

# Windpark Brielse Maasdijk

**Integrale rapportage waterveiligheid ten behoeve van  
vergunningaanvraag  
HVC**

15 december 2022

## Contactpersoon



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

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>5</b>
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doel rapportage	5
1.3	Samenhang rapportages	6
1.4	Leeswijzer	6
<b>2</b>	<b>Situatie</b>	<b>7</b>
2.1	Locatie windturbines	7
2.2	Waterkeringen	9
2.3	Ontwerp windturbines	10
2.3.1	Windturbine	10
2.3.2	Fundering	10
2.3.3	Kraanopstelplaatsen	10
2.3.4	Overig	10
2.4	Bouwwijze	10
2.4.1	Windturbine	10
2.4.2	Fundering	11
2.4.3	Kraanopstelplaatsen	11
<b>3</b>	<b>Invloed windturbines op waterveiligheid</b>	<b>12</b>
3.1	Ondergrondse effecten	13
3.2	Bovengrondse effecten	14
<b>4</b>	<b>Beoordelingskader</b>	<b>15</b>
4.1	Waterveiligheidsnorm	15
4.2	Toekomstbestendigheid	17
<b>5</b>	<b>Beoordelingseis 1: waterveiligheidsnorm</b>	<b>18</b>
5.1	Normtraject 20-3	18
5.1.1	Bouwfase	18
5.1.2	Exploitatiefase	19

5.1.2.1	Bovengrondse effecten: mastbreuk, gondelval, bladbreuk	19
5.1.2.2	Ondergrondse effecten	21
5.1.3	Ontmantelingsfase	22
5.1.4	Samenvatting resultaten	23
5.2	Normtraject 20-9 (Hartelkering)	23
5.3	Regionale kering en compartimenteringskering	23
5.4	Conclusie beoordelingseis 1: waterveiligheidsnorm	25
<b>6</b>	<b>Beoordelingseis 2: toekomstbestendigheid</b>	<b>26</b>
<b>7</b>	<b>Conclusie en aanbevelingen</b>	<b>27</b>
<b>8</b>	<b>Literatuur</b>	<b>28</b>
	<b>Bijlage A dwarsdoorsnede ter plaatse van windturbines</b>	<b>29</b>
	<b>Colofon</b>	<b>30</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

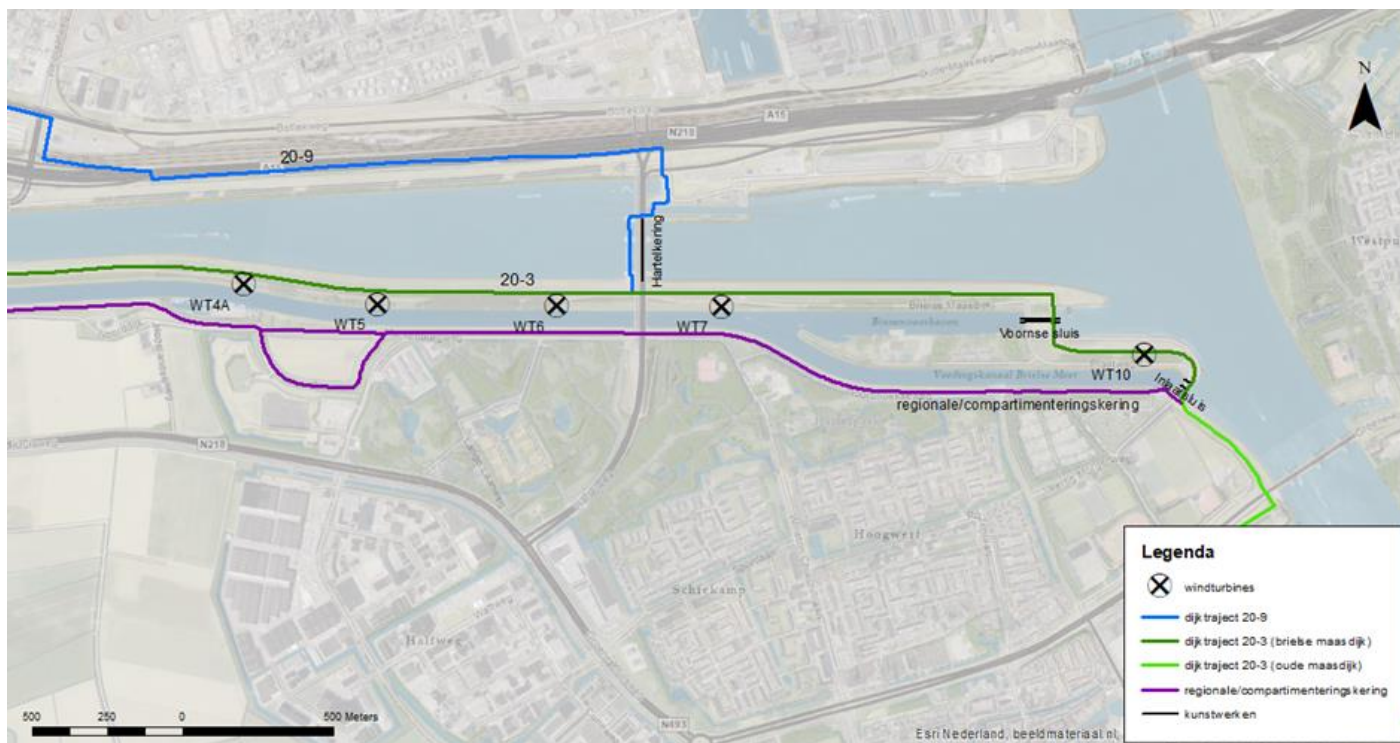
HVC is voornemens een windpark te realiseren op de primaire waterkering de Brielse Maasdijk en in de nabijheid van diverse andere waterkeringen.

Deze waterkeringen, de Hartelkering daargelaten, zijn in beheer bij het Waterschap Hollandse Delta. De Hartelkering is in beheer bij Rijkswaterstaat. Aangezien de windturbines binnen de invloedzone van deze keringen zijn geprojecteerd, is voor de plaatsing de instemming van de waterbeheerders noodzakelijk.

Het Waterschap en Rijkswaterstaat staan positief tegenover de beoogde ontwikkelingen die bijdragen aan een duurzamere leefomgeving, mits het windpark geen significante invloed heeft op de waterveiligheid. In dat kader zijn normen geformuleerd over de (maximale) additionele faalkans van deze windturbines.

HVC heeft Arcadis Nederland BV gevraagd aan te tonen dat de additionele faalkans van het windpark aan deze normen voldoet en daarmee geen belemmering geeft voor de waterveiligheid.

Het windpark Brielse Maasdijk (afgekort BMO) voorziet in de plaatsing van vijf windturbines op de Brielse Maasdijk, drie ten westen van de Hartelkering en twee ten oosten daarvan (zie onderstaande figuur). De fundaties van de windturbines zijn gesitueerd aan de binnenzijde van de kering, aan het Voedingskanaal ten zuiden van de Brielse Maasdijk.



Figuur 1 De beoogde windmolens van Windpark BMO en de nabijgelegen waterkeringen.

Deze rapportage richt zich op de invloed van het windpark-BMO op de waterveiligheid van de verschillende keringen tijdens en na plaatsen van de windturbines.

## 1.2 Doel rapportage

Dit rapport beschrijft alle relevante aspecten rondom de waterveiligheid van de aanwezige waterkeringen (in beheer bij het waterschap én Rijkswaterstaat) in relatie tot de windturbines van het windpark BMO. Hiermee is deze rapportage een onderbouwing van de benodigde vergunningaanvraag. De rapportage combineert informatie en analyses uit verschillende achterliggende (technische) rapportage.

## 1.3 Samenhang rapportages

De voorliggende rapportage bundelt een aantal belangrijke onderliggende technische rapporten.

Onderwerp	Object	Rapportage	Versie	Referentie
Waterveiligheid: Onder en bovengrondse invloeden	20-3 Grondlichaam	Windpark BMO - Primaire waterkering	07 okt 2022	[1]
Waterveiligheid: Bovengrondse invloeden windturbine 10	20-3 Inlaatsluis, Voornse Sluis en grondlichaam Oude Maasdijk	Windpark BMO - WT10 Kunstwerken en Oude Maasdijk	07 okt 2022	[2]
Waterveiligheid: Aanvullende analyse ondergrondse invloeden windturbines – Verweking	20-3 Grondlichaam	Windpark Brielse Maasdijk - D10043244-rev5	25 feb 2022	[3]
Waterveiligheid: Hartelkering	20-9 Hartelkering	Windpark BMO – Hartelkering		[4]
Waterveiligheid: Onder en bovengrondse invloeden	Regionale waterkering – waterkerende functie	Windpark BMO - Regionale kering	07 okt 2022	[5]
Waterveiligheid: falen compartimenteringskering als gevolg falen primaire kering	Regionale waterkering - compartimenteringsfunctie	Windpark BMO - Compartimenteringskering	07 okt 2022	[6]
Toekomstbestendigheid: Profiel van Vrije Ruimte	20-3 Grondlichaam	Memo optimalisatie PVVR	07 okt 2022	[7]

## 1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de situatie, de waterkeringen, de eigenschappen van de windturbines en de bijbehorende fundatie en bouwwijze. Hoofdstuk 3 beschrijft vervolgens, in lijn met STOWA-handreikingen, welke onder- en bovengrondse effecten verwacht mogen worden. Hoofdstuk 4 geeft dan de beoordelingskaders weer. In hoofdstuk 5 wordt de eerste beoordelingseis (waterveiligheidsnormen) en in hoofdstuk 6 wordt de tweede beoordelingseis (toekomstbestendigheid) behandeld. Hoofdstuk 7 wordt vervolgens afgesloten met de conclusies en aanbevelingen voor het vervolg.

## 2 Situatie

In dit hoofdstuk worden de beoogde situatie en de relevante lokale eigenschappen van de waterkeringen beschreven. Vervolgens wordt het ontwerp van de windmolens beschreven.

