

WATERVEILIGHEIDSSTUDIE WINDPARK HARINGVLIET

E-connection Project

23 APRIL 2021



Contactpersoon

[Redacted contact information]

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

Inhoudsopgave

1	INLEIDING	5
1.1	Algemeen	5
1.2	Projectomschrijving	5
1.3	Scope	5
1.4	Leeswijzer	6
2	OVERZICHT INVLOED WINDTURBINES	7
2.1	Algemeen	7
2.2	Bovengrondse calamiteiten	7
2.2.1	Calamiteiten	7
2.2.2	Effecten op waterveiligheid	8
2.2.3	Kraterberekeningen	9
2.3	Ondergrondse invloeden	9
2.3.1	Overzicht van de effecten	9
2.3.2	Effecten op waterveiligheid	9
2.4	Aanleg, onderhoud en demontage en overige aspecten	10
3	OPSCHALING WINDPARK HARINGVLIET	11
3.1	Inleiding	11
3.2	Faalkanseis	11
3.3	Windturbines	12
3.4	Beschouwing waterkeringsysteem	13
3.5	Haringvlietsluizen	14
3.5.1	Risico's en risicozones	14
3.5.2	Conclusie	15
3.6	Haringvlietdam	15
3.6.1	Risico's en risicozones	15
3.6.2	Opbouw van de waterkering	15
3.6.3	Invloed bovengronds falen Haringvlietdam	16
3.6.4	Ondergrondse invloed	19
3.7	Primaire waterkering Voorne-Putten	21
3.7.1	Risico's en risicozones	21
3.7.2	Conclusie	22
4	SAMENVATTING	23
4.1	Haringvlietsluizen	23
4.2	Haringvlietdam	23

1 INLEIDING

1.1 Algemeen

In opdracht van Windpark Haringvliet BV (WPHV) onderzoekt E-Connection Project (ECP) de mogelijkheden van de opschaling van het bestaande Windpark Haringvliet aan de zeezijde van de Haringvlietdam. Rijkswaterstaat, waterkeringbeheerder van de Haringvlietdam, heeft aangegeven dat plaatsing van nieuwe windturbines aan deze zijde van de dam niet wordt toegestaan. Met het oog daarop onderzoekt ECP de mogelijkheid van plaatsing van twee nieuwe windturbines aan de Haringvlietzijde van de dam.

In onderhavige rapportage wordt ingegaan op de invloed van de opschaling van het Windpark Haringvliet op de waterveiligheid waarbij wordt getoetst of deze aan de gestelde waterveiligheidseisen voldoet.

In onderhavige rapportage wordt ingegaan op de mogelijke gevolgen van bovengronds falen en ondergrondse invloeden van de windturbines op de waterveiligheid van de waterkeringen en getoetst of deze na het plaatsen van de windturbines aan de norm tegen overstromen voldoet.

1.2 Projectomschrijving

Locatie

Het project 'Opschaling Windpark Haringvliet' gaat uit van de bouw van een tweetal nieuwe windturbines op de Haringvlietdam tussen de Haringvlietsluizen (kunstwerk) en het eiland Voorne-Putten (zie Figuur 1).



Figuur 1 Plangebied Haringvliet

1.3 Scope

Onderhavig rapport beschrijft de mogelijke gevolgen van de opschaling van het bestaande Windpark Haringvliet op de waterveiligheid.

Er is ingegaan op:

- Bovengrondse calamiteiten en ondergronds invloeden van de windturbines.
- Drie onderscheidende waterkeringstrajecten:
 - Traject op het eiland Voorne-Putten, in beheer bij het Waterschap Hollandse Delta;

-

Er is uitgegaan van de nieuwe normering en het WBI2017/OI2014v4.

1.4 Leeswijzer

Onze referentie: D10021709:115 - Datum: 23 april 2021

2 OVERZICHT INVLOED WINDTURBINES

2.1 Algemeen

In de Wet op de waterkering zijn voor primaire waterkeringen, waar de drie eerder genoemde waterkeringstrajecten (normtraject 211, 20-1 en 20-4) toe behoren, veiligheidsnormen tegen overstromen vastgesteld. Op 1 januari 2017 is de veiligheidsbenadering gewijzigd en is overgegaan van een 'overschrijdingskans van een maatgevende waterstand' naar 'het overstromingsrisico van het achterland'. Met de overstap op de nieuwe normering is de faalkansverdeling over de verschillende faalmechanismen nader uitgewerkt en zijn diverse inhoudelijke aspecten aangepast.

Bij de plaatsing van windturbines in of nabij een primaire waterkering wordt onderscheid gemaakt in bovengrondse calamiteiten en ondergrondse invloeden van de windturbine op de waterveiligheid.

In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de bovengrondse calamiteiten, ondergrondse invloeden en de faalkansbeschouwing. Indien mogelijk wordt voorts een generieke beschrijving gegeven van de calamiteiten die invloed hebben op de waterveiligheid.

2.2 Bovengrondse calamiteiten

2.2.1 Calamiteiten

Bovengrondse calamiteiten betreffen het falen van bovengrondse delen van een windturbine. De gebeurtenissen die hieronder vallen zijn benoemd in het Handboek Risicozonering Windturbines (afgekort HRW) [Ref. 1]. Het Handboek maakt onderscheid in de volgende faalscenario's van de windturbines:

- Bladbreek:
 - bij nominaal toerental;
 - bij overtoeren.
- Mastbreek.
- Gondelval.
- Vallen van kleine onderdelen en vallend ijs bij stilstand (bij ijsvorming wordt de turbine automatisch stilgezet).

Bladbreek

Het uitgangspunt conform het HRW is dat het blad als geheel afbreekt bij de verbinding met de naaf (de hub). Het afbreken van een kleiner deel van het blad wordt in overeenstemming met het Handboek niet apart beschouwd. Verder wordt er onderscheid gemaakt tussen de kans op bladbreek bij normaal bedrijf en bij overtoeren. Door de hoge snelheid bij overtoeren kan de werpafstand van een afgebroken blad groot zijn.

Mastbreek

Onder mastbreek vallen de verschillende scenario's waarbij de mast, of verbindingen van de mast, constructief falen. Uitgangspunt bij dit faalmechanisme is dat de hele mast omvalt vanaf de mastvoet en alle onderdelen boven de mastvoet (mast, rotor, gondel, etc.) naar beneden vallen.

Het falen van de fundering van de turbine wordt niet expliciet benoemd in het HRW. Wanneer de fundering wordt ontworpen volgens de constructieve betrouwbaarheidseisen van de Eurocode is de faalfrequentie echter ordes lager dan die voor mastbreek volgens het HRW. Falen van de fundering wordt daarom niet verder meegenomen in de beschouwingen.

Gondelval

Bij het vallen van de gondel inclusief de rotor is het uitgangspunt conform het HRW dat dit onderdeel direct naast de mast valt. De gondel landt dan op de funderingsplaat van de turbine en zal daar forse schade aan veroorzaken.

Daarbij zal verreweg het grootste deel van de energie (van zowel de gondel als de rotor) worden opgenomen. Het vallen van de gondel zelf wordt hierdoor niet als relevant beschouwd voor het beoordelen van de waterveiligheid, in vergelijking met de schade die optreedt bij mastbreuk of bladbreuk.

Vallen van kleine onderdelen en vallend ijs bij stilstand

Deze faalincidenten worden conform het HRW normaliter kwalitatief beschouwd. Het vallen van kleine onderdelen of ijs heeft vooral invloed op het externe veiligheidsrisico voor passanten, niet op de waterveiligheid. Dit faalincident wordt in onderhavige beschouwing dan ook niet verder beschouwd.

