



Windpark Krammer te Bruinisse

Toets primaire waterkering

Document title: Toets primaire waterkering

Status: Definitief, versie R3.0

Date: 16 juni 2013

Project name: Windpark Krammer te Bruinisse

Project number: BB4544

Client: Vereniging Zeeuwind en Coöperatie Deltawind

Client contact: Marco Spaans

Reference: MW-AF20130025

Drafted by: Jurgen Cools

Checked by: Joris Truijens, Dennis Hordijk en Ilse Hergarden

Date / initials check: 16 juni 2013 / Ilse Hergarden

Approved by: Hans van Leeuwen

Date / initials approval:

Cover: bron Google Earth

1	Inleiding	5
1.1	Algemeen	5
1.2	Projectaanpak & gehanteerde uitgangspunten	5
1.3	Leeswijzer	6
2	Projectomschrijving windpark Krammer	7
2.1	Locatie.....	7
2.2	Primaire waterkeringen	7
2.3	Technisch haalbaarheidsonderzoek 2011	9
2.4	Relatie windpark Krammer tot primaire waterkeringen	9
2.5	Sectie-indeling.....	12
2.6	Windparkonderdelen	13
2.7	Projectfasering	14
3	Beschikbare informatie	15
3.1	Normen en richtlijnen	15
3.2	Dijktoetsingen.....	15
3.3	Dijkprofielen	15
3.4	Voorontwerp	16
3.4.1	Voorontwerp windturbinefundatie	16
3.4.2	Voorontwerp kraanopstelplaatsen	19
3.4.3	Voorontwerp bouwwegen/onderhoudswegen	20
3.4.4	Voorontwerp windparkbekabeling	20
3.4.5	Voorontwerp tracé netaansluiting	22
3.4.6	Voorontwerp transformatorstation	23
4	Uitgangspunten & Randvoorwaarden	25
4.1	Toetssporen	25
4.2	Hydraulische randvoorwaarden.....	25
4.3	Bodemopbouw en grondeigenschappen	26
4.4	Terreinbelastingen.....	27
4.5	Eigenschappen ophoog- en aanvulmaterialen	27
4.6	Trillingen windturbinefundatie.....	28
4.6.1	Trillingen in de bouwfase.....	28
4.6.2	Trillingen windturbine in de gebruiksfase	30
4.6.3	Trillingen tijdens verwijdering funderingselementen	30

4.7	Stabiliteitsfactor binnenwaartse macrostabiliteit	30
5	Toets primaire waterkering	33
5.1	Toetsing hoogte (HT)	33
5.1.1	Huidige veiligheid	33
5.1.2	Mogelijke effecten op de functionaliteit.....	34
5.1.3	Beoordeling van effecten.....	34
5.1.4	Resultaten toetsing hoogte.....	35
5.2	Toetsing piping en heave (STPH)	36
5.2.1	Huidige veiligheid	36
5.2.2	Mogelijke effecten op de functionaliteit.....	36
5.2.3	Beoordeling van effecten.....	36
5.2.4	Resultaten toetsing piping en heave	36
5.3	Toets binnenwaartse macrostabiliteit (STBI)	37
5.3.1	Huidige veiligheid	37
5.3.2	Mogelijke effecten op de functionaliteit.....	38
5.3.3	Beoordeling van effecten.....	38
5.3.4	Resultaten toetsing binnenwaartse macrostabiliteit.....	42
5.4	Toets buitenwaartse macrostabiliteit (STBU)	43
5.4.1	Huidige veiligheid	43
5.4.2	Mogelijke effecten op de functionaliteit.....	43
5.4.3	Beoordeling van effecten.....	44
5.4.4	Resultaten toetsing buitenwaartse macrostabiliteit.....	47
5.5	Toets microstabiliteit (STMI).....	48
5.5.1	Huidige veiligheid	48
5.5.2	Mogelijke effecten op de functionaliteit.....	48
5.5.3	Beoordeling van effecten.....	48
5.5.4	Resultaten toetsing microstabiliteit	48
5.6	Toets stabiliteit voorland (STVL)	49
5.6.1	Huidige veiligheid	49
5.6.2	Mogelijke effecten op de functionaliteit.....	49
5.6.3	Beoordeling van effecten.....	50
5.6.4	Resultaat toetsing stabiliteit voorland	50
5.7	Toets bekleding (STBK)	51
5.7.1	Huidige veiligheid	51
5.7.2	Mogelijke effecten op de functionaliteit.....	51

5.7.3	Beoordeling van effecten.....	52
5.7.4	Resultaten toetsing bekleding	52
5.8	Toets NWO: kabels en transformatorstation	53
5.8.1	Algemeen	53
5.8.2	Mogelijke effecten op de functionaliteit.....	53
5.8.3	Kwalitatieve beoordeling van effecten	53
5.8.4	Resultaten toetsing kabels en transformatorstation.....	54
6	Overzicht toetsresultaten en maatregelen.....	55
6.1	Overzicht toetsresultaten.....	55
6.2	Maatregelen	58
6.3	Gevoeligheidsanalyse	59
7	Eindconclusie.....	63
8	Referenties	64
	Bijlage 1 Voorontwerp civiele werken	66
	Bijlage 2 Clustering	69
	Bijlage 3 Glijvlakken stabiliteitsberekeningen	72
	Macrostabiliteit binnenwaarts	73
	Macrostabiliteit buitenwaarts	77

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Het project windpark Krammer is een initiatief van Vereniging Zeeuwind en Coöperatie Deltawind. Het project betreft de ontwikkeling, realisatie en exploitatie van windpark Krammer, verder te noemen "het windpark". Het voorkeursalternatief (MER windpark Krammer) voor het windpark bestaat uit 38 windturbines en is gelegen op en rondom het Krammersluizencomplex, de Philipsdam en Grevelingendam, te Bruinisse in de provincie Zeeland.

In 2011 is in opdracht van de Werkgroep 'pilot windpark Krammer' door Royal Haskoning een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden voor het plaatsen van windturbines in de kern- en beschermingszone rondom de Krammersluizen. Geconcludeerd is dat het plaatsen van windturbines technisch haalbaar is. Voor windturbines binnen circa 200 m (overeenkomstig met de maximale tiphoogte van de toendertijd beschouwde windturbineklasse, welke in de onderliggende rapportage 180 meter is) van de primaire waterkering geldt wel de voorwaarde, dat op basis van een risicoanalyse voor de windturbines aangetoond dient te worden dat de risico's voor de waterkering aanvaardbaar zijn.

Voor alle windparkonderdelen die deels of geheel zijn gelegen binnen de kern- en beschermingszone van de primaire waterkeringen, dient te worden aangetoond dat tijdens realisatie, gebruik en verwijderen van het windpark de standzekerheid van de primaire waterkeringen blijft voldoen aan de geldende toetsingscriteria, waarmee de waterveiligheid gewaarborgd blijft.

Dit rapport betreft de veiligheidstoetsing, verder te noemen "de toetsing", waarin wordt aangetoond dat bouw, gebruik en verwijderen van windpark Krammer geen negatief effect heeft op de waterkerende functie van de primaire waterkering in het projectgebied. Effecten en risico's ten gevolge van het mogelijk falen van de windturbines worden afzonderlijk beschouwd en vallen buiten het kader van deze veiligheidstoetsing.

1.2 Projectaanpak & gehanteerde uitgangspunten

De veiligheidstoetsing is gebaseerd op een voorontwerp op hoofdlijnen van de windparkonderdelen, welke maatgevend wordt verondersteld voor het uiteindelijke definitieve ontwerp. Dit is een conservatieve, zogenoemde 'worst case' benadering met betrekking tot de beoordeling van mogelijke effecten op de hoogte en stabiliteit van de waterkering.

In overeenstemming met de eis van Rijkswaterstaat is de veiligheidstoetsing uitgevoerd aan de hand van de VTV2006 en de HR2006. Als uitgangspunt ('nul'-situatie) voor de huidige waterstaatkundige staat zijn de uitkomsten en conclusies aangehouden van de in het kader van de 3^e landelijke toetsronde uitgevoerde toetsing van de Philipsdam en Grevelingendam. Deze toetsresultaten betreffen de meest recente opname van de veiligheidsstoestand op basis van de door het Rijk (staatssecretaris) vastgestelde vigerende kennis en inzichten. De effecten van het windpark zijn beoordeeld ten opzichte van deze 'nulsituatie'.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zal een toelichting op het project en de verschillende projectonderdelen worden weergegeven. Binnen dit hoofdstuk zal ook de relatie van de locaties van de windturbinefunderingen met betrekking tot de primaire waterkering worden besproken.

Hoofdstuk 3 geeft een beknopte omschrijving van de beschikbare informatie en resultaten voortkomend uit de waterstaatkundige toetsing van de Grevelingendam en de Philipsdam.

In hoofdstuk 4 worden de uitgangspunten en randvoorwaarden beschreven zoals gehanteerd bij de toetsing.

De toetsing per toetsspoor is uitgewerkt in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 is een overzicht gegeven van de resultaten en daarbij behorende scores. Tevens wordt in dit hoofdstuk nader ingegaan op mogelijke technische voorwaarden, mogelijke maatregelen en is er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

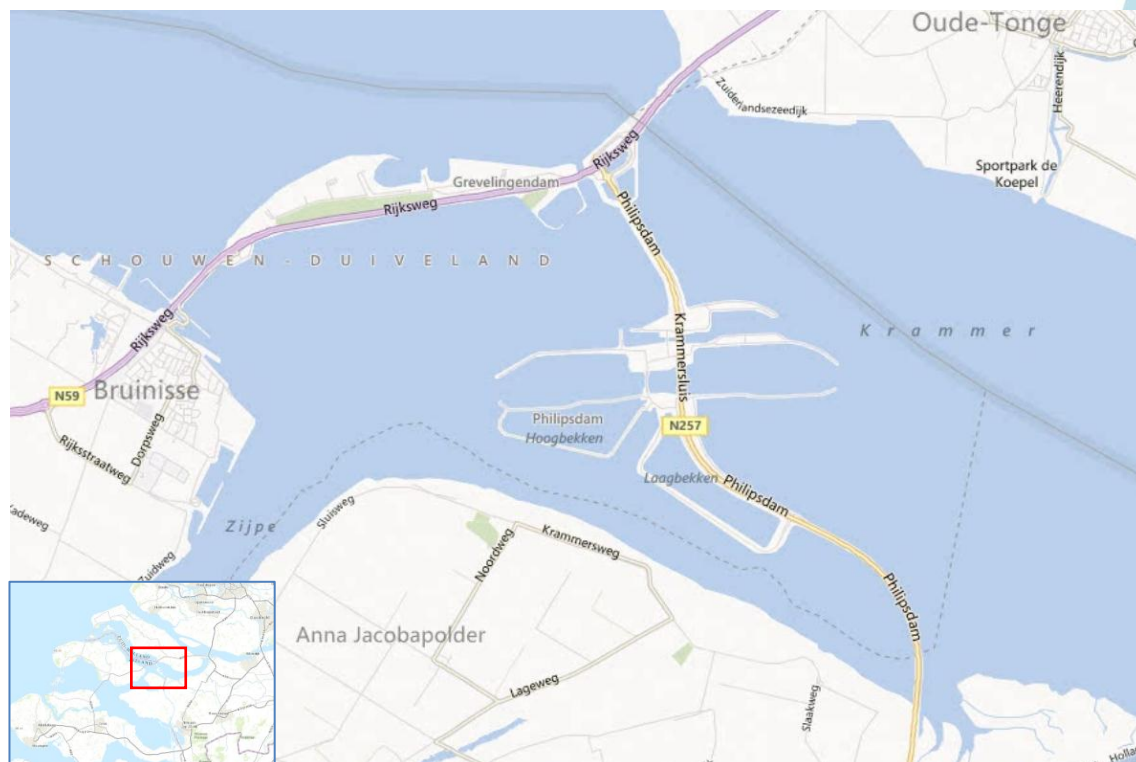
In hoofdstuk 7 is de eindconclusie, op basis van de uitgevoerde toetsing en de gevoeligheidsanalyse weergegeven.

2 Projectomschrijving windpark Krammer

2.1 Locatie

Het voorkeursalternatief (MER Windpark Krammer) voor het windpark bestaat uit 38 windturbines in de vermogensklasse van 3 MW. De lay-out van het windpark kenmerkt zich door twee concentratiegebieden, “wolken”. Eén rondom het sluisencomplex en één rondom het verbindingseiland Grevelingendam – Philipsdam, Zeeland.

Het project kenmerkt zich verder door in meerdere of mindere mate gecompliceerde waterstaatkundige situaties, dijken en dammen al dan niet als onderdeel van de primaire waterkering. In onderstaande figuur is de ligging van de Philipsdam en Grevelingendam weergegeven.



Figuur 2-1: Ligging Philipsdam en Grevelingendam (bron: BING maps)

2.2 Primaire waterkeringen

Het windpark is gelegen op en nabij het Krammersluizencomplex, de Grevelingendam en de Philipsdam. Zowel de Grevelingendam als de Philipsdam maakt deel uit van het stelsel van primaire waterkering die, volgens de Waterwet, een waterstand moet kunnen keren met een overschrijdingsfrequentie van gemiddeld 1:4000 jaar, dat wil zeggen een hoogste hoogwaterstand die gemiddeld één keer in de 4000 jaar voor komt. De normfrequentie is het aanvaarde veiligheidsniveau voor het gebied dat beschermd wordt door de betreffende primaire waterkering en daarmee het risico van een overstroming. Daarbij wordt opgemerkt dat de overstromingskans niet gelijk is aan de normfrequentie. De normfrequentie heeft enkel

betrekking op de kans op overstroming door het overschrijden van een bepaalde waterstand (hoogste hoogwaterstand ofwel het toetspeil/Maatgevend Hoogwater (MHW)).

Opgemerkt wordt dat sprake is van een zogeheten verbindende kering (categorie b waterkering en deels categorie c waterkering). Bij doorbraak van bijvoorbeeld het deel Philipsdam zal er water vanuit de Oosterschelde in het Volkerak-Zoommeer stromen, waardoor de waterstand in dit watersysteem toeneemt en sprake is van zout/zoet vermenging. Er is geen direct gevaar voor personen of objecten. Door de verhoogde waterstand op het Volkerak-Zoommeer zal de belasting op de erachter gelegen waterkeringen toenemen, maar zal niet direct sprake zijn van inundatie van polders. De veiligheid van achterliggende polders komt pas in gevaar bij doorbraak van de langs het Volkerak-Zoommeer gelegen waterkering.

Grevelingendam

De Grevelingendam is een verbindende waterkering (nr. 16) die dijkkringgebied 25, Goeree-Overflakkee, verbindt met dijkkringgebied 26, Schouwen-Duiveland. De dam bestaat uit 4,6 km primaire waterkering van de categorie b en 1,3 km primaire waterkering van de categorie c. De huidige functie is waterkering voor hoogwater vanuit de Oosterschelde en het Volkerak-Zoommeer.

De primaire waterkering of verbindende waterkering tussen Schouwen-Duiveland en de Philipsdam behoort tot 'categorie b'. Dit zijn waterkeringen die een zee- of rivierarm af (kunnen) sluiten van de directe invloed van buitenwater. Ze vormen een functioneel bestandsdeel, waarmee achterliggende en/of verbonden dijkkringgebieden worden beveiligd.

De primaire waterkering of verbindende waterkering tussen de Philipsdam en Goeree-Overflakkee behoort tot 'categorie c'. Dit zijn waterkeringen die behoren tot stelsels die dijkkringgebieden omsluiten en niet bestemd zijn tot directe kering van buitenwater.

De Grevelingendam is gebouwd in de periode van 1958 tot en met 1965 door middel van caissons, het storten van grote betonblokken via een kabelbaan en het opspuiten van zand. Het doel van de dam ten tijde van de bouw was het beperken van stromingen bij de bouw van de Brouwersdam; de Oosterscheldekering en de Haringvlietdam waren nog niet gereed. De kruinhoogte van de Grevelingendam bedraagt circa NAP +6,00 m over de gehele lengte.

Bij Bruinisse is in de dam een schutsluis gebouwd voor de scheepvaart. Tussen 1980 en 1984 is in de Grevelingendam een doorlaatmiddel gebouwd, de Flakkeese Spuisluis.

Philipsdam

De Philipsdam (verbindende waterkering nr. 17) verbindt de verbindende waterkering 16 (Grevelingendam) met dijkkringgebied 27 (Tholen en St. Philipsland). De Philipsdam is een primaire verbindende waterkering van de categorie b en heeft een lengte van 7,8 km. De dam beschermt het achterland tegen het buitenwater van het Zijpe, een uitloper van de Oosterschelde. Verder grenst de dam aan het Krammer-Volkerak. Grotendeels is een breed voorland aanwezig.

De Philipsdam is gereedgekomen in 1987 en bestaat uit een opgespoten zandlichaam en een sluisencomplex. De functie van de Philipsdam is compartimentering en het verzorgen van een stabiele waterstand op het (zoete) Volkerak-Zoommeer en de aansluitende Schelde-Rijnverbinding. De hoogte van de Philipsdam varieert van NAP +5,2 m nabij het Laagbekken tot NAP +7,8 tussen de twee sluisencomplexen.

De Philipsdam bevat de Krammersluizen, met daarin drie waterkerende kunstwerken:

- Jachtensluizen;
- Duwvaartsluizen;
- Schuivengebouwen.

Deze kunstwerken bestaan uit vier sluizen en de gemalen met de schuivengebouwen die in open verbinding staan met het buitenwater van het Zijpe.

2.3 Technisch haalbaarheidsonderzoek 2011

In 2011 is in opdracht van de Werkgroep 'pilot windpark Krammer' door Royal Haskoning een onderzoek [REF18] uitgevoerd naar de mogelijkheden voor het plaatsen van windturbines in de kern- en beschermingszone rondom de Krammersluizen. Voor een aantal representatieve locaties is een beoordeling uitgevoerd van de effecten op de functionaliteit, het beheer en onderhoud en eventuele toekomstige versterkingen van de waterkering.

Op basis van het technische haalbaarheidsonderzoek zijn de volgende conclusies getrokken:

- Het plaatsen van windturbines is technisch haalbaar geacht voor locaties die zich op grotere afstand bevinden dan 200 meter (overeenkomend met de maximale tiphoogte van de beschouwde 6 MW turbineklasse) van de primaire waterkering. Het betreft hier de havendammen van de Philipsdam. Voor deze locaties zijn effecten op de stabiliteit van het voorland (zettingsvloeiing) ten gevolge van heitrillingen als 'matig' beoordeeld, waarbij in de rapportage wordt opgemerkt dat de havendammen geen onderdeel van de primaire kering zijn, waardoor (tijdelijke) schade vanuit waterkeringoogpunt aanvaardbaar is.
- Voor locaties op minder dan 200 meter afstand van de primaire waterkering is plaatsing van windturbines technisch haalbaar geacht, mits op basis van een risicoanalyse voor de windturbines kan worden aangetoond dat de risico's voor de waterkering aanvaardbaar zijn. Naast effecten door falen zijn effecten ten gevolge van heitrillingen (zettingsvloeiing, afschuiven, zetting) als 'groot' en 'middel' beoordeeld. Om mogelijke nadelige gevolgen van de effecten weg te nemen, is het van belang dat er diverse maatregelen worden getroffen. Een trillingsvrij paalsysteem of stabiliteitsvoorzieningen zijn voorgesteld als mogelijke maatregelen.
- Voor windturbines langs het Laagbekken is aangegeven dat hier een tweede (niet primaire) kering achterlangs loopt, die de waterkerende functie in geval van onverhoopte dijkdoorbraak kan overnemen. De risico's zouden in dat geval zonder voorwaarden aanvaardbaar zijn. Een dergelijke systeembenadering kan echter wel gevolgen hebben voor het beheer van de achterliggende kering.
- De te treffen maatregelen bestaan voor een deel uit het vooraf maken en vastleggen van heldere afspraken tussen de waterkeringbeheerder en de initiatiefnemers. Afhankelijk van de uitkomsten van benodigd aanvullend grondonderzoek en hierop gebaseerde stabiliteitsberekeningen zijn er wellicht ook fysieke risicobeperkende maatregelen nodig. Hierbij wordt bijvoorbeeld gedacht aan het aanpassen van de uitvoeringsmethode (zoals aanpassing van de hei-intensiteit of keuze voor boorpalen) of het aanbrengen van voorzieningen om de stabiliteit van de waterkering in de bouw- en verwijderingsfase van windturbines te kunnen garanderen.

2.4 Relatie windpark Krammer tot primaire waterkeringen

Met uitzondering van de windturbinelocaties ter plaatste van het Hoogbekken bevinden alle geplande windturbinelocaties zich in de kern- of beschermingszone van de primaire waterkering (conform de leggerprofielen van RWS [REF 6] [REF 7]). In de Legger worden waterwerken, welke geen directe waterkerende functie hebben, ook tot de kernzone gerekend, bijvoorbeeld de aanwezige havendammen

ter hoogte van het Krammersluizencomplex. De havendammen hebben een golfremmende werking en geen waterkerende functie.

De begrenzing van de beschermingszone valt nu veelal samen met de begrenzing van de bestorting op het voorland. Dit is de maatgevende begrenzing die in de Legger is vastgesteld op basis van maatgevende invloedslijnen, welke rekentechnisch zijn bepaald voor:

1. de stabiliteit van de dijk (macrostabiliteit en piping) en
2. de stabiliteit van het voorland.

Voor de leggerprofielen van de Grevelingendam en de Philipsdam is de stabiliteit van het voorland maatgevend en valt de zonegrens samen met de begrenzing van de bestorting in het voorland/achterland. Veelal is er in de beschermingszone ook ruimte gereserveerd voor toekomstige versterkingen.

In samenspraak met RWS is afgesproken dat enkel de windturbinelocaties welke zich op de 'kortste afstand' van de primaire waterkering bevinden en/of mogelijk een bedreiging zouden kunnen vormen voor de waterkerende functie getoetst dienen te worden volgens de daarvoor geldende normen.