De locatie van de windturbines ligt vast, een definitieve keuze ten aanzien van het type windturbine is nog niet gemaakt. Op dit moment is een aantal opties beschouwd, datzelfde geldt ten aanzien van de bouwwijze. In onderhavige waterveiligheidsbeschouwing is van een conservatief scenario uitgegaan: een hoge windturbine op een groot funderingsblok en de mogelijke plaatsing van diverse damwanden ten behoeve van de bouw en het inheien (in plaats van trillingsarm werken) van palen en damwanden. Zodra de te plaatsen windturbine en de bouwwijze bekend zijn, wordt beschouwd of de conservatieve uitgangspunten in deze rapportage voldoende conservatief zijn gebleken én of het ontwerp en de bouwwijze nog verder geoptimaliseerd kunnen worden.

De werkwijze en planning van de bouw van het windpark worden in overleg met het waterschap nader bepaald op het moment dat het type windturbine, de fundatie en de aannemer bekend zijn. Voor de start van de bouwwerkzaamheden wordt dit geformaliseerd middels door de aannemer op te stellen werkplannen die door het waterschap moeten worden goedgekeurd alvorens met de werkzaamheden kan worden aangevangen. Bekend is dat werkzaamheden in de dijk die invloed kunnen hebben op de waterveiligheid in beginsel buiten het gesloten seizoen moeten plaatsvinden.

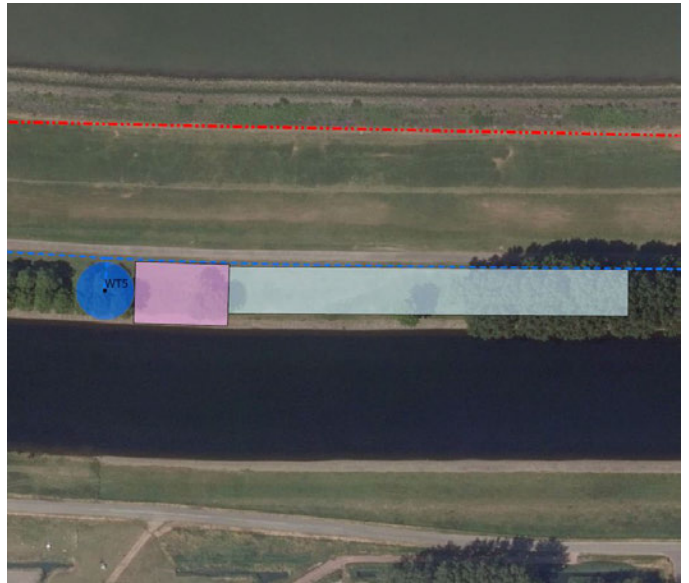
In deze fase zijn op hoofdlijnen al wel onderdelen van die werkplannen beschouwd. Het betreft onder meer de invloed van de verkeersbelasting, de verwachte ontgraving tbv de realisatie op de sterkte van de waterkering, de plaatsing van de funderingspalen en de invloed van de opbouw van de windturbine op de waterveiligheid (zie de Waterveiligheidsrapportage voor de Primaire Waterkering).

### 2.1 Locatie windturbines

De vijf windturbines (WT4, WT5, WT6, WT7 en WT10) zijn geprojecteerd op de Brielse Maasdijk (normtraject 20-3), in het binnentalud langs het Voedingskanaal. Vanwege de hoogte van de windturbines en daardoor de mogelijke bovengrondse effecten, hebben ze ook invloed op de faalkans van normtraject 20-9 en de regionale kering. Op volgende bladzijden wordt de specifieke situering per windturbine weergegeven.



Figuur 2 Windturbine 4A



Figuur 3 Windturbine 5



Figuur 4 Windturbine 6



Figuur 5 Windturbine 7





Legenda: afmetingen zijn indicatief

- Windturbine fundering (straal: 12,5 m)
- Opstelplaats (30 x 40 m)
- Vrije Werkruimte (170 X 20 m)
- Kabel Connectie Windturbines

Figuur 6 Windturbine 10

## 2.2 Waterkeringen

### *Normtraject 20-3*

Het windpark komt op de Brielse Maasdijk, deel van normtraject 20-3. Deze dijk grenst aan de noordzijde aan het Hartelkanaal en de Hartelkering en aan de zuidzijde aan het Voedingskanaal. Het grondlichaam van de waterkering tussen het Hartelkanaal en het Voedingskanaal, ook wel de “Brielse Maasdijk”, bestaat uit een zandkern bekleed met een grasbekleding op een kleilaag. Deze kleilaag varieert enigszins in dikte. De waterkering heeft een kruinhoogte van circa 7 á 8 m NAP ten westen van de Hartelkering en circa 6 m NAP aan de oostzijde.

In het normtraject bevinden zich ook een tweetal waterkerende kunstwerken: de Voornse sluis en de Inlaatsluis. Beide zijn in beheer bij Waterschap Hollandse Delta. Ten zuiden van de Inlaatsluis wordt de dijk ook wel de Oude Maasdijk genoemd.

### *Normtraject 20-9*

Normtraject 20-9 raakt direct aan normtraject 20-3 middels de Hartelkering (in beheer bij Rijkswaterstaat). De Hartelkering is onderdeel van de Europoort keringen en daarmee van de Deltawerken.

### *Regionale waterkering/compartimenteringskering*

De kering aan de zuidzijde van het Voedingskanaal heeft de functie van regionale kering én van compartimenteringskering. De kering waarborgt de veiligheid van het achterland tegen overstromen door:

- Het keren van water van het Scheepvaart en Voedingskanaal Brielse Meer (regionale kering).
- Het keren van water bij een doorbraak van de primaire kering waardoor water het Voedingskanaal inloopt (compartimenteringskering).

De waterkering is een groene kade bestaande uit een zandkern, afgedekt met een kleilaag en grasbekleding. De ondergrond is gelijk aan die van de primaire waterkering [Ref. 7] en bestaat voor de eerste circa 15 m uit een holoceen pakket. Dit pakket is opgebouwd uit klei- en veenlagen van NAP tot ongeveer NAP -7,00 m en vervolgens een zandlaag tot NAP -15,00 m. Daaronder lijkt het pleistoceen te beginnen met een kleilaag van ca. 2,00 m dik en het pleistocene zandpakket.

## 2.3 Ontwerp windturbines

In deze paragraaf wordt het ontwerp van de windturbines en bijbehorende funderingen en opstelplaatsen op hoofdlijnen beschreven.

### 2.3.1 Windturbine

Het type windturbine is nog niet exact bekend. Daarom is bij de beschouwing van de vergunbaarheid conservatief uitgegaan van windturbines met een tiphoogte van maximaal circa 230 meter en een voet (funderingsblok) met diameter van circa 20 meter.

De fundatie van de windturbine ligt in de binnenberm van de primaire waterkering. De onderzijde van de fundatie ligt op ca. NAP +1,00 m. In de bijlage A is schematisch een dwarsdoorsnede van de windturbines weergegeven.

### 2.3.2 Fundering

De windturbines worden gefundeerd op een groot betonnen blok op palen. De palen zullen tot in het Pleistocene zand op circa NAP -25 m geplaatst worden. De paalfunderingen worden zo ontworpen dat deze voldoende sterk en stijf zijn, aan de stijfheidseisen van de turbineleverancier voldoen én de kans op verweking van het dijklichaam in de gebruiksfase tot een minimum beperkt is. Dit zal in een volgende fase middels berekeningen worden aangetoond.

Aangenomen is dat tussen de windmolenfundaties en het Voedingskanaal mogelijk damwanden worden geplaatst. De damwanden zullen tot in het Pleistoceen reiken en worden verankerd. Daarmee wordt de stabiliteit van de bouwlocaties tijdens de uitvoering en daarna gegarandeerd.

### 2.3.3 Kraanopstelplaatsen

Naast iedere windturbine wordt een kraanopstelplaats gerealiseerd. Deze opstelplaatsen worden zo ontworpen dat deze draagkrachtig genoeg zijn voor de op te stellen kranen en dat geen instabiliteit van de binnentoe van de dijk ontstaat. In deze fase is er conservatief van uitgegaan dat tussen de kraanopstelplaats en het voedingskanaal mogelijk een damwand wordt geplaatst.

Ten behoeve van de afstempeling van de kranen worden de opstelplaatsen voorzien van onderheide afstempelpaatsen. De kraanopstelplaats wordt op aangebrachte grond boven op de aanwezige grondslag gerealiseerd waarop uiteindelijk een erosiebestendige asfaltverharding wordt aangebracht. De bovenzijde van de kraanopstelplaats komt daarmee op ca. hetzelfde niveau als het fietspad.

Het exacte ontwerp van de kraanopstelplaatsen met mogelijk als beheersmaatregel een damwand langs de waterlijn vindt in een volgende fase plaats.

### 2.3.4 Overig

De bekleding van de waterkering wordt aangesloten op de funderingen en verhardingen. Zorg gedragen wordt voor goede aansluitingen van de kleibekleding op de verhardingen. Rondom de fundaties worden indien nodig drainagevoorzieningen getroffen waarmee erosie naast de fundaties wordt voorkomen.

## 2.4 Bouwwijze

In deze paragraaf wordt de bouwwijze zoals die nu voorzien is beschreven.

### 2.4.1 Windturbine

De windturbine zal, nadat de fundering gereed is, opgebouwd worden middels een (zware) kraan. Het exacte type hiervan is nog niet bekend. Het transport van de onderdelen van de windturbine (mast, gondel, wieken) en het beton voor de fundatie naar de bouwlocatie geschiedt over de weg. De transportroutes worden in een volgende fase vastgesteld.

