

RAPPORT

NUON Windpark Haringvliet

Uitgangspunten voor beoordeling effecten op veiligheid
regionale waterkering

Klant: Pondera Consult

Referentie: M&WBE2288R001D05

Versie: 05/Concept

Datum: 16-11-2015

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX Amersfoort
Netherlands
Maritime & Waterways
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 Dijkveiligheid
Referentie: M&WBE2288R001D05
Versie: 05/Concept
Datum: 16-11-2015
Projectnaam: Dijkveiligheid NUON Windpark Haringvliet
Projectnummer: BE2288
Auteur(s): Jurgen Cools

Opgesteld door: Jurgen Cools

Gecontroleerd door:

Datum/Initialen:

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	4
2.4	Waterkering	4
3	Beoordelingscriteria	8
3.1	Criteria ten aanzien van veiligheid	8
3.2	Criteria ten aanzien van ruimtelijke inpassing	8
3.3	Criteria ten aanzien van constructie en uitvoering	8
3.4	Criteria ten aanzien van robuustheid	9
3.5	Criteria ten aanzien van beheer	9
3.6	Normen en richtlijnen	9
3.7	Veiligheidsfactoren macrostabiliteit	9
4	Geotechnisch ondergrondmodel	12
4.1	Geometrie	12
4.2	Bodemopbouw	12
4.2.1	Beschikbaar grondonderzoek	12
4.2.2	Geologische bodemopbouw	13
4.3	Waterstanden	14
4.4	Modellering verloop waterstanden	15
5	Belastingen op de waterkering	16
5.1	Kruinbelasting	16
5.2	Belasting door trillingen	16
6	Beoordeling van effecten op faalmechanismen waterkering	17
6.1	Beoordelingskader	17
6.2	Relevante faalmechanismen	17

7 Referenties

18

Tabellen

Tabel 2-1: Overzicht IPO-veiligheidsklassen met bijbehorende stabiliteitseisen	7
Tabel 3-1: Materiaalfactoren	10

Figuren

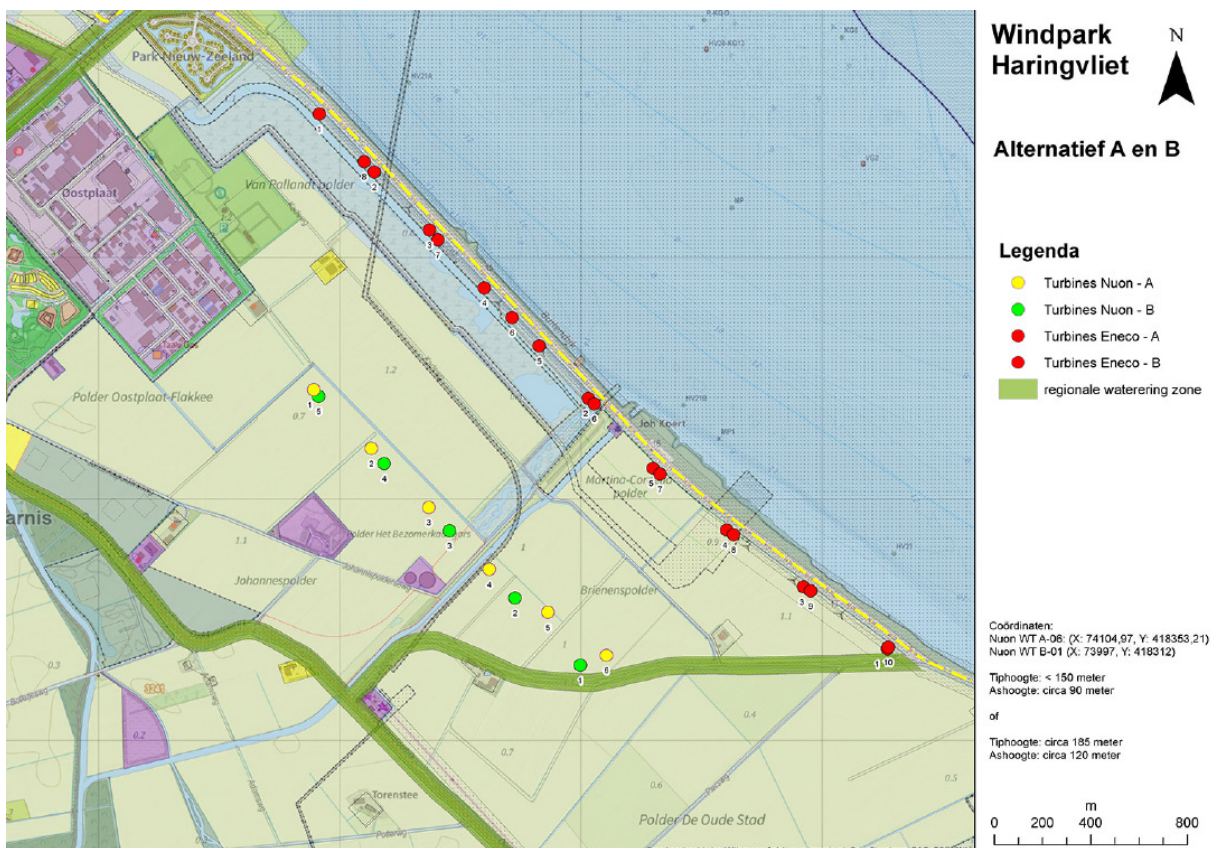
Figuur 1-1: locatie windturbines van Windpark Haringvliet GO.....	1
Figuur 1-2: Locatie windturbines nabij de waterkering	2
Figuur 2-1: Ligging voorlopig kabeltracé	4
Figuur 2-2: Zonering secundaire waterkering	5
Figuur 2-3: Kruinhoogte in lengteprofiel van dijkvak GO-13.....	5
Figuur 2-4: Profiel van vrije ruimte voor secundaire waterkering [REF.1]	6
Figuur 4-1: maatgevend dwarsprofiel waterkering	12
Figuur 4-2: Locatie beschikbare boringen uit DinoLoket.....	13
Figuur 4-3: Geologische doorsnede projectgebied	13
Figuur 4-4: peilgebieden met zomer- en winterpeilen (Waterschap Hollandse Delta).....	14
<i>Figuur 6-1 Faalmechanismen hoogte en stabiliteit (afbeelding uit VTV2006)</i>	<i>17</i>

Bijlagen

A1	Dwarsprofielen waterkering
A2	Beschikbaar grondonderzoek
A3	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 5 à 6 turbines voorzien, waarbij twee varianten ('A' en 'B') voor de opstelling worden beschouwd, zie Figuur 1-1. Eneco heeft het plan om parallel aan de dijk langs de 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.