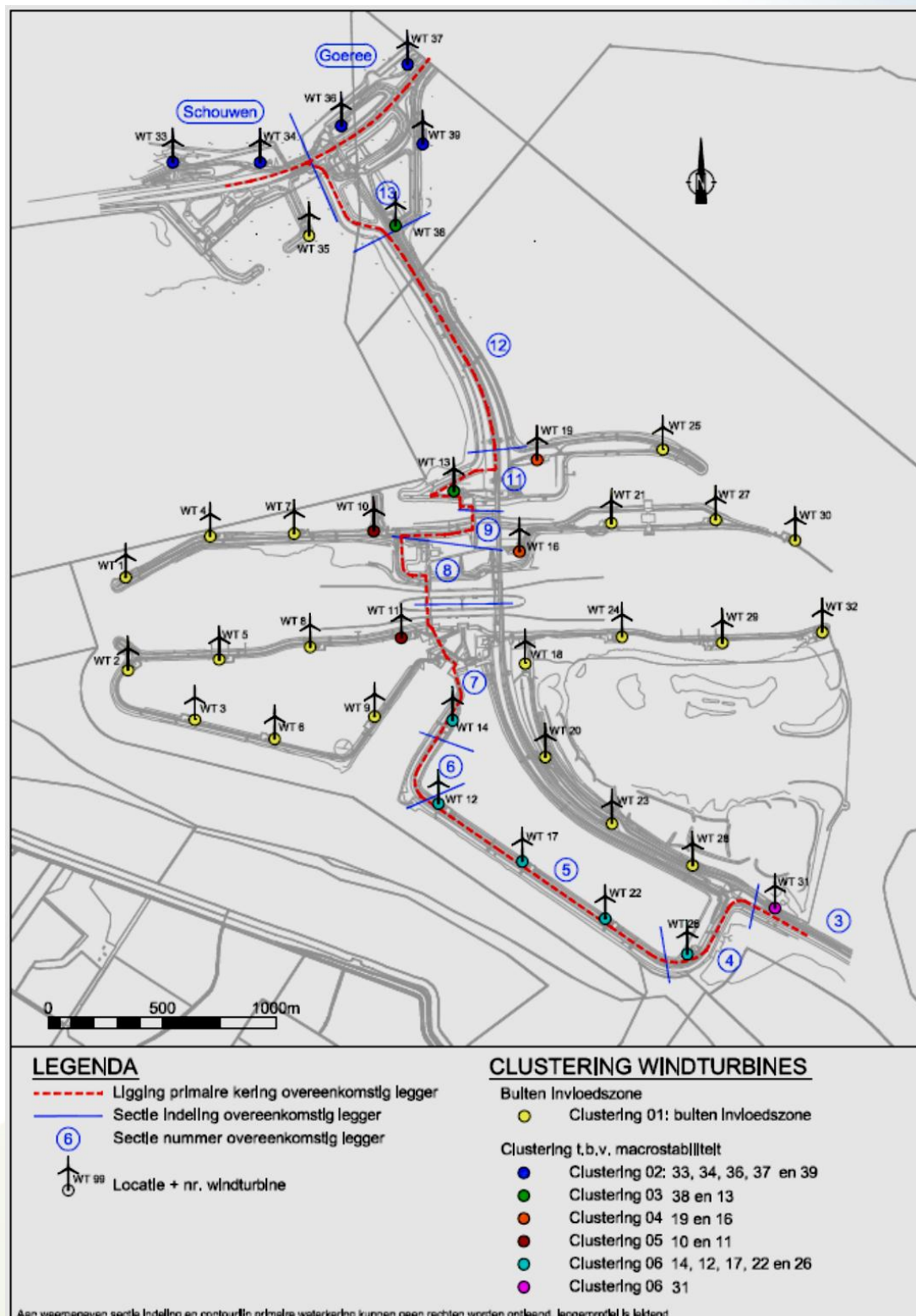
Opgemerkt wordt dat de afstand van 200 meter, zoals eerder door Royal Haskoning in de technische effectbeoordelingen [REF18] is gehanteerd (zie voorgaande paragraaf) in deze veiligheidstoetsing niet is aangehouden, omdat deze samenhangt met het falen van een windturbine in de 6 MW klasse. Deze afstand is voor de veiligheidstoetsing niet relevant (falen van een windturbine of een onderdeel van een windturbine wordt afzonderlijk beschouwd).

Voor de veiligheidstoetsing is als begrenzing uitgegaan van de windturbines die zijn gelegen binnen het invloedsgebied voor de stabiliteit van het dijklichaam (en dus niet de stabiliteit van het voorland). Het invloedsgebied is beperkt tot een afstand van 10 à 25 meter vanaf respectievelijk de buiten- en binnenteen van de primaire waterkering. Dit is als volgt nader onderbouwd:

- Voor de *stabiliteit van de dijk* geldt dat de invloedszone beperkt blijft tot circa 10 m afstand vanaf de buitenteenlijn en circa 25 m afstand vanaf de binnenteenlijn (zie Leggerdocument Philipsdam). Glijvlakken treden veelal uit in het talud of berm. Het mechanisme piping is niet van toepassing en de begrenzing is voor dit aspect aangenomen ter plaatse van de buiten- en binnenteen. Voor de stabiliteit van de dijk kan daarom worden gesteld dat de invloedzone begrensd wordt door de zone tot 10 à 25 meter afstand vanaf respectievelijk de buiten- en binnenteen van de primaire waterkering.
- Voor de *stabiliteit van het voorland* geldt dat de huidige binnenbeschermingszone gehandhaafd kan blijven. Zowel de windturbines op de dijk als ook op de strekdammen kunnen door trillingen (heien, windbelastingen) invloed hebben op het voorland. Echter de realisatie van het windpark heeft geen effect op de geometrie van het voorland en daardoor niet op de weerstand tegen zettingsvloeiing en afschuiving. Voor de toetsing worden volledigheidshalve de locaties WT10, WT11, WT13 en WT19 in het voor- en achterland beschouwd die het dichtst bij de primaire waterkering zijn gelegen.

In onderstaande afbeelding en in bijlage 2 zijn de windturbinelocaties aangegeven die in de toetsing worden beschouwd. De met geel aangegeven locaties zijn buiten beschouwing gelaten, omdat de betreffende locaties geen negatieve effecten hebben op de waterkerende functie van de primaire waterkering in het projectgebied.

Opgemerkt wordt dat voor de met geel aangegeven locaties (op de havendammen en strekdammen) de windparkonderdelen geen negatieve effect mogen hebben op de stabiliteit van de betreffende waterwerken. Er dient dan ook in het definitieve ontwerp van de onderdelen als minimale eis te worden gesteld dat de constructie geen sterkte mag ontleen aan de waterwerken. De onderdelen hoeven niet te worden getoetst volgens de geldende normen voor primaire waterkeringen en zijn daarom in deze studie verder buiten beschouwing gelaten.



Afbeelding 2.4.1 Windturbinelocaties

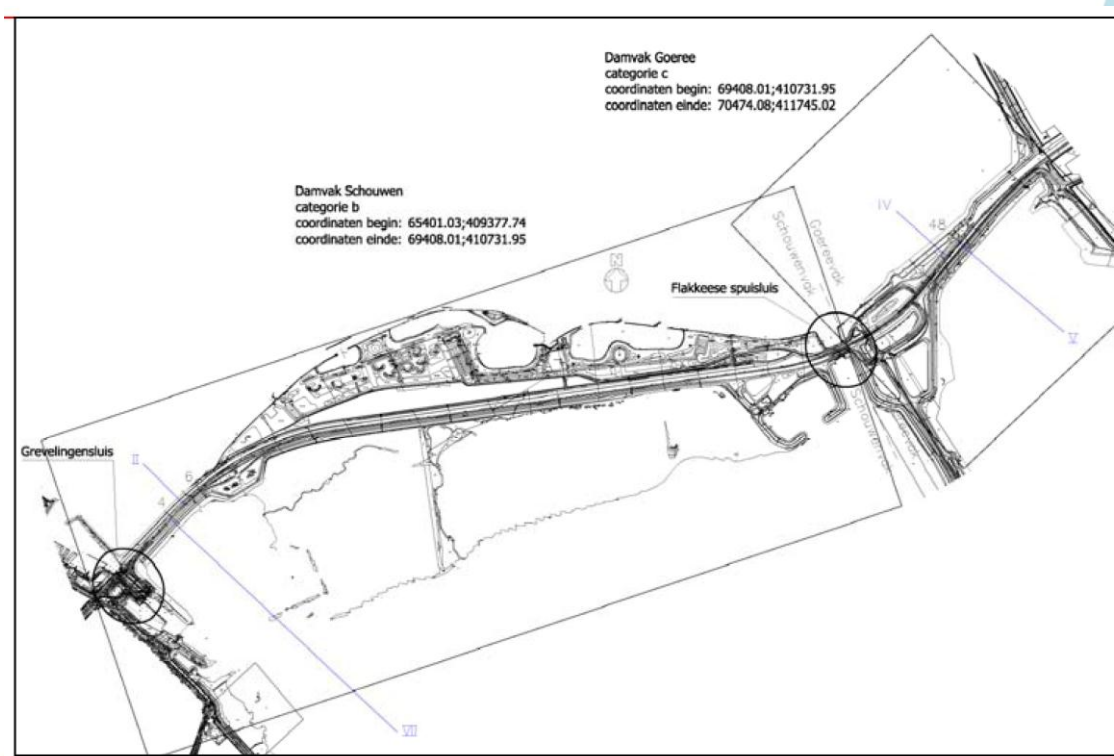
2.5 Sectie-indeling

Ten behoeve van de (waterstaatkundige) toetsing van de dijken zijn deze in secties verdeeld op grond van uniformiteit van karakteristieken per sectie. Karakteristieken zijn: geometrie, opbouw en samenstelling van de waterkering en de ondergrond en de hydraulische belasting. Iedere sectie wordt gekarakteriseerd door een representatief dwarsprofiel.

Grevelingendam

Ten behoeve van de toetsing is de Grevelingendam onderverdeeld in de volgende twee secties:

- *Damvak Schouwen, categorie b waterkering*
Dit damvak sluit aan op Schouwen-Duiveland (dijkkringgebied 26) bij de Schutsluis en eindigt aan de noordkant ter hoogte van de Flakkeese Spuisluis.
- *Damvak Goeree, categorie c waterkering*
Dit damvak begint ten noorden van de Flakkeese Spuisluis en sluit aan op Goeree-Overflakkee (dijkkring 25).

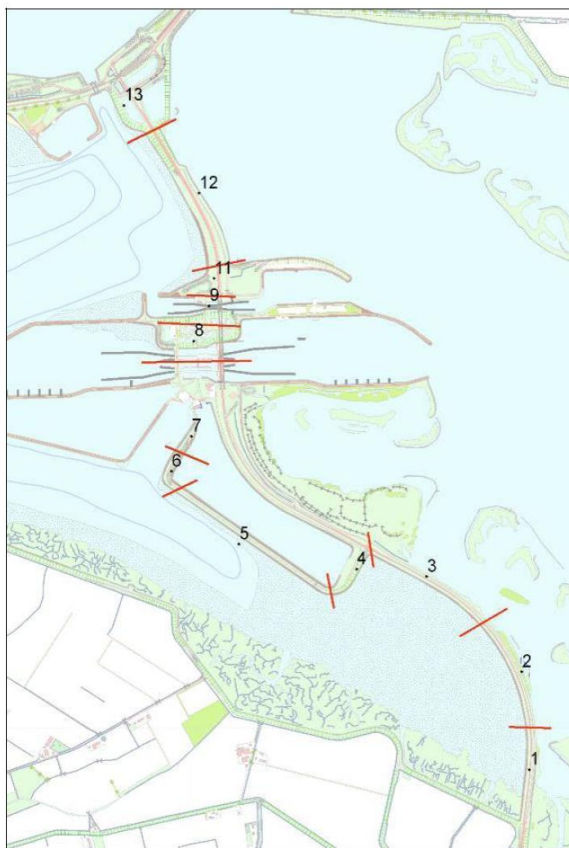


Figuur 2.5.1: Sectie-indeling en locatie maatgevende dwarsprofielen

Philipsdam

Voor de toetsing is de Philipsdam opgedeeld in 12 secties. Deze sectie-indeling is gemaakt op basis van de geometrie van de dam en de oriëntatie. Deze secties omvatten het gehele grondlichaam van de Philipsdam. Deze secties komen overeen met eerder uitgevoerde (waterstaatkundige) toetsingen en de legger. Opgemerkt wordt dat sectienummer 10 ontbreekt. In verband met relaties met eerdere studies is

ervoor gekozen om de nummering van de secties niet aan te passen. De sectie-indeling is weergegeven in de onderstaande afbeelding.



Figuur 2.5.2: Sectie-indeling Philipsdam

2.6 Windparkonderdelen

Windpark Krammer zal bestaan uit de volgende onderdelen:

- Windturbinefundatie en kraanplaats/opstelplaats;
- Civiele werken: wegen, bochten en toeritten (verbindingen tussen openbare wegen en kraanplaatsen/opstelplaatsen, voor zover in de invloedzone van de primaire waterkering);
- Elektrische werken: windparkbekabeling (33kV), transformatorstation (150/33kV) en netaansluiting (150kV). Volledigheidshalve wordt opgemerkt dat de bekabeling inclusief het benodigde communicatie netwerk is.

Bij de uitgevoerde toetsing zijn de voorgaande omschreven windparkonderdelen, voor elk van de van toepassing zijnde projectfases, beoordeeld op de mogelijke negatieve effecten op de waterkerende functie van de primaire waterkering.

2.7 Projectfasering

In de beoordeling van de effecten van de windparkonderdelen op de functionaliteit van de waterkering worden de volgende fasen onderscheiden:

- Bouwfase: deze fase betreft de realisatie van alle windparkonderdelen, waaronder het aanbrengen van grondophogingen, inbrengen van funderingselementen en ontgravingen ten behoeve van bekabeling en het transformatorstation;
- Gebruiksfase: het operationeel zijn van alle windparkonderdelen (inclusief beheer en onderhoud);
- Verwijderingsfase: deze fase betreft het na de gebruiksfase, deels of volledig, verwijderen van de windparkonderdelen. Voor de verwijdering van de windturbinefundering is ervan uitgegaan dat de paalfundering gehandhaafd blijft. Er is van uitgegaan dat de damwanden wel volledig worden verwijderd.

3 Beschikbare informatie

3.1 Normen en richtlijnen

De toetsing is uitgevoerd aan de hand van de volgende normen en richtlijnen:

- Voorschriften Toetsen op veiligheid Primaire Waterkeringen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, september 2007 (VTV2006) [REF1], inclusief aanvullende handreikingen ([REF12] en [REF13])
- Hydraulische Randvoorwaarde Primaire Waterkeringen, voor de derde toetsronde 2006-2011 (HR2006), Ministerie van Verkeer en Waterstaat, september 2007. [REF2]

3.2 Dijktoetsingen

De toetsing voor de watervergunning is gebaseerd op de uitkomsten en conclusies van de in het kader van de 3^e landelijke toetsronde uitgevoerde toetsing van de Philipsdam en Grevelingendam. De resultaten van de veiligheidstoetsing zijn beschreven in de volgende documenten:

- Derde toets op veiligheid verbindende waterkeringen Zeeland – Philipsdam, Arcadis, 1 juli 2009 [REF4]
- Toetsing waterstaatkundige toestand 2011 verbindende waterkering 16 – Grevelingendam, Baars-CIPRO, september 2008 [REF5]

De toetsresultaten betreffen de meest recente opname van de veiligheidstoestand op basis van de door het Rijk (staatssecretaris) vastgestelde vigerende kennis en inzichten. Dit wordt beschouwd als de uitgangssituatie ('nul'-situatie) voor de beheerder.

Grevelingendam

Voor stabiliteit voorland en niet waterkerende objecten scoort de Grevelingendam 'voldoende'. Voor de overige toetssporen scoort de Grevelingendam 'goed'. Het toetsspoor bekledingen was geen onderdeel van de toetsing, aangezien deze in de tweede toetsronde al was afgekeurd. De bekleding is inmiddels vervangen.

Philipsdam

De Philipsdam krijgt voor het grootste deel van de toetssporen de score 'goed' of 'voldoende'. Uitzondering hierop is de aanwezige steenzetting. Een groot deel van de steenzetting scoort 'onvoldoende'. De afgekeurde steenzetting zal in 2014/2015 worden verbeterd.

3.3 Dijkprofielen

Leggerprofielen

De begrenzing van de kernzone en beschermingszone is aangegeven in de volgende leggers:

- Rijkswaterstaat Zeeland, Waterdistrict Zeeuwse Delta. Legger Grevelingendam. Maart 2009
- Rijkswaterstaat Zeeland, Waterdistrict Zeeuwse Delta. Legger Philipsdam. Januari 2009

Ingemeten profielen per locatie

Eind 2012 zijn, in opdracht van de initiatiefnemers van het windpark, door het ingenieursbureau MUG alle locaties ingemeten en verwerkt in situatietekeningen en/of dwarsprofielen. De situatietekeningen en dwarsprofielen zijn gehanteerd voor clustering van de windturbinelocaties.

3.4 Voorontwerp

Toetsing van de veiligheid vindt plaats op basis van een voorontwerp van de windparkonderdelen op hoofdlijnen, welke maatgevend is gesteld voor het uiteindelijke ontwerp, een zogenoemde 'worst case' benadering. De uiteindelijke uitwerking van de definitieve ontwerpen van de diverse windparkonderdelen dienen als resultaat op te leveren dat er geen negatieve effecten op de waterkerende functie van de primaire waterkering optreden, doordat de toetsresultaten gelijkwaardig of beter zijn dan op grond van de in de dit document aangehouden uitgangspunten en voorontwerpen.

De in deze toets omschreven voorontwerpen zijn nader omschreven in het voor het project opgestelde principe werkplan.

3.4.1 Voorontwerp windturbinefundatie

Door adviesbureau ABR (Adviesburo voor Bouwkunstructies Roosendaal) is ten behoeve van windpark Krammer een voorontwerp van het windturbinefundament opgesteld.

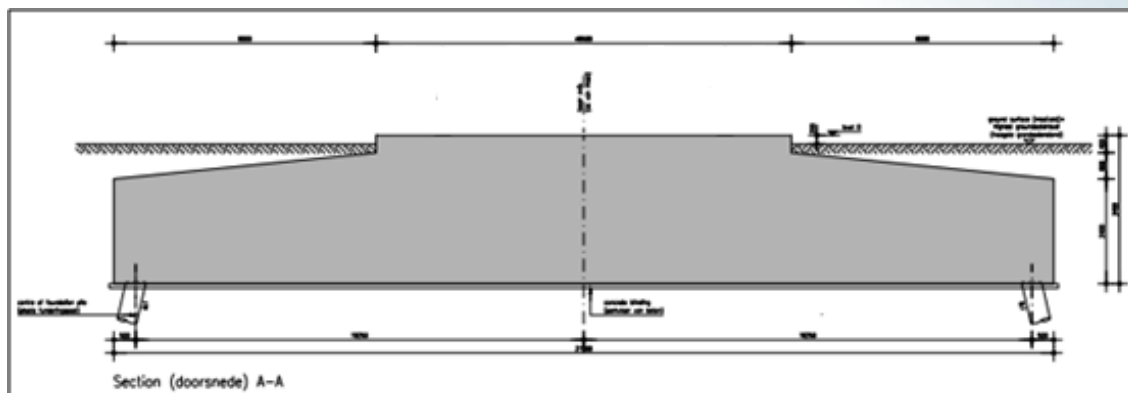
Het voorontwerp van het windturbinefundament betreft een traditioneel ontwerp, zoals deze veelvuldig is en wordt toegepast voor Nederlandse onshore windenergieprojecten. Een traditioneel onshore fundament voor windturbines bestaande uit een fundatieplaat (rond, veelhoek, vierkant, kruis- of stervormig) van gewapend beton en een paalfundatie, welke over het algemeen wordt uitgevoerd met behulp van prefab betonpalen of Vibropalen (geheide in de grond gevormde betonpalen).

Het voorontwerp van het windturbinefundament is gebaseerd op de 'worst case' fundatiebelastingen voor een referentiewindturbine in de 3.X MW klasse. Het voorontwerp van het windturbinefundament is voor elke windturbinelocatie identiek. De kenmerken van het windturbinefundament zijn in onderstaande tabel aangegeven.

Tabel 3.4.1 Voorontwerp windturbinefundatie

Uitgangspunten/kenmerken voorontwerp fundament windturbines	
Funderingsconcept	Fundatieplaat van gewapend beton, gefundeerd op grondverdringende heipalen (schoorpalen)
Paalsysteem	prefab betonpaal of Vibropaal
Funderingsvorm	Achthoek, met sokkel en grondballast (18 kN/m ³)
Hoogte totaal [meter]	3.4
Hoogte sokkel [meter]	0.4
Hoogte afschot [meter]	0.6
Hoogte buitenzijde [meter]	2.4
Sokkeldiameter [meter]	9.5
Buitendiameter [meter]	21.5
Diameter paalcirkel [meter]	20.5
Betonvolume [m ³]	Circa 1084
Betonkwaliteit	C30/37
Aantal palen	46
Schoorstand	8:1
Grondwater	Opwaartse belasting ten gevolgen van grondwater is meegerekend
Niveau bovenkant fundament	Zie tabel 'clustering' in bijlage 2
Indien van toepassing terp rondom fundament	≥1.5 meter doorlopend vanaf buitendiameter fundament Helling 1:1,5
Maatgevende paaldimensies	
Prefab betonpaal [mm]	Vierkant 450x450
Paalpuntniveau prefab betonpaal [meter t.o.v. NAP]	-25.00
Vibropaal schacht/voetplaat [mm]	Rond 556/680
Paalpuntniveau Vibropaal [meter t.o.v. NAP]	-24.00
Heiblok	Hydraulisch heiblok 9 tot 12 tons valblok en een geschatte valhoogte van ca. 20 tot 100cm

Een aanzicht van het funderingsontwerp is weergegeven in afbeelding 3.4.1.



Afbeelding 3.4.1 Zijaanzicht voorontwerp windturbinefundatie

Er is sprake van onderscheidende varianten met betrekking tot het wel of niet toepassen van een hulpconstructie (damwand/grondkering) ten behoeve van het fundament en de benodigde civiele infrastructuur (kraanplaats/opstelplaats en de directe toerit tot de kraanplaats/opstelplaats). De voor windpark Krammer onderscheidende varianten zijn:

Variant 01: Windturbinefundament zonder terp

Bij variant 1 is zowel het fundament als de constructie ten behoeve van de kraanplaats/opstelplaats in de ondergrond aangebracht. Bovenkant fundament en kraanplaats/opstelplaats kan variëren van 10 cm tot 50 cm ten opzichte van het actuele maaiveld.

Variant 02: Windturbinefundament en/of kraanplaats/opstelplaats met terp

Bij variant 2 is zowel het fundament als de constructie ten behoeve van de kraanplaats/opstelplaats deels of geheel boven het maaiveldniveau aangebracht. Bovenkant fundament en/of bovenkant kraanplaats/opstelplaats > 50 cm ten opzichte van het actuele maaiveld, daarbij gebruikmakende van een terp rondom het fundament en/of rondom de kraanplaats/opstelplaats.

Variant 03: Windturbinefundament en kraanplaats/opstelplaats in combinatie met damwandconstructie

Variant 3 betreft de locaties waarbij het fundament en de kraanplaats/opstelplaats zich in en/of op het talud bevindt van één van de waterstaatwerken. Zowel het fundament als de kraanplaats/opstelplaats is daarbij deels omsloten met behulp van een damwandconstructie.

Variant 04: Windturbinefundament en kraanplaats/opstelplaats in combinatie met een grond-/stortsteenkering

Variant 4 betreft de locaties waarbij het fundament en de kraanplaats/opstelplaats zich in en/of op het talud bevindt van één van de waterwerken. Zowel het fundament als de kraanplaats/opstelplaats is daarbij deels omsloten met behulp van een grond/stortsteenkering.

In bijlage 1 is per variant een principeschets opgenomen. In onderstaande tabel is de variant per locatie weergegeven

Tabel 3.4.2 Windturbinefundering variant per locatie

Variant	Locatienummers	Opmerkingen
1	13, 16, 18, 19, 20, 23, 34 en 37	
2	10, 21, 25, 26, 27, 28, 31, 33, 36 en 38	
3	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 14, 17, 22, 30, 35 en 39	Alternatief locatie 1, 4 & 7 is variant 4 + 35 enigszins afwijkend ivm damwand aan beide zijde
4	24, 29 en 32	

3.4.2 Voorontwerp kraanopstelplaatsen

In tabel 3.4.3 zijn de uitgangspunten voor het voorontwerp van de kraanplaats/opstelplaats en toerit weergegeven.