2.2.2 Effecten op waterveiligheid

In onderstaande tabel zijn per faalmechanisme van de waterkering beknopt de effecten van de bovengrondse calamiteiten op de waterveiligheid beschreven.

Tabel 1 Effecten bovengrondse calamiteiten op waterveiligheid per mechanisme

Faalmechanisme	Effectbeschrijving bovengrondse calamiteiten
Hoogte (HT)	Bovengrondse calamiteiten kunnen tot gevolg hebben dat er een krater in de kruin ontstaat waardoor sprake is van een lokale verlaging van de kruin.
Bekleding buitentalud (STBK)	Harde dijkbekleding: 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. Zandige waterkering De veiligheid tegen overstromen van een zandige waterkering, wordt bepaald aan de hand van een zogenaamde duinafslagbeschouwing. Uitgangspunt voor die beschouwing is de lokale zandbalans. Een vallend onderdeel van een windturbine (in het duinlichaam) zal geen effect hebben op die lokale zandbalans. Geen nettoverlies van zand impliceert geen effect op de waterveiligheid.
Bekleding binnentalud en kruin (STBK en HT)	Op het binnentalud en de kruin en ook op het bovenste deel van het buitentalud is in het algemeen een bekleding van gras op klei aanwezig. Ook hier kan een krater ontstaan door een bovengrondse calamiteit.
Piping en heave	In de ondergrond is soms een afsluitende laag aanwezig. Indien deze afsluitende laag zich bevindt direct aan het oppervlak kan een eventuele krater van een turbineblad door de laag heen snijden. Dit kan een ongunstig effect op piping hebben. De opbarstveiligheid kan afnemen of de aanwezige kwelweglengte wordt verkort.
Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI)	Een afbrekend onderdeel 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. 2. Een krater kan potentieel een negatief effect hebben op de stabiliteit, afhankelijk van de locatie.
Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU)	Een afbrekend onderdeel kan effect hebben op de buitenwaartse macrostabiliteit. Gezien de 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.
Microstabiliteit (STMI)	Geen effect
Voorland (STVL)	Geen effect

2.2.3 Kraterberekeningen

Een van de windturbine afbrekend onderdeel kan leiden tot beschadiging van de waterkering. Om na te gaan hoe groot deze beschadiging is, afhankelijk van het object en de dijkbekleding, zijn berekeningen gedaan waarmee de omvang van een resulterende krater is berekend. Daarbij is onderscheid gemaakt in een dijklichaam met een harde bekleding en een onbekleed zandlichaam [Ref. 2].

De verwachte kraterdieptes op basis van het model van Bernard (1978) zijn bepaald voor de windturbine type Enercon E126EP3¹. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in het falen van de bladen en mastbreuk. Deze objecten kunnen neerkomen op verschillende delen van de waterkering en daarmee op verschillende ondergronden. De formule is niet ontwikkeld voor deze situatie en ondergronden en de factor die de ondergrond beschrijft is de variabele met de grootste onzekerheid in de formule. De range in de berekende indringingsdiepte (kraterdiepte) is daarom relatief groot. Samengevat worden de onderstaande resultaten gevonden:

- Een turbineblad geeft een krater van 2,00 meter.
- Een gondel geeft een krater van 3,00 meter.
- Een breuksteenbekleding kan de impact van een blad hebben.
- Andere typen bekleding (anders dan breuksteen) kunnen de impact niet aan.

Hierbij is ervan uitgegaan dat een blad of de gondel met het kleinste oppervlak op de waterkering landt. Als een blad plat op de waterkering land zal de indringingsdiepte veel minder groot zijn. De resultaten zijn eveneens toegepast bij de waterveiligheidsbeschouwing van de windturbines nabij de Oosterscheldekering ([Ref. 3]).

2.3 Ondergrondse invloeden

2.3.1 Overzicht van de effecten

Ondergrondse invloeden betreffen met name de gevolgen van trillingen die in de windturbine worden opgewekt en overgedragen worden aan de ondergrond. Hierin worden de volgende mechanismen onderscheiden:

- Invloed van trillingen:
 - verweking: ontstaan van wateroverspanningen en daardoor afname van de schuifsterkte van de grond;
 - zetting: verdichting van de grond, waardoor zettingen optreden;
 - versnellingen: toename van de belasting door de traagheidskracht, te vertalen in een horizontale belasting op de dijk.
- De aanwezigheid van een niet-waterkerend object dat kan falen; meer specifiek betreft dit bij windturbines vooral het falen van de fundering, waardoor de dijk beschadigt.
- De invloed op piping en heave.
- De invloed van (belastingen) bij aanleg, onderhoud en demontage.

In de volgende paragraaf worden deze effecten nader toegelicht.

2.3.2 Effecten op waterveiligheid

In deze paragraaf wordt een beknopte beschrijving van bovengenoemde effecten op de waterveiligheid gegeven.

Trillingen: verweking en zettingen

Voor de beoordeling van het effect van trillingen op het optreden van cyclische verweking en zettingsvloeiing is gebruik gemaakt van sonderingen. De sonderingen laten op basis van een analyse met de methode Robertson grondlagen zien die in potentie verwekingsgevoelig zijn. Verweking kan alleen optreden als er

¹ Ondertussen worden ook andere windturbines beschouwd. Voor de eindresultaten heeft dat geen invloed.

een trigger aanwezig is. Op basis van ervaringen in andere projecten wordt verwacht dat eventuele trillingen in de ondergrond veroorzaakt door windmolenfundaties binnen een straal van ca. 20 m dusdanig zijn uitgedempt, dat deze geen verweking of zettingsvloeiing meer veroorzaken.

Cyclische schuifrekken en cyclische schuifspanningen in de gebruiksfase manifesteren zich heel lokaal, binnen een straal van enkele meters uit de paalfundering. Daardoor kan cyclische verweking buiten een straal van enkele meters uit de paalfundering niet meer optreden. Wel moet het effect van lokale verweekte zones op de waterveiligheid worden beschouwd.

Trillingen: invloed op de stabiliteit

Indien de (onder)grond in trilling komt, genereert dit krachten op de constructies, ook op de grondconstructies. De macrostabiliteit van taluds kan hierdoor afnemen. De grootte van de trillingen en de daardoor uitgeoefende kracht is afhankelijk van de afstand tot de windturbines. Bij een afstand groter dan 100 m worden geen significante trillingen meer verwacht en is de invloed op de macrostabiliteit verwaarloosbaar.

Fundering

Uitgangspunt is dat falen van de fundering niet maatgevend is, conform HRW [Ref. 1]. De mast zal eerder afbreken dan dat de fundering faalt.

Piping en heave

Door trillingen of klink kunnen holle ruimtes ontstaan onder of naast ondergrondse onderdelen van de windturbine en zo de constructie meer gevoelig maken voor piping of heave. Zo nodig moeten dit soort potentiële kwelwegen worden afgesloten met kwelschermen. Aanbevolen wordt om dit in een later stadium nader te detailleren. Bij correcte detaillering levert een windturbine in een zandondergrond geen aanvullend risico.

2.4 Aanleg, onderhoud en demontage en overige aspecten

Negatieve effecten bij aanleg, onderhoud en demontage kunnen door nadere detaillering worden voorkomen. Gedacht moet worden aan adequate opstelplaatsen, aan- en afvoerwegen, detaillering zodat demontage mogelijk is, voor zover gewenst.