## 2.4.2 Fundering

Voor het betonnen funderingsblok van de windturbines dient een beperkte ontgraving plaats te vinden. Dit kan zonder aanvullende maatregelen, met normale grondtaluds. Het is mogelijk dat voor de ontgraving van het funderingsblok van windturbine 4, vanwege de beperkte ruimte, tijdelijk een grondkerend scherm met zeer beperkte afmetingen nodig is. De grondverdringende palen onder het funderingsblok kunnen op meerdere manieren aangebracht worden. In deze rapportage wordt conservatief uitgegaan van heien. Dit is conservatief omdat heien trillingen veroorzaakt in de ondergrond die mogelijk een negatief effect hebben op de stabiliteit van de waterkering.

De mogelijk te plaatsen damwanden met verankering tussen de funderingsblokken en het Voedingskanaal zullen waarschijnlijk ingetrild worden.

## 2.4.3 Kraanopstelplaatsen

De ondergrond ter plaatse van de kraanopstelplaats wordt geëgaliseerd. Daarop wordt ter verbetering van de draagkracht van de ondergrond een ca. 1m dikke fundatielaag aangebracht. De bovenzijde van de opstelplaats komt daarmee min of meer op dezelfde hoogte als het fietspad.

Hiervoor is ter hoogte van het fietspad tijdelijk een beperkte ontgraving nodig welke direct weer wordt aangevuld.

Ten aanzien van de palen voor de afstempeling van de kraan wordt aangenomen dat deze ingeheid worden.

Na afloop van de bouwwerkzaamheden wordt de opstelplaats voorzien van een erosiebestendige asfaltbekleding.

### 3 Invloed windturbines op waterveiligheid

Windturbines op of in de nabijheid van waterkeringen hebben invloed op de faalkans van die waterkeringen. Om die reden is voor de plaatsing van windturbines in de nabijheid van een kering een vergunning van de waterkeringbeheerders vereist. Bij onderhavig windpark BMO zijn dat Waterschap Hollandse Delta en Rijkswaterstaat. De beheerder toetst daarbij of ook na plaatsing van de windturbines de faalkansbijdragen van de verschillende faalmechanismen aan de vergunningsvoorwaarden voldoet.

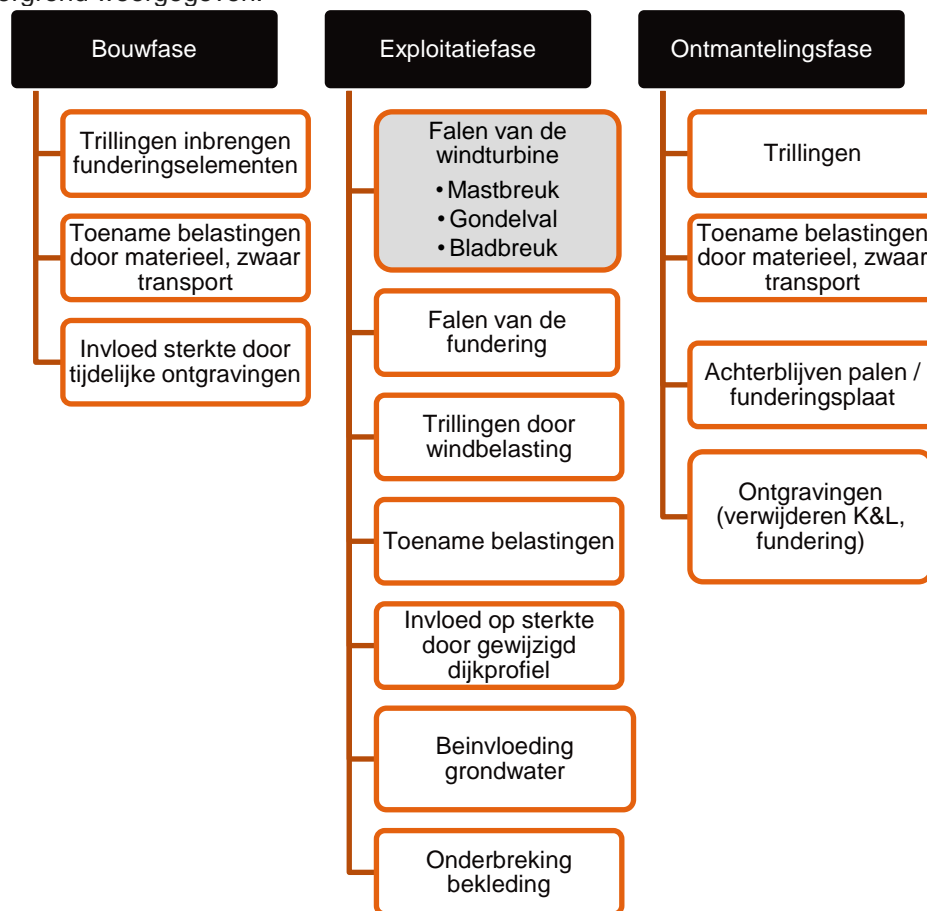
In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de invloed die plaatsing van de windturbines heeft op de faalmechanismen en daarmee op de waterveiligheid. De voorwaarden voor de vergunning zijn opgenomen in hoofdstuk 4.

Voor het beoordelen van de invloed van de windturbines op de waterveiligheid wordt, conform de Handreiking Windturbines en Waterkeringen van STOWA, [8] onderscheid gemaakt tussen de ondergrondse invloed en de bovengrondse calamiteiten.

De ondergrondse invloed heeft betrekking op de extra belasting als gevolg van de windturbine op het dijklichaam. Dit kan in de aanleg-, exploitatie- en in de ontmantelingsfase van de windturbine een rol spelen.

De bovengrondse calamiteiten hebben betrekking op het falen van de windturbine of onderdelen daarvan, zoals mastbreuk of bladworp en de gevolgen die dat kan hebben op de waterveiligheid. Bovengrondse calamiteiten kunnen gedurende de exploitatiefase een rol spelen.

In Figuur 7 zijn de ondergrondse invloeden met witte achtergrond weergegeven, de bovengrondse invloeden zijn met oranje achtergrond weergegeven.



Figuur 7 Mogelijke effecten van windturbines gedurende de verschillende fases. Elementen met witte achtergrond betreffen de ondergrondse effecten en het element met de grijze achtergrond betreft de bovengrondse effecten.

De effecten in Figuur 7 zijn in algemene termen beschreven om zoveel mogelijk in lijn te zijn met de voorschriften voor rapporteren van effecten van windturbines op waterkeringen [8]. In de volgende paragrafen worden deze effecten nader omschreven.

## 3.1 Ondergrondse effecten

De ondergrondse effecten zijn mechanismen in de waterkeringen die optreden als gevolg van een toename van de belastingen op de kering, door afname van sterkte van de kering of door trillingen van de windturbines. Voor de ondergrondse invloed wordt de faalkans van de doorsnede van de waterkering ter plaatse van de windturbine beoordeeld. De faalkansen van de ondergrondse invloeden van het windpark worden via gangbare methoden uit het WBI2017 en OI2014v4 bepaald.

### Bouwfase

Als gevolg van de bouwwijze zijn de volgende ondergrondse effecten te verwachten:

- *Trillingen inbrengen funderingselementen:* Gedurende de bouwfase treden er tijdelijk trillingen op als gevolg van het heien van de palen en damwanden die benodigd zijn voor de fundering van de windturbines en voor de kraanopstelplaatsen. De trillingen veroorzaken mogelijk verweking en kunnen invloed hebben op de binnenwaartse macrostabiliteit.
- *Toename belastingen door materieel:* Voor het bouwen van de windmolens is zwaar materieel benodigd. Een zware kraan en alle onderdelen van de windturbines worden over de waterkering naar de kraanopstelplaats gereden. De kraan komt dan op een kraanopstelplaats te staan. Materieel en onderdelen van de windturbine zullen daarna ook tijdelijk een plek krijgen op de waterkering. Deze hogere belastingen hebben invloed op de binnenwaartse macrostabiliteit.
- *Invloed op sterkte door tijdelijke ontgravingen.* Voor de funderingen, kraanopstelplaatsen en de stroomkabels is het noodzakelijk om een gedeelte van het grondlichaam tijdelijk te ontgraven. Deze ontgravingen hebben tijdelijk invloed op de binnenwaartse macrostabiliteit.

In paragraaf 5.1.1 wordt beoordeeld of deze effecten significant zijn.

### Exploitatiefase

Voor de exploitatiefase zijn de volgende ondergrondse effecten mogelijk:

- *Falen van de fundering:* Hierbij wordt gedacht aan kantelen of verschuiven van de funderingsplaat en beweging van de funderingspalen.
- *Trillingen door windbelasting:* Trillingen als gevolg van de windbelasting kunnen op twee wijzen invloed hebben op de sterkte van de waterkering. Ten eerste kunnen trillingen leiden tot verweking van de ondergrond. Ten tweede kunnen de trillingen een glijvlak veroorzaken doordat ze 'meeduwen' met het aandrijvend moment. In beide gevallen kan dit leiden tot een afname van de binnenwaartse macrostabiliteit.
- *Toename belastingen:* Voor onderhoud is een zware kraan nodig die getransporteerd dient te worden naar de kraanopstelplaats. Door de zware belasting van de kraan is een tijdelijke afname van de binnenwaartse macrostabiliteit te verwachten.
- *Invloed op sterkte door gewijzigd dijkprofiel:* Een invloed op de macrostabiliteit is te verwachten als het profiel van de waterkering onder invloed van de windturbines en opstelplaatsen aangetast is ten opzichte van de huidige situatie.
- *Beïnvloeding grondwater door funderingselementen:* De funderingselementen van de windturbines en kraanopstelplaatsen kunnen ervoor zorgen dat er tijdens hoogwater onder- en achterloopsheid (STPH) ontstaat. De mogelijk te plaatsen damwanden zorgen mogelijk voor een verhoogde waterstand (met een afname van de binnenwaartse macrostabiliteit als gevolg) doordat het water niet vrijelijk afvloeit.
- *Onderbreken bekleding:* Ter plekke van de windturbines is de dijkbekleding logischerwijs onderbroken. Tijdens hoogwater en overslag kan dit een zwakkere plek zijn. Daarnaast vangen windturbines veel regen waardoor water langs de mast omlaag komt. Indien geen passende maatregelen genomen worden, kan dit leiden tot erosie en zorgen voor een verhoging van de faalkans.

