

RAPPORT

NUON Windpark Haringvliet

Beoordeling effecten op waterveiligheid van de Zeedijk

Klant: Pondera Consult

Referentie: M&WBE2288R002F01

Versie: 01/Finale versie

Datum: 22-7-2016

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: NUON Windpark Haringvliet

Ondertitel: NUON WPH Waterveiligheid
Referentie: M&WBE2288R002F01
Versie: 01/Finale versie
Datum: 22-7-2016
Projectnaam: Waterveiligheid NUON Windpark Haringvliet
Projectnummer: BE2288
Auteur(s): Jurgen Cools

Opgesteld door: Jurgen Cools

Gecontroleerd door: Ilse Hergarden

Datum/Initialen: 12/7/2016 IHE

Goedgekeurd door:

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 quality management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001, ISO 14001 and OHSAS 18001.

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Projectomschrijving	3
2.1	Projectlocatie	3
2.2	Windparkonderdelen	3
2.3	Projectfasering	5
2.4	Waterkering	5
3	Beoordelingscriteria	9
3.1	Criteria ten aanzien van veiligheid	9
3.2	Criteria ten aanzien van ruimtelijke inpassing	9
3.3	Criteria ten aanzien van constructie en uitvoering	10
3.4	Criteria ten aanzien van robuustheid	10
3.5	Criteria ten aanzien van beheer	10
3.6	Normen en richtlijnen	10
3.7	Veiligheidsfactoren macrostabiliteit	10
4	Geotechnisch ondergrondmodel	13
4.1	Geometrie	13
4.2	Geologie	14
4.3	Grondonderzoek	15
4.4	Bodemopbouw	15
4.5	Grondparameters	17
4.6	Waterstanden	18
4.7	Modellering verloop waterstanden	18
5	Belastingen op de waterkering	19
5.1	Kruinbelasting	19
5.2	Belasting tijdens gebruik van de windturbine	20
6	Beoordeling van effecten op faalmechanismen waterkering	21
6.1	Beoordelingskader	21
6.2	Relevante faalmechanismen	21
6.3	Beoordeling effecten op overlopen en golfoverslag (HT)	24
6.4	Beoordeling effecten op binnenwaartse macrostabiliteit (STBI)	25
6.5	Beoordeling effecten op buitenwaartse macrostabiliteit (STBU)	27

6.6	Beoordeling kabels (NWO)	30
6.7	Conclusie effecten op faalmechanismen waterkering	31
7	Beoordeling effecten door falen van de windturbine	32
7.1	Windturbinegegevens	32
7.2	Kraterdiepte bij neerkomen van de gondel en rotor	33
7.3	Kraterdiepte bij neerkomen van een rotorblad	34
7.4	Restprofiel en responstijd	36
7.5	Conclusie effect falen windturbine op waterkering	37
8	Referenties	38

Tabellen

Tabel 2-1: Overzicht IPO-veiligheidsklassen met bijbehorende stabiliteitseisen	7
Tabel 3-1: Materiaalfactoren	11

Figuren

Figuur 1-1: locatie windturbines van Nuon Windpark Haringvliet GO.....	1
Figuur 1-2: Locatie windturbines nabij de waterkering	2
<i>Figuur 2-1: bestaande afrit Zeedijk nabij kanaal De Vlieger.....</i>	<i>4</i>
Figuur 2-2: transportweg vanaf de Zeedijk naar locatie WT6.....	4
Figuur 2-3: Ligging voorlopig kabeltracé	5
Figuur 2-4: Zonering secundaire waterkering	6
Figuur 2-5: Kruinhoogte in lengteprofiel van dijkvak GO-13.....	6
Figuur 2-6: Profiel van vrije ruimte voor secundaire waterkering [REF.1]	7
Figuur 4-1: maatgevend dwarsprofiel waterkering voor beoordeling stabiliteit nabij de windturbine.....	13
Figuur 4-2: Geologische doorsnede langs de opstelling van de windturbines	14
Figuur 4-3: Geologische doorsnede langs kanaal De Vlieger	14
Figuur 4-4: Locatie beschikbare boringen uit DinoLoket.....	15
Figuur 4-5: Geotechnische dwarsdoorsnede 1	16
Figuur 4-6: Geotechnische dwarsdoorsnede 2.....	16
Figuur 4-7: Geotechnische dwarsdoorsnede 3.....	16
Figuur 4-8: peilgebieden met zomer- en winterpeilen (Waterschap Hollandse Delta).....	18
Figuur 4-9: verloop freatische grondwaterstand.	19

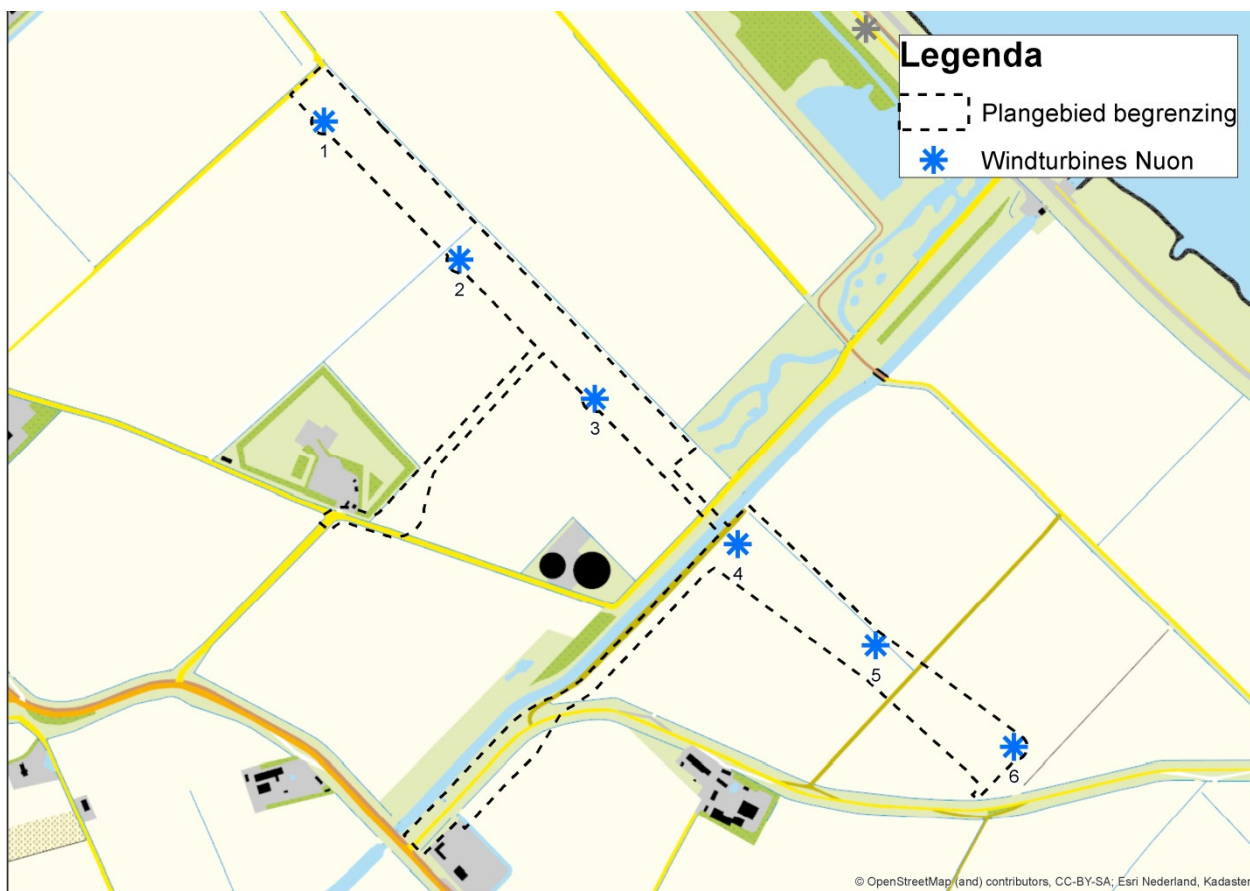
<i>Figuur 7-1: Relatie tussen aantal vallen N, energie $(WH)^{0.5}$ en de kraterdiepte [REF.9].....</i>	<i>34</i>
<i>Figuur 7-2: Overzicht trefkansen uit Rapportage Pondera.....</i>	<i>37</i>

Bijlagen

Bijlage 1	Dwarsprofielen waterkering
Bijlage 2	Beschikbaar grondonderzoek
Bijlage 3	Aanvullend grondonderzoek
Bijlage 4	Grondparameters

1 Inleiding

Nuon Wind en Eneco Wind hebben een gezamenlijk voornemen om 'Windpark Haringvliet GO' te realiseren nabij Middelharnis op Goeree-Overflakkee (GO). Beide initiatiefnemers zullen uiteindelijk afzonderlijk de windturbines bouwen en exploiteren. Nuon heeft aan de zuidwestelijke zijde van het plangebied 6 turbines voorzien, zie Figuur 1-1. Eneco heeft het plan om parallel aan de dijk langs het Haringvliet 8 à 10 windturbines te plaatsen. Dit rapport heeft alleen betrekking op de voorgenomen realisatie van de windturbines van Nuon. Eneco laat een afzonderlijk onderzoek uitvoeren.



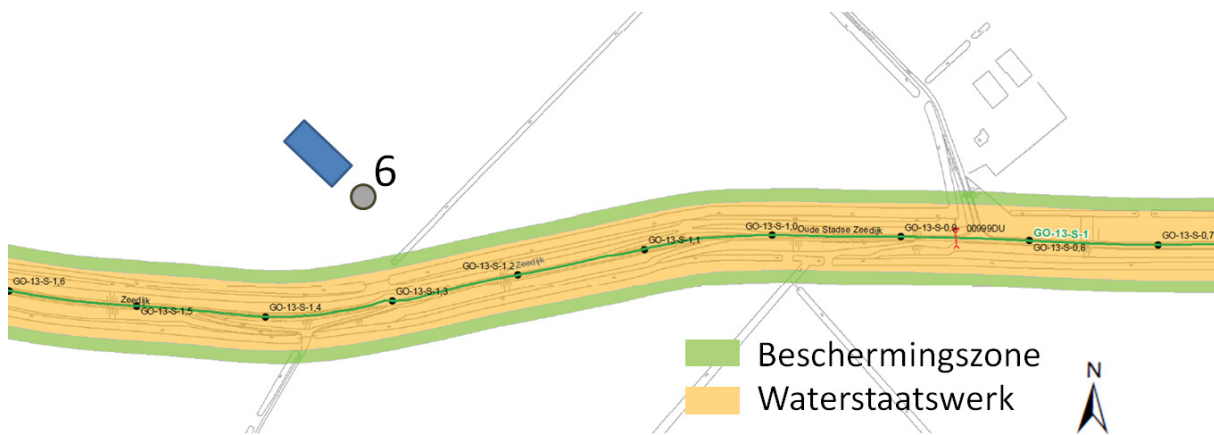
Figuur 1-1: locatie windturbines van Nuon Windpark Haringvliet GO

Bij de door Nuon geplande opstellingsvariant is windturbine WT6 gelegen op circa 64 m afstand tot de begrenzing van de waterkering 'Zeedijk'. De Zeedijk is een regionale waterkering (volgens de IPO Richtlijn 'Visie op Regionale Waterkeringen' ook wel 'compartimenteringskering' genoemd), welke wordt beheerd door Waterschap Hollandse Delta (WSHD). Voor de waterkering zijn door WSHD in de Legger (per 12-02-2013) drie verschillende zones vastgelegd, namelijk het waterstaatswerk zelf, de (buiten) beschermingszone en het profiel van vrije ruimte. De beschermingszone heeft als doel de bescherming van het waterstaatswerk. Het profiel van vrije ruimte is bestemd voor toekomstige aanpassingen van het waterstaatswerk.

De Keur (per 02-10-2014) van WSHD stelt dat een watervergunning noodzakelijk is voor het verrichten van werkzaamheden of het maken dan wel behouden van werken in, op, onder of over een waterstaatswerk of een daartoe behorende beschermingszone. In de Keur zijn verbodsbepalingen

opgenomen welke dienen ter bescherming van de waterkering, teneinde wateroverlast en overstrooming te voorkomen.

De fundering van de geplande Nuon windturbine WT6, evenals de kraanopstelplaats, is voorzien buiten de beschermingszone van de waterkering, zie Figuur 1-2. Voor de *bouw* van het windpark zullen wel toe- en afritten dienen te worden aangebracht tegen de Zeedijk. Ook zal de bekabeling de waterkering kruisen en deels evenwijdig lopen aan de waterkering. Tijdens het *gebruik* (exploitatie) van de windturbine kunnen de bladen reiken tot boven de waterkering. Daarnaast kan tijdens het gebruik bij eventueel falen van de windturbine door mastomval, gondelval of bladafworp een onderdeel van de windturbine op de waterkering terecht komen.



Figuur 1-2: Locatie windturbines nabij de waterkering

Voor de windturbine en overige windparkonderdelen die deels of geheel zijn gelegen binnen (op, in, onder of over) het waterstaatswerk en beschermingszones dient te worden aangetoond dat de waterkerende functie en de stabiliteit van de waterkering blijft gewaarborgd, dat het doelmatig beheer en onderhoud aan de waterkering niet wordt bemoeilijkt en dat de keringen in de toekomst versterkt kunnen worden.

Dit rapport betreft een beschrijving van de geïnterviewde gegevens en afgeleide randvoorwaarden en uitgangspunten, op basis waarvan na akkoord van het waterschap aangetoond zal worden, dat door de Nuon windturbines geen negatieve invloed ontstaat op de hoogte, stabiliteit en toekomstige dijkverbeteringen.

In dit rapport wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende twee beoordelingen:

- Beoordeling van de grondmechanische effecten van trillingen van de windturbine tijdens *gebruik* (exploitatiefase) op de waterkerende functie van de Zeedijk. De bouw en het verwijderen van de windturbines vinden plaats buiten de beschermingszone en niet tijdens situaties met hoogwater en worden daarom buiten beschouwing gelaten. Wel zal worden gekeken naar de grondmechanische effecten door de *aanleg en gebruik* van de toe- en afritten en de bekabeling in de waterkering.
- Beoordeling van de additionele faalfrequentie van de waterkering ten gevolge van het mogelijk *falen* van de windturbines of een onderdeel hiervan tijdens de exploitatiefase.

De laatstgenoemde beoordeling van de additionele faalfrequentie van de waterkering wordt afzonderlijk beschouwd door Pondera Consult. In dit rapport worden wel de uitgangspunten beschreven die betrekking hebben op de grondmechanische aspecten en waterkerende functie van de Zeedijk.

2 Projectomschrijving

2.1 Projectlocatie

Het Windpark Haringvliet is voorzien ten oosten van Middelharnis op Goeree-Overflakkee, zie Figuur 1-1 in het vorige hoofdstuk. De windturbines van Nuon zijn voorzien ten noorden van de Zeedijk.

2.2 Windparkonderdelen

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

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

De onderdelen zijn hieronder nader omschreven.

Windturbine en fundatie

Op dit moment is nog niet bekend wat voor type windturbine toegepast zal worden. De windturbines vallen in de 3MW klasse. In de effectbeoordeling zal worden uitgegaan van een maatgevende windturbine van het type Enercon E115. Dit type windturbine heeft de zwaarste gewichten van de onderdelen (mast, rotorblad, gondel), waarbij in geval van falen de grootste schade aan de waterkering wordt verwacht. Indien gekozen wordt voor een ander type, dan dient te worden nagegaan of deze een gelijk (of geringer) gewicht heeft.

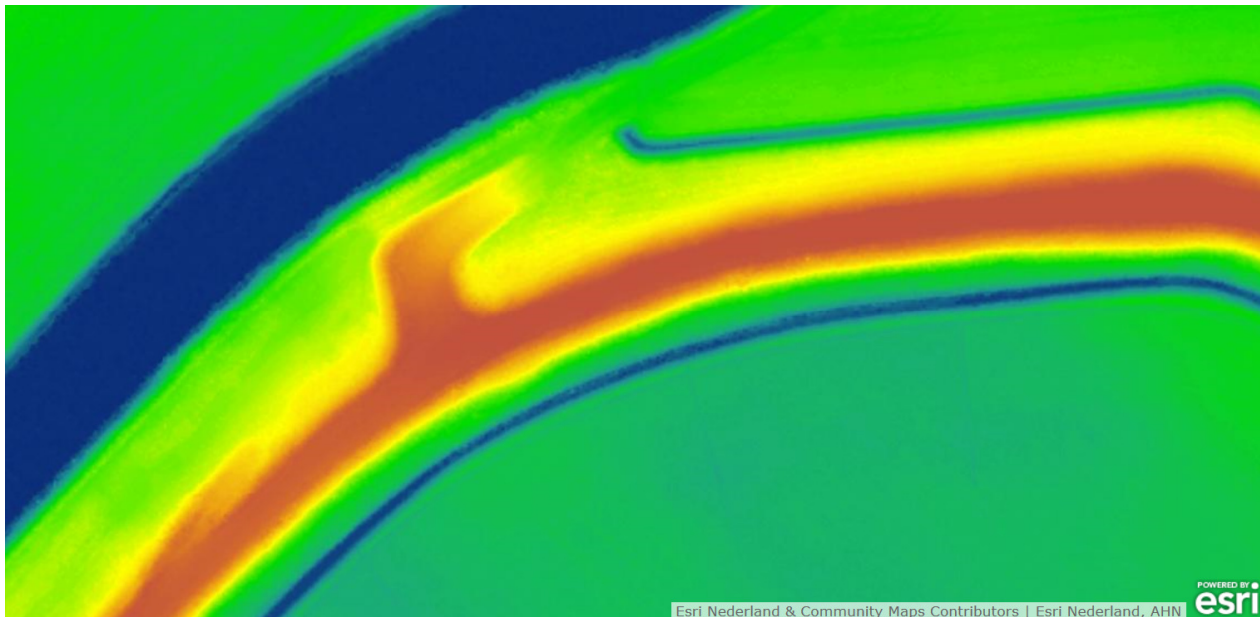
De fundering zal bestaan uit een ronde funderingsplaat, welke wordt gefundeerd op palen. De diameter van de fundering zal 15 à 20 m bedragen. De palen zullen grondverdringend en heidend op diepte worden gebracht. De paallengte zal naar verwachting 25 à 30 meter bedragen.

Kraanopstelplaats

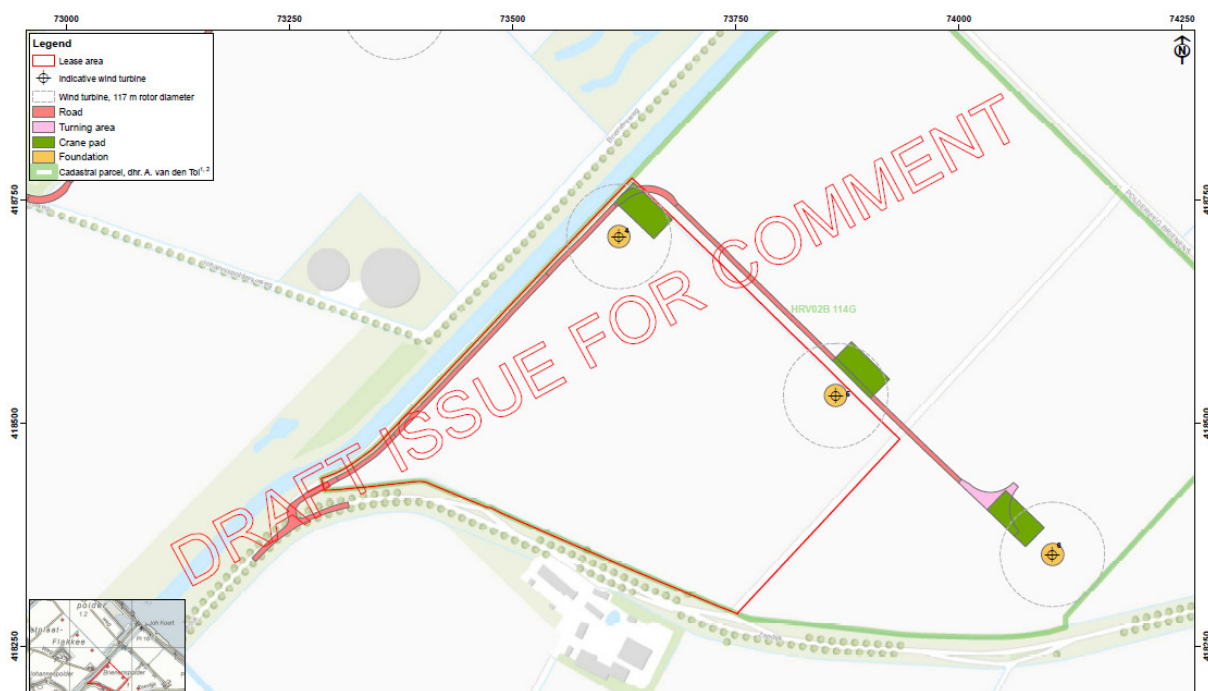
Naast elke windturbine zal een kraanopstelplaats worden gerealiseerd. Gangbare afmetingen zijn 30 m x 60 m. De kraanopstelplaatsen dienen geschikt te zijn voor belastingen door rupsbanden of kraanstempels. De rekenwaarde van de maximale funderingsdruk bedraagt veelal 200 kPa. Voor de kraanopstelplaats zal moeten worden ontgraven, waarna wordt aangevuld en opgehoogd met zand en menggranulaat om voldoende draagkracht te garanderen. In de ophoging zullen meerdere lagen geogrid dienen te worden aangebracht om de laagdikte te minimaliseren. Ter plaatse van de stempels wordt uitgegaan van een fundering op palen om zettingen te minimaliseren, waarbij palen worden ingebracht tot in het draagkrachtige zand onder de Holocene deklaag. Naar verwachting zijn vier tot zes palen benodigd per stempelplaat.

Ontwerp toeritten

Voor transport naar en van de windturbinelocaties WT3, WT4 en WT6 zal vanaf de Zeedijk een toerit worden aangelegd. Gebruik zal worden gemaakt van een bestaande afrit van de Zeedijk, zie Figuur 2-1. Mogelijk is een geringe aanpassing (aanaarding) nodig in verband met vereiste bochtstralen. De weg loopt vanaf de Zeedijk parallel aan het kanaal De Vlieger en buigt vervolgens af naar de windturbinelocaties, zie Figuur 2-2. De wegverharding bestaat doorgaans uit een laag menggranulaat van circa 400 mm op een laag geogrid.



Figuur 2-1: bestaande afrit Zeedijk nabij kanaal De Vlieger



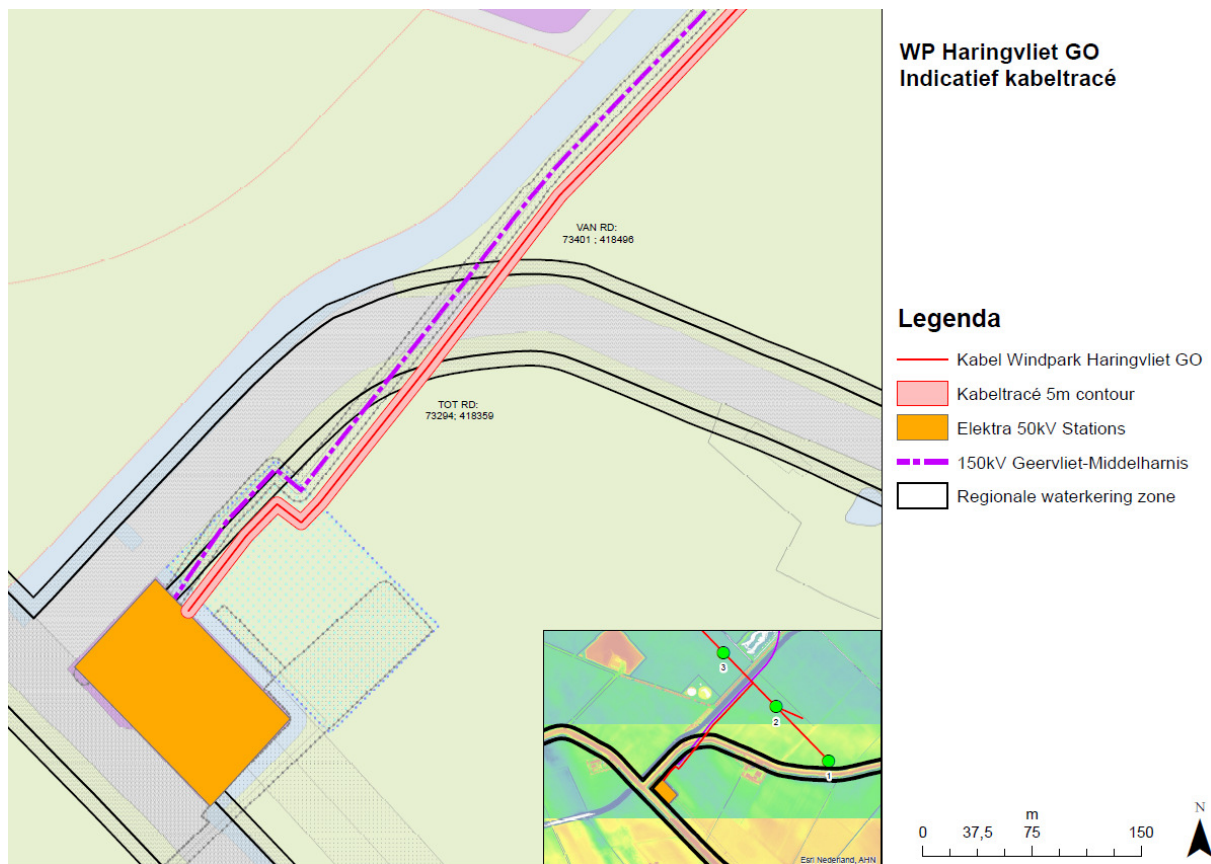
Figuur 2-2: transportweg vanaf de Zeedijk naar locatie WT6

Windparkbekabeling

Voor de aansluiting van de windturbine zullen kabels worden aangelegd. De bekabeling loopt parallel aan de toerit en het kanaal. Nabij de Zeedijk kruist de kabel de waterkering om vervolgens aan te sluiten op het bestaande 50kV station. De kabels worden aangebracht parallel aan het bestaande 150kV kabel tracé (Middelharnis-Geervliet).