Tabel 3.4.3 Voorontwerp kraanopstelplaats

Uitgangspunten voorontwerp kraanopstelplaats	
Voorontwerp principe	Aanleg op maaiveldniveau
Minimale ontwerp levensduur	50 jaar
Minimum draagkracht kraanplaats/opstelplaats	200 kN/m ²
Maximale last kraanplaats/opstelplaats t.b.v. de kranen	Circa 1870 kN aan maximale pootbelasting
Kraanplaats/opstelplaats breedte	25 meter, incl. 4,5 meter brede toerit
Kraanplaats/opstelplaats lengte	50 meter
Maximale toegestane zetting	0,2 meter bij een periode van 20 jaar
Vlakheid kraanplaats/opstelplaats	±0,3 (0,5%)
Toegestane maximale helling rijrichting toerit ter hoogte van de kraanplaats/opstelplaats	<1,0°
Toegestane maximale helling rijrichting van de toerit	<7°
Basis topverharding	Open structuur, bijvoorbeeld slakken of menggranulaat of betongranulaat (basis uitgangspunt)
Optionele topverharding (na realisatie)	Asfalt
Afwatering	In definitief ontwerp voorzieningen voor afvoer van water en het voorkomen van structuurschade
Referentie kraan	Uitgangspunt mobiele kranen, waarbij de belasting over een viertal poten wordt overgedragen

3.4.3 Voorontwerp bouwwegen/onderhoudswegen

Om het windpark te kunnen bouwen en te kunnen onderhouden zijn wegen nodig. Via deze wegen vindt al het transport van de bouwmaterialen en windparkonderdelen plaats. Voor windpark Krammer zijn de volgende categorieën voor de bouwwegen van toepassing:

- a) Bestaande infrastructuur, geen noemenswaardige aanpassingen noodzakelijk
- b) Bestaande infrastructuur, aanpassingen noodzakelijk
- c) Nieuw aan te leggen infrastructuur (permanent)
- d) Nieuw aan te leggen infrastructuur (tijdelijk)

Voor de toetsing wordt de bestaande infrastructuur, waarbij geen noemenswaardige aanpassingen noodzakelijk zijn, als uitgangspunt gehanteerd (categorie a). Er wordt dan ook beoordeeld of de gedurende de bouw-, gebruiks- en verwijderingsfase noodzakelijke transporten geen negatieve effecten hebben op de waterkerende functie van de primaire waterkering. Er wordt daarbij onderscheid gemaakt tussen bestaande infrastructuur op of in de directe nabijheid van de primaire waterkering, welke in de toetsing beschouwd worden en overige bestaande infrastructuur. Deze laatste categorie wordt bij de toetsing buiten beschouwing gelaten, omdat er geen sprake is van een negatief effect op de waterkerende functie van de primaire waterkering.

In de stabiliteitsberekeningen wordt rekening gehouden met een bovenbelasting op de wegen als gevolg van het bouw- en onderhoudsverkeer.

In onderstaande tabel zijn de voor de toetsing relevante kenmerken/uitgangspunten voor het belasten van de bestaande infrastructuur weergegeven.

Tabel 3.4.4 Belasting bestaande infrastructuur

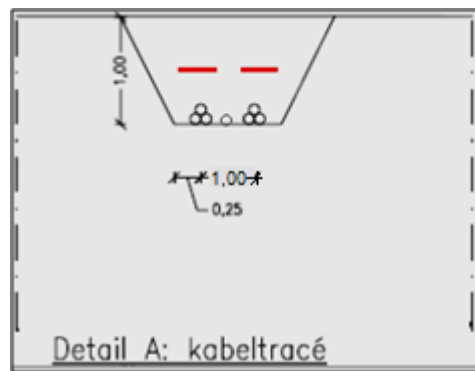
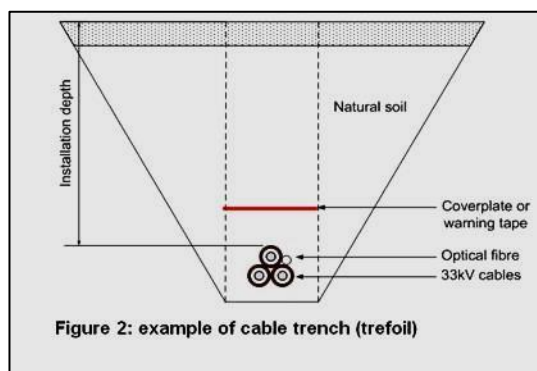
Uitgangspunten bouwweg/onderhoudsweg	
Verkeersklasse	60
Vereiste aslast bouwweg conform opgave windturbinefabrikanten	13 ton
Snelheidslimiet	50 km/uur

3.4.4 Voorontwerp windparkbekabeling

De windturbines worden door middel van 33kV middenspanningskabels onderling verbonden en vervolgens met het windpark transformatorstation (33kV/150kV) verbonden. Er is een ontwerp voor het te volgen kabeltracé van de windparkbekabeling opgesteld. De uitgangspunten voor de windparkbekabeling zijn aangegeven in tabel 3.4.5. In afbeelding 3.4.2 is het principe van een sleuf weergegeven.

Tabel 3.4.5 Voorontwerp windparkbekabeling

Uitgangspunten voorontwerp windparkbekabeling	
Spanningsniveau	33kV
Niveau	legdiepte 1 meter, minimale gronddekking 0,8 m
Type	Middenspanningskabels; per systeem 3x enkel aderig, gebundeld in een driehoeksformatie (h.o.h. > 1000mm) Communicatie; glasvezel in buis (HDPE)
Kruising waterwegen (Krammersluizen)	Horizontaal gestuurde boring
Positie	Conform tracétekening
Situering	Tussen de locaties
Beschouwde aanlegmethode	Open sleuf



Afbeelding 3.4.2
en meerdere systemen

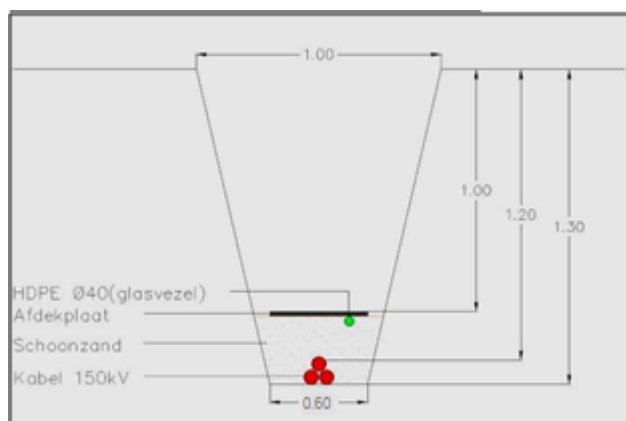
Voorbeelden principe sleuf 33kV in het geval er sprake is van 1 systeem

3.4.5 Voorontwerp tracé netaansluiting

Het windpark wordt door middel van een 150kV verbinding met het elektrisch net (te Middelharnis) verbonden. In de tracétekening is het deel van de 150kV verbinding met het windpark transformatorstation weergegeven, welke gelegen is langs de Grevelingendam en Philipsdam. Het deel van de 150kV verbinding, welke gelegen is in de waterkering, is in de toetsing beschouwd. Kenmerken van het voorontwerp zijn samengevat in tabel 3.4.6. In afbeelding 3.4.3 is het principe van een sleuf weergegeven.

Tabel 3.4.6 Voorontwerp tracé netaansluiting

Uitgangspunten voorontwerp windparkbekabeling	
Spanningsniveau	150kV
Vermogen	150MW
Niveau	legdiepte $\geq 1,3$ meter, minimale gronddekking 1,2 m
Type	Hoogspanningskabels; 1 systeem 3x enkel aderig, gebundeld in een driehoeksformatie Communicatie; glasvezel in buis (HDPE)
Positie	Conform tracétekeningen
Situering	Parallel met de Grevelingendam en Philipsdam
Beschouwde aanlegmethode	Open sleuf



Afbeelding 3.4.3 Principe sleuf 150kV

3.4.6 Voorontwerp transformatorstation

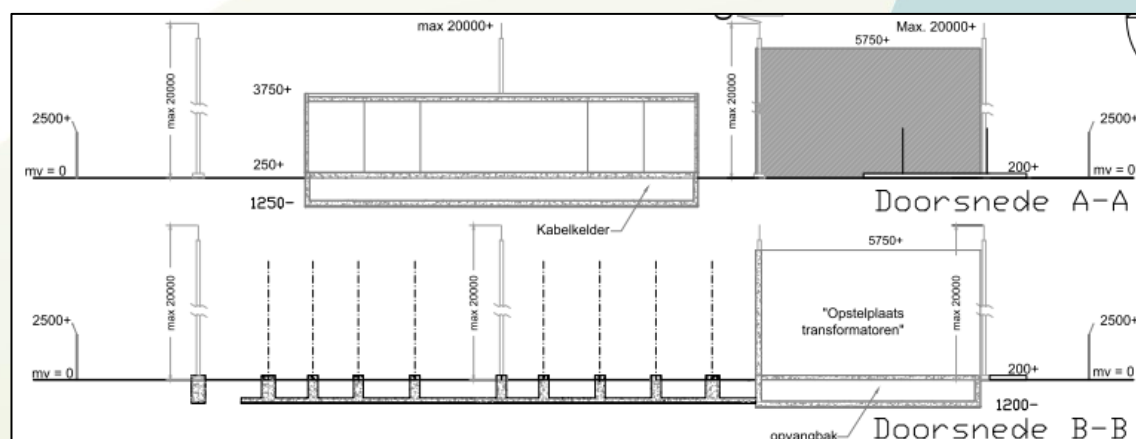
In de navolgende tabel 3.4.7 zijn de voor het voorontwerp van het transformatorstation windpark Krammer gehanteerde uitgangspunten weergegeven.

Tabel 3.4.7 Voorontwerp transformatorstation

Uitgangspunten voorontwerp transformatorstation	
Totaal vermogen	150 MW
Aantal transformatoren	2
Spanningsniveau	33kV / 150kV
Afmetingen terrein	46 m x 45 m
Niveau onderzijde constructie t.o.v. maaiveld	Circa 1,25 meter (bouwputbodem circa 1,5 meter)
Beschouwde aanleg methoden	Open bouwput noot: vanwege de hoogteligging (ca. +5,5 meter NAP) van het terrein wordt bemaling als niet noodzakelijk beschouwd
Fundatieprincipe	Paalfundatie, prefab betonpalen
Maatgevend gewicht	Transformator + opvangbak/scherfmuren: 470 ton per stuk

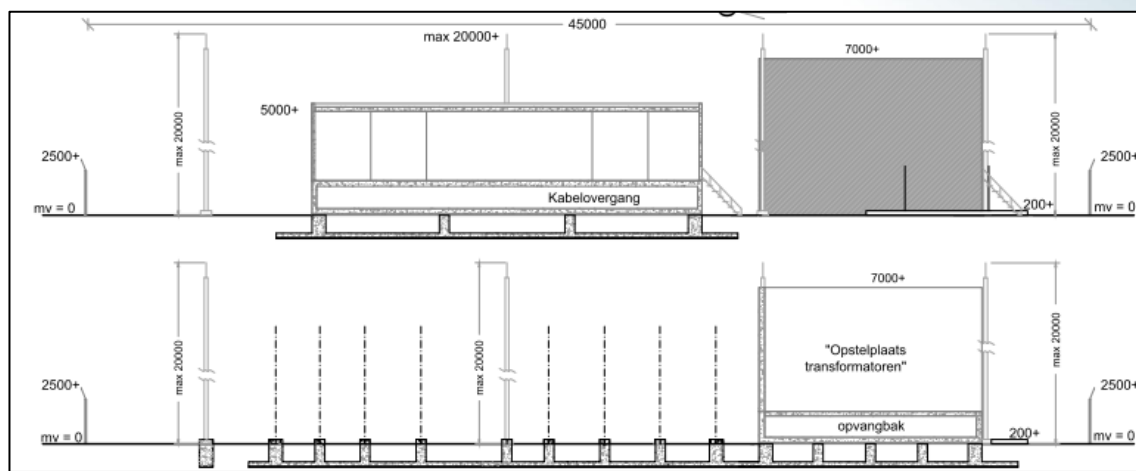
Voor de fundering worden twee varianten beschouwd. In één variant (variant 1) worden de fundatie-onderdelen in de grond aangebracht, zie afbeelding 3.4.4. Bij de andere variant (variant 2) worden de "holle" fundatieonderdelen op het maaiveld aangebracht, zie afbeelding 3.4.5.

Ten aanzien van de sterkte van de waterkering wordt de variant 1 als maatgevend beschouwd. Het transformatorstation is voorzien op een binnenberm met een hoogte van circa NAP +5,5 m. De constructie is voorzien op ruime afstand (kortste afstand ca. 150 meter) van de teen van het binnentalud (achter de tussenliggende wegen: 2x parallelweg en de N257). Voor het aanbrengen van de funderingsonderdelen zal ontgraven worden tot een niveau van circa 1,5 m beneden maaiveld.



Afbeelding 3.4.4

Doorsnede transformatorstation variant 1



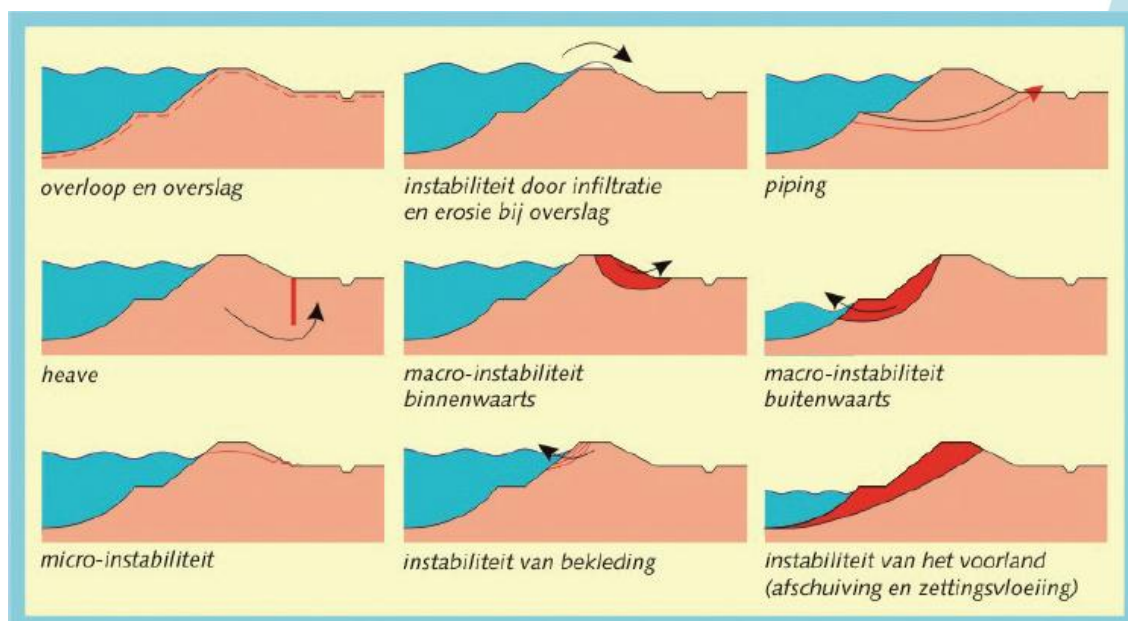
Afbeelding 3.4.5 Doorsnede transformatorstation variant 2

4 Uitgangspunten & Randvoorwaarden

4.1 Toetssporen

Overeenkomstig de VTV wordt de veiligheid van de primaire waterkering beoordeeld op de volgende toetssporen (zie ook afbeelding 4.1.1):

- Hoogte (HT): overlopen en golfoverslag
- Piping (STPH)
- Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI)
- Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU)
- Microstabiliteit (STMI)
- Stabiliteit bekleding (STBK)
- Stabiliteit voorland (STVL)
- Overige niet waterkerende objecten (NWO): kabels en transformatorstation



Afbeelding 4.1.1 Toetssporen hoogte en stabiliteit (VTV2006)

In de onderliggende toetsing zijn de effecten ten gevolge van het falen van een windturbine of een windturbineonderdeel buiten beschouwing gelaten. Het falen van een windturbine of een windturbineonderdeel betreft het omvallen van een windturbine als geheel of het losraken van windturbineonderdelen (gondelhuis of rotorblad). Als gevolg hiervan kan de waterkering beschadigen. De effecten ten gevolge van het falen van een windturbine of windturbineonderdeel worden in een aparte rapportage behandeld.

4.2 Hydraulische randvoorwaarden

In onderstaande tabel zijn per sectie de hydraulische randvoorwaarden (HR2006) weergegeven. Voor het deel van de waterkering dat valt in de categorie c, damvak Goeree, is geen norm voorgeschreven.

Dezelfde waterstanden als voor het dijkvak Schouwen zijn aangehouden, wat een conservatieve aanname betreft.

Tabel 4.2.1 Hydraulische Randvoorwaarden 2006, Grevelingendam en Philipsdam

Sectie	Toetspeil [m + NAP]	Golfhoogte Hs [m]	Golfperiode Tm-1,0 [s]	Hoek van inval [° tov dijknormaal]
Schouwen	3,7	0,55	2,5	40
Goeree	3,7	0,55	2,5	40
1	3,7	0,55	2,3	80
2	3,7	0,6	2,2	20
3	3,7	0,5	2,0	40
4	3,7	0,45	1,9	40
5	3,7	0,75	2,5	70
6	3,7	0,75	2,5	10
7	3,7	0,75	2,5	10
8	3,7	1,05	2,9	10
9	3,7	0,85	2,7	10
11	3,7	0,85	2,7	10
12	3,7	1,0	3,1	10
13	3,7	0,8	3,0	50

Voor de bouw- en verwijderingsfase wordt vooralsnog conservatief uitgegaan van de in bovenstaande tabel opgenomen maatgevende waterstanden. Indien de standzekerheid bij deze waterstanden niet kan worden gewaarborgd zal worden aangegeven of en tot welke maximale buitenwaterstand wel aan de stabiliteitseisen voldaan kan worden.

Voor de windturbines WT31, WT16, WT19, WT38 en WT39, die zijn voorzien binnenwaarts van de Grevelingendam en Philipsdam, geldt dat sprake kan zijn van een verhoogd waterpeil in de Volkerak als gevolg van mogelijke berging. De hoogwaterstand in het Volkerak-Zoommeer tijdens berging bedraagt NAP +2,30 m.

De locaties WT31, WT38, WT16 en WT19 zijn voorzien op een hoog en breed achterland/binnenberm, waardoor de hogere binnenwaterstand geen invloed heeft. Bij locatie WT39 staat de verhoogde binnenwaterstand direct tegen de damwandconstructie. In de bepaling van de aanleghoogte is al rekening gehouden met het hogere waterpeil.

4.3 Bodemopbouw en grondeigenschappen

De bodemopbouw en grondparameters zijn overgenomen uit de toetsrapportages voor de Grevelingendam en de Philipsdam. Voor de Grevelingendam is de bodemopbouw afgeleid op basis van een sondeonderzoek van Fugro (bijlage J van de toetsrapportage [REF5]). Grondeigenschappen zijn in de eerdere toetsingen ingeschat op basis van tabel 1 van NEN6740 (2006), overeenkomstig tabel 2b van de huidige Eurocode 7 (NEN-EN9997-1:2012). Voor de Philipsdam zijn de bodemopbouw en

grondmechanische eigenschappen bepaald aan de hand van de weergegeven informatie in de TNO-rapportage [REF14] en NEN 6740 Tabel 1. Voor de afleiding van de rekenwaarden zijn de materiaalfactoren conform de Leidraad voor het Ontwerpen van Rivierdijken deel 1 (LOR1) gehanteerd.

Opgemerkt wordt dat relatief lage waarden zijn gehanteerd voor de sterkte-eigenschappen. Ook zijn in de stabiliteitsberekeningen voor de verzadigde grond dezelfde volumegewichten aangehouden als voor de onverzadigde grond. In de maatgevende dwarsprofielen is in toetsing uitgegaan van een ondergrond bestaande uit overwegend losgepakt siltig zand. De rekenwaarden van de grondeigenschappen zijn:

- Droog/nat volumegewicht: 17,9 kN/m³
- Hoek van inwendige wrijving: 22,0° (representatief: 25°).

Uit sonderingen blijkt dat de vastheid van de zandondergrond sterk varieert, waarbij op veel plaatsen de ondergrond overwegend matig vast tot vast gepakt is. De in de toetsing gehanteerde bodemopbouw en grondeigenschappen zijn conservatief.

Aangezien nog geen grondonderzoek ter plaatse van de windturbinelocaties is uitgevoerd, wordt uitgegaan van dezelfde conservatieve bodemopbouw en parameters. Wel is in hoofdstuk 6 een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, om inzicht te krijgen in de invloed van de bodemopbouw en parameters op de stabiliteit. Er is in deze fase geen aanvullende grondonderzoek uitgevoerd. Ten behoeve van het definitieve ontwerp zal uiteindelijk per windturbinelocatie een uitgebreid grondonderzoek worden uitgevoerd ter verificatie van de aangenomen bodemopbouw en grondeigenschappen.

4.4 Terreinbelastingen

Verkeersbelasting tijdens maatgevende omstandigheden in de gebruiksfase

Voor maatgevende omstandigheden wordt overeenkomstig het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies uitgegaan van een ongedraineerde bovenbelasting van 13 kN/m² over een breedte van 2,5 m. Deze belasting is overgenomen uit de Handreiking Constructief Ontwerpen [REF15].

Verkeersbelasting ten gevolge van bouwverkeer in de bouw- en verwijderingsfase

Ten aanzien van het verkeer tijdens de bouw- en verwijderingsfase wordt ten behoeve van de 'worst case' benadering uitgegaan van een maximale aslast van 13 ton en een totale last van 145 ton. Dit komt overeen met verkeersklasse 60. Volgens de Handreiking Constructief Ontwerpen [REF15] dient een belasting van 15 kN/m² over een strookbreedte van 2,5 m te worden gehanteerd indien zich op een kering een verkeersweg bevindt waarop zwaar verkeer (verkeersklasse 60) is toegestaan. In de stabiliteitsberekeningen voor de bouw- en verwijderingsfase is uitgegaan van deze belasting.

4.5 Eigenschappen ophoog- en aanvulmaterialen

Voor ophoogzand is uitgegaan van de volgende rekenwaarden (inclusief partiële materiaalfactoren conform methode 1 van LOR1 volgens VTV2006):

- Droge/natte volumieke massa: 18/20 kN/m³
- Inwendige wrijving: 26,7°
- Cohesie: 0 kPa

4.6 Trillingen windturbinefundatie

4.6.1 Trillingen in de bouwphase

Heien van palen

Doorgaans is de dominante frequentie (f) bij heien van prefab betonpalen 10 à 15 Hz en van vibropalen 20 à 25 Hz. De te verwachten trillingssnelheden zijn afhankelijk van de afstand tot de heistelling. Door Muller (2007) zijn op basis van monitoringsgegevens de waarden bepaald, zoals in onderstaande tabel aangegeven. Op basis van deze snelheden kan de versnelling worden bepaald volgens [REF16]:

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

De berekende versnellingen zijn aangegeven in onderstaande tabel. Duidelijk blijkt dat de versnellingen in de ondergrond het grootst is bij de heipaal en snel afneemt met de afstand.

Tabel 4.6.1 Versnellingen als gevolg van heien van palen

Afstand tot heistelling [m]	Betonpalen		Vibropalen	
	$v_{\max}$ [mm/s]	$a_{\max}$ [mm/s ²]	$v_{\max}$ [mm/s]	$a_{\max}$ [mm/s ²]
1	20	1890	10	1570
10	3	280	3	470
100	1	90	1,5	240

De versnelling is afhankelijk van veel factoren, waaronder de hei-energie, het paaltype, de grondopbouw en grondeigenschappen. Voor het windpark Noordermeerdijk in de Noordoostpolder is door Fugro [REF17] een uitgebreide trillingsvoorspelling opgesteld, waarbij rekening is gehouden met vast zandlagen, zoals die ook kunnen voorkomen ter plaatse van windpark Krammer. Uit een vergelijking van de voorspelling van Fugro en de waarden in tabel 4.6.1 blijkt het volgende

- De versnellingen bedragen 1500 à 2000 mm/s² nabij de heistelling en nemen af tot 500 à 1200 mm/s² op 10 m afstand. Ten behoeve van de toetsing is voor de zone tot 10 m afstand de horizontale versnelling conservatief ingeschat op 1500 mm/s².
- In de zone van 10 m tot 30 m afstand van de heistelling neemt de versnelling af van circa 500 à 1200 mm/s² tot 300 à 500 mm/s². Ten behoeve van de toetsing is voor afstanden groter dan 10 m een horizontale versnelling van 500 mm/s² aangehouden.

In de stabiliteitsberekeningen met programma DGeoStability (Bishop model) kan de trillingsintensiteit worden opgelegd als een aardbevingscomponent. Aangezien in de berekeningsmodellen de versnellingscomponent voor het gehele grondprofiel geldt, is dit een conservatieve (worst case) schematisatie. In de aanname van de trillingsintensiteiten is daarom gekozen voor waarden die representatief zijn voor de gehele breedte (veelal meer dan 10 m) van de glijvlakken.