In paragraaf 5.1.2 wordt beoordeeld of deze effecten significant zijn.

### **Ontmantelingsfase**

Aan het eind van de levensduur van de windturbines, worden de turbines en de fundaties (tot 2 meter onder grondslag) verwijderd. De palen blijven aanwezig en worden op ca. 2 meter onder aanwezige grondslag afgetopt. De te verwachten effecten tijdens de ontmantelingsfase zijn (zie STOWA [8]):

- *Trillingen*: Bij het verwijderen van funderingselementen kunnen trillingen ontstaan.
- *Toename belastingen*: Voor het verwijderen van de windturbines is zwaar materieel inclusief een kraan nodig.
- *Achterblijven palen/funderingsplaat*: In sommige gevallen kan besloten worden dat een funderingsplaat en palen achterblijven.
- *Ontgravingen*: Voor het verwijderen van K&L, funderingen en overige elementen zijn soms tijdelijke ontgravingen nodig die de stabiliteit van de kering kunnen verminderen.

## **3.2 Bovengrondse effecten**

De bovengrondse effecten zijn gebeurtenissen (calamiteiten) die schade aan de waterkering veroorzaken door het bezwijken van (een onderdeel van) een windturbine. Daarbij worden, conform het HRW [9], de gebeurtenissen mastbreuk, gondelval en bladworp beschouwd.

De kans dat de dijk faalt als gevolg van de impact van een windturbineonderdeel wordt bepaald door de volgende kansen:

- De trefkans; dit is de kans dat een onderdeel in een bepaalde zone van de dijk inslaat.
- De kans op hoogwater.
- De faalkans van het restprofiel; dit is de kans op het falen van het restprofiel van de dijk na inslag, dus met impact krater of extra bovenbelasting.

De waterkering bezwijkt als gevolg van een bovengrondse calamiteit indien:

- de waterkering getroffen wordt en gelijktijdig stormcondities optreden die zwaarder zijn dan de beschadigde waterkering nog veilig kan keren (stormafhankelijk falen).
- de waterkering getroffen wordt en binnen de hersteltijd stormcondities optreden die zwaarder zijn dan de beschadigde waterkering nog veilig kan keren (stormonafhankelijk falen).

Voor het bepalen van de faalkansbijdrage van deze bovengrondse calamiteiten is de dijk opgedeeld in zones, waarbij onderscheid is gemaakt tussen het binnentalud, de kruin, de golfoploopzone en de golfklapzone. Voor elke zone is het relevante faalmechanisme beschouwd.

Per zone is vervolgens de trefkans als gevolg van een bovengrondse calamiteit van de windturbine bepaald én de schade aan de dijk per calamiteit. Met het oog daarop zijn voor bladworp en mastbreuk de kraterafmetingen vastgesteld en is, indien relevant, gekeken naar de invloed van het extra gewicht. Ten slotte is per faalscenario de faalkans bepaald van de beschadigde dijk (restprofiel).

Voor de beoordeling of de totale faalkansbijdrage van de bovengrondse calamiteiten toelaatbaar is, zijn de faalkansen van de verschillende faalmechanismen gesommeerd. Dit is een conservatief uitgangspunt.

## 4 Beoordelingskader

Het Waterschap Hollandse Delta heeft sinds augustus 2018 een beleidsregel aangaande windturbines op of nabij primaire waterkeringen [10]. Het beleid ten aanzien van het plaatsen van windturbines op of nabij de primaire waterkering (binnen een afstand van 250m van de kernzone van een primaire kering) is daarbij veranderd van 'nee, tenzij', naar 'ja, mits'. Deze beleidswijziging is ingegeven door de maatschappelijke vraag naar schone energie.

Op basis van de eisen die gesteld zijn door Waterschap Hollandse Delta is een beoordelingskader geformuleerd. De achtergronden van de eisen volgen uit het Kennisdocument Windturbines op Waterkeringen [11]. Er zijn een tweetal voorwaarden ten aanzien van waterveiligheid waar een vergunningsaanvraag op wordt beoordeeld:

1. Waterveiligheidsnormen: Gedurende de bouw-, exploitatie- en amoveringsfase van de windturbines dienen de waterkeringen aan de bijbehorende normen te voldoen [11] [10]. Dit dient beoordeeld te worden volgens methoden die aansluiten op de wettelijke beoordelings- en ontwerpinstrumentaria WBI2017 [12] en de OI2014 [13] of voor regionale keringen aan de Leidraad Toetsen Veiligheid Regionale Waterkeringen [14].
2. De toekomstbestendigheid: er dient een aantoonbaar veilig profiel (Profiel van Vrije Ruimte) over te blijven welke toekomstige dijkversterkingen mogelijk maakt. Dit betreft de kering waarop de windmolens geplaatst worden.

Deze werkwijze sluit aan bij het door KPR opgestelde factsheet over de beoordeling van windturbines op of nabij primaire waterkeringen [15]. In onderstaande paragrafen worden deze voorwaarden verder toegelicht.

### 4.1 Waterveiligheidsnorm

De windturbines worden geplaatst in normtraject 20-3. Via verschillende mechanismen hebben ze mogelijk effect op de overstromingskans van normtraject 20-3, normtraject 20-9 en de regionale waterkering (in dat geval een overschrijdingskans).

Voor de verschillende waterkeringen zijn veiligheidsnormen vastgesteld. In onderstaande tabel zijn de eisen per kering weergegeven.

Voor primaire keringen geldt dat de overstromingskans eisen is vastgelegd in bijlage II en III van de WaterWet.

Voor regionale keringen geldt dat de overschrijdingskans eisen is vastgesteld door het bevoegd gezag, in dit geval de Provincie Zuid-Holland. Om te beoordelen of de windturbines invloed hebben op de waterveiligheid, is de overschrijdingskans eisen omgerekend naar een overstromingskans eisen middels een gangbare factor van 5.

Tabel 1 Eisen aan waterkeringen

Kering	Overstromingskans eisen (ondergrens) [ 1/jaar ]	Overstromingskans eisen (signaleringswaarde) [ 1/jaar ]	Overschrijdingskans eisen (ondergrens) [1/jaar]
Normtraject 20-3	1,0E-05	3,3E-05	-
Normtraject 20-9*	3,3E-05	1,0E-06	-
Regionale kering	5,0E-02 en 5,0E-01	-	1,0E-02 en 1,0E-01

\*Naast de overstromingskans eisen is voor de Hartelkering in normtraject 20-9 een aanvullende eis gesteld voor kans op niet-sluiten van 1/10 (per jaar)

#### Primaire keringen

Voor de primaire waterkeringen geldt dat de overstromingskans bepaald wordt door de gecombineerde faalkansen van de faalmechanismen. Conform het beleid van Waterschap Hollandse Delta dient de invloed van een windturbine op de faalkans van een faalmechanisme verwaarloosbaar klein te zijn. Dat wil zeggen: kleiner dan 1% van de faalkans eisen voor het desbetreffende faalmechanisme bij de signaleringswaarde [10]. Om een faalmechanisme te beoordelen, wordt de faalkansruimte vertaald naar een faalkans eisen op doorsnedeniveau. Door de invloed van windturbines op doorsnedeniveau te bepalen kan beoordeeld worden of aan de faalkans eisen wordt voldaan.

### Beoordelingseis 1: waterveiligheid voldoet aan de norm

*Normtraject 20-3:* Er zijn onder- en bovengrondse effecten te verwachten gedurende de bouw-, exploitatie- en ontmantelingsfase. Concreet vraagt de beheerder, het Waterschap Hollandse Delta, aan de initiatiefnemer om de faalkans te berekenen van de waterkering met en zonder windturbine(s). De bijdrage van de windturbines mag niet leiden tot een hogere faalkans gedurende de bouw-, exploitatie- en ontmantelingsfase. Voor bovengrondse effecten geldt dat de faalkansbijdragen van de bovengrondse calamiteiten niet hoger mogen zijn dan 1% van de doorsnede-eis bij de signaleringsnorm. Voor ondergrondse invloeden geldt dat de doorsnede inclusief windturbine aan de doorsnede-eisen bij de signaleringsnorm dient te voldoen.

*Normtraject 20-9:* Er zijn bovengrondse effecten op de Hartelkering te verwachten gedurende de exploitatiefase. Voor de Hartelkering (in beheer bij Rijkswaterstaat) geldt een *niet-beschikbaarheid eis*.

*Regionale kering:* Er zijn bovengrondse effecten te verwachten gedurende de exploitatiefase. Voor de regionale kering (met functie regionale kering en compartimenteringskering) is in overleg met Waterschap Hollandse Delta eenzelfde benadering aangehouden als voor de primaire keringen. Voor de functie als regionale kering geldt dat, om te toetsen of de trefkansen minder zijn dan 1% bijdragen aan de faalkans, het van belang is dat de vereiste overschrijdingskansen omgerekend worden naar faalkansen. Voor de compartimenteringsfunctie worden middels faalpaden de bestaande faalkansen vastgesteld. Ook hier mogen de trefkansen niet meer dan 1% bijdragen aan de faalkans van de compartimenteringsfunctie.

De faalkanseisen bij de signaleringswaarde op doorsnede-niveau worden gepresenteerd in Tabel 2. Voor de vertaalslag van faalkans naar faalkans op doorsnede-niveau wordt verwezen naar de onderliggende rapportage voor de primaire kering 20-3 [1].

