

stowa

HANDREIKING WINDTURBINES EN WATERKERINGEN

# TECHNIEK



RAPPORT

2018

53

HANDREIKING WINDTURBINES EN WATERKERINGEN  
TECHNIEK

RAPPORT

2018

53

ISBN 978.90.5773.859.3



# COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 2180  
3800 CD Amersfoort

## LEDEN VAN HET NETWERK WINDTURBINES

Annemieke Jaakke, Waterschap Rijn en IJssel  
Bernd Fetlaar\*, Waterschap Zuiderzeeland  
Bert Koster, Waterschap Drents Overijsselse Delta  
Bieuwe Couperus, Wetterskip Fryslân  
Dick Visser, Rijkswaterstaat - WNZ  
Dolf Moerkens\*, Unie van Waterschappen (secretaris)  
Evert Hazenoot, Waterschap Rivierenland  
Gerard Harmsen\*, Rijkswaterstaat - WVL  
Anco van den Heuvel\*, Rijkswaterstaat - NN  
Hans Waals, Waterschap Hollandse Delta  
Jane Jagernath, Rijkswaterstaat - WNZ  
Jan-Willem Nieuwenhuis\*, Waterschap Noorderzijlvest  
Jelle-Jan Pieterse\*, Waterschap Scheldestromen  
Jeroen Overman\*, Waterschap Drents Overijsselse Delta  
Ludolph Wentholt\*, STOWA  
Maaïke Buysse-Hendriks, Waterschap Zuiderzeeland  
Maarten Scheffers, Rijkswaterstaat - WVL  
Peter van den Dries, Waterschap Hollands Noorderkwartier  
Peter Kiela\*, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (voorzitter)  
Sander van Poorten, Waterschap Rijn en IJssel

## OPDRACHTGEVERS EN BEGELEID DOOR DE LEDEN\*

Ministerie van Infrastructuur en Water  
Provincie Zeeland  
Waterschap Drents Overijsselse Delta  
Waterschap Noorderzijlvest  
STOWA

UITVOERDER ROYAL HASKONING DHV NEDERLAND B.V.  
Joost Cools  
Ilse Hergarden

FOTO OMSLAG Bernd Fetlaar

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA STOWA 2018-53

ISBN 978.90.5773.859.3

Status Dit is een werkdocument. De handreiking 'techniek' maakt deel uit van de generieke handreiking 'Handreiking Windturbines & Waterveiligheid' waar ook de onderdelen 'bestuur en beleid' en 'wetgeving' in worden opgenomen. Het onderdeel 'techniek' is vooraansnog zowel zelfstandig leesbaar als een hoofdstuk in de handreiking.

Copyright Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Disclaimer Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

# TEN GELEIDE

**Handreiking Windturbines & Waterveiligheid' biedt beheerders van waterkeringen en initiatiefnemers handvatten voor kansen en risico's bij de aanleg, de exploitatie en het opruimen van windturbines op of in de nabijheid van waterkeringen.**

Door het schetsen van een heldere afbakening van rol/taak/verantwoordelijkheden van de wateringkeringbeheerders en de bestuurlijke omgeving biedt deze handreiking niet alleen handvatten voor de technische beheerders van de waterkering, maar ook voor initiatiefnemers, bestuurders en beleidsadviseurs. Daarnaast dient de handreiking als portaal voor landelijk beschikbare informatie en draagt de handreiking bij aan het vergroten van de bewustwording van het waterkeringsbelang bij omgevingspartijen.

De handreiking bestaat onder volgende drie uit de onderdelen:

- Bestuur en beleid – strategische en tactische overwegingen, grondhouding; bestuurs- en beleidskader; STOWA-rapport 2018-51.
- Wetgeving - waterregelgeving, ruimtelijke regelgeving, nieuwe wetgeving, privaatrecht en overige ontwikkelingen; STOWA-rapport 2018-52.
- Techniek – weergave stappenplan voor de beoordeling van de effecten met aspecten van de faalkansanalyse en de levenscyclus van de windturbine; STOWA-rapport 2018-53.

Het voorliggende onderdeel Techniek is zelfstandig leesbaar en biedt inzicht in de technische aspecten die spelen bij het ontwikkelen, het plaatsen, het exploiteren en het verwijderen van windturbines nabij waterkeringen. Door het bundelen van kennis en ervaring uit meerdere onderzoeken en projecten, biedt deze handreiking handvatten voor het beoordelen van effecten van windturbines op het waterkerend vermogen, de uitbreidbaarheid en het beheer en onderhoud van de waterkering.

Deze handreiking is opgesteld door het Expertisenetwerk Windturbines nabij Waterkeringen dat naar aanleiding van de Green Deal Energie tussen de waterschappen en het Rijk in 2015 is opgericht. De STOWA is daarbij verzocht het Expertisenetwerk te faciliteren. Doel van dit Expertisenetwerk is het verzamelen en delen van kennis over ontwerp, aanleg, beheer en onderhoud van windturbines nabij waterstaatswerken. Daarnaast wordt collegiaal advies tussen de waterbeheerders gefaciliteerd.

STOWA stelt ten behoeve van het expertisecentrum een digitale en vrij toegankelijke Kennisbank op. Het Expertisenetwerk Windturbines nabij Waterkeringen zal samen met STOWA de handreiking als portaal voor landelijk beschikbare informatie uitdragen en zodoende bijdragen aan het vergroten van de bewustwording van het waterkeringsbelang bij omgevingspartijen.

Joost Buntsma  
Directeur STOWA

# KOEPELNOTITIE WINDTURBINES NABIJ EN OP KERINGEN

## 1. INLEIDING

Nederland staat voor een energietransitie, waarbij het verbruik van fossiele brandstoffen langzamerhand vervangen wordt door het opwekken van duurzame energie. Denk daarbij aan bv. windenergie en zonne-energie om de CO<sub>2</sub>-emissies en klimaatveranderingen te beperken en minder afhankelijk te worden van het buitenland. Het opwekken van windenergie kost wel meer ruimte, waarbij de overgangsgebieden tussen land en water aantrekkelijk zijn voor het opwekken van windenergie.

Deze gebieden liggen vaak nabij de waterkeringen, die in beheer zijn bij de waterschappen en RWS, zodat dan het aspect 'waterveiligheid' speelt. Derhalve heeft het Rijk in de Green Deal Energie met de waterschappen afgesproken om de mogelijkheden en de voorwaarden voor windturbines op of nabij waterkeringen verder in kaart te brengen, waarbij de veiligheid van de keringen gewaarborgd blijft. Waterkeringen bieden in principe ruimte voor het opwekken van duurzame energie. Ruimtelijk gezien bieden dit soort locaties minder overlast voor burgers (meestal liggen ze wat verder van de bebouwing) en qua landschappelijke inpassing is bv. het plaatsen van windturbines langs keringen minder problematisch, zeker bij een rijopstelling.

Sinds 2017 zijn de waterveiligheidsnormen voor de primaire waterkeringen aangepast. Van een overschrijdingskans per dijkkring worden de normen nu gedefinieerd als een overstromingskans per dijktraject. Daarvoor is ook een nieuw wettelijk beoordelingsinstrumentarium (WBI-2017) vastgesteld, volgens welke elk dijktraject tenminste éénmaal per 12 jaar beoordeeld moet worden. Als er dus tot plaatsing van bv. windturbines wordt overgegaan, is de randvoorwaarde dat de waterveiligheid volgens de nieuwe normen wordt geborgd.

Het al of niet toestaan van windturbines bij waterkeringen, moet los gezien worden van de eigen ambities van RWS en elk waterschap ten aanzien van de energie-transitie en het streven naar energie-neutraliteit. In de Green Deal is een verkenning naar energie-neutraliteit vastgelegd, maar in de Handreiking wordt dit aspect niet verder uitgewerkt.

RWS heeft een aantal jaar geleden haar beleid gewijzigd met betrekking tot het plaatsen van windturbines nabij waterkeringen van 'nee', naar 'nee, tenzij'. Hierbij is het uitgangspunt dat de waterveiligheid niet in het geding mag komen. Steeds meer waterschappen hanteren dit uitgangspunt ook en zijn inmiddels naar ja, mits aan het verschuiven. Zeer onlangs heeft het waterschap Hollandse Delta de regels aan voor de plaatsing van windturbines bij dijken, in die richting aangepast.

De Handreiking heeft dan ook tot doel om mogelijkheden te scheppen, waarbij de waterveiligheid gewaarborgd blijft. Ook al weten we nog niet alles voor de volle 100% zeker met betrekking tot risico's, is het van belang om aan de slag te gaan. De Handreiking is een 'levend document' dat aangevuld en aangepast kan worden aan nieuwe kennis en inzichten, maar geeft anderzijds een kader om kansen en mogelijkheden te benutten.

## 2. INHOUD

De Handreiking is opgebouwd uit 3 bouwstenen:

- Bouwsteen bestuurlijke processen en procedures
- Bouwsteen juridische aspecten
- Bouwsteen techniek
- De samenhang tussen de verschillende bouwstenen wordt weergegeven in bijlage A1

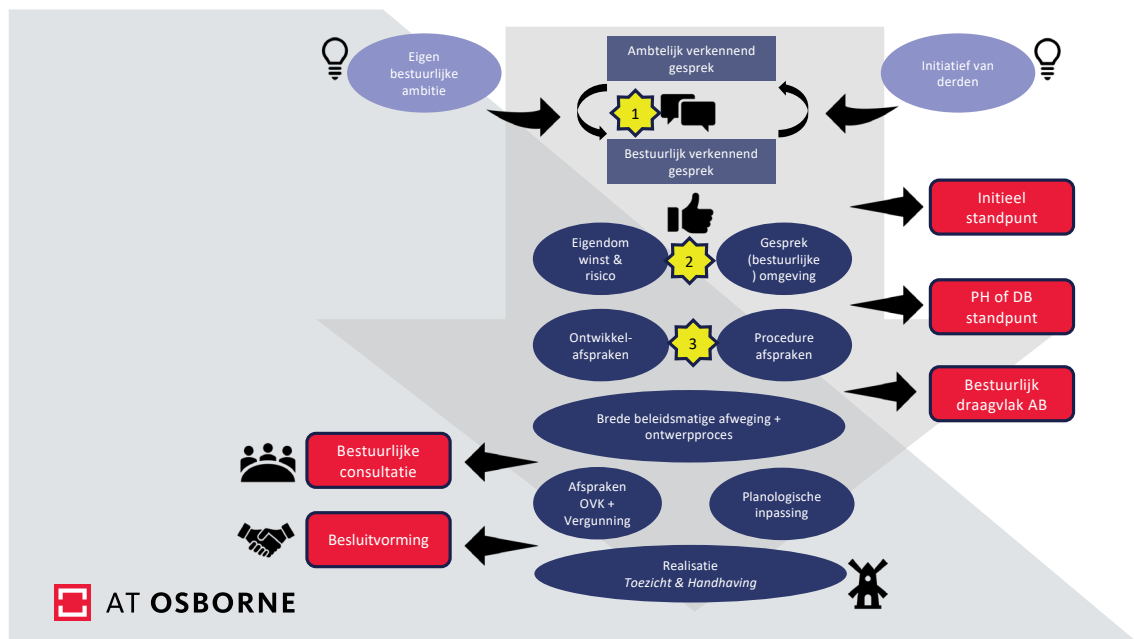
### PROCESSEN EN PROCEDURES

De transitie naar duurzame energie is geen eenvoudig proces vanwege het ruimtebeslag en de impact van de maatregelen op de omgeving. Op veel plaatsen is er weerstand tegen, met name, de plaatsing van windmolens. Het is dan ook een absolute voorwaarde dat zowel het proces om te komen tot plaatsing als de procedures die daarvoor staan nauwkeurig, transparant en interactief worden gevolgd. In de Handreiking wordt hieraan veel aandacht besteed, zie figuur 1.

Ook de Waterschappen en RWS schenken veel aandacht aan het belang van de waterveiligheid bij locaties nabij waterkeringen. Het Waterschap Hollandse Delta is bv. bezig om een beleidsregel op te stellen om tot transparantie richting burgers en initiatiefnemers te komen. Een aanpak via een beleidsregel, die inspirerend kan werken op andere waterschappen, kan mogelijk leiden tot een meer landelijke uniforme aanpak.

Van groot belang is ook de integraliteit van beleid bij overheden. Afstemmen aan de voorkant tussen provincie, gemeente en waterschap helpt voor eenduidigheid en transparantie richting burger. Nu nog treffen we te vaak verschillen aan tussen de overheidslagen. Met de komst van de omgevingswet zal de integrale benadering steeds centraler staan. Processen en procedures worden dan mede bepaald door de trits 1) energietransitie; 2) omgevingswet en 3) kerntaak veiligheid. Alhoewel de verantwoordelijkheden verschillend zijn, vraagt dit toch om geïntegreerde overheidsaanpak, waarbij de belangen goed en zorgvuldig kunnen worden afgewogen.

FIGUUR 1 PROCESSTAPPEN WINDTURBINES & WATERKERINGEN



## JURIDISCHE ASPECTEN

In de juridische bouwsteen wordt ingegaan op de wettelijke taken van de waterschappen en RWS en op de juridische vraagstukken die spelen bij de realisatie van windmolens nabij keringen. Als richtlijn bij het vraagstuk van de wettelijke taken van de waterschappen en de mogelijkheden die dit kader biedt om windenergie te produceren (en/of juridisch mogelijk te maken) kan aansluiting worden gevonden bij de conclusies van het rapport Juridische handreiking Duurzame Energie en Grondstoffen Waterschappen (2014). Dit rapport concludeert “voor zover deze activiteiten (energie produceren) plaatsvinden in het kader van de uitvoering van de wettelijke taken, zoals het zuiveringsbeheer en het watersysteembeheer, en voor zover de mededingingsrechtelijke regels worden gerespecteerd, daarvoor geen wettelijke belemmeringen bestaan”.(art. 6.5, sub c) Naar analogie van deze conclusie, die door de werkveld als bruikbaar wordt beschouwd, kan gesteld worden dat: voor zover het opwekken van windenergie plaatsvindt in het kader van de uitvoering van de wettelijke taken, zoals het zuiveringsbeheer en het watersysteembeheer, en voor zover de mededingingsrechtelijke regels worden gerespecteerd, daarvoor geen wettelijke belemmeringen bestaan.

Naast de wettelijke taken van waterschappen, zoals in het vorige hoofdstuk besproken, spelen er voor waterschappen ook verschillende juridische vraagstukken bij de realisatie van windmolen op/nabij waterkeringen. Deze vraagstukken zijn onder te verdelen in drie verschillende wettelijke procedures die tezamen de vraag beantwoorden of de plaatsing van een windmolen (juridische) mogelijk is:

- Planologische inpassing de Wet ruimtelijke ordening (Wro) maakt ruimtelijke ontwikkelingen planologisch toelaatbaar.
- Omgevingsvergunning op grond van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (Wabo). Deze wet richt zich op de regulering van activiteiten die invloed hebben op de fysieke leefomgeving, met name bouwen, milieu, ruimtelijke ordening en eventueel natuurbescherming.
- Watervergunning op grond van de Waterwet. Deze wet stelt normen ten behoeve van de waterveiligheid van waterkeringen.

## BOUWSTEEN TECHNIEK

De moeilijkste bouwsteen voor de handreiking betreft de technische aspecten, zoals de vertaling richting het wettelijk beoordelingsinstrumentarium, de berekening van risico's op zettingsvloeiing of schade door trillingen, de goede afstand van plaatsing van de molen tot de kering. Het handboek risicozonering bij windturbines kan hier een belangrijke rol spelen. In zijn algemeenheid is duidelijk dat nog niet alle risico's doorgrond zijn, maar dat er toch al een hoeveelheid ervaring en gegevens zijn om een verantwoorde afweging te maken. Zo zijn er, bijvoorbeeld, al windturbines bij de waterkeringen rond de Krammersluizen, de Oosterscheldekering, de Oostpolderdijk en de waterkering bij Delfzijl. Met nadruk geldt hier dat stapeling van risico's op zichzelf een risico is voor een open benadering. In deze bouwsteen worden zoveel mogelijk risico's benoemd en doorgrond en ook de onbekenden benoemd.

# OVER DEZE HANDREIKING

Voor u ligt het onderdeel 'Techniek' van de handreiking 'Handreiking Windturbines & Waterveiligheid'. Deze handreiking biedt ondersteuning bij de relevante kwesties die spelen bij de bouw en exploitatie van windturbines nabij waterkeringen, vanuit het oogpunt en belang van een goede waterkering en een goede zorg voor de waterkering.

Deze handreiking is opgesteld met een werkgroep van (ervaringsdeskundigen) van de waterschappen en Rijkswaterstaat.



# DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoeklijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede aan alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

*Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.*

# HANDREIKING WINDTURBINES EN WATERKERINGEN: TECHNIEK

## INHOUD

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
|          | TEN GELEIDE   |           |
|          | VOORZET KOEPELNOTITIE WINDTURBINES NABIJ EN OP KERINGEN   |           |
|          | OVER DEZE HANDREIKING                                     |           |
|          | DE STOWA IN HET KORT                                      |           |
| <b>1</b> | <b>INLEIDING</b>  | <b>1</b>  |
|          | 1.1 Aanleiding  | 1         |
|          | 1.2 Doel van de handreiking 'techniek'                    | 2         |
|          | 1.3 Doelgroep   | 2         |
|          | 1.4 Leeswijzer  | 2         |
| <b>2</b> | <b>DEFINITIES</b>   | <b>3</b>  |
| <b>3</b> | <b>SCHEMA TECHNISCHE BEOORDELING VAN EFFECTEN</b>         | <b>6</b>  |
|          | 3.1 Inleiding   | 6         |
|          | 3.2 Beoordelingscriteria Waterkering                      | 8         |
|          | 3.2.1 Waterkerend vermogen                                | 8         |
|          | 3.2.2 Uitbreidbaarheid                                    | 10        |
|          | 3.2.3 Beheer en onderhoud                                 | 11        |
|          | 3.3 Projectfasen  | 12        |
| <b>4</b> | <b>INITIATIEFASE</b>                                      | <b>13</b> |
|          | 4.1 Inleiding   | 13        |
|          | 4.2 Uitgangspunten en randvoorwaarden                     | 14        |
|          | 4.3 Onderbouwing locatiekeuze                             | 17        |
|          | 4.4 Selectie relevante effecten en faalmechanismen        | 19        |
|          | 4.5 Eenvoudige beoordeling waterkerend vermogen           | 20        |
|          | 4.5.1 Vaststellen toelaatbare faalfrequentie waterkering  | 20        |
|          | 4.5.2 Beoordeling van gevolgen door bovengrondse effecten | 20        |
|          | 4.5.3 Beoordeling van gevolgen door ondergrondse effecten | 25        |
|          | 4.6 Eenvoudige beoordeling uitbreidbaarheid               | 26        |
|          | 4.7 Eenvoudige beoordeling beheer en onderhoud            | 27        |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>5</b>   | <b>VOORLOPIGE ONTWERPFASE</b>                   | <b>29</b> |
| 5.1        | Inleiding                                       | 29        |
| 5.2        | Uitgangspunten en randvoorwaarden               | 30        |
| 5.3        | Gedetailleerde beoordeling waterkerend vermogen | 32        |
| 5.3.1      | Vaststellen bovengrondse faalfrequentie         | 32        |
| 5.3.2      | Vaststellen ondergrondse faalfrequentie         | 34        |
| 5.4        | Gedetailleerde beoordeling uitbreidbaarheid     | 37        |
| 5.5        | Gedetailleerde beoordeling beheer en onderhoud  | 38        |
| <b>6</b>   | <b>DEFINITIEVE ONTWERPFASE</b>                  | <b>39</b> |
| 6.1        | Inleiding                                       | 39        |
| 6.2        | Uitgangspunten en randvoorwaarden               | 39        |
| 6.3        | Verificatie waterkerend vermogen                | 40        |
| 6.4        | Uitbreidbaarheid                                | 43        |
| 6.5        | Beheer en onderhoud                             | 43        |
| <b>7</b>   | <b>BOUWFASE</b>                                 | <b>44</b> |
| 7.1        | Inleiding                                       | 44        |
| 7.2        | Waterkerend vermogen                            | 44        |
| 7.3        | Uitbreidbaarheid                                | 46        |
| 7.4        | Beheer en onderhoud                             | 46        |
| <b>8</b>   | <b>EXPLOITATIEFASE</b>                          | <b>47</b> |
| 8.1        | Inleiding                                       | 47        |
| 8.2        | Waterkerend vermogen                            | 47        |
| 8.3        | Uitbreidbaarheid                                | 48        |
| 8.4        | Beheer en onderhoud                             | 48        |
| <b>9</b>   | <b>ONTMANTELINGSFASE</b>                        | <b>49</b> |
| 9.1        | Inleiding                                       | 49        |
| 9.2        | Waterkerend vermogen                            | 49        |
| 9.3        | Uitbreidbaarheid                                | 50        |
| 9.4        | Beheer en onderhoud                             | 50        |
| <b>10</b>  | <b>RISICOTABEL</b>                              | <b>51</b> |
| <b>11</b>  | <b>REFERENTIES</b>                              | <b>52</b> |
| 11.1       | Literatuur                                      | 52        |
| 11.2       | Referentieprojecten                             | 53        |
| BIJLAGE A1 | SAMENHANG 3 RICHTLIJNEN                         | 54        |
| BIJLAGE A2 | RISICOTABEL                                     | 56        |

# 1

## INLEIDING

### 1.1 AANLEIDING

Bij de ambities van overheden voor duurzame energie komt steeds meer nadruk te liggen op het opwekken van energie met windturbines. Los van deze ontwikkeling ontstaat er ook een marktvrage naar mogelijkheden om windenergie op te wekken op of nabij waterkeringen. In de zoektocht naar locaties voor deze windturbines zijn de waterkeringen nadrukkelijk in beeld door de gunstige ligging met, zeker in de kustgebieden, potentieel veel wind. Gelet op het belang voor de waterveiligheid is dit voor de waterkeringbeheerder een essentiële locatiewaardoor, waardoor de beheerderbeheerder veelal een zeer terughoudende houding aanneemt. Tegelijkertijd doen zich steeds meer voorbeelden in de praktijk voor waarbij windturbines op of nabij waterkeringen worden gerealiseerd. Onmogelijk is het dus zeker niet, een zorgvuldige voorbereiding, afweging en uitvoering is echter wel aan de orde.

Om de relevante kwesties die spelen bij het ontwerp, bouw, exploitatie en ontmanteling van windturbines op of nabij waterkeringen in kaart te brengen en te duiden vanuit het belang van de goede toestand van de waterkering leeft bij waterkeringbeheerders en beleidmakers de behoefte voor een handreiking. Daarmee kan een mogelijke ‘koudwatervrees’ worden ingeperkt of op zijn minst in de juiste context worden geplaatst. In het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI) zijn geen specifieke voorschriften opgenomen voor de beoordeling van windturbines. Veelal dient een toets op maat te worden uitgevoerd.

De handreiking heeft als doel de betrokken stakeholders meer inzicht te bieden in de relevante kwesties die spelen bij windturbines op of nabij waterkeringen, vanuit het oogpunt en belang van een goede waterkering en een goede zorg voor de waterkering. Stakeholders betreffen de initiatiefnemers van de bouw en exploitatie; de betrokken waterkeringbeheerder, en de verschillende bestuurlijke omgevingspartijen (gemeenten, provincies, waterschappen en het Rijk).

De handreiking richt zich vooral op de kansen en risico's voor de waterschappen en Rijkswaterstaat, gelet op hun bestuurlijke verantwoordelijkheid voor de waterkering bij het bouwen, exploiteren en ontmantelen van windturbines op of bij waterkeringen. De handreiking bestaat onder andere uit de onderdelen:

- Wetgeving - waterregelgeving, ruimtelijke regelgeving, nieuwe wetgeving, privaatrecht en overige ontwikkelingen.
- Bestuur en beleid – strategische en tactische overwegingen, grondhouding; bestuurs- en beleidskader.
- Techniek – weergave stappenplan voor de beoordeling van de effecten met aspecten van de faalkansanalyse en de levenscyclus van de windturbine.
- De samenhang tussen de verschillende onderdelen is schematisch weergegeven in bijlage A1.

Voor u ligt onderdeel 3 – techniek.

## 1.2 DOEL VAN DE HANDREIKING 'TECHNIEK'

Het doel van de handreiking is inzicht te bieden in de technische aspecten die spelen bij het ontwikkelen, het plaatsen, het exploiteren en het verwijderen van windturbines nabij waterkeringen. Door het bundelen van kennis en ervaring uit meerdere onderzoeken en projecten, biedt deze handreiking handvatten voor het beoordelen van effecten van windturbines op het waterkerend vermogen, de uitbreidbaarheid en het beheer en onderhoud van de waterkering.

In deze handreiking zijn een stroomschema, een risicolijs en randvoorwaarden en uitgangspunten opgenomen om de beoordeling van het effect van windturbines op waterkeringen inzichtelijk te maken en een handvat te bieden voor een toets op maat. Het opnemen of uitwerken van rekenregels is geen onderdeel van dit rapport, hiervoor wordt verwezen naar bestaande literatuur.

## 1.3 DOELGROEP

De primaire doelgroep bestaat uit waterkeringenbeheerders (Waterschappen en Rijkswaterstaat) en de initiatiefnemers, die direct betrokken zijn bij de bouw en exploitatie van windturbines op of nabij waterkeringen. Ook voor indirect betrokken partijen, zoals ingenieursbureaus, verzekeraars en aannemers is de handreiking van belang.