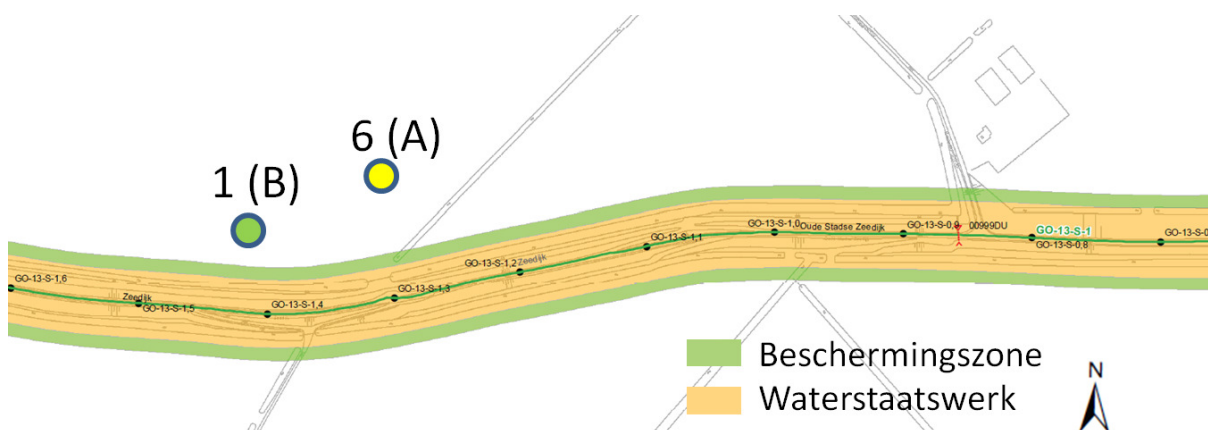
Figuur 1-1: locatie windturbines van Windpark Haringvliet GO

Bij de door Nuon geplande opstellingsvarianten zijn de windturbines B-01 en A-06 gelegen op respectievelijk 34 m en 64 m afstand tot de begrenzing van de waterkering 'Zeedijk'. De Zeedijk is een secundaire 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 B-01 of A-06, evenals de kraanopstelplaatsen zijn 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 en zal bekabeling dienen te worden aangebracht in 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 geïntervieweerde 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 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 beschermingszone.
- 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 in de polder aan de binnenwaartse zijde van de Zeedijk.

2.2 Windparkonderdelen

Voor de beoordeling van de effecten op de waterveiligheid 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 welke opstelling en wat voor type windturbine toegepast zal worden. In de effectbeoordeling zal worden uitgegaan van de maatgevende windturbines:

- Variant A: type Vestas V117 met 120 meter ashoogte
- Variant B: type Gamesa G132 met 120 meter ashoogte.

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

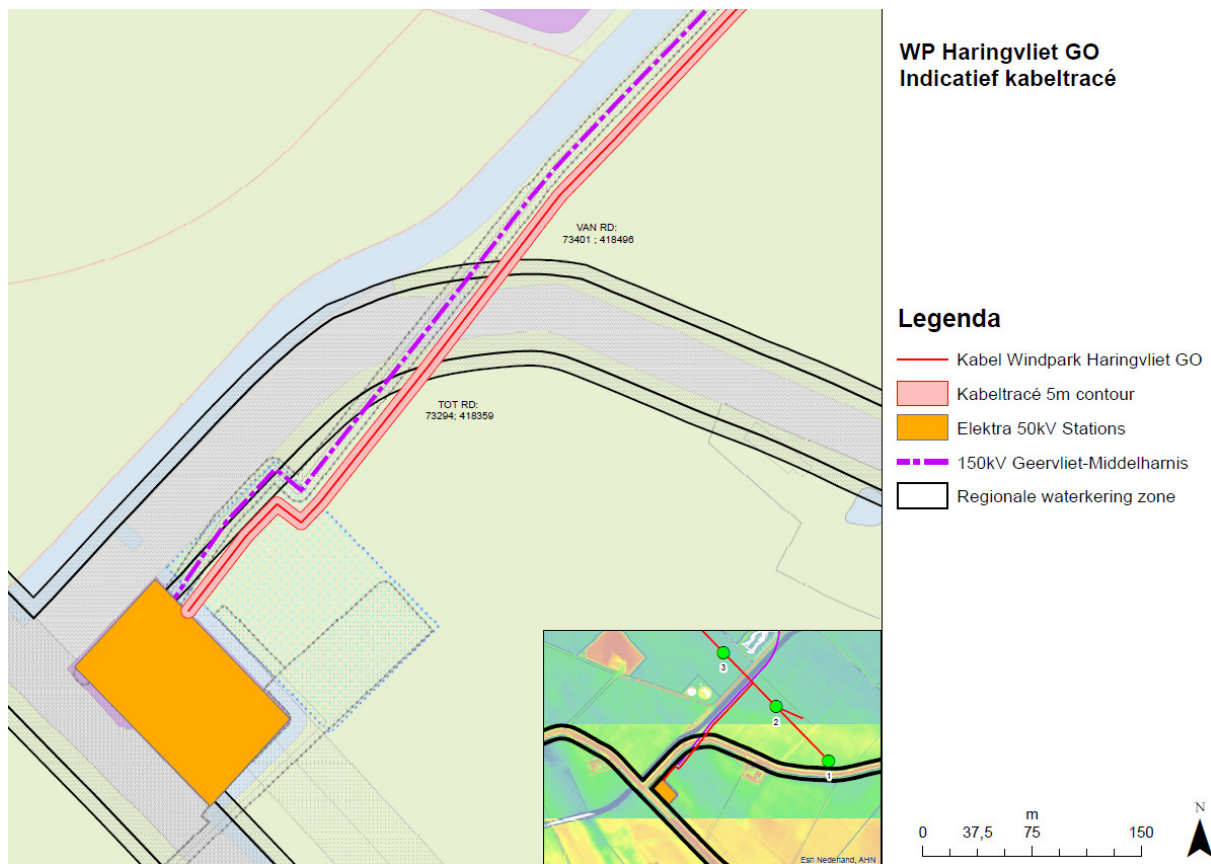
Naast elke windturbine zal een kraanopstelplaats worden gerealiseerd. Gangbare afmetingen zijn 30 m x 60 m. De kraanopstelplaatsen dienen geschikt te zijn voor belastingen door rupsbanden of kraanstempels. De rekenwaarde van de maximale funderingsdruk bedraagt veelal 200 kPa. Voor de kraanopstelplaats 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 stempelplaats.