De ligging van het kabeltracé is aangegeven in Figuur 2-3. Voor de diepteligging en tijdelijke ontgraving¹ voor de kabels wordt uitgegaan van een sleuf met een diepte van 1,0 m en een breedte van 0,7 m.

¹ Bij aanleg van de kabels onder de dijk middels een gestuurde boring is dit niet relevant.



Figuur 2-3: Ligging voorlopig kabeltracé

2.3 Projectfasering

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

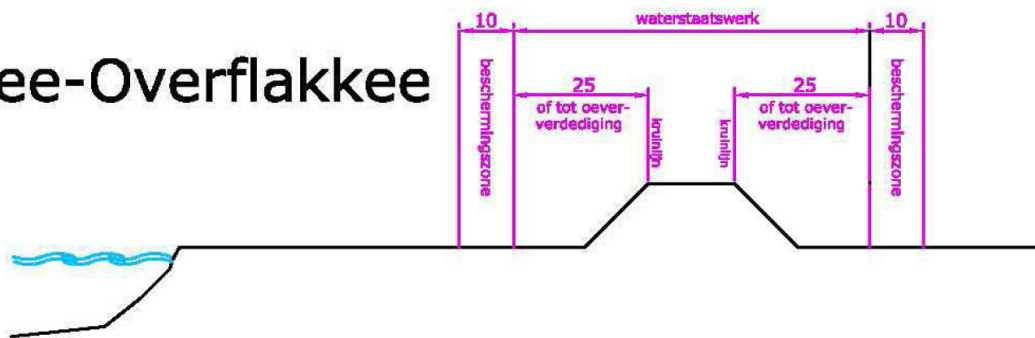
- **Bouwfase:** deze fase betreft de grondwerkzaamheden in de beschermingszone, namelijk grondophogingen voor de toe- en afrit en ontgravingen ten behoeve van bekabeling (indien relevant);
- **Gebruiksfase:** het operationeel zijn van de windturbine;
- **Verwijderingsfase:** deze fase betreft het verwijderen van de toe- en afrit en bekabeling. De oorspronkelijke situatie van voor de aanleg zal hierbij worden hersteld.

2.4 Waterkering

De Zeedijk is een secundaire waterkering binnen dijkkring 25 'Goeree-Overflakkee' en is in beheer bij Waterschap Hollandse Delta (WSHD). De windturbines zijn voorzien nabij dijkvak 'GO-13-S-1'. De totale lengte van dit dijkvak bedraagt 2508 m.

Voor de waterkering zijn door WSHD in de Legger (per 12-02-2013) drie verschillende zones vastgelegd, namelijk het waterstaatswerk zelf, de beschermingszone en het profiel van vrije ruimte. De beschermingszone heeft als doel de bescherming van het waterstaatswerk. Het profiel van vrije ruimte is bestemd voor toekomstige aanpassingen van het waterstaatswerk. De zonering is weergegeven in Figuur 2-4.

Goeree-Overflakkee



Figuur 2-4: Zonering secundaire waterkering

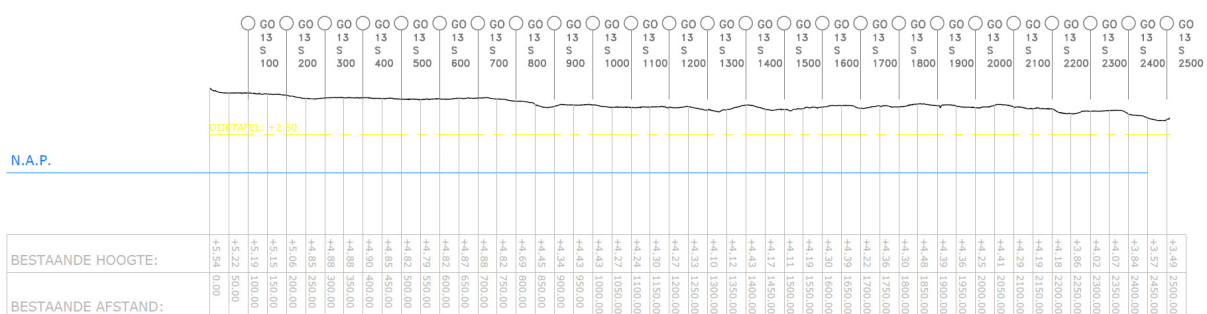
De verschillende zones worden hieronder nader beschreven.

Waterstaatswerk

In de Legger is aangegeven dat het betreffende dijkvak niet is genormeerd in de Waterverordening Zuid-Holland. Dit betekent dat voor het waterstaatswerk geen leggerprofiel is vastgesteld op basis van de minimale dijktafelhoogte, de minimale taludhelling en de minimale kruinbreedte. Wel is de begrenzing van het waterstaatswerk gesteld op 25 m vanaf de binnen- en buitenkruinlijn, zie Figuur 2-4.

Het waterschap hanteert voor het waterstaatswerk het principe dat de huidige waterkering (hoogte en taluds) gehandhaafd dient te blijven. Dit leidt tot de volgende normen voor de beoordeling van de effecten van de windturbines op de dijkveiligheid en de faalkans:

- Dijktafelhoogte: de huidige kruinhoogte varieert tussen NAP +4,10 en +4,40 m, zie Figuur 2-5. Uitgangspunt is dat deze kruinhoogte gehandhaafd dient te blijven. De kruinhoogte mag niet afnemen door zettingen in de ondergrond.
- Taludhelling: de huidige taludhellingen dienen gehandhaafd te blijven en mogen niet steiler worden door afgravingen.
- Kruinbreedte: voor de kruinbreedte wordt uitgegaan van de huidige kruinbreedte met een minimum van 3 meter. Deze minimale breedte geldt conform de landelijke leidraden voor het ontwerpen van regionale keringen.



Dijkvak: GO-13

Figuur 2-5: Kruinhoogte in lengteprofiel van dijkvak GO-13

Beschermingszones

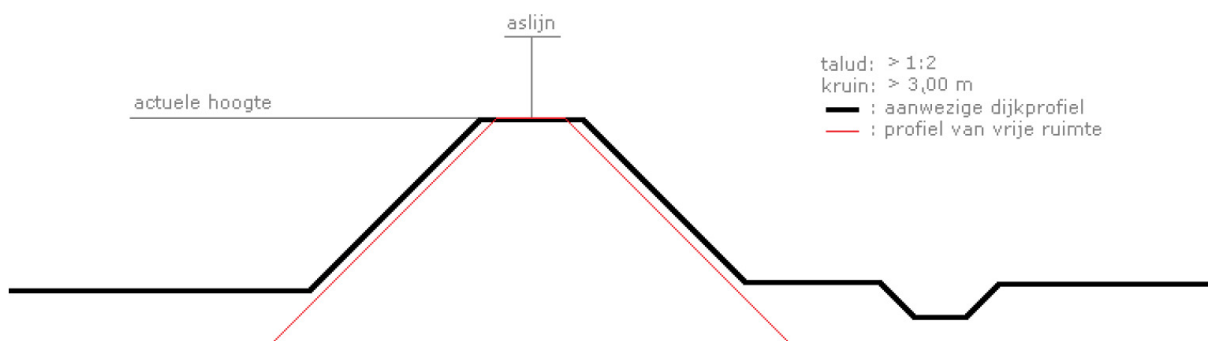
In de Legger is voor de secundaire waterkering van Goeree-Overflakkee een beschermingszone van 10 m gedefinieerd aan weerszijden van het waterstaatswerk, zie Figuur 2-4.

Profiel van vrije ruimte

In de Legger is voor de betreffende waterkering geen profiel van vrije ruimte opgesteld vanwege het ontbreken van een gewenst beschermingsniveau. Er dient daarom te worden uitgegaan van de vigerende beleidsnota [REF.1]. Deze schrijft het volgende voor (toetskader TK-05):

- vanuit de aslijn (hart van de waterkering) wordt een nieuwe kruin gedefinieerd met een breedte van 3,00 m op het (hoogte-)niveau van het fysiek aanwezige profiel;
- vanuit de aslijn wordt een theoretische kruin gedefinieerd met een breedte van 3,00 m die 1,50 m aan beide zijden van de aslijn uitstrekt;
- vanuit de theoretische kruinlijn wordt een talud gedefinieerd onder een helling van 1:2.

Voor de waterkerende hoogte dient conform de beleidsnota te worden uitgegaan van de huidige kruinhoogte. Het profiel van vrije ruimte is schematisch aangegeven in Figuur 2-6.



Figuur 2-6: Profiel van vrije ruimte voor secundaire waterkering [REF.1]

Normfrequentie

Doordat de Zeedijk niet is genormeerd in de Waterverordening Zuid-Holland is ook geen normfrequentie vastgesteld. In de beoordeling van de hoogte en stabiliteit zal worden uitgegaan van de huidige situatie zonder windturbines. Inzichtelijk zal worden gemaakt wat de procentuele afname is als gevolg van de aanwezigheid van de windturbine. Tevens zal een vergelijking worden gemaakt met de hoogste IPO veiligheidsklasse V voor secundaire waterkeringen, zie Tabel 2-1. Bij deze klasse hoort een veiligheidsnorm van 1/1.000 per jaar.

Tabel 2-1: Overzicht IPO-veiligheidsklassen met bijbehorende stabiliteitseisen

IPO-veiligheidsklasse	Veiligheidsnorm [1/jr]	Schadefactor	Economische gevolgschade [Miljoen Euro]
I	1/10	0,80	<8
II	1/30	0,85	8 – 25
III	1/100	0,90	25 – 80
IV	1/300	0,95	80 – 250
V	1/1000	1,00	>250

Huidige veiligheid

In verband met het ontbreken van de veiligheidsnormering van de secundaire waterkering is tot op dit moment geen veiligheidstoetsing uitgevoerd. Er zijn dus geen toetsingen voorhanden op basis waarvan een uitspraak kan worden gedaan over het huidige veiligheidsniveau en de aanwezige veiligheidsmarge. In de effectbeoordeling zal de veiligheid voor de huidige situatie worden berekend en worden gehanteerd als uitgangspunt.

De Zeedijk is in het verleden aangelegd en ontworpen om direct het buitenwater te kunnen keren. Doordat de Zeedijk het buitenwater nu niet meer direct keert, wordt verwacht dat de waterkering is overgedimensioneerd en beschikt over een ruime veiligheidsmarge.

Belangrijk is dat de waterkering als zelfstandige waterkering dient te worden beschouwd. De waterkering dient aan beide zijden water te kunnen keren.

3 Beoordelingscriteria

3.1 Criteria ten aanzien van veiligheid

Voor de secundaire waterkering geldt dat de veiligheid van de waterkering gewaarborgd dient te zijn bij een maatgevende buitenwaterstand. Door het ontbreken van een normfrequentie wordt uitgegaan van een hoogwaterstand die gelijk is aan de buitenwaterstand op het Haringvliet. De Zeedijk zal namelijk pas na bezwijken van de primaire waterkering worden belast. De waterkering dient aan beide zijden water te kunnen keren.

Aangetoond zal moeten worden wat de waterkerende functie is gewaarborgd bij:

1. De exploitatie van de windturbine en het fundament, waarvoor geldt dat de rotorbladen reiken tot 'boven' de waterkering.
2. Gebruik van de weg op de Zeedijk, of eventueel veranderingen aan de weg of aanleg van nieuwe weggedeelten voor de toegangsweg naar de windturbines.
3. Aanleg, gebruik en verwijderen van de kabels voor de elektrische werken.
4. Falen van de windturbine, waarbij de windturbine of een onderdeel hiervan de waterkering kan treffen.

Punten 1 tot en met 3 hebben betrekking op de beoordeling van de grondmechanische effecten. Zoals beschreven in paragraaf 2.4 hanteert het waterschap voor het waterstaatswerk het principe dat de huidige waterkering (hoogte, kruinbreedte en taluds) gehandhaafd dient te blijven. Daarnaast wordt de stabiliteit beoordeeld door de situatie met en zonder windpark met elkaar te vergelijken. Op basis van de procentuele afname van de stabiliteit en de veiligheidsmarge zal het waterschap bepalen of dit acceptabel is. Ten slotte wordt de stabiliteit in de huidige en toekomstige situatie beoordeeld op grond van de in paragraaf 3.7 afgeleide veiligheidsfactoren. Door de vergelijking wordt inzicht verkregen in de aanwezige 'veiligheidsmarge' voor de betreffende locatie.

Punt 4 heeft betrekking op de beoordeling van de additionele faalfrequentie van de waterkering ten gevolge van het mogelijk *falen* van de windturbines of een onderdeel hiervan tijdens de exploitatiefase. WSHD stelt als eis dat de veiligheid van de waterkering door de aanwezigheid van de windturbines niet wezenlijk mag verminderen ten opzichte van de situatie zonder windturbines. Als toetsingscriterium wordt doorgaans aangehouden dat de totale additionele faalkans maximaal 1% van de autonome faalfrequentie mag bedragen. Uitgaande van de hoogste IPO-klasse komt dit overeen met $1 \cdot 10^{-5}$ per jaar (1% van 1:1.000 per jaar).

3.2 Criteria ten aanzien van ruimtelijke inpassing

Voor bouwwerken in of nabij waterkeringen is beleidsregel BL-01 opgesteld [REF.1]. Aangezien het fundament van de windturbine is voorzien op ruime afstand van de waterkering en buiten het profiel van vrije ruimte zijn de beleidsregels niet van toepassing.

Wel relevant is beleidsregel BL-03 voor kabels in of nabij waterkeringen [REF.1]. Ten aanzien van de ruimtelijke inpassing geldt:

1. Kabels mogen niet in de kruin of het talud van het waterstaatswerk worden aangebracht. Daarnaast moeten kabels op minimaal 5,00 m uit de (teen)lijn van het binnen- en/of buitentalud worden aangebracht.

3.3 Criteria ten aanzien van constructie en uitvoering

In de beleidsnota [REF.1] zijn de volgende criteria gesteld voor kabels en leidingen:

1. Bij het toepassen van mantelbuizen in en nabij de waterkering, anders dan kruisingen, wordt de kabel (en mantelbuis) gezien als leiding en is de daarbij behorende beleidsregel van toepassing.
2. De voorkeursvolgorde ten aanzien van kruisingen van waterkeringen betreft: open ontgraving, horizontaal gestuurde boring of een eventueel alternatief.
3. Kruisende kabels moeten de waterkering zo minimaal mogelijk (haaks) kruisen.
4. Kruisende kabels moeten onder de kleilaagdekking worden aangebracht (met uitzondering van gestuurde boringen).
5. Het gebruik van mantelbuizen bij het kruisen van waterkeringen in open ontgraving is niet toegestaan.
6. Het gebruik van mantelbuizen bij het kruisen van waterkering door middel van een gestuurde boring is toegestaan, wat tot gevolg heeft dat de kabels (en mantelbuis) wordt gezien als een leiding en de daarbij behorende beleidsregel van toepassing is.
7. Kabels moeten zoveel als mogelijk worden geclusterd en/of in bestaande tracés worden aangebracht.
8. Niet meer in gebruik zijnde kabels moeten worden verwijderd uit de zonering van de waterkering.

3.4 Criteria ten aanzien van robuustheid

De technische levensduur van de windturbines is 20 jaar. Dit betekent dat hoogte en stabiliteit van de waterkering voor een periode van minimaal 20 jaar gewaarborgd dient te zijn.

Om rekening te houden met onzekerheden in de waterstanden gedurende de planperiode van 20 jaar dient voor primaire waterkeringen conform Leidraad Rivieren rekening te worden gehouden met een robuustheidstoeslag van 0,3 m op de maatgevende hoogwaterstand (MHW). Voor de secundaire waterkering wordt eenzelfde robuustheidstoeslag gehanteerd in de effectbeoordeling. De ontwerpwaterstand is dan gelijk aan de MHW +0,3 m. De minimale vereiste waakhogte bedraagt 0,5 m.

3.5 Criteria ten aanzien van beheer

Het beoordelingsrapport dient, samen met de risicoanalyse (Pondera Consult), als onderbouwing voor toekomstige periodieke veiligheidstoetsingen van de waterkering. De windturbine zal hierbij worden beoordeeld als Niet Waterkerend Object (NWO). De rapportage dient conform de vigerende normen te zijn uitgevoerd en volledig te zijn om te kunnen dienen als basis voor de toetsingen.

3.6 Normen en richtlijnen

De basis voor de effectbeoordeling zijn de richtlijnen voor het ontwerp van secundaire waterkeringen. Voor het ontwerp is de volgende handreiking van toepassing:

- STOWA, Handreiking ontwerpen & verbeteren van waterkeringen langs regionale rivieren. Rapportnummer 2009-07. STOWA, Utrecht 2009. [REF.4]

3.7 Veiligheidsfactoren macrostabiliteit

Conform de STOWA Handreiking vindt de berekening van de macrostabiliteit plaats volgens de aanwijzingen uit het Technische Rapport Waterkerende Grondconstructies (TRWG) [REF.5] en het

addendum op dit technisch rapport [REF.6]. De berekening is gebaseerd op partiële veiligheidsfactoren. De volgende partiële veiligheidsfactoren worden onderscheiden:

- schadefactor: partiële factor die verband houdt met differentiatie in veiligheidsniveau
- modelfactor: partiële factor die verband houdt met rekenmodel
- schematiseringsfactor: partiële factor die verband houdt met de schematisatie van bodemopbouw en waterspanningen
- materiaalfactor: partiële factor die verband houdt met de onzekerheid in materiaalparameters

Schadefactoren

Door het ontbreken van een normfrequentie is voor de Zeedijk geen schadefactor gedefinieerd. In de effectbeoordeling zal worden nagegaan voor de huidige situatie wat de 'overall' veiligheidsfactor is en wat de bijbehorende schadefactor is. Ter beoordeling van de veiligheidsmarge zal worden uitgegaan van een waarde van 1,0 voor de hoogste IPO-klasse.

Modelfactor

De modelfactor is afhankelijk van het rekenmodel. Stabiliteitsberekeningen worden uitgevoerd conform het Bishop model. Voor dit model geldt conform het Addendum bij het TRWG [REF.6]: $\gamma_d = 1,0$.

Materiaalfactoren

Voor de inschatting van de sterkteparameters van de grond zal de tabel uit Appendix A3 worden gebruikt. De waarden zijn gebaseerd op een regionale dataset. Aanvullend sondeer- en booronderzoek zijn uitgevoerd om de lokale bodemopbouw en de grondparameters af te leiden.

De materiaalfactoren om te komen tot rekenwaarden zijn conform tabel 5.3.1 van het addendum bij het TRWG. De te hanteren materiaalfactoren voor het ontwerp zijn gepresenteerd in Tabel 3-1.

Tabel 3-1: Materiaalfactoren

Grondparameter	Symbool	Klei	Veen	Zand
Hoek van inwendige wrijving ^a	$\gamma_{\phi'}$	1,20	1,25	1,20
Cohesie	γ_c	1,25	1,50	n.v.t.
Volumiek gewicht	γ_γ	1,00	1,00	1,00
^a Deze factor heeft betrekking op $\tan \phi'$				

Schematiseringsfactor

Ten behoeve van de effectbeoordeling is een lokaal grondonderzoek uitgevoerd om de bodemopbouw te schematiseren. Doordat lokaal onderzoek is uitgevoerd zullen afwijkingen in de schematisering gering zijn. Dit is anders bij het toetsen of ontwerpen van regionale waterkeringen, waarbij voor grotere dijkstrekkingsen een beperkt grondonderzoek beschikbaar is.

In de effectbeoordeling gaat het om de relatieve afname van de stabiliteit, en niet zozeer om het toetsen aan een minimaal vereiste waarde (niet vastgesteld vanwege het ontbreken van een faalkans). De waarde van een schematiseringsfactor is dan ook minder van belang. Om toch een uitspraak te kunnen doen over de huidige veiligheidsmarge wordt een schematiseringsfactor van 1,2 gehanteerd.

Veiligheidsfactoren voor ontwerp

Stabiliteitsberekeningen zullen worden uitgevoerd met rekenwaarden voor de grondparameters (dus inclusief de materiaalfactoren). Zoals eerder opgemerkt kunnen vanwege het ontbreken van een normfrequentie geen absolute toetscriteria worden opgesteld voor macrostabiliteit. Om toch inzicht te

krijgen in de aanwezige veiligheidsmarge wordt uitgegaan van 'fictieve' toetswaarden op basis van de hoogste IPO-klasse. Dit leidt tot de volgende veiligheidsfactoren ($\gamma_R = \gamma_n \times \gamma_d \times \gamma_b \times \gamma_s$):

- Bouw- en verwijderingsafase en buitenwaartse macrostabiliteit: $\gamma_{R;Bishop} = \mathbf{1,08}$ ($=0,9 \times 1,0 \times 1,2$)
- Gebruiksfase binnenwaartse macrostabiliteit: $\gamma_{R;Bishop} = \mathbf{1,20}$ ($=1,0 \times 1,0 \times 1,2$)

4 Geotechnisch ondergrondmodel

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

- De geometrie van de bestaande situatie;
- De bodemopbouw met classificatie van de grondsoorten;
- De geotechnische eigenschappen per grondlaag;
- De grondwaterstand en waterspanningen in de ondergrond.

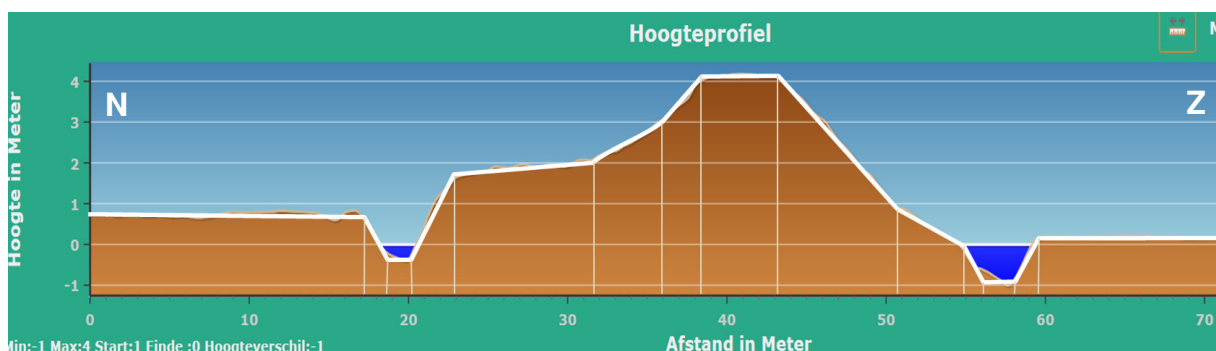
4.1 Geometrie

Langs de Zeedijk zijn op basis van de Algemene Hoogtekaart van Nederland (AHN) diverse dwarsprofielen gegenereerd. De profielen zijn weergegeven in bijlage 1.