Deze handreiking is geschreven voor de beschouwing van primaire waterkeringen, maar zal (gedeeltelijk) ook relevant zijn voor de situatie met regionale waterkeringen.

## 1.4 LEESWIJZER

De opbouw van deze handreiking is als volgt:

Allereerst worden in hoofdstuk 2 definities gegeven van gebruikte termen.

In hoofdstuk 3 wordt een overzicht gegeven van de technische beoordelingscriteria en de projectfasen van een windproject. In een schema wordt inzichtelijk gemaakt wat verwacht wordt van de waterkeringbeheerder en de initiatiefnemer.

In de hoofdstukken 4 tot en met 9 is per fase in meer detail beschreven welke informatie beschikbaar dient te zijn en op welk detailniveau beschouwingen moeten worden uitgevoerd.

Tot slot is in hoofdstuk 10 een tabel opgenomen met mogelijke risico's voor de waterkering bij realisatie van een windpark in de nabijheid hiervan. Deze tabel geeft waterkeringbeheerders en initiatiefnemers op een snelle manier inzicht in de mogelijke risico's, maar ook een overzicht van mogelijke maatregelen, inclusief benoeming van de fase waarin hiervoor aandacht moet zijn.

Hoofdstuk 11 bevat tenslotte een lijst met verwijzingen naar gebruikte literatuur.

# 2

## DEFINITIES

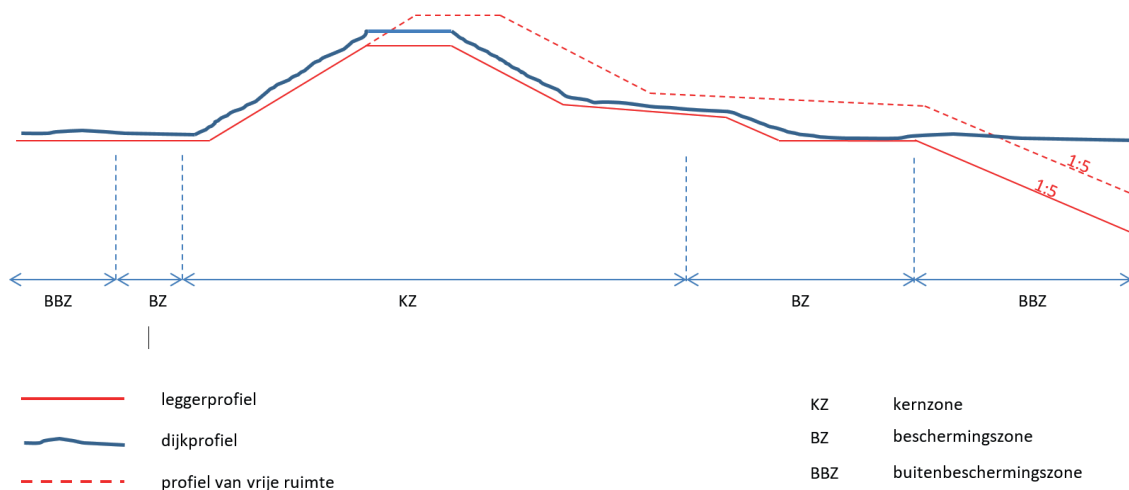
Hieronder staan de definities van de meest voorkomende termen [o.a. op basis van REF 2, REF 6, REF 20].

| Term                                  | Definitie   |
|---------------------------------------|---|
| Additionele faalfrequentie/-kans      | Te verwachten aantal malen dat falen optreedt / Te verwachten kans op falen van de waterkering door calamiteit aan windturbine bij hoogwater voor de betreffende windturbine per jaar (additionele dysfunctiekans).   |
| Afslagprofiel                         | Zie <i>Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies</i> [REF 1]: Het afslagprofiel wordt gebruikt voor het beoordelen van buitendijkse objecten. Het afslagprofiel is een profiel dat geacht wordt te resteren na aanzienlijke erosie buitendijk met: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Een stabiel binnentalud, helling &gt; 1V:3H (dit hoeft niet noodzakelijk het werkelijke binnentalud van de waterkering te zijn, maar moet wel binnen de keurzone liggen, zodat de aanwezigheid is gegarandeerd);</li> <li>• Een kruin met een breedte van 2 à 3 m en een hoogte van MHW +0,3 m;</li> <li>• Een fictief buitentalud met een helling van 1V:20H tot een niveau van MHW -1 m;</li> <li>• Een fictief talud met een helling van 1V:12,5H dat de oeverlijn snijdt op de halve hoogte van de bodemdiepte bij MHW.</li> </ul>   |
| Autonome faalfrequentie/-kans         | De faalfrequentie/-kans van de windturbine zelf (onafhankelijk van bijvoorbeeld de plaatsing) of van de waterkering zelf (onafhankelijk van de windturbine).  |
| Beheerregister                        | Vorbereiding, op- en vaststelling alsmede het actueel houden van een beschrijving met bijbehorende kaarten, waarin/ waarop de voor het behoud van het waterkerend vermogen van de waterkeringen kenmerkende gegevens van de constructie en de feitelijke toestand van de waterkeringen en de daarin gelegen waterkerende kunstwerken nader zijn omschreven.   |
| bezwijken                             | Verlies van samenhang of grote geometrieveranderingen in een kering. Een kering kan bezwijken zonder te falen (dus het gebied dat door de kering beschermt wordt overstromt niet), maar kan ook falen zonder te bezwijken (de kering is te laag waardoor het achterliggende gebied overstromt).   |
| (Buiten) Beschermingszone (BBZ en BZ) | Stroken grond ter weerszijden van de kernzone, die bijdragen aan de stabiliteit van de waterkering.   |
| Binnendijks                           | Aan de kant van het land of het binnenwater.  |
| Buitendijks                           | Aan de kerende zijde van de waterkering. Dat wil zeggen: de zijde waar ook het water (rivier of zee) staat.   |
| Detectietijd                          | De tijd die nodig is om een incident te melden. Voor een windturbine op een waterkering bestaat deze tijd uit twee delen: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. De tijd die nodig is om het incident te melden bij het windturbine personeel (veelal 24 uur vanwege het in de windturbine aanwezige SCADA-systeem);</li> <li>2. De tijd die nodig is om het incident te melden bij de waterkeringbeheerder (bijvoorbeeld door windturbine personeel of inspecteur van het waterschap).</li> </ol>   |
| Dijkprofiel                           | Het profiel van de waterkering zoals in het terrein aanwezig. Het dijkprofiel kan afwijken van het leggerprofiel  |
| Dijksluitingsperiode/ stormseizoen    | Werken mogen onder voorwaarden het gehele jaar worden uitgevoerd. In de dijksluitingsperiode/stormseizoen (veelal de periode van 15 oktober tot 15 april) zal de waterkeringbeheerder afhankelijk van de situatie aanvullende voorwaarden stellen of voorzieningen voorschrijven die de veiligheid van de waterkering waarborgen. Indien aan deze voorwaarden niet kan worden voldaan of voorzieningen niet kunnen worden getroffen, kunnen de werkzaamheden niet tijdens de dijksluitingsperiode/stormseizoen worden uitgevoerd. <p>Om te beoordelen of de werken kunnen worden uitgevoerd gedurende deze periode, is het onderstaande toetsingskader bepalend:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. De uitvoering van de werkzaamheden mag de toegankelijkheid van de waterkering niet belemmeren;</li> <li>2. De uitvoering van de werkzaamheden mag het waterkerend vermogen van de waterkering niet negatief beïnvloeden. Dit dient op aangeven van de waterkeringbeheerder met berekeningen te worden aangetoond.</li> </ol> |
| Dijktraject / normtraject             | Gedeelte van een primaire waterkering dat afzonderlijk genormeerd is.   |
| Effectafstand                         | Zie Trefafstand   |
| Faalfrequentie                        | Het gemiddelde aantal malen per tijdsperiode [meestal 1 jaar] dat een systeem of component (hier: windturbine of onderdeel daarvan) defect raakt (faalt).   |

| Term                            | Definitie  |
|---------------------------------|--|
| Faalkans (waterkering)          | De kans dat een systeem of component onder gespecificeerde omstandigheden faalt. Voor een waterkering is dit specifiek de kans op overschrijden van de uiterste grenstoestand van een waterkering of een onderdeel daarvan.  |
| Faalkansbegroting (waterkering) | Verdeling van overstromingskans per normtraject over verschillende faalmechanismen. Er wordt daarbij geen rekening gehouden met correlaties tussen faalmechanismen.  |
| Faalmechanisme                  | Een mechanisme waardoor een kering kan bezwijken. In <i>Grondslagen voor Hoogwaterbescherming</i> uitgebracht door het Expertise Netwerk Waterveiligheid in 2017 [REF 2] worden de verschillende faalmechanismen toegelicht. Het gaat om faalmechanismen bij grondconstructies, duinen, kunstwerken en bijzondere constructies. Objecten in, op of bij een waterkering kunnen de kans op bovengenoemde faalmechanismen vergroten. Dit geldt dus ook voor windturbines.   |
| Faalscenario                    | Een windturbine kan door verschillende oorzaken falen. Conform het Handboek Risicozonering Windturbines [REF 3] worden de volgende faalscenario's voor de windturbine onderscheiden: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Het geheel omvallen van de windturbine</li> <li>2. Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor</li> <li>3. Het afbreken van een rotorblad.</li> </ol>  |
| Falen                           | Het niet meer kunnen vervullen van de primaire functie. Bij een waterkering gaat het dan om de functie water keren. Er is dan meestal nog geen sprake van een feitelijke overstroming, maar de kans daarop is te groot geworden. De waterkering voldoet niet meer aan de eisen voor de waterkerende functie.   |
| Herstelduur                     | De tijdsduur die gemiddeld nodig is om een waterkering functioneel te herstellen.  |
| Impactgebied                    | Een cirkel rond de windturbine waar een gondel, blad of mast kan vallen  |
| Inslagkrater                    | Gat met een bepaalde kraterdiepte, vorm en omtrek, dat ontstaat door een vallend onderdeel van een windturbine.  |
| Kernzone (KZ)                   | De belangrijkste zone van de waterkering waarin het object/grondlichaam ligt dat daadwerkelijk het water moet keren. Meestal komt de kernzone overeen met het dijklichaam zelf en de naast liggende onderhoudsstroken. Voor de duinen is dit de zone die na een maatgevende storm moet blijven staan. Wettelijke afbakening is opgenomen in de legger.   |
| Keur                            | De keur is een verordening van een waterschap. In de keur staan de regels voor waterkeringen (dijken en kades), watergangen (bijvoorbeeld sloten en rivieren) en bijbehorende kunstwerken die een beheerder hanteert bij de bescherming hiervan.   |
| Kraterdiepte                    | Mate van grondindringing door een vallend onderdeel van een windturbine.   |
| Kritische strook                | Strook die moet worden getroffen door een windturbine of onderdeel alvorens er sprake kan zijn van een beschadiging aan de kering en het daardoor mogelijk optreden van een faalmechanisme   |
| Maximale werpafstand            | De maximale afstand waarop een rotorblad van een windturbine bij falen terecht kan komen bij overtoeren.   |
| Legger                          | De legger beschrijft de ligging van de waterkeringen en de zones waar de keurbepalingen voor de waterkering van kracht zijn  |
| Leggerprofiel:                  | het profiel van de waterkering zoals vastgelegd in de legger   |
| Lengte-effect                   | Hoe langer een dijk, des te groter de onzekerheid en daarmee de kans is dat zich ergens een relatief zwakke plek bevindt. De kans dat een lange dijkstrekking ergens faalt, is groter dan de kans dat het traject op een specifieke plek faalt. Dit wordt ook wel het lengte-effect genoemd.   |
| Overstromingskans               | Kans op verlies van waterkerend vermogen van een dijktraject waardoor het door het dijktraject beschermde gebied zodanig overstromt dat dodelijke slachtoffers of substantiële economische schade ontstaan.  |
| Profiel van vrije ruimte        | De ruimte ter weerszijde van en boven een waterkering die gereserveerd is voor toekomstige verbeteringen aan de waterkering  |
| Raakfrequentie                  | Vermenigvuldiging van de faalfrequentie met de trefkans (kans dat een falende windturbine of -onderdeel neerkomt per zone) en het aantal windturbines resulteert in de raakfrequentie (1/jaar)   |
| Reparatieduur                   | De tijdsduur die gemiddeld nodig is om een defect systeem of component te repareren of te vervangen.   |
| Responstijd                     | De tijd die nodig is om in actie te komen na optreden van schade aan de waterkering.   |
| Restprofiel                     | Het resterende profiel van de waterkering na schade (inslagkrater) door een falende windturbine of windturbineonderdeel binnen de kritische strook.  |
| Risicozonering                  | De risicozonering wordt bepaald o.b.v. trefafstand (van een falende windturbine of windturbineonderdeel of maximale valbereik) en de gevolgen voor waterveiligheid. De risicozonering is afhankelijk van de locatie waar het gefaalde object landt en het faalmechanisme.  |
| Signaleringswaarde              | Overstromingskans van het dijktraject waarvan overschrijding gemeld moet worden aan de Minister van I en M.<br>De signaleringswaarde voor een dijktraject is, samen met de ondergrens (overstromingskans van het dijktraject die hoort bij het minimale beschermingsniveau dat de kering moet bieden), als norm in de wet opgenomen. De waarde betreft een overstromingskans (of faalkans) en is zodanig gekozen dat er voldoende tijd is voor het uitvoeren van een verbeteractie. Alle primaire waterkeringen in Nederland hebben een signaleringsnorm gekregen tussen de 1 op 300 en de 1 op 100.000. |
| Stormseizoen                    | Zie 'Dijksluitingsperiode'.  |

| Term            | Definitie  |
|-----------------|--|
| Trefafstand     | De trefafstand is de afstand tot waar de gehele windturbine, het gondelhuis of rotorblad terecht kan komen na falen. Voor een rotorblad is de trefafstand vergelijkbaar met de werpafstand.  |
| Trefkans        | De kans dat een persoon of object wordt geraakt door een (deel van een) windturbine.   |
| Trefsector      | Gebied waar een falende windturbine of -onderdeel kan neerkomen en daarbij schade kan veroorzaken met mogelijk risico voor de waterkerende functie van de waterkering.   |
| Trillingen      | In context van deze handreiking worden met trillingen ten gevolge van het inbrengen van een paalfundering of de aanwezigheid van een windturbine, de grondversnellingen in de ondergrond bedoeld. Deze kunnen leiden tot het optreden van wateroverspanningen, zettingen en zettingsvloeiing.  |
| Valbereik       | Zie Impactgebied.  |
| Veiligheidsnorm | Het wettelijk vastgelegde niveau van bescherming van een dijktraject/normtraject tegen overstromen. In het nieuwe waterveiligheidsbeleid en in de waterwet zijn voor elk traject twee normen vastgelegd: een signaleringswaarde en een ondergrens.   |
| Werpafstand     | De werpafstand is de afstand waarop een rotorblad na falen bij nominaal draaiend en bij overtoeren terecht kan komen.  |
| Zorgplicht      | In de Waterwet is de opdracht voor de waterbeheerder opgenomen om de nodige maatregelen te nemen voor het veilig en doelmatig beheer van waterkeringen. De zorgplicht geeft de waterkeringbeheerders een wettelijke verplichting om de primaire waterkeringen aan de veiligheidseisen te laten voldoen en te zorgen voor het noodzakelijk preventieve beheer en onderhoud. |

FIGUUR 2.1 VOORBEELD VAN SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE ZONERINGEN EN HET PROFIEL VAN VRIJE RUIMTE





# 3

## SCHEMA TECHNISCHE BEOORDELING VAN EFFECTEN

### 3.1 INLEIDING

De bouw, exploitatie en ontmanteling van de windturbine(s) kunnen direct, dan wel indirect invloed hebben op de waterveiligheid. Verschillende faalmechanismen van de waterkering kunnen nadelig worden beïnvloed, waardoor de overstromingskans toeneemt. In het kader van de Waterwet (WBI) dient daarom voorafgaand aan de bouw de invloed op de waterveiligheid te worden beoordeeld. De initiatiefnemer heeft als taak om deze beoordeling uit te voeren. In de beoordeling dienen verschillende technische aspecten van de waterveiligheid te worden beschouwd. Belangrijk is dat in de beoordeling de volledige levenscyclus van een windpark wordt meegenomen.

#### TECHNISCHE ASPECTEN

Voor de waterveiligheid zijn de volgende technische aspecten voor de waterkering relevant:

- *Het waterkerend vermogen*  
In het algemeen geldt dat de aangevraagde (bouw)werken of activiteiten geen nadelige invloed mogen hebben op de hoogte en stabiliteit van de waterkeringen. De kerende functie van de waterkeringen moet te allen tijde behouden blijven.
- *Het beheer en onderhoud*  
Onder beheer vallen alle noodzakelijke activiteiten ter waarborging van de functie van de waterkering. Daarnaast moet dijkonderhoud op een effectieve en efficiënte wijze worden uitgevoerd om de kwaliteit van de waterkering te waarborgen. Werkzaamheden die in dit kader een rol spelen zijn bijvoorbeeld de wettelijke beoordeling van de waterkering, terugkerende onderhoudswerken, inspecties, monitoring en calamiteitenzorg.
- *De uitbreidbaarheid*  
Om in de toekomst de waterveiligheid op orde te kunnen houden en voor toekomstgericht waterkeringbeheer is het van belang voldoende ruimte te hebben rond de waterkeringen om dijkverbeteringsmaatregelen uit te kunnen voeren. Waterkeringen kunnen op diverse manieren worden aangepast of uitgebreid. Dit kan in hoogte zijn maar ook het profiel of de locatie kunnen wijzigen. Het doel is zoveel mogelijk mogelijkheden open te houden voor toekomstige aanpassingen.

### ALGEMENE BEOORDELINGSCRITERIA

In het onderzoek naar de mogelijkheden van de bouw van een windpark in de omgeving van een waterkering dient aangetoond te worden dat in alle fases van de levenscyclus van een windturbine:

- het *waterkerend vermogen* is gewaarborgd tijdens de bouw, de exploitatie en de ontmanteling van de windturbines;
- de waterkering is in het kader van de een eventuele toekomstige versterking *uitbreidbaar*;
- het doelmatig *beheer en onderhoud* aan de waterkering is gewaarborgd.

Opgemerkt wordt dat bij de ontwikkeling van een windpark ook andere aspecten van belang zijn, zoals watergangen en mogelijke toename van het verhard oppervlak dat gecompenseerd dient te worden. Deze richtlijn gaat alleen in op de aspecten met betrekking tot de waterkering en daarmee de waterveiligheid.

### PROJECTFASEN

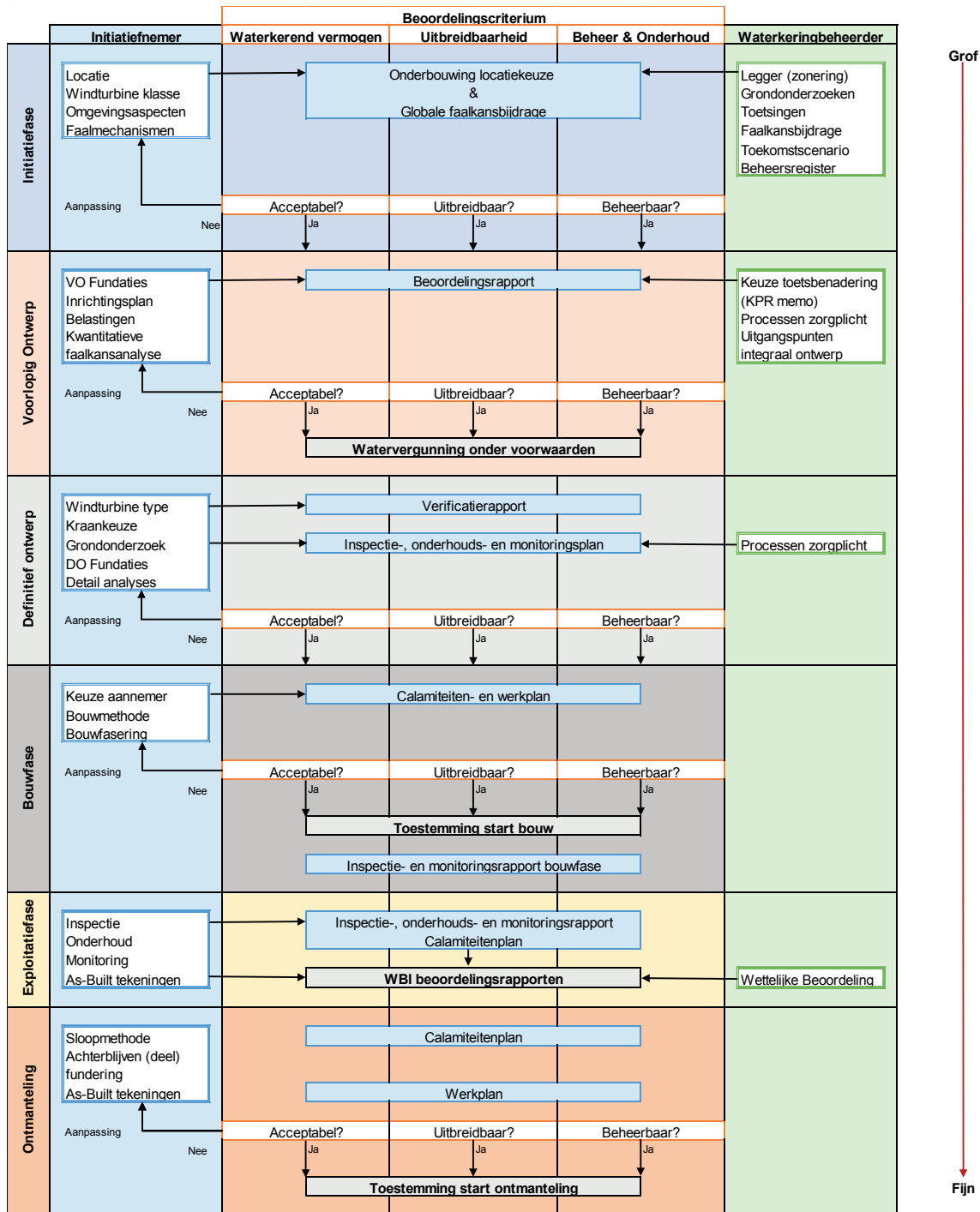
Voor de technische beoordeling van bovenstaande aspecten wordt een gefaseerde aanpak aanbevolen, waarbij wordt gewerkt van een grof naar een fijn uitwerkingsniveau. De aanpak, zoals beschreven in deze handreiking, volgt de volgende levenscyclus van een windturbine-project:

- Initiatiefase;
- Ontwerpfase;
- Bouwfase;
- Exploitatiefase;
- Ontmantelingsfase.

### SCHEMA

De technische aspecten en de projectfasen vormen de basis voor deze handreiking. In Figuur 3.1 is de samenhang weergegeven in een stroomschema. Per projectfase zijn in de hoofdstukken 4 tot en met 9 de te doorlopen stappen nader beschreven.

FIGUUR 3.1 STROOMSCHEMA BEOORDELING INVLOED WINDTURBINES OP WATERKERINGEN



### 3.2 BEOORDELINGSCRITEIA WATERKERING

#### 3.2.1 WATERKEREND VERMOGEN

Plaatsing van windturbines in de kern- en de beschermingszone van de primaire waterkering wordt afhankelijk van de beheerder wel of niet toegestaan. De bouw, exploitatie en ontmanteling van windturbines resulteert per slot van rekening in een (tijdelijke) afname van het waterkerend vermogen van de waterkering. De mate hiervan is weliswaar afhankelijk van de fase van het project en de lokale omstandigheden. Aan de beheerder dient te worden aangetoond dat de additionele faalkans ten gevolge van de aanwezigheid van windturbines kleiner

dan of gelijk is aan een vooraf vastgesteld percentage van de autonome normfrequentie, het zogenaamde beoordelingscriterium. De additionele faalkans dient bepaald te worden per faalmechanisme, rekening houdend met het in het Wettelijk Beoordelings Instrumentarium (WBI) of het Ontwerp Instrumentarium (OI) opgegeven faalkansbudget (zie paragraaf 5.3.2). Gelet op de toenemende omvang van de windturbines kunnen deze wel degelijk invloed op de faalkans van de waterkering hebben zelfs als deze (ruim) buiten de in de legger opgenomen beschermingszones van de waterkering staan gepositioneerd.

#### FAALMECHANISMEN WATERKERING

De faalmechanismen voor de waterkering zijn:

- Overloop en golfoverslag (HT)<sup>1</sup> in combinatie met doorgaande erosie;
- Macro-instabiliteit binnenwaarts (STBI);
- Macro-instabiliteit buitenwaarts (STBU);
- Micro-instabiliteit (STMI);
- Opbarsten, piping en heave (STPH);
- Instabiliteit van het voorland (STVL) door afschuiving (VLAF) of zettingsvloeiing (VLZV);
- Instabiliteit van de bekleding (STBK).

