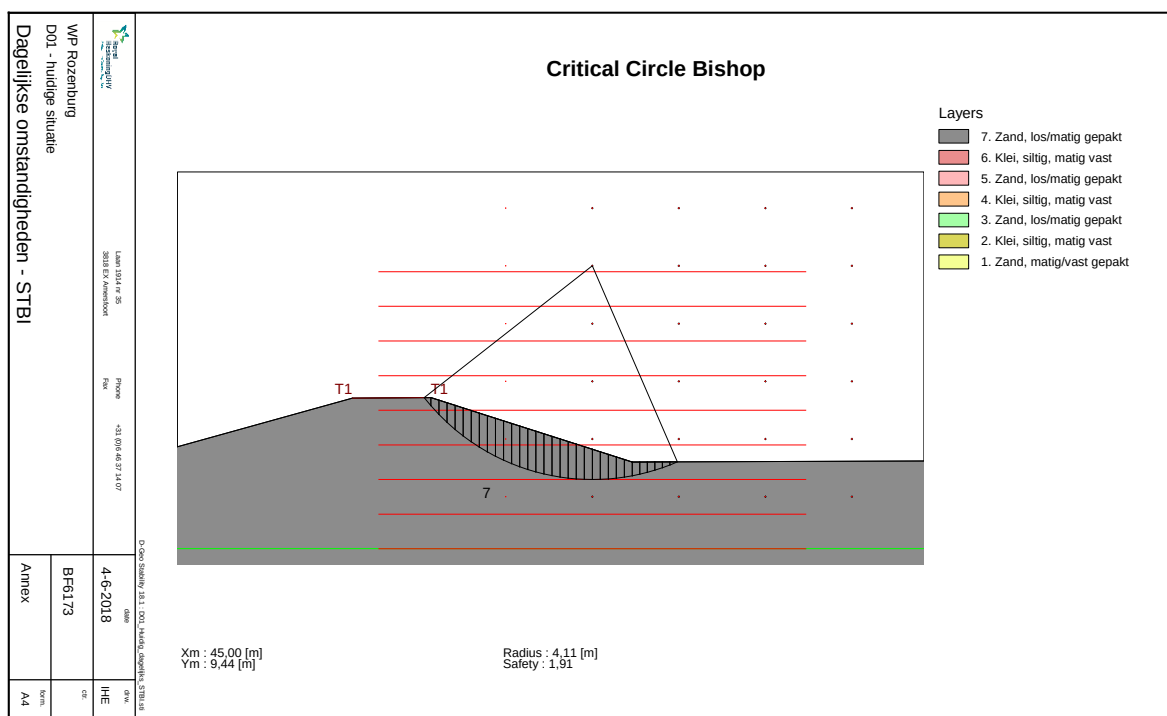
van de toelaatbare kans

Indien kleiner dan 100%

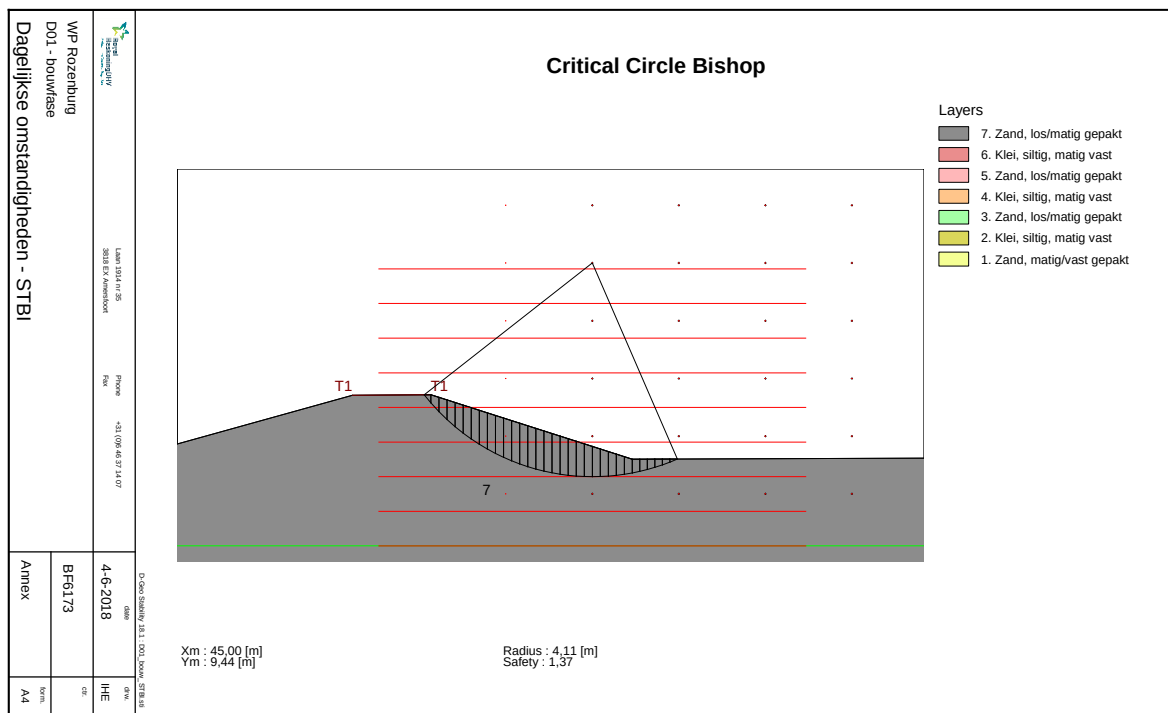
dan is schematiseringfactor ok

A11 Resultaten stabiliteitsberekeningen STBI

