

WATERVEILIGHEIDSTUDIE WINDPARK LANDMANSLUST

Pondera Consult

23 JUNI 2020

Contactpersoon

**MARTIN ARENDS EN
ROLAND HOIJINCK**

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 137
8000 AC Zwolle
Nederland

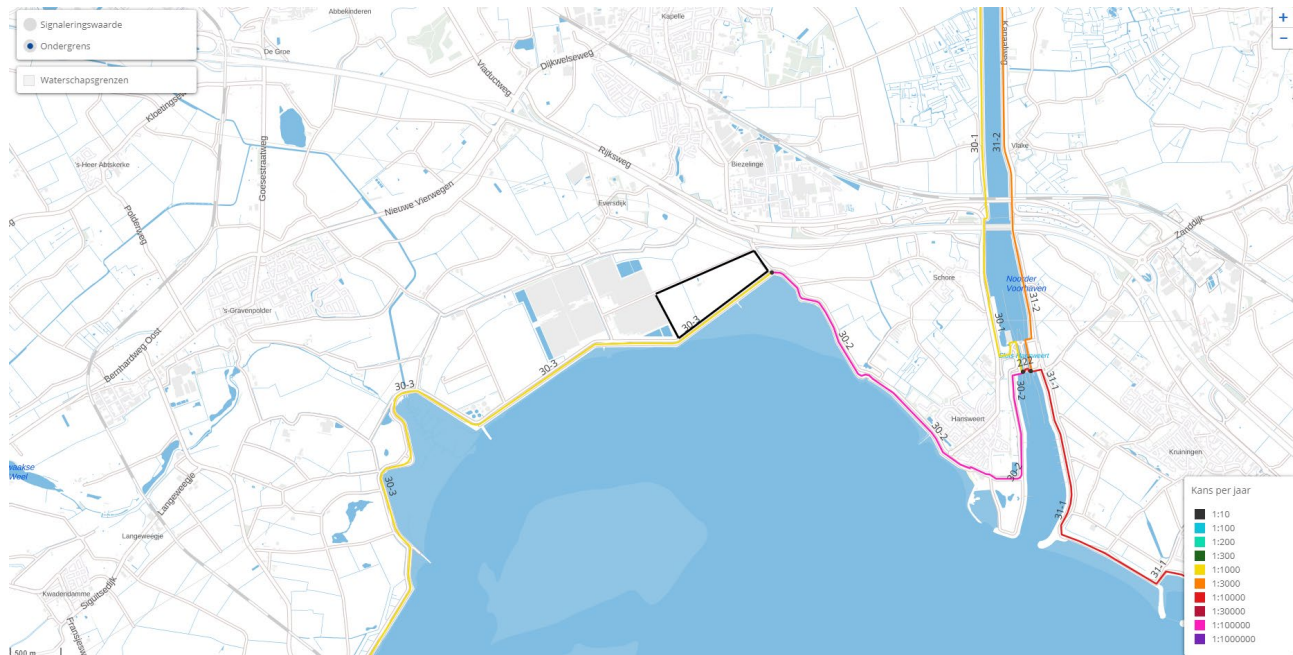
INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	4
1.1	Projectomschrijving	4
1.2	Scope	4
1.3	Leeswijzer	5
2	UITGANGSPUNTEN EN WERKWIJZE	5
2.1	Uitgangspunten	6
2.2	Werkwijze	6
2.3	Beschrijving kering en ondergrond	7
2.4	Indeling in zones	7
2.5	Locatie en eigenschappen windturbines	8
3	RESULTATEN EN CONCLUSIE	9
3.1	Trefkansen per zone	9
3.2	Bovengrondse calamiteiten	9
3.2.1	Bekleding buitentalud	10
3.2.2	Golferosie kruin en binnentalud (GEKB).	11
3.2.2.1	Treffen kruin	12
3.2.2.2	Treffen van het binnentalud	12
3.2.3	Piping en heave	12
3.2.4	Macrostabieliteit	13
3.3	Samenvatting resultaten	14
4	CONCLUSIE	15
4.1	Conclusie	15
5	LITERATUUR	16
	COLOFON	23

1 INLEIDING

1.1 Projectomschrijving

Windpark Landmanslust is gepland ten zuiden van Kapelle, op geringe afstand van de primaire waterkering langs de Westerschelde, zie Figuur 1. De waterkering is onderdeel van normtraject Zuid-Beveland West (30-3).



Figuur 1: Ligging normtraject 30-3 (gele lijn) en plangebied windpark Landmanslust (zwarte lijn)

1.2 Scope

Onderhavig rapport gaat in op de gevolgen van de realisatie van de windturbines ter plaatse van de polder Landmanslust op de waterveiligheid. In de polder Landmanslust is het voornemen om twee nieuwe windturbines te plaatsen.

Op dit moment is nog geen keuze gemaakt voor het exacte windturbinetype dat zal worden gerealiseerd. In het bestemmingsplan wordt daarom een bandbreedte aangehouden. De tiphoogte ligt daarbij vast (180m), de ashoogte varieert tussen de 90m en 115m en de rotordiameter tussen de 126m en 150m. Om de effecten van de mogelijke opties binnen deze bandbreedte te kunnen beschouwen, is in dit onderzoek gekozen om twee extreme alternatieven te onderzoeken (zie lit. 13). Bij een latere keuze voor een specifiek windturbinetype binnen deze bandbreedte, zullen effecten altijd kleiner of gelijk zijn aan hetgeen in dit onderzoek is beschouwd.

Beschouwd worden twee 'extreme' alternatieven, de beoogde locaties van de turbines is voor beide alternatieven gelijk (zie Figuur 2).



Figuur 2: Toekomstige situatie met twee windturbines in de polder Landmanslust

De voorliggende rapportage betreft de waterveiligheidsstudie naar de invloed van de windturbines op de waterveiligheid van het normtraject 30-3. Nagegaan wordt of de alternatieven voldoen aan de randvoorwaarden die het waterschap als beheerder van de waterkering stelt aan windturbines binnen de keurzone van de dijk.

Specifiek wordt gekeken naar de invloed van de verschillende bovengrondse calamiteiten van een windturbine en de faalmechanismen van de waterkering. Daarbij wordt uitgegaan van de nieuwe normering en het WBI2017/OI2014v4. Dit wordt in onderhavig rapport in beginsel kwalitatief beschouwd en indien nodig op kwantitatieve wijze uitgewerkt.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 gaat in op de uitgangspunten en de werkwijze. De resultaten van de berekeningen zijn opgenomen in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 bevat de conclusies.