#### TYPE INVLOED

Voor de beoordeling van de additionele faalfrequentie door een windturbine op of nabij een waterkering worden twee soorten invloeden onderscheiden:

- **Ondergrondse invloeden** van de bouw, exploitatie en ontmanteling van de windturbine, de fundering en bijbehorende werken. Tot de ondergrondse effecten behoren o.a.:
  - Trillingen door inbrengen van funderingspalen of damwanden;
  - Trillingen opgewekt door de windturbine;
  - Toename bovenbelasting door kranen, transporten of opslag van materialen;
  - Afname van de sterkte door ontgravingen (zowel ontgravingen van het dijklichaam zelf als eventuele ontgravingen op of nabij de kering die mede bepalend zijn voor de stabiliteit van de kering);
  - Beïnvloeding verloop grondwaterstand door funderingen;
  - Beïnvloeding van de bekleding door afvoer van regenwater langs de mast en het funderingsblok of erosie op de overgang naar het funderingsblok.
- **Bovengrondse invloeden** bij falen van de windturbine of een onderdeel hiervan tijdens de exploitatiefase. Tot deze effecten behoren de faalscenario's:
  - Mastbreuk;
  - Gondelval;
  - Bladbreuk.

#### BEOORDELINGSKADER

Het waterkerend vermogen van de kering voor de situatie met de windturbine(s) dient beoordeeld te worden volgens methoden die aansluiten op de wettelijke beoordelings- en ontwerp-instrumentaria WBI2017<sup>2</sup> [REF 6] en de OI2014 [REF 4]. Conform het WBI2017 worden windturbines bestempeld als Niet-Waterkerende Objecten (NWO's).

1 Hoewel 'Overloop en golfoverslag' geen faalmechanisme is wat binnen de WBI wordt beschouwd, is beoordeling van het effect op de hoogte van de waterkering relevant. Door falen windturbine of ondergrondse effecten (verdichting) is kruinverlaging mogelijk. In het WBI 'grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB)' genoemd.

2 Nieuwe benaming wordt BOI, Beoordelings- en ontwerpinstrumentarium.

### BEOORDELINGSCRITEIA

Ten aanzien van NWO's wordt binnen het WBI2017 standaard geen faalkansruimte gereserveerd [REF 4] en [REF 7]. Geadviseerd wordt KPR memo 473 (Windturbines op of nabij primaire waterkeringen) [REF 5] te volgen. De door het Kennis Platform Risicobenadering (KPR) opgestelde memo geeft de mogelijkheid om verschillende beoordelingsmethodes te kiezen:

- Voor ondergrondse invloeden zoals trillingen, wordt geadviseerd de bewuste locatie te beoordelen als een willekeurige andere doorsnede zonder windturbine en de schematisering af te stemmen op de nieuwe situatie met windturbine. Bijvoorbeeld voor de beoordeling van de invloed van de aanleg van de funderingsplaat wordt de oorspronkelijke geometrie in de stabiliteitsberekening aangepast en de ontgraving gemodelleerd. Vervolgens wordt de bijbehorende schadefactor bepaald en vergeleken met de norm. Dit is in detail uitgewerkt in paragraaf 5.3.2;
- Voor bovengrondse invloeden, het bezwijken van een windturbine, worden verschillende opties voor de beschouwing gegeven:
  - Het bezwijken van een windturbine beschouwen als een indirect faalmechanisme;
  - Het bezwijken van een windturbine beschouwen als een direct faalmechanisme.

Bij aanvang van een project kan de waterkeringbeheerder een keuze maken betreffende de te hanteren beoordelingsmethode en toelaatbare faalkansbijdrage. Dit is een belangrijke beleidskeuze die aan het begin van het proces moet worden gemaakt anders is de beoordeling van het al dan niet toestaan van het initiatief met betrekking tot dit beoordelingscriterium niet mogelijk. Deze keuze van de toelaatbare faalkansbijdrage heeft ook invloed op de onderbouwing van in de toekomst te verlenen watervergunningen.

In de beoordeling dient van grof naar fijn te worden gewerkt in lijn met de mate van detail van het ontwerp. De complexiteit van de analyse dient eveneens afgestemd te worden op het detailniveau dat voor de besluitvorming nodig is.

De veiligheid van de waterkering dient, ook tijdens en na de bouw van de windturbine(s) gewaarborgd te zijn bij de voor het bewuste dijktraject geldende norm.

Veelal wordt de ontwerplevensduur voor windturbines vastgesteld op 25 jaar. Dit betekent dat de invloed van de windturbine gedurende deze periode niet significant dient te zijn.

Daarnaast kunnen per beheerder specifieke eisen worden gesteld voor beheersing van gering risico zoals bijvoorbeeld dat in de beschermingszone aan de rivierzijde het maaiveld niet mag worden verlaagd.

#### 3.2.2 UITBREIDBAARHEID

De uitbreidbaarheid van een waterkering wordt door de beheerder gewaarborgd door toepassing van een profiel van vrije ruimte. Hierin is indicatief aangegeven welke ruimte in beslag zal worden genomen door de waterkering volgend uit een toekomstige dijkverzwaring binnen een aan te geven tijdhorizon (bijvoorbeeld 100 jaar).

Het profiel van vrije ruimte is een toetsingskader van de beheerder bij het verlenen van vergunningen. De beheerder kan zo aan de hand van het aangeven van het profiel van vrije ruimte een op de toekomstgericht beleid voor een primaire waterkering ontwikkelen, waarbij ruimtelijke reserveringen of voorwaarden van belang voor toekomstige dijkverzwaringen mogelijk

worden. In dit beleid wordt er dus rekening mee gehouden dat toekomstige dijkversterkingen mogelijk moeten zijn zonder dat bouwwerken moeten worden verwijderd of afgebroken. Windturbines, inclusief funderingen en kraanopstelplaatsen, doorsnijden de waterkering en het profiel van vrije ruimte (reserveringsruimte). Daardoor kunnen ze een grote invloed hebben op de waterkering en de toekomstige dijkverzwaring. Soms zijn ruimte reserveringen voor toekomstige uitbreiding in de keur en/of legger vastgelegd. De fundering kan daarom mede bepalend zijn voor de mogelijke locatie op of nabij de waterkering.

Bij de ontwikkeling dient ook rekening te worden gehouden met reeds geplande dijkversterkingen. Een gangbare ontwerpperiode voor dijkversterkingen is 50 jaar en voor kunstwerken 100 jaar. Dit is ongeveer tweemaal de technische levensduur van een windturbine (20 à 25 jaar). De windturbine mag de realisatie van deze versterkingsmaatregelen -in principe- niet bemoeilijken, belemmeren of verslechteren.

Het is de taak van de waterkeringbeheerder om bij aanvang van de initiatiefase van een project aan te geven wat het profiel van vrije ruimte op de te beschouwen locatie is en welke dijkversterkingen eventueel al zijn gepland. Hierbij dient te worden aangemerkt dat in het kader van de nieuwe normering en rekenregels (2017) voor de waterkeringen, het oorspronkelijke vastgestelde profiel van vrije ruimte mogelijk niet meer voldoet en opnieuw specifiek moet worden bepaald.

### 3.2.3 BEHEER EN ONDERHOUD

Onder het beheer van een waterkering wordt het geheel van activiteiten verstaan dat erop gericht is de bestaande kering zijn functies duurzaam te laten vervullen, bijvoorbeeld:

- Periodieke inspectie van de waterkering;
- Monitoring van de waterkering
- Bescherming door een ontheffingen- en vergunningenbeleid.
- Wettelijke beoordeling van de waterkering

Onder onderhoud wordt verstaan:

- Regulier onderhoud is gericht op het dagelijks beheer en het herstel van ontstane schade;
- Groot onderhoud op grond van prioriteiten, bijvoorbeeld periodiek noodzakelijke ophogingen in gebieden met een slappe ondergrond.

De aanwezigheid van windturbines kan van invloed zijn op de volgende beheeraspecten:

- De toegankelijkheid: de inspectie, de monitoring of het beheer en onderhoud van de waterkering kan bemoeilijkt worden door de bouw en aanwezigheid van windturbines.
- De doelmatigheid en uitvoerbaarheid: het organiseren van het onderhoud kan bemoeilijkt worden door het feit dat meerdere partijen gebruik maken van de waterkering.
- De inspanning: extra inspectie en extra onderhoudsmaatregelen kunnen nodig zijn wegens mogelijke schade aan onderdelen van de waterkering.
- De aantoonbaarheid in het kader van de beoordeling. Er moet periodiek aangetoond worden dat de waterkering voldoet aan de waterveiligheidseisen inclusief de windturbine(s).

### 3.3 PROJECTFASEN

De stapsgewijze aanpak voor de technische beoordeling van de effecten van een windturbine op de waterkering volgt de hierna genoemde projectfasering. In deze paragraaf is de fasering kort toegelicht, in de volgende hoofdstukken is per fase in detail uitgewerkt welke acties nodig zijn van de initiatiefnemer en wat van de waterkeringbeheerder wordt verwacht.

#### INITIATIEFASE

Deze fase begint bij de initiatiefnemer met een initiatief tot het plaatsen van een windturbine op/nabij een waterkering. De fase eindigt met een initieel standpunt van de waterkeringbeheerder omtrent de kansen en risico's voor de kering bij ontwikkeling van de windturbine op de voorgenomen locatie.

#### ONTWERPFASE

Als de onderbouwing van de ruimtelijke locatiekeuze van de windturbines voldoende is en de globale additionele faalkansbijdrage acceptabel is, kan gestart worden met de ontwerpfasering. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in:

- Voorlopig ontwerp: in deze fase wordt de technische beoordeling van de effecten van de windturbine op de faalkans van de kering uitgewerkt. Deze fase eindigt met het al dan niet afgeven van een watervergunning door de waterkeringbeheerder.
- Definitief ontwerp: deze fase bestaat uit de keuze van turbine en mast en uitwerken van de fundering op basis van detailanalyses en het ontwerp van kraanopstelplaatsen. Hierbij dienen uitgangspunten uit de vorige fase te worden geverifieerd en zo nodig te worden herzien. Vervolgens worden inspectie-, onderhouds- en monitoringsplannen opgesteld. De beheerder dient te verifiëren of aan alle voorwaarden uit de watervergunning wordt voldaan.

#### BOUWFASE

Deze fase begint met het opstellen van het werkplan waarin de bouwmethode en bouwfasering verder is uitgewerkt. Ook dient een calamiteitenplan te worden opgesteld en afgestemd met de waterkeringbeheerder. Na goedkeuring van deze plannen door de beheerder kan door de initiatiefnemer worden gestart met de bouw van de windturbines en bijbehorende werken. Hierbij dient speciale aandacht te zijn voor inspectie en monitoring. Na de bouw van de windturbines dienen de as-built tekeningen van de windturbines, inclusief kraanopstelplaatsen en toegangswegen aan de beheerder te worden overhandigd.

#### EXPLOITATIEFASE

Tijdens de exploitatie van de windturbines zullen beoordelingen van de waterkering worden uitgevoerd. Hiervoor is het van belang de inspectie-, onderhouds- en monitoringsrapporten te beschouwen. Voor de potentiële risico's die spelen dient een calamiteitenplan te worden opgesteld.

#### ONTMANTELINGSFASE

Aan het einde van de levensduur van de windturbines zullen deze worden verwijderd. Voordat tot de werkelijke ontmanteling kan worden overgegaan dient een werkplan te worden overhandigd waarin de werkmethodes worden beschreven. Daarnaast dient een calamiteitenplan te worden opgesteld voor deze fase. Na goedkeuring door de beheerder kan door de initiatiefnemer worden gestart met de ontmanteling. Aan het einde van deze fase dient de as-built van de nieuwe situatie, zonder windturbines maar veelal met een achtergebleven deel van de fundering, aan de beheerder te worden overhandigd.

# 4

## INITIATIEFASE

### 4.1 INLEIDING

Voordat wordt begonnen met de bouw van een windturbinepark dient de initiatiefnemer te voldoen aan de wettelijke verplichtingen: de benodigde vergunningen en ontheffingen moeten van kracht zijn. Al vroeg in de projectontwikkeling wil de initiatiefnemer aannemelijk hebben dat de benodigde watervergunning (naast de omgevingsvergunning en de ontheffing op grond van de Wet natuurbescherming) kan worden verkregen. Om de haalbaarheid te bepalen, wordt in de initiatiefase van een windproject nagegaan of waterkeringen zijn gelegen binnen de effectafstanden van de beoogde windturbines en opstellingen van het windpark. Bij overlap van de effectafstanden van de windturbines met de keurzones van de waterkering kan er sprake zijn van een negatief effect op de waterkering.

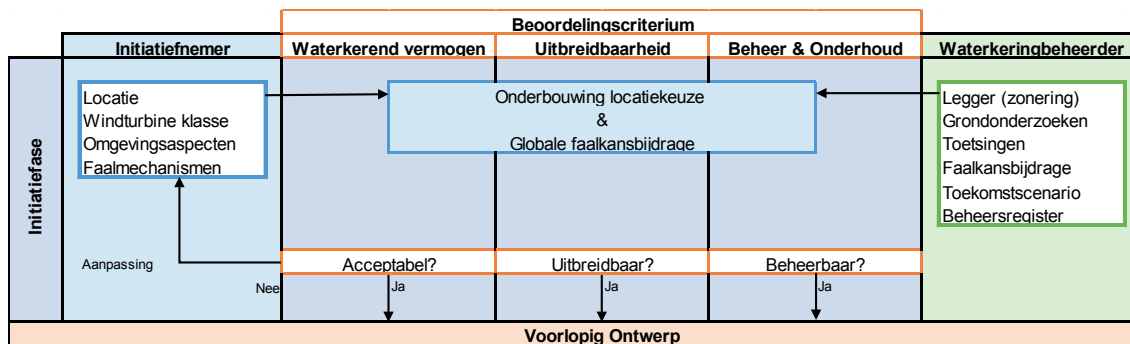
Vervolgens zal een verkennend gesprek plaats moeten vinden tussen de initiatiefnemer en de waterkeringbeheerder om vast te stellen wat het handelingsperspectief is: nee, tenzij...', 'ja, mits...' of anders? (Koppeling met par 4.2 uit 'Bestuur en Beleid'). Een andere belangrijke vraag voor het verkennend gesprek is: hoeveel faalkansruimte wordt geboden voor het betreffende object?

Om antwoord te kunnen geven op deze vragen is vroegtijdig inzicht nodig in de huidige faalkans van de waterkering en de te verwachten bijdrage van de windturbines op de overstromingskans. Door de initiatiefnemer kan hiervoor een eenvoudige beoordeling van de bovengrondse en ondergrondse effecten worden uitgevoerd. Beoordeling van de bovengrondse effecten vindt plaats op basis van verkennende analyses veelal op basis van conservatieve aannames. Voor de ondergrondse effecten kan worden volstaan met een kwalitatieve beoordeling. De uitkomsten worden vervolgens getoetst aan de wensen en eisen van de waterkeringbeheerder. Pas wanneer de te verwachten invloed van het windpark op de waterveiligheid als acceptabel wordt beoordeeld door de waterkeringbeheerder, wordt verder gegaan met de ontwerpfase en de daadwerkelijke aanvraag van de watervergunning.

In onderstaand schema is voor deze fase aangegeven welke informatie door de initiatiefnemer wordt verzameld/aangeleverd en welke informatie de waterkeringbeheerder veelal beschikbaar heeft. Het 'eindproduct' van de initiatiefase is een onderbouwde locatiekeuze voor het windpark.



FIGUUR 4.1 STROOMSCHEMA BEOORDELING INVLOED WINDTURBINES OP WATERKERINGEN INITIATIEFASE



## 4.2 UITGANGSPUNTEN EN RANDVOORWAARDEN

In de initiatiefase is veelal alleen de mogelijke positie van de windturbines in beeld. Het type windturbine en het tracé van de wegen en bekabeling is nog niet vastgelegd. De in deze fase te verzamelen gegevens moeten voldoende zijn om een aanname voor de haalbaarheid voor het verkrijgen van een watervergunning mogelijk te maken.

### WINDTURBINEPOSITIES

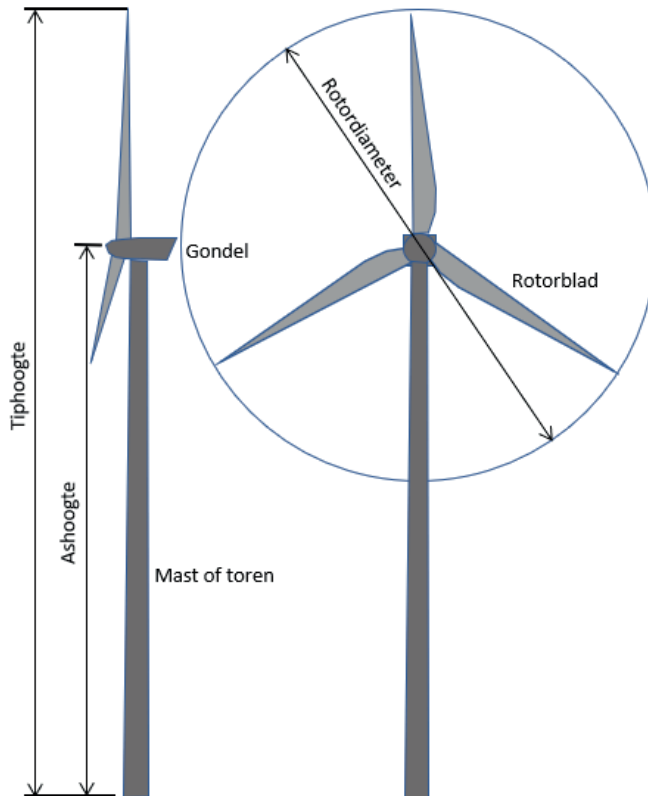
Veelal worden in deze fase door de initiatiefnemer nog meerdere opstellingen beschouwd. Bij voorkeur dienen de beoogde posities, alsmede de beschikbare ruimte om de posities te verschuiven, te worden weergegeven op een gedetailleerde topografische ondergrond.

### WINDTURBINEKLASSE

Voor de windturbines wordt in de verkennende fase meestal een bandbreedte aangehouden voor het vermogen, de ashoogte, de rotordiameter en de tiphoogte. De initiatiefnemer dient duidelijk de bandbreedte en de bovengrens voor de verschillende parameters vast te leggen. Voor de omvang en het ruimtebeslag van de turbines en de belasting van de waterkering is het tevens van belang het type fundering en constructiemateriaal aan te geven (beton of metaal).

FIGUUR 4.2

## DEFINITIES WINDTURBINE

**WINDTURBINE FUNDATIE**

De fundatie van de windturbine heeft (intrinsiek) ook een invloed op de ondergrond en de stabiliteit van de waterkering. Voor paalfundaties dienen altijd grondverdringende paalsysteem toegepast worden. Hierbij treedt verdichting van de ondergrond op en wordt geen grond verwijderd. Bij grondverwijderende paalsystemen kunnen ontspanning van de grond, kiervorming en toename van kwel optreden. Ook toepassing van grondverdringende paalsystemen met een verbrede punt wordt afgeraden.

Fundatie op staal zijn nog in ontwikkeling.

**GEOMETRIE VAN DE WATERKERING**

Informatie over de geometrie is veelal beschikbaar in de legger, maar kan ook via bijvoorbeeld de AHN-viewer worden verkregen. Specifieke informatie is op te vragen bij de waterkeringbeheerder. Het profiel van de waterkering dient voldoende informatie te bevatten, met zowel metingen in het achterland als in het voorland, indien relevant ook onderwatertaluds.

**GRONDONDERZOEK EN BODEMOPBOUW**

In de initiatiefase dient beschikbare geotechnische informatie zorgvuldig te worden verzameld, vastgelegd en geïnterpreteerd. In deze informatie moeten zijn begrepen de regionale geologie, de aardbevingsgevoeligheid, de hydrologie en de geschiedenis van het terrein. Rekening moet zijn gehouden met indicaties over de variabiliteit van de ondergrond.

Gegevens betreffende de regionale bodemopbouw zijn veelal bij de waterkeringbeheerder beschikbaar. Andere bronnen die kunnen worden geraadpleegd zijn:

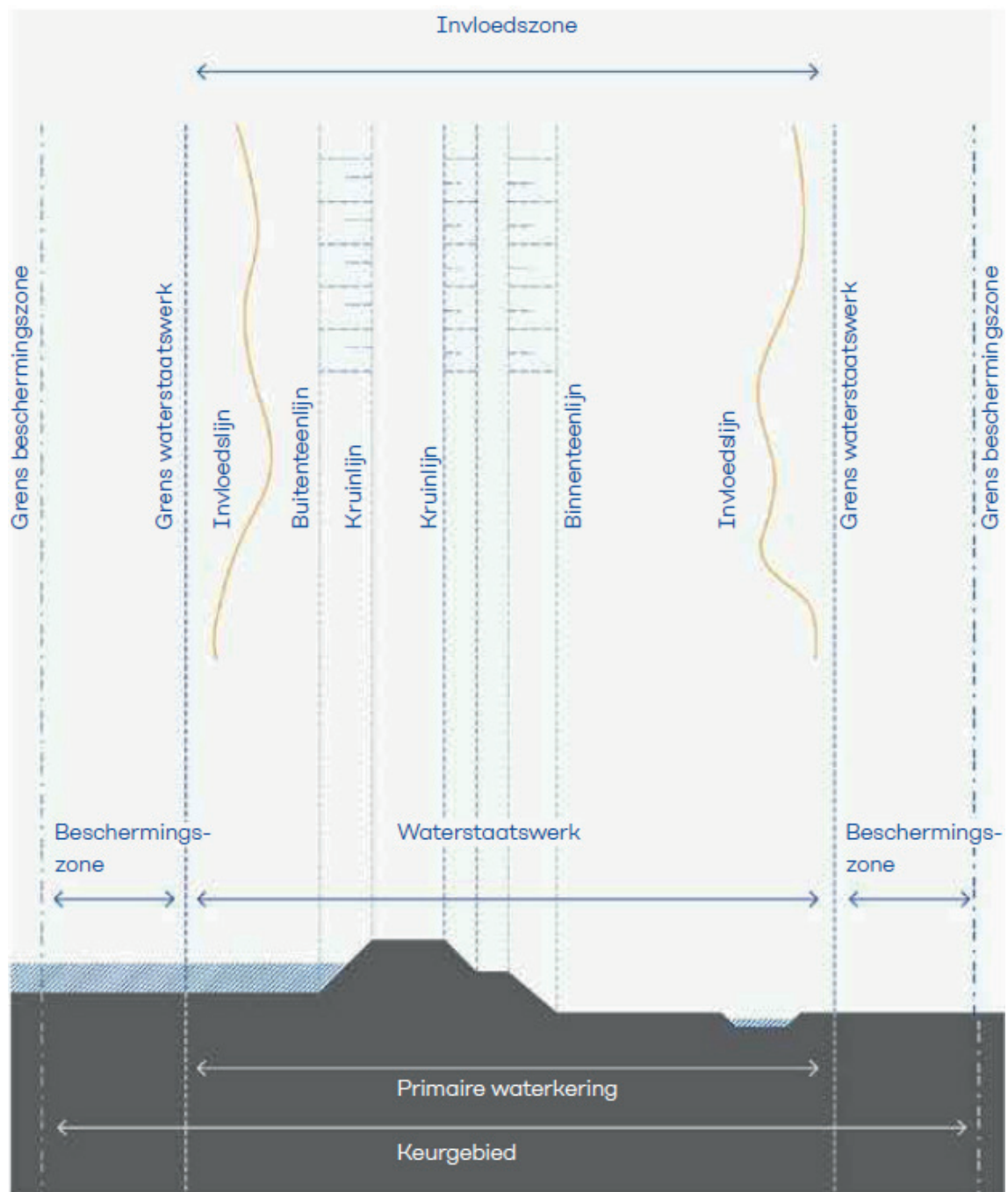
- Luchtfoto's/Google Earth;
- Geologische kaartbladen TNO;

- DINO-database ([www.dinoloket.nl](http://www.dinoloket.nl)); / BRO ([www.basisregistratieondergrond.nl](http://www.basisregistratieondergrond.nl));
- Gegevens grondwaterstanden ([www.grondwatertools.nl](http://www.grondwatertools.nl));
- Oude landkaarten (vooral in kustgebieden, locaties oude getij/stroomgeulen e.d.).

### WATERKERINGZONERING

Nagegaan dient te worden welke eisen worden gesteld aan de waterkering ten aanzien van de waterveiligheid. Deze regels zijn vastgelegd in de Keur en bijbehorende Legger. Aan de hand van de Keur en Legger kan de waterkeringzoningering worden vastgesteld voor het dijktraject, waarin de windturbines zijn geprojecteerd. Een voorbeeld van de zoneringsgrenzen is weergegeven in Figuur 4.3.

FIGUUR 4.3 VOORBEELD ZONERING WATERKERING [REF 2]



### ERVARING WATERKERINGBEHEERDER

Ervaringen van de waterkeringbeheerder zijn relevant voor het bepalen van de overstromingskansen in de bestaande situatie zonder windturbines. Eerdere veiligheidsonderzoeken (indien beschikbaar) en ontwerpdocumenten kunnen duidelijkheid geven over de kritische faalmechanismen van de dijk en de aanwezige veiligheidsmarge (indien de waterkering volgens WBI beoordeeld is).