Trillingsintensiteit ter plaatse van de windturbine en kraanopstelplaats

In de stabiliteitsberekeningen is conservatief uitgegaan van een opgelegde horizontale versnelling van maximaal 1500 mm/s² ter plaatse van de windturbine en kraanopstelplaats. Voor de stabiliteit is een

horizontale versnelling ongunstiger dan een verticale versnellingscomponent. Op korte afstand is de horizontale trillingsrichting dominant. Op een afstand tot de trillingsbron van 1,5 à 2 maal de paallengte (circa 45 à 60 m) wordt de verticale trillingsrichting dominant ([REF8] en [REF16]). Op korte afstand tot de trillingsbron varieert de verticale component tussen de 0,5 en 1,0 maal de horizontale component [REF8]. Op basis van meetresultaten [REF17] is de versnelling in verticale richting gelijk gesteld aan 50% van de horizontale versnelling op maaiveldhoogte: de aangehouden versnelling in verticale richting bedraagt 750 mm/s^2 .

Trillingsintensiteit ter plaatse van het dijklichaam naast de windturbine

Voor de beschouwing van het dijklichaam naast de windturbine is uitgegaan van een opgelegde horizontale en verticale versnelling van respectievelijk 500 en 250 mm/s^2 , behorend bij een afstand vanaf circa 10 m van de heistelling.

Wateroverspanningen

Naast versnellingen zal als gevolg van het heien een wateroverspanning kunnen optreden in de ondergrond. Vanwege de goed doorlatende zandige opbouw van de waterkering en de ondergrond zullen wateroverspanningen snel afnemen. In het artikel van Deltares in Geotechniek [REF8] is een voorbeeld gegeven waaruit blijkt dat binnen een zone van 10m de wateroverspanning afneemt van circa 10% naar 1%: op een afstand van meer dan 10 m is de te verwachten invloed van de relatieve wateroverspanning verwaarloosbaar klein ($<1\%$) ([REF8]). In de berekeningen is uitgegaan van 20% wateroverspanning (conservatief hoog) voor het dijkprofiel ter plaatse van de windturbine. Vanwege de grotere afstand tot de heistelling is voor de kraanopstelplaats en het dijklichaam naast de windturbine geen wateroverspanning in rekening gebracht.

Heien van damwanden

De dominante frequentie bij het intrillen van damwand is 25 à 35 Hz. In overeenstemming met de benadering voor heipalen is de te verwachten maximale versnelling bepaald en weergegeven in onderstaande tabel. Uit de tabel blijkt dat de trillingsniveaus lager zullen zijn dan bij het heien van palen. In de stabiliteitsberekeningen zijn de maatgevende versnellingen voor het heien van palen aangehouden (horizontaal 1500 mm/s^2 en verticaal 750 mm/s^2). Daarbij is op te merken dat hierdoor sprake is van een conservatieve aanname.

Tabel 4.6.2 Versnellingen als gevolg van heien van damwanden

Afstand tot heistelling [m]	Damwanden	
	$v_{\max}$ [mm/s]	$a_{\max}$ [mm/s ²]
1	10	940
10	2	190
100	1	90

4.6.2 Trillingen windturbine in de gebruiksfase

Tijdens de gebruiksfase kunnen trillingen ontstaan als gevolg van cyclische windbelastingen. Uit monitoringsgegevens [REF8] voor 3 megawatt turbines zijn horizontale versnellingen gemeten van circa 10 - 40 mm/s² en verticale versnellingen van circa 15 - 80 mm/s². Hieruit blijkt dat de trillingen van de windturbine tijdens de bedrijfssituatie een factor 10 à 40 kleiner zijn dan de trillingen welke optreden tijdens het heien van palen. Aangezien de windturbines veelal zijn gelegen in de stabiliteitszone (binnen het afschuifvlak) is in de stabiliteitsberekening uitgegaan van de versnellingen van 40 mm/s² en 80 mm/s². Dezelfde waarden zijn aangehouden voor de kraanopstelplaats en het huidige dijklichaam naast de windturbine. Dit laatste is een conservatieve benadering, omdat de versnellingen ter plaatse van de kraanplaats en het huidige dijklichaam naast de windturbine naar verwachting volledig zijn uitgedempt en dus verwaarloosbaar klein (nihil) zullen zijn.

4.6.3 Trillingen tijdens verwijdering funderingselementen

Voor de verwijdering van het blok van de windturbinefunderingen zal als hoofdmaterieel gebruik worden gemaakt van een hydraulische graafmachine met een sloophamer. De sloophamer draait met een 310-390 toeren/min, ofwel een frequentie van 5 à 6 Hz. Bij deze frequentie wordt een versnelling verwacht van circa horizontaal 300 mm/s² en verticaal 150 mm/s². De te verwachten versnellingen liggen tussen de waarden voor het heien van palen en de waarden voor de windturbine in gebruik.

Voor de beschouwing van het dijklichaam naast de windturbine is uitgegaan van een lagere opgelegde horizontale en verticale versnelling van respectievelijk 100 en 50 mm/s².

4.7 Stabiliteitsfactor binnenwaartse macrostabiliteit

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

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

Materiaalfactor

De stabiliteitsberekeningen worden uitgevoerd met rekenwaarden voor de grondparameters. De rekenwaarden zijn bepaald met materiaalfactoren (γ_m) conform VTV2006.

Modelfactor

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

Schadefactor

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

Tijdens de gebruiksfase gelden voor binnenwaarts afschuiven van het dijlichaam de volgende schadefactoren (conform de toetsrapportages op basis van de VTV2006):

- Grevelingendam: $\gamma_n = 1,18$
- Philipsdam: $\gamma_n = 1,13$

Tijdens de gebruiksfase gelden voor buitenwaarts afschuiven van het dijlichaam de volgende schadefactoren (conform de toetsrapportages op basis van de VTV2006):

- Grevelingendam: $\gamma_n = 1,12$
- Philipsdam: $\gamma_n = 1,07$

Schematiseringsfactor

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

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

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

- In de berekeningen wordt al uitgegaan van een 'worst case' scenario met maatgevende waterstanden en een hydrostatisch verloop van de waterspanningen.
- De ondergrond bestaat uit zand zonder samendrukbare of waterremmende grondlagen.
- Voor het definitief ontwerp zal op iedere windturbinelocatie een uitgebreid grondonderzoek worden uitgevoerd, bestaande uit sonderingen en handboringen, waarmee de aangenomen laagdikten kunnen worden geverifieerd.
- De geometrie is lokaal ingemeten en het dijkprofiel vertoont weinig variatie per sectie.

Aan de buitenzijde van de waterkering zijn geen windturbines voorzien en vindt geen verandering van de geometrie plaats. Voor *toetsing* van de buitenwaartse stabiliteit is daarom geen schematiseringsfactor van toepassing. Hetzelfde geldt voor de *toetsing* van het dijlichaam naast de windturbinelocaties.

Stabiliteitsfactor ter plaatse van windturbine en kraanopstelplaats

De toetsfactor voor stabiliteit van de *windturbinelocatie en kraanopstelplaats* is het product van de modelfactor, de schadefactor en de schematiseringsfactor. Aangezien alle windturbines zijn voorzien aan de binnenzijde wordt de buitenzijde getoetst zonder schematiseringsfactor.

Uitvoerings- en verwijderingsfase:

- Binnentalud, waarbij het waterkerend vermogen niet in het geding is: $1,0 \times 0,9 \times 1,1 = 0,99$
- Binnentalud, waarbij het waterkerend vermogen in het geding is: $1,0 \times 1,0 \times 1,1 = 1,10$

Gebruiksfase Grevelingendam

- Voor binnenwaartse macrostabiliteit geldt een toetswaarde: $1,0 \times 1,18 \times 1,1 = 1,30$
- Voor buitenwaartse macrostabiliteit geldt een toetswaarde: $1,0 \times 1,12 = 1,12$

Gebruiksfase Philipsdam

- Voor binnenwaartse macrostabiliteit geldt een toetswaarde: $1,0 \times 1,13 \times 1,1 = 1,24$
- Voor buitenwaartse macrostabiliteit geldt een toetswaarde: $1,0 \times 1,07 = 1,07$

Stabiliteitsfactor ter plaatse van het huidige dijklichaam

Voor het dijklichaam naast de windturbines zijn de toetsfactoren gelijk gesteld aan de stabiliteitsfactoren uit de toetsrapportages. De toetsfactoren zijn het product van de modelfactor en de schadefactor:

Uitvoerings- en verwijderingsfase:

- Binnentalud, waarbij het waterkerend vermogen niet in het geding is: $1,0 \times 0,9 = 0,90$
- Binnentalud, waarbij het waterkerend vermogen in het geding is: $1,0 \times 1,0 = 1,00$

Gebruiksfase Grevelingendam

- Voor binnenwaartse macrostabiliteit geldt een toetswaarde: $1,0 \times 1,18 = 1,18$
- Voor buitenwaartse macrostabiliteit geldt een toetswaarde: $1,0 \times 1,12 = 1,12$

Gebruiksfase Philipsdam

- Voor binnenwaartse macrostabiliteit geldt een toetswaarde: $1,0 \times 1,13 = 1,13$
- Voor buitenwaartse macrostabiliteit geldt een toetswaarde: $1,0 \times 1,07 = 1,07$

5 Toets primaire waterkering

5.1 Toetsing hoogte (HT)

5.1.1 Huidige veiligheid

Alle dijkvakken en dijksecties van de Grevelingendam en Philipsdam hebben in de derde toetsronde de score 'goed' gekregen, voor zowel het faalmechanisme golfoverslag als het mechanisme overloop. Voor het mechanisme golfoverslag was direct goedkeuring mogelijk op basis van het berekende beperkte overslagdebiet. Het overslagdebiet bleek minimaal een factor 10 kleiner dan het criterium van 0,1 l/s/m op basis waarvan volgens het VTV2006 direct goedkeuring mogelijk is, zonder verdere beoordeling van het binnentalud. Voor het faalmechanisme 'overloop' is de veiligheid gewaarborgd op basis van de aanwezige kruinhoogtemarge, hetgeen over het algemeen voor zeedijken het geval is. Conform het VTV2006 is voor een oordeel 'goed' een minimale kruinhoogtemarge van 0,5 meter vereist. Uit onderstaande tabel blijkt dat deze minimale marge voor alle secties ruim aanwezig is.

Tabel 5.1.1 Aanwezige kruinhoogtemarge

Sectie	Toetspeil [m+NAP]	Aanwezige kruinhoogte [m+NAP]	Kruinhoogtemarge [m]
Schouwen	3,7	6,1	2,4
Goeree	3,7	6,7	3,0
1	3,7	5,6	1,9
2	3,7	5,6	1,9
3	3,7	5,3	1,6
4	3,7	5,2	1,5
5	3,7	6,4	2,7
6	3,7	7,1	3,4
7	3,7	5,6	1,9
8	3,7	7,8	4,1
9	3,7	6,0	2,3
11	3,7	7,4	3,7
12	3,7	6,5	2,8
13	3,7	6,3	2,6

5.1.2 Mogelijke effecten op de functionaliteit

De functionaliteit van de primaire waterkering kan nadelig worden beïnvloed indien het overslagdebiet toeneemt als gevolg van zetting van het dijklichaam of verandering van het buitentalud (versteiling). De volgende effecten worden relevant geacht:

Bouwfase

- HT1.1 - De door heiwerkzaamheden veroorzaakte trillingen kunnen leiden tot zetting door verdichting/inklinking van het dijklichaam en/of dieper gelegen zandlagen. Hierdoor kan de hoogte van het dijkprofiel lokaal afnemen met enkele centimeters tot enkele decimeters.
- HT1.2 - De bij de verdichting van de beoogde grondaanvulling veroorzaakte trillingen kunnen leiden tot zetting door verdichting/inklinking van het dijklichaam en/of dieper gelegen zandlagen. Hierdoor kan de hoogte van het dijkprofiel lokaal afnemen. De beïnvloedingsdiepte is echter zeer beperkt ten opzichte van trillingen door heien van palen of damwanden.
- HT1.3 – Door ophogingen nabij de kruin en door toename van (langdurig aanwezige) statische bovenbelastingen (bijvoorbeeld opslag van materialen, geen transporten) kan de kruinhoogte afnemen als gevolg van consolidatie in de ondergrond.

Gebruiksfasen

- HT2.1- Door het aanbrengen van terpen, grondkeringen of stortsteenkeringen rondom het windturbinefundament en kraanopstelplaats zal mogelijk plaatselijk de golfploop en golfoverslag kunnen toenemen.

Verwijderingsfasen

- HT3.1 -Het verwijderen van het funderingsblok, inclusief het bovenste deel van de funderingspalen tot een niveau van circa 1 a 2m onder de bovenkant van de bekleding zou tijdelijk gevolgen kunnen hebben voor de functionaliteit van de waterkering: Bij het verwijderen verandert het dwarsprofiel (lokale verlaging/versmalling inclusief verwijderen van de bekleding) tijdelijk en daarmee mogelijk ook de hoogte van de waterkering.
- HT3.2 –De door de sloopwerkzaamheden veroorzaakte trillingen kunnen leiden tot mogelijke verdere verdichting van los gepakte zandlagen in het dijklichaam en de ondergrond.

5.1.3 Beoordeling van effecten

Toename golfploop en overslag door verandering geometrie

Toename van de golfploop en overslag door verandering van de geometrie (effecten H2.1 en H3.1) is alleen relevant voor windturbine locaties aan de buitenzijde (Oosterscheldezijde) van de primaire waterkering. De locaties WT10 en WT11 zijn gelegen in het voorland maar liggen niet in het dijkprofiel van de primaire waterkering. De overige windturbine locaties zijn gelegen aan de binnenzijde van de waterkering.

Doordat er geen verandering in de geometrie van het buitentalud is, zal de golfploop en golfoverslag niet worden beïnvloed. De aanleg van de windturbines leidt dus niet tot een toename van het golfoverslagdebiet.

Windturbine locatie WT39 is als enige gelegen aan de binnenzijde op een binnenberm aan de Volkerakzijde. Door de mogelijke hoge waterstand op het Volkerak van NAP +2,30 m kan deze locatie invloed hebben op golfploop en overloop vanuit het Volkerak. De bovenkant van het fundament en kraanopstelplaats zijn gelegen op respectievelijk NAP +3,50 m en NAP +3,25 m. Dit is ruim (>0,5 m) boven de maatgevende waterstand. In de vaststelling van de hoogte is al rekening gehouden met overloop

en overslag van de windturbine locatie. Bovendien is de windturbine gelegen op zeer ruime afstand van de primaire waterkering. De ligging heeft geen nadelige invloed op de hoogte van de primaire waterkering.

Zetting door verdichting als gevolg van trillingen

Door trillingen (effecten H1.1, H1.2 en H3.2) kunnen losgepakte zandlagen worden verdicht met als gevolg zakking van het dijkprofiel. Op basis van het beschikbaar gestelde grondonderzoek blijkt dat zowel in het dijklichaam als in de ondergrond losgepakte zandlagen voorkomen. De zetting als gevolg van verdichting wordt op basis van monitoringsgegevens bij heiwerkzaamheden geschat op enkele centimeters tot enkele decimeters (zettingen van 0,3 m zijn bekend, [REF16]). De zetting door verdichting zal beperkt blijven tot maximaal enkele decimeters in een kleine zone (tot op enkele meters afstand) rondom de palen. De consequenties voor het overslagdebiet zijn verwaarloosbaar. Eventuele zetting kan bovendien tijdig worden hersteld.

Zetting door grondaanvullingen en terreinbelastingen

Door ophogingen en terreinbelastingen neemt de spanning in de ondergrond toe (effect H1.3), waardoor consolidatie kan optreden van samendrukbare grondlagen. Op basis van het grondonderzoek blijkt de ondergrond en het dijklichaam te bestaan uit zand. Door afwezigheid van samendrukbare grondlagen wordt nagenoeg geen zetting door consolidatie verwacht. De te verwachten zakking van de kruin door het aanbrengen van de ophogingen zal minder zijn dan enkele centimeters als gevolg van onmiddellijke zetting van zand (herschikking korrelstructuur). De consequenties voor het overslagdebiet zijn verwaarloosbaar.

5.1.4 Resultaten toetsing hoogte

Voor de hier beschouwde keringen geldt dat het mechanisme golfoverslag verreweg maatgevend is boven het tweede hoogtemechanisme overloop. De beoordeling heeft zich dan ook gericht op het faalmechanisme golfoverslag. Op basis van de beoordeling kan worden geconcludeerd dat de kruinhoogte enigszins zou kunnen afnemen door de aanleg van de windturbines. De kruinverlaging is echter zeer lokaal en bovendien zo gering dat de invloed op het overslagdebiet verwaarloosbaar is. Bovendien kan de kruinhoogte na optreden van eventuele zettingen achteraf weer op het oorspronkelijk niveau worden gebracht. Geconcludeerd wordt dat de waterkering 'goed' scoort voor het toetsspoor 'Hoogte'.

5.2 Toetsing piping en heave (STPH)

5.2.1 Huidige veiligheid

Het mechanisme piping (zandmeevoerende wellen onder de dijk) is beoordeeld op basis van een eenvoudige toetsing. Er wordt hierbij geen onderscheid gemaakt tussen piping en heave, waarbij alleen de horizontale kwelweglengte wordt beschouwd. Aangezien er sprake is van een zanddijk op een zandondergrond (type 2B conform VTV2006) is piping en heave niet relevant voor de Philipsdam en Grevelingendam. Direct onder de dijkzool is geen afdekkende slecht doorlatende grondlaag aanwezig, waarlangs een zandmeevoerende wel (doorgaande pipe) zich zou kunnen vormen. Plaatselijk kan een kleilens voorkomen, maar deze vormt geen doorgaande afsluitende laag. Het mechanisme piping en heave is daarom niet relevant. In de veiligheidstoetsingen van de Philipsdam en de Grevelingendam scoren alle dijksecties om deze reden 'goed'.

5.2.2 Mogelijke effecten op de functionaliteit

Het mechanisme piping en heave kan over het algemeen nadelig worden beïnvloed door de volgende effecten:

Verkorten kwelweglengte door verschilvorming

Door verschilvormingen op het grensvlak van een constructie en ondergrond kan de kwelweglengte worden verkort, waardoor de weerstand tegen piping afneemt.

Verkorten kwelweglengte door doorbreken slecht doorlatende grondlagen

Slecht waterdoorlatende grondlagen zouden kunnen worden doorbroken of opbarsten als gevolg van ontgravingen of inbrengen van palen. Hierdoor kan de kwelweg worden verkort.

5.2.3 Beoordeling van effecten

In het huidige ontwerp is nergens een grensvlak van een constructie of slecht doorlatende grondlaag aanwezig over de volledige breedte van het dijklichaam, waardoor er geen doorgaande zandmeevoerende wel kan ontstaan. Volstaan kan worden met een eenvoudige toetsing, waarbij op basis van de aanwezige bodemopbouw het optreden van piping en heave wordt uitgesloten.

5.2.4 Resultaten toetsing piping en heave

Zoals aangegeven in paragraaf 5.2.1 is het mechanisme piping en heave niet relevant voor de Philipsdam en Grevelingendam. De aanleg van het windpark leidt niet tot een verandering van de opbouw van de dijk en ondergrond (geen doorgaande afdekkende lagen of harde constructieonderdelen), waardoor piping niet kan optreden. De aanleg van het windpark heeft geen negatieve invloed op de weerstand tegen piping. Op basis van de VTV2006 kan de score 'goed' worden toegekend.

5.3 Toets binnenwaartse macrostabiliteit (STBI)

5.3.1 Huidige veiligheid

De binnenwaartse macrostabiliteit is in derde veiligheidstoetsing onderzocht door middel van een eenvoudige geometrische toets en gedetailleerde stabiliteitsberekeningen. Dijksectie 'Schouwen' van de Grevelingendam en dijksectie 9 van de Philipsdam voldoen niet aan de veilige afmetingen volgens de eenvoudige toets. Wel is de berekende stabiliteitsfactor voor deze twee secties ruim voldoende. De overige dijksecties voldoen op basis van de eenvoudige geometrische toets. Alle dijksecties hebben de score 'voldoende' of 'goed', zie tabel 5.3.1.

Volledigheidshalve is voor dit onderzoek ook de berekende stabiliteitsfactor aangegeven in onderstaande tabel. Voor dijksectie 4 is de stabiliteitsfactor lager dan de vereiste factor. De dijk scoort toch voldoende volgens de VTV2006, aangezien er voldoende restprofiel is om de waterkerende functie te blijven vervullen.

Tabel 5.3.1 Huidige stabiliteit

Sectie	Geometrische toets	MStab berekening Stabiliteitsfactor	Vereiste stabiliteitsfactor
Schouwen	Voldoet niet	2,18	1,18
Goeree	Voldoet	2,43	1,18
1	Voldoet	1,18	1,13
2	Voldoet	1,19	1,13
3	Voldoet	1,19	1,13
4	Voldoet	1,06 ¹⁾	1,13
5	Voldoet	1,16	1,13
6	Voldoet	1,17	1,13
7	Voldoet	1,52	1,13
8	Voldoet	1,41	1,13
9	Voldoet niet	1,61	1,13
11	Voldoet	1,40	1,13
12	Voldoet	- ²⁾	1,13
13	Voldoet	1,86	1,13

1) De dijk voldoet op basis van eenvoudige geometrisch toetsing. Na afschuiven zal er voldoende restprofiel zijn om de waterkerende functie te vervullen.

2) Voor dijksectie 12 is geen stabiliteitsberekening uitgevoerd. Er zijn hier geen windturbines voorzien.

De profielen die op basis van de eenvoudige toets zijn goedgekeurd zijn in hoogte of breedte overgedimensioneerd. Zoals uit de stabiliteitsberekeningen blijkt, is de stabiliteitsfactor voor de secties 1 t/m 6 net voldoende of zelfs onvoldoende (sectie 4). Veelal betreft het een lokaal afschuiven van de

binnenberm of een lokaal ondiep glijvlak op het binnentalud. Afschuiven zou voor deze profielen niet direct tot bezwijken van de waterkering leiden, doordat het resterende profiel na afschuiving nog voldoende is om de waterkerende functie te vervullen.

5.3.2 Mogelijke effecten op de functionaliteit

De binnenwaartse macrostabiliteit kan negatief beïnvloed worden door de volgende effecten:

Bouwfase

- STBI1.1 - De door heiwerkzaamheden veroorzaakte trillingen kunnen leiden tot tijdelijke verhoging van wateroverspanningen (zone van circa 10 m) in het dijklichaam en daarmee mogelijk tot bezwijken door verweken (keileemkern of los gepakt dijkzand) of afschuiven van de waterkering;
- STBI1.2 - De door heiwerkzaamheden veroorzaakte trillingen kunnen leiden tot verweking van de keileemkern of het los gepakte zand in de waterkering en daarmee tot instabiliteit van de waterkering;
- STBI1.3 - De dynamische belastingen op de grond ten gevolge van het heien kunnen leiden tot afname van de stabiliteit van de waterkering.
- STBI1.4 - Door aanwezigheid van een kraan en materiaalopslag op de opstelplaatsen neemt de bovenbelasting toe, waardoor de stabiliteit kan afnemen.
- STBI1.5 - Bij betreding van de waterkering met zwaar bouwverkeer op de toerit of de bouwweg neemt de bovenbelasting toe en kan de stabiliteit afnemen.
- STBI1.6 - Ten behoeve van het plaatsen van de funderingspoer en het aanleggen van kabels en eventuele mantelbuizen zullen tijdelijke ontgravingen nodig zijn, welke de waterkering tijdelijk verzwakken met verhoogde kans op afschuiven.