Door aanwezigheid van op- en afritten varieert de geometrie langs de Zeedijk. Voor het standaard dijkprofiel (zonder op- en afritten) geldt het volgende:

- De kruinhoogte van de kering bedraagt NAP +4,1 à +4,4 m;
- De kruinbreedte is 5,0 à 5,5 m. Op de kruin is een weg aanwezig;
- Aan de noordzijde is een berm aanwezig met hoogte van NAP +1,5 à +2,5 m
- Aan de noordzijde is nabij de teen een kwelsloot aanwezig met een bodemniveau op NAP -0,3 à -0,5 m;
- De polder aan de noordzijde heeft een maaiveldniveau van NAP +0,6 à +1,0 m.
- Aan de buitenzijde is een kwelsloot aanwezig met een bodemniveau op NAP -0,7 à -1,0 m;
- De polder aan de zuidzijde heeft een maaiveldniveau van NAP +0 à +0,4 m;

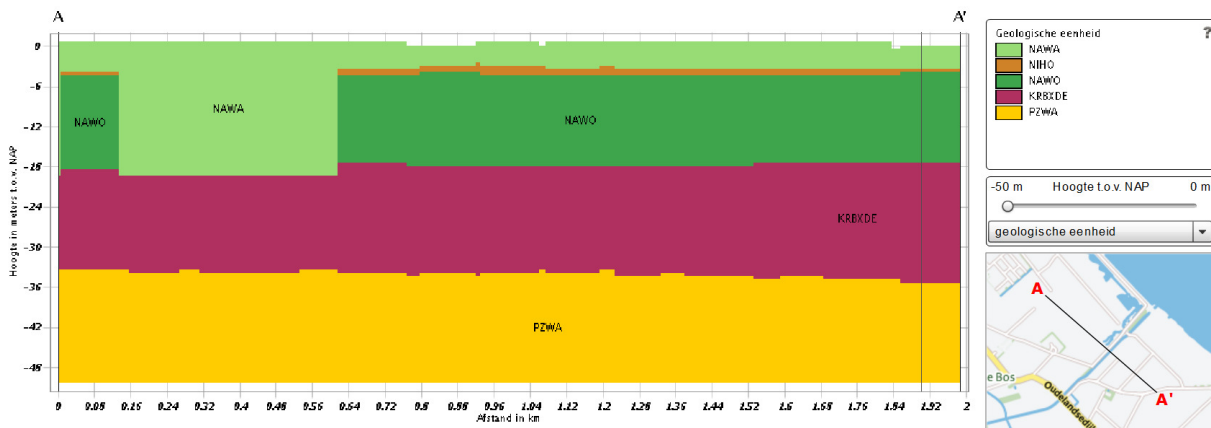
Voor de stabiliteitsanalyse zal worden uitgegaan van één representatief dwarsprofiel. Dit profiel is schematische weergegeven in Figuur 4-1.



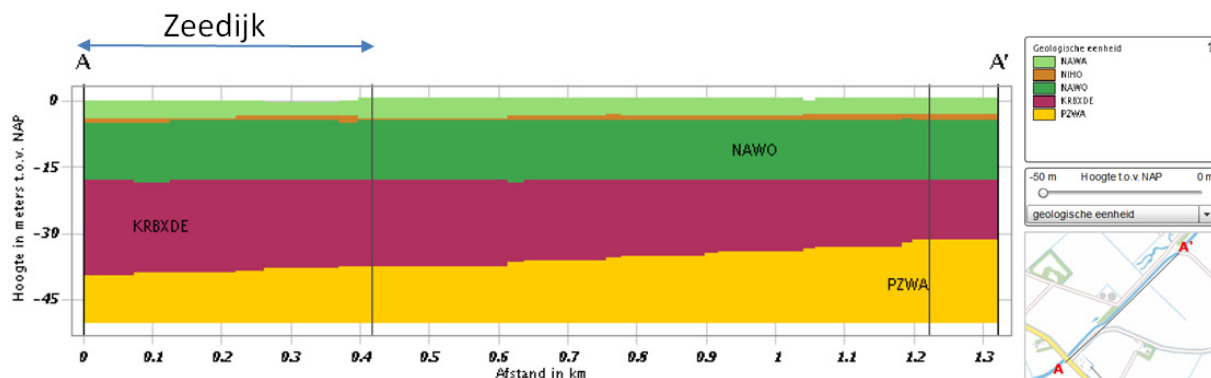
Figuur 4-1: maatgevend dwarsprofiel waterkering voor beoordeling stabiliteit nabij de windturbine

4.2 Geologie

Om inzicht te krijgen in de geologische opbouw van het projectgebied is een geologische doorsnede opgevraagd uit het digitale loket van NITG-TNO. De geologische doorsnede langs de beoogde Nuon windturbines is weergegeven in Figuur 4-2. Een doorsnede langs de transportroute over de Zeedijk is weergegeven in Figuur 4-3.



Figuur 4-2: Geologische doorsnede langs de opstelling van de windturbines



Figuur 4-3: Geologische doorsnede langs kanaal De Vlieger

Achtereenvolgens worden in de ondergrond (nabij de Zeedijk) de volgende geologische eenheden onderscheiden:

- Van maaiveld tot ca. NAP -4 m: Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren ('NAWA'), gekenmerkt door een sterk variabele samenstelling, variërend van grof zand tot zwak siltige klei;
- Van ca. NAP -4 m tot NAP -4,5 m: Formatie van Nieuwkoop, Hollandveen laagpakket ('NIHO'), bestaande uit veen;
- Van NAP -4,5 m tot ca. NAP -18 m: Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Wormer ('NAWO') gekenmerkt door een sterk variabele samenstelling, variërend van grof zand tot zwak siltige klei;
- Van ca. NAP -18 m tot NAP -33 à -35 m: Formatie van Kreftenheye ('KRBXDE'), bestaande uit grofzandige en grindhoudende afzettingen.
- Van NAP -33 à -35 m tot ca. -62 m: Formatie van Peize ('PZWA'), bestaande grofzandige afzettingen, en de Formatie van Waalre, variërend van grof grind tot siltige klei.

De geologische doorsneden tonen aan dat tot circa NAP -18 m een Holocene deklaag aanwezig is met een wisselende samenstelling. In het noordwesten is mogelijk een oude geul aanwezig, welke is opgevuld met afzettingen van Laagpakket van Walcheren. De ligging van de geul is echter ver van de Zeedijk.

4.3 Grondonderzoek

Beschikbaar grondonderzoek

In het digitale archief van NITG-TNO (DinoLoket) is een beperkt aantal boringen beschikbaar aan de zuidzijde van de Zeedijk, zie Figuur 4-4. De bodemprofielen van de meest nabijgelegen boringen B43B0441 en B43B0445 zijn weergegeven in bijlage 2.



Figuur 4-4: Locatie beschikbare boringen uit DinoLoket

Aanvullend grondonderzoek

Om inzicht te krijgen in de laagopbouw van de waterkering en ondergrond is aanvullend grondonderzoek uitgevoerd. Op 22 juni 2016 zijn door WM Grondboorbedrijf 6 handboringen tot 6 m diepte uitgevoerd. Ook zijn 6 taludboringen uitgevoerd.

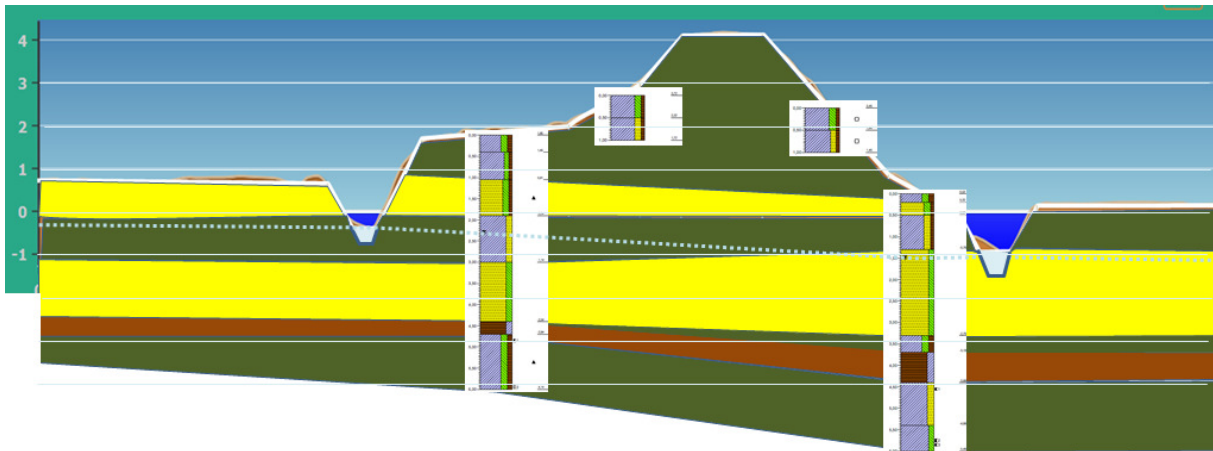
In de boringen zijn grondmonsters genomen. In het laboratorium van Fugro zijn van de grondmonsters het volumegewicht en watergehalte bepaald.

De resultaten van het aanvullend onderzoek zijn toegevoegd aan dit rapport in bijlage 3.

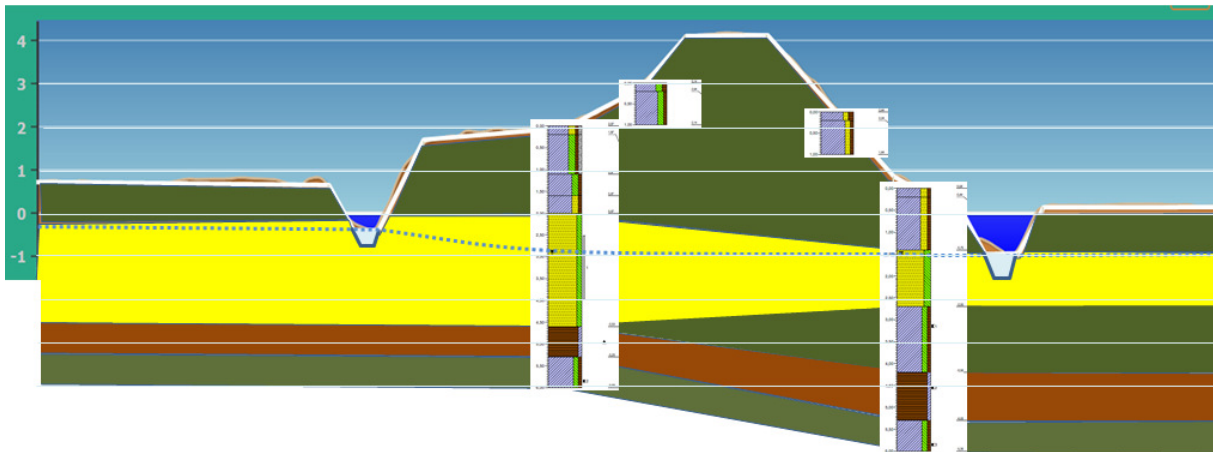
4.4 Bodemopbouw

De beschikbare boringen (paragraaf 4.3) zijn ondiep en reiken tot net in het Hollandveen op NAP -3 à -4 m. De boringen bevestigen het beeld van een variabele samenstelling van de deklaag, variërend van zand tot siltige klei (Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren, 'NAWA').

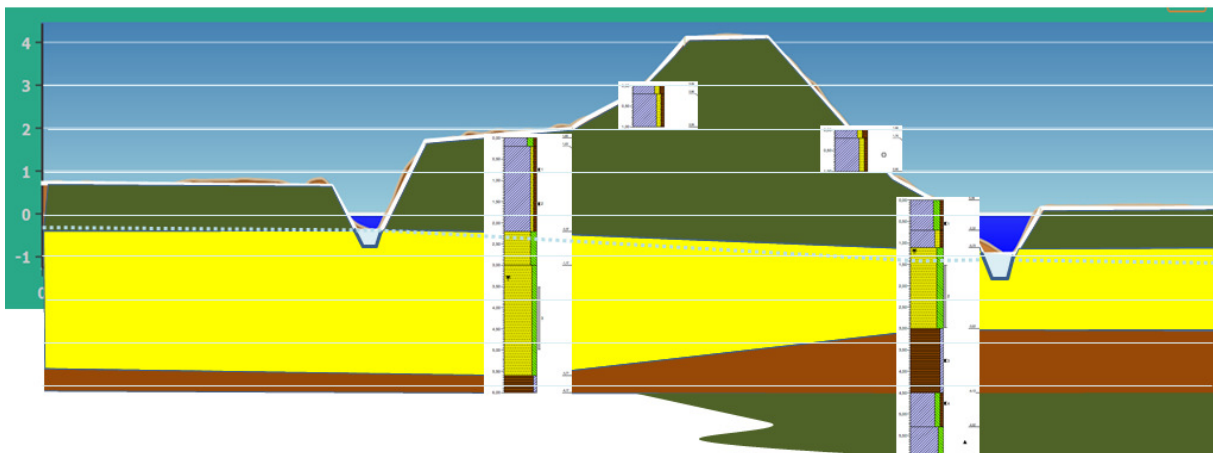
Op basis van het aanvullend grondonderzoek zijn doorsneden van de waterkering en ondergrond afgeleid. De doorsneden zijn weergegeven in onderstaande figuren.



Figuur 4-5: Geotechnische dwarsdoorsnede 1



Figuur 4-6: Geotechnische dwarsdoorsnede 2



Figuur 4-7: Geotechnische dwarsdoorsnede 3

Uit de boringen blijkt de Zeedijk te bestaan uit zandige en siltige, zwak humeuze klei. De onderkant van de klei is aangetroffen op NAP 0 à -1 m. Ter plaatse van dwarsraai 1 is een tussenzandlaag aangetroffen.

Onder de kleideklaag is een zandlaag aangetroffen tot NAP -2 à -3,5 m. Het zand is uiterst fijn en matig tot sterk siltig.

Vanaf het niveau NAP -2,5 à -3,5 m komt een veenlaag voor (Hollandveen). De laagdikte varieert van 0,3 m tot 1,5 m.

4.5 Grondparameters

De karakteristieke waarden voor de grondparameters zijn geschat aan de hand van de tabel uit Bijlage 4. De waarden zijn gebaseerd op een regionale dataset. Voor de klei in de dijk is het volumegewicht opgehoogd van 16 kN/m³ naar 17 kN/m³ op basis van de resultaten van het laboratoriumonderzoek, zie Bijlage 3. De materiaalfactoren om te komen tot rekenwaarden zijn conform Tabel 4-1.

In onderstaande tabel zijn de eigenschappen van de verschillende grondlagen aangegeven.

Tabel 4-1: Grondsoorten en grondparameters

Grondsoort	$\gamma_{d/n}$ [kN/m ³]	c'_k [kPa]	c'_d [kPa]	ϕ'_k [°]	ϕ'_d [°]
Klei, siltig/zandig (dijk)	17/17	10	8,0	17,5	14,7
Zand, fijn en siltig	17/20	0	0	25	21,2
Hollandveen	10,5/10,5	5	3,3	15	12,1
Klei, siltig	16/16	10	8,0	17,5	14,7

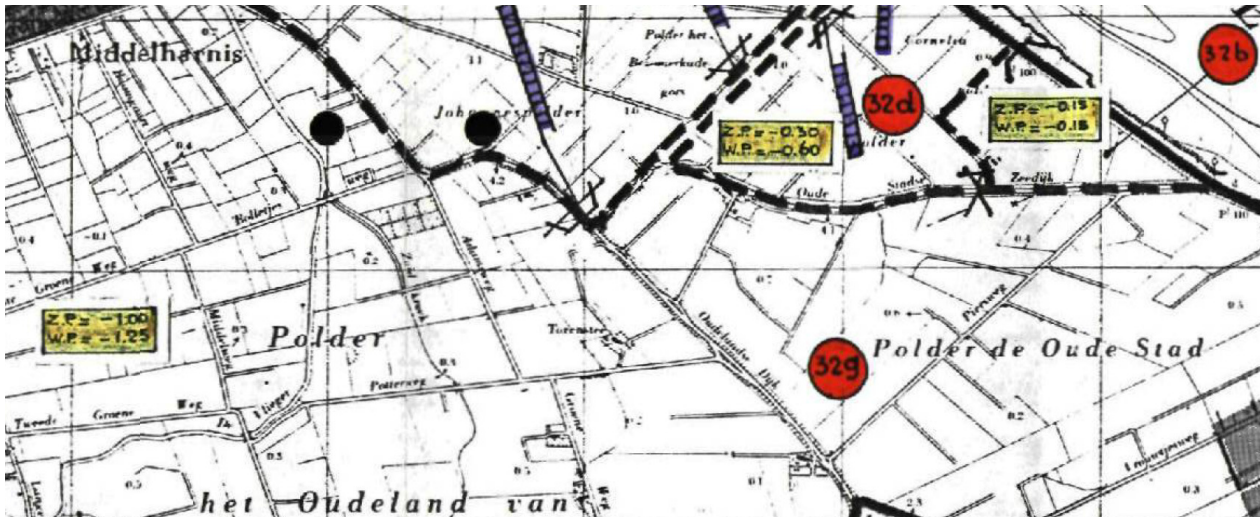
Waarbij:

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

4.6 Waterstanden

In de geotechnische analyse zal worden uitgegaan van de volgende waterstanden:

- Polderpeil ten noorden van de Zeedijk (peilgebied 32d van de Johan Koert bemalingsgebied, zie Figuur 4-8):
 - o Zomerpeil: NAP -0,30 m
 - o Winterpeil: NAP -0,60 m
- Polderpeil ten zuiden van de Zeedijk (peilgebied 32g van de Johan Koert bemalingsgebied, zie Figuur 4-8):
 - o Zomerpeil: NAP -1,00 m
 - o Winterpeil: NAP -1,25 m
- Maatgevende buitenwaterstand: NAP +2,6 m (Toetspeil voor primaire waterkering conform Hydraulische Randvoorwaarden 2006)

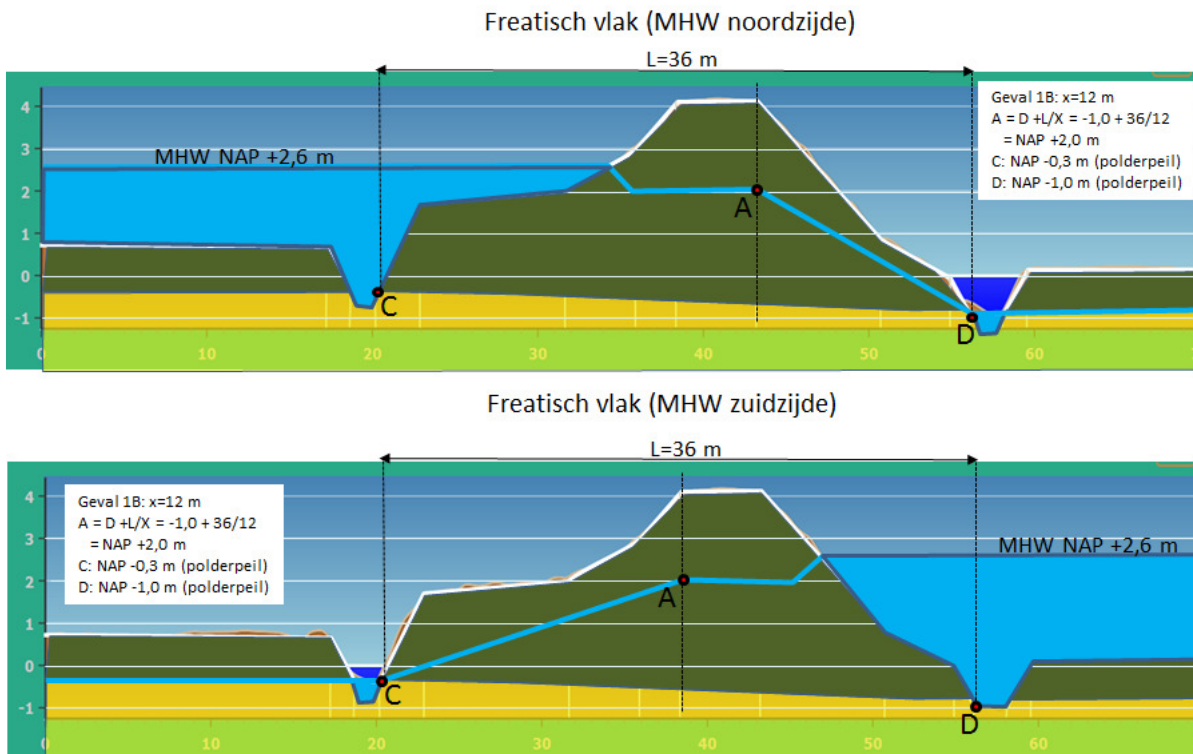


Figuur 4-8: peilgebieden met zomer- en winterpeilen (Waterschap Hollandse Delta)

4.7 Modelling verloop waterstanden

De Zeedijk betreft een kleidijk op een zandondergrond. Uit de geotechnische dwarsprofielen blijkt dat de kwelsloten aan weerszijden van de waterkering reiken tot in het zand.

Op basis van het Technische Rapport Waterspanningen bij Dijken is het verloop van de freatische waterstand afgeleid. Het verloop is schematische weergegeven in Figuur 4-9. Aangezien het hoogwater aan beide zijden van de Zeedijk kan optreden zijn twee situaties beschouwd.



Figuur 4-9: verloop freatische grondwaterstand.

5 Belastingen op de waterkering

5.1 Kruinbelasting

Bouw- en verwijderingsfase met zwaar transport over de Zeedijk

Voor de beschouwing van de macrostabiliteit zal rekening worden gehouden met een kruinbelasting op de Zeedijk als gevolg van zwaar transport tijdens de bouw. Uitgangspunt is dat de maximale aslast 13 ton bedraagt. Voor zwaar verkeer (verkeersklasse 60) wordt conform STOWA Rapport "Onderzoek naar de schematisering van verkeersbelasting op kades" uitgegaan van een uniforme belasting van 15 kPa over een strookbreedte van 2,5 m. De belasting grijpt aan op de rand van de verharding en is een tijdelijke belasting, waarop de ondergrond vrijwel ongedraineerd reageert. Conform het STOWA rapport wordt voor kleikades uitgegaan van een consolidatiefactor van 80%.

Gebruiksphase

Voor de gebruiksphase wordt uitgegaan van een verkeersbelasting tijdens een calamiteit. Conform het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies wordt uitgegaan van een verkeersbelasting van 13,3 kPa over een strookbreedte van 2,5 m. De belasting grijpt aan op de rand van de verharding en is een tijdelijke belasting, waarop de ondergrond vrijwel ongedraineerd reageert. Conform het STOWA rapport wordt voor kleikades uitgegaan van een consolidatiefactor van 80%.

5.2 Belasting tijdens gebruik van de windturbine

Tijdens de bouw en het verwijderen van het fundament voor de windturbines vinden geen werkzaamheden plaats binnen de beschermingszone of waterstaatswerk. Belastingen vanuit de windturbine worden dan ook alleen beschouwd voor de gebruiksfase, waarbij de bladen reiken tot boven de waterkering.

Trillingsintensiteit tijdens gebruik

Tijdens de gebruiksfase kunnen trillingen in de ondergrond ontstaan als gevolg van cyclische windbelastingen. Deze trillingen leiden tot grondversnellingen. In het verleden heeft Fugro trillingsmetingen uitgevoerd nabij opgestelde 3 MW turbines in de Afrikahaven te Amsterdam (2008) en nabij Noordland op de Neeltje Jans (2009). De metingen zijn uitgevoerd aan de buitenzijde van het fundament en binnen op de vloer van de toren. Tijdens de metingen is een windkracht van 3 tot 6 Bft (tot 14 m/s) opgetreden). De tijdens in bedrijf zijn van de turbine gemeten waarden zijn²:

	<u>Noordland</u>	<u>Afrikahaven</u>
• Horizontaal:	0 tot 25 mm/s ²	10 tot 35 mm/s ²
• Verticaal:	20 tot 75 mm/s ²	15 tot 50 mm/s ²

Fugro heeft tevens trillingsmetingen uitgevoerd rondom een 6MW windturbine nabij de Eemshaven³. Op circa 15 m afstand waren aan maaiveld / op diepte nagenoeg geen verhoging meer waarneembaar ten opzichte van de achtergrondtrillingen. De grootste versnellingen treden op tijdens opstarten/noodstops, waarbij waarden van 15 tot 30 mm/s² waren gemeten.

Omdat voor Haringvliet windturbines in dezelfde 3 MW klasse gehanteerd zullen worden, zijn waarden aangehouden uit de metingen voor de Afrikahaven. Voor de stabiliteitsanalyse hebben horizontale versnelling de meest ongunstige invloed. Uitgegaan wordt van de maximaal gemeten horizontale versnelling van 35 mm/s² en bijbehorende verticale versnelling van 50 mm/s².