### 4.3 ONDERBOUWING LOCATIEKEUZE

Windturbines kunnen op meerdere manieren een risico vormen voor hun omgeving of kunnen hinder opleveren voor mens en milieu. Risico's voor het waterkerend vermogen is slechts een van de aspecten die beschouwd moet worden in de locatiekeuze voor nieuwe initiatieven. Andere aspecten zijn o.a. geluidhinder, slagschaduw, visuele hinder, afleiding van verkeersdeelnemers en risico's voor nabijgelegen kwetsbare objecten en activiteiten.

De initiatiefase begint veelal met een verkennend gesprek tussen de initiatiefnemer en de waterkeringbeheerder. In de Handreiking Bestuur en Beleid [REF 14] worden hiervoor belangrijke aandachtspunten beschreven. Naast de bestuurlijke aspecten, is het voor beide partijen van belang in deze fase een goed beeld te krijgen van de technische (on)mogelijkheden voor de plaatsing van windturbines op of nabij de waterkering.

#### Rol waterkeringbeheerder

De waterkeringbeheerder dient in deze fase samen met gemeenten en de provincies kenbaar te maken wat de wensen, eisen en aandachtspunten zijn voor de plaatsing van windturbines. Zoals beschreven in de Handreiking Bestuur en Beleid [REF 14] kan de waterkeringbeheerder hierbij met verschillende petten aan tafel zitten: als bevoegd gezag, als grondeigenaar en als belanghebbende. Voor de vaststelling/aanwijzing van verschillende locaties is het van belang dat de waterkeringbeheerder op de hoogte is van de technische (on)mogelijkheden. Denk hierbij aan:

- Welke zonerings is vastgelegd in de Legger? Vaak zijn de legger en keurzonerings niet op maat als het gaat om plaatsen van windturbines. Bij het vaststellen van de invloedzones is nog geen rekening gehouden met cyclische en dynamische belasting bij het gebruik van een windturbine, evenals met belastingen door het falen van een windturbine. Een windturbine kan net buiten de beschermingszone staan, maar toch door mastbreuk of afwerpen van een rotorblad de waterveiligheid negatief beïnvloeden.
- Wat is de huidige overstromingskans (op basis van de beoordeling) en hoe verhoudt deze zich tot de normering?
- De resultaten van de laatste wettelijke beoordeling en de faalkansbegroting.
- Welke NWO's bevinden zich al in het dijktraject en welke ruimte in de faalkansbegroting is beschikbaar voor NWO's?
- Wat is een acceptabele faalkansbijdrage aan de waterkering?
- Wat is de interactie van de huidige NWO's met windturbines?
- Is er een versterkingsopgave in de betreffende omgeving? Meekoppelkansen?

#### ROL INITIATIEFNEMER

Door de initiatiefnemer kan als onderdeel van de locatiekeuze een risicoanalyse worden uitgevoerd. De risicoanalyse geeft inzicht in de risico's voor de omgeving. Het Handboek Risicozonering Windturbines [REF 3] is hiervoor van toepassing. Veelal worden meerdere opstellingen beschouwd en wordt een bandbreedte aangehouden voor de ashoogte, rotordia-

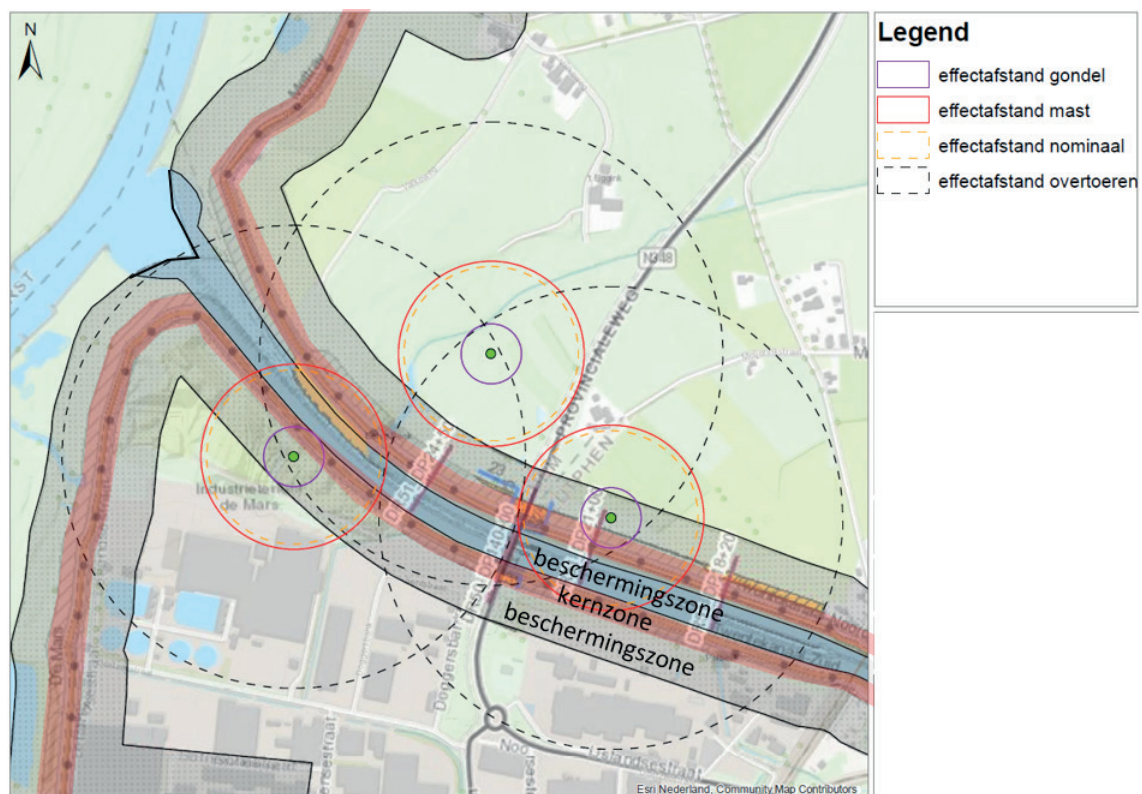
meter en tiphoogte. Aan de hand van de risicoanalyse kan een zogenaamd voorkeursalternatief (VKA) worden gekozen.

Onderdeel van de risicoanalyse is het vaststellen of er sprake is van overlap van de effectafstanden van de windturbine met de keurzonering van de waterkering. Zolang de legger niet op maat is gemaakt voor windturbines, dient de huidige keurzonering als basis. Er kan worden gesteld dat sprake is van mogelijk negatieve beïnvloeding als er een overlap is van de keurzones met een van de risicocontouren voor het afbreken van de gondel, mastbreuk of het afbreken van een blad (bij nominaal toerental of overtoeren) conform het Handboek Risicozonering Windturbines.

Opgemerkt wordt dat het in deze risicoanalyse voldoende is om alleen de bovengrondse effecten te beschouwen. Ondergrondse effecten zijn veelal niet onderscheidend voor de locatiekeuze.

Na acceptatie door de waterkeringbeheerder van de locatiekeuze kan verder worden gegaan met een eenvoudige (grove) beoordeling van de invloed op het waterkerend vermogen (sectie 4.5), de uitbreidbaarheid (sectie 4.6) en het beheer en onderhoud (sectie 4.7). Aangetoond dient te worden dat de windturbines geen significant risico voor de waterkering vormen. Indien dit wel het geval is kan mogelijk de locatiekeuze of windturbintype worden heroverwogen, of kunnen (aanvullende) maatregelen worden voorgesteld.

FIGUUR 44 VOORBEELD OVERLAPPING VAN RISICOCONTOUREN (EFFECTAFSTANDEN) MET DE KEURZONERING



#### 4.4 SELECTIE RELEVANTE EFFECTEN EN FAALMECHANISMEN

##### Inventariseren effecten

Het beoordelen van de invloed van de windturbine op de waterveiligheid begint met het inventariseren van alle mogelijke ondergrondse en bovengrondse effecten. In Bijlage A2 is een overzicht opgenomen van mogelijke effecten. In de tabel is onderscheid gemaakt in de verschillende beoordelingscriteria en projectfasen. Daarnaast is aangegeven op welke faalmechanismen van de waterkering de effecten invloed kunnen hebben.

De geïnventariseerde effecten en faalmechanismen kunnen in de latere ontwerpfase op basis van aanvullende informatie worden geactualiseerd.

Het maken van gebeurtenissenboom en/of foutenboom kan helpen om de samenhang tussen de faalmechanismen waterkering en de effecten nader te beschrijven.

Effecten die in ieder project aan de orde moeten komen zijn:

1. Bouwfase:
  - Trillingen bij aanleg fundering;
  - Trillingen bouwverkeer;
  - Kraanbelasting en aanwezigheid van materieel;
  - Verandering geometrie;
  - Ontgravingen en aanvullingen ten behoeve van aanleg weg, kraanopstelplaats, kabels en leidingen, fundering (inclusief bemaling);
2. Exploitatiefase:
  - Falen windturbine: mastbreuk, val gondelhuis en bladbreuk;
  - Trillingen door windbelasting;
  - Wijziging kwelweg (langs palen en/of kabels en leidingen);
  - Onderbreking van de bekleding door aanwezigheid van de fundering;
  - Aanwezigheid turbine: dijkversterking, overzichtelijkheid,
  - (groot) Onderhoud aan windturbine. Kraanbelasting en aanwezigheid van materieel;
3. Ontmantelingsfase:
  - Trillingen;
  - Kraanbelasting;
  - Achterblijven palen / resten fundering(splaat);
  - Ontgravingen (verwijderen K&L, fundering).

##### FAALMECHANISMEN WATERKERING

Per te beschouwen direct faalmechanisme van de waterkering, zie paragraaf 3.2.1, dient de additionele kans op een overstroming door het beschreven effect (bijvoorbeeld trilling) te worden bepaald. Als uitgangspunt kan worden aangenomen dat deze additionele kans kleiner dan 1% van de normsituatie (autonome overstromingskans) moet zijn [REF 5]. Bij een significant negatief effect kunnen maatregelen worden voorgesteld, waarmee de negatieve effecten verholpen of voorkomen kunnen worden.

Opgemerkt wordt dat voor de beoordeling van de effecten met name de exploitatiefase van belang is. Voor de bouw- en verwijderingsfase kunnen randvoorwaarden (bijvoorbeeld uitvoering buiten het stormseizoen of toepassing van een trillingvrij paalsysteem) worden gesteld, zodat een eventuele calamiteit geen gevaar voor overstromen oplevert.



## 4.5 EENVOUDIGE BEOORDELING WATERKEREND VERMOGEN

### 4.5.1 VASTSTELLEN TOELAATBARE FAALFREQUENTIE WATERKERING

De eisen ten aanzien van de overstromingskansen staan in de Waterwet. Per 1 januari 2017 zijn nieuwe eisen opgenomen ten aanzien van overstromingskansen, die uitgedrukt zijn als maximaal toelaatbare faalkans van het waterkeringstraject. Van belang is dat de overstromingskans aangeduid is als *‘de kans op verlies van waterkerend vermogen van een dijktraject waardoor het door het dijktraject beschermde gebied zodanig overstroomt dat dodelijke slachtoffers of substantiële economische schade ontstaan’* (artikel 1.1). Deze definitie betekent dat bijvoorbeeld een beschadiging van de bekleding acceptabel is, mits deze tijdig wordt gerepareerd en niet leidt tot een grootschalige overstroming.

De waterkeringbeheerder bepaalt wat als beoordelingscriteria wordt gehanteerd.

### 4.5.2 BEOORDELING VAN GEVOLGEN DOOR BOVENGRONDSE EFFECTEN

De gevolgen door bovengrondse effecten kunnen door de initiatiefnemer worden beoordeeld door het volgen van de volgende stappen:

1. Grove inschatting op basis van raakfrequentie:
  - Vaststellen faalscenario's en bijbehorende faalkansen van de windturbine;
  - Vaststellen van de effectafstanden per faalscenario (de maximale val- en werpafstand);
  - Vaststellen van de kritische strook van de waterkering, waarbinnen het neerkomen van een windturbine, of een onderdeel hiervan, kan leiden tot falen van de waterkering;
  - Vaststellen van de raakfrequentie (faalfrequentie x trefkans) per faalscenario;
2. Gedetailleerde inschatting met behulp van restprofiel:
  - Bepalen van het restprofiel van de waterkering bij neerkomen van een windturbine-onderdeel;
  - Bepalen van de kans op falen van het restprofiel tijdens de herstelperiode. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen stormafhankelijke en niet-stormafhankelijke situaties;
  - Berekenen van de additionele faalfrequentie per scenario op basis van de faalfrequenties voor het falen van de windturbine, de totale raakfrequenties en de kans op falen van de kering tijdens reparatie;
  - Toetsing van de additionele faalfrequentie aan het toetsingscriterium.

#### FAALSCENARIO'S

De beoordeling van de gevolgen voor het waterkerend vermogen door bovengrondse effecten richt zich op de volgende faalscenario's voor de windturbine (overeenkomstig het Handboek Risicozonering Windturbines [REF 3]):

1. Het omvallen van de mast, inclusief gondelhuis en rotor;
2. Het neerkomen van het gondelhuis met de rotor;
3. Bladbreek of het afbreken van delen van een rotorblad.

Het faalmechanisme 'omvallen volledige windturbine' wordt beschouwd als het worst-case scenario dat kan optreden als de verbinding met het fundament of het fundament bezwijkt, waardoor de windturbine als geheel omvalt.

Het faalmechanisme 'neerstorten gondelhuis' houdt in dat de verbinding tussen de toren en het gondelhuis bezwijkt. In dat geval komt het gondelhuis in zijn geheel naar beneden.

Het faalmechanisme ‘afwerp rotorblad’ houdt in dat een rotorblad als geheel of een onderdeel van het rotorblad losraakt tijdens het draaien. Hierbij worden twee scenario’s onderscheiden; afwerpen bij nominaal toerental en afwerpen bij overtoeren (2x nominaal toerental).

### CORRELATIE FAALSCENARIO’S MET STORM EN HOOGWATER

In het Handboek Risicozonering Windturbines [REF 3] zijn kansen op falen van de verschillende onderdelen van een windturbine voorgeschreven. Deze kansen zijn gebaseerd op ervaringscijfers. Daarbij wordt niet ingegaan op de correlatie tussen harde wind (en hoogwater) en het optreden van een specifiek faalscenario.

Hoogwater kan samenvallen met stormcondities en de faalkans van de windturbine onderdelen kan afhankelijk zijn van de windsnelheid. Daarmee kan er dus een correlatie zijn tussen hoogwater en falen van de onderdelen. Overwogen kan worden onderscheid te maken tussen de stormgerelateerde faalscenario’s mastbreuk en bladworp in overtoeren, en het niet stormgerelateerde faalscenario bladworp nominaal. Hiermee wordt weliswaar afgeweken van het Handboek Risicozonering Windturbines, maar wordt het gelijktijdig optreden van de windbelasting op de windturbine en de hydraulische belastingen op de dijk beter meegenomen.

### FAALFREQUENTIES

Voor het vaststellen van de faalfrequenties voor de beoogde windturbine kan het Handboek Risicozonering Windturbines [REF 3] worden gehanteerd. In sommige gevallen is voor een windturbine een certificaat aanwezig, waarin de faalfrequentie is gespecificeerd. Veelal is dit soort, gespecificeerde, informatie in deze fase nog niet beschikbaar. In tabel 4.1 zijn de algemene waarden uit het handboek overgenomen, welke gelden voor windturbines vanaf 1 MW tot en met 5 MW.

TABEL 4.1

SCENARIO'S EN FAALFREQUENTIES VOOR DE WINDTURBINES

| Scenario                                      | Faalfrequentie [1/jaar] |
|---|-------------------------|
| Omvallen van de mast (inclusief gondel/rotor) | $1,3 \cdot 10^{-4}$     |
| Neerstorten van de gondel en/of de rotor      | $4,0 \cdot 10^{-5}$     |
| Bladbreek bij nominaal toerental              | $8,4 \cdot 10^{-4}$     |
| Bladbreek bij overtoeren                      | $5,0 \cdot 10^{-6}$     |

Opgemerkt wordt dat bovenstaande waarden conservatief zijn (5% overschrijdingskans) en representatief zijn voor oudere windturbintypes. De incidenten waarop de faalfrequenties zijn gebaseerd gaan tot 2007, waardoor de veiligheidsverbeteringen van de afgelopen jaren niet zijn meegenomen in deze berekeningen. Door verbeteringen van het veiligheidssysteem en verbeterde technologie en kwaliteitscontrole zijn de huidige generatie windturbines veiliger geworden. Kortom, de berekende faalkansbijdrage kan worden beschouwd als een veilige bovengrensbepaling.

### EFFECTAFSTAND

Het Handboek Risicozonering Windturbines beschrijft methoden en bevat tabellen voor het vaststellen van de maximale werpafstand bij verschillende faalscenario’s.

Bij omvallen van een windturbine door mastbreuk is het maximale valbereik gelijk aan de som van de ashoogte en een halve rotordiameter, ofwel de tiphoogte. Ter indicatie, voor de huidige generatie windturbines bedraagt deze afstand circa 150 à 250 m. Opgemerkt wordt



dat de gondel een puntimpact geeft en daardoor de grootste schade zal veroorzaken. De rotorbladen zullen over het algemeen versplinteren en een beperkte impact hebben.

Bij rotor- en gondelval zal het onderdeel recht naar beneden vallen en reikt de zone van het neerkomen van het gondelhuis niet verder dan een halve rotordiameter. Voor de huidige generatie windturbines bedraagt deze afstand, indicatief, circa 45 à 75 m.

Voor de bepaling van de effectafstanden van bladafworp worden in het Handboek Risicozonering Windturbines [REF 3] rekenregels gegeven. Bij overtoeren bedraagt de werpafstand al gauw enkele honderden meters. Overwogen kan worden hierbij onderscheid te maken tussen stormgerelateerde en niet-stormgerelateerde scenario's.

Voor de initiatiefase kan in eerste instantie worden uitgegaan van de meest ongunstige positionering en type windturbine (wat betreft afmetingen en gewichten van de onderdelen)<sup>3</sup>. Indien de additionele faalfrequentie niet acceptabel is kan verplaatsing of een andere type windturbine worden overwogen.

### **KRITISCHE STROOK WATERKERING**

De kans dat de waterkering faalt door neerkomen van de windturbine of windturbineonderdeel is afhankelijk van de plaats van neerkomen en de schade aan de waterkering. De zone waarbinnen het neerkomen kan leiden tot falen van de waterkering is gedefinieerd als de kritische strook. Bij het neerkomen van de windturbine of windturbineonderdeel buiten de kritische strook zal de waterkering blijven functioneren.

Voor de initiatiefase wordt geadviseerd om de gehele keurzone (kernzone en beschermingszone) te beschouwen als kritische strook. Eventueel kan in een latere ontwerpfase een nader onderscheid worden gemaakt op basis van risicozonering (van grof naar fijn), zie paragraaf 5.3.

Berekend is de trefkans dat een falende windturbine of windturbineonderdeel neerkomt in de kritische strook..

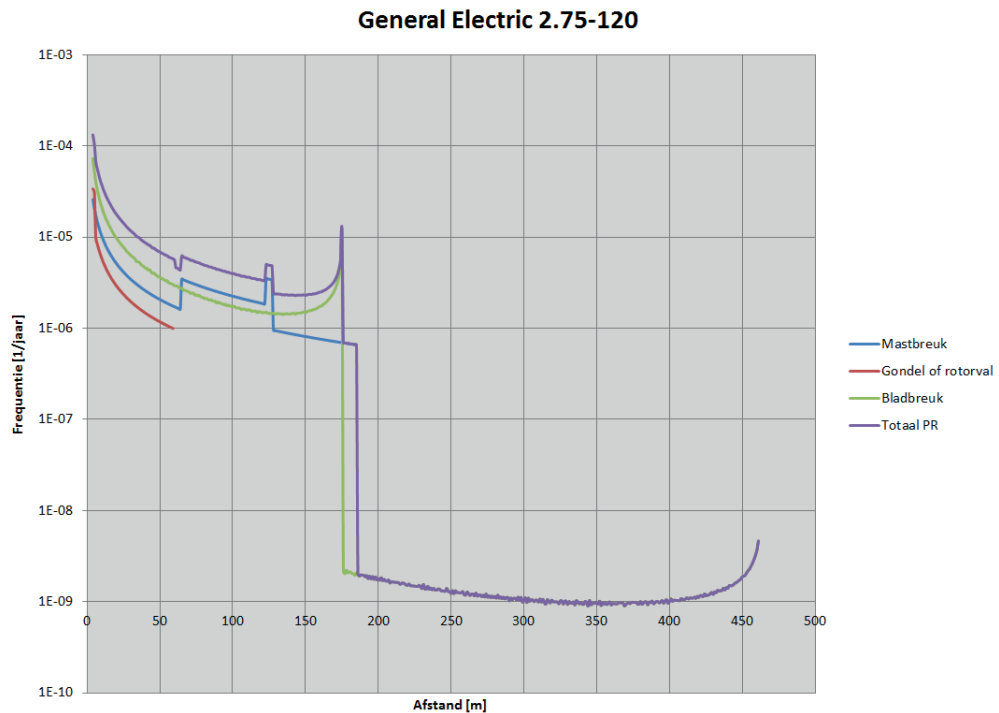
### **RAAKFREQUENTIE**

Het Handboek Risicozonering Windturbines [REF 3] kan worden gebruikt om te berekenen wat de kans is dat een falende windturbine of windturbineonderdeel neerkomt in de kritische strook. Vermenigvuldiging van de faalfrequentie met de trefkans resulteert in de raakfrequentie.

<sup>3</sup> Dit is in lijn met de uitgangspunten die worden gehanteerd voor het opstellen van de dikwijls benodigde milieu effect rapportage. Ook daarin wordt uitgegaan van bovengrenswaarden van afmetingen en vermogen.

FIGUUR 4.5

VOORBEELD RAAKFREQUENTIE ALS FUNCTIE VAN DE AFSTAND VOOR EEN WINDTURBINE



#### RESTPROFIEL WATERKERING EN RESPONSTIJD

Bij neerkomen binnen de kritische strook voor dijken zal schade aan de waterkering optreden door kratervorming. Op basis van empirische relaties kan een inschatting worden gemaakt van de te verwachten kraterdiepte. Het neerkomen van een complete gondel met rotor kan leiden tot een kraterdiepte van enkele meters. Bij neerkomen van een rotorblad wordt een geringere indringing verwacht.

Schade aan de waterkering kan leiden tot verlaging van de kruinhoogte, beschadiging van de bekleding (resultierend in erosie) of afschuiven van de waterkering. In deze periode is er een gereduceerd waterkerend vermogen. Wel kan er sprake zijn van een restprofiel, dat nog een bepaalde waterstand kan keren. Er is in dat geval een responstijd en periode voor herstel. Er is pas sprake van overstroming wanneer tijdens dit herstel een waterstand optreedt tot boven het niveau van het restprofiel. Er is dus sprake van een gebeurtenis (deeltkans) welke gelijktijdig met het falen van een windturbine of windturbineonderdeel dient op te treden. Per locatie of situatie dient te worden nagegaan of sprake is van afhankelijkheid tussen windsnelheid en (hoog) waterstand. Zo is bij een rivierdijk in het bovenrivierengebied, waarbij de hydraulische belasting alleen wordt gedomineerd door de afvoer van de rivier, geen correlatie met harde wind.

Voor het restprofiel wordt in de initiatiefase vaak nog geen kraterdiepte bepaald. Veelal wordt een aanname gedaan die in een latere fase geverifieerd dient te worden. Zo kan het niveau van het voorland worden aangehouden als hoogte voor de nog te keren hoogwaterstand. Ook kan worden aangenomen dat het aanwezige restprofiel een waterstand niet meer kan keren, welke optreedt in het geval van een “lichte storm” die enkele keren per jaar kan voorkomen. Op basis van de beschikbare waterstatistiek kan de overschrijdingsfrequentie van de hoogwaterstand ( $F_{HW}$ ) worden afgeleid.

De responstijd dient in samenspraak met de waterkeringbeheerder te worden afgesproken. Hoe langer de herstelperiode, hoe groter de kans dat zich een hoogwatersituatie voordoet die

kan resulteren in een overstroming. Dit is voor een deel ook afhankelijk van het type dijk en de locatie ten opzichte van de windturbine. In de meeste gevallen is het conservatief om uit te gaan van 14 dagen voor de som van de detectietijd, responstijd en herstelduur. Ten aanzien van de detectietijd wordt opgemerkt dat hedendaagse windturbines 24 uur per dag worden gemonitord door middel van een SCADA-systeem. Gangbaar is dat een windturbine zich in ieder geval één keer per 24 uur meldt. Een detectietijd van 24 uur is daarom aannemelijk. Bij mastbreuk waarbij de kering door de mast wordt geraakt of bladbreuk resulterend in beschadiging van de bekleding van het buitentalud is een herstelduur van 14 dagen realistisch. In dergelijke situaties moet rekening worden gehouden met het verwijderen de onderdelen van de windturbine en het treffen van (tijdelijke) herstelmaatregelen.

### ADDITIONELE FAALFREQUENTIE

De additionele faalfrequentie voor de waterkering kan voor elk van de verschillende faalscenario's worden bepaald als product van de totale raakfrequentie en de faalfrequentie dat de beschadigde waterkering faalt tijdens de herstelperiode.