Tabel 2 Faalmechanismen en doorsnede-eisen normtraject 20-3 (signaleringswaarde norm: 1:30.000)

Faalmechanisme	Faalkansruimte	Faalkanseis trajectniveau [1/jaar]	Ondergrondse invloeden Faalkanseis Doorsnede [1/jaar]	Bovengrondse invloeden Maximale toename Faalkans Doorsnede [1/jaar]
Hoogte kunstwerk (HTKW) of Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB)	24%	8,0E-06	4,00E-06	4,00E-08
Piping (STPH)	24%	8,0E-06	2,7E-07	2,7E-09
Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI)	4%	1,3E-06	8,6E-08	8,6E-10
Bekleding buitentalud	10%	3,3E-06	1,7E-06	1,7E-08
Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk (BSKW)	4%	-		
Piping bij kunstwerk	2%	-		
Sterkte en stabiliteit kunstwerk (STKWp)	2%	-		
Overige beoordelingssporen	30%	-		

Voor normtraject 20-9, waarvan het relevante deel de Hartelkering is, heeft de beheerder Rijkswaterstaat een niet-beschikbaarheidseis opgegeven. Rijkswaterstaat heeft ook aangegeven op welke onderdelen van de Hartelkering deze eis betrekking heeft. De maximale toename van de niet-beschikbaarheid is in onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 3 Faalkanseisen voor normtraject 20-9

Faalmechanisme	Maximale toename Niet-beschikbaarheid
Niet beschikbaar zijn	1,0E-06



## Regionale keringen

Voor de regionale waterkering geldt een overschrijdingskansnorm. Dit betekent dat een waterstand met een bepaalde kans van voorkomen (bijv. 1/100) veilig gekeerd dient te kunnen worden. Op basis van gangbare uitgangspunten is deze overschrijdingskansnorm vertaald naar een overstromingskansnorm (factor 5) en vervolgens met een gangbare verdeling van de faalkans over de mechanismen naar eisen op mechanismeniveau. Dit is weer vertaald naar doorsnede eisen. In onderstaande tabel zijn de eisen weergegeven voor de rivier kerende functie van de regionale kering.

Tabel 4 Faalmechanismen en doorsnede-eisen regionale waterkering

Faalmechanisme	Mechanisme eis [1/jaar]	Faalkans doorsnede [1/jaar]	Maximale toename Faalkans Doorsnede [1/jaar]
Overloop en golfoverslag (GEKB)	2,0E-04	2,0E-04	2,0E-06
Opbarsten en piping (STPH)	2,0E-04	1,4E-05	1,4E-07
Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI)	1,6E-03	4,0E-04	4,0E-06
Beschadiging bekleding (GEBU)	1,0E-04	1,0E-04	1,0E-06

In onderstaande tabel is de eis voor de compartimenteringsfunctie van de regionale kering weergegeven.

Tabel 5 De faalkanseisen voor de compartimenteringskering

Faalmechanisme	Faalkansruimte	Faalkans [1/jaar]	1% Faalkans [1/jaar]
Alle faalmechanismen	100%	1,0E-5	1,0E-7

## 4.2 Toekomstbestendigheid

De windturbines (inclusief fundering en kraanopstelplaatsen) hebben invloed op het profiel van de waterkering langs het Hartelkanaal. Om ook in de toekomst de veiligheid van het achterland te kunnen waarborgen, stelt het waterschap als voorwaarde dat de veiligheid van het achterland tegen overstromen voor de komende periode van 100 jaar dient te worden geborgd. Dat wil zeggen: de windturbines mogen een mogelijke toekomstige dijkversterking niet belemmeren. In beginsel is dit ook geen probleem aangezien de levensduur van de windturbines ca 30 jaar bedraagt en het uitgangspunt wordt gehanteerd dat de windturbines inclusief fundaties na afloop van deze periode worden verwijderd. Desondanks is ook bij dit project deze periode van 100 jaar aangehouden.

Met het oog daarop is het profiel van de Brielse Maasdijk vastgesteld dat over 100 jaar (2125) zorgdraagt voor de veiligheid tegen overstromen. Vervolgens is de fundatie van windturbines buiten dit zogenaamde Profiel van Vrije Ruimte gesitueerd.

Omdat de windturbines geen invloed hebben op het profiel van de overige keringen is deze eis alleen van toepassing op normtraject 20-3.

### Beoordelingseis 2

*Er dient uitgegaan te worden van een mogelijke dijkversterking in 2075 voor zichtjaar 2125 met bijbehorende (hydraulische) randvoorwaarden. De plaatsing van de funderingsblokken van de windturbines moeten buiten het dan benodigde profiel (het Profiel Van Vrije Ruimte) gesitueerd zijn.*

## 5 Beoordelingseis 1: waterveiligheidsnorm

In onderstaande paragrafen worden per waterkering de relevante fasen beschouwd. Er wordt voor elk effect van de windturbine direct beoordeeld of deze aan de gestelde eisen voldoet middels een eenvoudige tabel:

Faalmechanisme	Rapportage	Par.	Veiligheidsfactor	Vereiste factor	Faalkans	Faalkanseis
A – B	C	D	E	F	G	H

In deze tabellen wordt het volgende beschreven:

- A. Het faalmechanisme waar het beschreven effect van de windturbine betrekking op heeft
- B. De fase waar het om gaat
- C. In welke onderliggende rapportage het effect beschreven is
- D. In welke paragraaf van de onderliggende rapportage het effect beschreven is
- E. In het geval van stabiliteitsberekeningen wat de gevonden afschuifveiligheid is
- F. In het geval van stabiliteitsberekeningen wat de vereiste afschuifveiligheid is
- G. De berekende faalkans of toename van de faalkans, weergegeven in **groen** als deze voldoet aan de faalkanseis.
- H. De vereiste maximale faalkans of maximale toename van de faalkans

Indien er zeer kleine waardes of zeer grote waardes verwacht worden die geen verdere specificatie behoeven, dan worden respectievelijk << en >> gebruikt.

### 5.1 Normtraject 20-3

#### 5.1.1 Bouwfase

In de bouwfase spelen alleen ondergrondse effecten een rol. De beschreven bouwwijzen kunnen naar verwachting in een latere fase, als het ontwerp en de aannemer bekend zijn, nog sterk geoptimaliseerd worden, waardoor er minder effecten te verwachten zijn. Zodra een en ander in de volgende fase (meer) bekend is zal dit met de vergunningverlener worden afgestemd.

##### *Trillingen inbrengen funderingselementen*

Trillingen in de bouwfase kunnen in beginsel leiden tot verweking. Verweking van de ondergrond als gevolg van trillingen door heien is gemodelleerd middels een stabiliteitsberekening (zie [3]). De gevonden faalkans is véél lager dan de faalkanseis, er wordt dus aan de gestelde norm voldaan.

Faalmechanisme	Rapportage	Par.	Veiligheidsfactor	Vereiste factor	Faalkans	Faalkanseis
STBI – Bouw	[3]	3.1.1	1,80	1,27	4,0E-18	8,6E-08

Wel kunnen er in theorie oppervlakkige glijcirkels optreden die weliswaar geen invloed hebben op de waterveiligheid maar mogelijk wel het werk belemmeren. Om eventualiteiten uit te sluiten, worden er tijdens de bouw zekerheidshalve wellicht damwanden ter hoogte van het funderingsblok geplaatst ( zie ook [3])

##### *Toename belastingen door zwaar verkeer of stalling materieel*

De aanvoer van de windturbine-elementen en het bouw materieel gaat gepaard met zwaar transport. Uitgaande van een zwaar transport met een aslast van maximaal <12 ton is voor een maatgevende doorsnede (ter plaatse van WT4) vastgesteld dat de gevonden afschuifveiligheid van 1,31 voldoet aan de norm. Op basis daarvan is het beeld dat het transport over de gehele dijk mogelijk is.

Faalmechanisme	Rapportage	Par.	Veiligheidsfactor	Vereiste factor	Faalkans	Faalkanseis
STBI – Bouw	[1]	6.1	1,31	1,27	1,8E-08	8,6E-08

De belasting van de kraan voor het opbouwen van de windturbine wordt via de stempelplaatsen (met palen) doorgegeven aan de pleistocene ondergrond en heeft daarmee geen invloed op de waterveiligheid. De stalling van materieel dient in een volgende fase, als meer bekend is over de windturbine en de bouwwijze, uitgewerkt te worden en met de vergunningverlener te worden afgestemd.

*Invloed op sterkte door tijdelijke ontgravingen.*

De ontgravingen voor de fundaties en de opstelplaatsen zorgen voor een tijdelijke afname van de binnenwaartse macrostabiliteit van de waterkering. Aangezien de ontgraving buiten het profiel van vrije ruimte blijft, mag aangenomen worden dat voor grote schuifvlakken de invloed van de ontgraving voldoende klein is [1]. Omdat de freatische lijn zeer waarschijnlijk onder de benodigde ontgravingsdiepte ligt, is er waarschijnlijk geen dan wel zeer beperkt bemaling nodig [1]. Dit zal in een volgende ontwerpstep verder uitgewerkt moeten worden, maar dit heeft geen invloed op de waterveiligheid.

## 5.1.2 Exploitatiefase

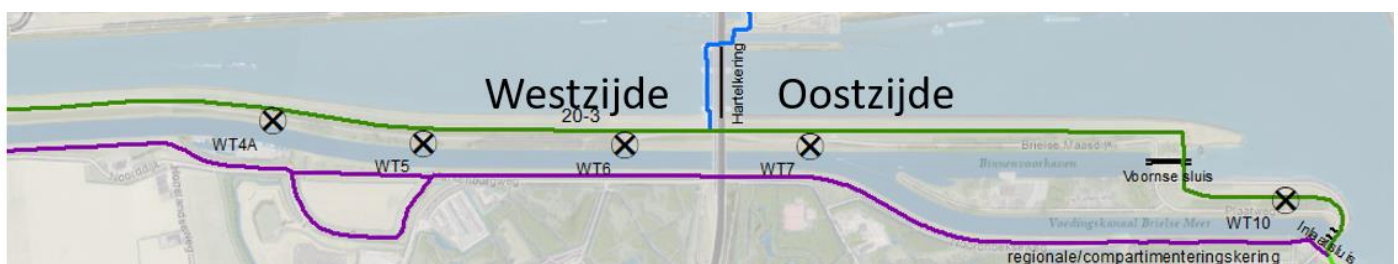
De exploitatiefase kent boven- en ondergrondse effecten van de windturbines. Hieronder worden eerst de bovengrondse effecten beoordeeld, daarna volgen de ondergrondse effecten.