Ook moet aandacht besteed worden aan de detaillering van de (onder- en bovengrondse) infrastructuur, zoals kabels en leidingen en wegen en aan de detaillering van overgangen en aansluitingen rondom de windturbines. Voorkomen moet worden dat hier een zwakke plek in de bekleding ontstaat.

3 OPSCHALING WINDPARK HARINGVLIET

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de gevolgen van de opschaling van het windpark Haringvliet op de waterveiligheid behandeld. Achtereenvolgens wordt ingegaan op:

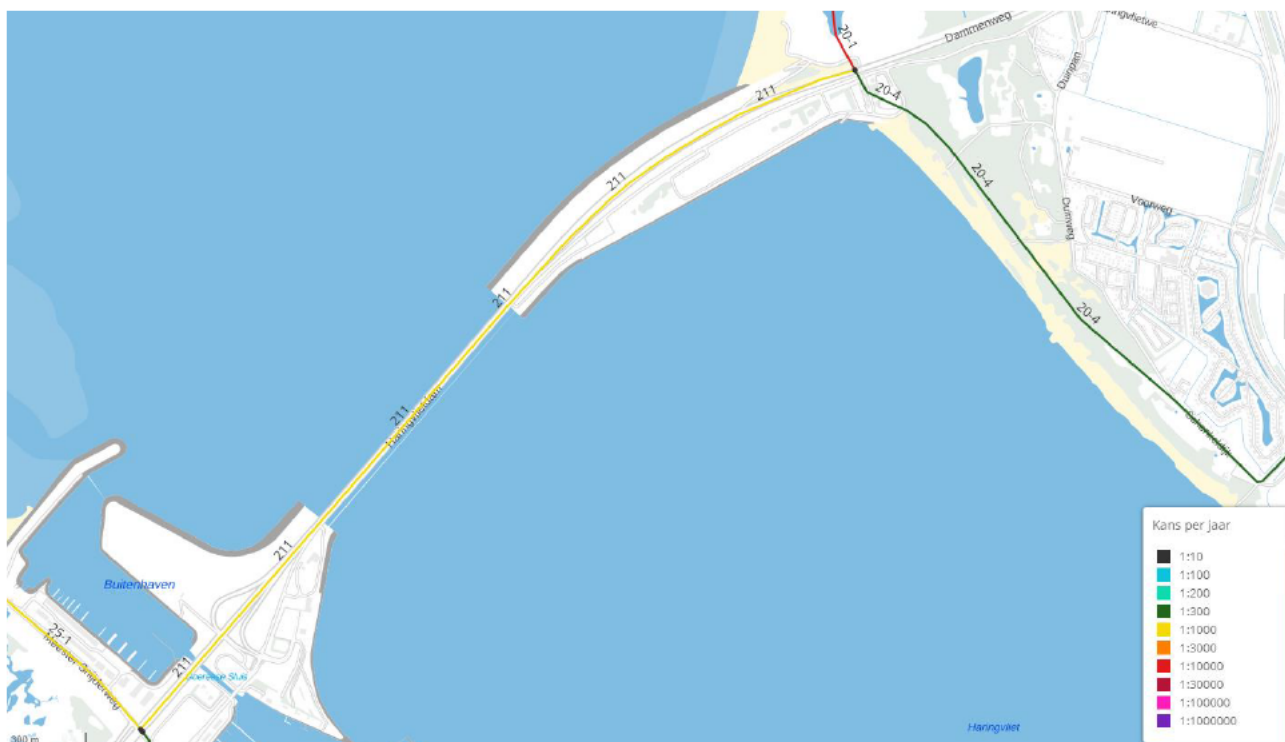
- De faalkanseis.
- Het waterkeringsysteem.
- De windturbines, invloedszones – werpafstanden etc.
- Per traject van de waterkering:
 - Risico's en risicozones
 - Bovengrondse calamiteiten, indien van toepassing vanwege risico's
 - Ondergrondse invloeden, indien van toepassing vanwege risico's
 - Conclusies

3.2 Faalkanseis

Falen van de waterkering ten gevolge van een windturbine moet binnen het faalkansbudget van de waterkering blijven. In een toelichting bij het OI2014v4 stelt KPR [Ref.3] dat onderscheid gemaakt moet worden tussen de ondergrondse en de bovengrondse invloed:

- Voor de ondergrondse invloed van de windturbines geldt dat ieder relevant mechanisme beoordeeld moet worden inclusief de negatieve effecten van de windturbine. Indien de faalkans (inclusief windturbine) voldoet aan de doorsnede eis wordt aan de eisen voor de ondergrondse invloed voldaan. De windturbine wordt in deze benadering als NWO beoordeeld.
- Voor de bovengrondse invloeden wordt gesteld (KPR) dat indien de bijdrage aan de faalkans op doorsnedeniveau kleiner is dan 1% van de doorsnede eis, de invloed verwaarloosbaar is. In deze benadering hoeft er door de beheerder geen faalkansruimte gereserveerd te worden voor de bijdrage van de windturbines.

De ondergrens van de norm per traject is weergegeven in Tabel 2. De ligging van de normtrajecten is weergegeven in Figuur 3.



Figuur 3 Indeling normtrajecten

Tabel 2 Normering trajecten

Normtraject [-]	Ondergrens [1/jaar]	Signaleringswaarde [1/jaar]
211	1/1.000	1/3.000
20-1	1/10.000	1/30.000
20-4	1.300	1/1.000