Gebruiksfasen

- STBI2.1 - Bij op de waterkering geplaatste windturbines zou er (in geval van belastingoverdracht via palen binnen het kritieke glijvlak) door het gewicht van de windturbine sprake kunnen zijn van een verticale belasting op de waterkering en de directe ondergrond. Een dergelijke belasting zou de stabiliteit van de waterkering kunnen beïnvloeden. Palen worden echter voldoende diep doorgezet, waardoor dit effect niet relevant is.
- STBI2.2 - Trillingen door cyclische windbelastingen of extreme piekbelastingen zou mogelijk kunnen leiden tot verhoogde waterspanningen, verweking van keileem of zand in de dijk kern, verminderde grondeigenschappen en extra belasting op de grond. Hierdoor kan de stabiliteit van de waterkering door afschuiven nadelig worden beïnvloed en/of kan zetting optreden.

Tijdens en na verwijderingsfase

- STBI3.1 - De door de sloopwerkzaamheden veroorzaakte belastingen kunnen de functionaliteit van de waterkering tijdelijk beïnvloeden. Hierbij wordt gedacht aan beïnvloeding van de stabiliteit van de waterkering door betreding met zwaar materieel en eventueel veroorzaakte trillingen.

5.3.3 Beoordeling van effecten

Algemeen

In de eenvoudige beoordeling van de binnenwaartse macrostabiliteit volgens de VTV2006 wordt geen rekening gehouden met effecten als gevolg van dynamische grondbelastingen door heien of wind of

effecten door een extra bovenbelasting (in de huidige situatie 13 kPa, in de toekomstige situatie 15 kPa) en ontgravingen. Voor de beoordeling wordt daarom verder gegaan met een gedetailleerde toetsing op basis van stabiliteitsberekeningen. Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van het programma D-GeoStability van Deltares.

Stabiliteitsberekeningen worden uitgevoerd voor doorsneden ter plaatse van de maatgevende windturbinelocaties en ontgraving aan de binnenzijde. Daarnaast kunnen trillingen die door heien of door de windturbine aan de ondergrond worden afgegeven effect hebben op het naastgelegen dijklichaam. In de analyse van de binnenwaartse macrostabiliteit worden daarom per maatgevende locatie de volgende profielen beschouwd:

1. Het profiel ter plaatse van de toekomstige windturbine met paalfundering;
2. Het profiel ter plaatse van de toekomstige kraanopstelplaats;
3. Het huidig dijkprofiel naast de windturbinelocatie (dus zonder verbreding, damwanden of palen)
4. Het huidig dijkprofiel met ontgraving ten behoeve van kabels.

Kritische aspecten

Op basis van de geïnventariseerde mogelijke effecten zijn de volgende kritische aspecten nader onderzocht:

- *de grondopbouw*: Het inbrengen van palen en damwanden voor de realisatie en gebruik van het windpark Krammer heeft een positief effect, doordat grond wordt opgespannen en 'vernageld' (grondvernageling). Wel kan door het verwijderen van damwanden en/of paalfundering de grondopbouw worden geroerd, waardoor de schuifsterkte afneemt;
- *de geometrie van het dijklichaam*: de geometrie van het dijklichaam kan lokaal aangepast worden door de plaatsing van de windturbines door bijvoorbeeld een plaatselijke verbreding van de kruin of het toepassen van damwanden, of een (tijdelijk) ontgraving ten behoeve van de bouw van de fundering. Deze wijzigingen van de geometrie hebben veelal een positieve invloed op de macrostabiliteit, of zijn van tijdelijke aard.
- *de wateroverspanningen*: ter plaatse van de windturbinelocatie zal door het heien van palen een wateroverspanning leiden tot afname van de stabiliteit. Vanwege de zandige bodemopbouw is alleen een wateroverspanning in rekening gebracht voor het profiel ter plaatse van het funderingsblok.
- *de eventuele aanwezige bovenbelasting in het aandrijvende deel*: de aanwezigheid van zwaar bouw- en onderhoudsverkeer heeft een negatief effect op de macrostabiliteit. De belasting voor bouwverkeer (15 kPa) is aanwezig ter plaatse van de wegen. De belasting treedt niet gelijktijdig op met een bovenbelasting voor calamiteiten (13 kPa), welke op de kruin is voorzien, ook als er op de kruin geen weg aanwezig is.
- *de dynamische belastingen in de ondergrond*: de dynamische belastingen in de ondergrond als gevolg van heien of windbelastingen hebben een negatief effect op de macrostabiliteit.

Aanpak beoordeling

Om inzicht te krijgen in het effect van de wijzigingen in grondopbouw, geometrie, waterspanning, bovenbelasting en dynamische belastingen zijn voor maatgevende locaties stabiliteitsberekeningen uitgevoerd voor de gevallen, zoals aangegeven in tabel 5.3.2.

Tabel 5.3.2 Rekengevallen binnenwaartse macrostabiliteit

Profiel	Bouwfase	Gebruiksfase	Verwijderingsfase
1. Toekomstig met Windturbine en paalfundering	-Nog geen paalfundering -Grondbelasting door heitrillingen (1500 mm/s ² en 750 mm/s ²) -20% wateroverspanning -Verkeersbelasting (15 kPa)	- Paalfundering aanwezig (glijvlak beneden paalpunt op NAP -24 m) - Grondbelasting door cyclische windbelasting (40 mm/s ² en 80 mm/s ²) -Verkeersbelasting (13 kPa)	<i>Met palen aanwezig:</i> -Grondbelasting door trillingen sloophamer (300 mm/s ² en 150 mm/s ²) -Verkeersbelasting (15 kPa)
2. Toekomstig met kraanopstelplaats	-Grondbelasting door heitrillingen (1500 mm/s ² en 750 mm/s ²) -Verkeersbelasting (15 kPa)	-Grondbelasting door cyclische windbelasting (40 mm/s ² en 80 mm/s ²) -Verkeersbelasting (13 kPa)	-Grondbelasting door trillingen sloophamer (300 mm/s ² en 150 mm/s ²) -Verkeersbelasting (15 kPa)
3. Huidig dijklichaam (naast de windturbine)	-Grondbelasting door heitrillingen (500 mm/s ² en 250 mm/s ²) -Verkeersbelasting (15 kPa)	-Grondbelasting door cyclische windbelasting (40 mm/s ² en 80 mm/s ²) -Verkeersbelasting (13 kPa)	-Grondbelasting door trillingen sloophamer (150 mm/s ² en 50 mm/s ²) -Verkeersbelasting (15 kPa)
4. Huidig dijklichaam met ontgraving	-Ontgraving nabij binnenteen -Verkeersbelasting 15 kPa)	-	-

Selectie maatgevende locaties

Op basis van ligging van de windturbines in het dijkprofiel (buitentalud, binnentalud, achterland, etc.) binnen het invloedsgebied van de primaire waterkering is een clustering opgesteld. De clustering is opgenomen in bijlage 2.

Per cluster is in bijlage 2 aangegeven welke dijksectie van toepassing is en wat de stabiliteitsfactor is voor de huidige situatie. Op basis van de huidige veiligheid en de ingemeten geometrie zijn de volgende windturbinelocaties als maatgevende geselecteerd in verband met de ligging op of nabij het binnentalud:

Tabel 5.3.3 Maatgevende locaties binnenwaartse macrostabiliteit

Maatgevende locatie	Cluster	Dijksectie	Variant
WT13	WT13	11 van de Philipsdam	1
WT31	WT31	3 van de Philipsdam	2
WT26	WT26	4 van de Philipsdam	2
WT22	WT14, WT12, WT17, WT22	5 en 7 van de Philipsdam	3

Voor de geselecteerde locaties (clusters) is de windturbine voorzien op of nabij het binnentalud. Voor de overige locaties (zie bijlage 2) is de windturbine voorzien op een grotere afstand van de primaire waterkering of is een ruimere veiligheidsmarge aanwezig.

Resultaten beoordeling

In tabel 5.3.4 is een overzicht gegeven van de berekende stabiliteitsfactoren per locatie en per projectfase.

Tabel 5.3.4 Stabiliteitsfactoren binnenwaartse macrostabiliteit

Locatie	Huidig dijklichaam	Toekomstig windturbine	Toekomstig Kraanop- stelplaats	Huidig dijklichaam naast windturbine	Huidig dijklichaam met ontgraving
Bouwfase					
WT13	1,69	1,10	1,11	1,43	-
WT31	1,39	1,28	1,30	1,10	1,29
WT26	1,87	1,47	1,14 ¹⁾	1,46	1,93
WT22	1,14	1,14 ²⁾	1,18 ²⁾	1,04 ⁵⁾	1,11 ^{3)/1,14⁴⁾}
<i>Vereiste stabiliteitsfactor</i>	<i>1,13</i>	<i>1,10</i>	<i>1,10</i>	<i>1,00</i>	<i>1,00</i>
Gebruiksfase					
WT13	1,69	10,21	1,67	1,67	-
WT31	1,39	5,15	3,50	1,30	-
WT26	1,87	3,52	1,78	1,77	-
WT22	1,14	2,44	2,15 ²⁾	1,14	-
<i>Vereiste stabiliteitsfactor</i>	<i>1,13</i>	<i>1,24</i>	<i>1,24</i>	<i>1,13</i>	<i>-</i>
Verwijderingsfase					
WT13	1,69	6,38	1,51	1,53	-
WT31	1,39	3,56	2,82	1,18	1,29
WT26	1,87	2,65	1,49	1,61	1,93
WT22	1,16	2,28	1,89	1,06	1,11 ^{3)/1,14⁴⁾}
<i>Vereiste stabiliteitsfactor</i>	<i>1,13</i>	<i>1,10</i>	<i>1,10</i>	<i>1,00</i>	<i>1,00</i>

- 1) De stabiliteitsfactor onder maatgevende omstandigheden bedraagt 0,99 en is net onvoldoende. Om voldoende veiligheid te krijgen dient een stabiliteitsberm te worden aangebracht tot NAP +1,50 m. Hiermee is gerekend.
- 2) De damwand dient te worden aangebracht tot ten minste NAP -20,0 m, hiermee is gerekend.
- 3) Sleuf t.b.v. 33 kV kabel op binnenberm (alternatief kabeltracé)
- 4) Sleuf t.b.v. 33 kV kabel op binnenkruin (voorkeurtracé)
- 5) De stabiliteitsfactor onder maatgevende omstandigheden bedraagt 0,93 en is onvoldoende. De stabiliteit is voldoende (1,00) mits voldaan wordt aan één van de volgende voorwaarden:
 - a. een maximale horizontale versnelling van 350 mm/s² en verticale versnelling van 175 mm/s² op circa 15 m van het funderingsblok (inschatting midden van de potentiële afschuiving). Door middel van monitoring dient dit te worden geverifieerd.
 - b. stoppen met heien indien de buitenwaterstand hoger wordt dan NAP +2,3 m.

5.3.4 Resultaten toetsing binnenwaartse macrostabiliteit

Bouwfase

De dynamische grondbelasting als gevolg van heitrillingen en windbelastingen (STBI 1.1 t/m 1.6) heeft een ongunstig effect op de binnenwaartse macrostabiliteit: de stabiliteitsfactor neemt af als gevolg van de dynamische grondbelasting door heien.

Voor de windturbinelocaties langs het Laagbekken (WT14, WT12, WT17, WT22 en WT26) geldt dat onder voorwaarden de stabiliteit kan worden gewaarborgd. De voorwaarden betreffen:

- Voor WT26 dient ter plaatse van de kraanopstelplaats een stabiliteitsberm te worden aangebracht tot NAP +1,50 m.
- Voor WT14, WT12, WT17 en WT22 dient de damwand rondom de kraanopstelplaats en windturbinefundament te worden aangebracht tot een diepte van NAP -20 m.
- Voor WT14, WT12, WT17 en WT22 mogen geen heiwerkzaamheden plaatsvinden bij een buitenwaterstand die hoger is dan NAP +3,0 m.

Voor de locaties WT13 en WT31, waarbij de windturbines zijn voorzien tegen het binnentalud, geldt dat de waterkering in de bouwfase voldoende veilig is tegen binnenwaarts afschuiven.

Voor de overige locaties geldt dat de windturbine niet in het profiel van de primaire waterkering is gelegen, waardoor heitrillingen slechts een gering effect hebben. De stabiliteit is voor deze locatie gunstigere dan voor de locaties WT13 en WT31. Het betreffen locaties WT10, WT11, WT16, WT19, WT33, WT34, WT35, WT36, WT37, WT 38 en WT39.

Ten aanzien van de ontgravingen van sleuven ten behoeve van de windparkbekabeling kan worden geconcludeerd dat het effect op de stabiliteit zeer gering is. Voor alle locaties is de veiligheid voldoende.

Gebruiksphase

In de gebruiksfase (STBI 2.1 en 2.2) is voor alle locaties de stabiliteitsfactor groter dan de toetsfactor: de veiligheid tegen afschuiven is voldoende. Uit de berekeningsresultaten blijkt het volgende:

- De plaatsing van de windturbine met paalfundering resulteert in een hogere veiligheid tegen afschuiven.
- Voor de kraanopstelplaatsen wordt het dijklichaam stabiel indien een ophoging (WT26) en/of damwand (WT22) is voorzien.
- De dynamische grondbelasting op het dijklichaam heeft tijdens het gebruik een verwaarloosbaar (nihil) effect op de stabiliteit.

Voor de overige locaties/clusters geldt dat de veiligheid tegen binnenwaarts afschuiven hoger is dan de voor de beschouwde locaties. Voor deze locaties wordt in de gebruiksfase voldaan aan de stabiliteitscriteria.

Verwijderingsfase

In de verwijderingsfase (STBI 3.1 en 3.2) wordt voor alle locaties voldaan aan de stabiliteitseisen. Kritisch zijn de locaties rondom het Laagbekken (WT14, WT12, WT17 en WT22), waar de binnenwaartse stabiliteit van het naastgelegen dijklichaam maar net voldoet.

5.4 Toets buitenwaartse macrostabiliteit (STBU)

5.4.1 Huidige veiligheid

De profielen van de Grevelingendam en Philipsdam hebben op basis van een gedetailleerde toetsing (MStab berekeningen volgens de methode Bishop) de score 'goed' gekregen ([REF4] en [REF5]). De berekende en vereiste stabiliteitsfactoren zijn in onderstaande tabel aangegeven.

Tabel 5.4.1 Huidige buitenwaartse macrostabiliteit

Sectie	Huidige stabiliteitsfactor	Vereiste stabiliteitsfactor
Schouwen	2,39	1,12
Goeree	2,70	1,12
1	1,09	1,07
2	1,08	1,07
3	1,15	1,07
4	1,22	1,07
5	1,11	1,07
6	1,09	1,07
7	1,14	1,07
8	1,13	1,07
9	1,08	1,07
11	1,08	1,07
12	1,32	1,07
13	1,09	1,07

Uit de berekende stabiliteitsfactoren blijkt dat de aanwezige veiligheidsmarge voor vrijwel alle dijksecties van de Philipsdam beperkt is (minder dan 6%). Voor de Grevelingendam (Schouwen en Goeree) is een zeer ruime veiligheidsmarge aanwezig.

5.4.2 Mogelijke effecten op de functionaliteit

De buitenwaartse macrostabiliteit kan negatief beïnvloed worden door de volgende effecten:

Bouwfase

- STBU1.1 - De door heiwerkzaamheden veroorzaakte trillingen kunnen leiden tot tijdelijke verhoging van wateroverspanningen (zone van circa 10 m) in het dijklichaam en daarmee mogelijk tot bezwijken door verweken (keileemkern of los gepakt dijkzand) of afschuiven van de waterkering;

- STBU1.2 - De door heiwerkzaamheden veroorzaakte trillingen kunnen leiden tot verweking van de keileemkern of het los gepakte zand in de waterkering en daarmee tot instabiliteit van de waterkering;
- STBU1.3 - De dynamische grondbelastingen ten gevolge van het heien kunnen leiden tot afname van de stabiliteit van de waterkering.
- STBU1.4 - Door aanwezigheid van een kraan en materiaalopslag op de opstelplaatsen neemt de bovenbelasting toe, waardoor de stabiliteit kan afnemen.
- STBU1.5 - Bij betreding van de waterkering met zwaar bouwverkeer op toerit en bouwweg neemt de bovenbelasting toe en kan de stabiliteit afnemen.
- STBU1.6 - Ten behoeve van het plaatsen van de funderingspoer en het aanleggen van kabels en eventuele mantelbuizen zullen tijdelijke ontgravingen nodig zijn, welke de waterkering tijdelijk verzwakken met verhoogde kans op afschuiven.

Gebruiksfasen

- STBU2.1 - Bij op de waterkering geplaatste windturbines zou er (in geval van belastingoverdracht via palen binnen het kritieke glijvlak) door het gewicht van de windturbine sprake kunnen zijn van een verticale belasting op de waterkering en de directe ondergrond. Een dergelijke belasting zou de stabiliteit van de waterkering kunnen beïnvloeden. De palen zullen dusdanig diep worden ingebracht, dat dit effect niet relevant is.
- STBU2.2 - Trillingen door cyclische windbelastingen of extreme piekbelastingen kunnen leiden tot verhoogde waterspanningen, verweking van keileem of zand in de dijk kern, verminderde grondeigenschappen en extra belasting op de grond. Hierdoor kan de stabiliteit van de waterkering door afschuiven nadelig worden beïnvloed en/of kan zetting optreden.

Verwijderingsfasen

- STBU3.1 - De door de sloopwerkzaamheden veroorzaakte belastingen kunnen de functionaliteit van de waterkering tijdelijk beïnvloeden. Hierbij wordt gedacht aan beïnvloeding van de stabiliteit van de waterkering door betreding met zwaar materieel en eventueel veroorzaakte trillingen.

5.4.3 Beoordeling van effecten

Algemeen

De toetsing van de buitenwaartse stabiliteit is uitgevoerd door middel van gedetailleerde stabiliteitsberekeningen met behulp van het programma D-GeoStability van Deltares.

Stabiliteitsberekeningen zijn uitgevoerd voor doorsneden ter plaatse van de maatgevende windturbine locaties. Er zijn geen windturbines voorzien in het buitentalud van de primaire waterkering. Wel kunnen bij plaatsing aan de binnenzijde de dynamische belastingen of bovenbelastingen effect hebben op het dijklichaam. In de analyse van de buitenwaartse macrostabiliteit worden daarom per maatgevende locatie de volgende profielen beschouwd:

1. Het huidige dijklichaam zonder windturbine
2. Het toekomstige profiel ter plaatse van de windturbine met paalfundering (maximale belasting als gevolg van heitrillingen en dynamische grondbelastingen tijdens gebruik)

Kritische aspecten

Op basis van de geïnventariseerde mogelijke effecten zijn de volgende kritische aspecten nader onderzocht:

- *de grondopbouw*: doordat er geen windturbine is voorzien in het buitentalud vindt er geen verandering plaats van de grondopbouw.
- *de geometrie van het dijklichaam en de vooroever*: er vindt geen plaatselijke verbreding of ontgraving van het buitentalud of vooroever plaats, waardoor de geometrie niet nadelig wordt beïnvloed.
- *de eventuele aanwezige bovenbelasting in het aandrijvende deel*: de aanwezigheid van zwaar bouw- en onderhoudsverkeer heeft een negatief effect op de macrostabiliteit.
- *de dynamische belastingen in wateroverspanningen in de ondergrond*: de dynamische belastingen en wateroverspanningen in de ondergrond hebben een negatief effect op de macrostabiliteit. Doordat de windturbines zijn voorzien aan de binnenzijde of in het voorland is het effect gering.

Om inzicht te krijgen in het effect van de wijzigingen in grondopbouw, geometrie, bovenbelasting en dynamische belastingen zijn voor maatgevende locaties stabiliteitsberekeningen uitgevoerd voor de gevallen, zoals aangegeven in tabel 5.4.2.

Tabel 5.4.2 Rekengevallen buitenwaartse macrostabiliteit

Profiel	Bouwfase	Gebruiksfase	Verwijderingsfase
1. Toekomstig met Windturbine en kraanopstelplaats	-Grondbelasting door heitrillingen (500 mm/s ² en 250 mm/s ²) -Verkeersbelasting (15 kPa)	- Grondbelasting door cyclische windbelasting (40 mm/s ² en 80 mm/s ²) -Verkeersbelasting (13 kPa)	-Grondbelasting door trillingen sloophamer (150 mm/s ² en 75 mm/s ²) -Verkeersbelasting (15 kPa)

Selectie maatgevende locaties

Op basis van de ligging van de windturbines binnen het invloedsgebied van de primaire waterkering is een clustering opgesteld. De clustering is opgenomen in bijlage 2.

Per cluster is aangegeven welk dijksectie van toepassing is en wat de stabiliteitsfactor is voor de huidige situatie. Op basis van de huidige veiligheid en de ingemeten geometrie zijn vier maatgevende windturbinelocaties geselecteerd, zie tabel 5.4.3. Voor deze locaties/clusters is de windturbine voorzien op of nabij het binnentalud. Op deze locaties is het grootste effect op de buitenwaartse stabiliteit te verwachten.

Tabel 5.4.3 Maatgevende locaties buitenwaartse macrostabiliteit

Locatie	Cluster	Dijksectie	Variant
WT13	WT13	11 van de Philipsdam	1
WT31	WT31	3 van de Philipsdam	2
WT26	WT26	4 van de Philipsdam	2
WT22	WT14, WT12, WT17, WT22	5 en 7 van de Philipsdam	3

Resultaten beoordeling

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de berekende stabiliteitsfactoren voor de maatgevende locaties.

Tabel 5.4.4 Stabiliteitsfactoren buitenwaartse macrostabiliteit

Locatie	Huidig dijklichaam	Toekomstig windturbine aan binnenzijde
Bouwfase		
WT13	1,19	1,05
WT31	1,16	1,00 ¹⁾
WT26	1,20	1,03
WT22	1,10	1,00 ²⁾
<i>Vereiste stabiliteitsfactor</i>	<i>1,07</i>	<i>1,00</i>
Gebruiksfase		
WT13	1,19	1,17
WT31	1,16	1,13
WT26	1,20	1,18
WT22	1,10	1,09
<i>Vereiste stabiliteitsfactor</i>	<i>1,07</i>	<i>1,07</i>
Verwijderingsfase		
WT13	1,19	1,14
WT31	1,16	1,09
WT26	1,20	1,12
WT22	1,10	1,04
<i>Vereiste stabiliteitsfactor</i>	<i>1,07</i>	<i>1,00</i>

- 1) De stabiliteitsfactor onder maatgevende omstandigheden (val van de buitenwaterstand) bedraagt 0,98. De stabiliteit is voldoende (1,00) mits voldaan wordt aan één van de volgende voorwaarden:
 - a. een maximale horizontale versnelling van 450 mm/s² en verticale versnelling van 225 mm/s² op circa 35 m van het funderingsblok (insteek glijvlak). Door middel van monitoring dient dit te worden geverifieerd.
 - b. stoppen met heien indien de buitenwaterstand zakt na het bereiken van een buitenwaterstand hoger dan NAP +3,6 m. Zolang de hoge buitenwaterstand aanwezig is, is de stabiliteit voldoende.
- 2) De stabiliteitsfactor onder maatgevende omstandigheden (val van de buitenwaterstand) bedraagt 0,94. De stabiliteit is onder maatgevende omstandigheden (val van de buitenwaterstand) voldoende mits voldaan wordt aan één van de volgende voorwaarden:
 - a. een maximale horizontale versnelling van 300 mm/s² en verticale versnelling van 150 mm/s² ter plaatse van de buitenberm (insteek glijvlak) in combinatie met een bovenbelasting op de kruin (niet op de buitenberm). Door middel van monitoring dient dit te worden geverifieerd.
 - b. stoppen met heien indien de buitenwaterstand zakt na het bereiken van een buitenwaterstand hoger dan NAP +3,4 m. Zolang de buitenwaterstand aanwezig is, is de stabiliteit voldoende.