### 5.1.2.1 Bovengrondse effecten: mastbreuk, gondelval, bladbreuk

Er is gekeken welk bovengronds effect een calamiteit van de windturbine heeft. Risico's die kunnen optreden:

- de kleding buitenwaarts kan beschadigen (GEBU);
- de hoogte van de kruin of het kunstwerk kan negatief beïnvloed worden (GEKB/HTKW);
- het profiel van de dijk kan dusdanig wijzigen dat dit negatieve invloed heeft op de binnenwaartse macrostabiliteit (STBI) of op piping en heave (STPH) en op overige indirecte faalmechanismen zoals buitenwaartse stabiliteit (STBU) en microstabiliteit (STMI);
- door een schokgolf kan de aanwezige wadzandlaag verweken (STVL).

In Tabel 6 zijn de bovengrondse effecten en bijbehorende toenames van de faalkans als gevolg van de windturbines beschreven. De invloed van windturbines WT4, 5, 6 en 7 zijn beschreven in de onderliggende rapportage over de primaire kering [1]. De primaire kering is opgedeeld in het deel ten westen en het deel ten oosten van de Hartelkering, zie ook Figuur 8.



Figuur 8 West- en Oostzijde ten opzichte van de Hartelkering van de Brielse Maasdijk

De invloed van windturbine WT10 is beschreven in een aparte onderliggende rapportage [2] en is van toepassing op de volgende delen van de primaire kering:

- Overgang inlaatsluis – Oude Maasdijk
- Oude Maasdijk
- Inlaatsluis, en
- Voornse Sluis.

Tabel 6 Het bovengrondse effect van falen van de windturbine en toename van de faalkans per faalmechanisme voor normtraject 20-3.

Faalmechanisme	Rapportage	Par.	Locatie	Stormafhankelijk	Toename Faalkans Doorsnede [1/jaar]	Maximale toename Faalkans Doorsnede [1/jaar]
GEBU – exploitatie	[1]	4.2.1	Westzijde Hartelkering	Ja	6,0E-11	3,3E-08
GEBU – exploitatie	[1]	4.2.2	Westzijde Hartelkering	Nee	7,2E-10	3,3E-08
GEBU – exploitatie	[1]	4.3.1	Oostzijde Hartelkering	Ja	3,3E-10	3,3E-08
GEBU – exploitatie	[1]	4.3.2	Oostzijde Hartelkering	Nee	1,8E-09	3,3E-08
GEBU – exploitatie	[2]	7.2.1	Overgang inlaatsluis - Oude Maasdijk	-	3,8E-10	3,3E-08
GEBU – exploitatie	[2]	7.3.1	Oude Maasdijk	-	3,8E-09	3,3E-08
GEKB – exploitatie	[1]	4.4.1	Westzijde Hartelkering	Ja	2,0E-10	4,0E-08
GEKB – exploitatie	[1]	4.4.2	Westzijde Hartelkering	Nee	3,0E-09	4,0E-08
GEKB – exploitatie	[1]	4.5.1	Oostzijde Hartelkering	Ja	2,0E-08	4,0E-08
GEKB – exploitatie	[1]	4.5.2	Oostzijde Hartelkering	Nee	1,0E-08	4,0E-08
GEKB – exploitatie	[2]	7.2.2	Overgang inlaatsluis - Oude Maasdijk	-	4,5E-10	4,0E-08
GEKB – exploitatie	[2]	7.3.2	Oude Maasdijk	-	3,0E-10	4,0E-08
HTKW - exploitatie	[2]	5.2	Inlaatsluis		1,4E-08	4,0E-08
HTKW - exploitatie	[2]	6.2	Voornse Sluis		<<	4,0E-08
STBI – exploitatie	[1]	4.6.1		Ja	8,0E-10	8,6E-10
STBI – exploitatie	[1]	4.6.2		Nee	1,0E-10	8,6E-10
STBI – exploitatie	[2]	7.2.3	Overgang inlaatsluis - Oude Maasdijk	-	<<	8,6E-10
STBI – exploitatie	[2]	7.3.3	Oude Maasdijk	-	<<	8,6E-10
STPH – exploitatie	[1]	4.7.1		Ja	<<	2,7E-09
STPH - exploitatie	[1]	4.7.1		Nee	<<	2,7E-09
STPH – exploitatie	[2]	7.2.3	Overgang inlaatsluis - Oude Maasdijk	-	<<	2,7E-09
STPH – exploitatie	[2]	7.3.3	Oude Maasdijk	-	<<	2,7E-09
STBU - exploitatie	[1]	4.8		Ja	1,9E-09	8,6E-09
STBU – exploitatie	[1]	4.8		Nee	3,5E-10	8,6E-09
STMI – exploitatie	[1]	4.9		Ja	<<	n.v.t.
STMI – exploitatie	[1]	4.9		Nee	<<	n.v.t.
STMI – exploitatie	[2]	7.2.3	Overgang inlaatsluis - Oude Maasdijk	-	<<	n.v.t.
STMI – exploitatie	[2]	7.3.3	Oude Maasdijk	-	<<	n.v.t.
STVL – exploitatie	[1]	4.10.1	Buitentalud	-	4,7E-09	8,6E-09
STVL – exploitatie	[1]	4.10.2	Binnentalud	-	1,7E-10	8,6E-10
STVL – exploitatie	[2]	7.2.3	Overgang inlaatsluis - Oude Maasdijk	-	<<	8,6E-09
STVL – exploitatie	[2]	7.3.3	Oude Maasdijk	-	<<	8,6E-09
BSKW - exploitatie	[2]	5.3	Inlaatsluis		2,1E-09	4,4E-09

Uit de resultaten blijkt dat aan de gestelde eisen wordt voldaan. Ofwel: de extra bijdrage aan de faalkans als gevolg van de bovengrondse effecten van de windturbines is in alle gevallen kleiner dan de maximaal toegestane toename van de faalkans.

## 5.1.2.2 Ondergrondse effecten

### Falen van de fundering

Gezien de sterkte en stijfheid van het funderingsblok in combinatie met de palen tot in het pleistoceen is de kans op falen van de fundering door kantelen of horizontaal schuiven van het funderingsblok of door beweging van de palen nihil.

Faalmechanisme	Rapportage	Par.	Veiligheidsfactor	Vereiste factor	Faalkans	Faalkanseis
STBI – Exploitatie – fundering	-	-	>>	1,27	<<	8,6E-08

### Trillingen door windbelasting

Trillingen als gevolg van de windbelasting kunnen op twee wijzen invloed hebben op de sterkte van de waterkering. Ten eerste kunnen trillingen leiden tot verweking van de ondergrond (zie ook “Trillingen inbrengen funderingselementen – bouwfase” in paragraaf 5.1.1).

Ten tweede kunnen de trillingen een glijvlak creëren doordat ze ‘meeduwen’ met het aandrijvend moment.

De trillingen worden via de heipalen doorgegeven aan de ondergrond en kunnen in beginsel *verweking* veroorzaken. Deze trillingen zijn vele malen kleiner dan de trillingen die door het heien van fundatiepalen in de bouwfase veroorzaakt worden. Ze treden echter wel via alle palen op. Indien in de bouwfase geheid wordt, is de ondergrond niet meer gevoelig voor verweking door trillingen. Wordt er niet geheid in de bouwfase, dan kan mogelijk zeer lokale verweking optreden waarbij kleine glijcirkels ontstaan. Vastgesteld is echter dat deze geen significante invloed hebben op de waterveiligheid [3].

Om te kijken wat het trillen doet met *het aandrijvend moment* is beschouwd of de trillingen van de palen kunnen leiden tot een versnelling van de gehele grondmoot. Het is niet waarschijnlijk dat de palen in fase trillen, en deze trillingen worden in kleine schokgolfjes aan de grond doorgegeven. De faalkans als gevolg hiervan wordt dan ook nihil geacht [3].

Faalmechanisme	Rapportage	Par.	Veiligheidsfactor	Vereiste factor	Faalkans	Faalkanseis
STBI – Exploitatie – verweking	[3]	3.2	>>	1,27	<<	8,6E-08
STBI – Exploitatie – trilling als aandrijvend moment	[3]	3.2	>>	1,27	<<	8,6E-08

### Toename belastingen

Net als in de bouwfase zal er in de exploitatiefase een toename zijn van de belastingen (transport) als gevolg van het gebruik van kranen en materieel voor onderhoud. Dezelfde veiligheid is hier van toepassing als het transport tijdens de bouw omdat verwacht wordt dat eenzelfde type kraan of lichter nodig zal zijn.

Bij de beschouwing is nu uitgegaan van een aslast van maximaal 12 ton, deze aslast kan dus niet (zomaar) worden overschreden.

Voor het onderhoud aan de windturbines maken de kranen gebruik van de opstelplaatsen. Net als beschreven in paragraaf 5.1.1 worden de belastingen van de kraan via stempelplekken doorgegeven aan de diepere ondergrond. Dit resulteert niet in een toename van de faalkans.

De windturbines zelf leiden niet tot een verhoging van de belastingen op het dijklichaam. Het gewicht wordt via de fundering overgedragen op de ondergrond. Dit resulteert niet in een toename van de faalkans [1].