De trillingsintensiteit zal als gevolg van demping afnemen met toenemende afstand tot het fundament. Aangenomen wordt dat de versnellingen op 60 à 70 m van de fundering van de windturbine met een factor 2 zijn afgenomen. Ter vergelijking: bij heien zijn op een afstand van 60 à 70 m versnellingen doorgaans met een factor 10 afgenomen.

- $a_h = 35 / 2 = 17,5 \text{ mm/s}^2$, ofwel circa 0,002g;
- $a_v = 50 / 2 = 25 \text{ mm/s}^2$, ofwel circa 0,003g.

In de stabiliteitsberekeningen wordt voor het gehele grondmodel een gelijke versnelling opgelegd.

Waterspanningen door trillingen tijdens gebruik

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

² Uit rapport van Fugro Geoservices, effectbepaling waterkering t.g.v. windturbinepark Nieuwe Waterweg Maasdijk, november 2012.

³ Resultaten hiervan zijn gepresenteerd tijdens de Fugro Workshop "Dijken voor de Wind" in januari 2016.

6 Beoordeling van effecten op faalmechanismen waterkering

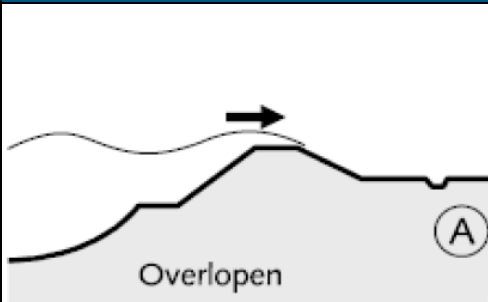
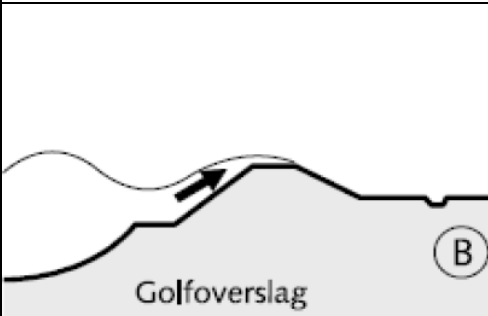
6.1 Beoordelingskader

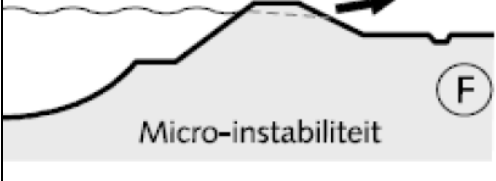
De beoordeling van de effecten op de faalmechanismen ten aanzien van hoogte en stabiliteit van de waterkering zal worden uitgevoerd aan de hand van de STOWA 'Handreiking Ontwerpen & Verbeteren Waterkeringen langs regionale rivieren' [REF.4]. In de STOWA Handreiking wordt voor de rekenregels (en software) die nodig zijn voor het beoordelen van de veiligheid per faalmechanisme verwezen naar de specifieke technische rapporten van de ENW.

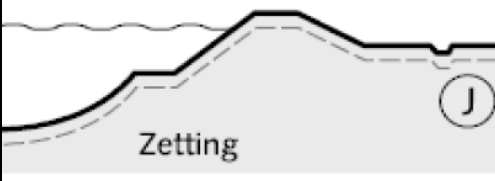
6.2 Relevante faalmechanismen

Het beschouwen van mogelijke effecten van de windturbines op de waterveiligheid wordt bepaald aan de hand van verschillende faalmechanismen. Een korte beschrijving van de verschillende faalmechanismen waartussen de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) onderscheid maakt, is gegeven in Tabel 6-1. Ter indicatie is in deze tabel tevens aangegeven of de aanleg van de toerit en bekabeling, of gebruik van de windturbine, effect hebben op de sterkte van of de belasting op de waterkering.

Tabel 6-1: Omschrijving faalmechanismen (VTV2006)

Faalmechanisme	Omschrijving effecten op belasting/sterkte
 Overlopen (A)	Overlopen betreft inundatie van het dijkkringgebied 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>Aanleg/verwijderen toerit en kabels:</u> • een tijdelijke open ontgraving voor de kruising van kabels leidt tot een tijdelijke kruinhoogteverlaging. <u>Gebruiksfase:</u> • de aanwezigheid van de windparkonderdelen heeft geen effect op de belasting of hoogte van de waterkering.
 Golfoverslag (B)	Golfoverslag kan leiden tot erosie van het binnentalud door de kracht van het stromend water. De belasting wordt gevormd door de hydraulische randvoorwaarden en het daaruit voortvloeiende overslagdebiet. De sterkte wordt bepaald door de erosiebestendigheid van het binnentalud. <u>Effecten</u> <u>Aanleg/verwijderen toerit en kabels:</u> • door de aanleg van de toerit en kabels kan schade optreden aan de grasbekleding met tijdelijk verminderde erosiebestendigheid. <u>Gebruiksfase:</u> • de aanwezigheid van de windparkonderdelen heeft geen effect op het overslagdebiet of erosiebestendigheid. .

Faalmechanisme	Omschrijving effecten op belasting/sterkte
 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. <u>Effecten</u> <i>Aanleg/verwijderen toerit en kabels:</i> • zwaar verkeer kan leiden tot toename van de belasting. • de aanleg van een toerit zal, net als een steunberm, een positief effect hebben (tegenwerkend) <i>Gebruiksfase:</i> • trillingen van het fundament als gevolg van cyclische windbelastingen kunnen leiden tot toename van de grondbelasting.
 Wegschuiven (D)	Wegschuiven van een grondlichaam, eveneens door waterdruk tegen de waterkering en verhoogde waterspanning in de ondergrond. De sterkte wordt bepaald door de schuifweerstand onder waterkering. <u>Effecten</u> <i>Aanleg/verwijderen toerit en kabels:</i> • geen effect (afrit is al aanwezig). <i>Gebruiksfase:</i> • geen effect
 Afschuiven buitentalud (E)	Instabiliteit (afschuiven) van het buitentalud na een snelle daling van de buitenwaterstand. De sterkte wordt bepaald door de geometrie van de waterkering en de grondopbouw. <u>Effecten</u> <i>Aanleg/verwijderen toerit en kabels:</i> • zwaar verkeer op de kruin kan leiden tot toename van de belasting. • de aanleg van een toerit zal, net als een steunberm, een positief effect hebben (tegenwerkend) <i>Gebruiksfase:</i> • trillingen van het fundament als gevolg van cyclische windbelastingen kunnen leiden tot toename van de grondbelasting ter plaatse van de waterkering.
 Micro-instabiliteit (F)	Instabiliteit van het binnen- (of buiten)talud door uittredend kwelwater door het grondlichaam, analoog aan faalmechanisme C, maar bij lagere waterstanden. De belasting wordt bepaald door de buitenwaterstand en de doorlatendheid van het dijklichaam. De sterkte wordt bepaald door de geometrie van de waterkering en de grondopbouw. <u>Effecten</u> <i>Aanleg/verwijderen toerit en kabels:</i> • geen effect (afrit is al aanwezig). <i>Gebruiksfase:</i> • geen effect

Faalmechanisme	Omschrijving effecten op belasting/sterkte
 "Piping"	Piping als gevolg van kwelstroming door de ondergrond waarbij achter de dijk erosie ontstaat en grond meegevoerd wordt (zandmeevoerende wellen). Kwelstroming wordt verwacht tussen de bestaande kwel sloten (zie geotechnische profielen). Ontgravingen en het inbrengen van funderingselementen kunnen de kwelweglengte verkorten, waardoor de belasting (kwelstroming) kan toenemen. <u>Effecten</u> <i>Aanleg/verwijderen toerit en kabels:</i> • geen effect <i>Gebruiksfase:</i> • kruisende kabel kan leiden tot erosie door piping/kwelstroming langs de kabel. • gezien de afstand van het fundament heeft deze geen effect op piping (kwelstroming vindt plaats tussen de sloten)
 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>Aanleg/verwijderen toerit en kabels:</i> • geen effect (geen wijziging ten opzichte van huidige geometrie) <i>Gebruiksfase:</i> • geen effect: windturbine is voorzien op ruime afstand van de waterkering.
 Erosie vooroever	Instabiliteit vooroever als gevolg van afschuiving en zettingsvloeiing. Wanneer de grondslag hiervoor gevoelig is, kunnen trillingen of toename van een bovenbelasting op de vooroever deze initiëren. <u>Effecten</u> <i>Aanleg/verwijderen toerit en kabels:</i> • geen effect (geen vooroever) <i>Gebruiksfase:</i> • geen effect (geen vooroever)
 Zetting	Zettingen van het grondlichaam. Door trillingen en toename van de belasting op de ondergrond kan er zetting van de ondergrond optreden. De zetting kan effect hebben op overlopen (A) of golfoverslag (B). <u>Effecten</u> <i>Aanleg/verwijderen toerit en kabels:</i> • geen effect: er wordt geen noemenswaardige ophoging verwacht en dus ook geen kruinhoogtedaling door zettingen <i>Gebruiksfase:</i> • geen effect: trillingen zijn zo klein dat geen verdichting ter plaatse van de waterkering zal optreden.

Aan de hand van het voorgaande overzicht kan gesteld worden dat de volgende faalmechanismen relevant zijn voor de effectbeoordeling:

Tabel 6-2: Relevante faalmechanismen (O) per projectfase en windparkonderdeel

Faalmechanisme	Bouw-verwijderingsfase		Gebruiksfase		
	Toerit/verkeer	Bekabeling	Toerit/verkeer	Bekabeling	Windturbine
Overlopen (HT)	-	O	-	-	-
Golfoverslag (HT)	O	O	-	-	-
Afschuiven binnentalud (STBI)	O	-	-	-	O
Afschuiven buitentalud (STBU)	O	-	-	-	O
Piping (STPH)	-	-	-	O	-

Deze potentiële faalmechanismen (O) worden hierna nader beoordeeld. De overige faalmechanismen worden in dit rapport niet verder beschouwd. 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 overlopen en golfoverslag (HT)

Overlopen en golfoverslag kan erosie van het binnentalud veroorzaken. Of het overslaande water daadwerkelijk leidt tot erosie van het binnentalud hangt af van het gemiddelde overslagdebiet en de sterkte van de bekleding op het binnentalud. Het gemiddelde overslagdebiet is op zijn beurt weer afhankelijk van de maatgevende hydraulische randvoorwaarden. Over het algemeen wordt verondersteld dat bij een gemiddeld overslag debiet kleiner dan 0,1 l/s/m er geen risico is op erosie van het binnentalud. De belangrijkste aspecten die de veiligheid van de waterkering bepalen voor het faalmechanisme overlopen en golfoverslag zijn:

- de kruinhoogte (overslagdebiet);
- de geometrie van het buitentalud en de vooroever (golfoploop);
- de weerstand van de bekleding op de kruin en binnentalud.

Per aspect zijn hieronder de te verwachten effecten beschreven.

Kruinhoogte

Tijdens de aanleg van de kruisende kabel in een open ontgraving zal de kruinhoogte tijdelijk worden verlaagd. Uitgaande van een ontgravingsdiepte van 1 m en een actuele kruinhoogte van NAP +4,2 m, bedraagt het ontgravingsniveau NAP +3,2 m. Dit niveau is 0,6 m boven de maatgevende hoogwaterstand van NAP +2,6 m. Rekening houdend met een minimale waakhogte van 0,5 m, zal zelfs onder maatgevende omstandigheden geen overlopen optreden. Er worden hierdoor geen negatieve effecten verwacht.

Bij aanleg van de toerit worden geen noemenswaardige zettingen van de kruin verwacht. De toerit is voorzien ter plaatse van een bestaande afrit van de Zeedijk. De aanpassingen aan de geometrie zijn gering. Bovendien is een ruime kruinhoogtemarge aanwezig.

Geometrie

Er wordt geen wijziging van de geometrie verwacht.

Weerstand bekleding op de kruin en binnentalud

Tijdens de aanleg van de toerit en de kruisende kabels zijn werkzaamheden voorzien die de sterkte van de bekleding kunnen aantasten. Tijdens de uitvoering van de graaf- en aanvulwerkzaamheden zal ervoor moeten worden gezorgd dat de grond goed wordt verdicht, goed aanvulmateriaal wordt gebruikt en de profielopbouw en grasbekleding zoveel mogelijk wordt hersteld.

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 zorgvuldig wordt verricht met herstel van de profielopbouw en grasbekleding.

6.4 Beoordeling effecten op binnenwaartse macrostabiliteit (STBI)

Instabiliteit (afschuiven) binnentalud ontstaat ten gevolge van infiltratie van instromend water of door de waterdruk tegen de buitenzijde van de kering en verhoogde waterspanningen in de ondergrond. De belangrijkste aspecten die de veiligheid van de waterkering bepalen voor dit faalmechanisme zijn:

- de grondopbouw;
- de geometrie van het dijklichaam;
- de eventuele aanwezige bovenbelasting in het aandrijvende deel.

Per aspect is hieronder aangegeven wat de te verwachten effecten zijn.

Grondopbouw

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

Geometrie waterkering

Er worden bij de ontwikkeling van het windpark geen wijzigingen in geometrie verwacht die invloed kunnen hebben de binnenwaartse macrostabiliteit. Bij de aanleg van de toerit wordt gebruikt gemaakt van de bestaande afrit. Een eventuele aanvulling ten behoeve van de verhardingsconstructie zal een gunstig effect hebben (tegenwerkend) op de macrostabiliteit.

Belastingen tijdens de bouwfase

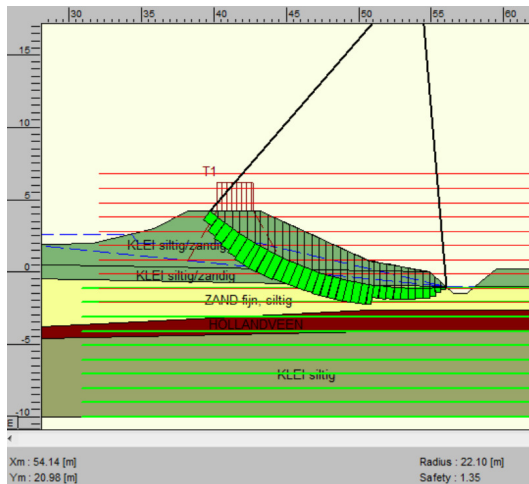
Tijdens de bouw en verwijderen van het windpark kan de Zeedijk worden belast door zwaar werkverkeer. Er wordt vanuit gegaan dat de maximale aslast 13 ton bedraagt. De maximale belasting op de kruin neemt hierbij toe van 13,3 kPa naar 15 kPa.

Door middel van glijvlakberekeningen is worden nagegaan wat het effect van een hogere kruinbelasting is op de stabiliteit. Hieronder is een overzicht gegeven van de berekende stabiliteitsfactoren.

Uit de berekeningsresultaten volgt dat de stabiliteitsfactor afneemt met slechts 0,01, ofwel minder dan 1%. Tevens blijkt dat de veiligheidsfactoren ruim hoger zijn dan de "fictieve" toetswaarde van $\gamma_{R;Bishop} = 1,08$ voor de bouwfase (zie paragraaf 3.7).

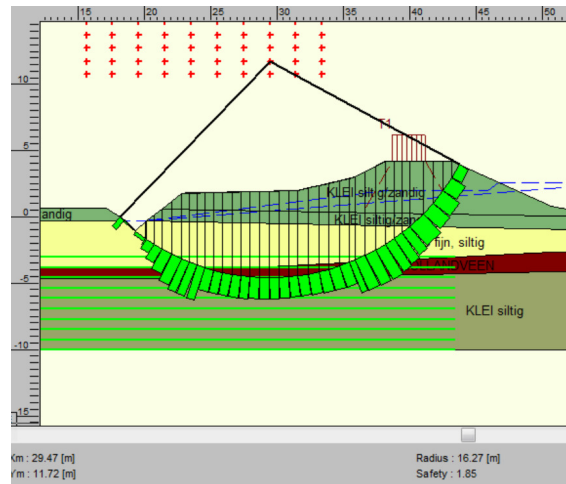
STBI - Huidige situatie met 13,3 kPa bovenbelasting

MHW aan noordzijde



$$F = 1,35$$

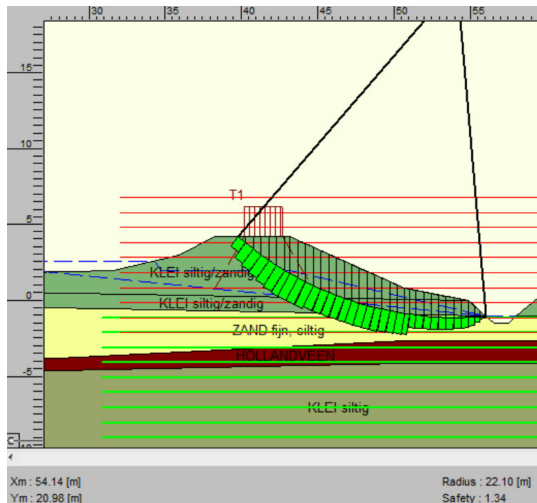
MHW aan zuidzijde



$$F = 1,85$$

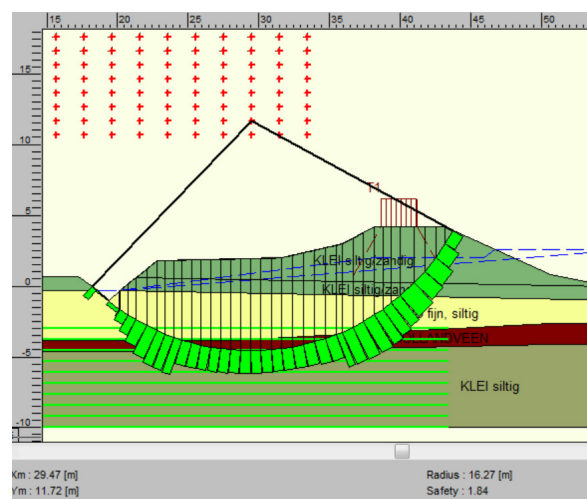
STBI - Bouwfase met 15 kPa bovenbelasting

MHW aan noordzijde



$$F = 1,34$$

MHW aan zuidzijde



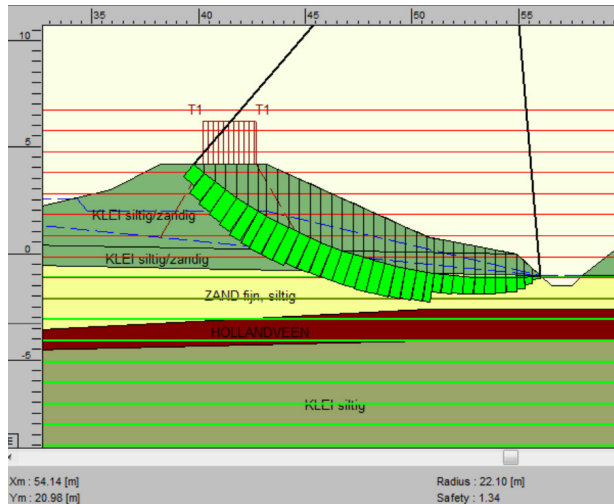
$$F = 1,84$$

Belastingen tijdens de gebruiksfase

Tijdens het gebruik van de windturbines worden 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 paragraaf 5.2 zijn de te verwachten grondversnellingen afgeleid. Door middel van glijvlakberekeningen is nagegaan wat het effect hiervan is op de stabiliteit.

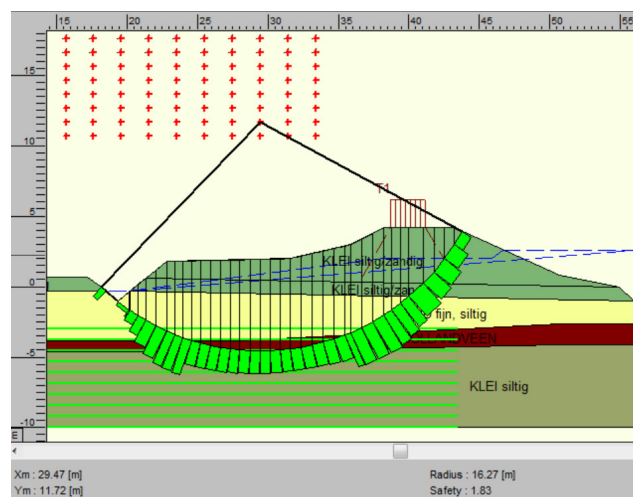
STBI - Gebruiksfase
met verkeer en grondversnellingen $a_h = 0,002g$ en $a_v = 0,003g$

MHW aan noordzijde



$$F = 1,34$$

MHW aan zuidzijde



$$F = 1,83$$

Ten opzichte van de huidige situatie neemt de veiligheidsfactor af met 0,01 à 0,02. Dit is minder dan 1% van de huidige veiligheid. Tevens blijkt dat de veiligheidsfactoren ruim hoger zijn dan de “fictieve” toetswaarde van $\gamma_{R;Bishop} = 1,20$ voor de gebruiksfase (zie paragraaf 3.7).

Op basis van het voorgaande wordt geconcludeerd dat de plaatsing en aanwezigheid van het windpark geen noemenswaardige effecten zal hebben op de binnenwaartse macrostabiliteit. De afname van de veiligheid bedraagt minder dan 1% afname. De stabiliteit blijft ook ruim boven de (fictieve) eis voor de hoogste IPO veiligheidsklasse.

6.5 Beoordeling effecten op buitenwaartse macrostabiliteit (STBU)

Instabiliteit (afschuiven) van het buitentalud kan ontstaan na een snelle daling van de buitenwaterstand. De freatische lijn in het dijklichaam kan de daling van de buitenwaterstand niet één-op-één volgen, waardoor deze een belasting vormt op de waterkering. De belangrijkste aspecten die de veiligheid van de waterkering bepalen voor het faalmechanisme afschuiving buitentalud zijn:

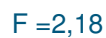
- de grondopbouw;
- de geometrie van het dijklichaam en de vooroever;
- de eventuele aanwezige bovenbelasting in het aandrijvende deel.

De effecten op deze bovengenoemde aspecten komen overeen met die voor de binnenwaartse stabiliteit, zie paragraaf 6.4. De effecten betreffen:

- zwaar verkeer op de kruin tijdens de bouwfase kan leiden tot toename van de belasting.
- trillingen van het fundament als gevolg van cyclische windbelastingen kunnen tijdens de gebruiksfase leiden tot toename van de grondbelasting ter plaatse van de waterkering.

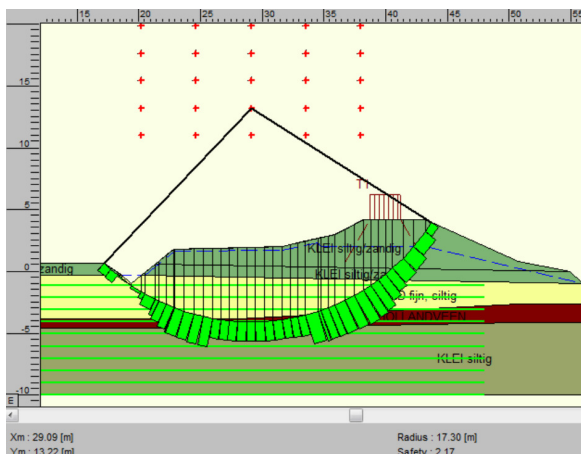
Tijdens de bouw en verwijderen van het windpark kan de Zeedijk worden belast door zwaar werkverkeer. De maximale belasting op de kruin neemt hierbij toe van 13,3 kPa naar 15 kPa. Door middel van glijvlakberekeningen is nagegaan wat het effect van een hogere kruinbelasting is op de stabiliteit. Hieronder is een overzicht gegeven van de berekende stabiliteitsfactoren.