Er geldt dan per faalscenario:

$$F_{(\text{falen wk}; \text{scenario})} = (F_{(\text{scenario})} \times P_{(\text{tref})}) \times (F_{(\text{HW} > \text{Hrest})} \times P_{(\text{herstel})})$$

Met:

$$F_{(\text{falen wk}; \text{scenario})} = \text{faalfrequentie waterkering bij falen van een windturbine of onderdeel [1/jaar]}$$

$$F_{(\text{scenario})} = \text{faalfrequentie turbine [1/jaar]}$$

$$P_{(\text{tref})} = \text{trefkans [-]}$$

$$F_{(\text{HW} > \text{Hrest})} = \text{overschrijdingsfrequentie hoogwater na schade [1/jaar]}$$

$$P_{(\text{herstel})} = \text{faalkans tijdens herstel van schade [-]}$$

$$F_{(\text{scenario})} \times P_{(\text{tref})} = \text{raakfrequentie windturbine [1/jaar]}$$

$$F_{(\text{HW} > \text{Hrest})} \times P_{(\text{herstel})} = \text{faalfrequentie tijdens herstel [1/jaar]}$$

Voorbeeld van eenvoudige beoordeling (zonder invloed van windrichting en voor één faalscenario van de turbine):

1. Faalfrequentie mastbreuk:  $F_{(\text{scenario})} = 1,3 \cdot 10^{-4}$  [1/jaar];
2. Trefkans kritische strook 50%:  $P_{(\text{tref})} = 0,5$
3. Overschrijdingsfrequentie waterstand boven restprofiel:  $F_{(\text{HW} > \text{Hrest})} = 1,0 \cdot 10^{-2}$  [1/jaar]
4. Kans op voorkomen hoogwater tijdens herstelduur 14 dagen:  $P_{(\text{herstel})} = 14/365 = 1/26$ ;
5.  $F_{(\text{falen waterkering})} = 1,3 \cdot 10^{-4} \times 0,5 \times 1,0 \cdot 10^{-2} \times 1/26 = 2,5 \cdot 10^{-8}$  [1/jaar]

### BEOORDELING

De berekende faalfrequentie kan worden getoetst aan de toelaatbare faalkans als volgt:

1. Bepaal de normfrequentie voor het betreffende dijktraject, bijvoorbeeld:
  - Signaleringswaarde = 1/3000 per jaar, ofwel  $3,33 \cdot 10^{-4}$  [1/jaar];
  - Maximaal Toelaatbare Kans (MTK) = 1/1000 per jaar, ofwel  $1,0 \cdot 10^{-3}$  [1/jaar];
2. Bepaal de toegestane faalfrequentietoename, bijvoorbeeld als 1% van de norm op doorsnedenniveau (optie B1 uit KPR memo):
  - $1,0 \cdot 10^{-3} \times 1,0 \cdot 10^{-2} = 1,0 \cdot 10^{-5}$  [1/jaar].
3. De invloed op het waterkerend vermogen is acceptabel indien de additionele faalfrequentie (voor mastbreuk) kleiner is dan de toegestane faalfrequentietoename. In het voorbeeld wordt hieraan voldaan:
  - $2,5 \cdot 10^{-8} \leq 1,0 \cdot 10^{-5}$

In het voorbeeld worden alle (directe) mechanismen die kunnen volgen op het bezwijken van een windturbine samengenomen en behandeld als een (direct) faalmechanisme. Verder beperkt het voorbeeld zich tot één faalscenario van de turbine. De verschillende faalscenario's moeten opgeteld worden.

De waterkeringbeheerder kan ervoor kiezen om het lengte-effect in rekening te brengen door het hanteren van N-factor. Er kan voor N worden uitgegaan van het aantal NWO's in het dijktraject met een maximum van  $N = 10$  [REF 4]. In het bovenstaande voorbeeld bedraagt dan de toelaatbare faalfrequentie bij  $N=10$ :

- $1,0 \cdot 10^{-5} \times 1/10 = 1,0 \cdot 10^{-6}$  [1/jaar].

Opgemerkt wordt dat in deze fase nog geen onderscheid in de afzonderlijke faalmechanismen van de waterkering wordt gemaakt. Dit wordt gedaan, indien nodig, bij de nadere uitwerking in de ontwerpfase.

#### 4.5.3 BEOORDELING VAN GEVOLGEN DOOR ONDERGRONDSE EFFECTEN

De gevolgen door ondergrondse effecten kunnen door de initiatiefnemer worden beoordeeld door het volgen van de volgende stappen:

1. Vaststellen mogelijke ondergrondse effecten van de windturbine in de verschillende fases;
2. Kwalitatieve beoordeling van de effecten ten aanzien van alle faalmechanismen;
3. Vaststellen van de relevante faalmechanismen voor de ontwerpfase.

##### ONDERGRONDSE EFFECTEN

In bijlage A2 (Risico tabel) is een compleet overzicht opgenomen van mogelijke effecten/risico's tijdens de bouw, exploitatie en ontmanteling van een windpark. Bij ieder project moet worden nagegaan welke van deze effecten relevant zijn en nader beoordeeld moeten worden.

De beoordeling van de ondergrondse effecten richt zich in ieder geval op het volgende:

- Trillingen door heien van funderingspalen of damwanden, met als gevolg grondversnellingen, wateroverspanning en gevolgen voor de aansluiting van de bekleding op de fundering;
- Trillingen opgewekt door de windturbine, met als gevolg grondversnellingen, wateroverspanning, etc;
- Belastingtoename door kranen, transporten of opslag van materialen;
- Afname van de sterkte door ontgravingen.
- Kortsluiting tussen twee watervoerende zandlagen

In de kwalitatieve beoordeling is het nog niet nodig de grootte van de te verwachten trillingen tijdens zowel de bouwfase als bij exploitatie van de windturbine te bepalen. In deze fase wordt als uitgangspunt aangehouden dat de trillingen effect kunnen hebben.

De belasting op de ondergrond en waterkering door kranen en transporten of opslag van materiaal zijn in de initiatiefase veelal nog niet bekend. Als voorlopige rekenwaarde kan voor de kraanopstelplaats worden uitgegaan van een funderingsdruk van  $200 \text{ kN/m}^2$  (na spreiding door schotten) [REF 16]. Een typische rekenwaarde van de belasting bij transport is  $100 \text{ kPa}$  over  $3 \text{ m}$  breedte. De grootste belasting treedt op bij verplaatsen van een hulpkraan of windturbine-onderdelen op een 8-assig of 12-assig voertuig (een zogenaamde "self propelled modular transporter").

Voor de afmetingen van eventueel benodigde ontgravingen kan in deze fase het volgende worden aangenomen:

- De diameter of dwarsafmeting van een fundering varieert veelal tussen de 15 en 25 m. De globale plaatdikte is varieert van 1,5 m tot 3 m. Voor de effectbeoordeling kan veiligheids-halve worden uitgegaan van een ontgraving tot 3 m diepte en een diameter van 25 m op ontgravingsniveau;
- Gangbaar is dat voor kraanopstelplaatsen een fundering bestaande uit een laag menggranulaat (0,5 à 1,5 m dikte, afhankelijk van de sterkte van de ondergrond) wordt toegepast, al dan niet met meerdere lagen geogrids. Ook paalfunderingen komen voor. Voor de effectbeoordeling kan worden uitgegaan van een 1,5 m diepe ontgraving voor de aanleg van de fundering;
- De ligging van de benodigde bekabeling wordt veelal pas kort voor de realisatie uitgewerkt. Voor de effectbeoordeling kan in eerste instantie worden uitgegaan van een ontgravingdiepte voor sleuven van 1 m.

### **KWALITATIEVE BEOORDELING**

Het beschouwen van mogelijke ondergrondse effecten van de windturbines op de waterveiligheid wordt bepaald aan de hand van verschillende faalmechanismen. In de beoordeling dient een korte beschrijving van de faalmechanismen te worden opgenomen, evenals de potentiële effecten op de sterkte van of de belasting op de waterkering, welke in de eerste stap zijn geïdentificeerd. Gebruik kan worden gemaakt van de risicotabel zoals opgenomen in bijlage A2.

Op basis van de kwalitatieve beoordeling kan door de waterkeringbeheerder in deze fase een initieel standpunt worden ingenomen omtrent de ontwikkeling van de windturbine op de voorgenomen locatie.

Eventueel kunnen aanpassingen aan de locatie, of bijvoorbeeld funderingstype, worden voorgesteld.

### **RELEVANTE FAALMECHANISMEN**

Aan de hand van de kwalitatieve beoordeling kunnen de voor de te beschouwen waterkering in relatie tot de bouw en aanwezigheid van de windturbine relevante faalmechanismen worden bepaald. Deze dienen in de volgende fase (voorlopig ontwerp) gedetailleerd te worden beoordeeld.

## **4.6 EENVOUDIGE BEOORDELING UITBREIDBAARHEID**

Voor de waterkeringbeheerder is het niet alleen van belang inzicht te krijgen in de effecten van het windpark op de huidige situatie, maar ook een doorkijk te krijgen naar de toekomst. Relevant voor uitbreidbaarheid zijn de volgende aspecten:

### **• HUIDIGE OVERSTROMINGSKANS WATERKERING**

Op basis van bij de waterkeringbeheerder beschikbare resultaten van eerdere toetsingen of beoordelingen van de waterkering kan worden ingeschat welke marge ten aanzien van waterveiligheid aanwezig is. Te denken valt aan het beschouwen van de huidige kruinhoogte in relatie tot de aan te houden toekomstige waterstanden.

- **LEGGERPROFIEL MET PROFIEL VAN VRIJE RUIMTE**

Ook een eenvoudige beoordeling van de locatie van de toekomstige windturbine in relatie tot het profiel van vrije ruimte geeft snel inzicht in de mogelijkheden tot plaatsing van een windturbine nabij de waterkering.

- **VOORGENOMEN ONTWIKKELINGEN WATERKERING EN OMGEVING**

De initiatiefnemer dient bij de waterkeringbeheerder na te gaan of, en zo ja, welke ontwikkelingen bekend zijn ter plaatse van de waterkering of in de omgeving hiervan. De locatie van de windturbine(s) mogen de voorgenomen ontwikkelingen niet belemmeren.

- **VOORGENOMEN FUNDERINGSWIJZE WINDTURBINE**

De funderingswijze van de windturbine dient zodanig te worden gekozen dat deze eventuele uitbreiding van de waterkering bij voorkeur niet belemmert. In de initiatiefase kunnen bepaalde funderingswijze worden uitgesloten of juist worden aangeraden.

#### 4.7 EENVOUDIGE BEOORDELING BEHEER EN ONDERHOUD

De waterkeringbeheerder heeft de wettelijke taak om de primaire kering aan de veiligheidseisen te laten voldoen en voor het noodzakelijke preventieve beheer en onderhoud te zorgen. Vanuit het oogpunt van beheer en onderhoud kunnen de gevolgen van de aanwezigheid van windturbines alleen kwalitatief beschreven worden. Op basis van de beoogde positionering van de windturbines in het profiel van de waterkering kan technisch worden beoordeeld wat de effecten zijn op:

- **BEREIKBAARHEID**

De bereikbaarheid van de waterkering voor beheer en onderhoud en ingrijpen bij calamiteiten mag niet worden belemmerd. In het bijzonder is de bereikbaarheid tijdens extreme omstandigheden van belang. Door ontgravingen of opslag van materialen tijdens de bouw kan de bereikbaarheid worden gehinderd. Door voorwaarden te stellen aan uitvoeringsperiodes en vrij te houden onderhoudspaden kunnen de risico's worden afgedekt.

- **INSPECTEERBAARHEID**

De aanwezigheid van de windturbines kan de inspectie van de waterkering bemoeilijken. Plaatsing op of nabij de waterkering kan de toegankelijkheid en daarmee de inspecteerbaarheid hinderen. Voor alle zones van de waterkering geldt dat een extra inspanning zal moeten worden geleverd. Los van de fysieke belemmeringen speelt dat sommige effecten niet (direct) zichtbaar zijn. Het is van belang om op voorhand te weten wat de 'verstopte' potentiële effecten zijn zodat hier gericht op kan worden geïnspecteerd. Bijvoorbeeld kiervorming of ontstaan van holtes onder of bij de fundering ten gevolge van zetting.

- **ONDERHOUDBAARHEID**

De afname van de beschikbare ruimte en van de begaanbaarheid van de waterkering door de aanwezigheid van windturbines kan het plegen van onderhoud bemoeilijken. Daarnaast kunnen extra onderhoudsmaatregelen nodig zijn wegens mogelijke schade aan de waterkering ten gevolge van de bouw, de exploitatie, het onderhoud en de ontmanteling van de windturbines.

- **CALAMITEITENZORG**

Een goede staat van onderhoud van de windturbines en bijbehorende infrastructuur is belangrijk om de kans op calamiteiten tot een minimum te beperken. Daarnaast moet snel kunnen worden ingegrepen bij een calamiteit met de waterkering, dan wel de windturbine. Geadviseerd wordt om hiervoor afspraken met de initiatiefnemer vooraf vast te leggen.

Wanneer sprake is van ongewenste hinder voor één of meerdere van bovenstaande aspecten, dan kan in gezamenlijk overleg (initiatiefnemer en waterkeringbeheerder) worden gekeken naar mogelijke oplossingen, zoals aanpassing van de positie en/of constructies of de mogelijkheid voor het nemen van maatregelen.

# 5

## VOORLOPIGE ONTWERPFASE

### 5.1 INLEIDING

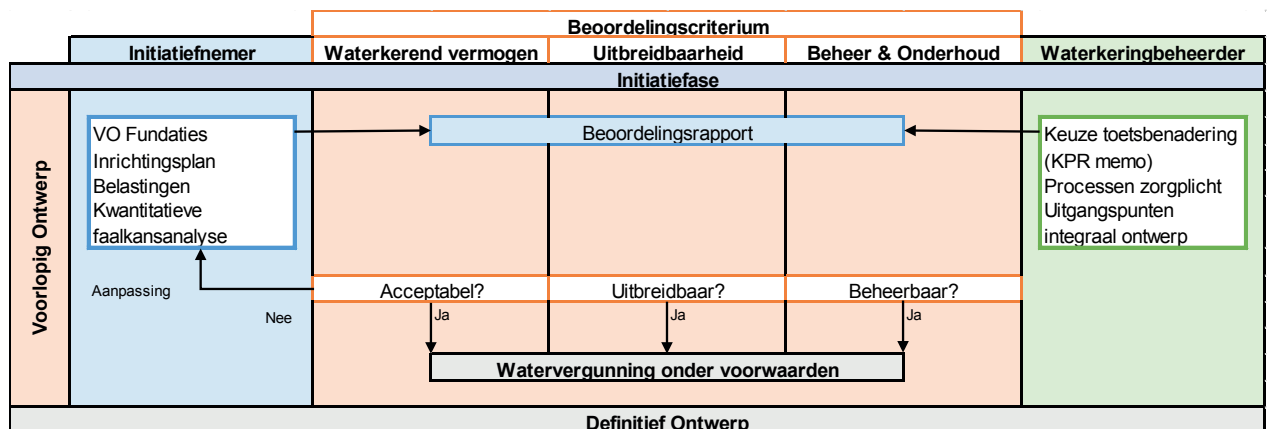
Nadat in de initiatiefase de locatie van de windturbines is vastgesteld en de effecten eenvoudig zijn beoordeeld, wordt in de ontwerpfase een gedetailleerde technische beoordeling uitgevoerd.

Onderscheid wordt gemaakt tussen het voorontwerp en definitief ontwerp van het windpark. In de voorontwerpfase wordt de technische beoordeling veelal uitgevoerd op basis van een voorlopig inrichtingsplan, een beperkt grondonderzoek en de worst-case uitgangspunten voor de windturbines. Op basis van de resultaten wordt door de initiatiefnemer een watervergunning (onder voorwaarden) aangevraagd. In de definitieve ontwerpfase wordt vervolgens aanvullend grondonderzoek uitgevoerd en wordt een definitieve keuze gemaakt voor het type windturbine en het type kranen. In die fase dient geverifieerd te worden of aan alle uitgangspunten en voorwaarden uit de watervergunning wordt voldaan.

Het waterkerend vermogen wordt in de voorontwerpfase kwantitatief beoordeeld op basis van gedetailleerde rekenmethodieken. Ten aanzien van de uitbreidbaarheid en het beheer en onderhoud wordt op basis van het voorlopig inrichtingsplan nagegaan of de windturbines en bijbehorende infrastructuur (met name kabels) geen belemmering vormen of een extra inspanning vergen.

In onderstaand schema is voor deze fase aangegeven welke informatie door de initiatiefnemer wordt verzameld/aangeleverd en welke informatie de waterkeringbeheerder veelal beschikbaar heeft. Het 'eindproduct' van de voorontwerp fase is een watervergunning (onder voorwaarden) voor de bouw van het windpark.

FIGUUR 5.1 STROOMSCHEMA BEOORDELING INVLOED WINDTURBINES OP WATERKERINGEN TIJDENS VOORLOPIG ONTWERP





## 5.2 UITGANGSPUNTEN EN RANDVOORWAARDEN

### INRICHTINGSPLAN

Bij aanvang van de ontwerpfase dient door de initiatiefnemer een inrichtingsplan te worden opgesteld met de positie van de windturbines, kraanopstelplaatsen, wegen en bekabeling.

### TURBINETYPE

Overeenkomstig de voorgaande fase dient de initiatiefnemer vast te leggen wat de bovengrens is voor het vermogen, de ashoogte, de rotordiameter en de tiphoogte van de windturbines.

### GEOMETRIE

De geometrie van de waterkering, zoals bepaald in de voorgaande fase op basis van de legger of AHN is veelal voldoende nauwkeurig. Bij onvoldoende of onbetrouwbare gegevens kunnen aanvullende metingen worden uitgevoerd.

### BODEMOPBOUW

In de voorontwerpfase dient te worden nagegaan of de beschikbare geotechnische informatie voldoende is voor het afleiden van een betrouwbaar grondmodel voor de waterkering ter plaatse van de windturbines. De gegevens moeten voldoende zijn om de laagopbouw af te leiden.

De omvang van het benodigde onderzoek hangt af van de positie van de windturbine en de relevante faalmechanismen en faalscenario's. Het onderzoek moet voldoende zijn voor een kwantitatieve beoordeling van de effecten.

De Eurocode 7 [REF 7] geeft een richtlijn voor de hoeveelheid uit te voeren grondonderzoek. Zowel windturbines als primaire waterkeringen behoren volgens de Eurocode 7 tot geotechnische categorie 3 (GC3). Voor deze categorie gelden specifieke eisen, waarmee rekening moet worden gehouden. Zo geldt onder andere dat sonderingen moeten zijn uitgevoerd met sondeerklasse 1 of 2 volgens EN ISO 22476-1.

Voor windturbines op of nabij waterkeringen kan globaal het volgende als richtlijn worden aangehouden:

- Grondonderzoek ter plaatse van de waterkering op maximaal 25 m van de windturbine-locatie (geprojecteerd loodrecht op de waterkering), waarbij boringen en/of sonderingen (minimaal klasse 2) zijn uitgevoerd in een raai dwars op de waterkering.
- Minimaal 1 sondering met minimaal klasse 2 ter plaatse van de windturbinefundering.

### GRONDPARAMETERS

De waterkeringbeheerder zal veelal een parameter-set of regionale proevenverzameling beschikbaar kunnen stellen, welke gebruikt kan worden in de beoordeling. Indien dit niet het geval is, kan in overleg met de waterkeringbeheerder gebruik worden gemaakt van referentiewaarden zoals opgenomen in de Eurocode 7 [REF 9] of in documenten behorende bij OI2014/WBI2017 [REF 4].

### HYDRAULISCHE BELASTINGEN

De in de beoordeling te hanteren maatgevende hoogwaterstand dient te zijn afgeleid conform de vigerende richtlijnen, welke aansluiten aan bij het OI2014 [REF 4]. Uitgangspunt is verder dat bij de beoordeling van de effecten een (ontwerp)waterstand moet worden aangehouden die verwacht wordt aan het einde van de technische levensduur van 25 jaar. De ontwerp-

peilen kunnen veelal worden afgeleid met behulp van WBI-software<sup>4</sup>. Ten behoeve van de beoordeling van de geotechnische faalmechanismen (stabiliteitssporen) dient de waterstand behorende bij de Maximaal Toelaatbare Kans (MTK) te worden toegepast. Voor beoordeling van de invloed op de hoogte dient conform WBI2017 een waterstand behorende bij een grotere terugkeertijd te worden gebruikt.

Het verloop van de grondwaterstand in en onder de dijk (freatische grondwaterstand en verloop van de stijghoogte van het grondwater in diepere (zand)lagen) dient conform vigerende richtlijnen, opgenomen in bijvoorbeeld Technische Rapporten, worden geschematiseerd.

Naast de maatgevende hoogwaterstand bij de MTK is ook inzicht nodig in de waterstatistiek. Vaak kan de waterkeringbeheerder de waterstatistiek voor de projectlocatie aanleveren.

### **BELASTINGEN TIJDENS DE BOUWFASE**

Inzichtelijk dient te worden gemaakt door de initiatiefnemer welke belastingen zullen optreden tijdens de bouwfase. Ten denken valt aan:

- Kruinbelasting door transport of opslag van materialen;
- Belasting door hoofd- en hulpkranen [REF 16];
- Grondversnelling door heien van palen en/of damwanden. De te verwachten grondversnellingen zijn afhankelijk van de ondergrond, hei-energie en de afstand tot de heistelling. De grondversnelling kan worden ingeschat op basis van ervaringscijfers (o.a. Muller) of empirische relaties, zoals bijvoorbeeld omschreven in CUR-publicatie 166;
- Afname van de stabiliteit van de kering ten gevolge van tijdelijke ontgravingen nabij de kering.

### **BELASTINGEN TIJDENS DE EXPLOITATIEFASE**

In de exploitatiefase kunnen de volgende belastingen relevant zijn:

- Kruinbelasting door verkeer. Volgens WBI2017 hoeft geen rekening te worden gehouden met een verkeersbelasting op de kruin, indien diepe glijcirkels worden beschouwd. Bij de beoordeling wordt daarom onderscheid gemaakt tussen (kleine) glijcirkels die niet leiden tot doorgaande erosie en overstroming én diepe glijcirkels door de kruin. Bij deze laatste hoeft geen verkeersbelasting in rekening te worden gebracht.
- Belastingen door trillingen van de windturbine. Hierbij kunnen de volgende situatie worden onderscheiden:
  - Dagelijkse omstandigheden met lage en gemiddelde windsnelheden tot 12,5 m/s à 14 m/s. De rotorbladen zijn hierbij zo ver mogelijk uitgezet.
  - Draaiende rotor bij hoge windsnelheden tot 25 m/s, waarbij het nominaal vermogen wordt bereikt. Om overtoeren te voorkomen worden de bladen uit de windrichting gedraaid, zodat de draaisnelheid van de generator gelijk blijft.
  - Stilstaande rotor bij extreme windsnelheid van meer dan 25 m/s, ofwel windkracht 9 op de schaal van Beaufort. De windturbine wordt uitgeschakeld en de bladen zijn in vaanstand.
  - Noodstop of windstoot bij extreme windsnelheid, waarbij de turbine in één klap wordt uitgezet. Onder deze omstandigheden treden de grootste trillingen op.
- Extra bovenbelasting op de kering, indien een fundatie op staal wordt toegepast.

<sup>4</sup> Het WBI en het OI gaan naar verwachting per 01-01-2023 samen over in het Beoordeling en Ontwerp Instrumentarium (BOI)

Op beperkte schaal zijn er gegevens bekend over trillingen in de ondergrond als gevolg van de aanwezigheid van windturbines. Bij een aantal bestaande windturbines zijn door Fugro metingen verricht (REF 12). Ook zijn resultaten van modelberekeningen door Deltares beschikbaar (REF 11). In alle gevallen was sprake van een stalen windturbinemast, gefundeerd op een betonconstructie waaronder betonpalen zijn aangebracht. Bij windsnelheden van 15 m/s zijn trillingssnelheden van 1-3 mm/s gemeten, bij windsnelheden van 30-45 m/s was de trillingssnelheid 8 mm/s. Deze trillingssnelheden kunnen worden omgerekend naar grondversnellingen.

#### **BELASTINGEN TIJDENS DE ONTMANTELINGSFASE**

Als uitgangspunt/voorwaarde kan worden gesteld dat sloopwerkzaamheden plaatsvinden onder 'normale' omstandigheden en daardoor niet gelijktijdig plaatsvinden met maatgevende hydraulische belastingen. Rekening moet worden gehouden met:

- Kruinbelasting door transport of opslag van materialen;
- Grondversnellingen door de sloopwerkzaamheden;
- Tijdelijke afname van de stabiliteit van de kering ten gevolge van ontgravingen nabij de kering voor bijvoorbeeld verwijderen fundatieplaat of inkorten funderingspalen.