Faalmechanisme	Rapportage	Par.	Veiligheidsfactor	Vereiste factor	Faalkans	Faalkanseis
STBI – Exploitatie – toename belasting door onderhoudstransport	[1]	6.1	1,31	1,27	1,8E-08	8,6E-08
STBI – Exploitatie – toename belasting beheer en onderhoud	[1]	6.1	>>	1,27	<<	8,6E-08

STBI – Exploitatie – toename belasting gewicht windturbine en fundering	[1]	6.1	>>	1,27	<<	8,6E-08
---	-----	-----	----	------	----	---------

#### *Inloed op sterkte door gewijzigd dijkprofiel*

Er is geen aanleiding om een afname van de sterkte te veronderstellen als gevolg van de windturbines. Er worden geen permanente significante wijzingen van het dijkprofiel voorgesteld die zouden kunnen resulteren in een afname van de stabiliteit [1]. Ter plaatse van de kraanopstelplaatsen komt juist een verhoging van binnenwaartse berm welke resulteert in een verhoogde afschuifveiligheid.

<b>Faalmechanisme</b>	<b>Rapportage</b>	<b>Par.</b>	<b>Veiligheidsfactor</b>	<b>Vereiste factor</b>	<b>Faalkans</b>	<b>Faalkanseis</b>
STBI – Exploitatie – afname sterkte door ontgraving	[1]	6.1	>>	1,27	<<	8,6E-08

#### *Beïnvloeding grondwater door fundering of damwanden*

De funderingselementen beïnvloeden de grondwaterstanden zeer waarschijnlijk niet danwel in zeer beperkte mate. Het funderingsblok en de kraanopstelplaats worden geplaatst in mogelijk zandig dijksmateriaal. Alleen in de situatie dat water tijdens hoogwater snel genoeg de dijk kan verzadigen, is er kans op onder- en achterloopsheid met een uittredepunt op de dijk. In een volgende fase volgt het ontwerp van het funderingsblok en de kraanopstelplaats en dan is het opportuun in te zoomen op de noodzaak van eventuele kwelschermen. Dit reduceert de faalkans tot nagenoeg 0 [1].

De mogelijke damwand langs de kraanopstelplaats en het funderingsblok veroorzaakt tegelijkertijd een extra weerstand tegen een uittredepunt in het Voedingskanaal en mogelijk ook een hogere grondwaterstand aan de binnenzijde.

Om dit te voorkomen, wordt het gebruik van een damwand met tussenopeningen, een geperforeerde damwand of een drainagevoorziening [1] geadviseerd.

<b>Faalmechanisme</b>	<b>Rapportage</b>	<b>Par.</b>	<b>Veiligheidsfactor</b>	<b>Vereiste factor</b>	<b>Faalkans</b>	<b>Faalkanseis</b>
STPH – Exploitatie – Onder en achterloopsheid bij fundering	[1]	5.3.1	>>	-	<<	2,7E-07
STBI – Exploitatie – hogere freatische lijn door damwanden	[1]	5.3.2	>>	1,27	<<	8,6E-08

#### *Onderbreking bekleding*

De bekleding van de waterkering wordt aangesloten op de funderingen en verhardingen. Zorg gedragen wordt voor goede aansluitingen van de kleibekleding op de verhardingen.. Rondom de fundaties worden indien nodig de benodigde drainagevoorzieningen getroffen waarmee erosie naast de fundaties, als gevolg van overslaand water of door het vele regenwater langs de mast, wordt voorkomen.

### **5.1.3 Ontmantelingsfase**

Insteek is dat aan het eind van de levensduur van de windturbine, het funderingsblok (tot 2 meter onder aanwezige grondslag) wordt verwijderd en de palen worden afgetopt op 2 meter onder de aanwezige grondslag. Dit zal niet tot maatgevende situaties leiden: het is te verwachten dat optredende belastingen lager zijn dan in de bouw en exploitatiefase.

Voor de ontmantelingsfase wordt te zijner tijd een aparte vergunning aangevraagd waarin de initiatiefnemer ingaat op de te verwachten trillingen, belastingen, ontgravingen en het achterblijven van bepaalde elementen.

## 5.1.4 Samenvatting resultaten

Fase	Effect	Voldoet	Aanvullende maatregelen
Bouw	Trillingen inbrengen elementen	Ja	Nee
	Toename belastingen	Ja	Volgende fase detaillering kraanbelasting, stalling materieel
	Afname sterkte	Ja	Volgende fase detaillering damwand, bouwkuip funderingsplaat. Ontgraving kraanopstelplaats zo snel mogelijk aanvullen.
Exploitatie	Falen van de windturbine	Ja	Nee
	Falen van de fundering	Ja	Verder detaillering van de fundering op basis van te kiezen windturbine
	Trillingen door windbelasting	Ja	Nee
	Toename belastingen	Ja	Nee
	Afname sterkte	Ja	Nee
	Beïnvloeding grondwater door fundering	Ja	Mogelijk kwelschermen en waterdoorlatende damwanden in volgende fase detailleren
	Onderbreken bekleding	Ja	Nee
Ontmanteling	Trillingen	Ntb	Nadere uitwerking in volgende fase
	Toename belastingen	Ntb	Nadere uitwerking in volgende fase
	Afname sterkte	Ntb	Nadere uitwerking in volgende fase
	Achterblijven elementen	Ntb	Nadere uitwerking in volgende fase

## 5.2 Normtraject 20-9 (Hartelkering)

Voor normtraject 20-9 (dat wil zeggen de Hartelkering) worden alleen bovengrondse effecten verwacht. Het heeft geen nut onderscheid te maken in fasen. De bovengrondse effecten op de faalkans gelden gedurende de exploitatiefase, maar tijdens de opbouw en ontmanteling zou er in theorie vergelijkbare bovengrondse effecten kunnen optreden.

*Bovengrondse effecten: mastbreuk, gondelval, bladbreuk*

De locaties van de dichtst bij de Hartelkering gelegen windturbines, WT6 en WT7, is zodanig gekozen dat de afstand tussen de windturbines en eerdergenoemde cruciale onderdelen van de Hartelkering in alle gevallen meer dan 230 m bedraagt. Daarmee liggen de cruciale onderdelen van de kering alleen binnen het bereik van de faalmodus bladworp bij overtoeren. Bij de veiligheidsbeschouwing is conservatief aangenomen dat treffen gelijk staat aan falen (niet beschikbaar zijn). Uit de veiligheidsbeschouwing volgt dat de toename van de niet-beschikbaarheidskans kleiner is dan de maximale toename-eis. Er wordt dus aan de norm voldaan.

Faalmechanisme en fase	Rapportage	Par.	Toename niet-beschikbaarheid <sup>1</sup>	Maximale toename Niet-beschikbaarheid
Niet beschikbaar zijn – exploitatie	[4]	-	5,5E-07	1E-06

<sup>1</sup> Er is zeer conservatief aangenomen dat het treffen van de Hartelkering met onderdelen van de windturbine gelijk staat aan het niet-beschikbaar zijn van de Hartelkering.

## 5.3 Regionale kering en compartimenteringskering

Voor de regionale / compartimenteringskering geldt dat alleen bovengrondse effecten verwacht worden. Het heeft geen nut onderscheid te maken in fasen. De bovengrondse effecten op de faalkans gelden gedurende de exploitatiefase, maar tijdens de opbouw en ontmanteling zouden er in theorie vergelijkbare bovengrondse effecten kunnen optreden.

## Ondergrondse effecten

De trillingen van de windturbines in de gebruiksfase dempen binnen een afstand van circa 50 m uit. Gezien de beoogde locaties van de turbines, op meer dan 70 m afstand, hebben de trillingen geen negatieve invloed op de stabiliteit van de waterkering.

Hiermee voldoen alle faalmechanisme met betrekking tot ondergrondse invloeden aan de norm.

## Bovengrondse effecten: mastbreuk, gondelval, bladbreuk – Regionale keringsfunctie

Er is gekeken welke bovengrondse calamiteiten van de windturbine een effect kunnen hebben op de regionale waterkering. In de analyse in de onderliggende rapportage is aangenomen dat bij het treffen door onderdelen van de windturbine:

- de kleding buitenwaarts kan beschadigen (GEBU);
- de hoogte van de kruin negatief beïnvloed kan worden (GEKB);
- het profiel van de dijk dusdanig kan wijzigen dat dit negatieve invloed heeft op de binnenwaartse macrostabiliteit (STBI) of op piping en heave (STPH);
- indirecte faalmechanismen zoals buitenwaartse stabiliteit (STBU) en microstabiliteit (STMI) zijn niet van belang omdat voorafgaand aan het optreden van STBU reeds GEBU optreedt en STMI alleen bij veel overslag een rol speelt, wat wordt afgevangen met GEKB.

De resultaten zijn beschouwd voor de oost- en westzijde (ten opzichte van de Hartelkering) van de kering, zie ook Figuur 9.



Figuur 9 De regionale waterkering met de verdeling in west- en oostzijde ten opzichte van de Hartelkering.

Faalmechanisme	Rapportage	Par.	Opmerking	Toename Faalkans Doorsnede [1/jaar]	Maximale toename Faalkans Doorsnede [1/jaar]
GEBU – exploitatie	[5]	3.2.2	Oostzijde	<<	1,0E-06
GEBU – exploitatie	[5]	3.2.2	Westzijde	<<	1,0E-06
GEKB – exploitatie	[5]	3.2.3	Oostzijde	8,2E-08	2,0E-06
GEKB – exploitatie	[5]	3.2.3	Westzijde	8,2E-08	2,0E-06
STBI – exploitatie	[5]	3.2.5	Oostzijde	8,8E-10	2,0E-05
STBI – exploitatie	[5]	3.2.5	Westzijde	5,7E-08	2,0E-05
STPH – exploitatie	[5]	3.2.4	Oostzijde	<<	1,4E-07
STPH - exploitatie	[5]	3.2.4	Westzijde	<<	1,4E-07

De toename van de faalkans ligt voor alle faalmechanismen ruim binnen de gestelde maximale toename. Er wordt dus aan de norm voldaan.