MHW aan noordzijde



$F = 1,12$

MHW aan noordzijde



$F = 2,17$

Km : 50.03 [m]
Ym : 8.63 [m]

Radius : 12.41 [m]
Safety : 1.12

$$F = 1,12$$

22-7-2016

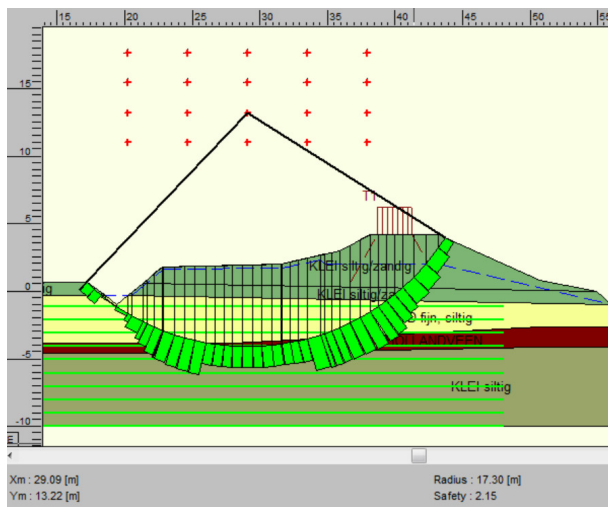
Belastingen tijdens de gebruiksfase

Overeenkomstige de binnenwaartse macrostabiliteit, kunnen grondversnellingen als gevolg van trillingen leiden tot afname van de stabiliteit. Door middel van glijvlakberekeningen is nagegaan wat het effect hiervan is op de stabiliteit.

STBU - Gebruiksfase

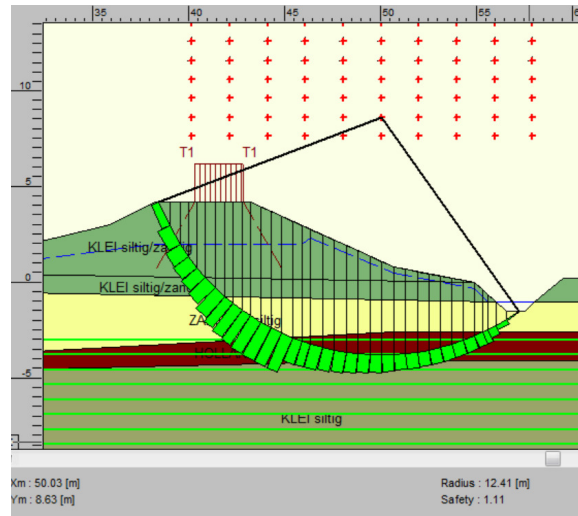
met verkeer en grondversnellingen $a_h = 0,002g$ en $a_v = 0,003g$

MHW aan noordzijde



$F = 2,15$

MHW aan zuidzijde



$F = 1,12$

Ten opzichte van de huidige situatie neemt de veiligheidsfactor aan de noordzijde bij een worst case benadering af met 0,03, ofwel 1%. Aan de zuidzijde is het effect van de trillingen nihil (<1%).

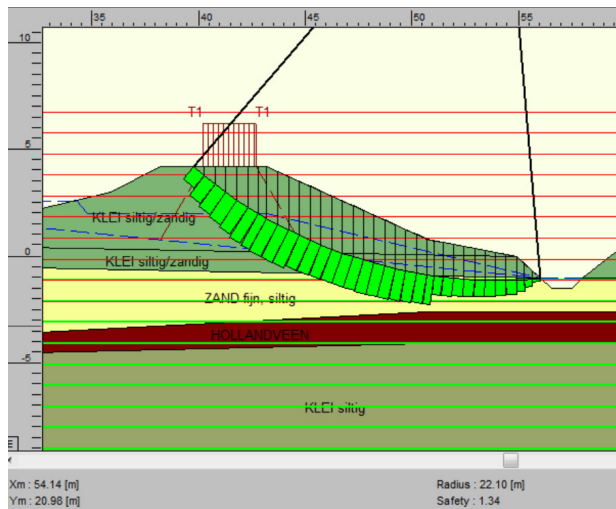
De veiligheidsfactoren is aan de noordzijde ruim hoger dan de toetswaarde van $\gamma_{R;Bishop} = 1,08$ voor de gebruiksfase (zie paragraaf 3.7). Aan de zuidzijde wordt net aan dit criterium voldaan, net als in de huidige situatie.

Op basis van het voorgaande wordt geconcludeerd dat het windpark een zeer gering negatief effect kan hebben op de 'buitenwaartse macrostabiliteit'. De stabiliteit blijft boven de (fictieve) eis voor de hoogste IPO veiligheidsklasse. Aan de noordzijde is zelfs sprake van een zeer ruime veiligheidsmarge.

Huidige situatie zonder trilling

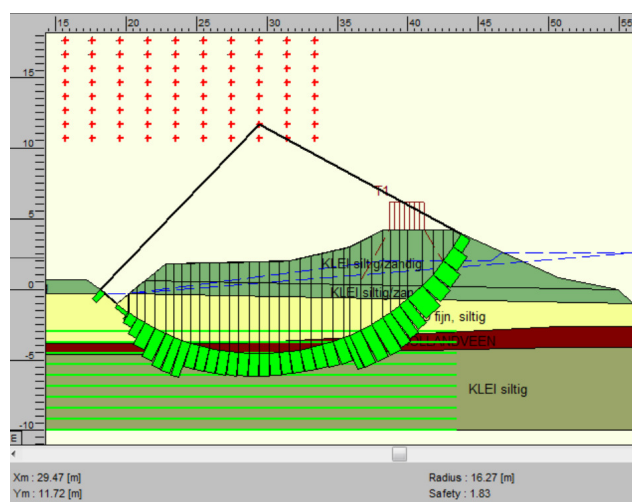
Gebruiksphase met verkeer en grondversnellingen $a_h = 0,002g$ en $a_v = 0,003g$

MHW aan noordzijde



$F = 1,34$

MHW aan zuidzijde



$F = 1,83$

Ten opzichte van de huidige situatie neemt de veiligheidsfactor af met 0,01 à 0,02. Dit is minder dan 1% van de huidige veiligheid. Tevens blijkt dat de veiligheidsfactoren ruim hoger zijn dan de “fictieve” toetswaarde van $\gamma_{R,Bishop} = 1,20$ voor de gebruiksfase (zie paragraaf 3.7).

6.6 Beoordeling kabels (NWO)

Bij beoordeling van kabels wordt onderscheid gemaakt tussen kabels die de waterkering kruisen en die parallel aan de waterkering lopen. De kabels kruisen de Zeedijk en lopen vervolgens tot de aansluiting met het 50KV station evenwijdig aan de waterkering.

De kabels zullen komen te liggen in de kleidijk en kleideklaag. Algemeen geldt voor de aanleg van kabels, dat tijdens de uitvoering van de graaf- en aanvulwerkzaamheden ervoor moet worden gezorgd dat de grond goed wordt verdicht, goed aanvulmateriaal wordt gebruikt en de natuurlijke profielopbouw zoveel mogelijk wordt hersteld.

Kabels parallel aan de Zeedijk

Ten behoeve van het aanleggen van kabels zullen tijdelijke ontgravingen nodig zijn, waarmee ter plaatse (tijdelijk) sprake kan zijn van een lokaal verlaagde opbarstveiligheid, een kortgesloten kwelweg of afschuiven van het binnentalud.

Het WSHD stelt als eis dat de kabels op minimaal 5,0 m uit de (teen)lijn van het binnen- en/of buitentalud worden aangebracht. Dit betekent dat de kabels zullen worden aangebracht achter de kwelsloot.

Ten aanzien van piping blijft de slootbodem het in- of uittredepunt. waardoor de aanleg geen effect heeft op de kwelstroming.

Ten aanzien van macrostabiliteit geldt dat het afschuifvlak uittreedt in de kwelsloot. Het ontgravingsniveau is minder dan de diepte van de kwelsloot. De kwelsloot blijft daarmee maatgevend voor afschuifvlakken (een afschuifvlak door de kabelsleuf zal dieper zijn gelegen en meer weerstand bieden).

Kabels die de Zeedijk kruisen

Bij kruisende kabels kan, bij aanleg in een zandcunet, een alternatieve (kortere) kwelweg optreden langs de kabel. Voor het windpark haringvliet zijn de kruisende kabels in de kruin over tenminste 3 m gelegen boven het ontwerppeil (aanlegniveau circa NAP +3,2 m bij aanleg in een open ontgraving. Er wordt hierdoor geen doorgaande kwel verwacht langs de kabels. Bovendien zal de kabelsleuf met gebiedseigen grond (klei) worden aangevuld, waardoor (onder maatgevende omstandigheden) geen kwel zal kunnen optreden.

Op basis van de beoordeling van mogelijke effecten door kabels, kan worden geconcludeerd dat de stabiliteit van de waterkering blijft gewaarborgd. Voorwaarde is dat de kabels zorgvuldig met een juiste uitvoering worden aangelegd. Dit betekent dat ervoor moet worden gezorgd dat de grond goed wordt verdicht, goed aanvulmateriaal wordt gebruikt en de natuurlijke profielopbouw zoveel mogelijk wordt hersteld. Ook dienen de kabels op minimaal 5,0 m uit de (teen)lijn van het binnen- en/of buitentalud worden aangebracht en achter de kwelsloot.

6.7 Conclusie effecten op faalmechanismen waterkering

Op basis van een kwalitatieve 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.

Ten aanzien van 'Hoogte' zijn naar verwachting de effecten niet noemenswaardig. Voorwaarde is dat de aanleg van de kabels zorgvuldig wordt verricht met herstel van de profielopbouw en grasbekleding.

De effecten op de 'macrostabiliteit' zijn door middel van glijvlakberekeningen gekwantificeerd. De afname van de veiligheid door zwaar verkeer (bouwphase) of door trillingen (gebruiksphase) bedraagt maximaal 1%. De absolute veiligheidsfactoren blijven hoger dan de waarden volgens de hoogte IPO veiligheidsklasse. Tevens is vastgesteld dat aan de noordzijde van de Zeedijk, waar het windpark is voorzien, een zeer ruime veiligheidsmarge aanwezig is.

Ten aanzien van piping wordt geen negatief effect verwacht. Hierbij is uitgegaan van aanleg van de kruisende kabels in een open ontgraving, waarbij het aanlegniveau in de kruin hoger is dan de ontwerpwaterstand. Voor de kabels parallel aan de dijk is uitgegaan van een ligging achter de kwelsloot. Voorwaarde is dat de kabels zorgvuldig met een juiste uitvoering worden aangelegd. Dit betekent dat ervoor moet worden gezorgd dat de grond goed wordt verdicht, goed aanvulmateriaal wordt gebruikt en de natuurlijke profielopbouw zoveel mogelijk wordt hersteld.

7 Beoordeling effecten door falen van de windturbine

Tijdens de exploitatiefase van het windpark kan bij eventueel falen van de windturbine WT6 door mastomval, gondelval of bladafworp een onderdeel van de windturbine op de waterkering terecht komen. In het kader van de beoordeling van de effecten op de waterveiligheid dient hiervoor een risicoanalyse te worden uitgevoerd. De risicoanalyse heeft als doel het bepalen van de totale additionele faalfrequentie als gevolg van de aanwezigheid van de windturbines en het effect op de autonome faalfrequentie van de primaire waterkering.

Onderdeel van de risicoanalyse betreft het vaststellen van het restprofiel van de waterkering na schade door neerkomen van een windturbine-onderdeel. Hiervoor wordt op basis van een grondmechanische beschouwing een inschatting gemaakt van de te verwachte kraterdiepte. Op basis van de te verwachten schade kan het restprofiel van de waterkering worden bepaald. Dit restprofiel kan nog een bepaald maximale buitenwaterstand keren. De faalfrequentie van de kering wordt bepaald door de kans dat deze maximale waterstand optreedt tijdens de reparatieperiode.

Het vaststellen van het restprofiel is in dit hoofdstuk nader uitgewerkt. Voor de volledige risicoanalyse wordt verwezen naar de rapportage van Pondera Consult.

7.1 Windturbinegegevens

Voor het windpark wordt door Nuon nog een range aan windturbines overwogen. De beoogde windturbines vallen in de 3MW klasse. Voor het bepalen van de schade door neerkomen van een windturbineonderdeel is uitgegaan van het type Enercon E115. De onderdelen van dit type windturbine hebben de hoogste gewichten, waarbij bij falen de grootste schade aan de waterkering wordt verwacht. De gehanteerde windturbinegegevens zijn samengevat in tabel 7-1.

Tabel 7-1: Windturbinegegevens Enercon E115

Kenmerk	Waarde	Eenheid
Vermogen	3 MW	[kW]
IEC-klasse	IIA	[-]
Rotordiameter (D)	115,7	[m]
Ashoogte (H)	122	[m]
Gewicht toren (beton)	1851	[t]
Rotorblad		
Gewicht rotorblad	25,6	[t]
Rotornaaf		
Toerental rotor (normaal bedrijf)	12,8	[rpm]
Toerental rotor (overtorenen situatie)	25,6	[rpm]
Gewicht rotornaaf, inclusief 3 bladen	59	[t]
Gondel		
Gewicht gondel (incl. rotornaaf en bladen)	298	[t]

Bij het neerkomen van de windturbine of windturbineonderdeel zal de ondergrond vervormen, waarbij een krater wordt gevormd. De mate van kratervorming is afhankelijk van de wijze van neerkomen en de stijfheid en sterkte van de ondergrond.

In dit hoofdstuk wordt op basis van een energiebeschouwing een inschatting gemaakt van de te verwachten kraterdiepte. Onderscheid is gemaakt tussen het neerkomen van de gondel en rotor (grootste gewicht) en het neerkomen van een rotorblad.

7.2 Kraterdiepte bij neerkomen van de gondel en rotor

Bij het falen van de windturbine of onderdeel hiervan zal het neerkomen van de gondel met rotor en bladen (vanwege het hoogste gewicht) de grootste schade aan de waterkering tot gevolg hebben. Het gewicht van de gondel, de rotornaaf en bladen samen bedraagt circa 298 t, ofwel circa 2.925 kN. De hoogte van de gondel bedraagt maximaal 122⁴ m (ashoogte).

Benaderingswijze

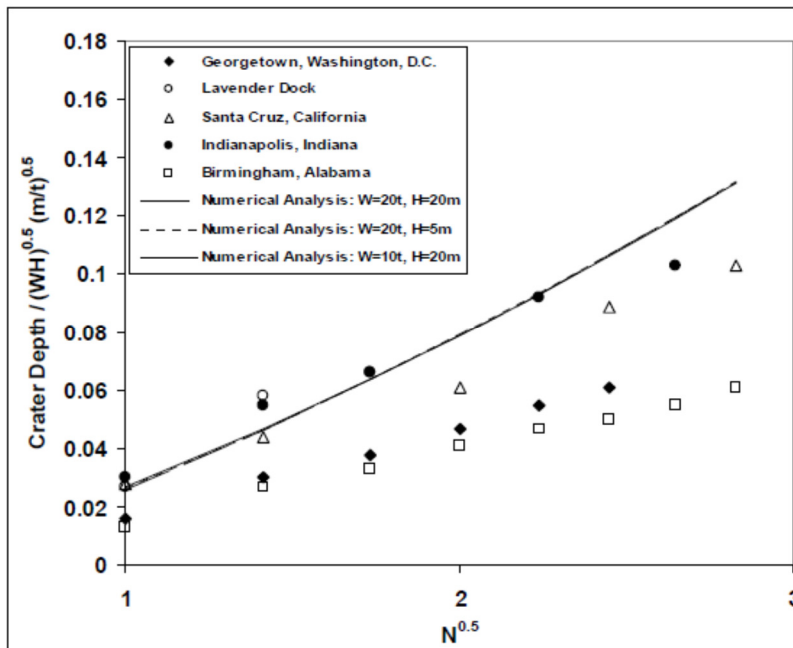
Er is in de praktijk weinig tot geen ervaring met grondvervorming door vallende voorwerpen, die qua afmetingen, gewicht en valsnelheid vergelijkbaar zijn met de situatie van een vallende windturbinegondel. Bestaande theorieën zijn veelal gebaseerd op kleinere voorwerpen (<40 ton) met geringere valhoogten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

Voor de geotechnische inschatting van grondindringing door een vallend onderdeel van de windturbine is de theorie beschouwd voor kraters door de Menard-methode voor dynamisch grondverdichting [REF.8]. De methode bestaat uit het herhaaldelijk laten vallen (nagenoeg vrije val) van een gewicht van 5 tot 40 ton vanaf 10 à 50 m hoogte. De methode wordt veelal toegepast als grondverbeteringstechniek bij landaanwinning, waarbij de draagkracht wordt verbeterd en restzettingen worden gereduceerd. Er zijn veel studies en testen verricht naar effectiviteit van de dynamische verdichting. De mate van kratervorming en verdichting is onder andere afhankelijk van de grondsoort, de energie per val, het oppervlak van het valgewicht en het aantal herhalingen.

Inschatting kraterdiepte

Bij het vallen van de gondel (valgewicht) zal een krater ontstaan. Bij dynamische verdichting neemt de kraterdiepte toe bij meerdere herhalingen. Op basis van veldmetingen op 120 locaties is door Mayne e.a. [REF.9] een relatie opgesteld tussen de genormaliseerde kraterdiepte en het aantal herhalingen. De relatie is weergegeven in figuur 7-1. Opvallend is dat de genormaliseerde kraterdiepte alleen afhankelijk is van N, het aantal herhalingen, en niet van de grondsoort of van de afmeting van het valgewicht.

⁴ De ashoogte is zeer waarschijnlijk geringer (100 m). De beschouwing kan daarom als een worst case worden gezien.



Figuur 7-1: Relatie tussen aantal vallen N , energie $(WH)^{0.5}$ en de kraterdiepte [REF.9]

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

Voor de val van de gondel/rotor wordt aangenomen dat 25% van de potentiële energie wordt opgenomen door vervorming van de gondelbehuizing. Het valgewicht (W) is hiervoor gecorrigeerd tot 75% van het totale gewicht: $75\% \times 298 \text{ t} = 224 \text{ t}$, ofwel circa 2190 kN.

Uit Figuur 7-1 volgt dat de waarde voor 'a' bij één val ($N=1$) varieert tussen 0,015 en 0,03. De variatie is het resultaat van verschillen in de dichtheid en sterkte van de ondergrond.

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

- Ondergrens: $0,015 \times (224 \times 99)^{0.5} = 2,2 \text{ m}$
- Bovengrens: $0,030 \times (224 \times 99)^{0.5} = 4,5 \text{ m}$

Voor de val van de gondel en rotor wordt uitgegaan van een maximale kraterdiepte van 4,5 m.

7.3 Kraterdiepte bij neerkomen van een rotorblad

Een rotorblad heeft een gewicht van 25,6 t, ofwel 251 kN. Het zwaartepunt ligt op 20,7 m vanaf de as van de rotor (R_z). Het blad kan onder verschillende hoeken (α) en met verschillende snelheden (v_0) worden gelanceerd.

Lanceersnelheid

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

- Bij nominaal toerental: $n = 12,8 \text{ rpm}$
- Bij overtoeren ($2 \times$ nominaal): $n = 25,6 \text{ rpm}$

De lanceersnelheid bedraagt dan:

- Bij nominaal toerental: $v_0 = 2 \cdot \pi \cdot (12,8/60) \cdot 20,7 = 27,7 \text{ m/s}$
- Bij overtoeren (2xnominaal): $v_0 = 2 \cdot \pi \cdot (25,6/60) \cdot 20,7 = 55,5 \text{ m/s}$

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

Maximale werphoogte

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

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

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

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

Voor de snelheid in verticale richting geldt:

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

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

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

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

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

De werphoogte ten opzichte van de ashoogte bedraagt dan:

- Bij nominaal toerental: $y_{top} = 27,7^2 / 2 \cdot 9,81 \approx 39 \text{ m}$
- Bij overtoeren (2xnominaal): $y_{top} = 55,5^2 / 2 \cdot 9,81 \approx 157 \text{ m}$

Opgemerkt wordt dat de luchtweerstand is verwaarloosd. Dit is een zeer conservatieve aanname.

Daarnaast neemt de werphoogte af naarmate de lanceerhoek kleiner wordt. Indien wordt aangenomen dat de grootste werpafstand optreedt bij een hoek van 45° , dan bedraagt de werphoogte $19,5 \text{ m}$, respectievelijk $78,5 \text{ m}$.

Kraterdiepte bij val rotorblad

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

Tabel 7-2: Kraterdiepte bij val rotorblad

Situatie	Ashoogte [m]	Werphoogte t.o.v. as [m]	Totale hoogte [m]	Kraterdiepte [m]	
				Ondergrens (a=0,015)	Bovengrens (a=0,03)
Nominaal					
- Maximale werphoogte	122	39	161	0,97	1,94
- Maximale werpafstand	122	19,5	141,5	0,91	1,82
Overtieren					
- Maximale werphoogte	122	157	279	1,28	2,55
- Maximale werpafstand	122	78,5	200,5	1,08	2,16

Voor de val van rotorblad wordt uitgegaan van een kraterdiepte van circa 2,5 m.

7.4 Restprofiel en responstijd

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

Bij neerkomen binnen de waterkeringszone geldt dat de waterkerende functie onder maatgevende ontwerpomstandigheden niet meer kan worden gegarandeerd. Redenen hiervoor zijn:

1. Bij inslag van de gondel/rotor in de waterkeringszone zal de kruinhoogte met circa 4,5 m kunnen worden verlaagd met als gevolg een ontoelaatbaar overslagdebiet.
2. Bij neerkomen van de windturbine of een onderdeel naast de kruin, maar binnen de beschermingszone, zal de schade aan de waterkering kleiner zijn, maar kan door bijvoorbeeld (secundair)afschuiven de waterkerende functie niet meer worden gegarandeerd.

Voor het neerkomen van de windturbine of windturbineonderdeel binnen de beschermingszone, geldt dat nog wel sprake zal zijn van een restprofiel, dat nog een bepaalde waterstand kan keren. Er is in dat geval een responstijd tot herstel. De herstelperiode is voor alle faalscenario's wordt doorgaans aangenomen op 1 week. Dit betekent dat binnen 1 week een noodreparatie dient te worden uitgevoerd. Welke waterstand nog kan worden gekeerd, is hieronder nader bepaald.

Bepalen restprofiel bij omvallen windturbine en neerkomen gondel/rotor

Bij het neerkomen van de gondel op de kruin of het maaiveld zal deze met circa 4,5 m kunnen worden verlaagd (zie par. 7.2). De kruin zal hierbij maximaal worden verlaagd van NAP +4,1 m naar NAP -0,4 m. De kruinhoogte is hierdoor ruim onvoldoende om MHW van NAP +2,6 m te kunnen keren.

Er is na het neerkomen onvoldoende restprofiel aanwezig. De maximaal te keren waterstand zou overeenkomen met het laagste maaiveldniveau van NAP +0,6 m. Dit niveau komt overeen met een waterstand bij een gemiddeld tij. De te keren waterstand heeft een voorkomen van 1 keer per dag. De faalfrequentie van de kering tijdens de herstelperiode na omvallen van een turbine of val van een gondel/rotor is dan:

$$P_{\text{(falen tijdens herstel)}} = 1/1 \times (7 \times 24/8760) = 1,9 \cdot 10^{-2}$$

Neerkomen rotorblad

Bij het neerkomen van een rotorblad op de kruin zal deze met circa 2,5 m kunnen worden verlaagd (zie par. 7.2) van NAP +4,1 m naar NAP +1,6 m. De kruinhoogte(marge) is hierdoor onvoldoende om de MHW van NAP +2,6 m te kunnen keren (onvoldoende kruinhoogtemarge om overloop en golfoverslag te voorkomen). De resterende kruinhoogte komt overeen met een hoogwaterstand met een kans van voorkomen van 1 keer per 2 jaar (volgens waternormalen van RWS voor Middelharnis).

De faalfrequentie van de kering tijdens de herstelperiode na neerkomen van een rotorblad is dan:

$$P_{(\text{falen tijdens herstel})} = 1/2 \times (7 \times 24/8760) = 9,6 \cdot 10^{-3}$$

7.5 Conclusie effect falen windturbine op waterkering

Gegeven onderstaand overzicht met trefkansen uit Rapportage Pondera Consult en bovengenoemde faalfrequenties van de waterkering tijdens de herstelperiode na falen van de windturbine, is de totale additionele faalkans van de waterkering:

$P=8,7 \cdot 10^{-6}$, dit is minder dan 1% van de totale faalkansruimte.