### **5.3 GEDETAILEERDE BEOORDELING WATERKEREND VERMOGEN**

#### **5.3.1 VASTSTELLEN BOVENGRONDSE FAALFREQUENTIE**

In deze fase kan in meer detail naar de faalscenario's worden gekeken en kan onderscheid worden gemaakt in storm- en niet stormgerelateerde faalscenario's:

- Stormgerelateerde faalscenario's:
 

Bladworp overtoeren kan optreden indien het remmechanisme van de windturbine faalt en de bladen niet in de vaanstand gezet kunnen worden. Indien de windturbine draait bij een te hoge snelheid kan bladworp in overtoeren optreden. *Projectvoorbeeld:* Voor de faalscenario's, mastbreuk en bladworp overtoeren is aangehouden dat deze alleen voorkomen tijdens stormcondities. Daarmee zijn deze faalscenario's 100% gecorreleerd aan 'storm'. Daarbij is 'storm' gedefinieerd als windkracht 9Bft of meer, dit betreft uurgemiddelde waarden. De in het Handboek Risicozonering Windturbines vermelde faalfrequenties van deze faalscenario's, zijn geheel toebedeeld aan deze stormcondities. Vanwege de correlatie tussen storm en hoogwater is geen hersteltijd toegepast.
- Niet stormgerelateerde faalscenario's:
 

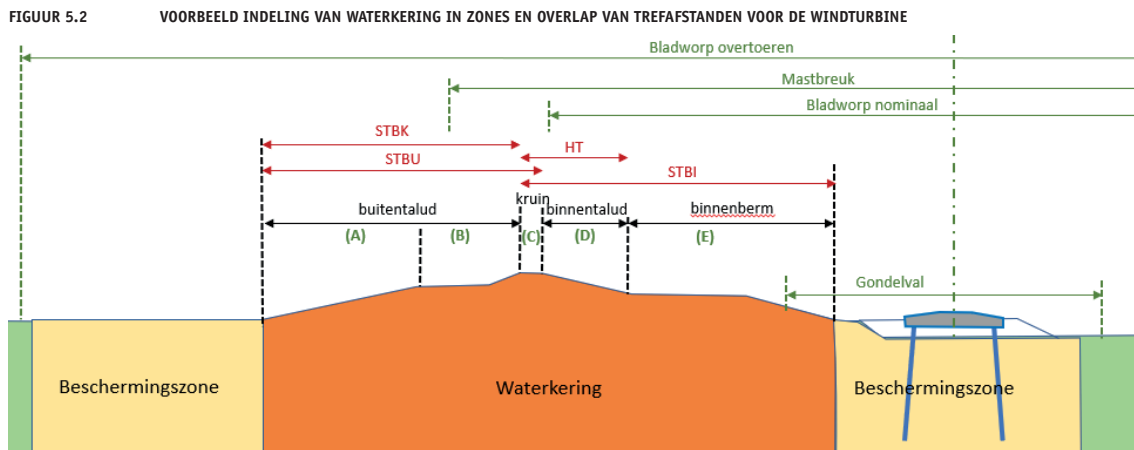
Het scenario bladworp nominaal wordt geïnitieerd door vermoeiingsverschijnselen in de aansluiting van het blad op de naaf. Dit faalscenario treedt op tijdens normale, niet stormgerelateerde gebruiksomstandigheden en is dus onafhankelijk van stormcondities. *Projectvoorbeeld:* De treffrequentie is bepaald op basis van de faalfrequenties uit het Handboek Risicozonering Windturbines. Vanwege de onafhankelijkheid met storm is bij dit scenario de hersteltijd meegenomen bij de bepaling van de faalkans van de waterkering. De hersteltijd wordt in overleg met de beheerder vastgesteld op bijvoorbeeld 14 dagen. Deze inschatting van de hersteltijd is eerder conservatief dan optimistisch aangezien de kans dat de schade niet wordt gezien verwaarloosbaar is (de exploitant van de windturbine kan op afstand de turbine monitoren) én een eventuele schade relatief beperkt in omvang zal zijn.

In de initiatiefase is op basis van een verkennende (grove) analyse vastgesteld wat de additionele faalkans is als gevolg van een bovengronds faalincident. In de analyse is een conserva-

tieve aanname gedaan ten aanzien van de kritische strook: aangenomen is dat de waterkering faalt, ongeacht de locatie waar het gefaalde object landt. Indien de additionele faalkans niet zondermeer voldoet, kan in de ontwerpfase een meer gedetailleerde beoordelingsmethode worden gevolgd. De gedetailleerde methode gaat uit van een zogenaamde risicozonering. De gevolgen van het faalincident hangen namelijk sterk af van de positie van neerkomen.

Een voorbeeld van de risicozonering is weergegeven in Figuur 5.1. In deze figuur zijn de gebieden weergegeven waarvoor een bepaald faalmechanisme geldt:

- STBK: Beschadiging bekleding en erosie: buitentalud zone (A) en (B).
- STBU: Macrostabieliteit buitentalud: krater in zone (A) of toename belasting in zones (B) en kruin (C).
- HT: Overloop en golfoverslag: afname hoogte door krater op de kruin (C) en afname erosiebestendigheid van het binnentalud in (D).
- STBI: Macrostabieliteit binnenwaarts: toename belasting op de kruin (C) en het binnentalud (D) en afname weerstand door kratervorming op de binnenberm (E).



Op basis van de risicozonering en de risico-contouren (trefafstanden) van de windturbines (zie Figuur 5.1) kunnen vervolgens de gevolgen van bovengrondse incidenten worden gekoppeld aan de faalmechanismen van de waterkering. Een voorbeeld is gegeven in onderstaande tabel.

**TABEL 5.1** VOORBEELD KOPPELING VAN BOVENGRONDSE INCIDENTEN AAN DE FAALMECHANISMEN VAN DE WATERKERING

|                     | STPH: piping | STBK: bekleding en erosie | HT: golfoploop en overslag | STBI: binnenwaartse macrostabieliteit | STBU: buitenwaartse macrostabieliteit |
|---------------------|--------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Mastbreuk           | - *          | Zone B                    | Zone C en D                | Zone C, D, E                          | Zone B en C                           |
| Gondelval           | - *          | - **                      | - **                       | Zone E                                | - **                                  |
| Bladworp nominaal   | - *          | - **                      | Zone D                     | Zone D en E                           | - **                                  |
| Bladworp overtoeren | - *          | Zone A en B               | Zone C en D                | Zone C, D en E                        | Zone A, B en C                        |

\* dit mechanisme is niet van toepassing, bijvoorbeeld omdat sprake is van een zanddijk op een zandondergrond

\*\* zone voor dit faalmechanisme valt buiten de trefafstand (risicocontour) van de windturbine

De vervolgstappen voor de bepaling van de additionele faalkans zijn als volgt:

1. Grove inschatting op basis van raakfrequentie:
  - Bereken per faalscenario van de windturbine de trefkansen per zone;
  - Bepaal de raakfrequentie per faalscenario van de windturbine voor de relevante faalmechanismen van de waterkering;
  - Beoordeel of de raakfrequentie kleiner is dan het toetscriterium (bijvoorbeeld 1% van de

autonome faalfrequentie). Indien dit het geval is, hoeft niet verder te worden gegaan met de verdere beoordeling en is de toename acceptabel.

2. Gedetailleerde inschatting op basis van restprofiel:
  - Bepaal de te verwachten kraterdiepte bij neerkomen van een gondel of een afgeworpen rotorblad;
  - Bepaal de reststerkte van het profiel na schade:
    - Voor piping en opbarsten kan de berekende veiligheidsfactoren  $\gamma_{pip}$  en  $\gamma_{up}$  worden omgerekend naar een betrouwbaarheidsindex  $\beta$  en een overschrijdingsfrequentie.
    - Voor macrostabiliteit kan de berekende schadefactor  $\gamma_n$  worden omgerekend naar een betrouwbaarheidsindex  $\beta$  en een overschrijdingsfrequentie.
  - Bepaal het restprofiel van de waterkering per faalscenario en per faalmechanisme;
  - Bepaal de kans op falen van het restprofiel tijdens de herstelperiode. De herstelduur kan eventueel in overleg worden verkort van 14 dagen naar bijvoorbeeld 7 dagen.
  - Bereken per faalscenario en per faalmechanisme de additionele faalfrequentie;
  - Sommeer de additionele faalfrequentie van alle windturbines in het traject per faalmechanisme van de waterkering;
  - Toets deze additionele faalfrequentie aan het afzonderlijke beoordelingscriterium (per faalmechanisme).

### 5.3.2 VASTSTELLEN ONDERGRONDSE FAALFREQUENTIE

In de initiatiefase is op basis van een kwalitatieve beoordeling nagegaan welke effecten en welke faalmechanismen relevant zijn voor het windpark en de betreffende waterkering. Indien niet zondermeer kan worden gesteld dat de ondergrondse invloed van de windturbines nihil is, dan dient in de voorlopige ontwerpfasen een meer gedetailleerd beoordelingsmethode te worden gevolgd.

De gevolgen door ondergrondse effecten kunnen door de initiatiefnemer worden beoordeeld door het volgen van de volgende stappen:

- Vaststellen faalkanseisen per faalmechanisme;
- Vaststellen partiele veiligheidsfactoren;
- Verificatie relevante faalmechanismen en mogelijke effecten van de windturbine per fase;
- Kwantitatieve beoordeling van de effecten ten aanzien van de relevante faalmechanismen;
- Berekenen van de additionele faalfrequentie;
- Toetsing van de additionele faalkans aan het beoordelingscriterium.

#### FAALKANSEISEN

De Maximaal Toelaatbare Kans is uitgesplitst naar verschillende faalmechanismen. Dit resulteert in een faalkanseis per faalmechanisme. Voor de effectbeoordeling wordt de standaard faalkansruimteverdeling aangehouden, tenzij in overleg met de waterkeringbeheerder anders wordt besloten (bijvoorbeeld bij een toets op maat), zie volgende tabel.

TABEL 5.2 FAALKANSRUIMTEFACTOREN PER FAALMECHANISME

| Type waterkering | Faalmechanisme                               | Faalkansruimtefactor $\omega$ |
|------------------|--|-------------------------------|
| Dijk             | Overloop en golfverslag                      | 0,24                          |
|                  | Opbarsten en piping                          | 0,24                          |
|                  | Macrostabieliteit binnenwaarts               | 0,04                          |
|                  | Beschadiging bekleding en erosie dijklichaam | 0,10                          |
| Kunstwerken      | Niet sluiten                                 | 0,04                          |
|                  | Piping                                       | 0,02                          |
|                  | Constructief falen                           | 0,02                          |
| Duin             | Duinafslag                                   | 0,00                          |
| Overig           |  | 0,30                          |
| Totaal           |  | 1,00                          |

Voor de te beschouwen kering dient vervolgens de faalfrequentie-eis op doorsnedeniveau te worden bepaald, zie volgende tabel.

TABEL 5.3 FAALFREQUENTIE-EISEN PER FAALMECHANISME OP DOORSNEDENIVEAU

| Faalmechanisme                 | Faalfrequentie-eis<br>$F_{eis;dsn}$ [per jaar] (volgens par. 1.2 van OI2014v4, [REF 4])   |
|--------------------------------|---|
| Macrostabieliteit binnenwaarts | $F_{eis;dsn} = \frac{F_{max} \cdot 0,04}{N} \text{ met } N = 1 + \frac{0,033 \cdot L_{traject}}{50}$  |
| Macrostabieliteit Buitenwaarts | Voor buitenwaartse macrostabieliteit is de faalfrequentie-eis op doorsnedeniveau voor macrostabieliteit gedeeld door de kans 0,1 op een overstroming gegeven macrostabieliteitsverlies buitenwaarts |
| Piping                         | $F_{eis;dsn} = \frac{F_{max} \cdot 0,24}{N} \text{ met}$<br>$N = 1 + \frac{0,4 \cdot L}{300}$   |

### PARTIELE VEILIGHEIDSFACTOREN

De voor de beoordeling aan te houden partiële veiligheidsfactoren worden afgeleid conform [REF 4].

### RELEVANTE FAALMECHANISMEN

In de voorgaande fase (initiatiefase) zijn in de kwalitatieve beoordeling de relevante faalmechanismen benoemd. In deze fase dient te worden geverifieerd of de uitgangspunten nog steeds overeenkomen of dat herziening hiervan nodig is.

### KWANTITATIEVE BEOORDELING

Berekeningen/analyses kunnen worden gebruikt om aan te tonen wat het effect van het windpark is op de waterveiligheid. Hierbij dienen alle relevante faalmechanismen aan bod te komen. Onderstaand is een overzicht opgenomen van een aantal berekeningen welke nodig kunnen zijn:

- Stabiliteitsberekeningen: ter beoordeling van het effect van trillingen, wateroverspanningen en graverij op of nabij een waterkering. De aanwezigheid van funderingspalen hebben doorgaans een positief effect op de stabiliteit, maatgevend is een grondmodel zonder palen;
- Zettingsberekeningen: ter beoordeling van het effect van trillingen (verdichting) of aanbrengen van ophogingen;
- Berekeningen opbarsten en kwelweglengte: ter beoordeling van het effect van graverij, verwijderen damwanden, niet-grondverdringende paalsystemen;
- Berekeningen verweking en inscharingslengte: ter beoordeling van het effect van trillingen.

In overleg met de waterkeringbeheerder kunnen andere berekeningen nodig zijn.

De berekeningen dienen te worden uitgevoerd conform gangbare richtlijnen, met, indien van toepassing, geverifieerde en geaccepteerde software.

De resultaten van de berekeningen dienen zoveel mogelijk te worden gepresenteerd als een overstromingsfrequentie. Dit kan voor stabiliteitsberekeningen bijvoorbeeld door de berekende stabiliteitsfactor terug te rekenen naar een schadefactor en vervolgens de bijbehorende betrouwbaarheidsindex  $\beta$  en frequentie te bepalen ( $F_{\text{aanwezig}}$ ).

Onderstaand is hiervan een voorbeeld opgenomen.

TABEL 5.4 VOORBEELD RESULTATEN STABILITEITSBEREKENINGEN

| Locatie | Fase                 | Stab factor | $g_{n,\text{aanw}}$ | $b_{\text{aanw}}$ | $F_{\text{aanw}}$ [1/jaar] |
|---------|----------------------|-------------|---------------------|-------------------|----------------------------|
| WT1     | Bouw                 | 1,62        | 1,27                | 5,73              | $5,1 \cdot 10^{-9}$        |
| WT1     | Exploitatie-noodstop | 1,32        | 1,03                | 4,16              | $1,6 \cdot 10^{-5}$        |
| WT1     | Ontmanteling         | 1,55        | 1,21                | 5,36              | $4,1 \cdot 10^{-8}$        |

#### ADDITIONELE FAALKANS

Niet elk effect heeft direct gevolgen voor de waterveiligheid. In het geval een schade optreedt is er de mogelijkheid tot herstel. Uitgangspunt is veelal dat eventuele schade binnen 2 weken kan worden hersteld ( $P_{\text{herstel}}$ ).

Daarnaast geldt dat in sommige gevallen een restprofiel nog een bepaald waterkerend vermogen heeft of het voorland hooggelegen is. In deze situatie mag de kans van voorkomen van een hoogwater dat hoger is dan het voorland ( $P_{\{Hw>Hvl\}}$ ) worden meegenomen.

De totale faalkans ( $F_{\text{totaal}}$ ) per situatie wordt vervolgens bepaald door te vermenigvuldigen:

$$F_{\text{totaal}} = F_{\text{aanw}} \cdot P_{\text{herstel}} \cdot P_{\{Hw>Hvl\}};$$

Door de berekende faalkans te vergelijken met de normsituatie (eis) wordt de additionele faalkans bepaald.

In onderstaande tabel is het eerder genoemde voorbeeld verder uitgewerkt.

TABEL 5.5 VOORBEELD BEPALING ADDITIONELE FAALKANS VOOR STABILITEIT

| Locatie | Fase                 | $F_{\text{aanw}}$ [1/jaar] | $P_{\text{herstel}}$ | $P_{\{Hw>HVL\}}$    | $F_{\text{totaal}}$ [1/jaar] | Additionele faalkans  |
|---------|----------------------|----------------------------|----------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------|
| WT1     | Bouw                 | $5,1 \cdot 10^{-9}$        | 14/365               | $1,2 \cdot 10^{-5}$ | $2,3 \cdot 10^{-15}$         | $0,7 \cdot 10^{-6}$ % |
| WT1     | Exploitatie-noodstop | $1,6 \cdot 10^{-5}$        | 14/365               | $1,2 \cdot 10^{-5}$ | $7,2 \cdot 10^{-12}$         | 0,002 %               |
| WT1     | Ontmanteling         | $4,1 \cdot 10^{-8}$        | 14/365               | $1,2 \cdot 10^{-5}$ | $1,9 \cdot 10^{-14}$         | $0,6 \cdot 10^{-5}$ % |

Voor ieder (relevant) faalmechanisme dient een soortgelijk overzicht te worden gemaakt, waarna de resultaten per effect kunnen worden opgeteld om tot de totale additionele faalkans te komen. Zie onderstaand voorbeeld.

TABEL 5.6 VOORBEELD OVERZICHT FAALKANSBIJDRAGE PER FAALMECHANISME

| Locatie | Faaloorzaak | Faalscenario         | Faalkansbijdrage per faalmechanisme [%] |       |      |      |      |           |       |
|---------|-------------|----------------------|---|-------|------|------|------|-----------|-------|
|         |             |                      | HT                                      | STBI  | STBU | STPH | BK   | VLAF/VLZV | som   |
| WT1     | Trillingen  | Bouw                 | nihil                                   | <<    | <<   | n.r. | n.r. | 0,01      | <<    |
|         |             | Exploitatie-noodstop |   | 0,002 | <<   | n.r. | n.r. |           | 0,012 |
|         |             | Ontmanteling         |   | <<    | <<   | n.r. | n.r. |           | <<    |
|         | Graverij    | Bouw                 | <<                                      | n.r.  | <<   | <<   | <<   | n.r.      | <<    |

### BEOORDELING

De invloed op het waterkerend vermogen is acceptabel indien de additionele faalkans kleiner is dan de toegestane faalkanstoename, bijvoorbeeld 1% van de norm op doorsnedeniveau. In het voorbeeld wordt hieraan voldaan.

### 5.4 GEDETAILLEERDE BEOORDELING UITBREIDBAARHEID

In deze fase van het project is het voor de waterkeringbeheerder van belang de uitbreidbaarheid van de waterkering in meer detail te beschouwen in relatie tot de voorgenomen locatie van de windturbine(s). De initiatiefnemer dient aan te geven welke aanpassingen aan het turbineontwerp eventueel nodig zijn en welke restricties eventueel gelden voor de aanpassing van de waterkering.

Hierbij dienen de volgende punten aan de orde te komen:

- **OVERSTROMINGSKANS WATERKERING**

Op basis van de kwantitatieve analyse die de initiatiefnemer uitvoert ten behoeve van de vergunningaanvraag wordt inzicht verkregen in de huidige overstromingskans. Het is dan mogelijk de overstromingskans van de waterkering met en zonder windturbine te vergelijken. Dit geeft inzicht in eventueel benodigde aanpassing van de waterkering. De waterkeringbeheerder heeft hiervoor een reguliere veiligheidsbeoordeling ter beschikking (1 keer per 12 jaar). Indien een dijkverbetering te verwachten is, dan kan dit van invloed zijn op de locatie van de windturbine. Als voorbeeld: is bij een te groot overslagdebiet ruimte voor het verhogen van de kruin van de kering?

- **LEGGERPROFIEL MET PROFIEL VAN VRIJE RUIMTE**

Afhankelijk van de gekozen positie van de windturbine kan het nodig zijn de legger en/of het profiel van vrije ruimte aan te passen, zodanig dat bij toekomstige beoordeling de situatie met windturbine wordt meegenomen in de beschouwing.

- **VOORGENOMEN FUNDERINGSWIJZE WINDTURBINE**

De funderingswijze van de windturbine dient zodanig te worden gekozen dat deze zowel tijdens exploitatiefase als na de ontmanteling eventuele uitbreiding van de waterkering niet belemmert.



## 5.5 GEDETAILLEERDE BEOORDELING BEHEER EN ONDERHOUD

Vanuit het oogpunt van beheer en onderhoud dienen in deze fase de gevolgen van de aanwezigheid van windturbines nader beschreven worden, zodanig dat deze in de beheerplannen van de waterkeringbeheerder kunnen worden opgenomen. Op basis van de beoogde positionering van de windturbines in het profiel van de waterkering dient te worden beoordeeld wat de effecten zijn op:

- Bereikbaarheid;
- Inspecteerbaarheid;
- Onderhoudbaarheid;
- Aantoonbaarheid;
- Calamiteitenzorg.

# 6

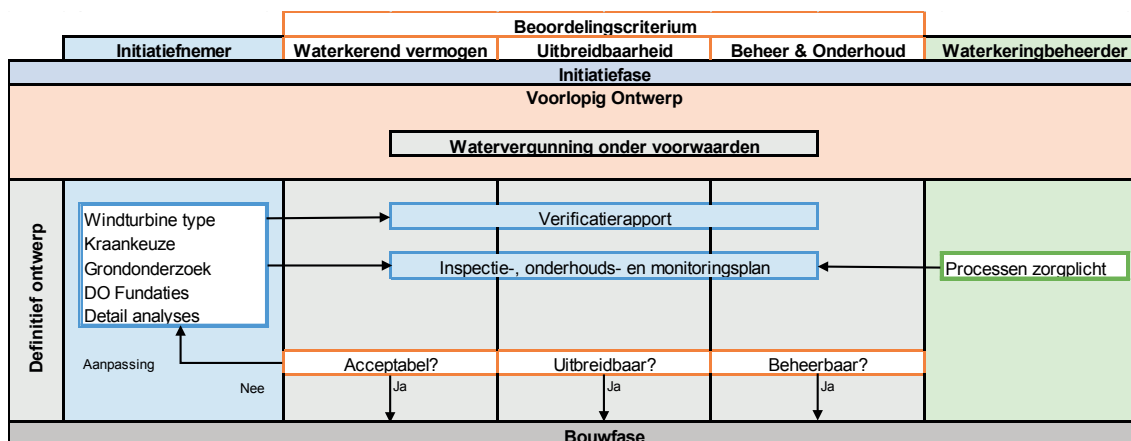
## DEFINITIEVE ONTWERPFASE

### 6.1 INLEIDING

In deze fase worden alle basiskeuzen gemaakt, zoals het type windturbine, de toe te passen kranen, het aantal transporten en de bouwmethode. Wat nu volgt is het detailleren van het funderingsontwerp, de bouwfasering en de bouwtechnieken. De initiatiefnemer zorgt voor de uitwerking hiervan en verifieert of voldaan wordt aan de eisen en voorwaarden uit de watervergunning. Aanvullend worden in deze fase plannen gemaakt voor de monitoring, inspectie en onderhoud tijdens de bouwfase. De waterkeringbeheerder controleert in deze fase of voldaan wordt aan de eisen en voorwaarden uit de watervergunning zodanig dat tot acceptatie van het plan kan worden overgegaan.

In onderstaand schema is voor deze fase aangegeven welke informatie door de initiatiefnemer wordt verzameld/aangeleverd en welke input vanuit de waterkeringbeheerder komt. In deze fase is veelal nieuw grondonderzoek beschikbaar. Het 'eindproduct' van deze fase is een afgestemd definitief ontwerp.

FIGUUR 6.1 STROOMSCHEMA BEOORDELING INVLOED WINDTURBINES OP WATERKERINGEN TIJDENS DEFINITIEF ONTWERP



### 6.2 UITGANGSPUNTEN EN RANDVOORWAARDEN

#### NORMEN

Het ontwerp en het grondonderzoek van de windturbinefundaties en bijbehorende constructies vallen onder het toepassingsgebied van de Eurocode en relevante ISO normen. Deze normen bepalen de hoeveelheid berekeningen en het benodigde grondonderzoek. Het definitief grondonderzoek en ontwerp dient te worden opgesteld conform deze normen.

### **BENODIGD GEOTECHNISCH GRONDONDERZOEK**

Zowel windturbines als primaire waterkeringen worden conform Eurocode 7 ingedeeld in Geotechnische Categorie 3 (GC3). De norm stelt eisen aan de omvang en kwaliteit van het geotechnisch grondonderzoek voor grondconstructies (dijken), grondkerende constructies en voor funderingen op staal of op palen.

De afstand tussen de punten en de diepte van onderzoek moeten bij geotechnisch onderzoek in de geotechnische categorie 3 zijn bepaald op grond van de geologie van het gebied, indien aanwezig de kennis van de grondgesteldheid, de afmetingen van het bouwterrein, de aard van de fundering en van de geotechnische constructie. De onderzoekspunten moeten zo over de plattegrond van het windpark zijn verdeeld dat daaruit de grondgesteldheid ter plaatse van de geotechnische constructies betrouwbaar kan worden afgeleid. In de voorgaande fase benoemde risico's moeten door middel van aanvullend onderzoek worden afgedekt. Daarbij moet onderscheid zijn gemaakt in type constructie: grondwerken en grondkerende constructies, funderingen op staal en funderingen op palen.

Enkele algemene aandachtspunten zijn:

- Voor dijken geldt een maximale onderlinge afstand tussen de onderzoekspunten van 50 à 100 m, afhankelijk van de complexiteit van de ondergrond;
- Voor funderingen geldt een maximale onderlinge afstand tussen de onderzoekspunten van 15 à 25 m, afhankelijk van de complexiteit van de ondergrond;
- Ten aanzien van de kwaliteit geldt dat sonderingen moeten zijn uitgevoerd met sondeerklasse 1 of 2 volgens EN ISO 22476-1.

Verwezen wordt naar sectie 3.2.3 van NEN9997-1+C2:2017 voor overige specifieke eisen aan het geotechnisch onderzoek.

### **6.3 VERIFICATIE WATERKEREND VERMOGEN**

Het detailontwerp van de windturbines wordt gebruikt om de uitgangspunten in de kwantitatieve beoordelingen waarop de Watervergunning is gebaseerd te verifiëren.