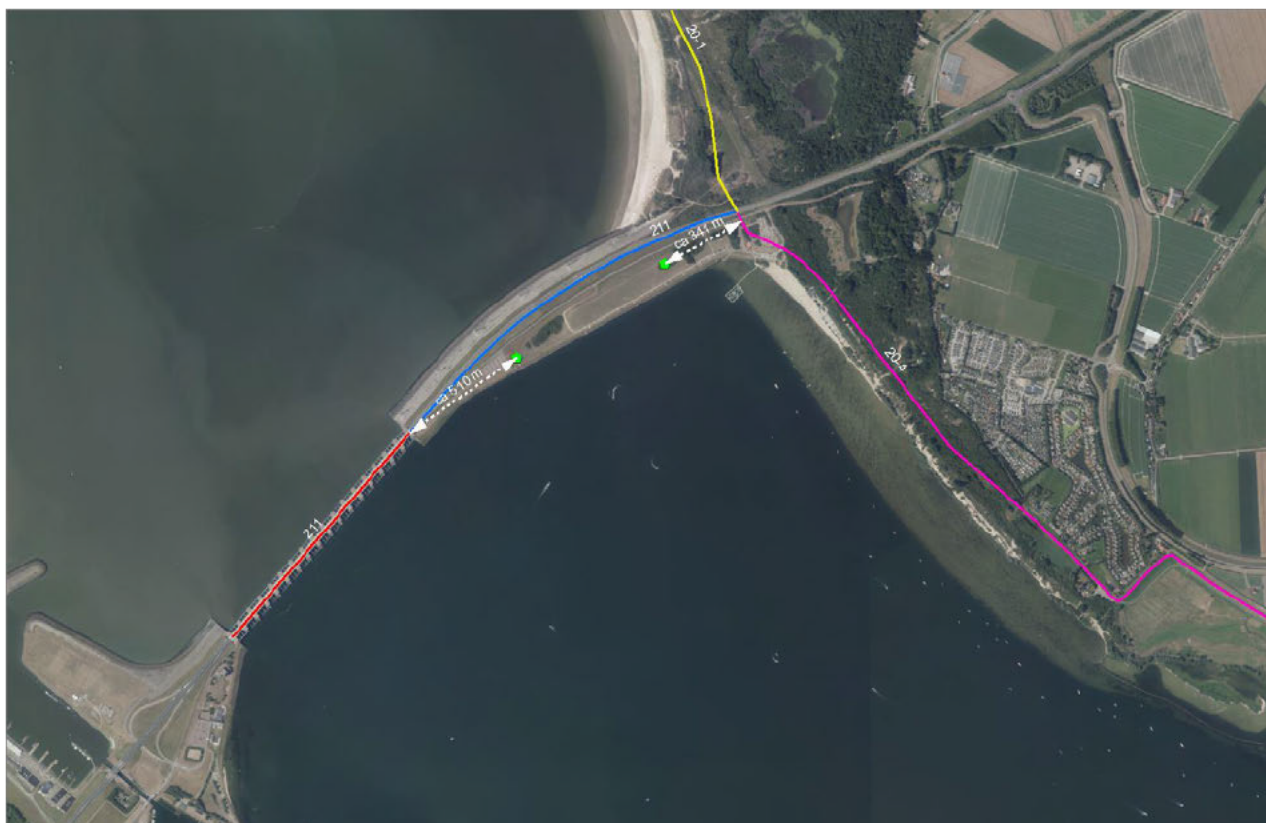
3.3 Windturbines

Uitgegaan wordt van het windpark met twee nieuwe windturbines aan de landzijde van de Haringvlietdam. Voor de locaties wordt verwezen naar onderstaande Tabel 3.

Tabel 3 Beschouwde windturbines

Windturbinepositie	X-coördinaat	Y-coördinaat
WT 1	63.587	428.663
WT 2	64.153	429.032

In onderstaande Figuur 4 zijn de beoogde windturbines op de Haringvlietdam weergegeven én de afstanden van die windturbines tot de overige waterkeringstrajecten (Haringvlietstuizen en kering Voorne-Putten). De meest zuidelijke windturbine (WT1) staat op een afstand van ca. 510 meter van de Haringvlietstuizen, de meest noordelijke windturbine (WT2) staat op een afstand van ca. 340 meter van de primaire waterkering van het waterschap Hollandse Delta.



Figuur 4 Afstand windturbines t.o.v. Haringvlietsluizen en Primaire waterkering van het waterschap

Op dit moment is nog niet bekend welke windturbine geplaatst zal worden, gedacht wordt aan windturbines in de orde van de Enercon E147 EP5 E2 en de Vestas V162 Enventus. Bij onderhavige studie is uitgegaan van de Vestas (zie Tabel 4). Na de definitieve keuze van de te plaatsen windturbine, moet worden nagegaan of dit consequenties heeft voor de waterveiligheid.

Tabel 4 Eigenschappen turbines

Eigenschap	Eenheid	Vestas V162 Enventus
Vermogen	[MW]	6,5
Nominaal toerental	[rpm]	9,33
Mast: ashoogte	[m]	119
Bladen:		
- Aantal	[-]	3
- Diameter	[m]	162
Rotordiameter	[m]	162

De maximale werpafstand (bij overtoeren) is door Pondera vastgesteld [Ref. 7], deze bedraagt 431m.

3.4 Beschouwing waterkeringsysteem

In onderstaande figuur zijn de verschillende relevante primaire waterkeringen weergegeven. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in drie verschillende trajecten:

- De Haringvlietsluizen, onderdeel van normtraject 211 (rode lijn)
- De Haringvlietdam, onderdeel van normtraject 211 (blauwe lijn)
- Primaire waterkering Voorne-Putten, normtrajecten 20-1 en 20-4 (gele en paarse lijn)



Figuur 5 Situatie Haringvliet

Achtereenvolgens wordt per traject ingegaan op de gevolgen van de plaatsing van de windturbines op de waterveiligheid.

3.5 Haringvlietsluizen

3.5.1 Risico's en risicozones

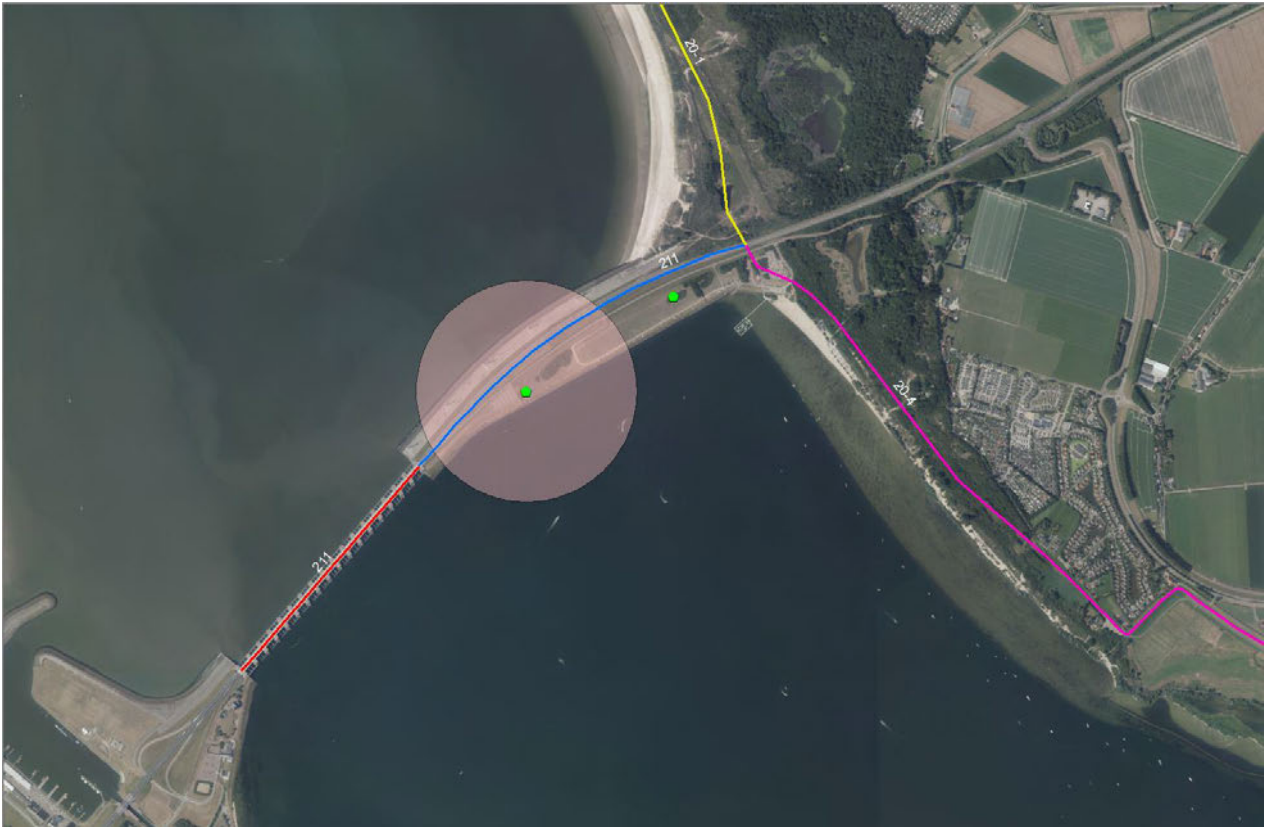
De maatgevende windturbine voor de Haringvlietsluizen is windturbine 1, deze staat op ca. 500 m van de Haringvlietsluizen (zie Figuur 4). Achtereenvolgens wordt ingegaan op de bovengrondse en ondergrondse invloeden.