Tabel 1.2 Trefkansen en gewichten per onderdeel voor windturbine Nuon B-01

	Trefkans	Gewicht onderdeel
Mastfalen	$7,9 \times 10^{-5}$	890 ton (beton) 78 ton (staal) Gewicht verdeeld over gehele paal
Gondelfalen	$1,0 \times 10^{-5}$	174 ton (Nacelle) 93,3 ton (rotor)
Bladworp bij nominaal toerental	$6,3 \times 10^{-5}$	16 ton (blad)
Maximaal cumulatief risico 2 windturbines	$3,0 \times 10^{-4}$	

Figuur 7-2: Overzicht trefkansen uit Rapportage Pondera

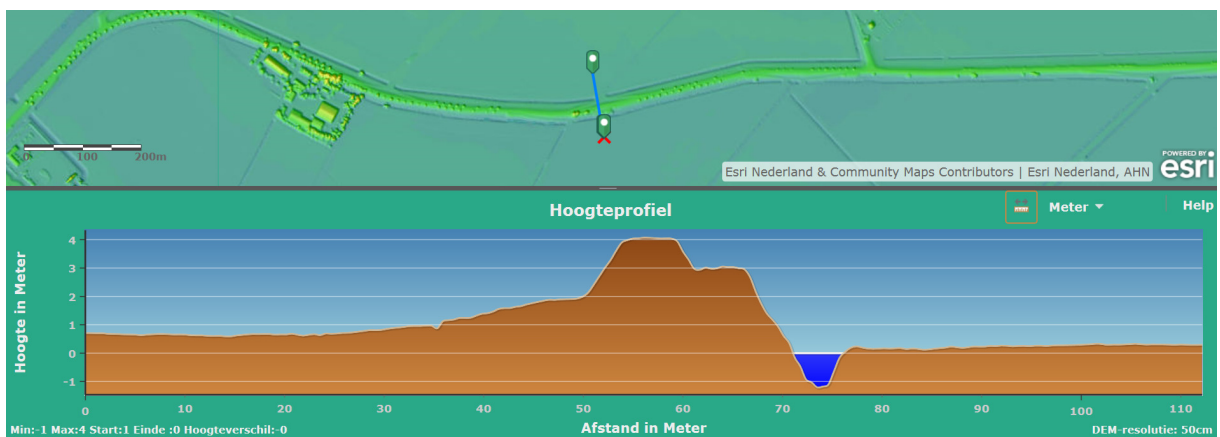
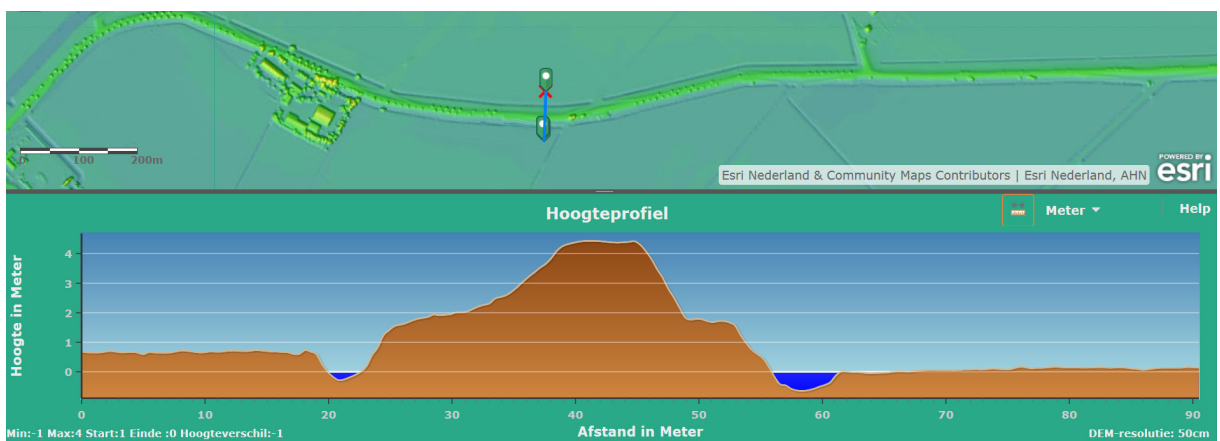
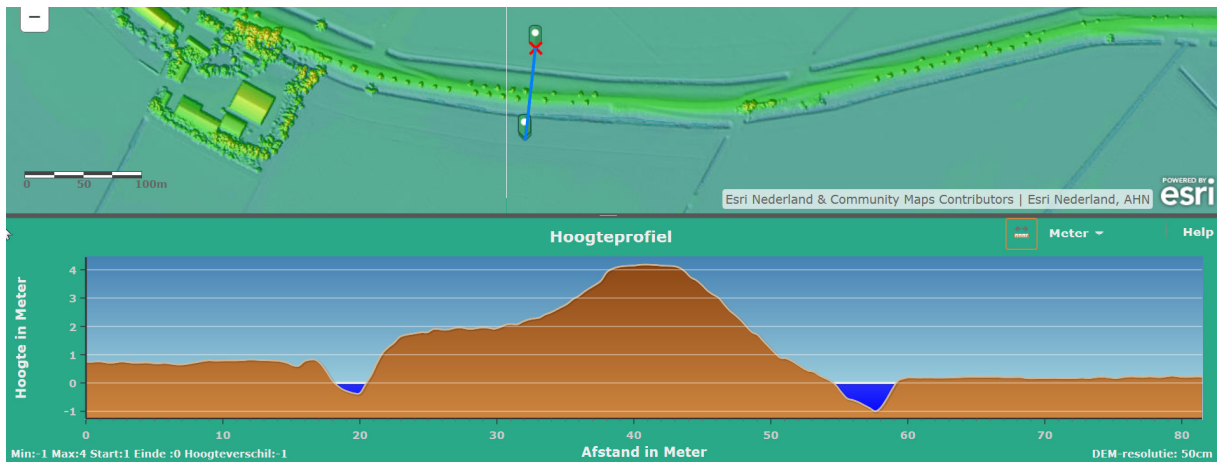
8 Referenties

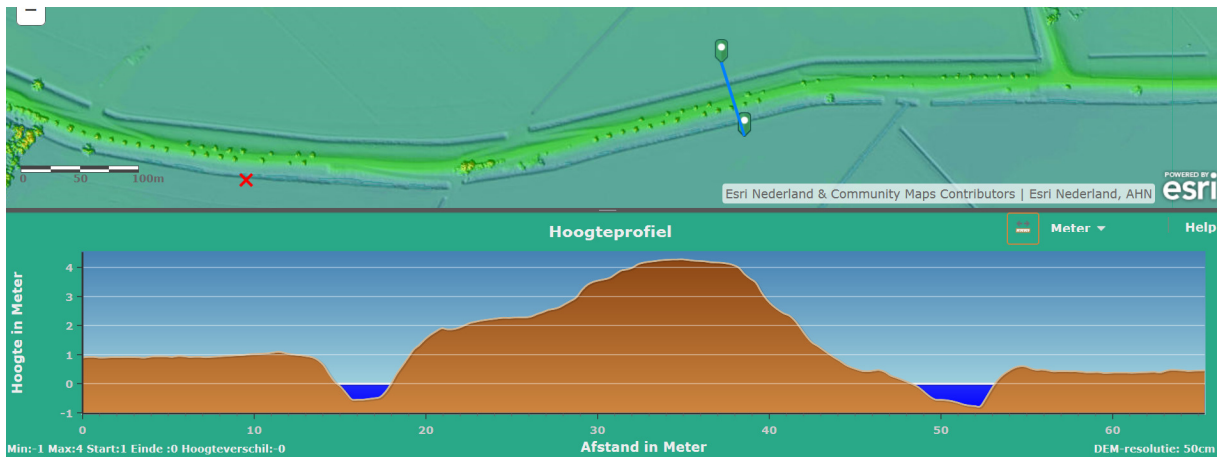
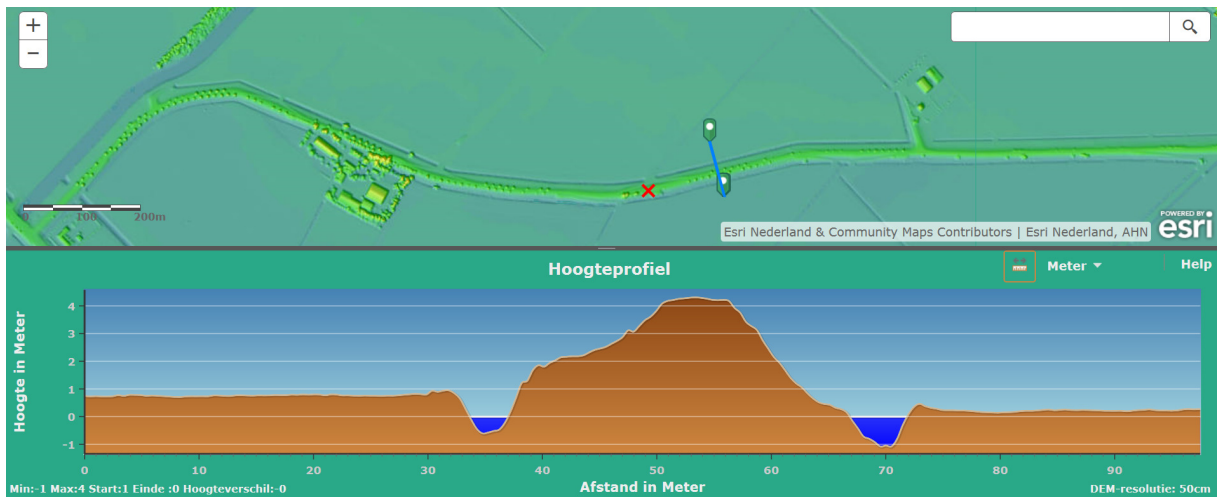
- [REF.1] Waterschap Hollandse Delta, Nota toetsingskaders en beleidsregels voor het watersysteem 2014, Definitief. Ridderkerk.
- [REF.2] Waterschap Hollandse Delta, Veiligheidstoetsing regionale waterkeringen. Boezemkaden. Tussentijdse rapportage, Dijkkring 20, 21 en 25. 27 maart 2013
- [REF.3] Waterschap Hollandse Delta, Keur voor Waterschap Hollandse Delta 2014. Datum n werking treden 2 oktober 2014.
- [REF.4] STOWA, Handreiking ontwerpen & verbeteren van waterkeringen langs regionale rivieren. Rapportnummer 2009-07. STOWA, Utrecht 2009.
- [REF.5] TAW, Technische Rapport Waterkerende Grondconstructies, Geotechnische aspecten van dijken, dammen en boezemkaden. TAW, Delft juni 2001.
- [REF.6] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, ENW, Addendum bij het Technische Rapport Waterkerende Grondconstructies. Den Haag, juli 2007.
- [REF.7] Invloed van windturbines op primaire waterkeringen, kansen en belemmeringen. Artikel Geotechniek, nummer 4, oktober 2012, pp. 30-34.

- [REF.8] Menard, L. and Broise, Y. (1975) "Theoretical and Practical Aspects of Dynamic Consolidation", Geotechnique, Vol. 25 (1), UK.
- [REF.9] Mayne, P.W., Jones, J.S. and Dumas, J.C. (1984), Ground response to dynamic compaction, ASCE 110, GT6, pp. 757-773
- [REF.10] Ghassemi, A., Pak, A. and Shahir, H. (2009), "A numerical tool for design of dynamic compaction treatment in dry and moist sands". Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering, Vol. 33, No. B4, pp 313-326

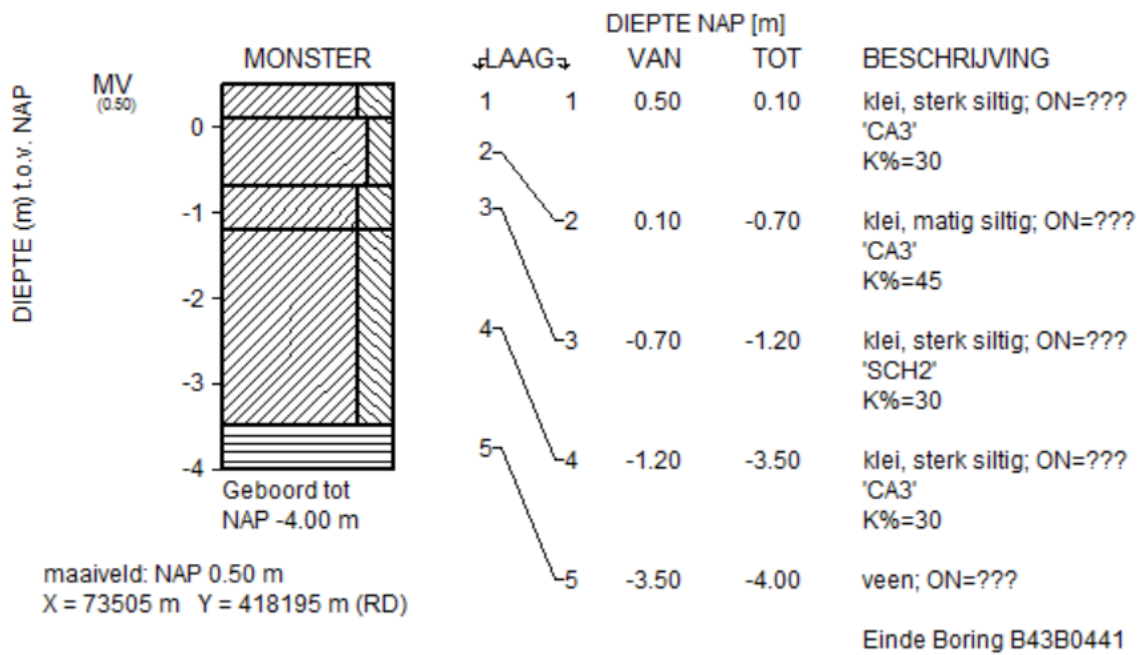
Bijlage 1 Dwarsprofielen waterkering (AHN)

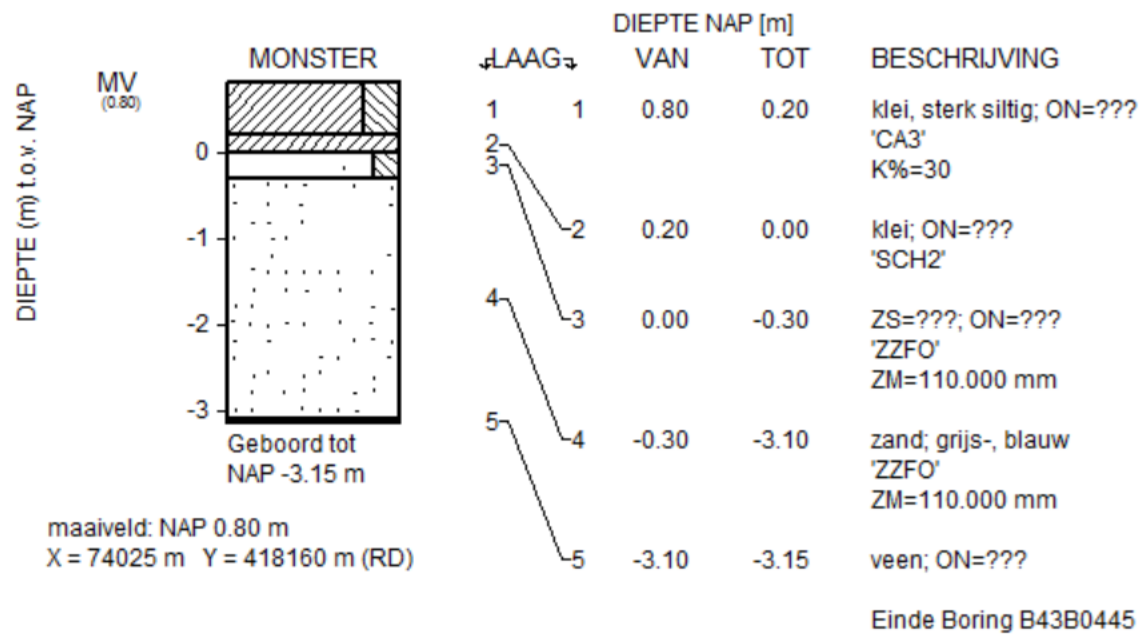
Projectgerelateerd



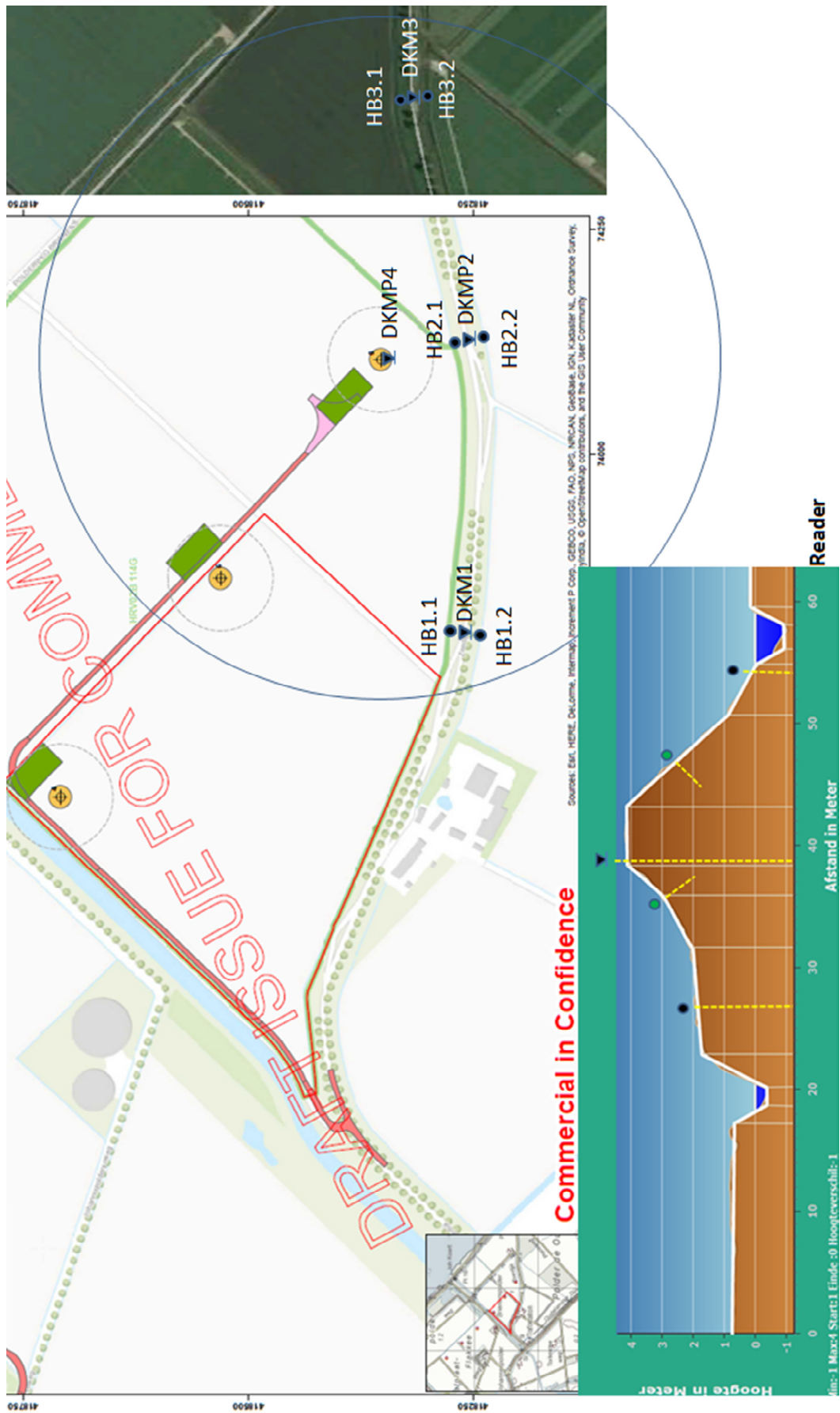


Bijlage 2 Beschikbaar grondonderzoek





Bijlage 3 Aanvullend grondonderzoek



Bijlage 4 Sterkteparameters ondergrond

Projectgerelateerd

Tabel A1-1: Sterkte-eigenschappen ondergrond voor Goeree-Overflakkee

Representatieve waarden van de sterkteparameters en volumegewichten Goeree Overflakkee

Parameters uit rapportage: Beoordeling primaire waterkeringen 1e categorie Goeree-Overflakkee, Geodelft, nr. CO-379800/90 versie 2, d.d. mei 1999

dwsp.prof.	6		8,8		11,8		12,8		14,6		16,6		17,6		18,6		19,6		21,6		22,6		23,4		24,6		repwaarde*		vol.gew.	
bodem kruin	c	phi	c	phi	c	phi	c	phi	c	phi	c	phi	c	phi	c	phi	c	phi	c	phi	c	phi	c	phi	c	phi	c	phi	Y _{dr}	Y _{nat}
kl dijks / OB			10	17,5	10	17,5	5	22,5	5	22,5	5	22,5	5	22,5	10	22,5	10	17,5	10	17,5	10	17,5	10	17,5	10	22,5	10	17,5	16	16
z OA	0	30	0	30	0	25			0	30	0	32,5	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	17	20
kl DK											3	22,5											10	17,5			3	22,5	15,7	15,7
kl s DK	0	22,5					0	22,5							0	22,5	10	17,5	10	17,5	10	17,5	10	22,5	10	22,5	0	22,5	14,5	14,5
kl z DK	0	25	3	27,5	3	27,5					0	25	5	22,5													0	25	17	17
z DK	0	30	0	30	0	32,5			0	27			0	30			0	30						0	30	0	30	17	20	
z s DK					0	25	0	30											0	27					0	30	0	30	17	20
z kl DK									0	25									0	27							0	25	17	20
hv			5	15							5	15			5	15	5	15	5	15	5	15	5	15	5	15	5	15	10,5	10,5
kl s z C			5	22,5											0	27,5	3	22,5	5	22,5					0	22,5	3	22,5	17	17
kl s h C											0	25															0	25	13	13
kl s C											3	17,5	10	17,5	10	22,5					10	17,5	10	17,5			10	17,5	16	16
kl/z C																	0	25	0	27,5	0	27,5	10	22,5	0	27,5	0	25	16,5	16,5
bv																									5	15	5	15	12,2	12,2
z C			0	30											0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	17	20
naast kruin	c	phi	c	phi	c	phi	c	phi	c	phi	c	phi	c	phi	c	phi	c	phi	c	phi	c	phi	c	phi	c	phi	c	phi	Y _{dr}	Y _{nat}
kl OB	10	22,5	0	17,5	10	22,5			10	17,5	10	17,5	10	17,5	10	17,5	10	17,5	10	17,5	0	22,5	10	22,5	10	17,5	10	17,5	16	16
z OA	0	32,5			0	25														0	30	0	25	0	30	0	30	17	20	
kl DK																				0	17,5	3	15			0	17,5	14,2	14,2	
kl s DK	0	22,5	0	22,5							10	17,5								0	17,5	3	17,5			0	17,5	14,5	14,5	
kl s z DK	10	22,5																									10	22,5	17	17
kl z DK	0	27,5	3	27,5	3	22,5			0	22,5																	0	22,5	17	17
z DK	0	30			0	30							0	30	0	30	0	30	0	30	0	27					0	30	17	20
z kl DK					0	25			0	25																	0	25	17	20
hv			5	15							5	15	5	15	5	15	5	15	5	15	5	15	5	15	5	15	5	15	10,5	10,5
kl s z C			5	22,5											0	27,5	0	22,5	0	22,5			3	17,5	0	22,5	0	22,5	17	17
kl s C											3	17,5	0	22,5	3	22,5	0	17,5			0	17,5	0	15			0	17,5	16	16
kl/z C																	0	17,5	0	22,5	0	27,5	0	27,5	0	27,5	0	17,5	16,5	16,5
kl C																									10	17,5	10	17,5	16	16
z C			0	30											0	30	0	30	0	30	0	30	0	32,5	0	30	0	30	17	20

z = zand

kl = klei

hv = hollandveen

bv = basisveen

OA en OB = antropogene gronden

DK = Duinkerke

C = Calais

* o.h.a. is uitgegaan van de laagst voorkomende waarde

Royal HaskoningDHV Nederland B.V.
T.a.v. de heer ir. J.E. Cools
Postbus 1132
3800 BC Amersfoort

RAPPORTAGE LABORATORIUMONDERZOEK

Project	Windpark Haringvliet, projectcode D0034190	Opdrachtnummer	1716-0527-000
Opdrachtgever	Royal HaskoningDHV Nederland B.V.	Datum rapport	01-07-2016
Contactpersoon	de heer ir. J.E. Cools	Ontvangst monsters	24-06-2016
Monstername	Uitgevoerd door de opdrachtgever		
Dit rapport bevat de resultaten van het in-situ- en/of laboratoriumonderzoek dat ten behoeve van bovengenoemd project is uitgevoerd. Het onderzoek is uitgevoerd door Fugro GeoServices B.V. Laboratorium voor Infra- en Geotechniek te Arnhem. Eventueel uitbesteed onderzoek is duidelijk als zodanig gekenmerkt.			