2 UITGANGSPUNTEN EN WERKWIJZE

2.1 Uitgangspunten

De uitgangspunten die zijn gehanteerd bij het berekenen van de invloed van de windturbines op de waterveiligheid zijn:

- Planperiode van 30 jaar.
- Bepaling waterstanden en hydraulische belastingniveaus op basis van Hydra NL, klimaatscenario W+ en zichtjaar 2050.
- De bovengrondse invloed van de windturbines wordt getoetst aan 1% van de doorsnede eis van alle mechanismen. Daarbij zijn alleen de relevante mechanismen in detail beschouwd.
- De waterkering moet inclusief ondergrondse invloeden van de windturbine voldoen aan de normale doorsnede eisen.
- Voor de faalkansverdeling over de mechanismen wordt uitgegaan van standaard verdeling uit het OI2014v4 [lit. 2].
- Bij treffen van de waterkering door (een onderdeel van) de windturbine treedt een krater op met een diepte van 2 m.

Voor wat betreft de faalfrequenties van (onderdelen van) de windturbine wordt uitgegaan van het Handboek Risicozonering Windturbines (HRW) [lit. 5]. Het HRW vermeldt niet of en zo ja hoe deze faalfrequenties zijn gecorreleerd aan de windsnelheden. Op basis van vergelijkbare projecten en de beperkte beschikbare informatie, zijn bij de nadere uitwerking van de beschouwde bovengrondse faalmechanismen (bladworp nominaal, bladworp overtoeren en mastbreuk) de volgende aannamen gedaan:

Bladworp nominaal:

- Is niet gecorreleerd aan storm en kan ook tijdens dagelijkse omstandigheden optreden.
- Rekening is gehouden met een hersteltijd van 5 dagen.

Bladworp overtoeren en mastbreuk:

- Aangenomen is dat deze optreden tijdens stormcondities.
Zoals vermeld, geeft het HRW alleen faalfrequenties voor verschillende faalmechanismen en wordt geen correlatie gelegd tussen falen en de windsnelheid. Bij een recent uitgevoerd ander windturbineproject nabij een waterkering (de Oostpolderdijk nabij de Eemshaven), heeft het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) geadviseerd bij mastbreuk en bladworp overtoeren, rekening te houden met een correlatie met storm [lit. 12].
- Ten aanzien van mastbreuk en bladworp overtoeren is aangenomen dat dit optreedt bij storm vanaf 9 bft. (windsnelheid vanaf 20 m/s).
Deze 9 bft komt overeen met de bij bovenbedoeld project gehanteerde windsnelheid waarbij mastbreuk kan optreden. Dit project is ook door ENW en het Kennisplatform Risicobenadering (KPR) beschouwd.
- Vanwege de stormcondities is geen rekening gehouden met de mogelijkheid tot herstel (conservatief).

De kans van optreden van de waterstanden gegeven treffen tijdens storm, is afhankelijk van het aantal stormen per jaar. Op basis van de data van KNMI meetstation Vlissingen (10 minuten data sinds 1951) is vastgesteld dat gemiddeld sprake is van 2,5 storm per jaar. Daarbij is sprake van een storm als de gemeten windsnelheid groter is dan 20 m/s gedurende 1 uur (op basis van laatste 10 minuten van elk uur). Bij opeenvolgende uren met windsnelheden groter dan 20 m/s is sprake van een en dezelfde storm. Dit geldt ook als in tussenliggende uren sprake is van een lagere windsnelheid.

2.2 Werkwijze

Aantonen dat een waterkering ook na het falen van een windturbine aan de gestelde waterveiligheidseisen voldoet, kan complex zijn en wordt in belangrijke mate bepaald door de eventuele verdiepingsslagen die daarvoor noodzakelijk zijn. Daarom is gekozen voor een gefaseerde aanpak waarbij van grof naar fijn wordt gewerkt en een volgende (verdiepings)stap 'alleen' wordt ingezet indien in de voorafgaande stap niet aan het criterium is voldaan. Dit kan ook betekenen dat in eerste instantie wordt volstaan met een conservatieve inschatting van een grootte terwijl deze gaandeweg de aanpak meer in detail worden vastgesteld. In deze fase is alleen ingegaan op de eerste stap van die gefaseerde aanpak, waarbij is aangenomen dat treffen gelijk staat aan falen, en rekening is gehouden met de faalkans van het restprofiel.

Op basis van het HRW [lit. 5] heeft Pondera voor beide alternatieven de trefkansen per zone berekend [lit 9]. Vervolgens zijn aan de hand daarvan per zone de faalkansen vergeleken met de doorsnede eisen van de relevante faalmechanismen.

2.3 Beschrijving kering en ondergrond

De bekleding en opbouw van de dijk is geschat aan de hand van de interactieve kaart; “Legger Waterkeringen 2012” in het GIS-portaal van waterschap Scheldestromen. Op het buitentalud ligt een betonzuilen bekleding met een dikte van 40 cm. Onder de betonzuilen is een filterlaag aanwezig. Op de buitenberm is een laag waterbouw asfalt aanwezig. De kern van de waterkering bestaat uit zand. Op de kruin en het binnentalud is een grasbekleding aanwezig op een kleilaag.

De ondergrond bestaat voor de eerste circa 25 m uit een holoceen pakket. Dit pakket is opgebouwd uit zand en kleilagen. Op het is de bovenste 5 á 6 m opgebouwd uit een (zandige) kleilaag. Daaronder lijkt een hoofdzakelijk zandig pakket aanwezig.