3.5.1.1 Ondergronds invloeden

De afstand van 500 m tussen de sluis en de windturbine is significant meer dan de afstand waarover de ondergrondse invloed van een windturbine merkbaar is. Gelet daarop wordt geconcludeerd dat het effect van de ondergrondse invloeden van de windturbines op de sluisen verwaarloosbaar is.

3.5.1.2 Bovengrondse calamiteiten

De maximale (verstoring)zone rond de windturbine bij een bovengrondse calamiteit treedt op bij 'bladworp overtoeren' en bedraagt ca. 430 m (zie [Ref. 7]). Dit is minder dan de afstand van de turbine tot de sluisen (zie Figuur 6). Gelet daarop wordt geconcludeerd dat het effect van bovengrondse calamiteiten van de windturbines op de sluisen verwaarloosbaar is.



Figuur 6 Invloedzone maatgevende windturbine op Haringvlietsluizen

3.5.2 Conclusie

De windturbines hebben een verwaarloosbare invloed op de waterveiligheid van de Haringvlietsluizen. Daarmee wordt voldaan aan de faalkanseis.

3.6 Haringvlietdam

3.6.1 Risico's en risicozones

Na een korte beschrijving van de opbouw van de waterkering worden bij de beschouwing van dit traject alle in paragraaf 2.2.1 beschreven faalscenario's beschouwd.

Daarnaast wordt op hoofdlijnen ingegaan op de risico's van de in de dam aanwezige waterleiding op de waterveiligheid.

3.6.2 Opbouw van de waterkering

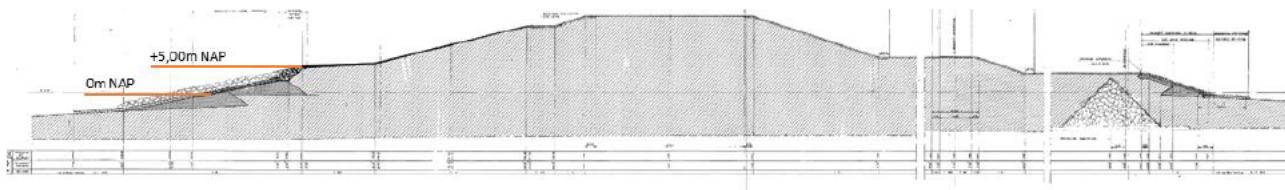
De Haringvlietdam is opgebouwd uit een zandkern die is bekleed met klei, gras en vanaf de bovenkant van de buitenberm met een harde bekleding richting de teen van de dijk. De waterkering heeft een zeer brede en hoge kruin. De hoogte van de kering sluit aan op hoogte van de wegverbinding over de sluizen van het Haringvliet aan de zuidzijde en de duinen / dijk aan de noordzijde.

Onder het einde van het binnentalud bevindt zich een blokkendam. Deze vervult geen verdere rol in de huidige waterveiligheid. De blokkendam is destijds aangelegd voor de uitvoering en aanleg van de Haringvlietdam. Aandachtspunt is wellicht het aanbrengen van funderingspalen.

In de dam bevindt zich een waterleiding (diameter 0,6 m).

De bekleding van de waterkering heeft de volgende opbouw van buiten naar binnen (van links naar rechts), zoals weergegeven in Figuur 7:

- Kreukelberm van breuksteen, rond 0 m NAP.
- Ondertalud bestaande uit breuksteen, tot ca. +5,00 m NAP.
- Een asfaltaag op de berm.
- Gras en klei op het boventalud.
- Gras en klei op het binnentalud.
- Binnen ondertalud met lichte breuksteen, vanaf NAP +5,00 meter tot aan de teen.



Figuur 7 Doorsnede waterkering

3.6.3 Invloed bovengronds falen Haringvlietdam

In deze paragraaf worden de gevolgen van bovengronds falen op de waterveiligheid beschreven. De invloed van bovengronds falen is per mechanisme verder uitgewerkt in onderstaande paragrafen. Daarbij is uitsluitend gekeken naar een hydraulische belasting vanaf de Noordzezijde en niet naar een belasting vanaf de Haringvlietzijde. De (eventuele) belasting vanaf de Haringvlietzijde is immers niet significant ten opzichte van de belasting van de Noordzezijde.

3.6.3.1 Kruin en binnentalud

Voor de beoordeling van de invloed van de impact kraters op de kruin en het binnentalud is een beoordelingsprofiel voor de faalmechanismen golfrosie kruin en binnentalud en binnenwaartse macrostabiliteit opgesteld. Gekeken is vervolgens of de kraters binnen dit beoordelingsprofiel vallen. Deze werkwijze is conform de beoordeling van niet-waterkerende objecten (NWO).

Het maatgevende dwarsprofiel voor deze faalmechanismen is net voor de aansluiting van de Haringvlietdam met de Haringvlietstuizen. Hier is het profiel het smalste.

Met Hydra NL berekeningen is het hydraulisch belastingniveau (HBN) bepaald bij 0,1 l/m/s. bij dit overslagdebiet gelden er geen eisen aan de erosiebestendigheid van het binnentalud en mag het binnentalud dus beschadigd zijn en bestaan uit zand. Bij de berekening van dit HBN is uitgegaan van het zichtjaar 2050 en klimaatscenario W+. Vanwege de levensduur van de turbines van circa 25 jaar is gekozen voor dit zichtjaar. Klimaatscenario W+ is een veilig uitgangspunt. Het bepaalde hydraulische belastingniveau (HBN) is opgenomen in Tabel 5.

Tabel 5 Hydraulische belastingniveaus 0,1 l/m/s

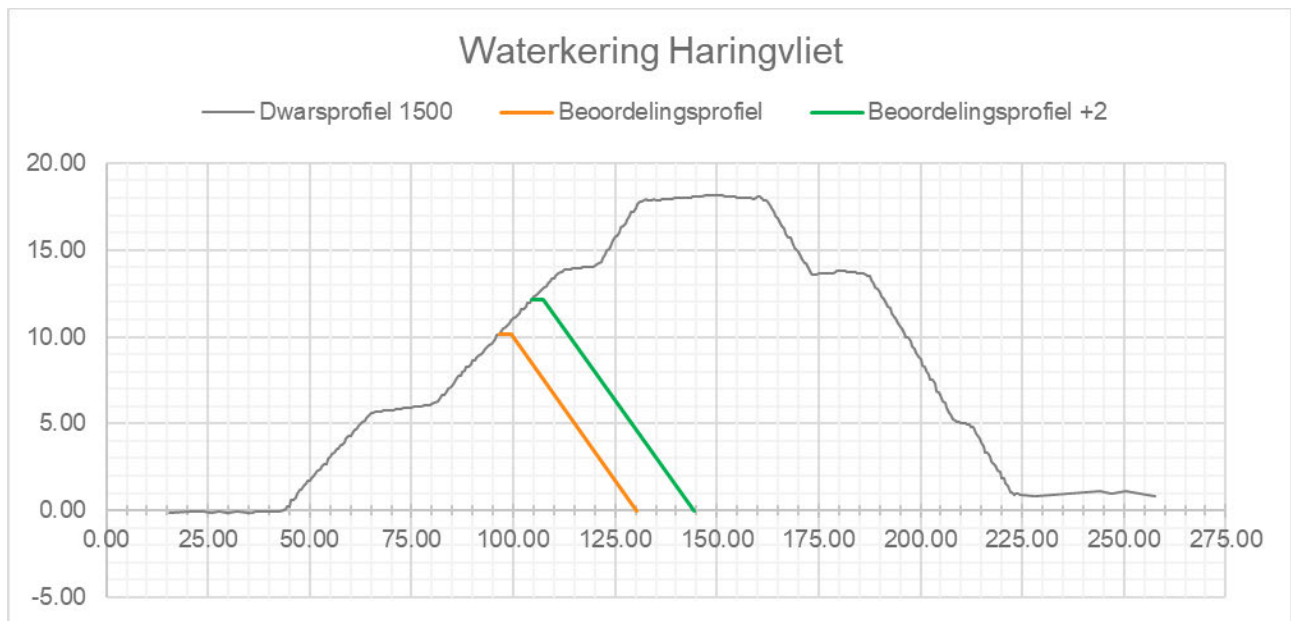
Traject	HBN 0,1 l/m/s (m NAP)	Aanwezige kruinhoogte (m NAP)
Haringvlietdam, traject 211	10,2	Min. 14,0 (nabij de aansluiting met normtraject 20-1 en 20-4) Max. 18,0 (nabij de aansluiting met Haringvlietstuizen)