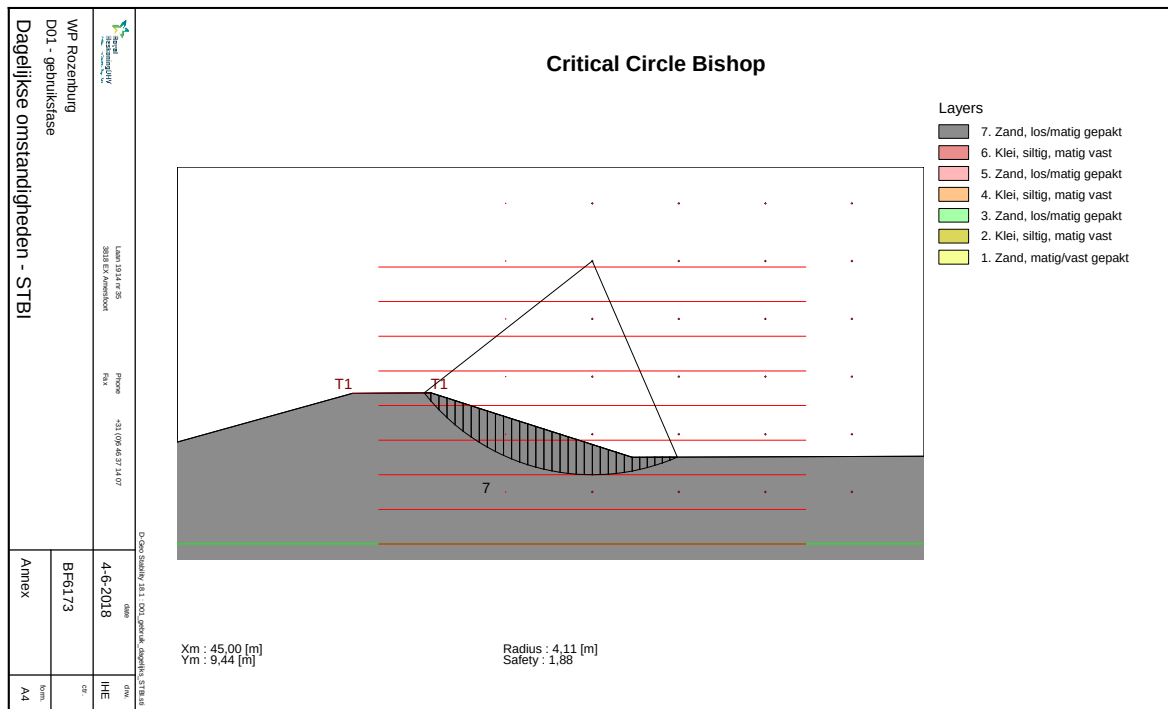
D01 Huidige situatie

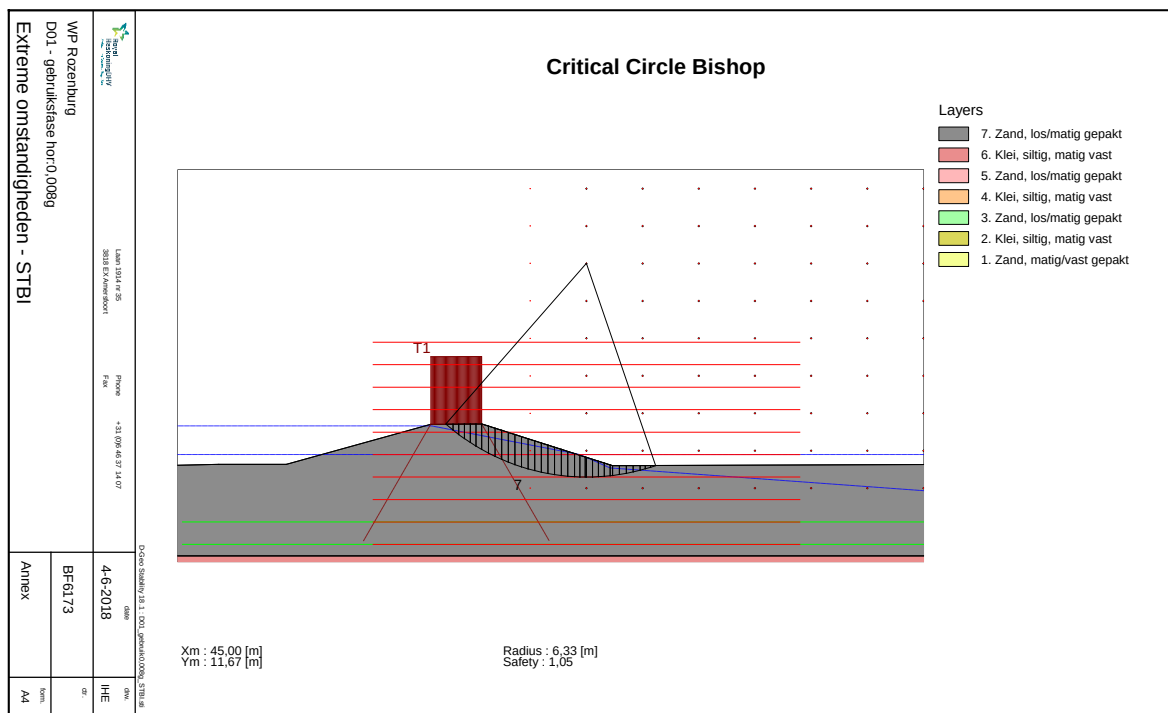


D01 bouwfase

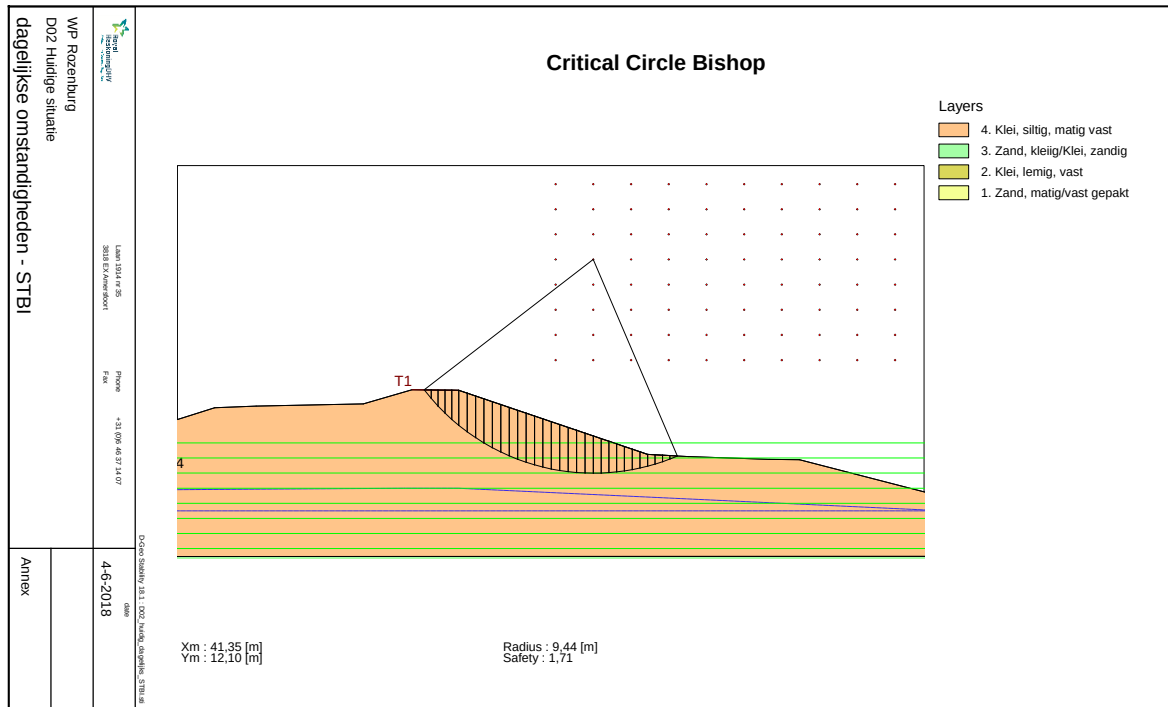