2.4 Indeling in zones

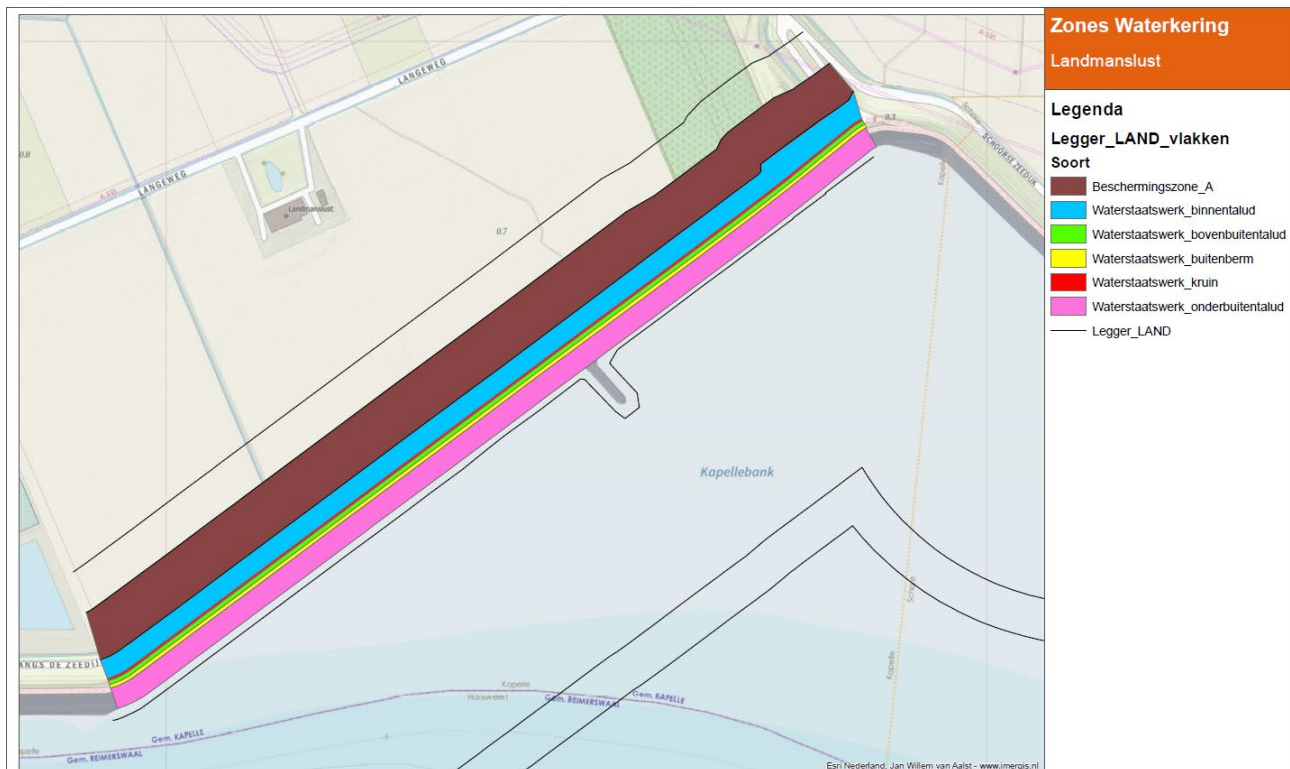
Om de trefkansen en faalkansbijdragen te kunnen berekenen, is het noodzakelijk om de waterkering op te delen in verschillende zones. De gevolgen van een eventueel treffen verschillen per zone. De volgende zones zijn gehanteerd:

- Benedentalud, van begin stortsteen tot buitenbermlijn.
- Berm, van insteek benedentalud tot begin berm (onderkant boventalud).
- Boventalud, begin berm (onderkant boventalud) tot buitenkruinlijn.
- Kruin, van buitenkruinlijn tot binnenkruinlijn.
- Binnentalud, van binnenkruinlijn tot einde waterstaatswerk (volgens de legger).
- Achterland, van einde waterstaatwerk tot 30 m landinwaarts.

Daarnaast is er de mogelijkheid dat bij een calamiteit het windturbineblad buiten de zones buitendijks op het water valt. Dit leidt niet tot een schade aan de waterkering en is daarom niet verder beschouwd. Hetzelfde geldt voor een treffen op meer dan 30 m landinwaarts van de waterkering. De zones zijn grotendeels vastgesteld op basis van de grenzen van het waterstaatswerk zoals gedefinieerd in de legger (zie Figuur 3). Alleen voor de buitenzijde is daarvan afgeweken. Daar is aangehouden dat de zone begint aan de dijkzijde van de stortsteenbekleding, aangezien de stortsteenbekleding bestand is tegen een eventueel treffen. Dit is gedaan ter optimalisatie van de faalkans. De faalkans van het restprofiel verschilt per zone; een treffen hoger op het buitentalud heeft een kleinere faalkans tot gevolg dan een treffen lager op het buitentalud.



Figuur 3: Leggerzones Waterschap



Figuur 4: Zone indeling Landmanslust

2.5 Locatie en eigenschappen windturbines

In het nieuwe windpark bevinden zich een tweetal windturbines. Voor de locaties van die turbines wordt verwezen naar Figuur 5.

Op dit moment is nog geen keuze gemaakt voor het exacte windturbinetype dat zal worden gerealiseerd. In het bestemmingsplan wordt daarom een bandbreedte aangehouden. De tiphoogte ligt daarbij vast (180m), de ashoogte varieert tussen de 90m en 115m en de rotordiameter tussen de 126m en 150m. Om de effecten van de mogelijke opties binnen deze bandbreedte te kunnen beschouwen, is in dit onderzoek gekozen om twee extreme alternatieven te onderzoeken, alternatief A en alternatief B (zie Tabel 1). Bij een latere keuze voor een specifiek windturbinetype binnen deze bandbreedte, zullen effecten altijd kleiner of gelijk zijn aan hetgeen in dit onderzoek is beschouwd (zie lit. 13).



Figuur 5: Windparkconfiguratie Landmanslust

Tabel 1: Eigenschappen windturbines Landmanslust

Alternatief	Aantal turbines	Tiphoogte	Ashoogte	Rotordiameter
A	2	180	105	150
B	2	180	115	130

3 RESULTATEN

3.1 Trefkansen per zone

Voor het windpark zijn, zoals in paragraaf 2.1 beschreven, de trefkansen berekend voor alle afzonderlijke faalscenario's. Daarbij is aangehouden dat de faalscenario's mastbreuk, gondelval en bladworp overtoeren alleen optreden tijdens stormcondities. Voor bladworp nominaal is aangehouden dat dit alleen tijdens normale omstandigheden op kan treden. Voor beide alternatieven zijn de trefkansen van de afzonderlijke faalscenario's zijn door Pondera berekend, zie in [lit. 9 en lit. 13].

Voor de berekening van de faalkansbijdragen zijn de trefkans van de storm gecorreleerde faalscenario's bij elkaar opgeteld. De totale trefkans voor alle storm gecorreleerde faalscenario's is opgenomen in Tabel 2. De trefkans voor het faalscenario's bladworp nominaal is opgenomen in Tabel 3.

Tabel 2: Totale trefkans per jaar voor de storm gecorreleerde faalscenario's.