*Bovengrondse effecten: mastbreuk, gondelval, bladbreuk - compartimenteringsfunctie*

Omdat de compartimenteringsfunctie van de regionale kering alleen in werking treedt gegeven het feit dat de primaire kering doorbreekt, is een faalpadanalyse gemaakt (zie tabel 2 van de onderliggende rapportage over de compartimenteringskering [6]) waarin de volgende gebeurtenissen beschreven worden:

1. zeer extreme hoogwatercondities op het Hartelkanaal waardoor de primaire waterkering bezwijkt (1E-04);
2. wel / niet falen windturbine:
  - a. (een onderdeel van) een windturbine faalt en treft de compartimenteringskering (2,0E-08);
  - b. (een onderdeel van) een windturbine faalt niet en de compartimenteringskering wordt niet getroffen door (een onderdeel van) een windturbine(1,0E+00);
3. wel/niet getroffen en bezwijken:
  - a. de compartimenteringskering is getroffen en de waterstand op voedingskanaal stijgt en hierdoor bezwijkt de compartimenteringskering (2,0E-08);
  - b. de compartimenteringskering is niet getroffen en de waterstand op voedingskanaal stijgt en hierdoor bezwijkt de compartimenteringskering (1,000E-05);
4. door het bezwijken van de compartimenteringskering treedt een overstroming van het achterland op(1,002E-05).

Faalmechanisme	Rapportage	Par.	Toename Faalkans Doorsnede [1/jaar]	Maximale toename Faalkans Doorsnede [1/jaar]
Overstromingskans – exploitatie	[6]	-	2,0E-08	1,0E-07

Uit deze faalpadanalyse blijkt dat de maximale toename van de faalkans niet overschreden wordt door plaatsing van de windturbines. Er wordt aan de norm voldaan.

## 5.4 Conclusie beoordelingseis 1: waterveiligheidsnorm

In dit hoofdstuk zijn de onderliggende rapportages samengevat die aantonen dat aan de veiligheidsnorm voldaan wordt bij het bouwen, exploiteren en amoveren van Windpark Brielse Maasdijk. In onderstaande tabel zijn de resultaten uit voorgaande hoofdstukken nogmaals beknopt samengevat.

Conclusie is dat de aangehouden windturbines voldoen aan de gestelde waterveiligheidsnormen.

*Tabel 7 Samenvatting van de beoordeling van de waterveiligheid van de waterkeringen in de buurt van Windpark BMO voor verschillende fases gedurende de levensduur.*

Kering	Bouw	Exploitatie	Amoveren
Normtraject 20-3 inclusief Inlaatsluis en Voornse sluis	Ja, onder voorwaarden	Ja	Nog niet van toepassing
Normtraject 20-9 (Hartelkering)	n.v.t.	Ja	n.v.t.
Regionale kering / compartimenteringskering	n.v.t.	Ja	n.v.t..

## **6 Beoordelingseis 2: toekomstbestendigheid**

Uitgangspunt is dat de windturbines inclusief fundaties aan het eind van de levensduur (ca 30 jaar) worden verwijderd. De windturbines vormen daarmee geen belemmering voor toekomstige versterkingen. HVC heeft ervoor gekozen de windturbines inclusief fundatie geheel buiten het zogenaamde Profiel van vrije Ruimte 2125 te plaatsen. De dimensies van dit profiel zijn gezamenlijk met het waterschap vastgesteld [7], de onderkant van de funderingsblokken van de windturbines komt daarmee op +1,00 m NAP.

Hiermee wordt voldaan aan beoordelingseis 2 en is de toekomstbestendigheid geborgd.

## 7 Conclusie en aanbevelingen

In deze rapportage is op basis van onderliggende technische rapportages beschouwd dat de bouw van Windpark Brielse Maasdijk voldoet aan de twee beoordelingseisen voor een watervergunning:

1. Waterveiligheidsnorm: de onder- en bovengrondse effecten van de windturbines mogen geen noemenswaardige bijdrage leveren aan de faalkans van de omliggende waterkeringen, gedurende de bouw- exploitatie- en amoveringsfase.
2. Toekomstbestendigheid: voor een mogelijke dijkversterking in 2075 moet er voldoende ruimtebeslag in de ondergrond geborgd zijn. Daarom mogen de funderingsblokken van de windturbines niet in dit benodigde ruimtebeslag geplaatst worden.

In de volgende fase van het project wordt het ontwerp nader uitgewerkt en gedetailleerd. Daarbij dienen ten behoeve van de waterveiligheidsnormen in ieder geval de volgende aandachtspunten te worden beschouwd:

- Na de definitieve keuze van de windturbine dient geverifieerd te worden of de conclusies uit deze rapportage nog valide zijn.
- De exacte dimensionering van de funderingsblokken, de stempelplaatsen en bijbehorende palenplannen en eventuele damwanden dienen nog verder uitgewerkt te worden, onder meer op basis van het nog te kiezen windturbintype.
- Tijdens het inheien van funderingselementen kunnen mogelijk lokale glijcirkels ontstaan. Deze glijcirkels zijn niet van invloed op de waterveiligheid van de kering maar kunnen wel een goede en veilige uitvoering in de weg staan. In het huidige ontwerp is nu voorzien in mogelijke damwanden die deze glijcirkels moeten tegengaan. De noodzaak moet nog volgen uit het daadwerkelijk ontwerp. Alternatieve (aanvullende) maatregelen worden in de onderliggende verwekingsrapportage genoemd in paragraaf 3.3 van [3].
- De exacte locaties voor het stallen van materieel tijdens de bouwfase dienen verder uitgewerkt te worden. Indien er materieel op de kruin geplaatst moet worden, dan dienen hier ter verificatie berekeningen voor gemaakt te worden.
- Een eventuele bemaling is niet waarschijnlijk maar dient wel beschouwd te worden.
- Mogelijk dienen de funderingsblokken voorzien te worden van kwelschermen tegen onder- en achterloopsheid.
- Er dienen eisen gesteld te worden aan het transport dat benodigd is voor onderhoud aan de windturbines. Deze mogen geen grotere belastingen veroorzaken dan tijdens de bouw van de windturbines.
- Voor de ontmantelingsfase ofwel amoveringsfase dient een aparte vergunning aangevraagd te worden.

## 8 Literatuur

- [1] Arcadis, *Waterveiligheid: Onder- en bovengrondse invloeden primaire kering*, 2021.
- [2] Arcadis, *Waterveiligheid: bovengrondse invloeden windturbine WT10*, 2021.
- [3] Arcadis, 2021, *Waterveiligheid: Aanvullende analyses ondergrondse invloeden windturbines - Verweking*.
- [4] Arcadis, *BMO - Windpark invloed op Hartelkering*, 2022.
- [5] Arcadis, *Waterveiligheid: Onder en bovengrondse invloeden regionale kering*, 2021.
- [6] Arcadis, *Waterveiligheid: compartimenteringskering*, 2021.
- [7] Arcadis, *Toekomstbestendigheid: Profiel van Vrije Ruimte Primaire Kering*, 2022.
- [8] STOWA, *Handreiking Windturbines en Waterkeringen: Techniek*, 2018.
- [9] DNV GL (RVO), *Handboek risicozonering windturbines (Herziene versie 3.1)*, 2014.
- [10] Waterschap Hollandse Delta, *Beleidsregel Windturbines op of nabij primaire waterkeringen*, 2018.
- [11] Waterschap Hollandse Delta, „Kennisdokument windturbines bij waterkeringen [werkversie zomer 2018],” 1 augustus 2018.
- [12] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, *Regeling Veiligheid primaire waterkeringen 2017 (WBI2017)*, 2016.
- [13] RWS-WVL, *Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, veiligheidsfactoren en belastingen bij nieuwe overstromingskans-normen (OI2014v4)*., 2017.
- [14] STOWA, „Leidraad Toetsen Veiligheid Regionale Waterkeringen,” 2015.
- [15] Kennisplatform Risicobenadering, *Memo windturbines op of nabij primaire waterkeringen*, 2018.
- [16] Koninkrijk der Nederlanden, *Waterwet*, 2017.

## **Bijlage A dwarsdoorsnede ter plaatse van windturbines**





# Colofon

WINDPARK BRIELSE MAASDIJK  
INTEGRALE RAPPORTAGE WATERVEILIGHEID TEN BEHOEVE VAN VERGUNNINGAANVRAAG

KLANT  
HVC

AUTEUR

[REDACTED]

PROJECTNUMMER  
C03011.000856

ONZE REFERENTIE  
EQTRRWXV6EC5-428486025-66:0.9

DATUM  
15 december 2022

STATUS  
Definitief

GECONTROLEERD DOOR

VRIJGEGEVEN DOOR

[REDACTED]  
Senior specialist Waterveiligheid

[REDACTED]  
Senior Adviseur Waterveiligheid



## Over Arcadis

Arcadis is de leidende wereldwijd opererende ontwerp- en consultancyorganisatie op het gebied van de natuurlijke en gebouwde omgeving. Wij helpen onze klanten en de maatschappij met doeltreffende, duurzame en digitale oplossingen. Wij zijn met 36.000 mensen actief die in ruim zeventig landen meer dan €4,2 miljard aan omzet genereren. Wij helpen UN-Habitat met onze mensen, die kennis en expertise leveren om de moeilijke leefomstandigheden te verbeteren in gebieden die lijden onder de gevolgen van klimaatverandering.

[www.arcadis.com](http://www.arcadis.com)

### Arcadis Nederland B.V.

Postbus 137  
8000 AC Zwolle  
Nederland

T +31 (0)88 4261 261

**Arcadis.** Improving quality of life

Volg ons op



[arcadis-nederland](https://www.linkedin.com/company/arcadis-nederland)



[arcadis\\_nl](https://twitter.com/arcadis_nl)



[ArcadisNetherlands](https://www.facebook.com/ArcadisNetherlands)