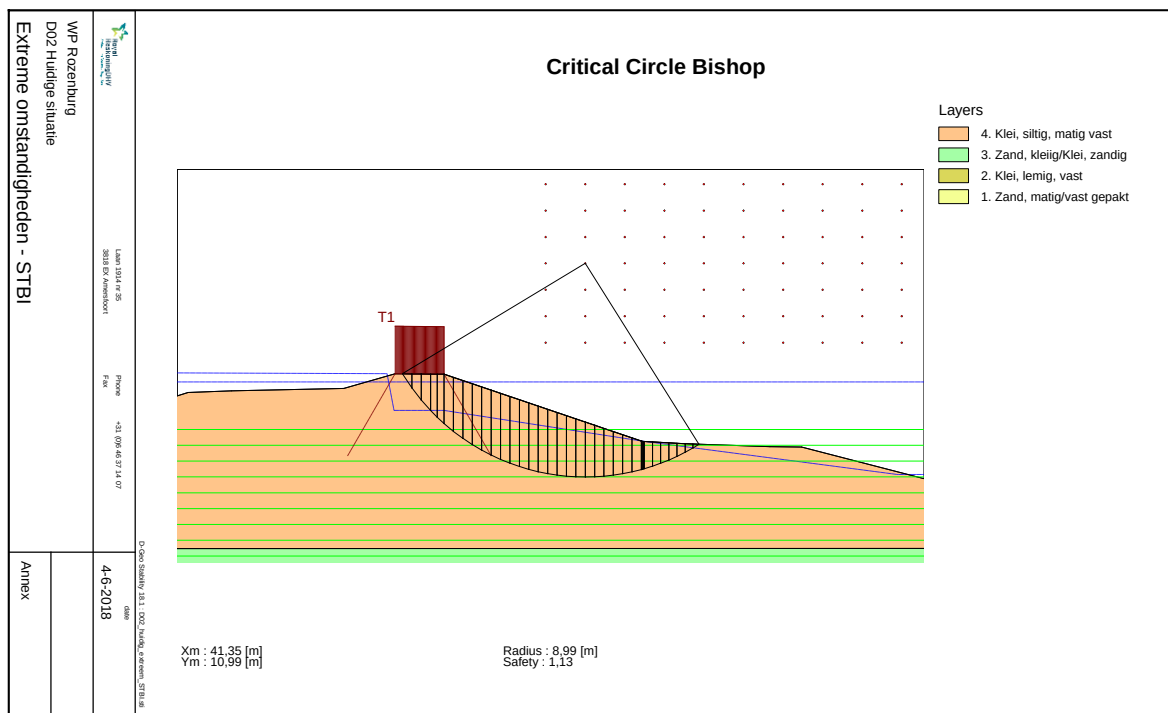
D01 gebruiksfase



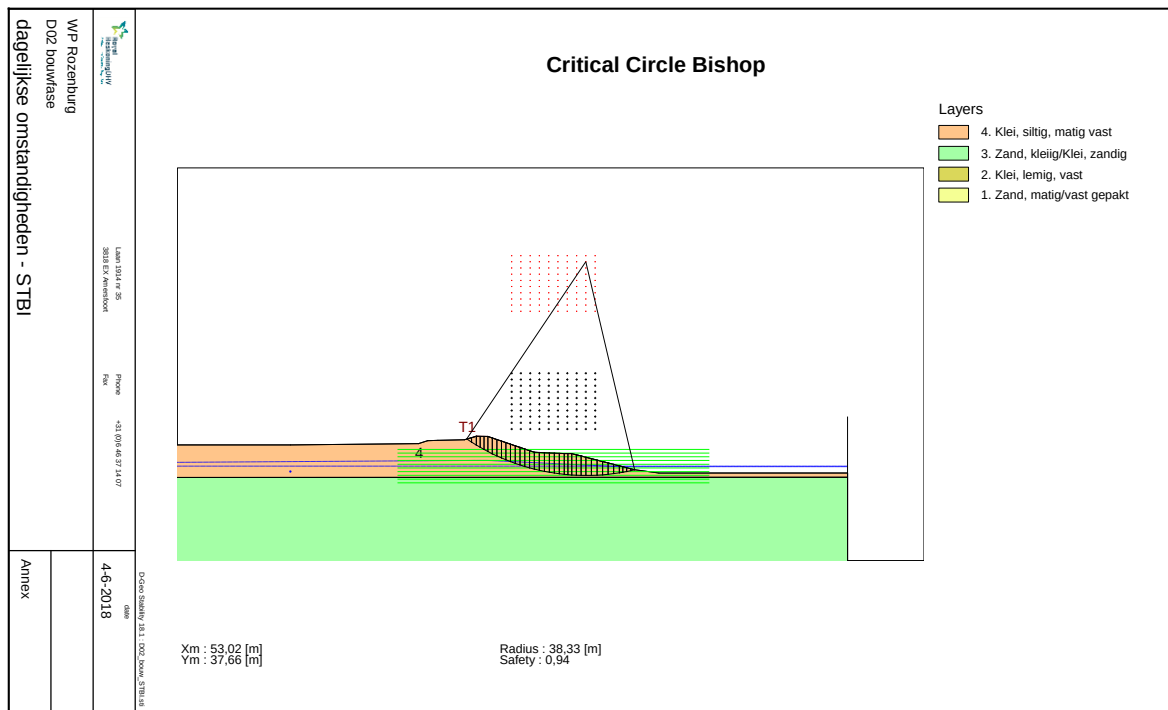


D02 huidige situatie

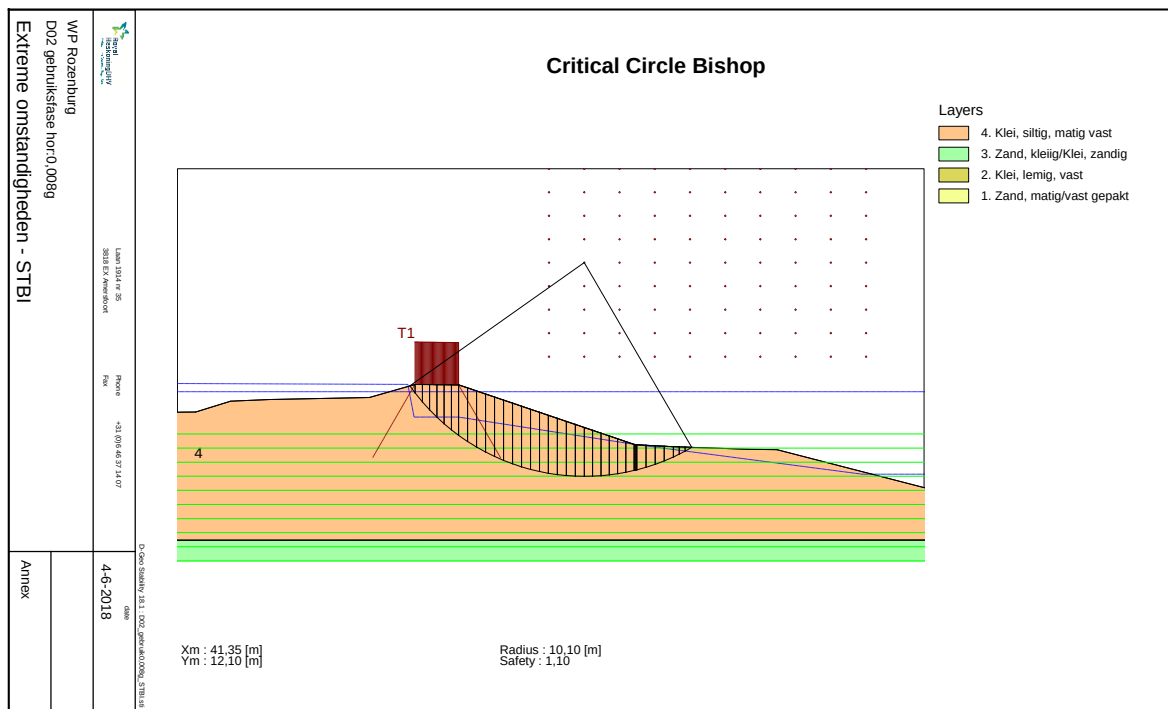
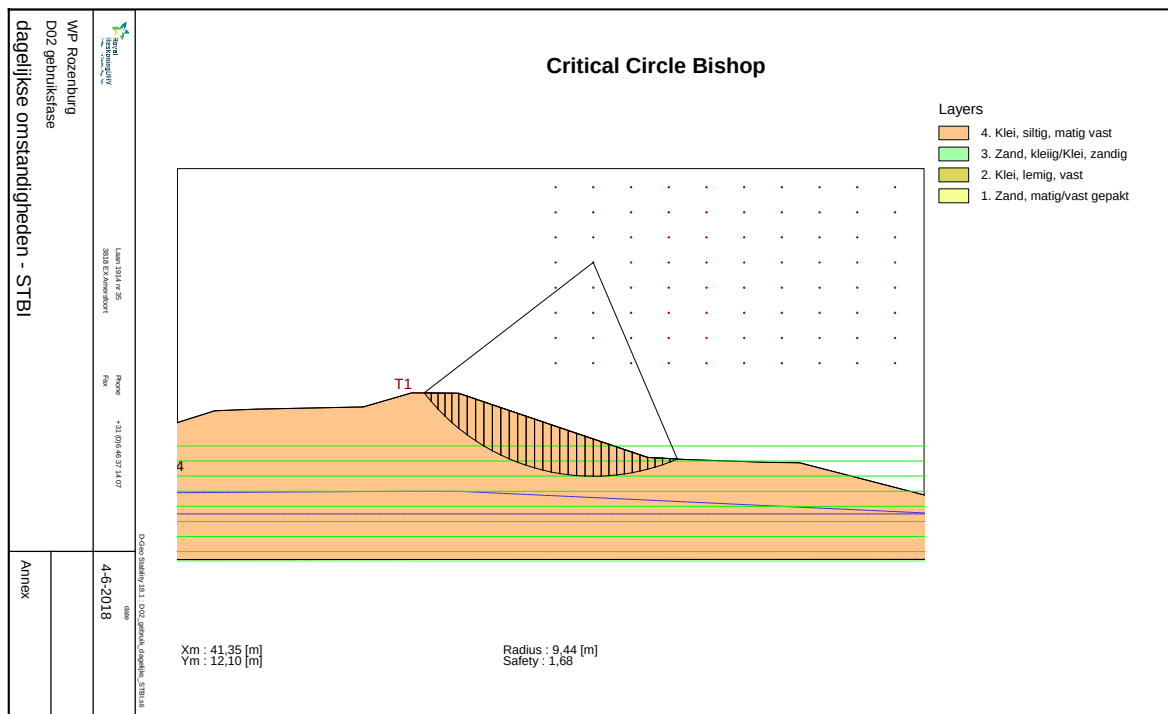