INHOUDSOPGAVE	Pagina
Voorblad onderzoeksrapport	1
Laboratoriumstaat	2
Monsterverzicht	3

OPMERKINGEN:

Tenzij anders aangegeven hebben verwijzingen naar RAW proefnummers betrekking op de Standaard RAW Bepalingen 2015.

De met "Q" gemerkte verrichtingen zijn geaccrediteerd door RvA.

De monstername is niet uitgevoerd door Fugro. Eventuele gegevens over de wijze van monstername en/of de herkomst van de monster zijn aangegeven door de klant.

Een digitaal exemplaar van dit rapport is naar het e-mailadres (jurgen.cools@rhdhv.com) verstuurd.

De reproduceerbaarheid van de metingen en / of proeven voldoet aan de gestelde waarde in de desbetreffende norm of in het proefvoorschrift. Gegevens over de meetonzekerheid zijn op aanvraag verkrijgbaar.

1716-0527-000.B01.doc

Wanneer u naar aanleiding van de resultaten van dit rapport nog vragen heeft verzoeken wij u contact op te nemen met de heer P.A. van de Velde.

Wij vertrouwen erop u hiermee van dienst te zijn geweest en uw opdracht naar wens te hebben uitgevoerd.

Fugro GeoServices B.V.
Laboratorium voor Infra- en Geotechniek



S. O'Hagan
Lab Manager

MONSTEROVERZICHT					S: M3
ALGEMEEN					
Project	Windpark Haringvliet, projectcode D0034190		Opdrachtnummer	1716-0527-000	
Opdrachtgever	Royal HaskoningDHV Nederland B.V.		Datum rapport	01-07-2016	
te	Amersfoort		Vervaldatum	01-09-2016	
Contactpersoon	de heer ir. J.E. Cools		Datum ontvangst monsters	24-06-2016	
MONSTEROVERZICHT					
Volgnummer	Type materiaal/omschrijving	Aantal/ Hoeveelheid	Monsternummer(s)		
1	Geroerd monster	3	HB2.1 2.50-4.00 M-MV		
			HB3.1 3.50-5.00 M-MV		
			HB3.2 1.50-3.00 M-MV		
2	Copeckyring	1	WM106		

Bovenstaand is een overzicht gegeven van de monsters, die in het kader van onderhavig onderzoek zijn onderzocht en zich thans nog bevinden in het Laboratorium voor Infra- en Geotechniek. Met "vervaldatum" is de datum aangegeven waarna de monsters, bij geen tegenbericht uwerzijds, uit de monsteropslag zullen worden verwijderd en vernietigd. Wanneer u (een deel van) bovengenoemde monsters na de vervaldatum (eventueel onder geconditioneerde omstandigheden) tegen betaling wenst te laten bewaren, verzoeken wij u dit formulier uiterlijk 1 week vóór de vervaldatum aan ons te retourneren.

Ondergetekende verzoekt de monsters te bewaren tot:		
Datum	Naam	Handtekening
Opgesteld door: PVV		Gecontroleerd: PVV

Rapportage Boorprofielen

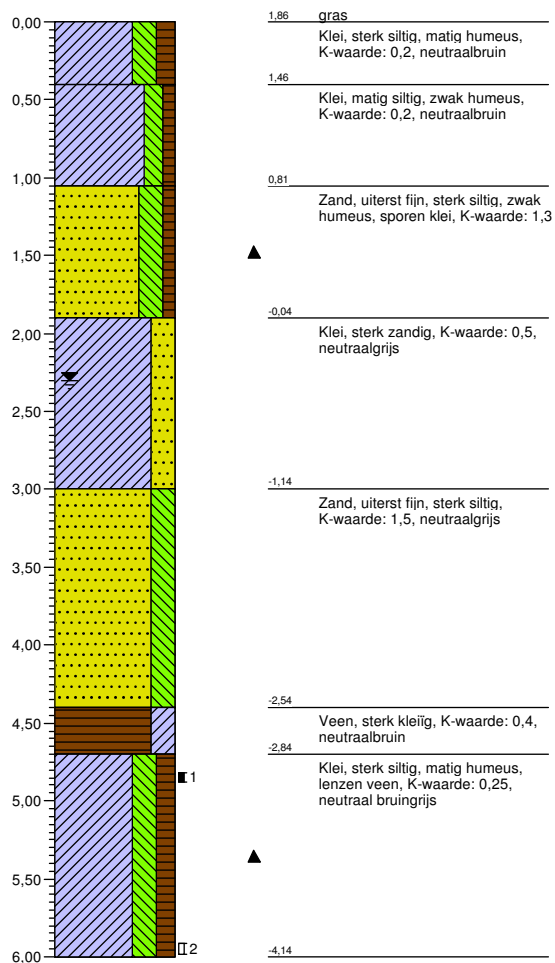


Uw projectcode: D0034190

Uw projectnaam: Zeedijk 61 te Stad aan het Haringvliet

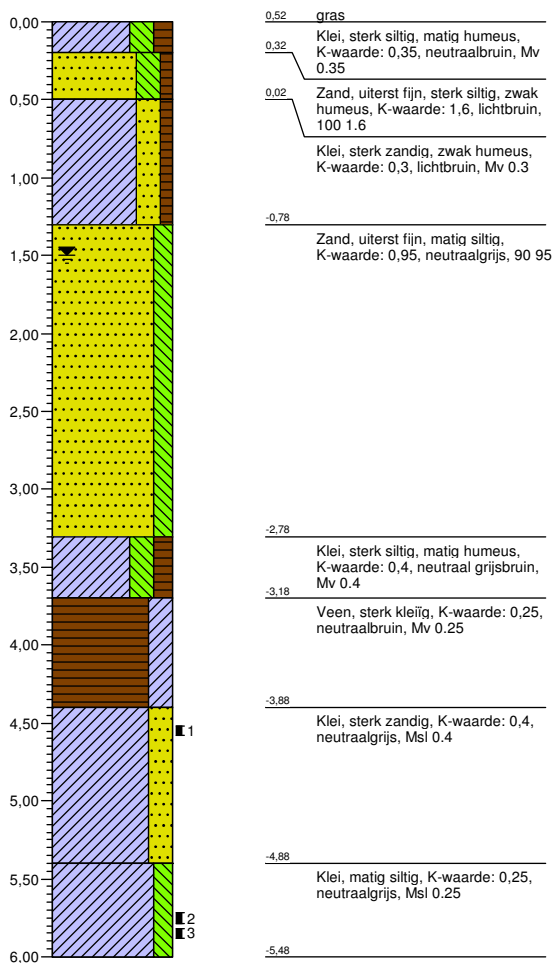
Meetpunt: HB1.1

Datum: 22-06-2016
X: 73793,36
Y: 418271,60
GHG (cm-mv): 120
GLG (cm-mv): 260
Mv-hoogte (m+NAP): 1,856
GWS: 230



Meetpunt: HB1.2

Datum: 22-06-2016
X: 73786,23
Y: 418249,90
GHG (cm-mv): 60
GLG (cm-mv): 180
Mv-hoogte (m+NAP): 0,516
GWS: 150



Boorprofiel uitgetekend conform NEN 5104
Schaal 1: 50
Autorisatie:

Rapportage Boorprofielen



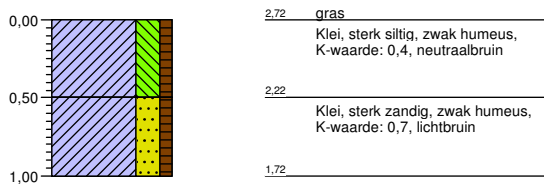
Uw projectcode: D0034190

Uw projectnaam: Zeedijk 61 te Stad aan het Haringvliet

Meetpunt: HB1.3

Datum: 23-06-2016
X: 73790,75
Y: 418267,00

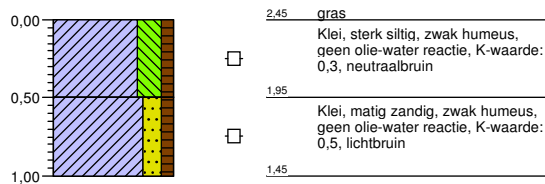
Mv-hoogte (m+NAP): 2,724



Meetpunt: HB1.4

Datum: 23-06-2016
X: 73787,27
Y: 418254,70

Mv-hoogte (m+NAP): 2,454



Boorprofiel uitgetekend conform NEN 5104
Schaal 1: 50
Autorisatie:

Rapportage Boorprofielen

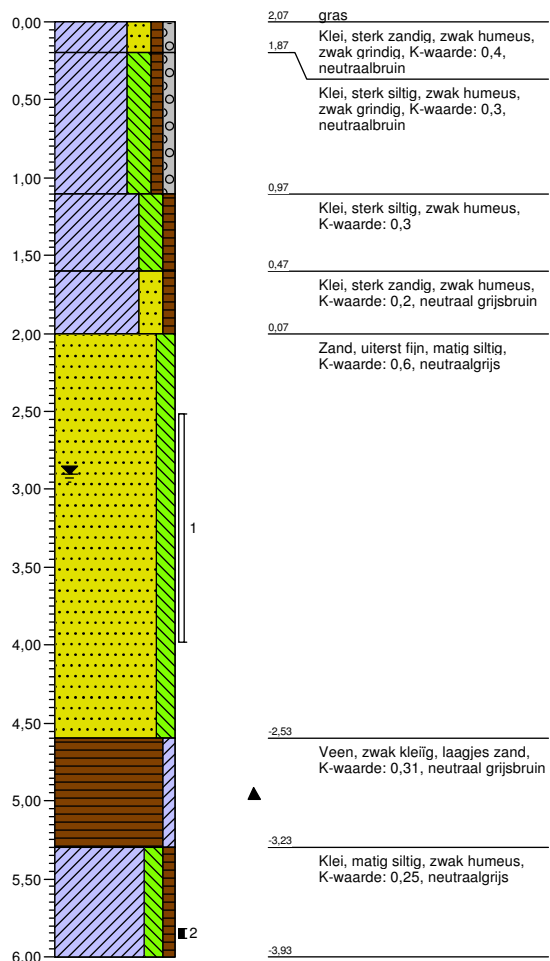


Uw projectcode: D0034190

Uw projectnaam: Zeedijk 61 te Stad aan het Haringvliet

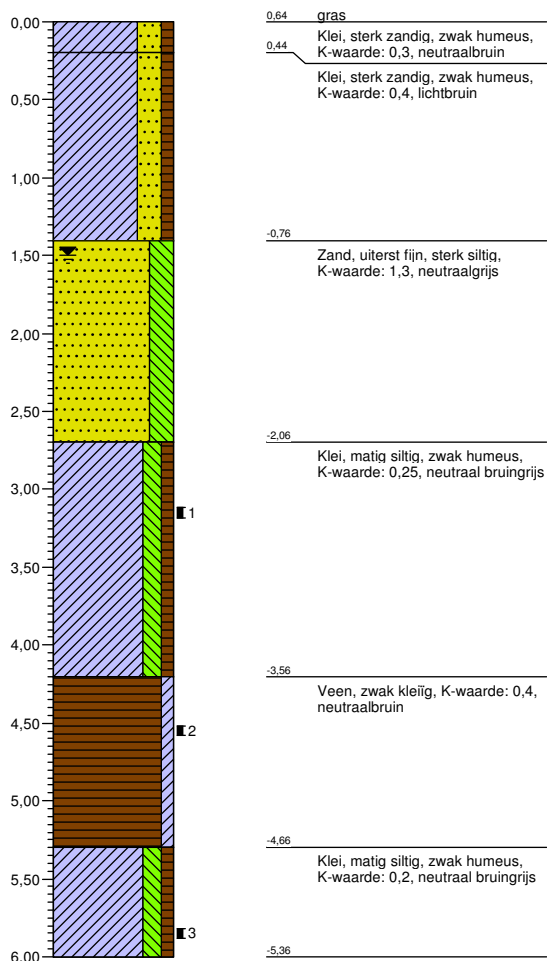
Meetpunt: HB2.1

Datum: 22-06-2016
X: 74126,35
Y: 418265,10
GHG (cm-mv): 150
GLG (cm-mv): 320
Mv-hoogte (m+NAP): 2,073
GWS: 290



Meetpunt: HB2.2

Datum: 22-06-2016
X: 74171,86
Y: 418253,90
GHG (cm-mv): 70
GLG (cm-mv): 220
Mv-hoogte (m+NAP): 0,644
GWS: 150



Boorprofiel uitgetekend conform NEN 5104
Schaal 1 : 50
Autorisatie:

Rapportage Boorprofielen



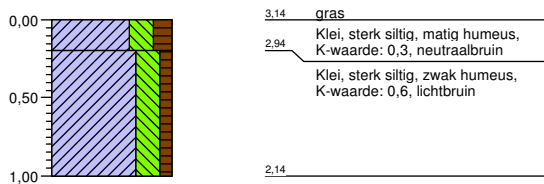
Uw projectcode: D0034190

Uw projectnaam: Zeedijk 61 te Stad aan het Haringvliet

Meetpunt: HB2.3

Datum: 23-06-2016
X: 74128,05
Y: 418259,40

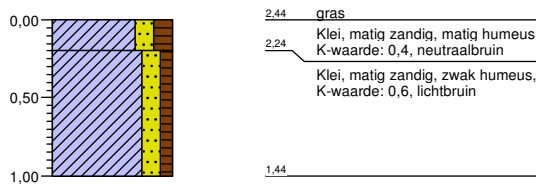
Mv-hoogte (m+NAP): 3,142



Meetpunt: HB2.4

Datum: 23-06-2016
X: 74168,88
Y: 418257,20

Mv-hoogte (m+NAP): 2,444



Boorprofiel uitgetekend conform NEN 5104
Schaal 1: 50
Autorisatie:

Rapportage Boorprofielen

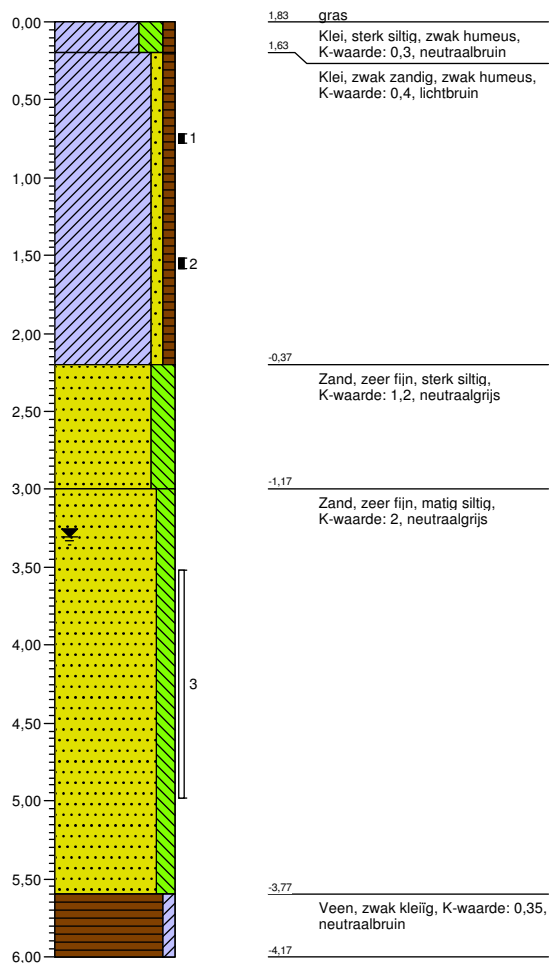


Uw projectcode: D0034190

Uw projectnaam: Zeedijk 61 te Stad aan het Haringvliet

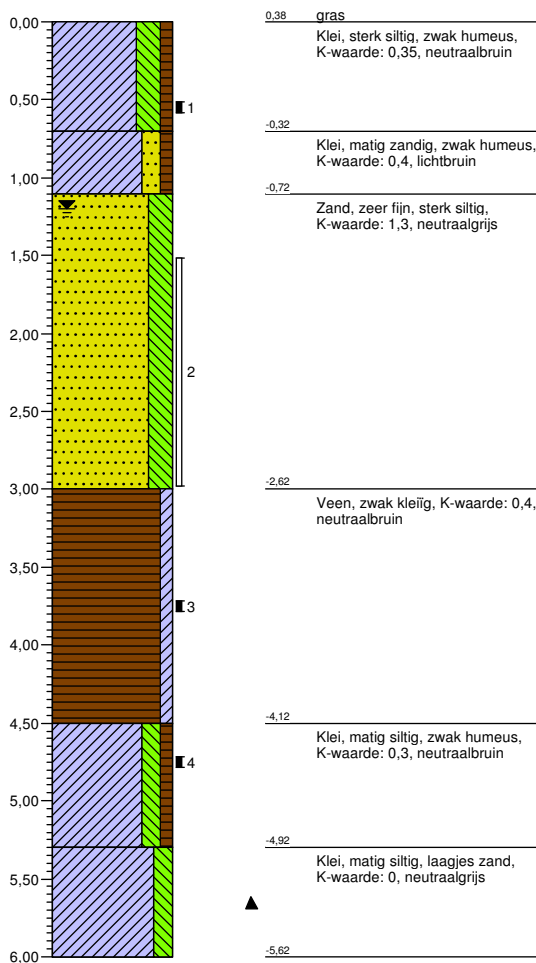
Meetpunt: HB3.1

Datum: 23-06-2016
X: 74374,30
Y: 418323,70
GHG (cm-mv): 75
GLG (cm-mv): 240
Mv-hoogte (m+NAP): 1,831
GWS: 330



Meetpunt: HB3.2

Datum: 23-06-2016
X: 74351,86
Y: 418295,30
GHG (cm-mv): 70
GLG (cm-mv): 160
Mv-hoogte (m+NAP): 0,377
GWS: 120



Boorprofiel uitgetekend conform NEN 5104
Schaal 1 : 50
Autorisatie:

Rapportage Boorprofielen



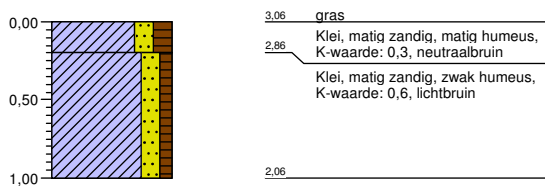
Uw projectcode: D0034190

Uw projectnaam: Zeedijk 61 te Stad aan het Haringvliet

Meetpunt: HB3.3

Datum: 23-06-2016
X: 74373,90
Y: 418316,60

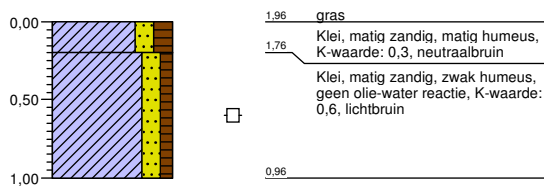
Mv-hoogte (m+NAP): 3,057



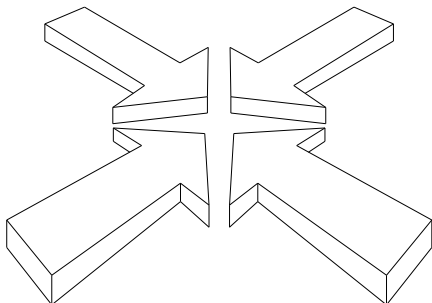
Meetpunt: HB3.4

Datum: 23-06-2016
X: 74351,53
Y: 418297,90

Mv-hoogte (m+NAP): 1,96



Boorprofiel uitgetekend conform NEN 5104
Schaal 1: 50
Autorisatie:

**BMNED en GSned**

Postbus 326
4530 AH Terneuzen
Telefoon :
Fax :
E-mail :
Web :
Bank :
KBC :
KvK :
BTW-nr :

Rooseveltlaan 8
4536 GZ Terneuzen
+31 (0) 115 620 927
+31 (0) 115 623 678
info@bmned.com / info@gsned.com
www.bmned.com / www.gsned.com
NL39 ABNA 0443 1098 26 / NL72 RABO 0300 7332 91
BE65 7330 1096 7696
20075240 / 61948888
NL8042.73.509B01 / NL8545.61.924B01

Geotechnisch bodemonderzoek

G16196-R042886-PD--

t.b.v. het project "G16196 - Realisatie windpark
Haringvliet"

Projectonderdeel / -fase

-



DOCUMENT OPGESTELD IN OPDRACHT VAN

HaskoningDHV Nederland bv
Postbus 1132
3800 BC AMERSFOORT
Nederland

Referentie opdrachtgever: 161752 / BE7636-101-100



BMNED en GSned

Colofon

DOCUMENTGEGEVENS

Documentnummer G16196-R042886-PD
Fase Projectdefinitie
Revisie -
Status CONCEPT

Datum 22 juli 2016

PROJECTLEIDER

M.J.J. (Michael) de Nijs

DOCUMENT OPGESTELD DOOR

G.J.J. (Gilliam) de Nijs

COLLEGIALE TOETS DOOR

M. (Martin) Studzinski

DOCUMENT VRIJGEGEVEN DOOR

M.J.J. (Michael) de Nijs

REV.	DATUM	OMSCHRIJVING
-	22 juli 2016	Eerste uitgave



Inhoudsopgave

1	<u>INLEIDING</u>	1
1.1	ALGEMENE PROJECTOMSCHRIJVING	1
1.2	REFERENTIEDOCUMENTEN	1
1.3	LEESWIJZER	1
2	<u>ONDERZOEKSOPZET</u>	2
3	<u>ANALYSE VELDWERKZAAMHEDEN</u>	3
3.1	ONDERZOEKSSTRATEGIE	3
3.2	SONDERINGEN	3
3.3	ANALYSE BODEMOPBOUW	3
3.4	MAAIVELDHOOGTEN	4
3.5	(GROND)WATERSTANDEN	4
3.5.1	FREATISCHE GRONDWATERSTAND	4
3.5.2	STIJGHOOGTE	4
3.5.3	WATER- EN/OF SLOOTPEILEN	4
3.6	OP- EN/OF AANMERKINGEN	4
3.7	KWALITEITSWAARBORGING	4
4	<u>OVERZICHT REVISIES</u>	5
4.1	REV. –	5



TABELLEN

TABEL 1: REFERENTIEDOCUMENTEN	1
TABEL 2: OVERZICHT GEOTECHNISCH ONDERZOEK	3

AFBEELDINGEN

-

BIJLAGEN

- BIJLAGE 1: LOCATIEOVERZICHT SONDERINGEN EN BORINGEN
- BIJLAGE 2: SONDERINGEN EN BOORPROFIELEN
- BIJLAGE 3: MEETSTAAT DGPS
- BIJLAGE 4: SAMENVATTING GEOTECHNISCH BODEMONDERZOEK



1 Inleiding

1.1 Algemene projectomschrijving

GSNED heeft van HaskoningDHV Nederland bv uit Amersfoort de opdracht aanvaard voor het uitvoeren van geotechnisch onderzoek ten behoeve van het project "Realisatie windpark Haringvliet".

In het kader van deze opdracht is onderhavige rapportage tot stand gekomen.

Het doel van dit onderzoek is inzicht te krijgen in de bodemopbouw ter plaatse van de projectlocatie. De resultaten vormen op hun beurt de noodzakelijke ingrediënten voor diverse uit te voeren geotechnische berekeningen.

1.2 Referentiedocumenten

Voor het uitvoeren van het geotechnisch bodemonderzoek en voor het tot stand doen komen van onderhavige rapportage is gebruik gemaakt van de navolgende documenten:

Document-type	Omschrijving	Document- cq. bladnummer	Revisie	Datum	Bedrijf / Instantie
Tekening	Locatieoverzicht sondering	Onbekend	Onbekend	Onbekend	Onbekend
Document	Meldingsformulier bodemonderzoek WSHD	N.v.t.	-	07-06-2016	NUON

Tabel 1: Referentiedocumenten

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 1 geeft een globale omschrijving van het project en het doel van onderhavige studie. Hoofdstuk 2 behandelt de gehanteerde onderzoeksopzet. In hoofdstuk 3 wordt een analyse weergegeven van de uitgevoerde geotechnische veldwerkzaamheden. Tot slot wordt in hoofdstuk 4 een overzicht van revisies gepresenteerd (indien van toepassing).

2 Onderzoeksopzet

Het aantal uit te voeren onderzoeken is door de opdrachtgever en/of diens adviseur vastgesteld. De onderzoekslocaties zijn eveneens door de opdrachtgever en/of diens adviseur bepaald.

Indien de resultaten van het uitgevoerde grondonderzoek worden gebruikt voor de toetsing van geotechnische constructies dienen de aard en omvang van het grondonderzoek te voldoen aan §3.2 uit de laatste versie van NEN-EN 9997-1.

De onderzoekslocaties zijn verwerkt in het door ons bedrijfsbureau gehanteerde DGPS-systeem. Als bron voor de kadastrale situatie (nul-situatie) heeft een op het Rijksdriehoekstelsel gebaseerde kadastrale kaart gediend, welke werd verkregen via het Kadaster.