Op basis van deze HBN waarden is een beoordelingsprofiel opgesteld. Daarbij is uitgegaan van een kruinbreedte van 3 m en een veilige taludhelling van 1:3. Het beoordelingsprofiel is weergegeven in Figuur 8 (oranje lijn). De kruinhoogte van het beoordelingsprofiel is gelijk aan het HBN bij 0,1 l/m/s overslag.

De groene lijn is het beoordelingsprofiel met een offset in de hoogte van 2 m. Deze 2 m is de maximale diepte van de ontgrondingskuilen door bovengronds falen.

Het aanwezige profiel (grijze lijn) is ruimer dan de groene lijn, een eventuele krater valt daarmee buiten het beoordelingsprofiel.

Voor het profiel geldt dat de Noordzee aan de linkerkant van de figuur ligt.



Figuur 8 Beoordelingsprofiel Waterkering Haringvliet

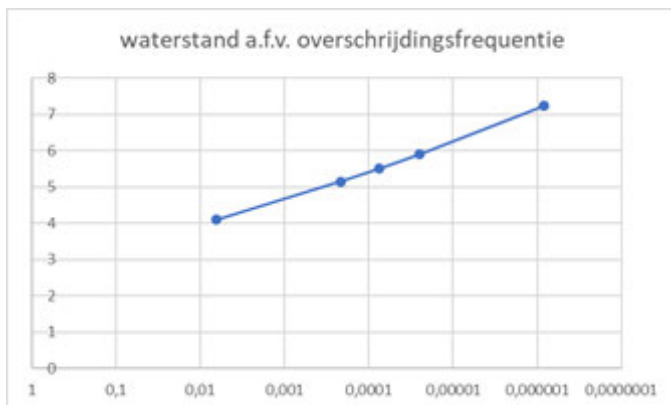
Voor de Haringvlietdam geldt dus dat een krater op de kruin en het binnentalud buiten het beoordelingsprofiel valt. Dit betekent dat het restprofiel (profiel inclusief krater) ruim voldoet aan de doorsnede eisen voor Golfrosie Kruin en Binnentalud ($GEKB = 1,2E-4$) en Macrostabiliteit binnenwaarts ($STBI = 1,2E-5$). Gecombineerd met de kleine trefkans ($8,4E-4$, conform HRW [Ref. 1]) levert dit een faalkansbijdrage op die veel kleiner is dan 1% van deze doorsnede-eis.

De bovengrondse invloed op de mechanismen hoogte, bekleding kruin en binnentalud en macrostabiliteit binnenwaarts voldoet daarmee dus aan de norm.

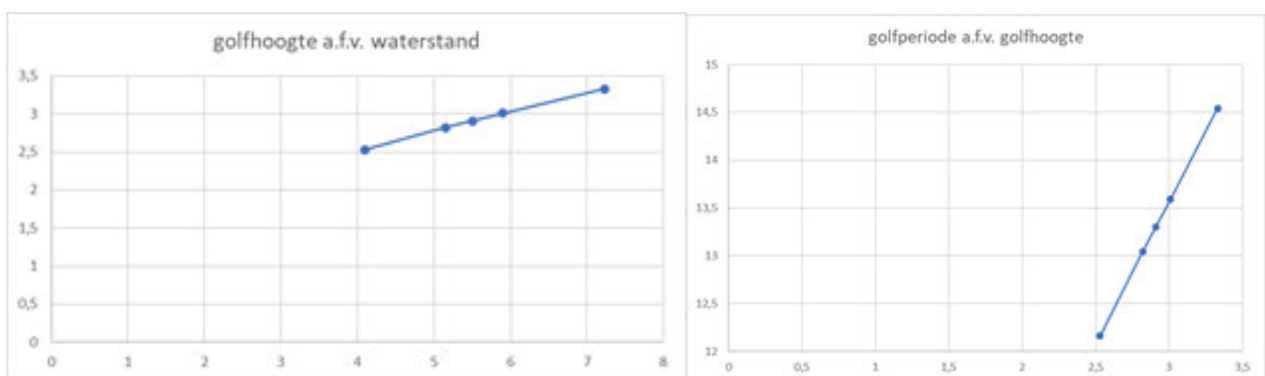
3.6.3.2 Buitentalud

Bij het buitentalud kan onderscheid worden gemaakt in de zone met stortsteenbekleding en de zone met asfaltbekleding. De impact van een vallend blad op de stortsteenbekleding zal niet leiden tot falen van de deze bekleding. Voor de asfaltbekleding op de berm kan dat echter niet worden uitgesloten: de impact van een turbineblad kan leiden tot grote schade aan de bekleding waarbij de onderlagen worden blootgesteld aan golfslag.

Aangenomen is het conservatieve scenario dat de bekleding dusdanig beschadigd raakt dat deze geen sterkte meer heeft en er sprake is van een onverdedigd talud. Er zal dan in het onderliggende zandpakket onder invloed van de golfaanval afslagprofiel ontstaan. Voor het bepalen van de dimensies van dit afslagprofiel is een verkennende afslagberekening gemaakt. Hiervoor is gebruikt gemaakt van de waterstandsfrequentielijn uit Figuur 9 waarin een relatie is gelegd tussen de overschrijdingskans en de maatgevende waterstanden. Daarnaast is gebruik gemaakt van de hier van toepassing zijnde relaties tussen enerzijds waterstand en golfhoogten en anderzijds golfhoogte en golfperioden zoals weergegeven in Figuur 10.