D02 bouwfase

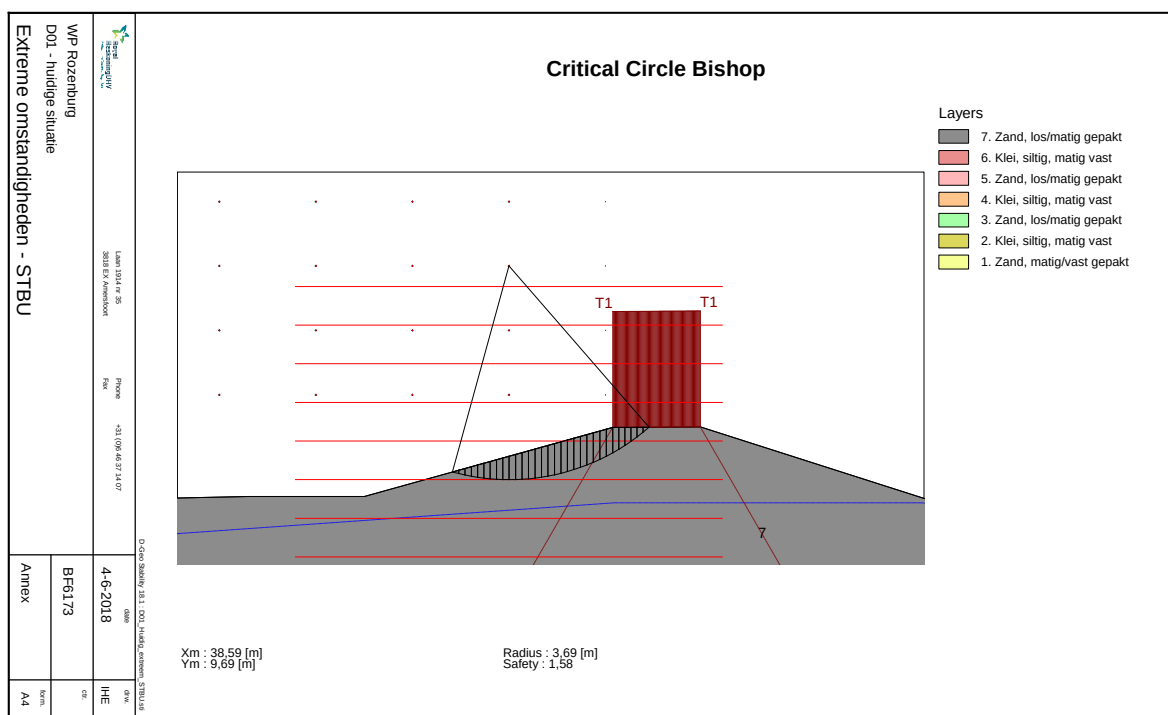
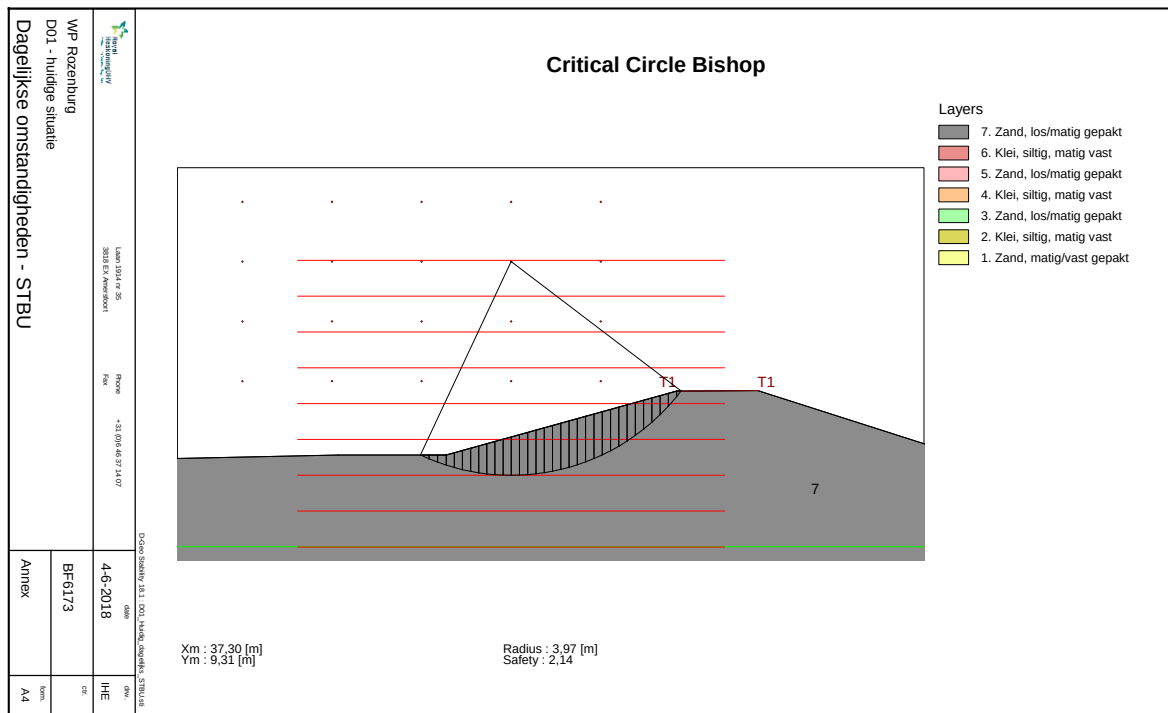