Zone	Alternatief A, Trefkans [1/ jaar]	Alternatief B, Trefkans [1/jaar]
Waterstaatswerk_onderbuitentalud	1,85E-07	1,85E-07
Waterstaatswerk_buitenberm	3,79E-08	3,79E-08
Waterstaatswerk_bovenbuitentalud	3,86E-08	3,86E-08
Waterstaatswerk_kruin	2,35E-08	2,35E-08
Waterstaatswerk_binnentalud	3,63E-05	4,07E-05
Beschermingszone_A	1,55E-04	8,58E-05

Tabel 3: Trefkans per jaar voor faalscenario bladworp nominaal

Zone	Alternatief A, Trefkans [1/ jaar]	Alternatief B, Trefkans [1/ jaar]
Waterstaatswerk_onderbuitentalud	0,00E+00	0,00E+00
Waterstaatswerk_buitenberm	0,00E+00	0,00E+00
Waterstaatswerk_bovenbuitentalud	5,49E-06	5,49E-06
Waterstaatswerk_kruin	9,01E-06	9,01E-06
Waterstaatswerk_binnentalud	7,19E-05	7,19E-05
Beschermingszone_A	2,09E-04	2,09E-04

3.2 Bovengrondse calamiteiten

In Tabel 4 zijn per faalmechanisme van de waterkering beknopt de effecten van de bovengrondse calamiteiten op de waterveiligheid beschreven.

Tabel 4 Effecten bovengrondse calamiteiten op waterveiligheid per mechanisme

Faalmechanisme	Effectbeschrijving bovengrondse calamiteiten
Bekleding buitentalud (STBK, GEBU, GABI)	Bovengrondse calamiteiten kunnen leiden tot beschadiging van de bekleding van de waterkering. Het effect daarvan op de waterveiligheid is onder meer afhankelijk van de krater die kan ontstaan. In deze studie wordt uitgegaan van een krater van 2 m diep. Bij onderhavige studie wordt voor nader ingezoomd op dit mechanisme.
Golferosie kruin en binnentalud (GEKB)	Op het binnentalud en de kruin en is een bekleding van gras op klei aanwezig. Ook hier kan een krater ontstaan door een bovengrondse calamiteit. Het gevolg daarvan wordt nader beschouwd.
Piping en heave	In de ondergrond is een dunne kleilaag aanwezig van maximaal 2 m dik. Deze kleilaag bevindt zich direct aan het oppervlak. Het risico is aanwezig dat een eventuele krater door een turbineblad door deze deklaag heen snijdt. Dit kan een ongunstig effect hebben op het mechanisme piping. Dit mechanisme is nader beschouwd.
Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI)	Een afbrekend onderdeel van de windturbine kan effect hebben op de macrostabiliteit: 1. Het extra gewicht kan leiden tot verandering van de stabiliteit van het dijklichaam. Indien een onderdeel op de kruin terecht komt, dan vermindert de stabiliteit. In lit [7] is vastgesteld dat het gewicht van een blad dezelfde orde grootte heeft als een normale verkeersbelasting. Ervan uitgaande dat de dijk is berekend op een normale verkeersbelasting en de belasting door het extra gewicht niet tegelijk optreedt met een verkeersbelasting, hoeft dit effect niet nader beschouwd te worden. 2. Een krater kan potentieel een negatief effect hebben op de stabiliteit, afhankelijk van de locatie. Dit effect wordt nader beschouwd.
Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU)	Een afbrekend onderdeel kan effect hebben op de buitenwaartse macrostabiliteit. Gezien de beperkte afmetingen van een eventuele krater ten opzichte van de afmetingen van een schuifvlak, is het niet de verwachting dat er grote afschuivingen optreden door de krater van een turbineblad of gondel. Beschadiging van de bekleding en de daarmee gepaard gaande gevolgen, hebben een grotere bijdrage aan de faalkans.
Microstabiliteit (STMI)	Geen effect
Voorland (STVL)	Geen effect

3.2.1 Bekleding buitentalud

Voor het buitentalud is aangehouden dat bij een treffen de bekleding faalt. Vanuit het perspectief waterveiligheid achterland is dit een risico als er tegelijkertijd sprake is van golfaanval.

Voor de beoordeling van de bekleding is het mechanisme GEBU beoordeeld. Hierbij is de gehele faalkansruimte voor de bekleding op het buitentalud toebedeeld aan dit faalmechanisme. Tevens is aangehouden dat bij een significante belasting falen optreedt, waarbij geen rekening is gehouden met reststerkte. Getoetst is aan 1% van de doorsnede eis $1E-4$ (= $1E-6$ per jaar).

Voor de geplande opstelling is de berekening van de faalkansbijdrage van de bovengrondse calamiteiten weergegeven in Tabel 5. De faalkans per deelzone van het buitentalud is apart bepaald. Hierbij is voor dit faalmechanisme, op basis van de Hydra-berekeningen (zie Tabel 6), vastgesteld dat de faalkans (gegeven treffen) van het restprofiel op:

- het benedentalud gelijk is aan 1.
- de berm gelijk is aan 1/10.
- het boventalud gelijk is aan 1/100.

Resultaat voor bekleding buitentalud:

Voor beide alternatieven: De gesommeerde faalkansbijdrage van de bovengrondse calamiteiten is voldoende voor het gehele traject, de opstelling blijft binnen de door het waterschap gestelde maximale faalkansbijdrage.

Tabel 5: Faalkansbijdragen bovengrondse calamiteiten op bekleding buitentalud

Zone	Faalscenario	Alternatief A Faalkansbijdrage [1/jaar]	Alternatief B Faalkansbijdrage [1/jaar]
Onderbuitentalud	Bladworp nominaal	0,0E+00	0,0E+00
Onderbuitentalud	Storm gecorreleerd	7,4E-08	7,4E-08
Buitenberm	Bladworp nominaal	0,0E+00	0,0E+00
Buitenberm	Storm gecorreleerd	1,5E-09	1,5E-09
Bovenbuitentalud	Bladworp nominaal	7,5E-10	7,5E-10
Bovenbuitentalud	Storm gecorreleerd	1,5E-10	1,5E-10
Totaal Buitentalud		7,7E-08	7,7E-08

3.2.2 Golferosie kruin en binnentalud (GEKB).

Dit mechanisme heeft betrekking op de aanwezige kruinhoogte en de erosiebestendigheid van het binnentalud. Een treffen van de kruin heeft invloed op de aanwezige kruinhoogte en daarmee invloed op de kans op falen van de bekleding op het binnentalud. Daarnaast heeft een treffen op het binnentalud invloed op de erosiebestendigheid van de waterkering. Bij een beschadigd binnentalud komt de zandkern bloot te liggen en kan falen optreden indien een overslagdebiet optreedt dat groter is dan 0,1 l/m/s. Bij een beschadigde kruin ligt de kruin bloot en kan ook de kruin maximaal een overslagdebiet keren van 0,10 l/m/s.