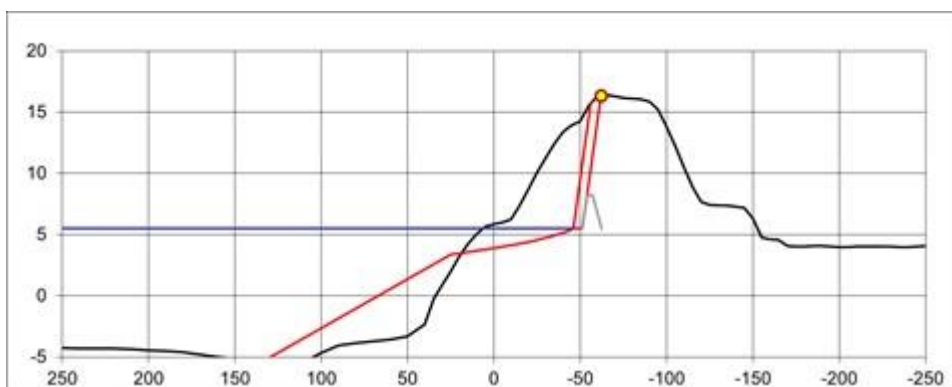


Figuur 9: Waterstandsfrequentielijn



Figuur 10: Relatie waterstand - golfhoogte en relatie golfhoogte - golfperiode

Een waterstand van +5,5 m NAP leidt tot een bijbehorende golfhoogte van 2,9 m en golfperiode van 13,3 s. Met deze uitgangspunten is een afslagprofiel berekend met een lengte (tussen afslagfront en de teen van dit parabolische profiel) van circa 80 m. Dit afslagprofiel en het aanwezige profiel, zijn weergegeven in Figuur 11. Hieruit blijkt duidelijk dat het afslagprofiel ruim binnen het smalst aanwezige profiel past. Vanwege de ruime marge is geen sprake van falen van de kering. Dit is ook niet het geval voor iets andere omstandigheden en ook niet in het geval dat er geen rekening wordt gehouden met het zeewaarts van de teen van het afslagprofiel afgezette materiaal.



Figuur 11 Indicatief afslagprofiel waterkering Haringvliet na falen asfaltbekleding.

Ofschoon het hierbij slechts gaat om een verkennende uitwerking mag worden verondersteld dat een definitieve meer gedetailleerde analyse tot een vergelijkbare conclusie zal leiden.

Afslag van het onverdedigde grondlichaam onder ontwerpomstandigheden leidt niet tot een significante verlaging van de kruin. Het overslagdebiet zal dan nog steeds minder zijn dan 0,1 l/m/s (zie ook Tabel 5).

Concluderend kan worden gesteld dat een vallend blad op het buitentalud niet leidt tot falen van de kering.

3.6.3.3 Piping en heave

Gesteld kan worden dat piping en heave geen relevant mechanisme is, omdat sprake is van een zanddijk op een zandondergrond.

3.6.3.4 Waterleiding

De plaatsing van de windturbines kan een risico zijn voor deze leidingen en daarmee voor de waterveiligheid. In de memo *Risico's windturbines op kabels en leidingen i.r.t. waterveiligheid Haringvliet* [Ref. 8] wordt daar nader op ingegaan.

3.6.4 Ondergrondse invloed

3.6.4.1 Algemeen

De ondergrondse invloeden zijn in Hoofdstuk 2 generiek besproken. De uitwerking van de effecten van ondergronds falen op de waterveiligheid voor Windpark Haringvliet zijn in onderstaande Tabel 6 beschreven.

Tabel 6 Overzicht ondergrondse invloed

Faalmechanisme	Effectbeschrijving ondergronds falen
Hoogte (HT)	Geen effect
Bekleding buitentalud (STBK)	Geen effect
Bekleding binnentalud en kruin (STBK en HT)	Geen effect, door de zeer hoge kruin is er geen overslag. De aansluiting van de windturbine op de bekleding van de dijk is daarmee voor waterveiligheid geen issue.
Piping en heave	Geen effect, vanwege de zandondergrond en de zanddijk.
Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI)	De windturbine draagt zijn eigengewicht en de windbelastingen (krachten) via de funderingspalen af naar de diepe ondergrond. Het eigengewicht en de windbelastingen (krachten) hebben daarom geen invloed op de stabiliteit van de waterkering.
Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU)	De windturbine draagt zijn eigengewicht en de windbelastingen (krachten) via de funderingspalen af naar de diepe ondergrond. Het eigengewicht en de windbelastingen (krachten) hebben daarom geen invloed op de stabiliteit van de waterkering.
Microstabiliteit (STMI)	De windturbine staat in de berm van een zanddijk. Daarmee is er geen invloed op het mechanisme microstabiliteit.
Voorland (STVL)	Geen effect

3.6.4.2 Invloed trillingen

Het (eigen) gewicht van de windturbines en krachten die door de fundering van de windturbines op de ondergrond worden overgedragen hebben geen invloed op de sterkte van de ondergrond. Deze krachten worden via de funderingspalen afgevoerd naar de diepere ondergrond.

De windturbine kan echter wel trillingen overbrengen naar de ondergrond. Deze trillingen kunnen een negatieve invloed hebben op de stabiliteit van de waterkering. Voor de meest maatgevende zuidelijke windturbine op de Haringvlietdam is de invloed van deze trillingen op de stabiliteit van de dam onderzocht (met D-Stability).

De gehanteerde trillingen zijn ingevoerd als een aardbeving. De waarden zijn weergegeven in Tabel 8 conform Rapportage Windpark Krammer en betreffen de operationele fase [Ref.4]. Verweking is in deze stabiliteitsanalyse niet meegenomen. Voor het mogelijke risico van de trillingen op het mechanisme verweking wordt verwezen naar [Ref. 9].

De gebruikte grondparameters zijn weergegeven in Tabel 7. Deze zijn afkomstig uit de Schematiseringshandleiding Macrostabiliteit [Ref. 6]. De waarden zijn conservatief bepaald op basis van de gegeven range.

De minimaal benodigde en de berekende afschuifveiligheid zijn weergegeven in Tabel 9, conform [Ref. 6]. Ook met het meenemen van de trillingen voldoet het profiel ruimschoots aan de gestelde eis. Op basis van de berekeningen (zie Tabel 9) is geconcludeerd dat de invloed van de trillingen voldoende klein is.

Tabel 7 Gebruikte grondparameters

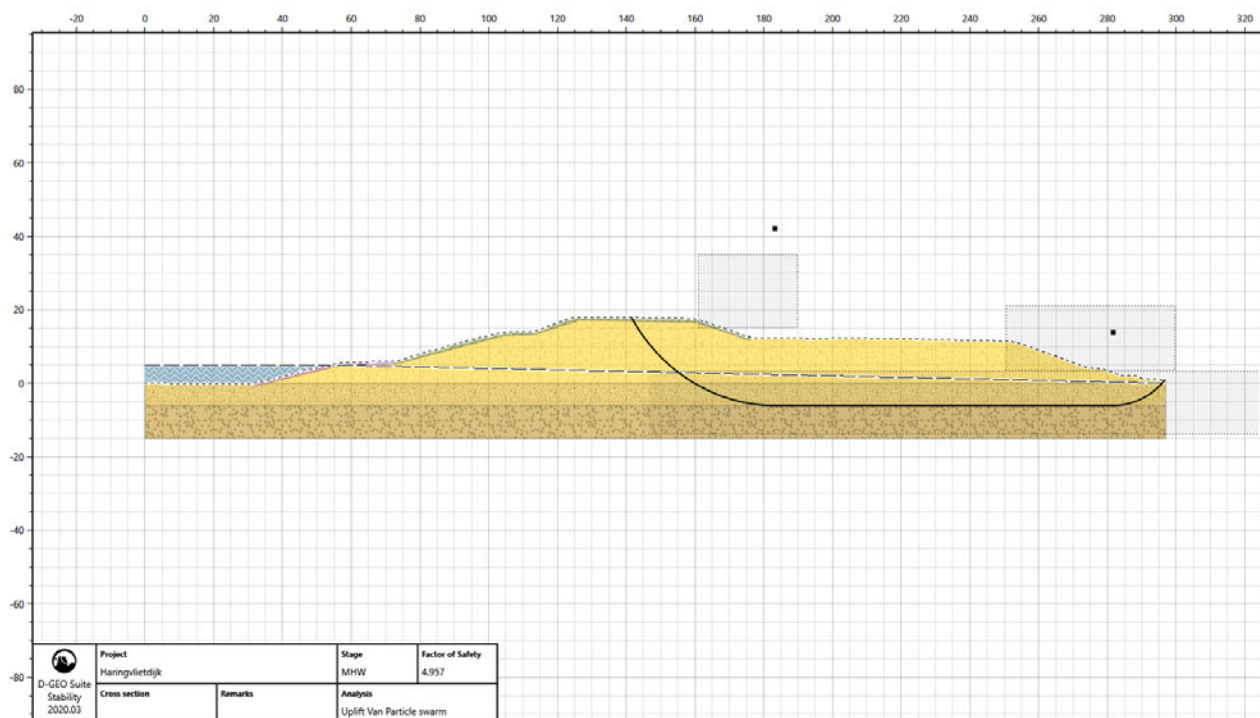
Grondsoort	Type	γ_{droog} [kN/m ³]	γ_{nat} [kN/m ³]	Schuif- sterkte ratio [-]	Sterkte exponent [-]	Cohesie [kN/m ²]	Hoek van inw. Wrijving [°]
Klei (bekleding)	Ongedraineerd	16	16	0,22	0,80	-	-
Stortsteen (bekleding)	Gedraineerd	18	20	-	-	0,00	32,4
Antropologisch zand	Gedraineerd	18	20	-	-	0,00	32,4
Zand, Los	Gedraineerd	18	20	-	-	0,00	29,9
Zand, Matig	Gedraineerd	19	21	-	-	0,00	32,4