D02 gebruiksfase

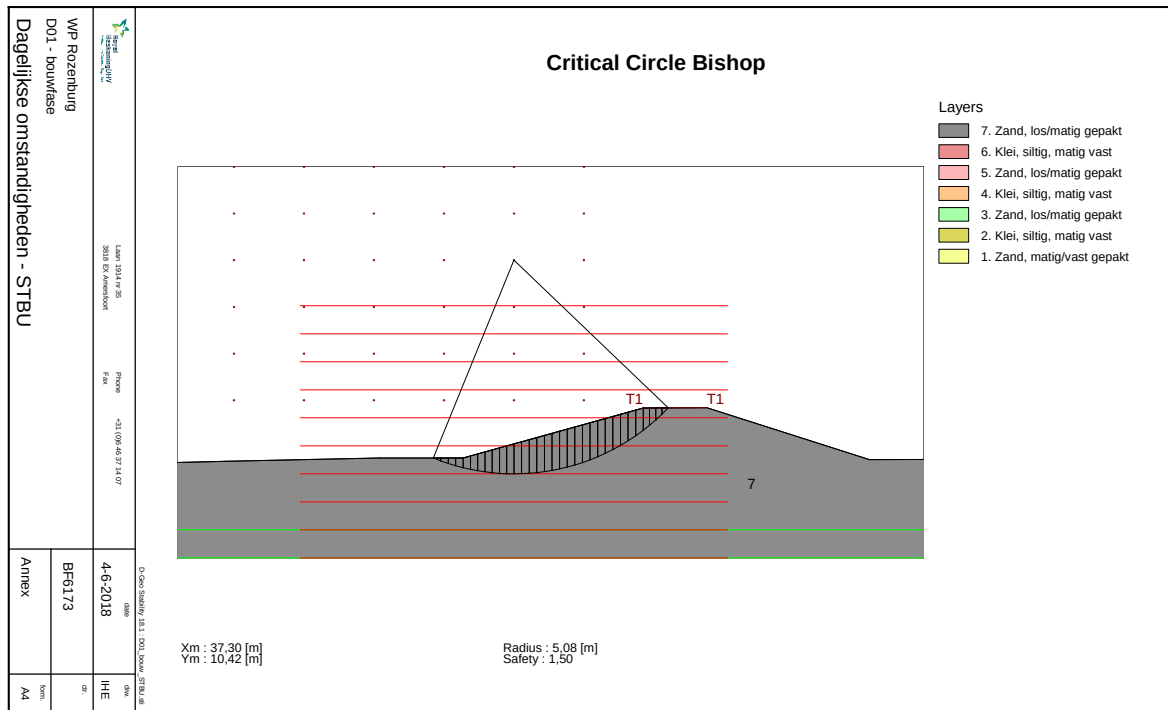


A12 Resultaten stabiliteitsberekeningen STBU

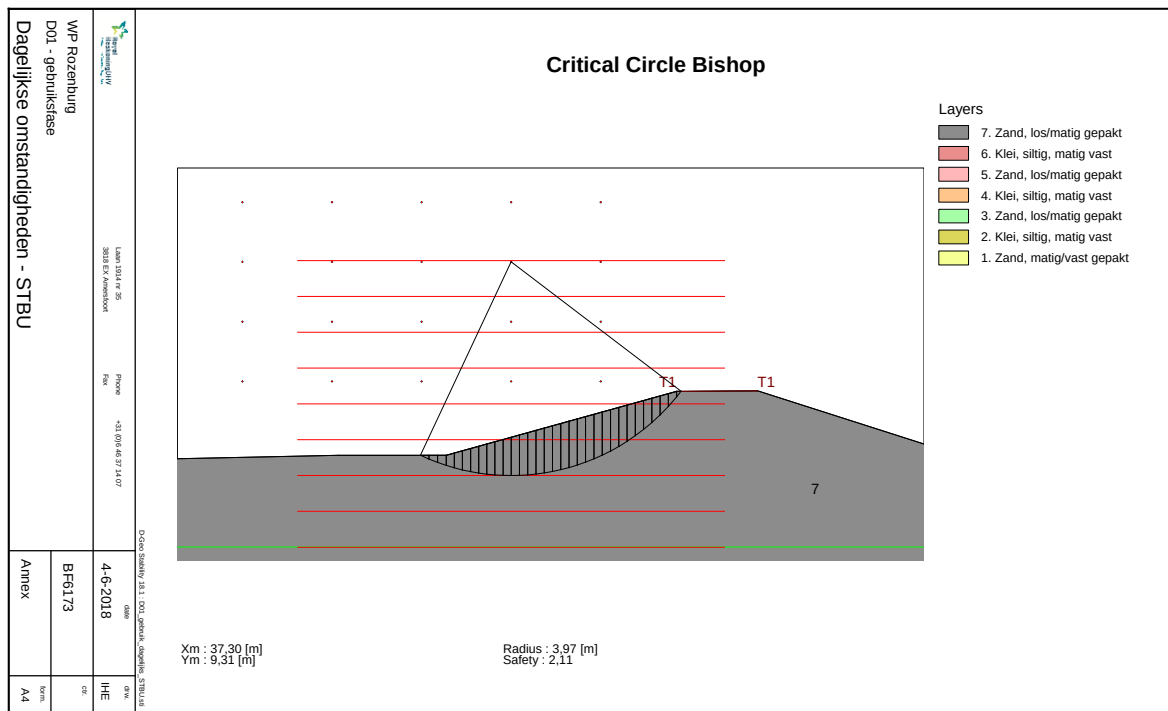
D01 Huidige situatie



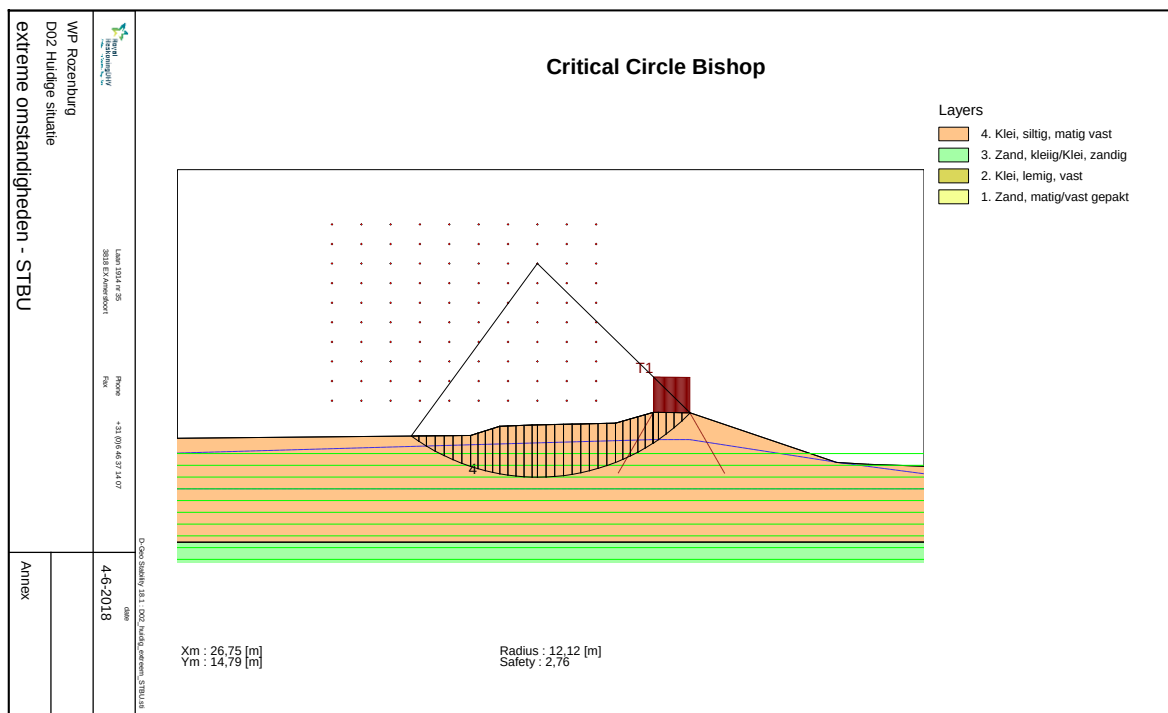
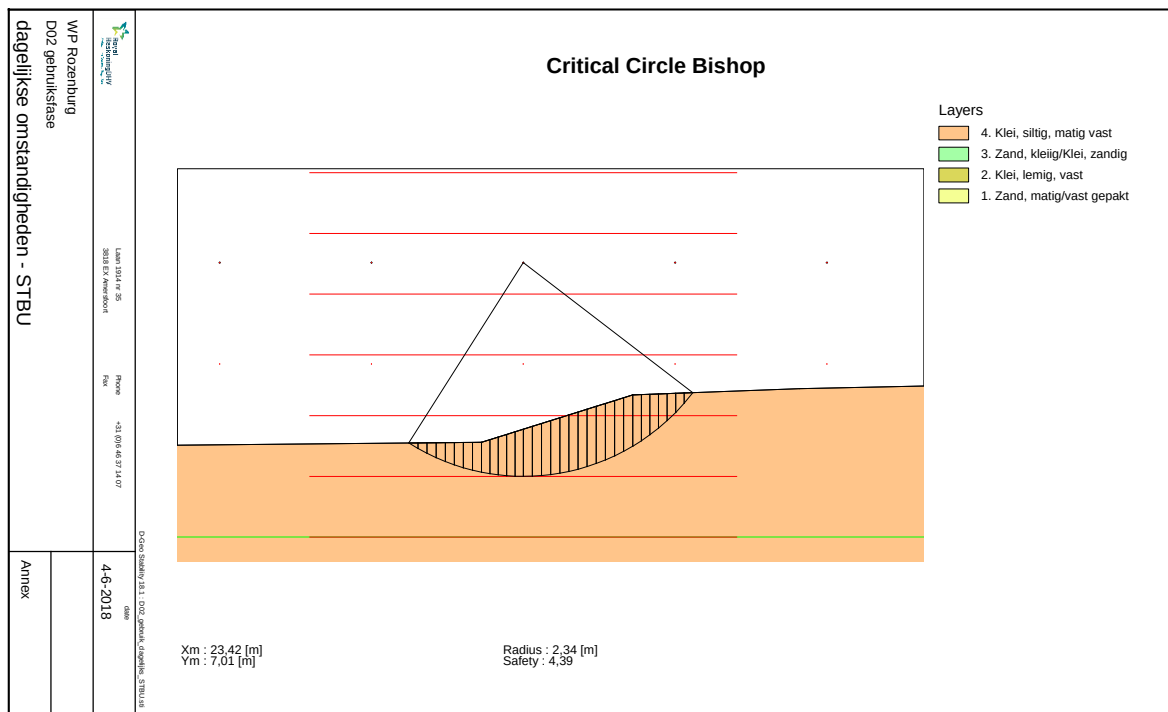
D01 bouwfase