Ontwerp toeritten

Transport naar en van de windturbinelocaties zal plaatsvinden over de Zeedijk. Vanaf de Zeedijk zal een toe- en afrit dienen te worden aangelegd. De wegverharding bestaat doorgaans uit een laag menggranulaat van circa 400 mm op een laag geogrid.

Windparkbekabeling

Voor de aansluiting van de windturbine zullen kabels (mantelbuis is niet toegestaan) worden aangelegd. Voor de diepteligging en tijdelijke ontgraving voor de kabels wordt uitgegaan van een sleuf met een diepte van 1,0 m en een breedte van 0,7 m. De ligging van het kabeltracé is aangegeven in Figuur 2-1.



Figuur 2-1: Ligging voorlopig kabeltracé

2.3 Projectfasering

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

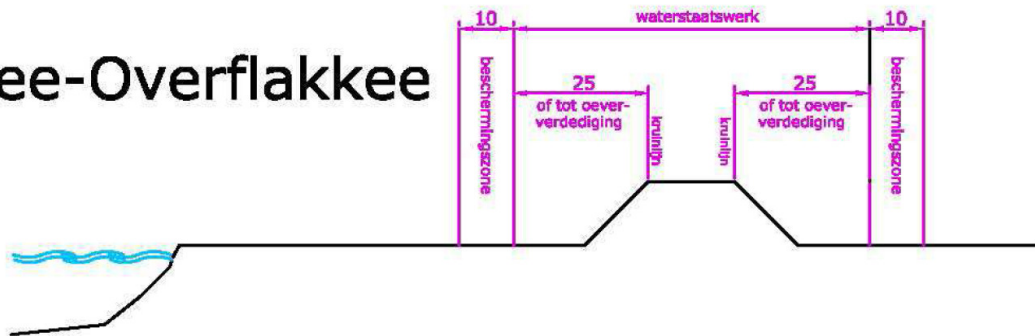
- **Bouwfase:** deze fase betreft de grondwerkzaamheden in de beschermingszone, namelijk grondophogingen voor de toe- en afrit en ontgravingen ten behoeve van bekabeling;
- **Gebruiksfase:** het operationeel zijn van de windturbine;
- **Verwijderingsfase:** deze fase betreft het verwijderen van de toe- en afrit en bekabeling. De oorspronkelijke situatie 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 2-2.

Goeree-Overflakkee



Figuur 2-2: Zonering secundaire waterkering

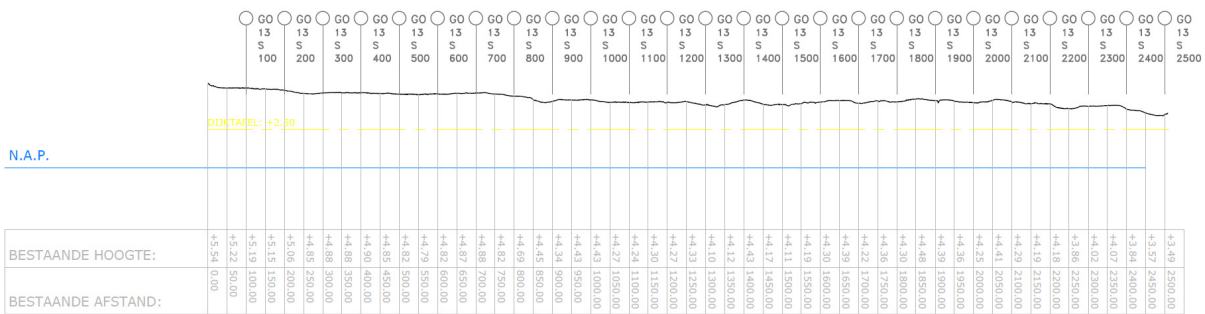
De verschillende zones worden hieronder nader beschreven.

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 2-2.

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 2-3. 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 2-3: Kruinhoogte in lengteprofiel van dijkvak GO-13

Beschermingszones

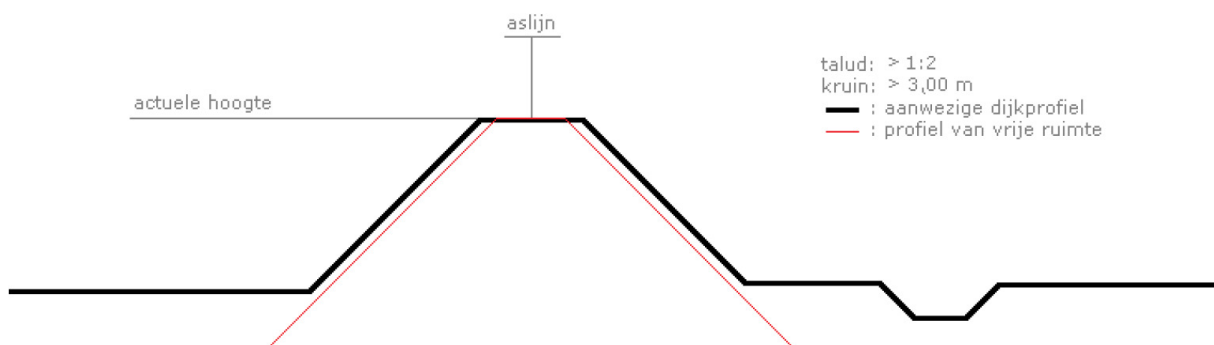
In de Legger is voor de secundaire waterkering van Goeree-Overflakkee een beschermingszone van 10 m gedefinieerd aan weerszijden van het waterstaatswerk, zie Figuur 2-2.