Tabel 8 Gehanteerde trillingen

	Hor. aardbevingsfactor [m/s ²]	Vert. aardbevingsfactor [m/s ²]	Vrij water factor [-]
Trillingen	6	12	0,00

Tabel 9 Afschuifveiligheid

Normtraject	Norm	Schadefactor	Modelfactor	Vereiste veiligheid	Bepaalde veiligheid
211	1:1000	1,04	1,06	1,11	4,957



Figuur 12 Glijvlak Macrostabiliteit binnenwaarts bij MHW

3.7 Primaire waterkering Voorne-Putten

3.7.1 Risico's en risicozones

De meest noordelijke windturbine staat ca. 340 m onder de primaire waterkering van het waterschap.

3.7.1.1 Ondergrondse invloeden

Op basis van de grote afstand van de windturbine uit de kering zijn ondergrondse invloeden zijn ondergrondse invloeden verwaarloosbaar.

3.7.1.2 Bovengrondse calamiteiten

Bij bovengrondse calamiteiten is er een risico op treffen van de kering bij de calamiteit 'bladworp bij overtoeren'. Zie Figuur 13 waarin de groene cirkel de worpafstand van het turbineblad geeft bij bladworp overtoeren (zie [Ref. 7]). Hierbij wordt de primaire waterkering van het waterschap op een deel geraakt (nabij de aansluiting met normtraject 211).

Op basis van expertjudgement is het de verwachting dat het treffen van de waterkering door een turbineblad bij overtoeren geen significante invloed heeft op de waterveiligheid en faalkans.



Figuur 13 Invloedzone maatgevende windturbine op Primaire waterkering van het waterschap

3.7.2 Conclusie

Voor de primaire waterkering van het waterschap zijn er risico's met betrekking tot de windturbines. Op basis van expertjudgement is het de verwachting dat deze geen significante invloed hebben op de waterveiligheid en de faalkans van de kering.

4 SAMENVATTING

Per waterkeringstraject wordt de mogelijke invloed van de plaatsing van de twee windturbines op de waterveiligheid beschreven.

4.1 Haringvlietsluizen

De windturbines hebben geen invloed op de waterveiligheid van de Haringvlietsluizen. Dat geldt voor zowel bovengrondse calamiteiten als voor ondergrondse invloeden.

4.2 Haringvlietdam

De ondergrondse invloeden van de windturbines hebben invloed op de waterveiligheid van de Haringvlietdam. Voor wat betreft het effect van trillingen op de macro-stabiliteit wordt er ruimschoots voldaan aan de afschuifveiligheid.

Voor zettingsvloeiingen wordt verwezen naar [Ref. 9]. Conclusie is dat de ondergrond geen risico vormt voor de stabiliteit van de waterkering en de waterveiligheid.

De faalkansbijdrage als gevolg van bovengronds falen van de windturbine op de waterveiligheid, is voor de Haringvlietdam voldoende klein. Voor de waterkering geldt bij bladworp bij overtoeren dat er beoordelingsprofielen zijn opgesteld. Op basis van deze beoordelingsprofielen en de berekende kraters is geconcludeerd dat de faalkans van het restprofiel voldoende klein is voor de mechanismen golferosie kruin en binnentalud en macrostabiliteit binnenwaarts. Op basis van de trefkans, de afmetingen van het restprofiel en rekening houdend met realistische hersteltijden is bepaald dat de invloed op de bekleding op het buitentalud ook voldoende klein is. De invloed op de overige mechanismen op de waterveiligheid zijn beoordeeld op basis van een kwalitatieve beschouwing en voldoen eveneens.

Op basis beschouwing (zie Ref. 8) is vastgesteld dat de aanwezigheid van de watertransportleiding geen risico vormt voor de waterveiligheid.

4.3 Primaire waterkering Voorne-Putten

De ondergrondse invloeden van de windturbines hebben geen invloed op de waterveiligheid van de primaire waterkering van het waterschap.

Ten aanzien van de invloed van bovengronds falen van de windturbines op de primaire waterkering van het waterschap (normtraject 20-1 en 20-4) is het op basis van expertjudgement de verwachting dat dit geen significante invloed heeft op de waterveiligheid. Voor 'bladworp bij overtoeren' geldt dat een deel van het traject binnen de worpafstand ligt.

REFERENTIES

1. Handboek Risicozonering Windturbines versie 3.1, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Januari 2020
2. Bovengrondse calamiteiten – kraterberekeningen, Arcadis, 29-9-2017.
3. KPR memo 473, Windturbines op of nabij primaire waterkeringen, Kennisplatform Risicobenadering, 19-07-2018.
4. Windpark Krammer te Bruinisse, Voorkeursalternatief, Toets Primaire waterkering, versie 2.0, RoyalHaskoningDHV, 6 februari 2014.
5. Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, RWS, Februari 2017.
6. Schematiseringshandleiding Macrostabieliteit versie 3.0, RWS, 28 november 2019.
7. Analyse Externe Veiligheid Windpark Haringvliet, Pondera Consult, 24 december 2020.
8. Risico's windturbines op kabels en leidingen i.r.t. waterveiligheid Haringvliet, Arcadis, 22 april 2021, D10023232.
9. Memo Verwekingsgevoeligheid Haringvlietdam, Arcadis, 23 april 2021.

COLOFON

WATERVEILIGHEIDSSSTUDIE WINDPARK HARINGVLIET

KLANT

E-connection Project

AUTEUR

Thom Smit

PROJECTNUMMER

C07011.000031

ONZE REFERENTIE

D10021709:115

DATUM

23 april 2021

GECONTROLEERD DOOR

■■■■■■■■■■
■■■■■■■■■■

VRIJGEGEVEN DOOR

■■■■■■■■■■
■■■■■■■■■■

Arcadis Nederland B.V.

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

www.arcadis.com