5.4.4 Resultaten toetsing buitenwaartse macrostabiliteit

Bouwfase

Voor alle beschouwde locaties geldt dat de stabiliteitsfactor tegen afschuiven afneemt als gevolg van het heien van palen aan de binnenzijde van de waterkering, maar voldoen. Voor locatie WT31 en de locaties WT14, WT12, WT17, WT22 bij het Laagbekken geldt dat de stabiliteitsfactor net niet voldoet onder maatgevende omstandigheden. Zolang een hoge buitenwaterstand aanwezig is, is de veiligheid voldoende. Indien een waterstand is bereikt die hoger is dan NAP +3,4 m bij locatie WT31 en NAP +3,6 m bij locaties WT14, WT12, WT17, WT22, zal bij val van de buitenwaterstand instabiliteit kunnen optreden. Voor deze locaties gelden de voorwaarden dat heien niet is toegestaan bij een buitenwaterstand hoger dan resp. NAP +3,4 m en NAP +3,6 m, of dat een maximaal toelaatbare heitrilling dient te worden aangehouden, zie de toelichting bij tabel 5.4.4.

Gebruiksfase

In de gebruiksfase neemt de stabiliteitsfactor met circa 1% af, waarbij voor alle locaties nog wordt voldaan aan het toetscriterium. Daarbij wordt opgemerkt dat de veiligheidstoets een 'worst case' aanpak betreft, de gehanteerde uitgangspunten zijn dan ook conservatief.

Verwijderingsfase

In de verwijderingsfase is de stabiliteit voor alle locaties voldoende. Kritisch zijn de locaties WT14, WT12, WT17, WT22 bij het Laagbekken, waar de veiligheid voldoende is, echter met een beperkte marge.

5.5 Toets microstabiliteit (STMI)

5.5.1 Huidige veiligheid

De gehele Grevelingendam en Philipsdam voldoen in de huidige situatie aan de criteria conform VTV2006 en HR2006 voor het toetsspoor Microstabiliteit. De toetsing richt zich op het opdrukken en afschuiven van de deklaag door waterdruk. De hoogte en helling van de freatische lijn in de waterkering is zodanig dat er geen opbouw van druk plaatsvindt onder de slecht doorlatende toplaag. Belangrijkste redenen hiervoor zijn de goede ontwatering van het dijklichaam, de geringe infiltratie door een gering overslagdebiet en een gering uittredeverhang door een breed dijklichaam. De score 'goed' is toegekend aan de gehele waterkering.

Voor de havendammen geldt dat er geen waterstandsverschil optreedt, waardoor er geen sprake kan zijn van waterdruk onder de deklaag. Microstabiliteit is voor de havendammen niet relevant.

5.5.2 Mogelijke effecten op de functionaliteit

In de eerdere technische haalbaarheidsstudie voor het windpark [REF18] zijn geen effecten benoemd welke betrekking hebben op microstabiliteit. Volgens de RWS publicatie [REF9] kan als enige effect worden verwacht dat de freatische lijn in de nabijheid van de windturbines kan worden beïnvloed. Een hogere freatische lijn kan leiden tot een toename van de waterdruk nabij de binnenteen.

5.5.3 Beoordeling van effecten

De doorlatendheid en de breedte van het dijklichaam blijven na aanleg van de windparkonderdelen gelijk of nemen zelfs toe (breedte). Doordat het dijklichaam en de ondergrond zijn opgebouwd uit goed doorlatend zand, en omdat de funderingsblokken voor de in de toetsing beschouwde locaties zijn gelegen boven de freatische lijn, wordt dit effect verwaarloosbaar geacht. Er zijn daarom geen nadelige effecten te verwachten.

5.5.4 Resultaten toetsing microstabiliteit

Op basis van een kwalitatieve beschouwing kan worden geconcludeerd dat de aanleg van de windparkonderdelen geen negatieve invloed heeft op de veiligheid van de waterkering ten aanzien van microstabiliteit. Ook na realisatie of verwijdering van de windparkonderdelen zal voldaan worden aan de criteria conform VTV2006: de waterkering met windturbines is voldoende veilig tegen optreden van microstabiliteit.

5.6 Toets stabiliteit voorland (STVL)

5.6.1 Huidige veiligheid

Grevelingendam

Voor de Grevelingendam voldoet de gehele waterkering aan de criteria conform VTV2006 en HR2006 voor het toetsspoor stabiliteit voorland. Voor beide dijkvakken zijn de scores 'goed' of 'voldoende' toegekend op basis van een eenvoudige toets. Een geavanceerde geotechnische toetsing is niet nodig.

Voor dijkvak Goeree-Overflakkee is voor zowel de Grevelingenzijde als de Krammerzijde de deelscore 'goed' toegekend aan de toetssporen afschuiving en zettingsvloeiing:

- het optreden van een afschuiving en/of zettingsvloeiing is niet schadelijk voor de waterkering;
- er wordt voldaan aan het bestortingscriterium.

Voor het damvak Schouwen-Duiveland is de score 'goed' toegekend voor het voorland aan de Oosterscheldezijde. Voor de Grevelingenzijde is de score 'voldoende' toegekend. Hier geldt:

- het optreden van een afschuiving en/of zettingsvloeiing is schadelijk voor de waterkering;
- het optreden van een afschuiving en/of zettingsvloeiing is op basis van geometrie niet mogelijk.

Philipsdam

Voor alle secties van de Philipsdam is de score 'goed'. Op basis van de geometrie van het voorland wordt voldaan aan het schadelijkheids- en bestortingscriterium. Het optreden van een afschuiving en/of zettingsvloeiing is niet schadelijk voor de waterkering.

5.6.2 Mogelijke effecten op de functionaliteit

De stabiliteit van het voorland kan negatief beïnvloed worden door de volgende effecten:

Bouwfase

- STVL1.1 - De door heiwerkzaamheden veroorzaakte trillingen kunnen bij aanwezigheid van een zettingsvloeiingsgevoelige voorland (aanwezigheid van een los gepakte fijnkorrelige zandlaag met geringe relatieve dichtheid), leiden tot het optreden van zettingsvloeiing in het voorland en daarmee mogelijk tot bezwijken van de waterkering;
- STVL1.2 – Door het aanbrengen van een grondlichaam tegen de waterkering neemt de bovenbelasting op het voorland toe waardoor afschuiving van het voorland kan optreden.

Gebruiksfasen

- Geen effecten

Verwijderingsfase

- STVL2.1 - De door de sloopwerkzaamheden veroorzaakte trillingen kunnen de functionaliteit van de waterkering tijdelijk beïnvloeden, overeenkomstig het effect STVL1.1 in de bouwfase.

5.6.3 Beoordeling van effecten

De grondophoging en hei- en slooptrillingen kunnen bij een afschuivings- en zettingsvloeiingsgevoelig voorland een extra belasting op de geulrand veroorzaken, waardoor verweking en/of afschuiving van zand kan worden ingeleid. Uit de huidige stabiliteit van het voorland blijkt echter dat een afschuiving of zettingsvloeiing niet mogelijk is op basis van geometrie. Zelfs in geval van optreden van zettingsvloeiing of afschuiving zal geen schade aan de waterkering optreden.

Doordat de bouw, gebruik en verwijderen van de verschillende windparkonderdelen geen verandering van de geometrie van het voorland tot gevolg heeft, zijn er geen negatieve effecten te verwachten ten aanzien van de stabiliteit van het voorland. De stabiliteit van het voorland zal niet negatief worden beïnvloed door de bouw, exploitatie en verwijdering van de windparkonderdelen.

5.6.4 Resultaat toetsing stabiliteit voorland

De plaatsing van de windturbines en bijbehorende funderingen, ophogingen, infrastructuur, bekabeling en transformatorstation heeft geen negatief effect op de stabiliteit van het voorland. Voor de toekomstige situatie scoort de waterkering 'voldoende' of 'goed' overeenkomstig de huidige situatie.

5.7 Toets bekleding (STBK)

5.7.1 Huidige veiligheid

Grevelingendam

Van de bekleding op de Grevelingendam met categorie c (tussen de Philipsdam en Goeree-Overflakkee) is geen toetsing uitgevoerd, aangezien in de VTV2006 hierin niet wordt voorzien.

De bekleding op de Grevelingendam aan de Oosterscheldezijde is door Rijkswaterstaat zelf getoetst. Er zijn geen gegevens beschikbaar van de toetsresultaten.

Philipsdam

De Philipsdam is tot een hoogte van circa NAP +4,20 m bekleed met een harde bekleding. Daarboven is een grasbekleding aanwezig. Doordat de grasbekleding voorkomt boven het toetspeil is deze alleen getoetst op erosie door golfoploop. De grasbekleding scoort voor alle secties 'voldoende' of 'goed'.

De steenzetting is door het Projectbureau Zeeweringen getoetst. De steenzetting van de secties 1,2 en 3 (deels) scoren 'goed' en de overige secties scoren 'onvoldoende'. Opgemerkt wordt dat de steenzettingen van het noordelijk deel van de Philipsdam tot het sluizencomplex in 2011 is vervangen (bevestiging door RWS) en dat in de periode 2014/2015 het zuidelijk deel wordt vervangen.

5.7.2 Mogelijke effecten op de functionaliteit

Bouwfase

- STBK1.1 - Bij betreding van de waterkering met zwaar bouwverkeer kan schade ontstaan aan de bekleding;
- STBK1.2 - Ten behoeve van het plaatsen van de funderingspoer en het aanleggen van kabels en eventuele mantelbuizen zijn tijdelijke ontgravingen nodig, welke de waterkering tijdelijk verzwakken met kans op lokale erosie.

Gebruiksfase

- STBK2.1 - Door het optreden van horizontale en verticale verschilvormingen, kan de aansluiting tussen de funderingsconstructie en de bekleding sterkte verliezen. Als gevolg hiervan kan lokale erosie optreden bij golfaanval aan de buitenzijde.
- STBK2.2 - Bij betreding van de waterkering met zwaar onderhoudsverkeer (bijvoorbeeld bij vervanging van grote onderdelen) kan schade ontstaan aan de aansluiting van een bouwweg op de bekleding;
- STBK2.3 - Aansluitingen van harde constructieonderdelen (funderingspoer) op het dijklichaam kunnen extra gevoelig zijn voor materiaaluitspoeling door geconcentreerde oppervlakteafstroming bij neerslag of golfoverslag. Bij plaatsing van windturbines op het buitentalud van een waterkering vormen de aansluitingen extra gevoelige punten voor erosie/materiaaluitspoeling bij golfaanval.

Verwijderingsfase

- STBK3.1 - Indien de fundering geheel of deels achterblijft kunnen door degradatie van het beton lokale verschilvormingen optreden met als gevolg verzakking van de bekleding.
- STBK3.2 – Het verwijderen van het funderingsblok, inclusief het bovenste deel van de funderingspalen tot een niveau van 1 a 2m onder de bovenkant van de bekleding zou gevolgen kunnen hebben voor de functionaliteit van de waterkering: het dwarsprofiel verandert tijdelijk bij

het verwijderen (lokale verlaging/versmalling inclusief verwijderen van de bekleding). Plaatselijk wordt de sterkte van de bekleding tijdelijk verminderd.

5.7.3 Beoordeling van effecten

De windparkonderdelen zijn voorzien op de kruin en aan de binnenzijde van de primaire waterkering. Er zijn geen windparkonderdelen voorzien in het buitentalud van de in de toetsing beschouwde locaties (voor de overige locaties is er geen sprake van een effect op de waterkerende functie van de waterkering). Voor de toetsing is daarom alleen de stabiliteit van de bekleding op de kruin en aan de binnenzijde relevant (erosie door golfoverslag of afschuiving t.g.v. van infiltratie van overslaand water) indien het golfoverslagdebiet groter wordt dan 0,1 l/s/m. In paragraaf 5.1 is al geconcludeerd dat de aanleg van het windpark niet resulteert in een overslagdebiet dat groter is dan 0,1 l/s/m. De bekleding aan de binnenzijde scoort hierdoor 'goed'.

Algemeen aandachtspunt in het ontwerp is het aansluiten van het funderingsblok en de verhardingen voor de kraanopstelplaats en bouwwegen op de bestaande bekleding. Voorwaarden voor het definitief ontwerp zijn:

- De bekleding in een zone van circa 11 m rondom de funderingsconstructie (helft van de blokdiameter) dient te worden ontworpen met een verhoogde hydraulische belasting: binnen deze zone dient de bekleding te worden versterkt, circa 1,5 maal de bestaande dikte.
- De aansluiting van de bekleding op het funderingsblok dient flexibel te worden uitgevoerd om de mogelijk optredende horizontale en verticale deformaties te kunnen opvangen.
- Bij verwijdering van de fundering dient de bekleding minimaal op de oorspronkelijke sterkte te worden teruggebracht.

5.7.4 Resultaten toetsing bekleding

Op basis van de kwalitatieve beoordeling van de bekleding kan worden geconcludeerd dat het overslagdebiet kleiner blijft dan 0,1 l/s/m, waardoor de belasting op de bekleding op de kruin en het binnentalud niet wijzigt. De stabiliteit van de bekleding wordt niet negatief beïnvloed door de aanleg van het windpark. De bekleding aan de binnenzijde scoort hierdoor 'goed'.

5.8 Toets NWO: kabels en transformatorstation

5.8.1 Algemeen

Bij kabels wordt onderscheid gemaakt tussen kabels die de waterkering kruisen en die parallel aan de waterkering lopen. De 33kV kabel en 150kV kabel zijn voorzien evenwijdig aan de primaire waterkering. De ligging is aan de binnenzijde van waterkering, veelal op de binnenberm.

De 150kV kabel kruist de waterkering niet. Op de volgende plaatsen kruist de 33kV kabel de primaire waterkering:

- Verbinding tussen WT34 en WT35;
- Verbinding tussen WT37 en WT39;
- Verbinding tussen WT10 en WT16;
- Verbinding Hoogbekken WT11/WT9 richting WT18; en
- Verbinding Laagbekken WT14 richting WT18

Het transformatorstation is voorzien op een hooggelegen binnenberm van de Philipsdam. De onderzijde van de constructie is in het ongunstigste geval gelegen op NAP +4,25 m (NAP +5,5 m minus 1,25 m) en blijft daarmee boven het toetspeil.

5.8.2 Mogelijke effecten op de functionaliteit

Bouwfase

- K1.1 - Ten behoeve van het aanleggen van kabels en het transformatorstation zullen tijdelijke ontgravingen nodig zijn, welke de waterkering tijdelijk verzwakken met kans op afschuiven, doorsnijding van afsluitende lagen of lokale erosie.

Gebruiksfase

- K2.1 - Bij kabels die de waterkering kruisen kan (door zetting), afhankelijk van de ligging, de kans op geconcentreerde erosie (kanaalvorming) optreden;
- K2.2- Bij kabels parallel aan de waterkering kan de kwel en/of erosie nadelig worden beïnvloed.

Verwijderingsfase

- K3.1 - Ten behoeve van het verwijderen van kabels en het transformatorstation zullen tijdelijke ontgravingen nodig zijn, welke de waterkering tijdelijk verzwakken met kans op afschuiven, doorsnijding van afsluitende lagen of lokale erosie.

5.8.3 Kwalitatieve beoordeling van effecten

Kabels parallel aan de waterkering

De kabels die evenwijdig lopen aan het dijklichaam zijn gelegen nabij de binnenkruinlijn (meer dan 2 à 3 m van de buitenkruinlijn), of in het binnentalud op de binnenberm. Volgens de VTV worden kabels geacht van weinig invloed te zijn op de veiligheid van waterkeringen en hoeven in principe niet te worden getoetst. Volgens de technische eisen voor windturbines op waterkeringen [REF9] mogen kabels op deze plaatsen worden aangelegd, mits voldaan wordt aan de juiste uitvoering. Dit betekent dat tijdens ontgraving van een sleuf de waterkering voldoende stabiel moet zijn. De stabiliteit van de waterkering is getoetst in paragraaf 5.3 en is voldoende.

Kabels en mantelbuizen die de waterkering kruisen

Op meerdere locaties kruist de 33kV kabel de primaire waterkering. De kruisingen zullen worden uitgevoerd als mantelbuis. Volgens de VTV dienen mantelbuizen te worden getoetst als drukloze leidingen. In het definitief ontwerp dienen de kruisingen te worden ontworpen volgens de vigerende leidraden. Vooral kwel en erosie zijn aspecten die in het ontwerp dienen te worden beschouwd.

Hieronder is per kruising aangegeven wat het mogelijk effect op de waterkering is:

- Tussen WT34 en WT35 kruist de kabel de Parallelweg en de N59. Het aanlegniveau verloopt van circa NAP +4,4 m (Krammerzijde) naar NAP +2,5 m (Grevelingen). Vanwege de gedeeltelijke ligging onder toetspeil kan kwel langs de leiding optreden. Door het beperkte verval en de grote lengte wordt het optreden van erosie door kwel of piping niet verwacht.
- Tussen WT37 en WT39 kruist de kabel de Zuiderlandsezeedijk en de N59. Het aanlegniveau van de kruisende mantelbuis verloopt van NAP +2,0 m (Grevelingenzijde) naar NAP +5,0 m (Volkerak). De primaire waterkering is hier van het type 'c', waardoor de mantelbuis boven de maatgevende waterstanden op het Grevelingenmeer en het Volkerak-Zoommeer ligt. Optreden van erosie door kwel en piping is niet mogelijk.
- Tussen WT10 en WT16 wordt de kruising van de primaire waterkering uitgevoerd in een open sleuf. Het aanlegniveau van de leiding (onderkant buis) bedraagt circa NAP +4,75 m en is ruim boven het toetspeil. Optreden van erosie door kwel en piping is niet mogelijk.
- Tussen Hoogbekken WT11/WT9 richting WT18 wordt de kruising van de primaire waterkering uitgevoerd in een open sleuf. Het aanlegniveau van de leiding (onderkant buis) bedraagt circa NAP +4,0 m en is boven het toetspeil. Optreden van erosie door kwel en piping is niet mogelijk.
- Tussen Laagbekken WT14 richting WT18 wordt de kruising van de primaire waterkering uitgevoerd in een open sleuf. Het aanlegniveau van de leiding (onderkant buis) bedraagt circa NAP +4,75 m en is ruim boven het toetspeil. Optreden van erosie door kwel en piping is niet mogelijk.

Tranformatorstation

Het transformatorstation is op meer dan 150 m afstand van de primaire waterkering gelegen. Daarnaast is de onderzijde van de constructie in het ongunstigste geval (variant 1) gelegen op NAP +4,25 m, dus boven het toetspeil van NAP +3,70 m. De aanleg van het transformatorstation heeft dus voor zowel variant 1 als 2 geen invloed op de stabiliteit. In de uiteindelijke situatie heeft de belasting van de constructie en een eventuele paalfundering een positief effect op de stabiliteit.

Door de ligging van de constructie boven het toetspeil spelen aspecten als kwel, piping, microstabiliteit geen rol.

5.8.4 Resultaten toetsing kabels en transformatorstation

Op basis van de kwalitatieve beoordeling kan worden geconcludeerd dat de stabiliteit van de waterkering wordt gewaarborgd. Voorwaarde is dat de kabels (inclusief de sleuf bij aanleg) niet worden aangelegd op minder dan 2 à 3m afstand van de buitenkruinlijn of op het buitentalud van de waterkerende deel van de waterkering. In het huidige voorontwerp wordt hieraan voldaan. Op basis van de geplande ligging is optreden van erosie door kwel of piping niet mogelijk. De kabels en het transformatorstation scoren daarom 'goed'.

6 Overzicht toetsresultaten en maatregelen

In het vorige hoofdstuk 5 is de hoogte en stabiliteit van de Grevelingendam en Philipsdam beoordeeld bij realisatie, gebruik en verwijdering van de onderdelen van Windpark Krammer. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de toetsresultaten. Daarnaast is aangegeven welke maatregelen nodig zijn om voor de gebruiksfase de huidige veiligheid te waarborgen (stabiliteitsfactor minimaal gelijk aan de huidige stabiliteitsfactor). Tenslotte is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om inzicht te krijgen in de invloed van de gemaakte aannamen (voornamelijk ten aanzien van de bodemopbouw en grondparameters) op de aanwezige veiligheidsmarge.

6.1 Overzicht toetsresultaten

In tabel 6.1.1 is een overzicht gegeven van de eindscore per toetsspoor. Onderscheid is gemaakt in clusters van windturbines en de niet waterkerende objecten (kabels en transformatorstation).

Voor WT31 en de windturbines langs het Laagbekken is de plaatsing van de windturbines en kraanopstelplaatsen toegestaan onder voorwaarden om de binnen- en buitenwaartse macrostabiliteit te waarborgen. De voorwaarden beperken zich tot de bouwfase. In tabel 6.1.2 is een overzicht gegeven van de voorwaarden.

Tabel 6.1.1 Resultaten veiligheidstoetsing

	Cluster						
Naam	Grevelingendam	Philipsdam	Philpsdam	Laagbekken	Sluizencomplex en havendam	Havendam	Kabels en transformatorstation
Windturbines	WT33, WT34, WT36, WT37 & WT39	WT13 & WT38	WT31	WT12, WT14, WT17, WT22 & WT26	WT16 & WT19	WT10 & WT11	
Locatie	Achterland	Binnentalud	Binnentalud	Binnentalud	Achterland	Voorland	
Toetsingscriterium							
HT Hoogte	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed	-
ST Stabiliteit dijk							
STPH Piping en heave	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed	-
STBI Macrostabieliteit binnenwaarts	Goed	Goed	Onder voorwaarden	Onder voorwaarden	Goed	Goed	-
STBU Macrostabieliteit buitenwaarts	Goed	Goed	Onder voorwaarden	Onder voorwaarden	Goed	Goed	-
STMI Microstabieliteit	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed	-
STBK Bekleding	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed	-
STVL Voorland	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed	Goed	-
NWO kabels en transformatorstation	-	-		-	-	-	Goed

Tabel 6.1.2 Voorwaarden

Cluster	Windturbines	Voorwaarden		
		Bouwfase	Gebruiksfase	Verwijderingsfase
Laagbekken	WT26	- Kraanopstelplaats op stabiliteitsberm tot NAP +1,50 m ÓF - Trillingsvrij paalsysteem (grondverdringende schroefpaal)	-	-
Laagbekken	WT12, WT14, WT17, WT22	- Damwand voor de windturbine en de kraanopstelplaats tot NAP -20,0 m ÉN - Een maximale horizontale versnelling van 350 mm/s² en verticale versnelling van 175 mm/s² op circa 15 m van het funderingsblok ter plaatse van het binnentalud van de waterkering. Door middel van monitoring dient dit te worden geverifieerd. OF - Stoppen met heien indien de buitenwaterstand hoger wordt dan NAP +2,3 m. Na val van de buitenwaterstand naar gemiddeld laag water, mag pas weer worden begonnen met heien nadat de waterspanningen in het dijklichaam mee zijn gezakt. Door middel van waterspanningsmeters kan dit worden gemeten.	-	
Philipsdam	WT31	- Een maximale horizontale versnelling van 450 mm/s² en verticale versnelling van 225 mm/s² op circa 35 m van het funderingsblok (insteek glijvlak) bij een maatgevende hoogwaterstand van NAP +3,7 m. Door middel van monitoring dient dit te worden geverifieerd. ÓF - Stoppen met heien indien de buitenwaterstand zakt na het bereiken van een buitenwaterstand hoger dan NAP +3,6 m. Zolang de hoge buitenwaterstand aanwezig is, is de stabiliteit voldoende.	-	-

6.2 Maatregelen

Bouwfase

Bij de toetsing in het vorige hoofdstuk zijn voor de bouwfase al maatregelen (voorwaarden) aangegeven om te voldoen aan de vereiste stabiliteitsfactor. Deze maatregelen betreffen:

- Het aanbrengen van een stabiliteitsberm ter plaatse van de kraanopstelplaats van windturbine WT26. De binnenberm dient te worden aangebracht tot NAP +1,50 m.
- Het inbrengen van de damwandconstructie tot het niveau NAP -20,0 m voor de locaties WT12, WT14, WT17 en WT22 (variant 3).