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 2-4.



Figuur 2-4: 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. Door de vergelijking wordt inzicht verkregen in de aanwezige 'veiligheidsmarge' voor de betreffende locatie.

Op basis van de procentuele afname van de stabiliteit en de veiligheidsmarge zal het waterschap bepalen of dit acceptabel is.

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:

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

3.2 Criteria ten aanzien van ruimtelijke inpassing

In de beleidsnota [REF.1] zijn de volgende criteria gesteld:

1. Bouwwerken mogen (inclusief de onderste funderingsbalk) het profiel van vrije ruimte niet doorsnijden.
2. Indien het fysiek aanwezige profiel groter is dan het profiel van vrije ruimte dan moet het bouwwerk worden aangebracht boven het fysiek aanwezige maaiveld, met uitzondering van de fundering. Deze onderste funderingsbalk mag worden aangebracht met de gebruikelijke diepte van maximaal 1,00 m onder het fysiek aanwezige maaiveld.
3. Het bouwwerk mag niet in de kruin (profiel van vrije ruimte) van het waterstaatswerk worden aangebracht. Daarnaast moet het bouwwerk op minimaal 2,00 m uit de (teen)lijn van het (toekomstig) binnen- en/of buitentalud c.q. kruin (bij aangeheelde waterkeringen) worden aangebracht.
4. 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 bouwwerken en kabels en leidingen:

1. Het creëren en realiseren van holle ruimtes, als gevolg van de constructie (bijvoorbeeld kruipruimtes) en de uitvoering (bijvoorbeeld materiaal en methode van aanbrengen van funderingspalen) is niet toegestaan.
2. Indien er zettingen van de waterkering, als gevolg van de werkzaamheden, worden verwacht danwel ontstaan, moeten hiervoor passende maatregelen worden genomen.
3. 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.
4. De voorkeursvolgorde ten aanzien van kruisingen van waterkeringen betreft: open ontgraving, horizontaal gestuurde boring of een eventueel alternatief.
5. Kruisende kabels moeten de waterkering zo minimaal mogelijk (haaks) kruisen.

6. Kruisende kabels moeten onder de kleilaagdekking worden aangebracht (met uitzondering van gestuurde boringen).
7. Het gebruik van mantelbuizen bij het kruisen van waterkeringen in open ontgraving is niet toegestaan.
8. 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.
9. Kabels moeten zoveel als mogelijk worden geclusterd en/of in bestaande tracés worden aangebracht.
10. 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 waakhoogte 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 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 water 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]: $\gamma_d = 1,0$.

Voor de locaties waar de opdrukveiligheid lager is dan 1,2 wordt de binnenwaartse stabiliteit tevens berekend volgens het drukstaafmodel (UpliftVan). Bij dit model is de modelfactor afhankelijk van de opdrukveiligheid. Conform het Addendum bij het TRWG geldt: $\gamma_d = 1,5 - \frac{1}{2}n_{\text{opdruk}}$, waarbij n_{opdruk} de opdrukveiligheid met een waarde tussen 0,9 en 1,0. In de berekeningen zal worden uitgegaan van de maximale waarde van $\gamma_d = 1,05$.

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 zal worden 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 zal een lokaal grondonderzoek worden uitgevoerd om de bodemopbouw te schematiseren. Doordat lokaal onderzoek wordt uitgevoerd zullen afwijkingen in de schematisering gering. 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 kan 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 ($\gamma_R = \gamma_n \times \gamma_d \times \gamma_b \times \gamma_s$):

Projectgerelateerd

- Uitvoering: $\gamma_{R;Bishop} = 1,08 (=0,9 \times 1,0 \times 1,2)$ en $\gamma_{R;Uplift} = 1,13 (=0,9 \times 1,05 \times 1,2)$
- Gebruiksfase: $\gamma_{R;Bishop} = 1,20 (=1,0 \times 1,0 \times 1,2)$ en $\gamma_{R;Uplift} = 1,26 (=1,0 \times 1,05 \times 1,2)$

4 Geotechnisch ondergrondmodel

Voor het beoordelen van de veiligheid van de waterkering ten aanzien van geotechnische faalmechanismen zal een geotechnisch ondergrondmodel worden opgezet. Dit model wordt 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.

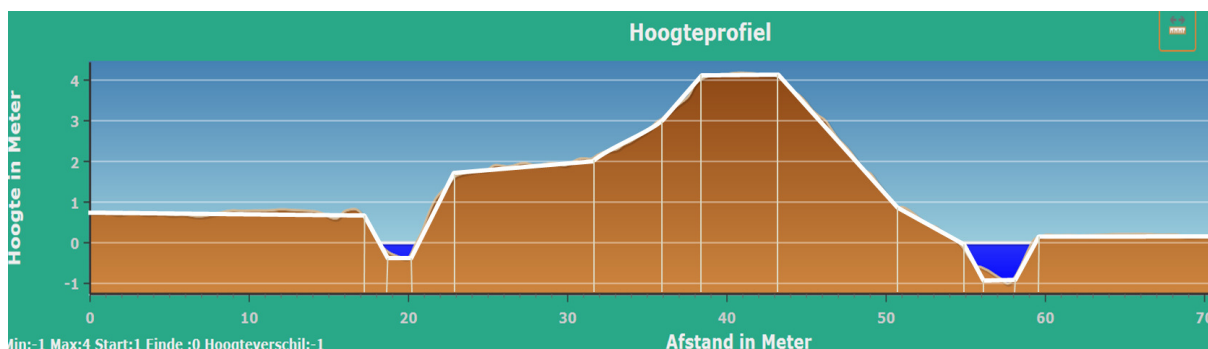
4.1 Geometrie

Ter plaatse van de geplande windturbinelocaties is op basis van de Algemene Hoogtekaart van Nederland (AHN) een dwarsprofiel gegenereerd. De profielen zijn weergegeven in bijlage A1.