Voor het mechanisme geldt een maximale faalkansbijdrage van 1,2 E-6 per jaar (1% van 1,2 E-4).

Om de faalkans van het restprofiel te bepalen, is voor verschillende herhalingstijden de benodigde kruinhoogte berekend bij een overslagdebiet van 0,10 l/m/s. De resultaten zijn samengevat in Tabel 6. In Bijlage A zijn bijbehorende Hydra-NL-berekeningen opgenomen.

Tabel 6 Kruinhoogte bij 0,1 l/m/s per herhalingstijd en locatie

Herhalingstijd [1/ per jaar]	Kruinhoogte bij 0,1 l/m/s [mNAP]
	T.h.v. WT1 Dijkpaal 351
1/10	6,60
1/100	7,43
1/1.000	8,29
1/8.333 (doorsnede-eis)	9,11
1/10.000	9,18
1/100.000	10,11

3.2.2.1 Treffen kruin

De kruinhoogte na treffen op de kruin bedraagt +5,83 m NAP (huidige kruinhoogte – 2 m), de buitenberm blijft intact en ligt op een hoogte van NAP +6,65 m. Voor de aanwezige kerende hoogte van het restprofiel is uitgegaan van NAP +6,65m. Bij deze hoogte hoort een herhalingstijd van een overslagdebiet van 0,1 l/m/s/ van 1/10 per jaar. De faalkansbijdragen van de faalscenario's zijn opgenomen in Tabel 7.

Resultaat treffen kruin:

Voor beide alternatieven: De faalkansbijdrage is voor dit faalmechanisme voldoende klein, de opstelling blijft binnen de door het waterschap gestelde maximale faalkansbijdrage.

Tabel 7: Faalkansbijdragen bovengrondse calamiteiten faalmechanisme GEKB, treffen kruin

Zone	Faalscenario	Alternatief A Faalkansbijdrage [1/jaar]	Alternatief B Faalkansbijdrage [1/jaar]
Kruin	Bladworp nominaal	1,2E-08	1,2E-08
Kruin	Storm gecorreleerd	9,4E-10	9,4E-10
Totaal Kruin		1,3E-08	1,3E-08

3.2.2.2 Treffen van het binnentalud

De kruinhoogte bedraagt +7,83 m NAP, de kans op het optreden van een overslagdebiet groter dan 0,1 l/m/s is circa 1/500 per jaar (zie Tabel 6). De faalkans van het beschadigde restprofiel is derhalve ook 1/500. De faalkansbijdragen zijn opgenomen in Tabel 8.

Resultaat treffen binnentalud:

Voor beide alternatieven: De faalkansbijdrage is voor dit faalmechanisme voldoende klein, de opstelling blijft binnen de door het waterschap gestelde maximale faalkansbijdrage.

Tabel 8: Faalkansbijdragen bovengrondse calamiteiten faalmechanisme GEKB, treffen binnentalud

Zone	Faalscenario	Alternatief A Faalkansbijdrage [1/jaar]	Alternatief B Faalkansbijdrage [1/jaar]
Binnentalud	Bladworp nominaal	2,0E-09	2,0E-09
Binnentalud	Storm gecorreleerd	2,9E-08	3,3E-08
Totaal Binnentalud		3,1E-08	3,5E-08

3.2.3 Piping en heave

Het mechanisme piping en heave kan negatief beïnvloed worden door de krater die ontstaat bij het treffen van het achterland door een (onderdeel van) windturbine. Bij de aanwezigheid van een deklaag kan de dikte van de deklaag afnemen waardoor eerder opbarsten kan optreden en het gereduceerde verval mogelijk ook afneemt. Voor de beoordeling van dit risico is allereerst gekeken naar de maatgevende bodemopbouw. Deze bodemopbouw is aanwezig ter hoogte van WT1.

WT1

Ter hoogte van WT1 is, op basis van DINOloket, een dikke deklaag aanwezig. De dikte van de deklaag varieert tussen 4,5 en 10,7 m. Een treffen in het achterland levert een negatief effect op. Dit is aan de hand van een pipingberekening gecontroleerd. Uitgangspunt is dat het achterland (+0,80 m NAP) geraakt wordt, hierdoor de deklaag 2 meter dunner wordt. Voor de dikte van de deklaag is uitgegaan van de maatgevende bodemopbouw. De onderkant van de deklaag ligt op -5,10 m NAP. De resterende deklaag komt hiermee op

3,90 m dikte. Op basis van de beschikbaar gestelde macrostabiliteitsberekeningen, is een reductie van de buitenwaterstand toegepast van 2,5 m, ter plaatse van de buitenberm. De aanwezige kwelweglengte is bepaald t.o.v. de buitenberm. Verdere uitgangspunten zijn weergegeven in Tabel 9. De d_{70} en k waarden zijn overgenomen uit het WBI-SOS. Het restprofiel heeft een faalkans van $5,8E-5$ per jaar.

Tabel 9: Gehanteerde parameters piping

Parameter	Omschrijving	Waarde
MHW	Waterpeil t.p.v. buitenberm	3,33 m NAP
PP	Polderpeil	-0,26 m NAP
K	Doorlatendheid watervoerend pakket	20 m/dag
D _{watervoerend pakket}	Dikte watervoerend pakket	21 m
D ₇₀	70% percentiel van korreldiameter	100 μ m

De maximaal toelaatbare faalkansbijdrage bedraagt $6,4E-08$. De faalkansbijdrage is weergegeven in Tabel 10.

Resultaten piping:

Voor beide alternatieven: De faalkansbijdrage is voor dit faalmechanisme verwaarloosbaar klein, de opstelling blijft binnen de door het waterschap gestelde maximale faalkansbijdrage.

Tabel 10: Faalkansbijdragen bovengrondse calamiteiten faalmechanisme STPH

Zone	Faalscenario	Alternatief A Faalkansbijdrage [1/jaar]	Alternatief B Faalkansbijdrage [1/jaar]
Beschermingszone_A	niet storm	1,7E-10	1,7E-10
Beschermingszone_A	storm	3,6E-09	2,0E-09
Totaal Piping		3,8E-09	2,2E-09

3.2.4 Macrostabiliteit

De invloed op macrostabiliteit is beschouwd voor windturbine WT1. De bodemopbouw is aldaar maatgevend voor het dijkvak. Voor de macrostabiliteit berekeningen zijn default sterkteparameters gehanteerd. Deze zijn overgenomen uit de schematiseringshandleiding macrostabiliteit behorend bij het WBI2017 [Ref. 11]. De gehanteerde sterkteparameters zijn opgenomen in Tabel 14 in Bijlage B. Voor de freatische lijn is uitgegaan van een nagenoeg rechte lijn tussen buitentalud en binnenteen. Gezien de relatief korte duur van een hoogwater is dit een conservatief uitgangspunt. De stijghoogte in het watervoerend pakket verloopt conservatief van de buitenteen in een rechte lijn naar de grenspotential aan de binnenzijde. Er is derhalve geen demping/intredeweerstand meegenomen; dit is een conservatief uitgangspunt.