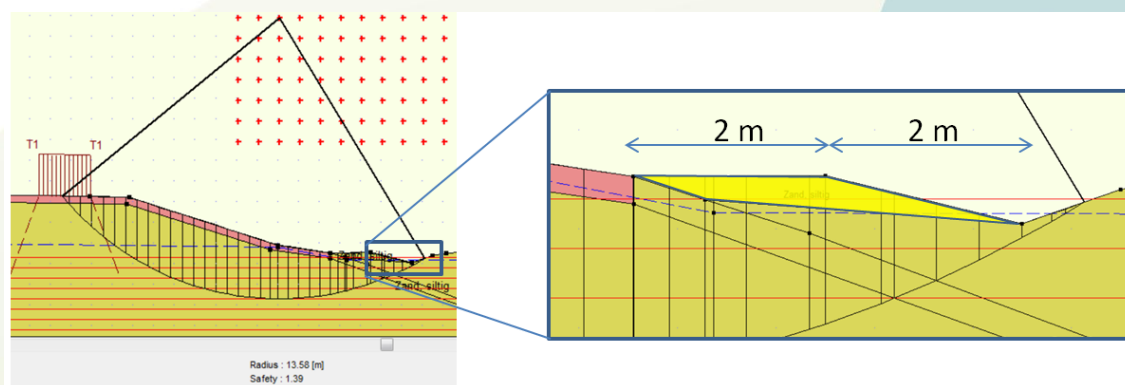
Als alternatief kan worden overwogen om voor de locaties langs het Laagbekken (WT12, WT14, WT17 en WT22) en locatie WT31 een trillingsvrij paalsysteem toe te passen, waardoor de belasting op de waterkering wordt gereduceerd. Voor de locaties met damwanden kan in dat geval worden volstaan met een korte planklengte.

Gebruiksphase

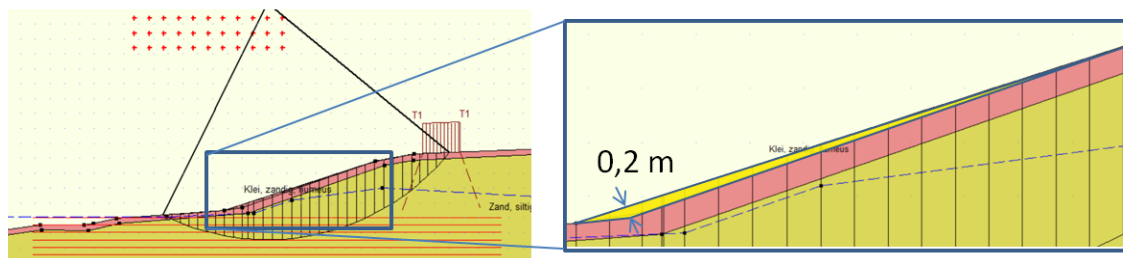
In de gebruiksphase voldoen alle locaties aan de vereiste stabiliteitsfactor. Er is echter sprake van een geringe afname van 1 à 6% van de stabiliteit ten opzichte van de huidige situatie. Daarbij wordt opgemerkt dat, zoals uit de navolgende uitgevoerde gevoeligheidsanalyse blijkt, de verwachting is dat er een nog geringere of zelfs helemaal geen sprake meer zal zijn van een afname van de stabiliteit ten opzichte van de huidige situatie, indien de huidige conservatieve aannames zullen worden vervangen door minder conservatieve aannames, naar aanleiding van onder meer het nog uit te voeren grondonderzoek.

Om de veiligheid te verhogen tot ten minste het huidige veiligheidsniveau zijn additionele maatregelen nodig. Voor de maatgevende locatie WT31 (grootste relatieve afname) zijn deze maatregelen in hoofdlijnen uitgewerkt. Deze mogelijke maatregelen bestaan uit het volgende:

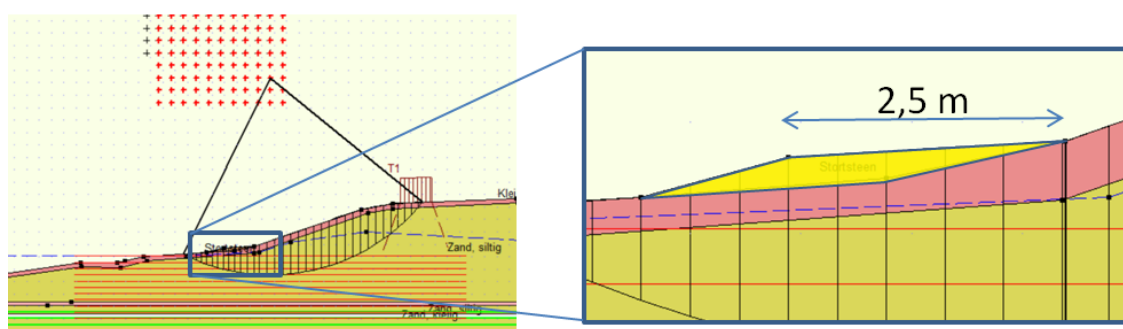
- Binnenwaarts:
 - Aanvulling met zand nabij de binnenteen. Bermafmetingen circa 0,4 m x 4 m (hoogte x breedte), zie afbeelding 6.2.1.
- Buitenwaarts:
 - Talud verflauwen (circa 0,20 m kleiaanvulling in teen), zie afbeelding 6.2.2..
 - Aanbrengen stortsteen nabij buitenteen: 2,5 m x 0,3 m, zie afbeelding 6.2.3.



Afbeelding 6.2.1. Mogelijke maatregel voor WT31 binnenwaarts



Afbeelding 6.2.2. Mogelijke maatregel voor WT31 buitenwaarts: taludverflauwing



Afbeelding 6.2.3. Mogelijke maatregel voor WT31 buitenwaarts: stortsteen

Uit de resultaten blijkt dat de omvang van de maatregelen beperkt is en dat volstaan kan worden met een aanvulling van grond of stortsteen.

6.3 Gevoeligheidsanalyse

In de toetsing zijn conservatieve aannamen gedaan ten aanzien van de belastingen en de weerstand. Belangrijke conservatieve aannamen zijn:

- Voor de bouw- en verwijderingsfase is de stabiliteit getoetst onder dezelfde maatgevende hydraulische omstandigheden als voor de gebruiksfase.
 - Binnenwaartse stabiliteit is beoordeeld bij maatgevend hoogwater (toetspeil)
 - Buitenwaartse stabiliteit is beoordeeld bij val van de buitenwaterstand van toetspeil naar gemiddeld laagwater.
- De versnelling ten gevolge van heien en dynamische windbelastingen zijn als aarbevingcomponent opgelegd voor de gehele doorsnede. In werkelijkheid zal door dempingseffecten de versnelling afnemen met de afstand en diepte.
- De aangehouden grondparameters zijn overgenomen uit de vorige toetsrapportages. Over het algemeen zijn lage waarden gehanteerd voor de sterkte-eigenschappen voor de ondergrond gebaseerd op tabel 1 van NEN6740.

Verwacht wordt dat op basis van aanvullend grondonderzoek hogere waarden voor de sterkte-eigenschappen van de grond kunnen worden afgeleid. Daarnaast wordt verwacht dat tijdens de meest kritische bouwphase gunstigere hydraulische omstandigheden voorkomen.

Om inzicht te krijgen in de mate waarin de parameters de stabiliteit gunstig beïnvloeden is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de mogelijke variatie in waarden voor de verschillende parameters.

Tabel 6.3.1 Variatie parameters ten behoeve van de gevoeligheidsanalyse

Parameter	Huidige aanname	Variatie
Hoek van inwendige wrijving (rekenwaarde) van de zandondergrond	Zand, siltig: 22,0°	Los gepakt zand: 26,7° Vast gepakt zand: 31,3°
Droog/nat volumegegewicht zand	17,9/17,9 kN/m ³	Los gepakt zand: 17/19 kN/m ³ Vast gepakt zand: 19/21 kN/m ³
Versnelling t.g.v. heien - binnenwaarts	Horizontaal: 1500 mm/s ² Verticaal: 750 mm/s ²	1250/625 mm/s ² 1000/500 mm/s ²
Versnelling t.g.v. heien – buitenwaarts en naast de windturbinelocatie	Horizontaal: 500 mm/s ² Verticaal: 250 mm/s ²	400/200 mm/s ² 300/150 mm/s ²
Wateroverspanning t.g.v. heien	20%	10% 5%
Toetspeil	NAP +3,7 m	-1,0 m: NAP +2,7 m -2,0 m: NAP +1,7 m

De analyse is uitgevoerd voor de meest kritische locatie WT22 (laagste stabiliteitsfactor), die representatief is voor de windturbines langs het Laagbekken. De berekeningen zijn uitgevoerd met behulp van het programma D-GeoStability. In de volgende tabellen zijn de berekende stabiliteitsfactoren aangegeven voor respectievelijk de binnen- en buitenwaartse macrostabiliteit.

Tabel 6.3.2 Resultaten gevoeligheidsanalyse binnenwaartse macrostabiliteit voor locatie WT22

		Stabiliteitsfactoren [-]		
		HUIDIG	BOUWFASE	
Parameter	Waarde	Huidige dijk	Toekomstig t.p.v. windturbine met damwand tot NAP -20 m	Bestaande dijk naast windturbine-locatie
<i>Uitgangswaarde:</i>		1,14	0,99	0,93
<i>Vereist:</i>		1,13	1,10	1,00
Hoek van inwendige wrijving	26,7°	1,39	1,23	1,12
	31,3°	1,59	1,49	1,32
Droog/nat volumegegewicht	17/19 kN/m ³	1,16	1,05	0,96
	19/21 kN/m ³	1,18	1,13	0,97
Versnelling t.g.v. heien	1250/625 mm/s ²	-	1,07	-
	1000/500 mm/s ²	-	1,17	-
Wateroverspanning t.g.v. heien	10%	-	1,00	-
	5%	-	1,01	-
Versnelling t.g.v. heien naast de windturbine	400/200 mm/s ²	-	-	0,96
	300/150 mm/s ²	-	-	0,99

		Stabiliteitsfactoren [-]		
		HUDIG	BOUWFASE	
Parameter	Waarde	Huidige dijk	Toekomstig t.p.v. windturbine met damwand tot NAP -20 m	Bestaande dijk naast windturbine-locatie
Toetspeil	NAP +2,7 m	1,17	1,00	0,97
	NAP +1,7 m	1,22	1,01	1,00

Tabel 6.3.2 Resultaten gevoeligheidsanalyse buitenwaartse macrostabiliteit voor locatie WT22

		HUDIG	TOEKOMSTIG
Parameter	Waarde	Huidige dijk	Windturbine aan binnenzijde
Uitgangswaarde:		1,10	0,94
Vereist:		1,07	1,00
Hoek van inwendige wrijving	26,7°	1,35	1,15
	31,3°	1,61	1,36
Droog/nat volumegewicht	17/19 kN/m ³	1,14	0,97
	19/21 kN/m ³	1,17	1,00
Versnelling t.g.v. heien	400/200 mm/s ²	-	0,97
	300/150 mm/s ²	-	1,00
Toetspeil (val van buitenwaterstand)	NAP +2,7 m	1,26	1,07
	NAP +1,7 m	1,32	1,12

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt het volgende:

- De sterkte van de zandondergrond heeft een grote invloed (>20%) op de stabiliteit. Verwacht wordt dat door uitvoeren van sonderingen en modellering van matig vaste en vaste (tussen)zandlagen de huidige veiligheidsmarge verder vergroot kan worden.
- De versnellingen ten gevolge van het heien hebben een matige invloed op de binnenwaartse stabiliteit ter plaatse van de windturbine. Bij circa 15% afname van de versnelling neemt de stabiliteit met 10% toe. Het effect van uitdempen van de versnellingen kan niet worden beoordeeld met de toegepaste rekenmodellen. Een meer geavanceerd rekenmodel zoals Plaxis is hiervoor nodig.
- Het volumegewicht van het zand, de wateroverspanning ten gevolge van heien en heiversnellingen naast de windturbine en aan de buitenzijde hebben een zeer beperkt effect (<5%) op de stabiliteit.
- Verlaging van de maatgevende hoogwaterstand heeft een gering effect op de binnenwaartse macrostabiliteit. Wel heeft de (val van de) maatgevende buitenwaterstand een effect op de buitenwaartse macrostabiliteit. Bij 1 m verlaging van de toelaatbare buitenwaterstand (NAP +2,7 m) neemt de stabiliteit toe met circa 15%.

Op basis van de analyse wordt voor het definitief ontwerp van het windpark het volgende aanbevolen:

- Het uitvoeren van sonderingen en boringen per locatie om meer inzicht te krijgen in opbouw en sterkte van de ondergrond.
- Het modelleren van heiversnellingen en het verloop van de freatische grondwaterstand en stijghoogte (de waterspanningen) in de ondergrond met behulp van een geavanceerd rekenmodel (bijvoorbeeld Plaxis/Plaxflow).

Conclusie gevoeligheidsanalyse:

Op basis van de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse kan worden geconcludeerd dat de volgens de resultaten van de toetsing geringe afname van het huidige veiligheidsniveau verder zal afnemen (uiterst geringe afname) of dat er zelfs helemaal geen sprake meer zal zijn van een afname van de stabiliteit ten opzichte van de huidige situatie, indien de huidige conservatieve aannames zullen worden vervangen door minder conservatieve aannames, naar aanleiding van onder meer het nog uit te voeren grondonderzoek en analyses ten behoeve van het definitieve ontwerp. De huidige resultaten zijn dan ook 'worst case', wat in lijn is met de in paragraaf 1.2 en 3.4 omschreven 'worst case' benadering.

7 Eindconclusie

Op basis van de uitgevoerde veiligheidstoets (de toetsing) kan worden gesteld dat tijdens het realiseren, gebruik en verwijderen van het opgestelde voorontwerp van de windparkonderdelen, conform de omschreven 'worst case' benadering (par. 1.2 en 3.4), de standzekerheid van de primaire waterkering blijft voldoen en de waterveiligheid gewaarborgd blijft. Mits tijdens de bouwfase voor de in tabel 6.1.2 aangegeven windturbinelocaties (WT12, 14, 17, 22, 26 en 31) voldaan wordt aan de gestelde voorwaarden. Er is wel sprake van een geringe afname (1 à 6%) van de stabiliteit ten opzichte van de huidige situatie ten tijde van de gebruiksfase. Echter is aan de hand van de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse te stellen dat verwacht mag worden dat bij de verdere uitwerking van het definitieve ontwerp er uiteindelijk nog sprake zal zijn van een uiterst geringe afname of zelfs helemaal geen afname van het huidige veiligheidsniveau.

8

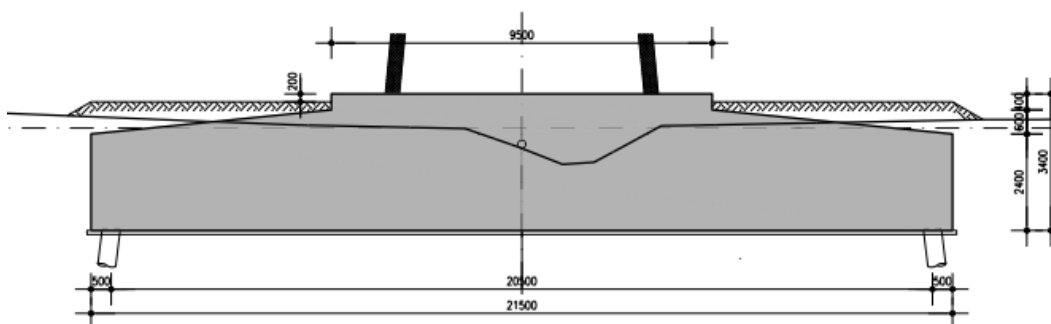
Referenties

- [REF1] Voorschriften Toetsen op veiligheid Primaire Waterkeringen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, september 2007 (VTV2006)
- [REF2] Hydraulische Randvoorwaarde Primaire Waterkeringen, voor de derde toetsronde 2006-2011 (HR2006), Ministerie van Verkeer en Waterstaat, september 2007.
- [REF3] Handreiking Constructief ontwerpen, Onderzoek en berekening naar het constructief ontwerp van de dijkversterkingen. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), Den Haag, 1994.
- [REF4] Derde toets op veiligheid verbindende waterkeringen zeeland – Philipsdam, Arcadis, 1 juli 2009
- [REF5] Toetsing waterstaatkundige toestand 2011 verbindende waterkering 16 – Grevelingendam, Baars-CIPRO, september 2008
- [REF6] Rijkswaterstaat Zeeland, Waterdistrict Zeeuwse Delta. Legger Grevelingendam. Januari 2009
- [REF7] Rijkswaterstaat Zeeland, Waterdistrict Zeeuwse Delta. Legger Philipsdam. Januari 2009
- [REF8] Invloed van windturbines op primaire waterkeringen, kansen en belemmeringen. Artikel Geotechniek, nummer 4, oktober 2012, pp. 30-34.
- [REF9] Windmolens en waterkeringen, technische eisen voor het plaatsen van windmolens op of nabij waterkeringen. Ministerie van Verkeer&Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. Dienst weg- en waterbouw, november 2000.
- [REF10] Muller, T.K. (2007), Meten, beoordelen en voorspellen van trillingen in de bouw Geotechniek, 4 september 2007, pp. 40-46.
- [REF11] Leidraad Ontwerpen van Rivierdijken, deel 1 – Bovenrivierengebied. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 's-Gravenhage, september 1985.
- [REF12] Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde. Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 25 oktober, 2012.
- [REF13] Handreiking Toetsen Voorland Zettingsvloeiing t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde. Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 25 oktober, 2012.
- [REF14] Waterkeringen Geologische Profielen, Rijkswaterstaat, Dienstkring Schelde-Rijn, Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, februari 2000, TNO-rapport NITG 00-55-B, proj.nr.005.30093/0101].
- [REF15] Handreiking Constructief Ontwerpen. Technische Adviescommissie voor Waterkeringen, 1994.
- [REF16] CUR-publicatie 166 (vierde druk) Damwandconstructies, oktober 2005, Stichting CUR, Gouda.
- [REF17] Effecten op de waterkering Windpark Noordermeerdijk Noordoostpolder, Opdrachtnummer 1009-0061-006. Fugro, Leidschendam, Augustus 2011.
- [REF18] Onderzoek plaatsingsmogelijkheden windturbines Krammersluizecomplex, verkenning van de technische haalbaarheid. Projectnummer 9W7156.A0. Royal Haskoning, 5 augustus 2011.

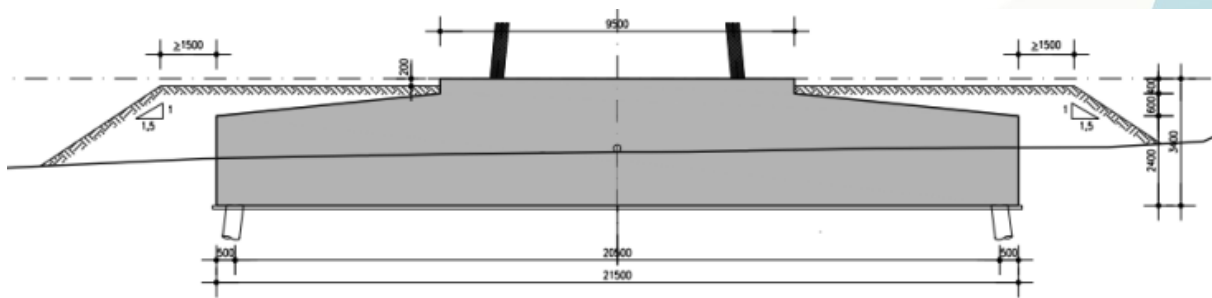
Bijlage 1 Voorontwerp civiele werken

Bijlage 1

Variante 1: Het windturbinefundament onder maaiveldniveau, BK fundament (en de kraanplaats/opstelplaats) 0,10 a 0,50 meter boven het maaiveld.

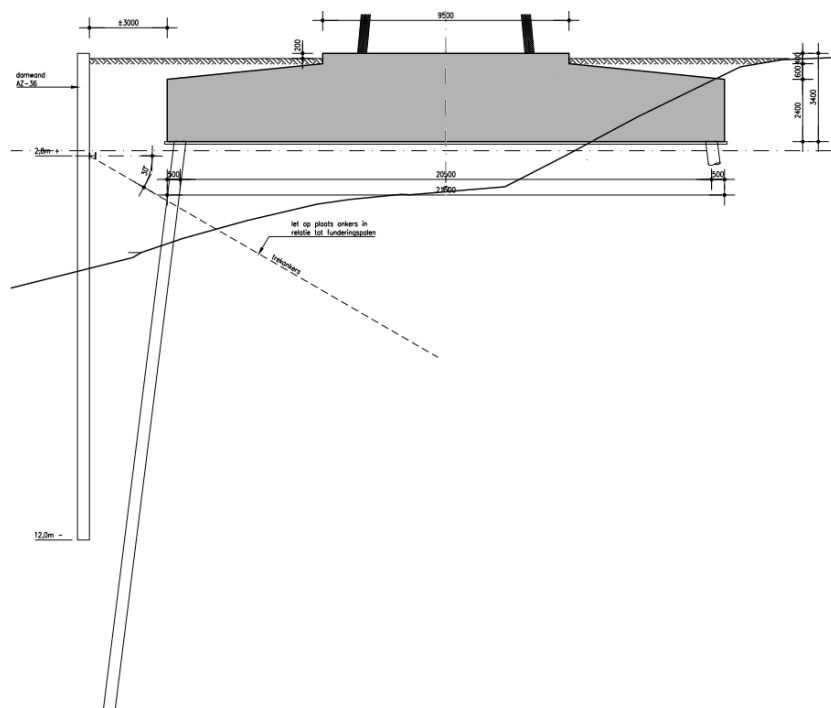


Variante 2: Het windturbinefundament en/of de kraanplaats/opstelplaats met terp (grondkering), BK fundament > 0,5 meter boven het maaiveld.

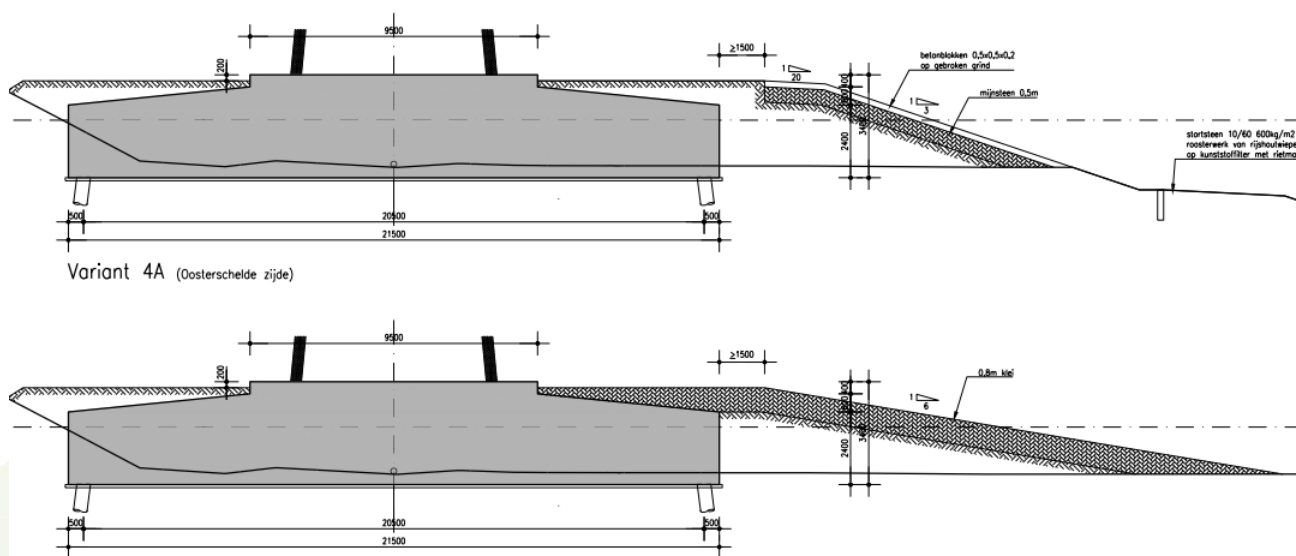


Variante 3: Het windturbinefundament en de kraanplaats/opstelplaats in combinatie met een damwandconstructie.