De volgende aspecten dienen te worden geverifieerd:

- De as- en tiphoogte, evenals de rotordiameter dienen gelijk of lager te zijn dan de afmetingen uit de watervergunning;
- De kraanbelastingen en transportbelastingen dienen lager te zijn dan de belastingen uit de watervergunning.
- De te verwachten heitrillingen dienen te worden bepaald op basis van een hei-analyse. De heittrillingen dienen lager te zijn dan de grenswaarden uit de watervergunning;
- De te verwachten afmetingen van ontgravingen (ten behoeve van aanleg funderingsblok, fundering van kraanopstelplaats en aanleg van kabels) dienen kleiner zijn dan de afmetingen uit de watervergunning.

Indien uit de verificatie blijkt dat een of meer van de aspecten afwijkt van hetgeen dat is opgenomen in de Watervergunning, dan is een herbeoordeling noodzakelijk. De initiatiefnemer zal vervolgens moeten aantonen dat de invloed van de windturbine in de afwijkende situatie (eveneens) voldoet aan de eisen.

Specifieke aandachtspunten voor het detailontwerp van de windturbine zijn:

- Afwatering van het fundatieblok: Om te voorkomen dat de grasbekleding direct naast het blok beschadigd raakt dient voldoende drainage/afwatering te worden ontworpen en aangelegd;
- Nagaan of een kwelscherm benodigd is gericht op behoud van zand onder het fundatieblok. Indien dit het geval is, dan dient dit zodanig te worden gedimensioneerd dat het de freatische lijn van de kering niet negatief beïnvloedt;
- Overgang van de kabel in dijklichaam/ondergrond naar de turbine: Ongelijke zettingen ter plaatse van de overgang tussen de turbine en de dijk kunnen resulteren in rek van kabel. Dit moet in het ontwerp worden meegenomen;
- Ontwerp funderingspalen: eventuele horizontale en verticale belasting door grond, mogelijk als gevolg van (toekomstige) ophogingen, op de palen.

### **MONITORINGSPLAN**

In deze fase van het project dient de initiatiefnemer het monitoringsplan op te stellen. Tijdens de bouw en exploitatiefase worden deze activiteiten vervolgens uitgevoerd.

De additionele faalkansen zijn in de voorlopige ontwerpfase berekend op basis van de beschikbare gegevens en zijn conservatief ingeschat. Niettemin zijn bij de bepaling daarvan nog een aantal onzekerheden die de resultaten beïnvloeden en tot een hoger risico kunnen leiden. Bepalend daarbij is de invloed van de trillingen tijdens de bouwfase en de exploitatiefase (zowel met draaiende als stilstaande bladen) op de versnellingen in de ondergrond. Daarom dient monitoring van de trillingen in de bouwfase en exploitatiefase onderdeel van de vergunningverlening te zijn. Als de monitoringsresultaten daar aanleiding toe geven dienen aanvullende compenserende maatregelen te worden genomen.

De resultaten van de monitoring dienen te worden vastgelegd in een monitoringsrapportage en te worden gedeeld met de waterkeringbeheerder.

Onderdelen van het monitoringsplan zijn:

#### **• MONITORING VAN TRILLINGEN**

De werkelijk optredende trillingen (tijdens bouw en exploitatie) zijn en kunnen afwijken van de in de beoordeling aangehouden waarden. Aanbevolen wordt om in het monitoringsplan op te nemen dat de trillingen ter plaatse van het fundament en de waterkering worden gemeten. De metingen dienen te worden verricht voorafgaand aan de bouw (nulmeting), tijdens de bouw en tijdens de exploitatie.

De meetfrequentie en de meetnauwkeurigheid dient te worden afgestemd op de te verwachten omstandigheden. De metingen moeten tenminste 24 uur voor aanvang van de werkzaamheden starten om eventuele achtergrondruis inzichtelijk te maken.

Het monitoringsplan dient tevens grenswaarden te bevatten waaraan getoetst gaat worden. Deze kunnen worden afgeleid conform de SBR-norm en stabiliteitsberekeningen. Veelal wordt een waarschuwingswaarde gehanteerd welke 80% is van de grenswaarde.

Bij overschrijding van de waarschuwingswaarde moeten de werkzaamheden gestaakt worden en dient de oorzaak van de overschrijding achterhaald te worden en eventuele schade opgenomen. Pas na overleg met de waterkeringbeheerder en eventuele herziening van de werkwijze kan het werk worden voortgezet.

- **MONITORING VAN WATER(OVER)SPANNING**

Door diverse oorzaken kunnen fluctuaties in waterspanningen in de ondergrond optreden. Verhoogde waterspanningen kunnen leiden tot instabiliteit van taluds en/of zettingsvloeiingen. Wateroverspanningen kunnen optreden ten gevolge van heien. Deze wateroverspanningen zijn vaak kortdurend en dissiperen makkelijk wanneer de oorzaak (heien) wordt weggenomen. Bij onderwatertaluds met zettingsvloeiingsgevoelige zandlagen dient echter de nodige voorzichtigheid betracht te worden. Daarom kan monitoring van de waterspanningen (en freatische lijn) worden voorgeschreven. Om de 0-situatie met betrekking tot de dagelijkse fluctuatie in waterspanningen voldoende in beeld te brengen, dienen de waterspanningsmeters tenminste 1 week voorafgaand aan de werkzaamheden geplaatst te worden.

Als grenswaarde wordt voorgesteld om 10 kPa te hanteren, bovenop de dagelijkse fluctuatie op de betreffende locatie. Bij overschrijding van de grenswaarde moeten de werkzaamheden per direct gestaakt worden. De werkzaamheden mogen pas vervolgd worden wanneer de waterspanningen weer op het niveau van voor de werkzaamheden gezakt zijn.

- **MONITORING EFFECT LANGE DUUR TRILLINGEN**

Op dit moment wordt een onderzoek naar het effect van lange duur trillingen op de eigenschappen van de ondergrond uitgevoerd, onder andere bij Windpark Krammer (zie paragraaf 0). Met behulp van controlesonderingen worden de eigenschappen van de grond op verschillende momenten gecontroleerd. Doel van het onderzoek is de onzekerheid hierover weg te nemen.

Overwogen kan worden een bijdrage aan dit onderzoek te leveren door in nieuwe projecten een 3-tal controlesonderingen uit te voeren nabij de funderingen van de windturbines. Door op verschillende momenten te meten kan het eventuele effect van de trillingen op lange termijn in beeld worden gebracht. Voorstel voor planning van de uitvoering van de controleonderingen is als volgt:

- Bij aanvang van bouwwerkzaamheden;
- Na 1 jaar gebruik;
- Na 5 jaar gebruik;
- Na 10 jaar gebruik;
- Na 15 jaar gebruik.

- **COMMUNICATIE- EN ACTIEPLAN**

In dit deel dienen procedures te worden aangegeven voor de communicatie en interpretatie/bewaking van de monitoringsresultaten.

### **INSPECTIEPLAN WINDPARK**

De initiatiefnemer stelt in deze fase het inspectieplan voor het windpark op en stemt dit af met de waterkeringbeheerder. In het inspectieplan omschrijft hij de volgende aspecten:

- bereikbaarheid;
- planning in relatie tot hoogwaterseizoen;
- calamiteitenplan;
- herstelwerkzaamheden aan de waterkering;
- frequentie van inspectie;
- betrokken partijen bij inspecties en herstelwerkzaamheden.

### **ONDERHOUDSPLAN WINDPARK**

In deze fase dient de initiatiefnemer tevens het onderhoudsplan van het windpark op te stellen en af te stemmen met de waterkeringbeheerder. Hierbij dient aandacht te zijn voor toekomstige ontwikkelingen ten aanzien van de waterkering, voor zover bekend, en voorwaarden vanuit de keur voor wat betreft werken op/nabij de waterkering.

### **6.4 UITBREIDBAARHEID**

In geval van een geplande dijkversterking is een integrale ontwerpaanpak van belang. Het ontwerp van het windpark dient te zijn afgestemd op het ontwerp van de waterkering.

### **6.5 BEHEER EN ONDERHOUD**

Door de waterkeringbeheerder dient in deze fase te worden nagegaan of aanpassing van het eigen beheer- en onderhoudsplan noodzakelijk is ten gevolge van de bouw van het windpark. Hierbij dienen het Inspectie- en Onderhoudsplan van het windpark te worden beschouwd.

Voor het efficiënt beheer van de waterkering is het van belang dat de initiatiefnemer de volgende aspecten meeneemt in het definitief ontwerp:

- Herstel bekleding na graverij ten behoeve van aanleg van de kabels;
- Voldoende robuuste aansluiting van bekleding op het funderingsblok;
- Afwatering van neerslag tegen mast en op funderingsplaat.

# 7

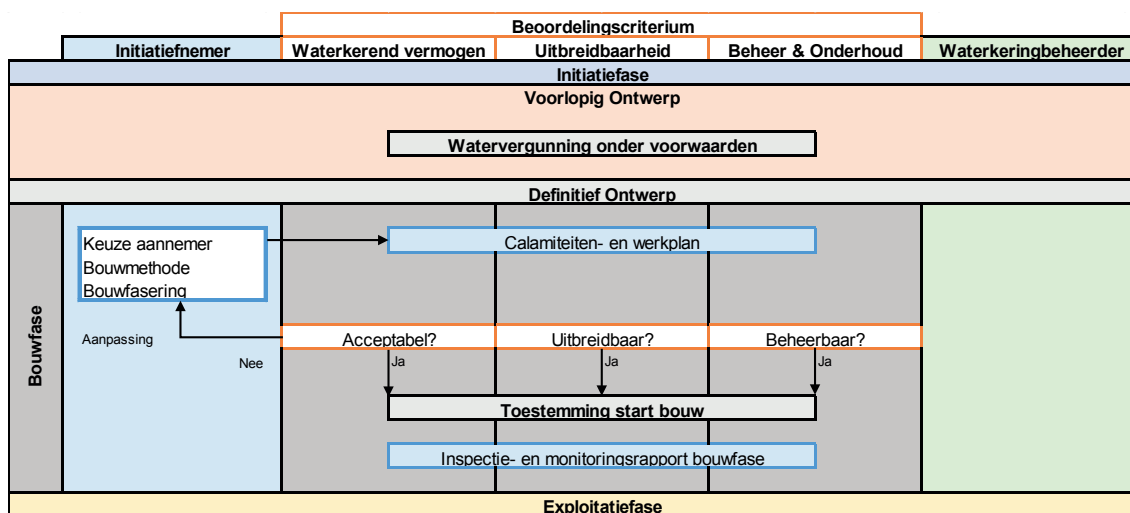
## BOUWFASE

### 7.1 INLEIDING

In deze fase vindt de aanleg van het windpark plaats. Dit betreft niet alleen de bouw van de windturbine, maar ook aanleg van kraanopstelplaatsen, toegangswegen en kabels. De initiatiefnemer maakt keuze in bouwfasering en bouwmethodes en werkt dit uit in een werkplan en een detailplanning. Daarnaast wordt een calamiteitenplan opgesteld voor de bouwfase. Er wordt gestart met monitoring, inspectie en (eventueel) onderhoud.

In onderstaand schema is voor deze fase aangegeven welke informatie door de initiatiefnemer wordt verzameld/aangeleverd. De waterkeringbeheerder heeft in de voorgaande fases informatie aangeleverd, deze fase bestaat met name uit verificatie van eerdere uitgangspunten en voorwaarden uit de vergunning. Het 'eindproduct' van deze fase is toestemming voor de bouw van het windpark.

FIGUUR 7.1 STROOMSCHEMA BEOORDELING INVLOED WINDTURBINES OP WATERKERINGEN BOUWFASE



### 7.2 WATERKEREND VERMOGEN

De waterkeringbeheerder toetst in deze fase het werkplan en controleert of voldaan wordt aan de eisen en voorwaarden uit de watervergunning en het definitief ontwerp. Te toetsen aspecten zijn:

- Type en afmetingen windturbine;
- Type en afmetingen fundering;
- Kenmerken kraanopstelplaats en toegangswegen;
- Plan bekabeling;
- Calamiteitenplan.

Indien uit de verificatie blijkt dat een of meer van de aspecten afwijkt van hetgeen dat is opgenomen in de Watervergunning en het definitief ontwerp, dan is een herbeoordeling noodzakelijk. De initiatiefnemer zal vervolgens moeten aantonen dat de invloed van de windturbine in de afwijkende situatie (eveneens) voldoet aan de eisen voordat gestart kan worden met de werkzaamheden. Indien geen afwijkingen worden geconstateerd, dan kan de waterkeringbeheerder aangeven dat gestart kan worden met de werkzaamheden.

In deze fase wordt gestart met de monitoring zoals opgenomen in het monitoringsplan (zie paragraaf 6.3). Voorafgaand aan de werkzaamheden wordt een nulmeting uitgevoerd. De resultaten van de monitoring moeten door de initiatiefnemer wordt vastgelegd en gedeeld met de waterkeringbeheerder. Indien in deze fase ook al inspecties en/of onderhoud wordt uitgevoerd, dan dienen rapportages hiervan te worden opgeleverd aan de waterkeringbeheerder.

Het wordt aanbevolen dat de waterkeringbeheerder tijdens de bouwfase een contactpersoon benoemt, zodat de initiatiefnemer een vast aanspreekpunt heeft. Bij grotere windparken moet er rekening mee worden gehouden dat deze fase mogelijk veel capaciteit van de beheerder vraagt.

Bij oplevering van het project dienen alle voor de waterkeringbeheerder relevante documenten en gegevens te worden aangeleverd:

- As-built tekeningen van de windturbines, funderingen, kraanopstelplaatsen, toegangswegen, ligging kabels, etc;
- Rapportages betreffende heiwerk;
- Ontwerpdocumenten kraanopstelplaats, toegangswegen, etc;
- Rapportages monitoring.

### **UITVOERINGSPERIODE**

Ter bescherming van de waterkering heeft de waterkeringbeheerder een dijksluitingsperiode/stormseizoen van (veelal) 15 oktober tot 15 april. De kans op falen van de waterkering is statistisch gezien in deze periode het grootst vanwege sterke wind, storm en/of de hogere waterafvoeren.

Deze periode is van toepassing op de waterkering en de bijbehorende beschermingszone.

Activiteiten in, op of nabij waterkeringen mogen gedurende deze periode niet worden uitgevoerd. De waterkeringbeheerder houdt daarom bij de beoordeling van aangevraagde (bouw) werken, beplanting en activiteiten altijd rekening met de gesloten periode. Per aanvraag zal de waterkeringbeheerder afwegen welke risico's de aangevraagde activiteiten met zich meebrengen in relatie tot de gesloten periode. Hierbij worden tevens andere uitvoeringsaspecten zoals de uitvoeringsperiode en de locatie van de werkzaamheden meegenomen.

Het kan voorkomen dat aangevraagde werken planningstechnisch niet (volledig) buiten de gesloten periode kunnen worden uitgevoerd. In die gevallen kan de waterkeringbeheerder besluiten om van de gesloten periode af te wijken en de uitvoering van de aangevraagde werken toe te staan. In dat geval moet de aanvrager altijd een risicobeheersplan ter goedkeuring aan de waterkeringbeheerder overleggen waarin de voorgenomen risicobeheersmaatregelen vermeld zijn.



Ook buiten de gesloten periode kan hoogwater optreden. De waterkeringbeheerder kan in dit geval besluiten tot een verbod of beperking van de uitvoering van de vergunde werkzaamheden in, op of nabij de waterkering. Daarnaast kan de waterkeringbeheerder bij bijvoorbeeld grote bouwprojecten die buiten de gesloten periode worden uitgevoerd, een risicobeheersplan vragen.

### **7.3 UITBREIDBAARHEID**

Naast verificatie van de aangehouden uitgangspunten in het definitief ontwerp, waarop de Watervedunning is gebaseerd, is het in deze fase niet nodig aanvullende analyses of beoordeling uit te voeren ten aanzien van de uitbreidbaarheid van de waterkering.

### **7.4 BEHEER EN ONDERHOUD**

Voorafgaand aan de bouw van de windturbines (en bijbehorende werken) dient de initiatiefnemer met de waterkeringbeheerder af te stemmen op welke wijze toezicht wordt gehouden. Daarnaast dient het calamiteitenplan van de initiatiefnemer te zijn afgestemd met dat van de beheerder.

## 8

## EXPLOITATIEFASE

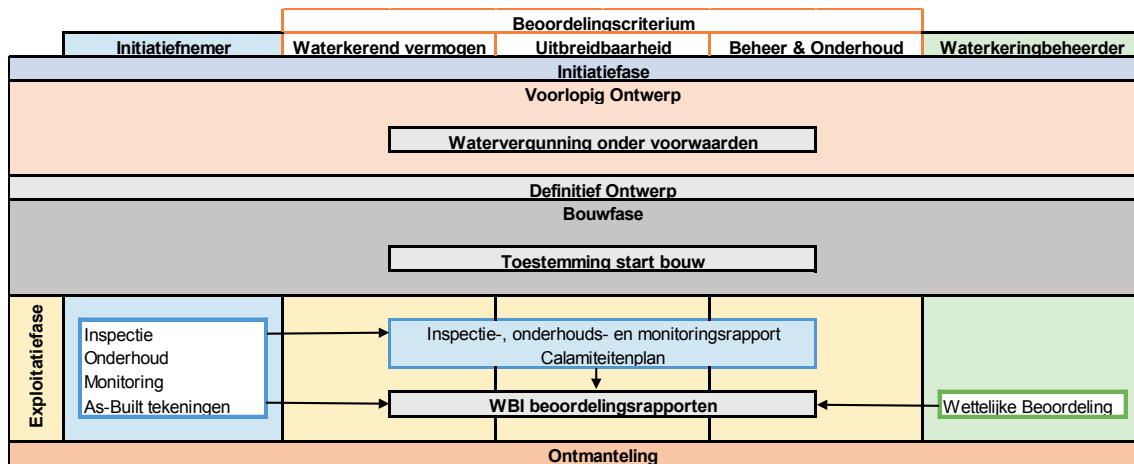
## 8.1 INLEIDING

Deze fase wordt ook wel de gebruiksfase van de windturbine genoemd. Gedurende de circa 25 jaar dat de windturbine in bedrijf is dient de waterkeringbeheerder op de hoogte te worden gehouden van alle activiteiten en omstandigheden rondom en in relatie tot de windturbine, welke van invloed kunnen zijn op de waterkering. In deze fase wordt geadviseerd monitoring plaats te laten vinden (lange duur trillingen), en worden inspecties en onderhoud uitgevoerd (zie paragraaf 6.3).

Het is van belang om zowel gegevens in te winnen gerelateerd aan de reguliere omstandigheden als aan de extremere. De eerste meetperiode beslaat dus al snel een jaar.

In onderstaand schema is voor deze fase aangegeven welke informatie door de initiatiefnemer wordt verzameld/aangeleverd en welke activiteiten de waterkeringbeheerder in relatie tot het windpark uitvoert.

FIGUUR 8.1 STROOMSCHEMA BEOORDELING INVLOED WINDTURBINES OP WATERKERINGEN EXPLOITATIEFASE



## 8.2 WATERKEREND VERMOGEN

Beheerders van primaire waterkeringen moeten tenminste eens in de twaalf jaar beoordelen of hun keringen voldoen aan de wettelijke veiligheidseisen. Dat schrijft de Waterwet voor. De manier waarop deze beoordeling moet worden uitgevoerd, is vastgelegd in een wettelijk instrumentarium.

Windturbines welke op/in/nabij waterkeringen zijn geplaatst worden in de beoordeling als NWO meegenomen. De documenten die een waterkeringbeheerder moet meenemen in de beoordeling van de kering zijn:

- As-built gegevens van de windturbine en bijbehorende werken;
- Resultaten van monitoring gedurende de exploitatiefase (lange termijn effecten);

- Resultaten van inspecties;
- Rapportages ten aanzien van onderhoud aan het windpark, voor zover gerelateerd aan waterveiligheid.

In deze fase vindt tevens monitoring plaats, zie paragraaf 6.3. De resultaten hiervan worden gerapporteerd aan en besproken met de waterkeringbeheerder.

Vooraf dienen de turbine exploitant en de waterkeringbeheerder in het kader van de Zorgplicht en de Wettelijke Beoordeling goed af te stemmen en vast te leggen wat de informatiebehoefte is en op welke wijze de data wordt uitgewisseld.

### 8.3 UITBREIDBAARHEID

In sommige gevallen zal een onvoorziene uitbreiding van de waterkering plaats moeten vinden binnen de levensduur van de windturbine. Tijdens de planvormingsfase dient het windpark als NWO te worden meegenomen in de studies. Mogelijke effecten van de uitbreiding moeten worden onderzocht. Te denken valt aan het nagaan van het paal draagvermogen van de windturbinefundering indien een stabiliteitsberm wordt uitgebreid tot dicht bij de fundering. Door zetting en negatieve kleeft kan het draagvermogen afnemen. In situaties waarbij de uitbreiding van de waterkering al was voorzien in de ontwerpfase van de windturbines dient een controle van de uitgangspunten plaats te vinden.

### 8.4 BEHEER EN ONDERHOUD

Om schade als gevolg van het falen van een windturbine te voorkomen, is het van het grootste belang dat er regelmatig onderhoud wordt gepleegd en inspecties worden uitgevoerd. In de wetgeving (Activiteitenbesluit) is bepaald dat een windturbine ten minste eenmaal per jaar beoordeeld moet worden op de noodzakelijke beveiligingen, onderhoud en reparaties door een deskundige op het gebied van windturbines. Ook deze informatie (data) dient met de waterkeringbeheerder te worden gedeeld (mede in het kader van de zorgplicht).

Indien geconstateerd wordt – of indien het redelijk vermoeden bestaat – dat een onderdeel van de turbine een gebrek bezit, waardoor de veiligheid voor de omgeving in het geding is, moet de windturbine onmiddellijk buiten bedrijf worden gesteld en dient het bevoegd gezag daaromtrent geïnformeerd te worden. De windturbine mag pas weer in gebruik worden genomen nadat alle gebreken zijn verholpen.

Naast onderhoudsfouten vormen in de praktijk ontwerp- en materiaal fouten een belangrijke oorzaak voor het falen van een windturbine. Om risico's op dit punt zoveel mogelijk te voorkomen moet een windturbine voldoen aan de veiligheidseisen zoals opgenomen in NEN-EN-IEC 61400-245 en NVN 11400-0. Hiermee is gegarandeerd dat de toegepaste materialen wat betreft bijvoorbeeld vermoeiing, vochtinwerking, corrosie en verbindingstechnieken voldoen aan de eisen om een levensduur van ten minste 20 jaar te waarborgen. Indien aan deze eisen wordt voldaan, zijn geen aanvullende constructieve eisen nodig en wordt er in rechte vanuit gegaan dat de constructie voldoende veilig is. Een windturbine wordt geacht te voldoen aan deze eisen indien de windturbine gecertificeerd is.[REF 10]

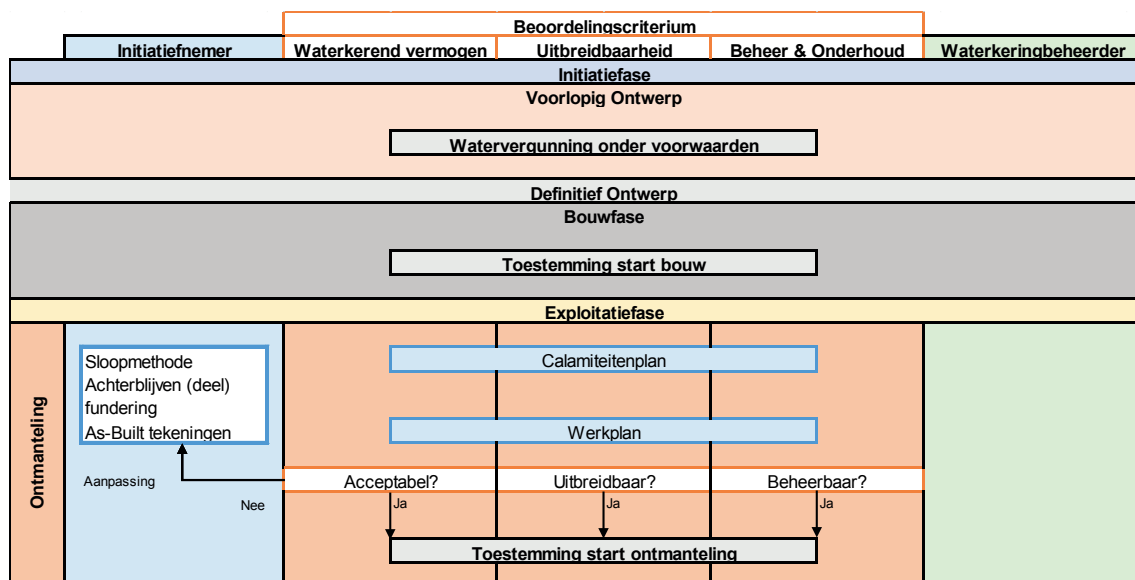
# 9

## ONTMANTELINGSFASE

### 9.1 INLEIDING

Aan het einde van de levensduur van de windturbine zal deze worden ontmanteld. Onderdeel van de oorspronkelijke watervergunning is hoe wordt omgegaan met verwijderen en achterblijven van de fundering. Ook in deze fase is het van belang dat de waterkeringbeheerder voldoende informatie ontvangt over de werkwijze en de situatie na verwijdering van de windturbines. De initiatiefnemer moet een werkplan opstellen waarin de werkmethode voor de sloop en het verwijderen van de windturbine, de kraanopstelplaats en kabels is beschreven. Monitoring van trillingen bij de ontmanteling wordt aanbevolen.