Ten aanzien van de kadastrale kaart dient te worden gemeld dat deze kaart slechts een indicatie geeft van de ligging van de kadastrale grenzen. Er mogen geen maten worden ontleend aan de kadastrale kaart. Voor stedelijk gebied geldt een relatieve precisienorm van 20 cm en voor landelijk gebied een relatieve precisienorm van 40 cm. Dit geldt voor scherp identificeerbare punten. Voor niet scherp identificeerbare punten moet deze standaardafwijking worden vermeerderd met de idealisatie nauwkeurigheid.

3 Analyse veldwerkzaamheden

3.1 Onderzoeksstrategie

Op de projectlocatie zijn in totaal 2 onderzoeken uitgevoerd. De werkzaamheden werden opgestart op woensdag 13 juli 2016 en zijn verricht door M. (Martin) Studzinski. De werkzaamheden hebben bestaan uit het uitvoeren van:

Aantal	Omschrijving	ID
0	stuks sonderingen met meting van de conusweerstand	C
2	stuks sonderingen met meting van de conusweerstand en de lokale kleeft	CK
0	stuks sonderingen met meting van de conusweerstand, de lokale kleeft en aanvullende meting van magnetische onregelmatigheden (magnetometersondering)	CKM
0	stuks sonderingen met meting van de conusweerstand, de lokale kleeft en de waterspanning	CKW
0	stuks sonderingen met meting van de conusweerstand, de lokale kleeft en de elektrische geleidbaarheid	EC
0	stuks sonderingen met meting van de conusweerstand, de lokale kleeft, de waterspanning en de elektrische geleidbaarheid	ECW
0	stuks handmatig geplaatste peilbuizen	PB
0	stuks machinaal geplaatste peilbuizen	MPB
0	stuks overig, te weten:	

Tabel 2: Overzicht geotechnisch onderzoek

De diepte tot waar de proeven zijn uitgevoerd varieert van ca. 29,06 m1 minus maaiveld tot ca. 29,61 m1 minus maaiveld, met een gemiddelde diepte van ca. 29,34 m1 minus maaiveld. Uitwerking van bovenvermelde onderzoeken is toegevoegd aan bijlage 2 van onderhavige rapportage.

Een tekening met de onderzoekslocaties is toegevoegd aan bijlage 1 van onderhavige rapportage.

3.2 Sonderingen

De sonderingen zijn uitgevoerd met een elektrische kleeftmantelconus en/of elektrische piëzoconus conform norm NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2.

De door GSNEED gehanteerde conussen zijn voorzien van een hellingmeter. In de sondeergrafieken is de diepte gecorrigeerd voor de gemeten afwijking ten opzichte van de vertikaal.

3.3 Analyse bodemopbouw

Van de sonderingen werd door ons bedrijfsbureau op basis van de conusweerstand en het wrijvingsgetal een indicatief bodemprofiel afgeleid. In die gevallen dat geen waterspanning werd gemeten, werd in de afleiding voor de waarde van q_t de waarde van q_c gehanteerd. De afleiding heeft plaatsgevonden zoals beschreven in een artikel van Robertson in de 'Canadian Geotechnical Journal' van 1986. Deze methode is verder uitgewerkt en beschreven door Lunne, Robertson en Powell in hun naslagwerk 'Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice'. Opgemerkt dient te worden dat dit bodemprofiel slechts geldig is onder het grondwaterniveau.

Voor de bodemprofielen wordt verwezen naar bijlage 2 van onderhavige rapportage. Deze zijn naast de sonderingen op grafische wijze weergegeven.

3.4 Maaiveldhoogten

De maaiveldhoogte ter plaatse van de onderzoekslocaties varieert van ca. 0,63 m1 NAP tot ca. 4,07 m1 NAP, met een gemiddeld maaiveldniveau van ca. 2,64 m1 NAP. Deze waarden werden verkregen m.b.v. DGPS-RTK. De hoogtemetingen werden verricht door M. (Martin) Studzinski.

Voor een volledig overzicht van maaiveldhoogten wordt verwezen naar bijlage 3 van onderhavige rapportage. Hier zijn alle metingen in tabelvorm weergegeven.

De hoogtebepalingen van de onderzoekslocaties in het terrein zijn uitgevoerd met als doel de bodemopbouw te refereren aan een vaste referentiehoogte (in dit geval NAP). De gerapporteerde hoogtes zijn niet geschikt voor andere doeleinden dan onderhavig onderzoek.

3.5 (Grond)waterstanden

3.5.1 Freatische grondwaterstand

De actuele freatische grondwaterstand werd tijdens de veldwerkzaamheden niet geregistreerd.

3.5.2 Stijghoogte

De actuele stijghoogte werd tijdens de veldwerkzaamheden niet geregistreerd.

3.5.3 Water- en/of slootpeilen

Er werden ten tijde van de uitvoering van de veldwerkzaamheden geen water- en/of slootpeilen geregistreerd.

3.6 Op- en/of aanmerkingen

De resultaten van sonderingen CKW-03 en CKW-04 geven geen betrouwbaar beeld van de ter plaatse voorkomende bodemopbouw en stijghoogten. Om deze reden zijn de resultaten niet toegevoegd aan onderhavige rapportage. Beide sonderingen worden opnieuw uitgevoerd en toegevoegd aan een volgende revisie van deze nota.

3.7 Kwaliteitswaarborging

Alle veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd overeenkomstig het managementsysteem van GSNEED dat voldoet aan de NEN-EN 9001:2008 (registratienummer EC-KWA-01393), VCA** 2008/05 (registratienummer EC-VCA-20284) en CO2-prestatieladder niveau 3 (registratienummer EC-CO2-00024).

4 Overzicht revisies

4.1 Rev. –

Eerste uitgave.



Bijlage 1:

Locatieoverzicht sonderingen en boringen

Concept





Bron kadastrale situatie : Kadaster KLIC meldnummers: 16G246907 + 16G246908

Rev	Datum	Status	Getekend	Gecontroleerd	Vrijgegeven
A	22-07-2016	CONCEPT	G.J.J. (Gilliam) de Nijis	M.J.J. (Michael) de Nijis	M.J.J. (Michael) de Nijis
--	15-06-2016	UITVOERING	M. (Marco) Dhaene	G.J.J. (Gilliam) de Nijis	
Rev	Omschrijving				
--	Gereed voor uitvoering				
A	Sondeerlocaties zoals uitgevoerd				

REVISIE

Project	Realisatie windpark Haringvliet
---------	---------------------------------

Onderdeel	Geotechnisch bodemonderzoek
Opdrachtgever	Locatieoverzicht sonderingen
	HaskoningDHV Nederland bv
	Postbus 1132 - 3800 BC Amersfoort



www.gsned.com

Rooseveltlaan 8
NL 4536 GZ Terneuzen
Postbus 326
NL 4530 AH Terneuzen
Nederland
Tel. : +31(0) 115- 62 09 27
Fax : +31(0) 115- 62 36 78
E-mail : info@gsned.com

Status
CONCEPT

Document
G16196-TG00001-PD

Schaal
1:2000

Formaat
A3

Revisie
A

Eenheden
m

PROJECT DEFINITIE



-  Sondering met meting van de consueerstand
-  Sondering met meting van consueerstand en Kleef
-  Sondering met meting van consueerstand, Kleef en waterspanning
-  Machinale continu boring volgens Begemann-principe
-  Machinaal geplateaste peilbuis
-  Ondiepe handboring
-  Diepe handboring
-  Handboring met peilbuis
-  ander type boring/sondering
-  Inclusief meting van temperatuur en elektrische geleidbaarheid
-  Inclusief detectie met behulp van magnetometer
-  Hoogte
-  Waterpeil
-  Controlepunt
-  K&L KLIC
-  Perceel-/bebouwingslijn

LEGENDA



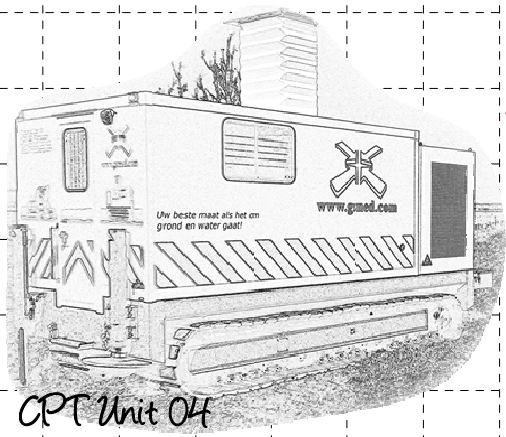
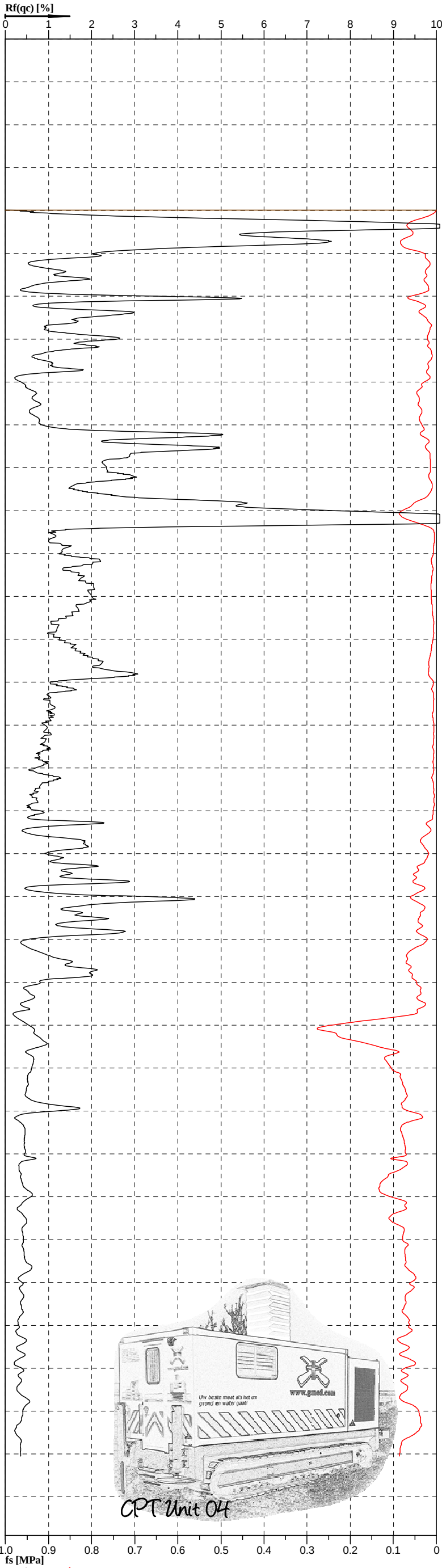
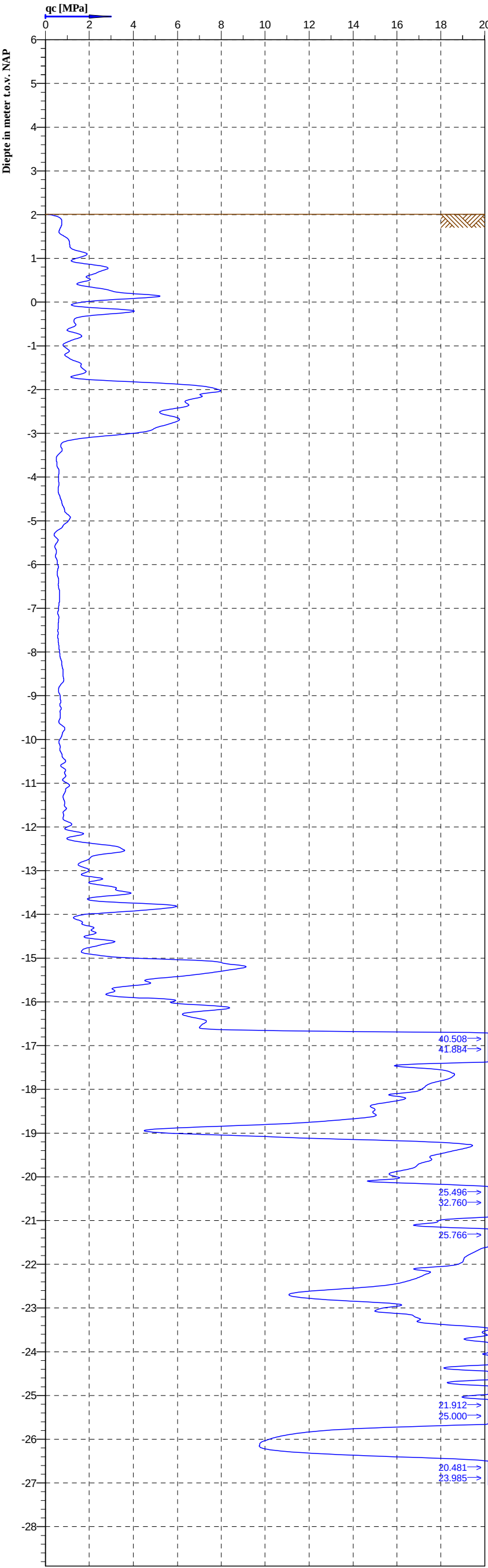
SITUATIE

Bijlage 2:
Sonderingen en boorprofielen

Concept



Indicatief bodemprofiel volgens:
Robertson 1986
(slechts geldig onder grondwaterniveau)



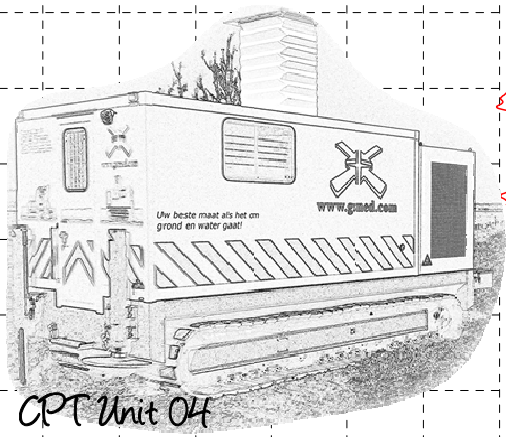
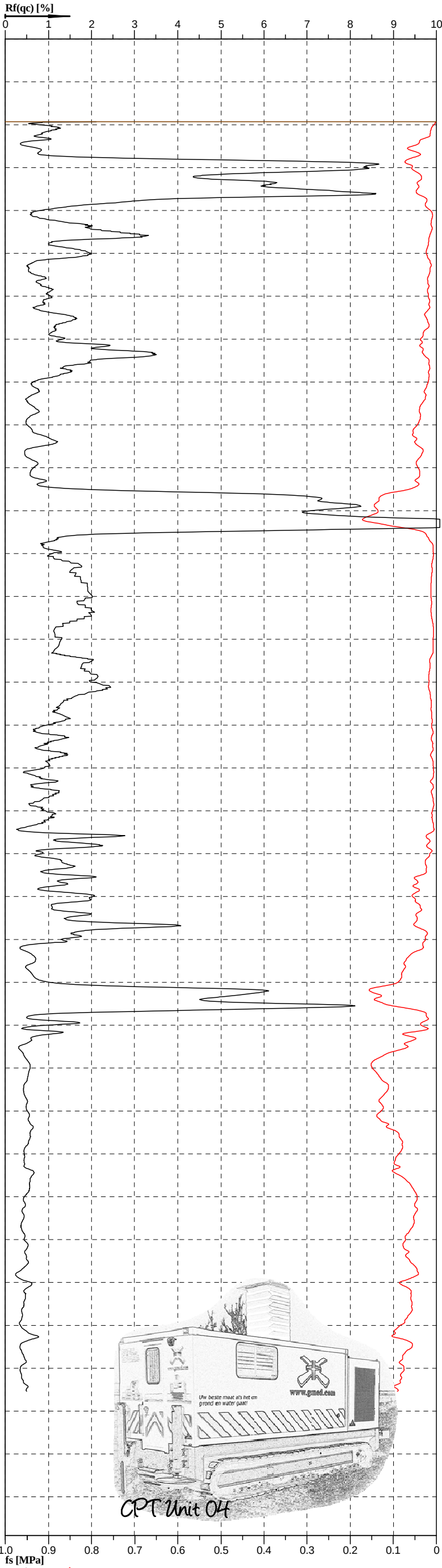
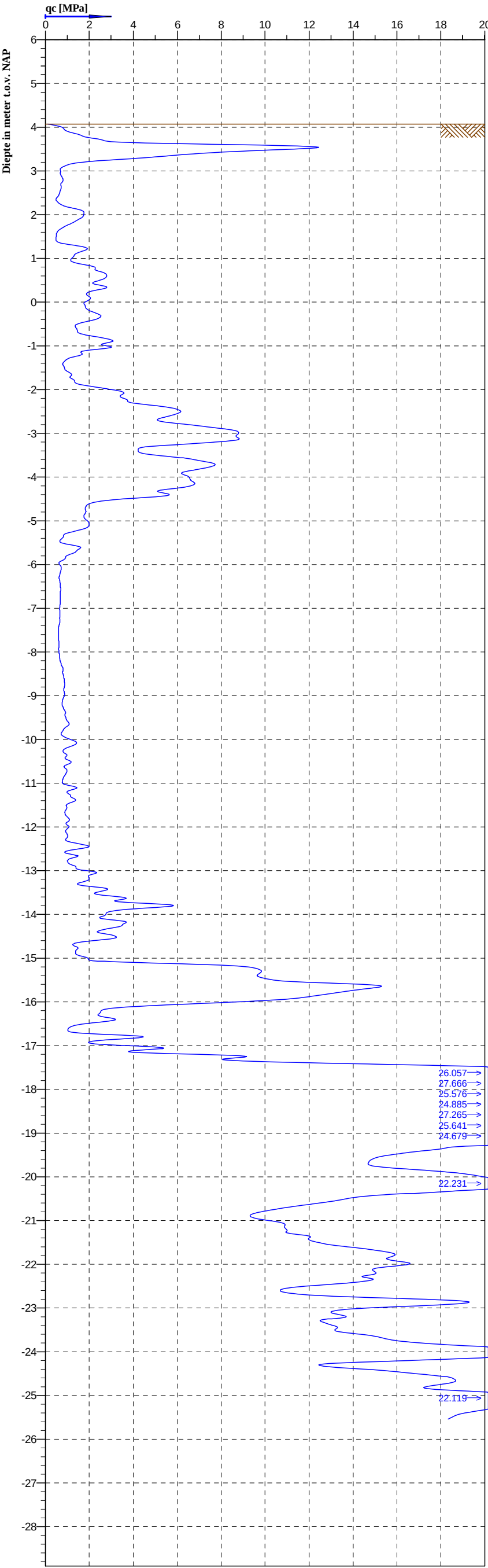
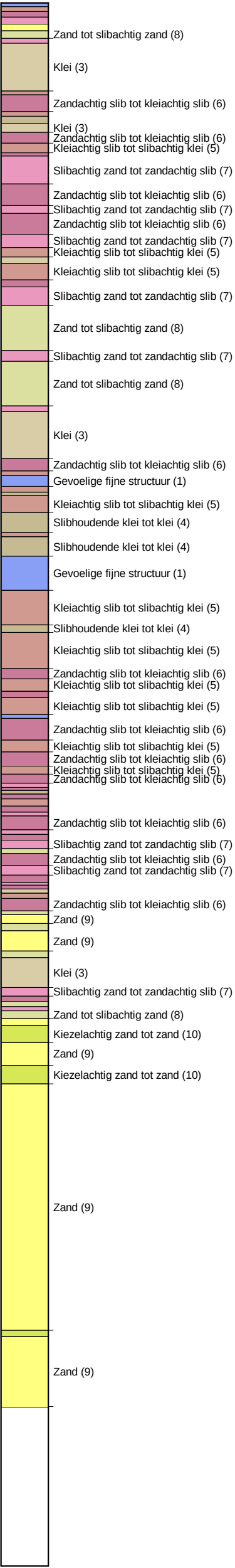
Plaats:	Stad aan 't Haringvliet	Coördinaten:	X: 73802.3900 m, Y: 418265.7100 m	Maaiveld:	2.0100	Veldproef:	CK-01
Project ID:	G16196	Opdrachtgever:	HaskoningDHV Nederland bv - Amersfoort	Datum:	13-7-2016	Schaal:	1 : 100
Projectomschrijving:	Realisatie windpark Haringvliet			Pagina:	1/1		
GSNED Postbus 326 4530 AH Terneuzen Rooseveltpaan 8 4536 GZ Terneuzen Tel.: 0115 - 62 09 27 Fax: 0115 - 62 36 78 Web: www.gsned.com E-mail: info@gsned.com				Bestand: CK-01.cpd			



Cone No: S15-CFIIP.7000
Tip area [cm²]: 15
Sleeve area [cm²]: 225



Indicatief bodemprofiel volgens:
Robertson 1986
(slechts geldig onder grondwaterniveau)



Plaats:	Stad aan 't Haringvliet	Coördinaten:	X: 74396.7600 m, Y: 418313.2700 m	Maaiveld:	4.0700	Veldproef:	CK-02
Project ID:	G16196	Opdrachtgever:	HaskoningDHV Nederland bv - Amersfoort	Datum:	13-7-2016	Schaal:	1 : 100
Projectomschrijving:	Realisatie windpark Haringvliet			Pagina:	1/1		
GSNED Postbus 326 4530 AH Terneuzen Rooseveltlaan 8 4536 GZ Terneuzen Tel.: 0115 - 62 09 27 Fax: 0115 - 62 36 78 Web: www.gsned.com E-mail: info@gsned.com				Bestand: CK-02.cpd			



Cone No: S15-CFIIP.7000
Tip area [cm2]: 15
Sleeve area [cm2]: 225



Bijlage 3:
Meetstaat DGPS

Concept



Bijlage 4:

Samenvatting geotechnisch bodemonderzoek

Concept



Project: Realisatie windpark Haringvliet
 Projectnr.: G16196
 Auteur: G.J.J. de Nijs

rev. B
 rev. A
 rev. -

22-07-2016

Geotechnisch bodemonderzoek - samenvatting

Normering

De sonderingen zijn uitgevoerd met een elektrische kleefmantelconus en/of elektrische piëzoconus conform norm NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2.

Uitvoering

De werkzaamheden werden opgestart op: 13-07-2016
 De werkzaamheden werden verricht door: M. (Martin) Studzinski

Overzicht

Op de projectlocatie zijn in totaal 2 onderzoeken uitgevoerd. De werkzaamheden hebben bestaan uit het uitvoeren van:

Aantal	Omschrijving	ID
0	stuks sonderingen met meting van de conusweerstand	C
2	stuks sonderingen met meting van de conusweerstand en de lokale kleef	CK
0	stuks sonderingen met meting van de conusweerstand, de lokale kleef en aanvullende meting van magnetische onregelmatigheden (magnetometersondering)	CKM
0	stuks sonderingen met meting van de conusweerstand, de lokale kleef en de waterspanning	CKW
0	stuks sonderingen met meting van de conusweerstand, de lokale kleef en de elektrische geleidbaarheid	EC
0	stuks sonderingen met meting van de conusweerstand, de lokale kleef, de waterspanning en de elektrische geleidbaarheid	ECW
0	stuks handmatig geplaatste peilbuizen	PB
0	stuks machinaal geplaatste peilbuizen	MPB
0	stuks handboringen	HB
0	stuks mechanische boringen	B
0	stuks overige onderzoeken	

De diepte tot waar de proeven zijn uitgevoerd varieert van ca. 29,06 m1 minus maaiveld tot ca. 29,61 m1 minus maaiveld, met een gemiddelde diepte van ca. 29,34 m1 minus maaiveld.

Maaiveldniveau(s)

De maaiveldhoogte ter plaatse van de onderzoekslocaties varieert van ca. 0,63 m1 NAP tot ca. 4,07 m1 NAP, met een gemiddeld maaiveldniveau van ca. 2,64 m1 NAP.

De metingen werden uitgevoerd m.b.v.: DGPS-RTK
 De metingen werden verricht door: M. (Martin) Studzinski

Freatische grondwaterstand

De actuele freatische grondwaterstand werd tijdens de veldwerkzaamheden niet geregistreerd.

Stijghoogte

De actuele stijghoogte werd tijdens de veldwerkzaamheden niet geregistreerd.

Kwaliteitswaarborging

Alle veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd overeenkomstig het managementsysteem van GSNED dat voldoet aan de NEN-EN 9001:2008 (registratienummer EC-KWA-01393), VCA** 2008/05 (registratienummer EC-VCA-20284) en CO2-prestatieladder niveau 3 (registratienummer EC-CO2-00024).