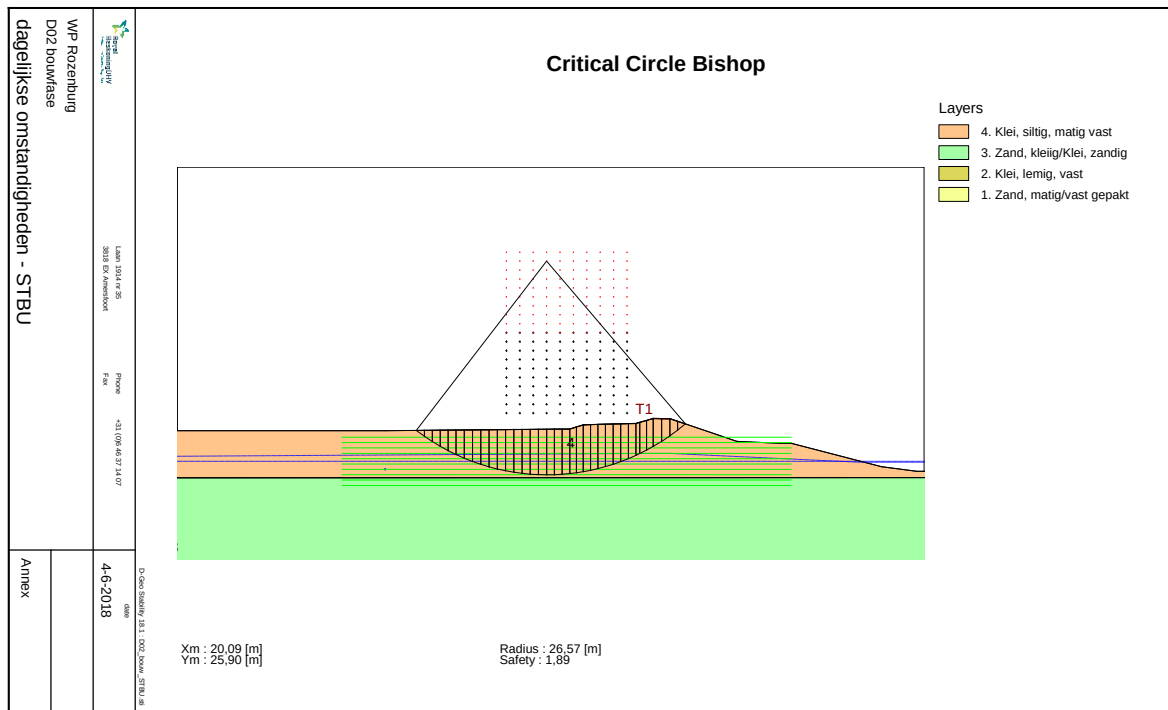
D01 gebruiksfase



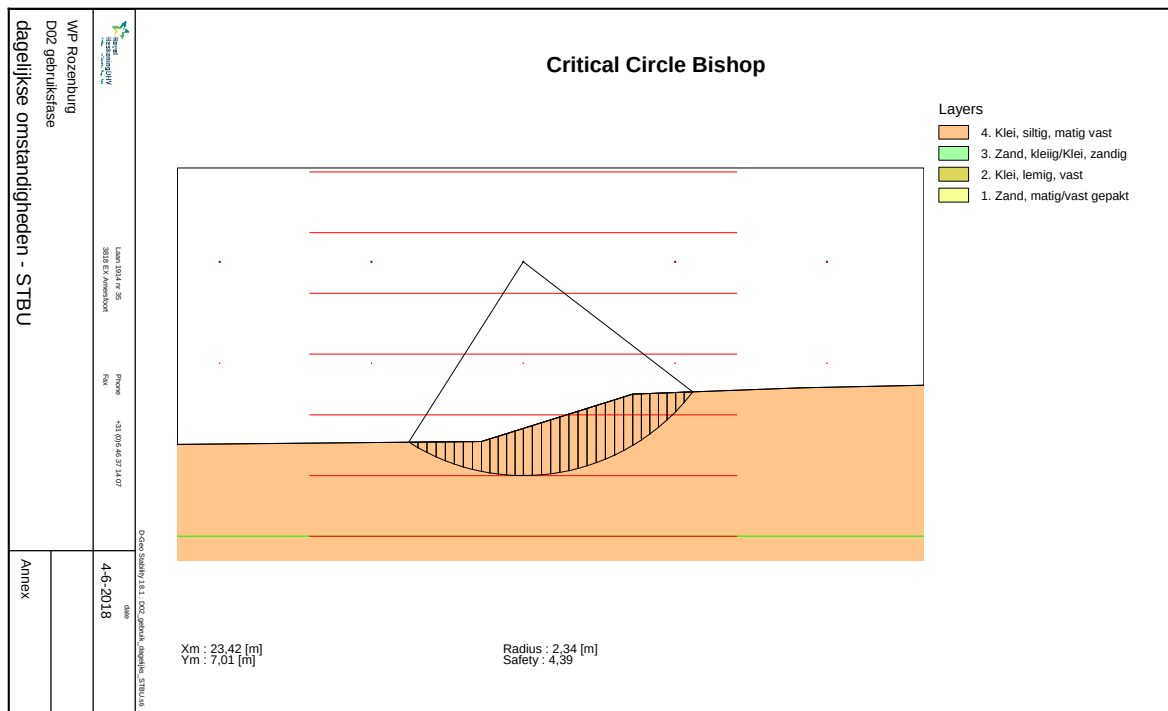
D02 huidige situatie



D02 bouwfase

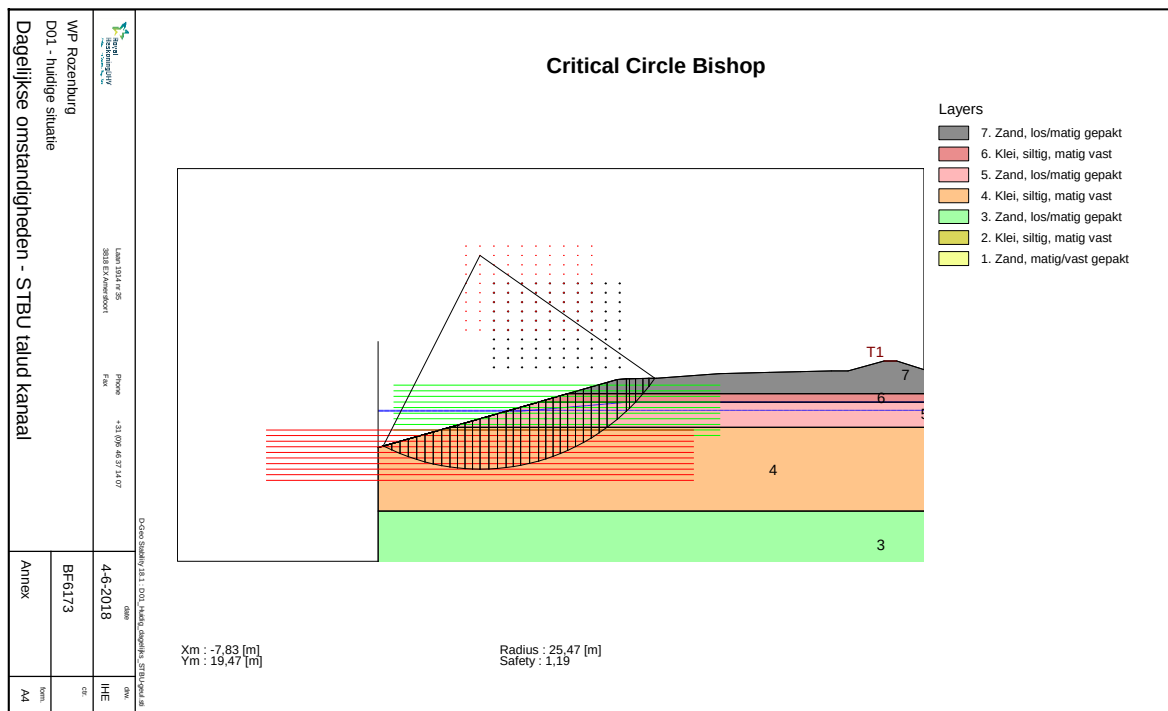