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;
- Aan de binnenzijde is een berm aanwezig met hoogte van NAP +1,5 à +2,5 m
- In de binnenteen is een kwelsloot aanwezig met een bodemniveau op NAP -0,3 à -0,5 m;
- Het achterland (binnenzijde) 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;
- Het voorland (buitenzijde) 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

4.2 Bodemopbouw

4.2.1 Beschikbaar grondonderzoek

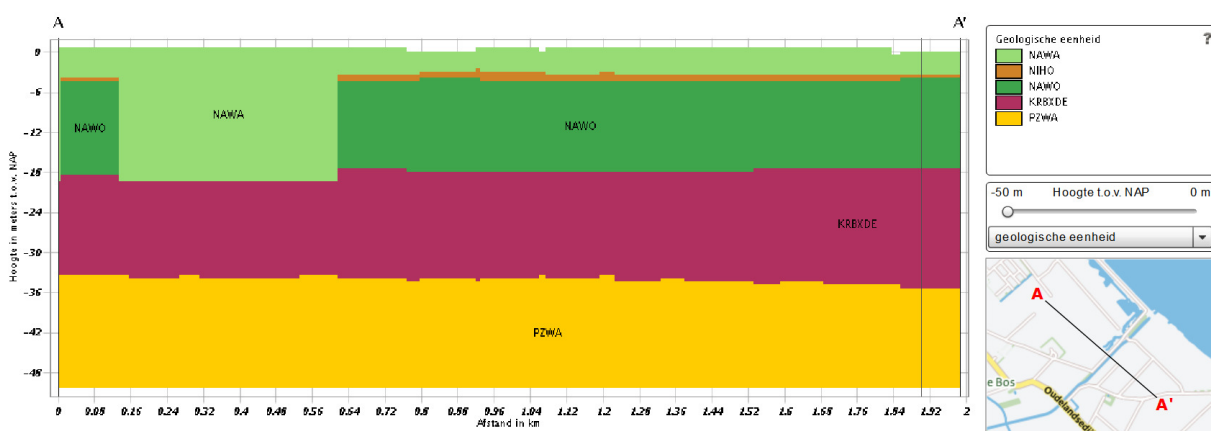
Er is op dit moment geen grondonderzoek beschikbaar ter plaatse van de Zeedijk en de windturbinelocaties. In het digitale archief van NITG-TNO (DinoLoket) is een beperkt aantal boringen beschikbaar aan de zuidzijde van de Zeedijk, zie Figuur 4-2. De bodemprofielen van de boringen B43B0441 en B43B0445 zijn weergegeven in bijlage A2.



Figuur 4-2: Locatie beschikbare boringen uit DinoLoket

4.2.2 Geologische bodemopbouw

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 4-3.



Figuur 4-3: Geologische doorsnede projectgebied

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

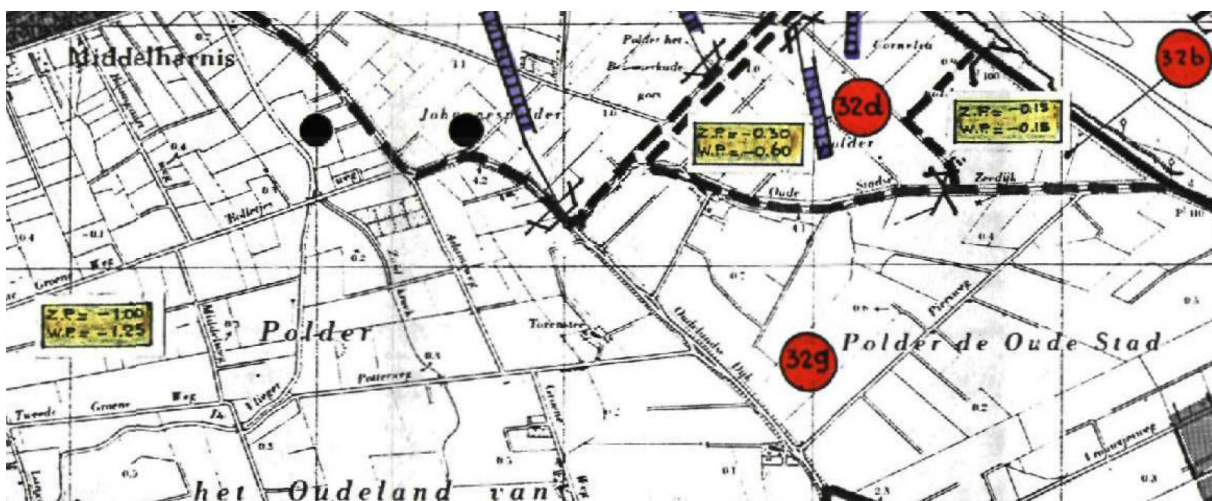
- Van maaiveld tot ca. NAP -4 m: Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren ('NAWA'), gekenmerkt door een sterk variabele samenstelling, variërend van grof zand tot zwak siltige klei;
- Van ca. NAP -4 m tot NAP -4,5 m: Formatie van Nieuwkoop, Hollandveen laagpakket ('NIHO'), bestaande uit veen;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

De geologische doorsnede toont aan dat in het noordwesten mogelijk een oude geul aanwezig is, waarbij de oude geul is opgevuld met afzettingen van Laagpakket van Walcheren. Het aantal boringen waarop het ondergrondmodel is gebaseerd is echter te beperkt om de ligging van de geulen vast te stellen.

4.3 Waterstanden

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

- Binnenwaartse polderpeil (peilgebied 32d van de Johan Koert bemalingsgebied, zie Figuur 4-4):
 - o Zomerpeil: NAP -0,30 m
 - o Winterpeil: NAP -0,60 m
- Buitenwaartse polderpeil (peilgebied 32g van de Johan Koert bemalingsgebied, zie Figuur 4-4):
 - 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 4-4: peilgebieden met zomer- en winterpeilen (Waterschap Hollandse Delta)

4.4 Modelling verloop waterstanden

Het verloop van de freatische waterstand bij optreden van een maatgevende hoogwaterstand is afhankelijk van de opbouw van de dijk en zal worden gemodelleerd volgens bijlage 1 van het 'Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken' (TRWD).

5 Belastingen op de waterkering

5.1 Kruinbelasting

Voor de beschouwing van de macrostabiliteit zal rekening worden gehouden met een kruinbelasting op de Zeedijk als gevolg van zwaar materieel (transport tijdens de bouw of tijdens een calamiteit). De in rekening te brengen verkeersbelasting bedraagt $13,5 \text{ kN/m}^2$ 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 ongedraineerd reageert.