WT1

Om de macrostabiliteit bij het eventuele treffen in beeld te brengen is een tweetal situaties beschouwd; naast de basisberekening zonder krater betreft het:

- Krater bij de overgang van binnentalud naar berm.
- Krater bij de binnenteen.

Toelichting:

Het treffen van de dijk of het achterland door een windturbineblad levert een krater op. Door de aanwezigheid van deze krater neemt de sterkte af. Een krater in de overgang tussen kruin en berm of nabij de binnenteen zijn de maatgevende situaties. Voor beide situaties is een berekening uitgevoerd. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in Tabel 11.

Tabel 11 Resultaten afschuifveiligheid per scenario

Scenario	S.F.	Faalkans restprofiel [1/jaar]
Basis berekening	1,10	1/70.100
Krater berm	1,12	1/122.800
Krater binnenteen	1,04	1/14.250

De doorsnede eis bedraagt $2,10E-6$ per jaar, de maximaal toelaatbare faalkansbijdrage bedraagt $2,1E-8$ per jaar.

Resultaten macrostabiliteit:

Voor beide alternatieven: De faalkansbijdrage is voor dit faalmechanisme voldoende klein; de opstelling blijft binnen de door het waterschap gestelde maximale faalkansbijdrage.

Tabel 12: Faalkansbijdragen bovengrondse calamiteiten faalmechanisme STBI

Zone	Faalscenario	Alternatief A Faalkansbijdrage [1/jaar]	Alternatief B Faalkansbijdrage [1/jaar]
Binnentalud	niet storm - krater berm	8,0E-12	8,0E-12
Binnentalud	storm - krater berm	1,2E-10	1,3E-10
Beschermingszone_A	niet storm - krater binnenteen	2,0E-10	2,0E-10
Beschermingszone_A	storm - krater binnenteen	4,4E-09	2,4E-09
Totaal Macrostabiliteit		4,7E-09	2,7E-09

3.3 Samenvatting resultaten

Voor beide alternatieven zijn de resultaten per faalmechanisme samengevat in Tabel 13. De faalkansbijdrage voor alle faalmechanismen blijft binnen de door het waterschap gestelde maximale faalkansbijdrage.

Tabel 13: Resultaten per faalmechanisme

Faalmechanisme	Alternatief A	Alternatief B
Bekleding buitentalud	Voldoet	Voldoet
Hoogte	Voldoet	Voldoet
Bekleding binnentalud	Voldoet	Voldoet
Piping	Voldoet	Voldoet
Macrostabiliteit	Voldoet	Voldoet

4 CONCLUSIE

4.1 Conclusie

Op basis van de relatief eenvoudige en op delen conservatieve benadering, is voor alternatief A en alternatief B de faalkansbijdrage van de windturbines in Windpark Landmanslust op de waterveiligheid berekend. Op basis van deze berekeningen wordt de volgende conclusie getrokken:

Beide alternatieven van Windpark Landmanslust voldoen aan de door het waterschap gestelde norm. Ofwel voor beide alternatieven blijft de faalkansbijdrage van het windpark binnen de door het waterschap gestelde maximale faalkansbijdrage per faalmechanisme.

Opgemerkt wordt dat de resultaten, inclusief de berekende faalkansen, op veilige aannamen berusten.

5 LITERATUUR

1. Waterveiligheidsportaal
2. Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, Veiligheidsfactoren en belastingen bij nieuwe overstromingskansnormen, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, februari 2017 versie 4 (OI2014v4)
3. Legger waterschap Scheldestromen.
4. Windturbines op of nabij primaire waterkeringen (473), Kennisplatform Risicobenadering, 19-07-2018, versie 2.
5. Handboek Risicozonering Windturbines, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, eindversie, 3^e geactualiseerde versie mei 2013.
6. Windpark Oosterscheldekering, Bovengrondse calamiteiten – kraterberekeningen, Arcadis, 29-9-2017.
7. Schematiseringshandleiding macrostabiliteit, WBI 2017, Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 28 november 2019.
8. Schematiseringshandleiding piping, WBI 2017, Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 28 november 2019.
9. Trefkansanalyse waterkering Windpark Willem-Annapolder, Pondera, v2.0, 17 april 2020.
10. Dijkverbetering Willem-Annapolder, Ontwerpnota, Projectbureau Zeeweringen, versie 1 16-4-2003.
11. Schematiseringshandleiding Macrostabiliteit, WBI 2017, Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 28 november 2019.
12. ENW advies: Advies integrale analyse windturbines innogy windpark Oostpolderdijk bij dijkversterking Eemshaven-Delfzijl, kenmerk 19-04, 12 juli 2019, ENW.
13. Trefkansanalyse waterkering Windpark Willem-Annapolder, Pondera, v5.0, 15 juni 2020.

BIJLAGE A HYDRA NL BEREKENINGEN

Gebruikte uitvoerlocaties

Bij het berekenen van de hydraulische randvoorwaarden is er gebruikt gemaakt van de uitvoerlocaties zoals beschikbaar in Hydra-NL. Dit is:

- WS_1_30-3_dk_00004

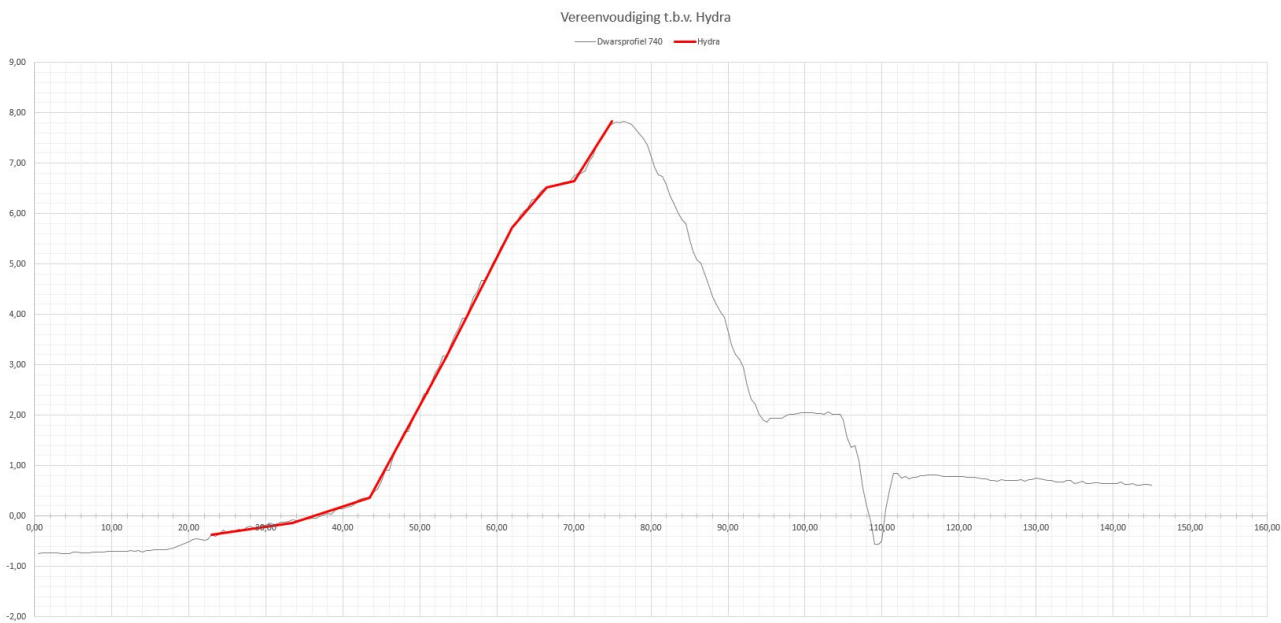
De gebruikte uitvoerlocatie is tevens weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 6: Gebruikte uitvoerlocatie in Hydra-NL

Invoer profiel

Voor Hydra-NL is gebruik gemaakt van de AHN-3 voor het maken van een profiel. Het profiel is vereenvoudigd en vervolgens ingevoerd in Hydra-NL, zie Figuur 7.



Figuur 7: Profiel Hydra-NL, WT1

BIJLAGE B MACROSTABILITEIT BINNENWAARTS

Sterkteparameters

Voor de macrostabiliteit berekeningen zijn onderstaande sterkteparameters gehanteerd. Deze zijn afgeleid vanuit de Schematiseringshandleiding Macrostabiliteit [Ref. 11].

Tabel 14 Sterkteparameters Landmanslust

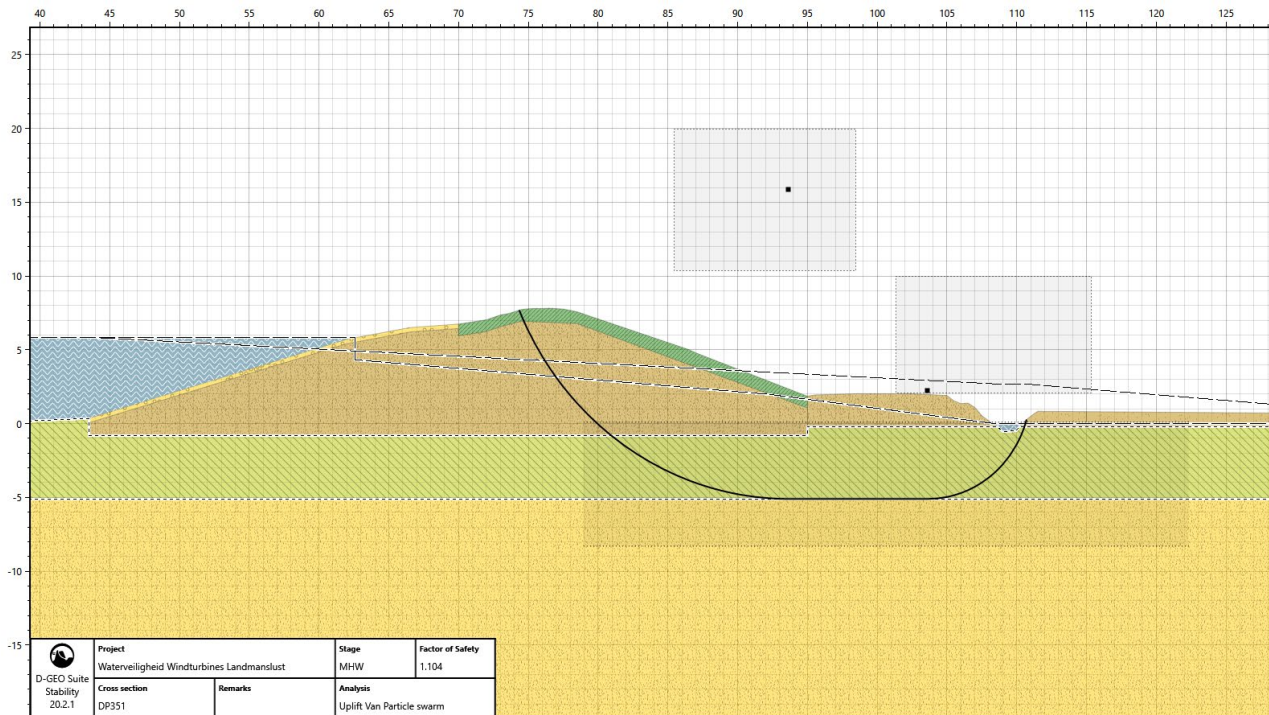
Grondlaag [-]	γ_{dr} [kN/m ³]	γ_{nat} [kN/m ³]	c'_{rek} [kN/m ²]	ϕ'_{rek} [°]	POP [kPa]	m [-]	S [-]
Dijkkern zand (B)	17	19	-	28,6	-	-	-
Klei, bekleding (B)	16	16	-	28,6	7	0,85	0,23
Asfalt	23	23	-	32,0	-	-	-
Klei, duinkerken (K1)	16	16	-	28,6	15	0,85	0,22
Holoceen zand (Z1)	17	19	-	28,6	-	-	-
Holoceen zand (Z2)	18	20	-	32,4	-	-	-
Zand, kleiig	18	20	-	29,9	-	-	-