D02 gebruiksfase

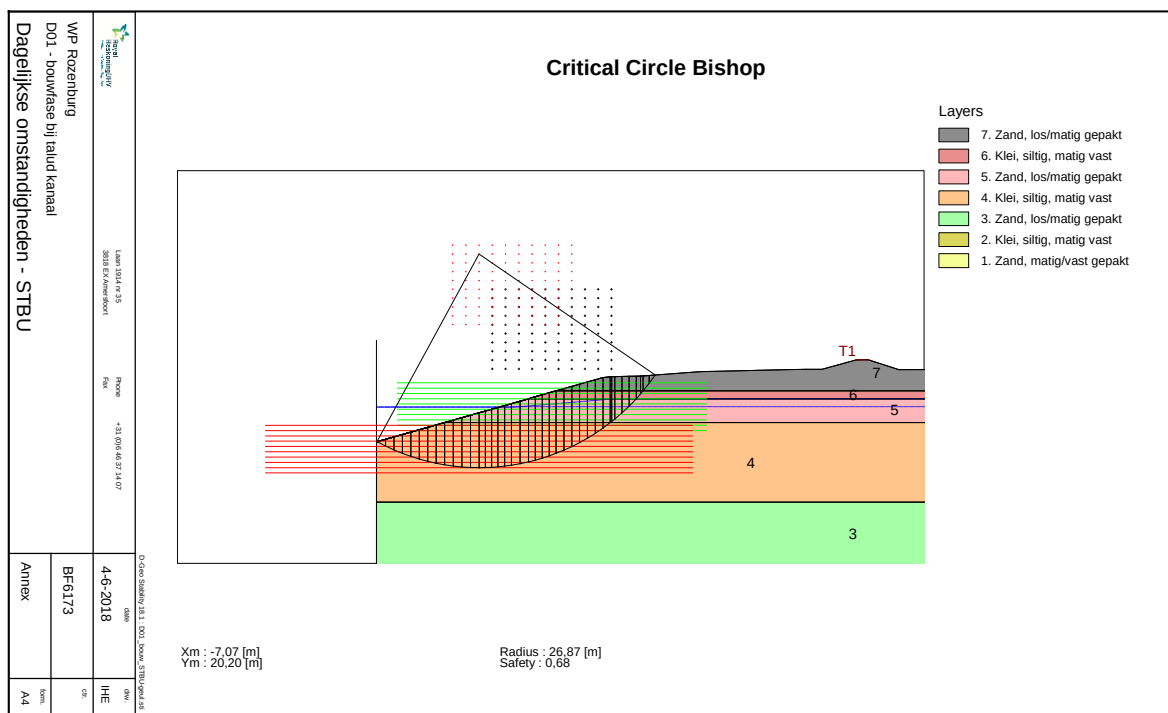


A13 Resultaten stabiliteitsberekeningen talud Calandkanaal

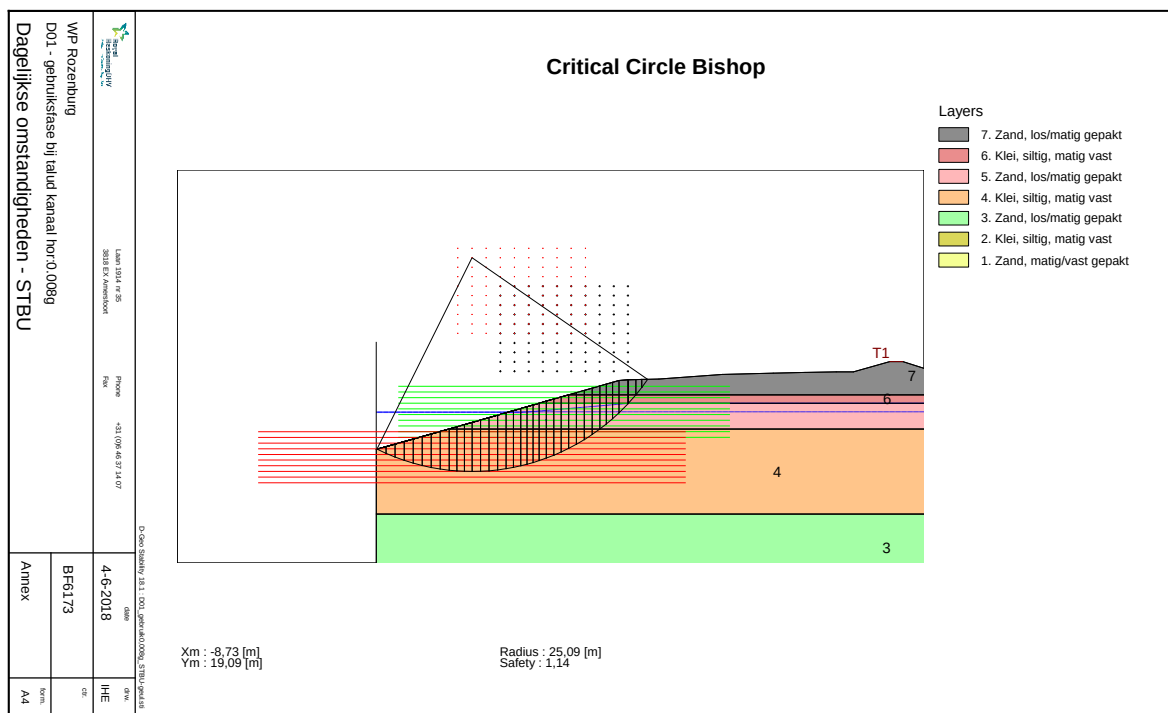
D01 Huidige situatie