5.2 Belasting door trillingen

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

Trillingen tijdens gebruik

Tijdens de gebruiksfase kunnen trillingen ontstaan als gevolg van cyclische windbelastingen. Uit monitoringsgegevens voor 3MW turbines zijn horizontale versnellingen aan het funderingsblok gemeten van circa $10 - 40 \text{ mm/s}^2$ en verticale versnellingen van circa $15 - 80 \text{ mm/s}^2$ [REF.7].

Voor de windturbines wordt uitgegaan van de maximaal gemeten versnellingen voor het funderingsblok:

- $a_h = 40 \text{ mm/s}^2$, ofwel $0,004g$;
- $a_v = 80 \text{ mm/s}^2$, ofwel $0,008g$.

Dit is een zeer conservatieve aanname aangezien de windturbine op grote afstand van de waterkering staan. In de stabiliteitsberekeningen wordt voor het gehele grondmodel een gelijke versnelling opgelegd. Dit is een conservatieve aanname. De trilling zal in werkelijkheid door de grotere afstand tot de turbine zijn afgenomen.

Waterspanningen door trillingen tijdens gebruik

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

6 Beoordeling van effecten op faalmechanismen waterkering

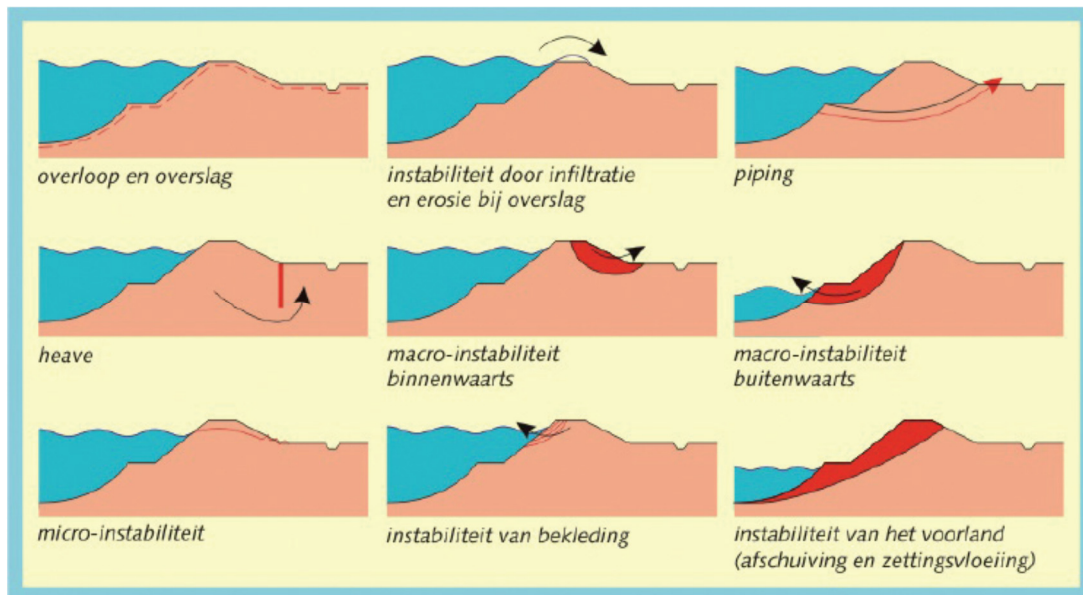
6.1 Beoordelingskader

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

Overeenkomstig de STOWA Handreiking dient de veiligheid tegen falen van de regionale waterkering beoordeeld te worden op de volgende mechanismen (zie ook figuur 6-1):

- Hoogte (HT)
- Piping en Heave (STPH)
- Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI)
- Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU)
- Microstabiliteit (STMI)
- Stabiliteit bekleding (STBK)
- Stabiliteit voorland (STVL)



Figuur 6-1 Faalmechanismen hoogte en stabiliteit (afbeelding uit VTV2006)