Bijlage 1

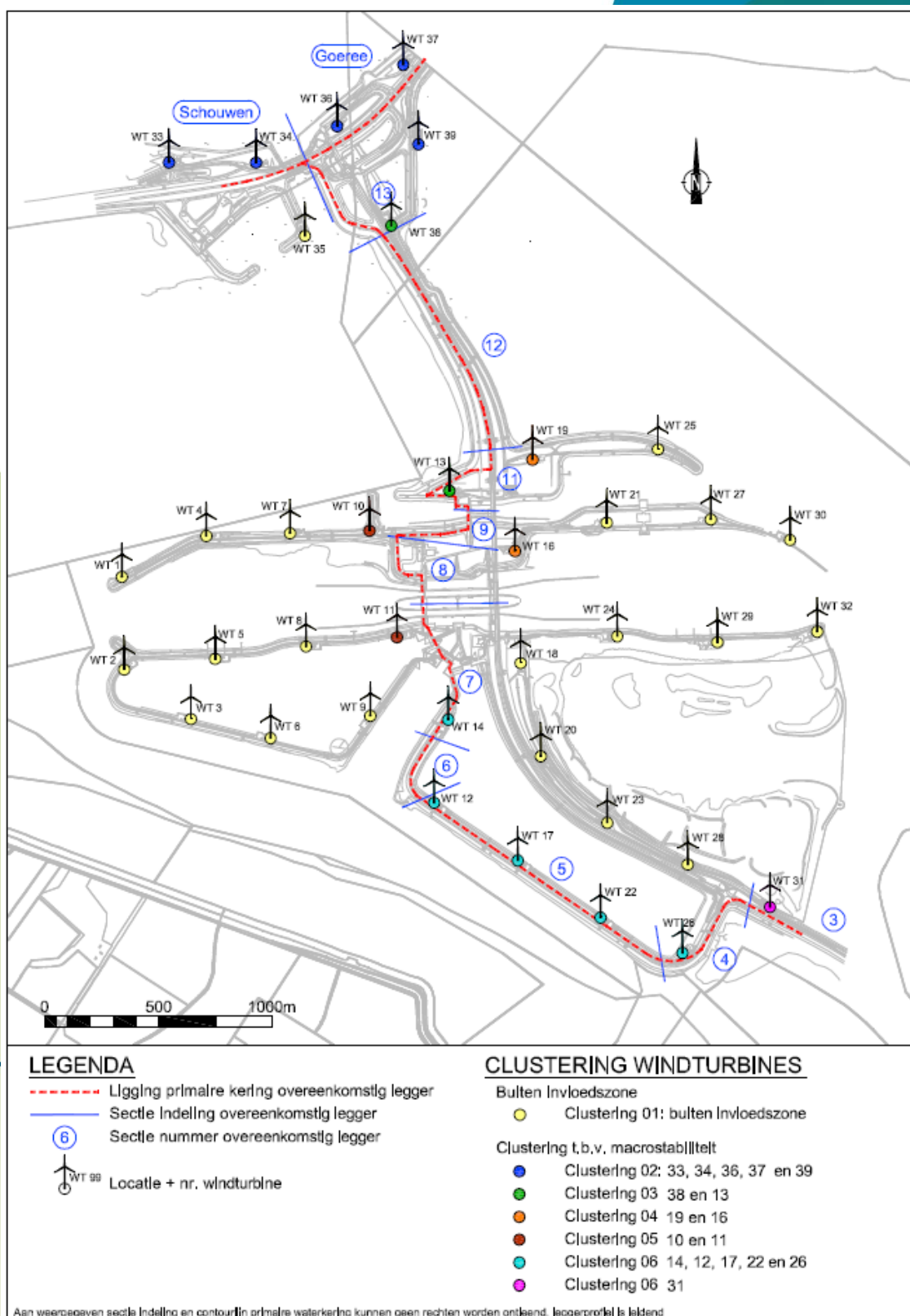


Variant 4: Het windturbinefundament en de kraanplaats/opstelplaats in combinatie met een grond- / stortsteenkering.



Bijlage 2 Clustering

									HT	STBI	STBU	
nr	X	Y	Indicatie Z	BK fundament	BK kraanplaats	Variant	Sectie VTV	Locatie WTG	Kruinhoogte- marge	Stab.factor	Stab.factor	Clusternaam
	[RD m]	[RD m]	[NAP m]	[NAP m]	[NAP m]				[m]	[-]	[-]	
33	68,792	410,719	2,50	2,50	1,75	Variant 2	Schouwen	Achterland	1.8	2.18	2.39	Schouwen
34	69,175	410,719	2,50	3,50	3,10	Variant 1	Schouwen	Achterland	1.8	2.18	2.39	Schouwen
36	69,531	410,878	2,50	2,50	1,70	Variant 2	Goeree	Achterland	2.3	2.43	2.70	Goeree
37	69,821	411,148	3,50	3,50	3,10	Variant 1	Goeree	Achterland	2.3	2.43	2.70	Goeree
39	69,888	410,799	3,50	3,50	3,25	Variant 3	Goeree	Achterland	2.3	2.43	2.70	Goeree
38	69,769	410,441	3,50	3,50	2,00	Variant 2	13	Achterland	2.6	1.86	1.09	Philipsdam
31	71,432	407,452	3,50	3,50	2,50	Variant 2	3	binnentalud	1.6	1.19	1.15	Philipsdam
13	70,024	409,278	5,00	5,00	4,75	variant 1	11	Binnentalud	3.7	1.40	1.08	Philipsdam
12	69,957	407,909	5,00	6,75	6,65	Variant 3	5	Binnentalud	2.7	1.16	1.11	Laagbekken 1
14	70,019	408,274	5,00	6,50	6,25	Variant 3	5	Binnentalud	2.7	1.16	1.11	Laagbekken 1
17	70,324	407,656	5,00	6,75	6,60	Variant 3	5	Binnentalud	2.7	1.16	1.11	Laagbekken 1
22	70,688	407,405	5,00	6,75	6,60	Variant 3	5	Binnentalud	2.7	1.16	1.11	Laagbekken 1
26	71,047	407,250	5,00	3,00	1,25	variant 2	4	Binnenteen	1.5	1.06	1.22	Laagbekken 2
10	69,673	409,103	4,00	5,00	4,50	variant 2	8	Voorland	4.1	1.41	1.13	Havendam
11	69,794	408,635	4,00	4,50	4,25	Variant 3	7	Voorland	1.9	1.52	1.14	Havendam
16	70,312	409,014	3,50	3,50	3,35	variant 1	9 en 11	Achterland	2.3	1.40	1.08	Sluizencomplex
0				nvt	7,50	Transform.	11	Achterland	3.7	1.40	1.08	Sluizencomplex
19	70,389	409,415	6,00	6,00	5,85	variant 1	11	Achterland	3.7	1.40	1.08	Sluizencomplex

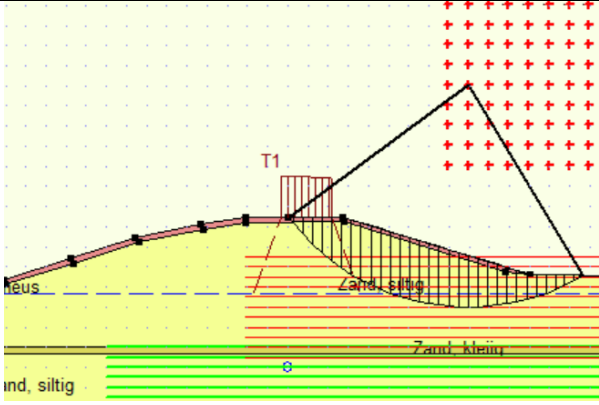
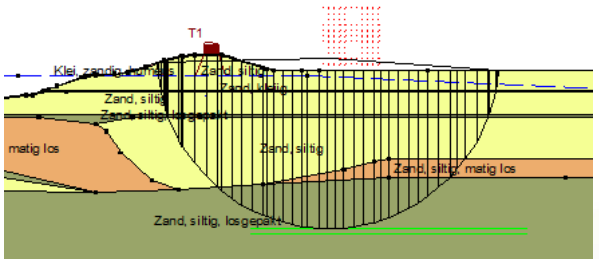
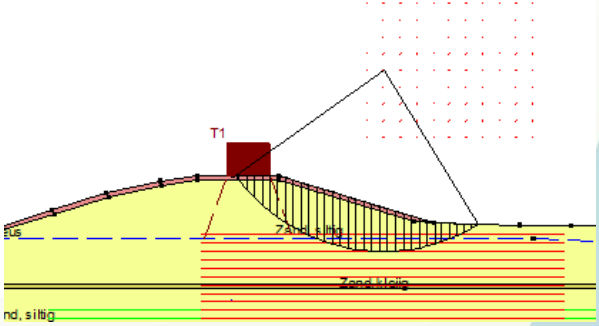
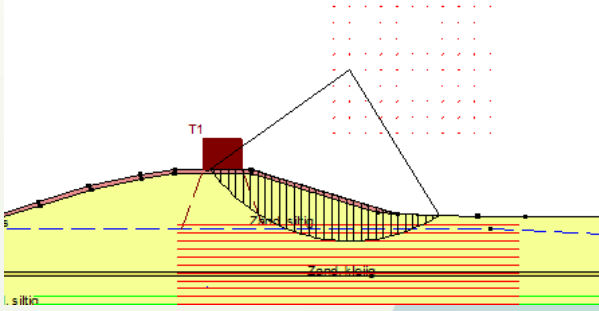


Bijlage 3 Glijvlakken stabiliteitsberekeningen

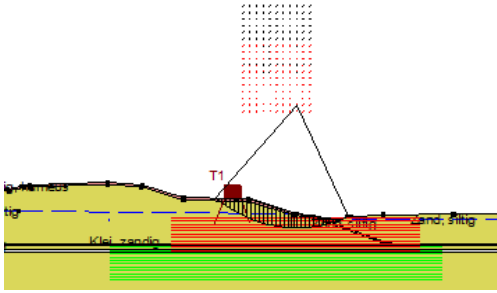
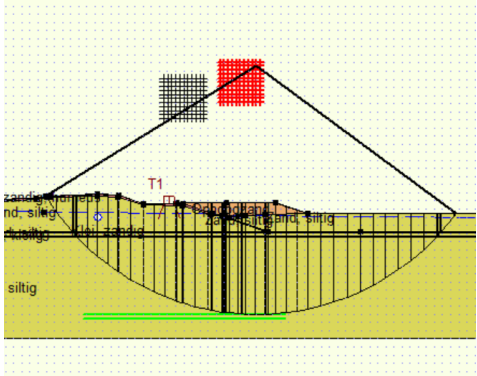
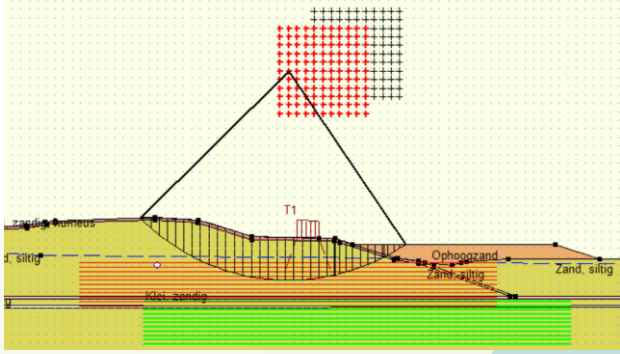
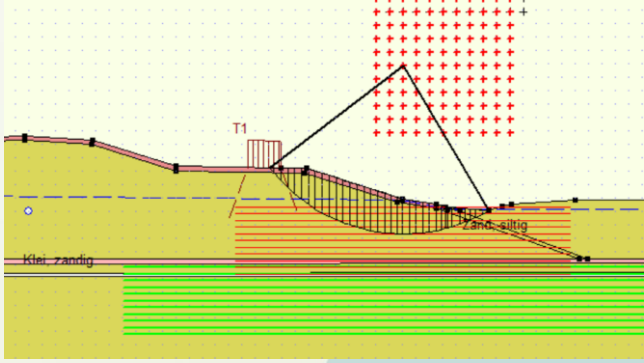


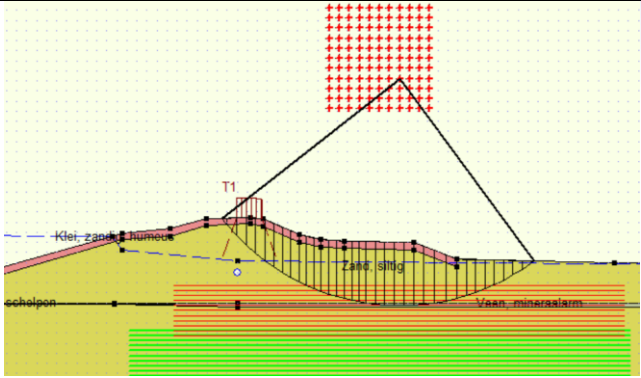
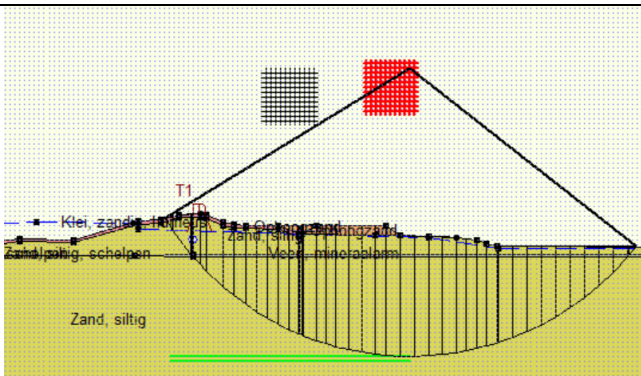
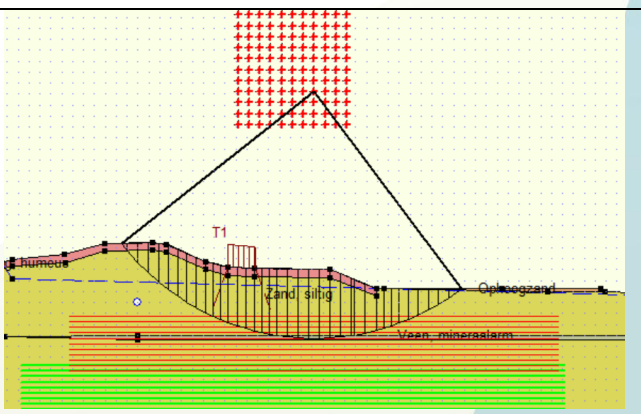
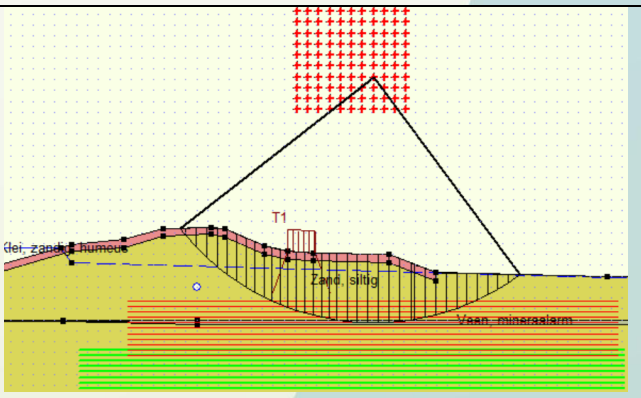
Macrostabiliteit binnenwaarts



WT13	Gebruiksfasen
Huidige situatie	
Toekomstig – Windturbine	
Toekomstig – Kraanopstelplaats	
Toekomstig – Dijk naast windturbine	



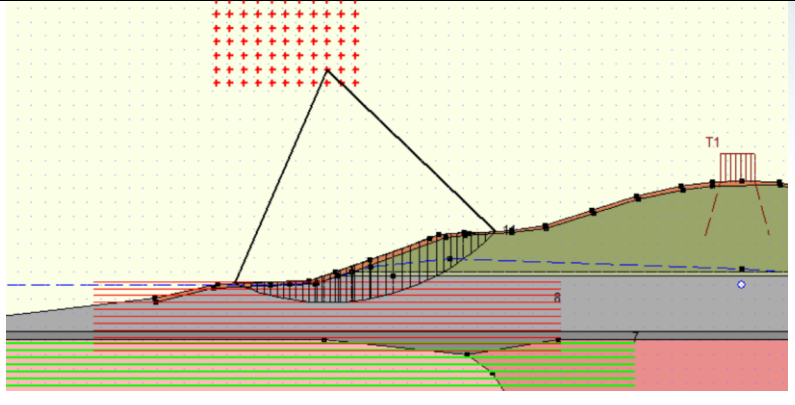
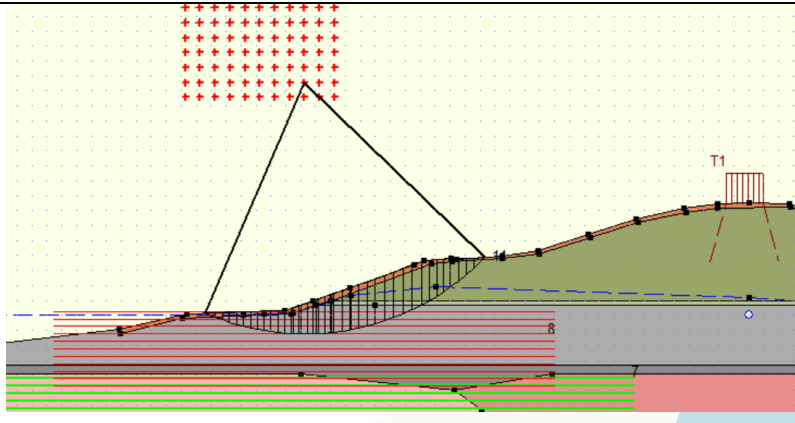
WT31	Gebruiksfase
Huidige situatie	
Toekomstig – Windturbine	
Toekomstig – Kraanopstelplaats	
Toekomstig – Dijk naast windturbine	

WT26	Gebruiksfase
Huidige situatie	
Toekomstig – Windturbine	
Toekomstig – Kraanopstelplaats	
Toekomstig – Dijk naast windturbine	

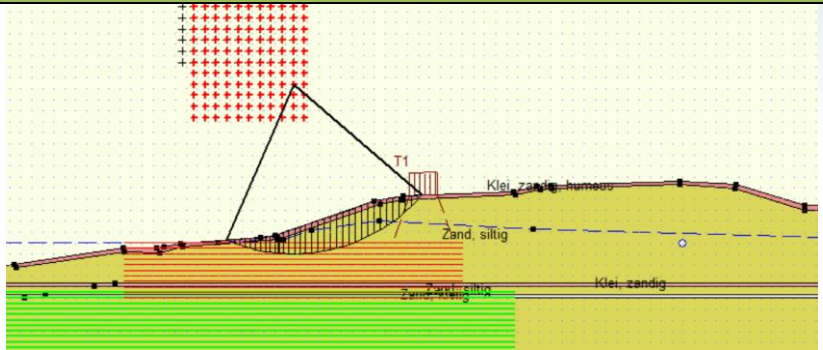
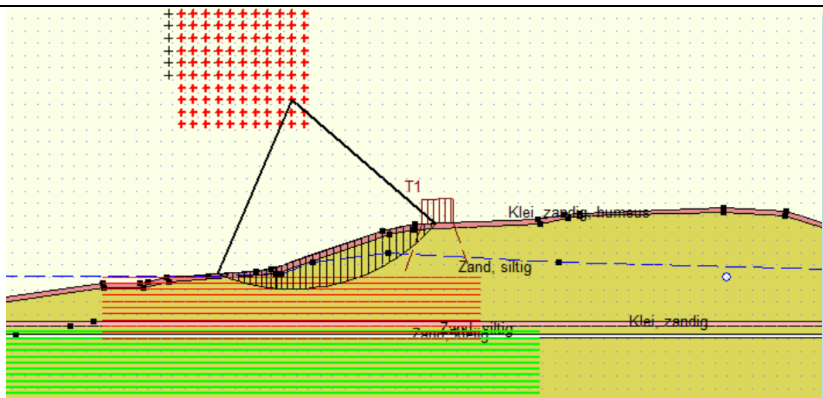


Macrostabiliteit buitenwaarts

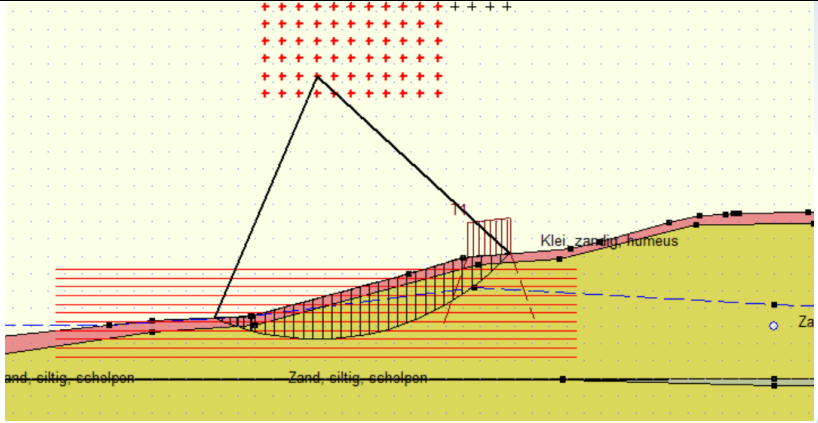
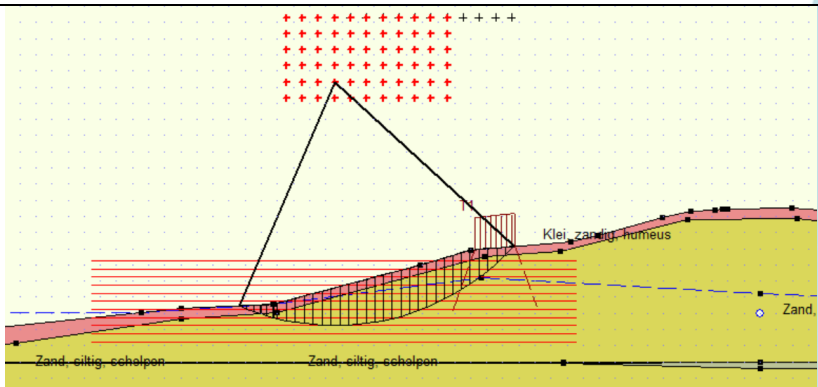


WT13	Gebruiksfasen
Huidige situatie	
Toekomstig – Windturbine	

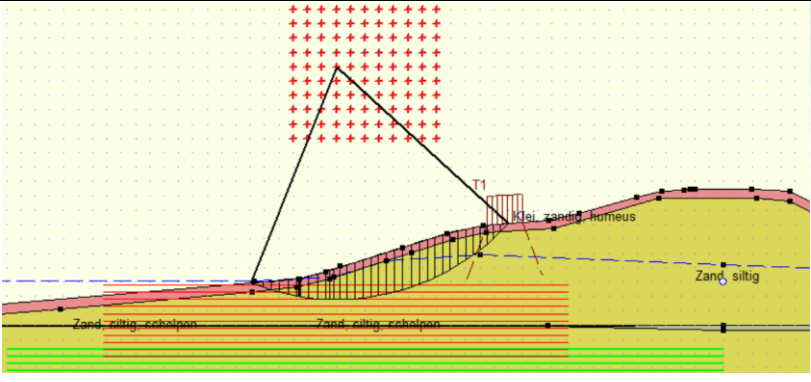


WT31	Gebruiksfasen
Huidige situatie	
Toekomstig – Windturbine	



WT26	Gebruiksfase
Huidige situatie	
Toekomstig – Windturbine	



WT22	Gebruiksfase
Huidige situatie	
Toekomstig – Windturbine	