Glijvlakken

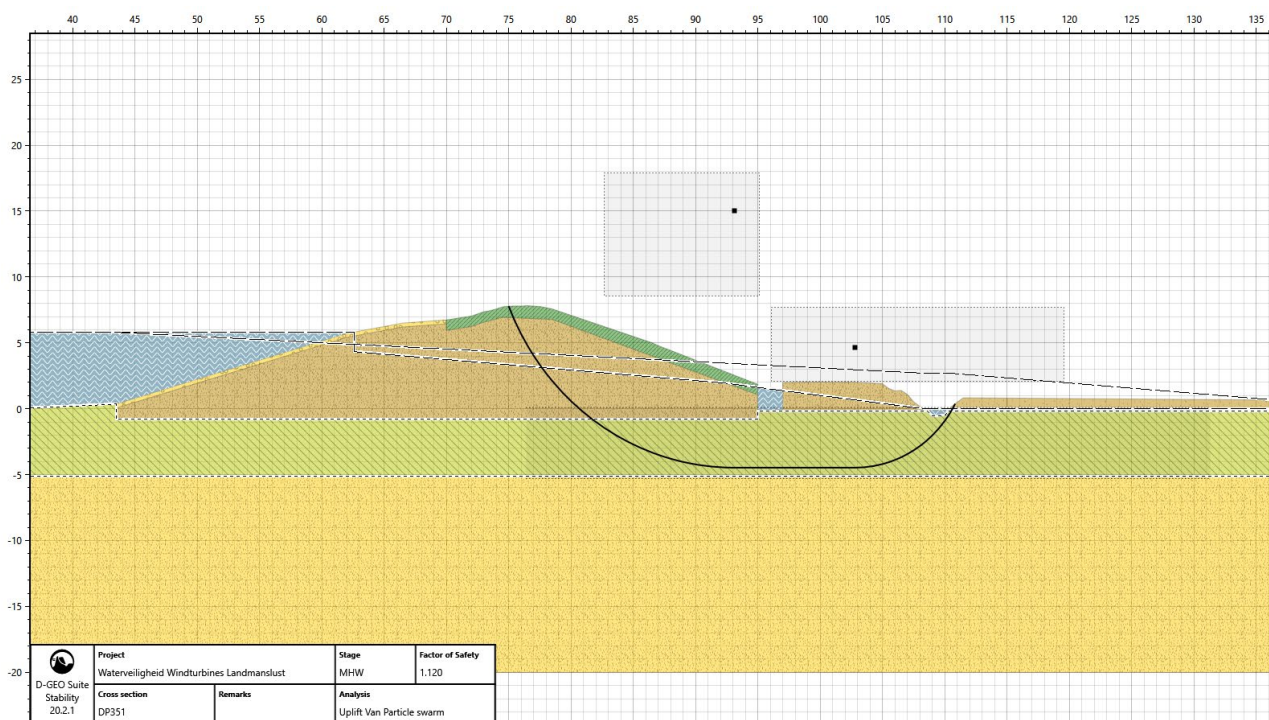
In onderstaande figuren (Figuur 8 t/m Figuur 10), zijn alle glijvlakken in de volgende volgorde weergegeven:

- Basis berekening.
- Krater berm.
- Krater binnenteen.

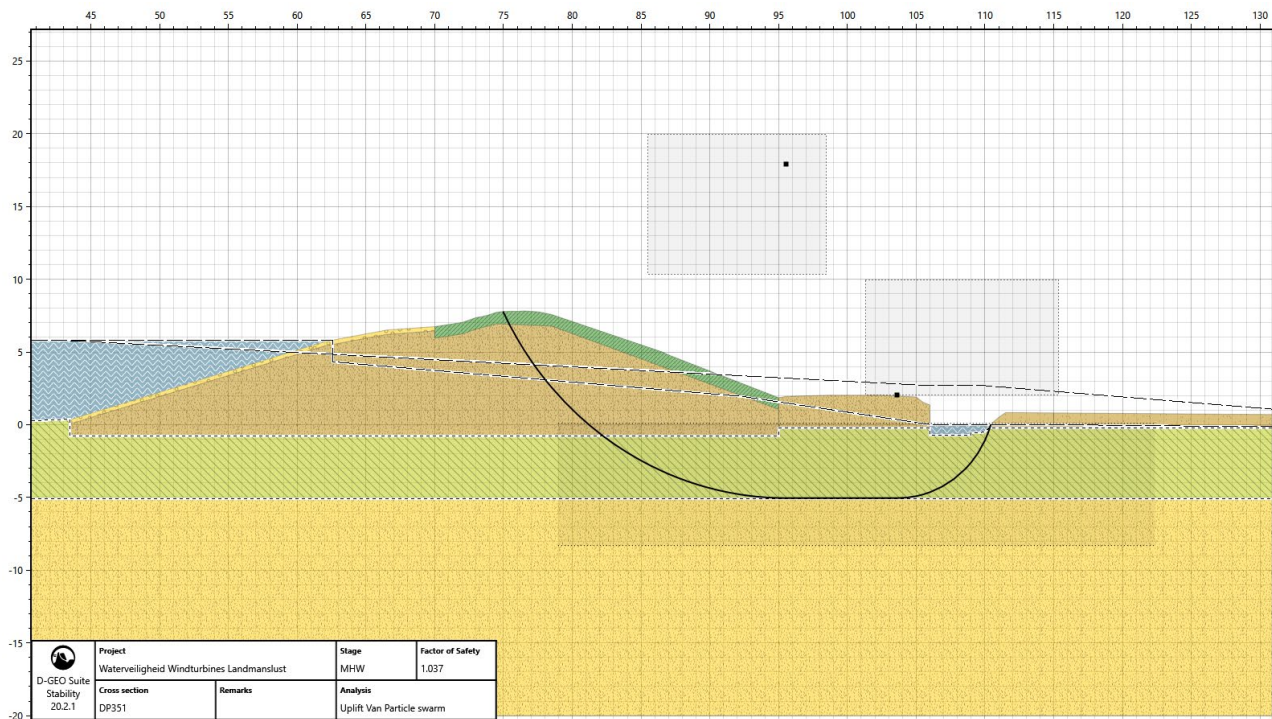
De berekeningen zijn separaat meegeleverd.



Figuur 8: Glijvlak basis berekening, Uplift-Van



Figuur 9: Glijvlak krater berm berekening, Uplift-Van



Figuur 10: Glijvlak krater binnenteen berekening, Uplift-Van

BIJLAGE C PIPING

De pipingberekening is separaat meegeleverd.

COLOFON

WATERVEILIGHEIDSSSTUDIE WINDPARK LANDMANSLUST

KLANT

Pondera Consult

AUTEUR

Martin Arends

PROJECTNUMMER

C07011.202003

ONZE REFERENTIE

D10010993

DATUM

23 juni 2020

STATUS

Definitief

GECONTROLEERD DOOR

Martin Arends
Senior specialist waterkeringen

VRIJGEGEVEN DOOR

Roland Hoijinck
Senior adviseur

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 137
8000 AC Zwolle
Nederland
+31 (0)88 4261 261

www.arcadis.com