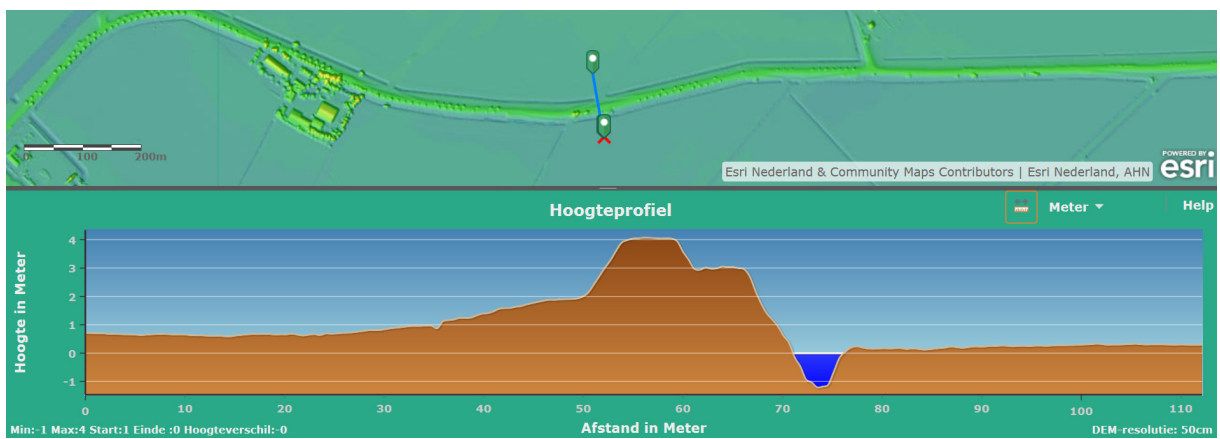
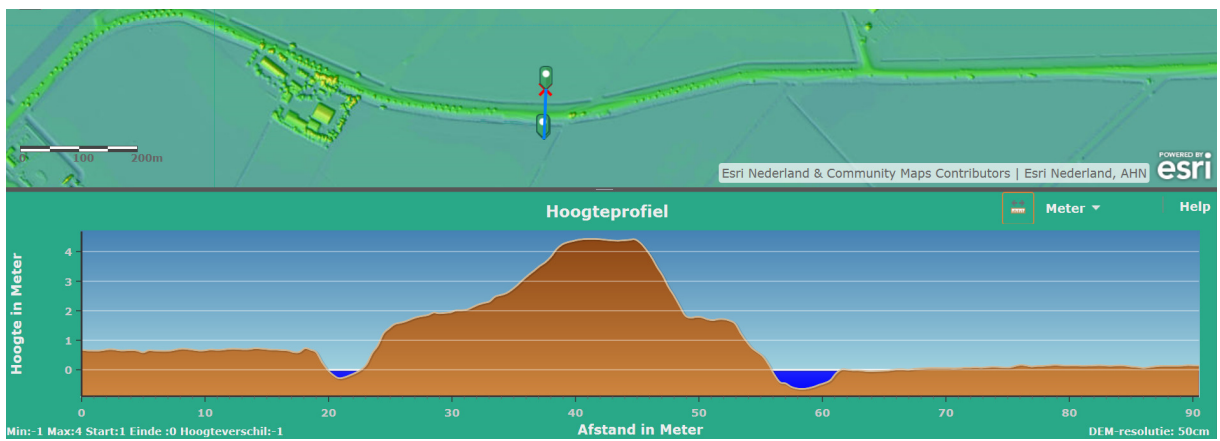
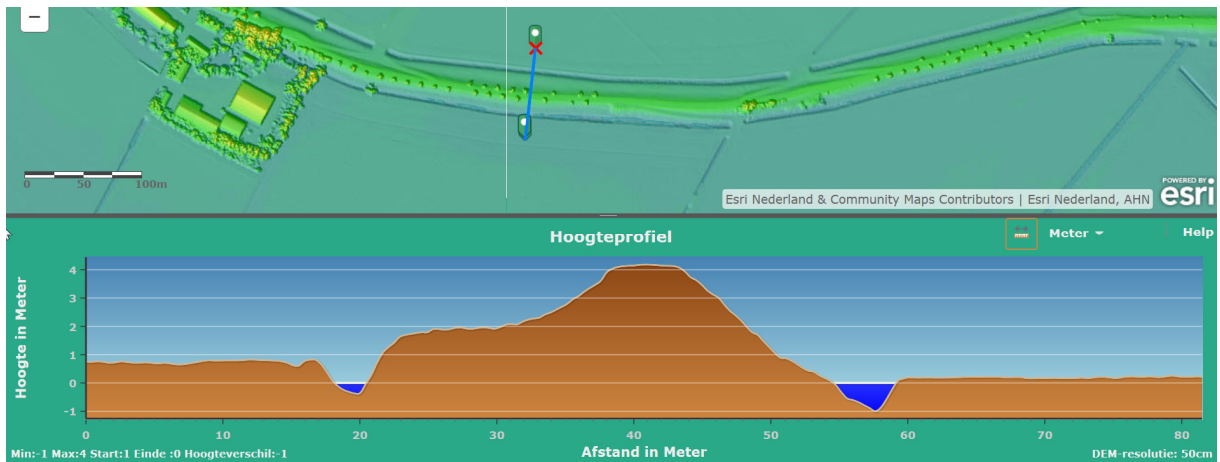
In dit hoofdstuk zal per mechanisme een effectenbeoordeling worden uitgevoerd. Verwacht wordt dat voor de meeste mechanismen een kwalitatieve beoordeling kan worden uitgevoerd.

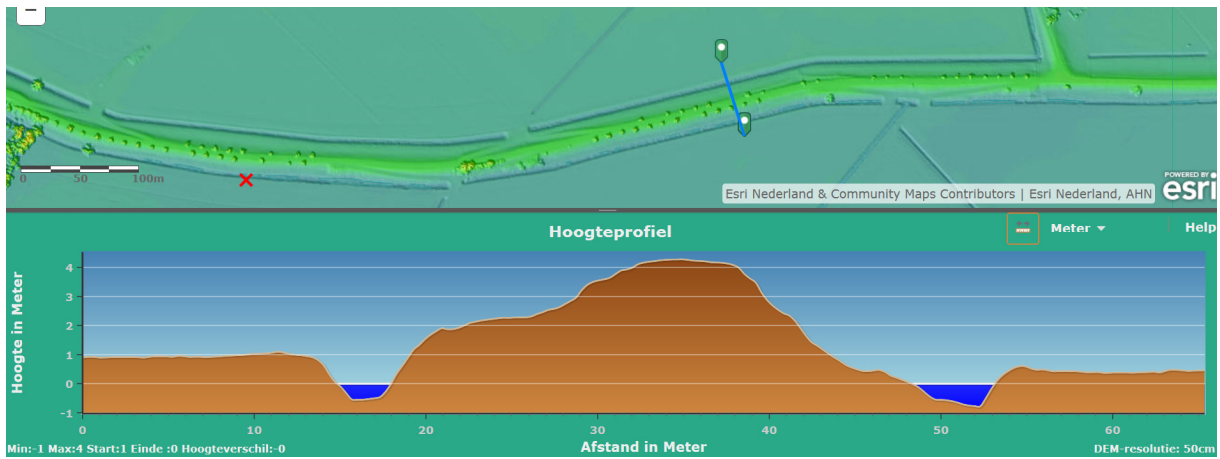
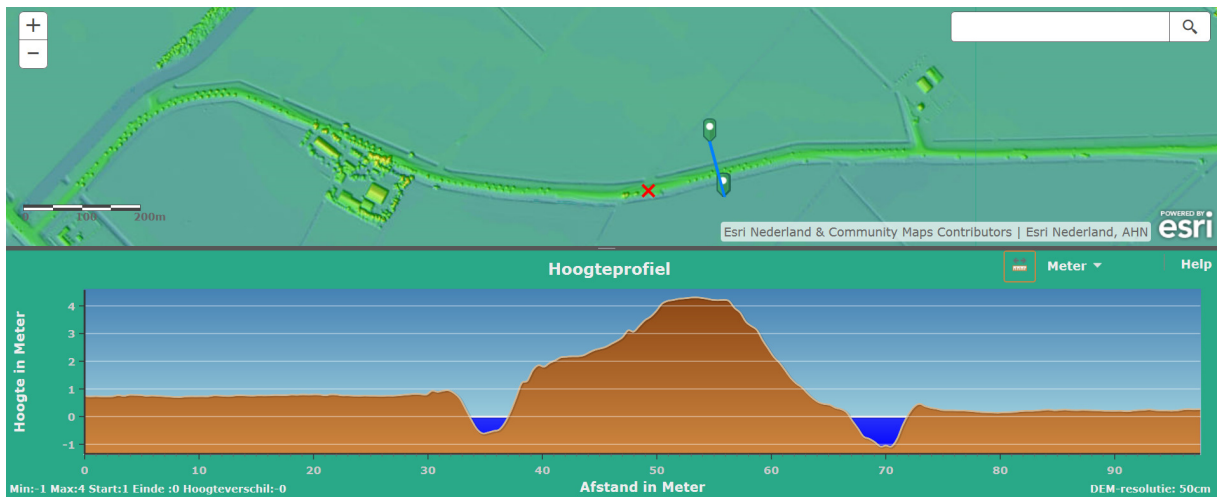
7 Referenties