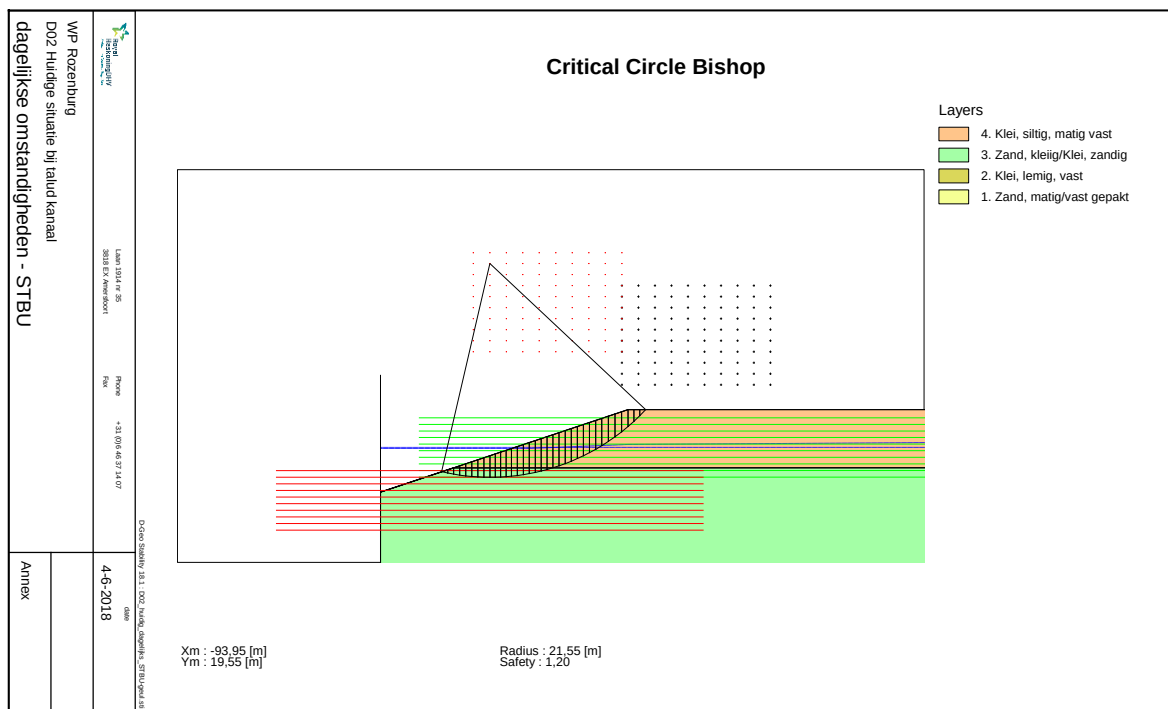
D01 bouwfase



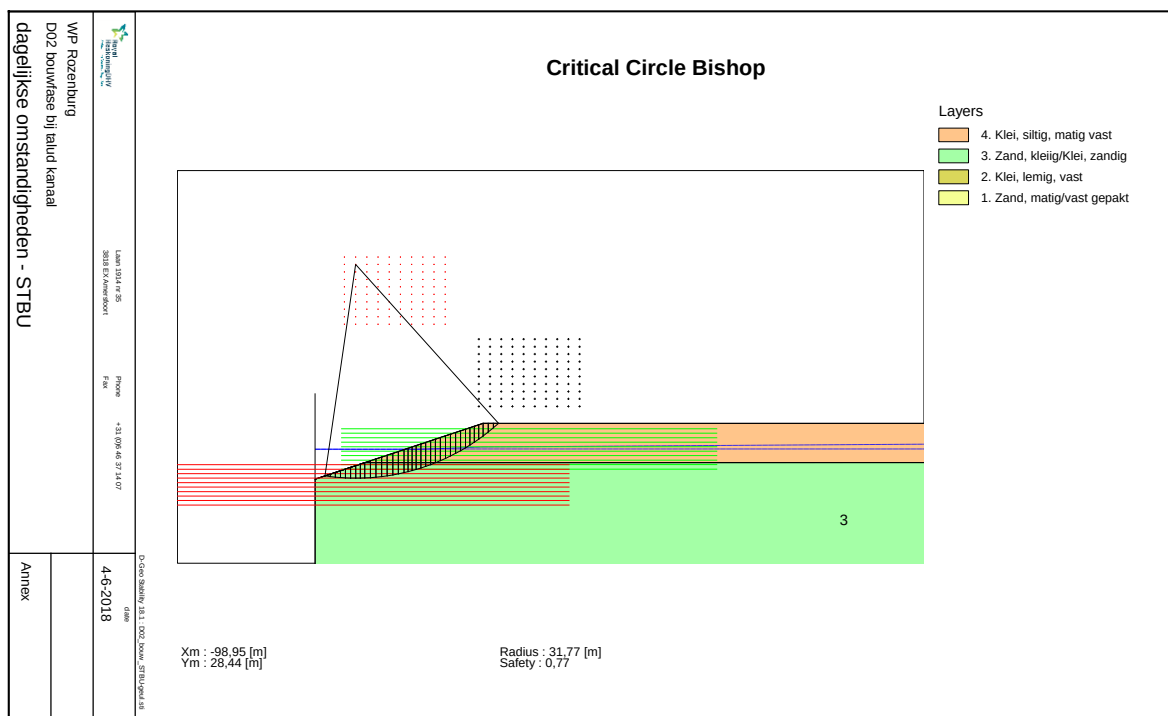
D01 gebruiksfase



D02 huidige situatie



D02 bouwphase



D02 gebruiksfase