- [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.

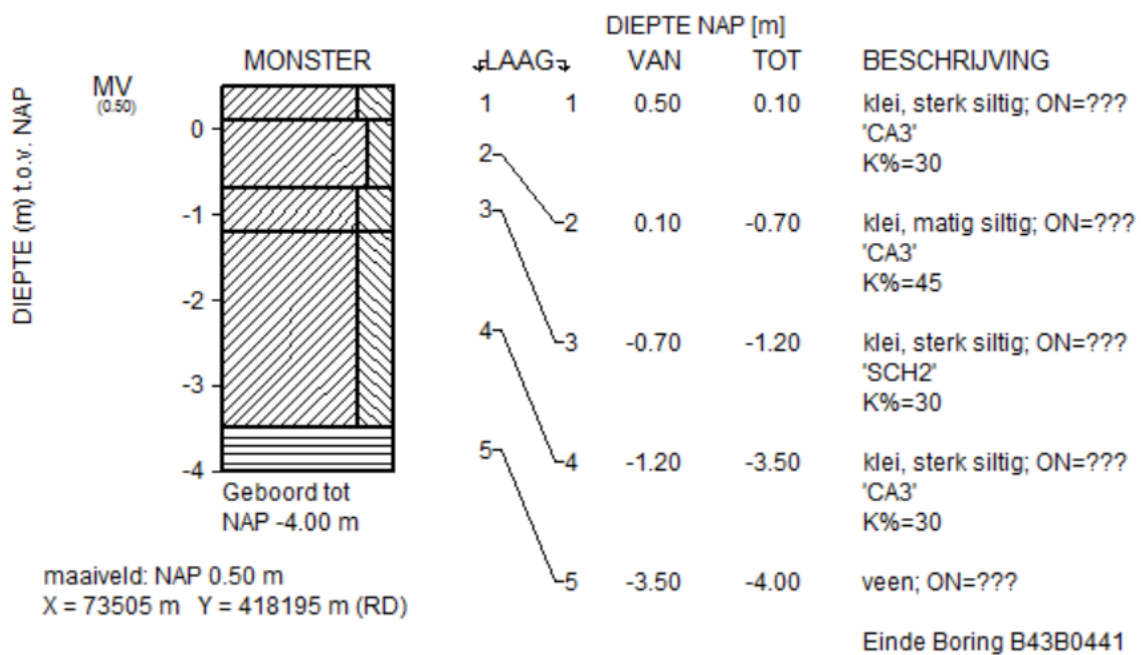
A1 Dwarsprofielen waterkering (AHN)

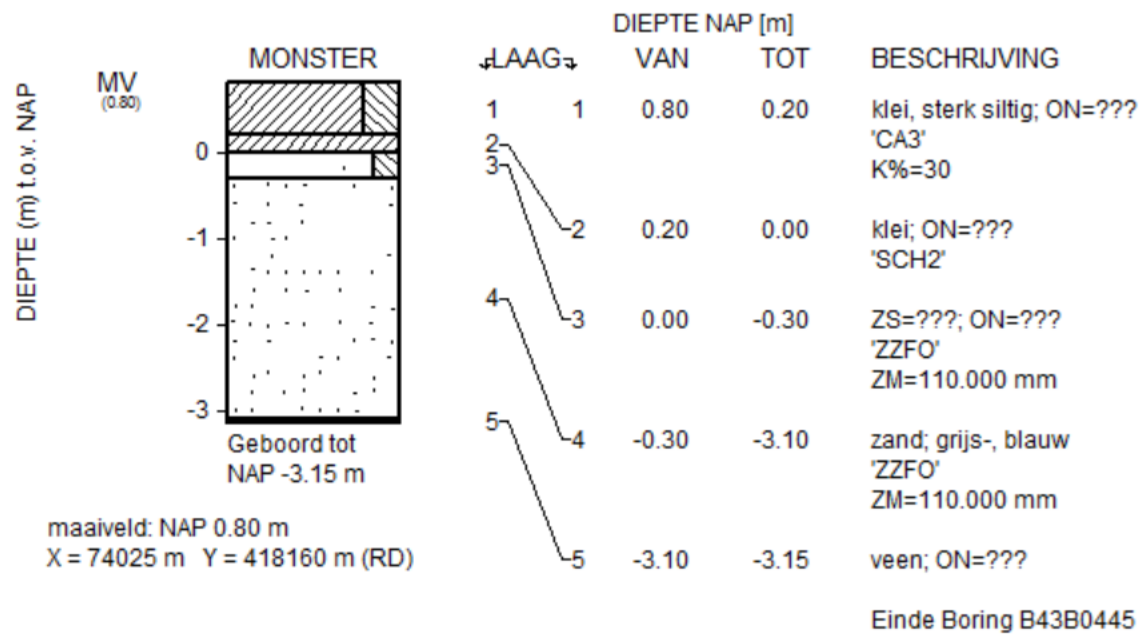
Projectgerelateerd





A2 Beschikbaar grondonderzoek





A3 Sterkteparameters ondergrond

Projectgerelateerd

Tabel A1-1: Sterkte-eigenschappen ondergrond voor Goeree-Overflakkee [REF.2]

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	17,5	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	25	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	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	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