FIGUUR 9.1 STROOMSCHEMA BEOORDELING INVLOED WINDTURBINES OP WATERKERINGEN ONTMANTELINGSFASE



### 9.2 WATERKEREND VERMOGEN

In het door de initiatiefnemer op te stellen werkplan moet specifiek worden ingegaan op:

- De kraanbelastingen en transportbelastingen;
- De te verwachten trillingen bij de ontmanteling;
- De te verwachten afmetingen van ontgravingen (ten behoeve van de sloop van het funderingsblok, verwijderen van de kraanopstelplaats en verwijdering van kabels).

De waterkeringbeheerder zal een verificatie moeten uitvoeren, waarbij de oorspronkelijke watervergunning wordt beschouwd, maar ook eventueel nieuwe inzichten, ontwikkelingen en technologieën worden meegenomen.

Indien uit de verificatie blijkt dat een of meer van de aspecten afwijkt van hetgeen opgenomen in de Watervergunning, dan is een herbeoordeling noodzakelijk. De initiatiefnemer

zal vervolgens moeten aantonen dat de invloed van de ontmanteling van de windturbine in de afwijkende situatie (eveneens) voldoet aan de eisen.

De waterkeringbeheerder zal veelal de voorkeur hebben voor zo min mogelijk NWO's in de waterkering. Bij ontmanteling van windturbines zal de voorkeur uitgaan naar volledige verwijdering van alle onderdelen, inclusief fundering van de mast. Echter, het verwijderen van een paalfundering kan een negatief effect hebben op het waterkerend vermogen van de kering. Bij het trekken van palen kan grond worden meegevoerd, waardoor een mogelijke kwelweg ontstaat. Over het algemeen wordt dan ook geadviseerd het diepere deel van de paalfundering van een windturbine bij ontmanteling te laten zitten. Bij ontmanteling kan worden uitgegaan van het verwijderen van alle onderdelen en constructies tot een niveau van 4 m onder maaiveld.

Overwogen kan worden om (een deel van) de fundatie te hergebruiken. De levensduur van de paalfundering (50 jaar) staat het toe om te worden hergebruikt voor een nieuwe generatie windturbines. Zo kan bijvoorbeeld de paalfundatie dienst doen als fundering voor de hoofdkraan.

Na ontmanteling dient de initiatiefnemer de waterkering dusdanig te herstellen dat die goed aansluit bij de aangrenzende dijkvakken.

Ten behoeve van toekomstige beoordelingen is het voor de waterkeringbeheerder van belang de volgende informatie te ontvangen van de initiatiefnemer:

- Rapportages en as-built gegevens van de ontmanteling van de windturbine en bijbehorende werken;
- Resultaten van monitoring gedurende de ontmantelingsfase.

### **9.3 UITBREIDBAARHEID**

Naast verificatie van de aangehouden uitgangspunten in het werkplan, waarop de Watervergunning is gebaseerd, is het in deze fase niet nodig aanvullende analyses of beoordeling uit te voeren ten aanzien van de uitbreidbaarheid van de waterkering.

Voor toekomstige uitbreiding is het uiteraard wel van belang rekening te houden met eventueel achtergebleven delen van de paalfundering.

### **9.4 BEHEER EN ONDERHOUD**

Voorafgaand aan de ontmanteling van de windturbines (en bijbehorende werken) dient de initiatiefnemer met de waterkeringbeheerder af te stemmen op welke wijze toezicht wordt gehouden. Daarnaast dient het calamiteitenplan van de initiatiefnemer te zijn afgestemd op het calamiteitenplan van de beheerder.

# 10

## RISICOTABEL

In bijlage A2 is compleet overzicht opgenomen van mogelijke effecten/risico's tijdens alle fasen van een project: initiatie, ontwerp, bouw, exploitatie en ontmanteling van een windpark. Per mogelijk effect of risico is aangegeven voor welk faalmechanisme dit relevant kan zijn. Bij ieder project moet worden nagegaan welke van deze effecten relevant zijn en nader beoordeeld moeten worden.

# 11

## REFERENTIES

### 11.1 LITERATUUR

- REF 1. TAW, *Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies*, kenmerk P-DWW-2001-045. Juni 2001.
- REF 2. Expertise Netwerk Waterveiligheid, *Grondslagen voor Hoogwaterbescherming*. November 2017.
- REF 3. DNV GL (in opdracht van Rijksdienst voor Ondernemend Nederland), *Handboek Risicozonering Windturbines*. Herziene versie 3.1, september 2014.
- REF 4. Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving. *Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, Veiligheidsfactoren en belastingen bij nieuwe overstromingskans-normen (OI2014v4)*. RWS WV, februari 2017.
- REF 5. Kennisplatform Risicobenadering (KPR), *Memo Windturbines op of nabij primaire waterkeringen*, KPR nr. 473, 19 juli 2018.
- REF 6. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, *Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 (WBI2017)*. Staatscourant 2016 nr. 65697, 27 december 2016.
- REF 7. Kennisplatform Risicobenadering (KPR), *Factsheet post "overig" in de faalkansbegroting en indirecte mechanismen*, KPR, 9 november 2016.
- REF 8. NEN-EN 1990:2002 "Eurocode 0: Grondslagen van het constructief ontwerp", december 2002, inclusief de Nationale Bijlage NEN-EN 1990:2002/NB:2007, november 2007.
- REF 9. NEN 9997-1+C1:2017 "Eurocode 7: Geotechnisch ontwerp van constructies – Deel 1: Algemene regels", Nederlands Normalisatie Instituut, juni 2016.
- REF 10. Pels Rijcken & Drooglever, *Windturbines en externe veiligheid, safety first*.
- REF 11. P. Hölscher, *Dynamisch gedrag van een onshore windturbinefundering*, Geotechniek, vol. 20, nr. Oktober, pp. 8 - 14, 2016.
- REF 12. Fugro Geoservices BV, *Trillingen van windturbines in exploitatiefase bij waterkeringen*. Projectnummer 1216-0088-000, 23 februari 2017.
- REF 13. Arcadis, *Windpark Oostpolderdijk, Memo waterveiligheid – samenvatting*. 12 mei 2016.
- REF 14. STOWA, *Handreiking windturbines/waterkeringen: bestuur en beleid*. Rapport 2018-51.
- REF 15. STOWA, *Handreiking windturbines/waterkeringen: wetgeving*. Rapport 2018-52.
- REF 16. STOWA, *Handreiking kraanopstelplaatsen bij de bouw van windturbines*. Rapport 2019-02.
- REF 17. Stichting Bouwresearch (SBR), *Meet- en beoordelingsrichtlijnen, deel A-Schade aan gebouwen*, september 2002;
- REF 18. CUR/CROW, *Damwandconstructie deel 1 en 2*, CRW166, 2016;
- REF 19. Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu en STOWA, *Waterveiligheid, Begrippen begrijpen*, Juni 2017;
- REF 20. TNO, *Evaluatie Windturbines en waterveiligheid*, maart 2019.

## 11.2 REFERENTIEPROJECTEN

Projecten waarbij technische beoordelingen zijn uitgevoerd, zijn in onderstaande tabel samengevat.

Opgemerkt wordt dat genoemde referentieprojecten (nog) niet, gedeeltelijk of bijna volledig volgens de nieuwe beoordeling zijn uitgevoerd

| Windpark                                    | Initiatiefnemer   | Beheerder<br>(contactpersoon)     | Waterkering         | Bijzonderheid  |
|---|---|-----------------------------------|---------------------|--|
| Krammer te Bruinisse                        | Coöperaties Zeeuwind en Deltawind   | Rijkswaterstaat (G. Harmsen)      | Voorliggende kering | Windturbines gerealiseerd in kernzone van de primaire waterkering                                    |
| Oostpolderdijk                              | RWE innogy Windpower Netherlands BV   | Noorderzijlvest (JW. Nieuwenhuis) | Zeedijk             | Windturbinefundatie op staal in combinatie met grondstabilisatie                                     |
| IJsselwind te Zutphen                       | IJsselwind BV   | WS Rijn en IJssel                 | Rivierdijk          | Beoordeling volgens WBI2017  |
| Windkracht Kampen                           | Windkracht  | WS Drents Overijsselse Delta      | Rivierdijk /haven   | Buitenzijde kering   |
| Oosterschelde kering                        | E-connection  | Rijkswaterstaat (G.Harmsen)       | Voorliggende kering | Combinatie met kunstwerk (stormvloedkering), Realiseren van vervanging en nieuwbouw Zettingsvloeiing |
| Windparken NOP                              | Agrarisch Windpark Creil, Vereniging Windenergie Westermeerdijk, Acousticon windpark BV. Samenwerkingsverband Zuidermeerdijk. | WS Zuiderzeeland                  | Meerdijken          | Combinatie in water (RWS) en land (Waterschap)   |
| Windpark Nieuwe Waterweg (Hoek van Holland) | Lupus Progetti BV   | HH Delfland                       | Rivierdijk          |  |
| Calandkanaal                                |   | WS Hollandse Delta                | Kanaaldijk          |  |
| Windpark IJmuiden                           | Eneco   | Rijkswaterstaat (G.Harmsen)       | Voorliggende kering | Zettingsvloeiing Gemaal  |



**BIJLAGE A1**

# SAMENHANG 3 RICHTLIJNEN



## BIJLAGE A2

## RISICOTABEL

| Overzicht mogelijke effecten op het waterkerend vermogen                                   |   |   |           |          |           |      |
|--|---|---|-----------|----------|-----------|------|
| Oorzaak  | Gevolg  | Beheersmaatregel  | Overlopen | Overslag | STBI/STBU | STMI |
| INITIATIEFASE  |   |   |           |          |           |      |
| Grondonderzoek is van onvoldoende omvang of kwaliteit                                      | Onjuiste inschatting van de mogelijk effecten   | Raadplegen DinLoket/BR0 en archief waterkeringbeheerder   |           |          |           |      |
| Inmeetgegevens (geometrie) zijn van onvoldoende omvang of kwaliteit                        | Onjuiste inschatting van de mogelijk effecten   | Raadplegen Algemene Hoogtekaart Nederland (AHN) en archief waterkeringbeheerder   |           |          |           |      |
| Ligging van kabels en leidingen is niet bekend   | Onjuiste inschatting van de mogelijk effecten, met name indirect falen van de waterkering | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uitvoeren KLIC-melding;</li> <li>• Raadplegen Risicokaart Nederland</li> </ul>   |           |          |           |      |
| ONTWERPFASE  |   |   |           |          |           |      |
| Geen of onvoldoende verificatie van 'worst-case' uitgangspunten                            | Hogere belastingen of afmetingen resulteren in afname van de waterveiligheid              | Opstellen verificatierapport door initiatiefnemer ter goedkeuring door waterkeringbeheerder   |           |          |           |      |
| Aanvullende gegevens (grondonderzoek, inmetingen) zijn van onvoldoende omvang of kwaliteit | Onjuiste inschatting van de mogelijk effecten   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grondonderzoek uitvoeren conform Eurocode 7 voor Geotechnische Categorie 3</li> <li>• Nauwkeurigheidsmetingen uitvoeren voor een doorsnede bij de windturbine</li> </ul> |           |          |           |      |
| Onvoldoende kennis bij opsteller en beoordeelaar van de effectenstudie/risico-analyse      | Onjuiste inschatting van de mogelijk effecten   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Onafhankelijke review door een ervaren partij</li> <li>• Voorschrijven en toepassen van de Technische Handreiking</li> </ul>   |           |          |           |      |

| Overzicht mogelijke effecten op het waterkerend vermogen |   |  |           |          |           |      |  |
|--|---|--|-----------|----------|-----------|------|--|
| Oorzaak  | Gevolg  | Beheersmaatregel   | Overlopen | Overslag | STBI/STBU | STPH |  |
| BOUWFASE   |   |  |           |          |           |      |  |
| Inbrengen van paalfundering en/of damwanden              | Afname macrostabiliteit door trillingen (grondversnelling) en wateroverspanning | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle stabiliteit door stijvlakberekeningen met grondversnelling en/of verhoogde waterspanning</li> <li>• Monitoring van trillingen en toetsing aan grenswaarden</li> <li>• Toepassen trillingsvrij paalsysteem</li> <li>• Stabiliteitsverhogende maatregelen, zoals aanbrengen streunberm of damwand</li> <li>• Uitvoering buiten stormseizoen</li> </ul> |           |          |           |      |  |
|  | Initiatie verweking/afschuiven voorland door trilling                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle van verwekingsgevoeligheid aan de hand van grondonderzoek</li> <li>• Trillingsvrije methoden voorschrijven</li> <li>• Maatregelen ter voorkoming van verweking (bestorting, verdichting)</li> </ul>  |           |          |           |      |  |
|  | Kruindaling door verdichting dijk/grond t.g.v. trilling                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trillingsvrije methoden voorschrijven</li> <li>• Tijdelijke kruinverhoging (zandzakken of ophoging)</li> <li>• Monitoring van de kruinhoogte en toetsing aan grenswaarden</li> <li>• Herstelmaatregelen opnemen in reguliere aanleg- en onderhoudswerkzaamheden</li> </ul>  |           |          |           |      |  |
|  | Schade dijkbekleding door verdichting dijk/grond t.g.v. trilling                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trillingsvrije methoden voorschrijven</li> <li>• Herstelmaatregelen opnemen werkplan</li> </ul>   |           |          |           |      |  |
|  | Verweking van los gepakt zand/keileem door trilling                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle van verwekingsgevoeligheid aan de hand van grondonderzoek</li> <li>• Trillingsvrije methoden voorschrijven</li> </ul>  |           |          |           |      |  |
|  | Afname kwelweg door hydraulische kortsluiting bij trekken van damwanden         | Toepassen groutinjectione bij trekken van damwanden (voorzieningen vooraf aanbrengen)  |           |          |           |      |  |
|  | Afname kwelweg door hydraulische kortsluiting bij installatie van palen         | Voorschrijven/toepassen van een grondverdringend paalsysteem   |           |          |           |      |  |
|  | Verweking/afschuiven van grond door opstuwen van grondwater                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Toepassen van een gestaffelde of waterdoortlatende damwand</li> <li>• Toepassen bemaling/tijdelijke drainage</li> <li>• Monitoring van de grondwaterstand met een waterspanningsmeter</li> </ul>  |           |          |           |      |  |
|  | Afname macrostabiliteit dijk  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle stabiliteit door stijvlakberekeningen</li> <li>• Toepassen stabiliteitsverhogende maatregelen zoals damwanden</li> <li>• Uitvoering buiten stormseizoen</li> </ul>   |           |          |           |      |  |
|  | Verkorting van de kwelweg   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle berekening van de weerstand tegen piping</li> <li>• Toepassen van bemaling</li> <li>• Uitvoering buiten stormseizoen</li> </ul>  |           |          |           |      |  |
| Ontgraving voor aanleg fundering                         | Verminderde erosiebestendigheid bekleding                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aanbrengen tijdelijke ophoging (bijvoorbeeld zandzakken)</li> <li>• Uitvoering buiten stormseizoen</li> </ul>   |           |          |           |      |  |
|  | Tijdelijke afname kruinhoogte   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aanbrengen tijdelijke ophoging (bijvoorbeeld zandzakken)</li> <li>• Uitvoering buiten stormseizoen</li> </ul>   |           |          |           |      |  |

| Overzicht mogelijke effecten op het waterkerend vermogen                          |   | Overlopen   | Overslag | STBI/STBU | STMI | STPH | STBK | STVL |
|---|---|---|----------|-----------|------|------|------|------|
| Oorzaak   | Gevolg  | Beheersmaatregel  |          |           |      |      |      |      |
| Bemaling  | Kruindaling door zetting  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Retourbemaling</li> <li>Aanbrengen tijdelijke ophoging (bijvoorbeeld zandzakken)</li> <li>Monitoring kruinhoogte tijdens de uitvoering</li> <li>Herstelmaatregelen opnemen in reguliere aanleg- en onderhoudswerkzaamheden</li> </ul>  |          |           |      |      |      |      |
| Aanbrengen grondophoging (terp/platform) voor fundament, kraanopstelplaats of weg | Zetting in dijklichaam en ondergrond  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Toepassen lichtgewicht ophoogmaterialen;</li> <li>Beperken ophoging door toepassen gewapende grond (geogrids)</li> <li>Toepassen grondverbetering</li> <li>Monitoring kruinhoogte tijdens de uitvoering</li> <li>Herstelmaatregelen opnemen in reguliere aanleg- en onderhoudswerkzaamheden</li> </ul> |          |           |      |      |      |      |
|   | Kruindaling door verdichting dijk/grond a.g.v. trilling (pneumatische stampers of trilmaschine) | <ul style="list-style-type: none"> <li>Verdichten in dunne lagen met lage energie</li> <li>Monitoring kruinhoogte tijdens de uitvoering</li> <li>Herstelmaatregelen opnemen in reguliere aanleg- en onderhoudswerkzaamheden</li> </ul>  |          |           |      |      |      |      |
|   | Afsluiven voorland door toename belasting   | Vooraf controleren stabiliteit voorland door middel van glijvlakberekeningen  |          |           |      |      |      |      |
| Kraanbelasting tijdens bouw   | Afname stabiliteit dijk   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Controle stabiliteit door glijvlakberekeningen</li> <li>Overbrengen van belastingen via een paalfundering naar diepere grondlagen.</li> </ul>  |          |           |      |      |      |      |
|   | Omvalen kraan   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Eisen/opstellen van een hijsplan met onderbouwing dat hijsmaterieel op een veilige manier wordt ingezet.</li> </ul>  |          |           |      |      |      |      |
|   | Vallen onderdeel windturbine  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Eisen/opstellen van een hijsplan met onderbouwing dat hijsmaterieel op een veilige manier wordt ingezet.</li> </ul>  |          |           |      |      |      |      |
| Zwaar transport   | Afname stabiliteit dijk   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Controle stabiliteit door glijvlakberekeningen</li> <li>Aanleg tijdelijke (steun)berm</li> </ul>   |          |           |      |      |      |      |
|   | Spoorvorming  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Eisen stellen aan in te zetten materiaal</li> <li>Toepassen rijplaten</li> <li>Herstelwerkzaamheden uitvoeren na zwaar transport</li> </ul>  |          |           |      |      |      |      |
| Aanleg kabels en leidingen  | Afname macrostabiliteit door ontgraving sleuf   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Controle stabiliteit door glijvlakberekeningen</li> </ul>  |          |           |      |      |      |      |
|   | Tijdelijke kruinhoogtedaling door open ontgraving   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Aanbrengen tijdelijke ophoging (bijvoorbeeld zandzakken)</li> </ul>  |          |           |      |      |      |      |
|   | Verminderde erosiebestendigheid   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Aanbrengen kwelscherm</li> <li>Uitvoering buiten stormseizoen</li> <li>Aanbrengen structuurmatten als tijdelijke bescherming</li> </ul>  |          |           |      |      |      |      |

| Overzicht mogelijke effecten op het waterkerend vermogen |  |  |           |          |           |      |
|--|--|--|-----------|----------|-----------|------|
| Oorzaak  | Gevolg   | Beheersmaatregel   | Overlopen | Overslag | STBI/STBU | STMI |
| EXPLOITATIEFASE  |  |  |           |          |           |      |
| Aanwezigheid fundament                                   | Opstuwing freattsch grondwater   | Aanbrengen ringdrainage om het fundament   |           |          |           |      |
|  | Complexe beschouwing van windturbine bij toetsing volgens WBI                          | Betrekken monitoringsdata en inspectiegegevens bij toetsing  |           |          |           |      |
| Falende windturbine: mastbreuk, gondelval of bladbreuk   | Morfologische veranderingen bij een fundament in het water (door aanzanding of erosie) | Aanbrengen bescherming (bestorting) om erosie te voorkomen   |           |          |           |      |
|  | Schade aan dijk (kruinhoogteverlaging, schade bekleding)                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Controle van de additionele faalkans bij schade aan de waterkering</li> <li>Calamiteitenplan opstellen</li> </ul>   |           |          |           |      |
|  | Schokgolf  | Controle van de stabiliteit door middel van een glijvlakberekening   |           |          |           |      |
|  | Indirect falen waterkerende objecten binnen reikwijdte                                 | In locatieleuze de afstand tot NW0's zoveel groot mogelijk houden  |           |          |           |      |
|  | Indirect falen leidingen binnen reikwijdte   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Minimale afstand tot leidingen hanteren van ashoogte plus 1/3 rotordiameter (High Impact Zone).</li> <li>Bescherming van leidingen met overluising</li> </ul>   |           |          |           |      |
| Trillingen door windbelasting                            | Afname macrostabiliteit door trillingen (grondversnelling)                             | Controle stabiliteit door glijvlakberekeningen   |           |          |           |      |
|  | Verwaking van los gepakt zand/keileem door trilling                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Controle van verwerkingsgevoeligheid aan de hand van grondonderzoek</li> <li>Maatregelen ter voorkoming van verweking (injectie, verdichting)</li> </ul>  |           |          |           |      |
| Kiervorming langs palen                                  | Vernatting van de dijk   | Toepassen van een grondverdringend paalsysteem waarbij de grond is opgespannen   |           |          |           |      |
| Kiervorming onder fundament                              | Afname kwelweglengte of geconcentreerde erosie (materiaaluitspoeling)                  | Aanbrengen van een verdiepte rand rondom de funderingsplaat (een zogeheten: skirt), zodat de gevormde kleine holle ruimtes onder de funderingsplaat afgesloten blijven   |           |          |           |      |
| Kiervorming overgang fundament en bekleding              | Afname erosiebestendigheid   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Bij harde bekledingen kan een overgangsconstructie worden ontworpen waarmee zettingsverschillen opgenomen kunnen worden en scheurvorming van de bekleding voorkomen kan worden</li> <li>Voor zachte bekledingen kan op de aansluiting een grotere dikte deklaag worden toegepast</li> </ul> |           |          |           |      |
| Regenafslag bij overgang fundament en bekleding          | Afname erosiebestendigheid door materiaaluitspoeling                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ontwerpen van een erosiebestendige overgangsconstructie (o.a. toegepast bij Windpark Krammer)</li> <li>Afspraken maken over onderhoud/inspectie</li> </ul>  |           |          |           |      |
|  | Toename infiltratie water  | Aanbrengen ringdrainage om water af te voeren  |           |          |           |      |

| Overzicht mogelijke effecten op het waterkerend vermogen |   |   |           |          |           |      |      |      |      |
|--|---|---|-----------|----------|-----------|------|------|------|------|
| Oorzaak  | Gevolg  | Beheersmaatregel  | Overlopen | Overslag | STBI/STBU | STMI | STPH | STBK | STVL |
| Aanwezigheid kruisende kabels                            | Toename kwelvorming en kans op geconcentreerde erosie                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kruisen kabels ontwerpen conform vigerende richtlijnen</li> <li>Toepassen van kwelscherm</li> <li>Gestuurde boring onder de waterkering</li> <li>Veelal is geen maatregel nodig als de kabels 3 m boven het ontwerppeil liggen</li> <li>Afspraken maken over (spoed)reparaties en onderhoud</li> </ul>   |           |          |           |      |      |      |      |
| Aanwezigheid kabels parallel aan waterkering             | Kans op geconcentreerde erosie  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Indien de invloedzones van de leidingen zijn gelegen binnen het beoordelingsprofiel dienen in het ontwerp correctieve maatregelen te worden voorzien</li> <li>Kabels aanbrengen op meer dan 3 meter van de buitenkruinlijn en niet op het buitentalud. Als hieraan niet kan worden voldaan dan dienen de kabels te worden beschouwd als kruisende kabels en dienen aspecten zoals erosie en kwel te worden beschouwd</li> <li>Afspraken maken over (spoed)reparaties en onderhoud</li> </ul> |           |          |           |      |      |      |      |
| Temperatuurverhoging door aanwezigheid kabels            | Slechte kwaliteit grasmat   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vooraf temperatuurverhoging berekenen</li> <li>Terugkerend herstel grasbekleding</li> </ul>  |           |          |           |      |      |      |      |
| <b>ONTMANTELINGFASE</b>                                  |   |   |           |          |           |      |      |      |      |
| Trillingen door sloop fundament                          | Afname macrostabiliteit door trillingen (grondversnelling) en wateroverspanning | <ul style="list-style-type: none"> <li>Controle stabiliteit door gelijkberekeningen met grondversnelling en/of verhoogde waterspanning</li> <li>Monitoring van trillingen en toetsing aan grenswaarden</li> <li>Stabiliteitsverhogende maatregelen, zoals aanbrengen steunberm of damwand</li> <li>Uitvoering buiten stormseizoen</li> </ul>  |           |          |           |      |      |      |      |
|  | Initiatie verweking/afschuiven voorland door trilling                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Controle van verwekingsgevoeligheid aan de hand van grondonderzoek</li> <li>Maatregelen ter voorkoming van verweking (bestorting, verdichting)</li> </ul>  |           |          |           |      |      |      |      |
|  | Kruindaling door verdichting dijk/grond a.g.v. trilling                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Tijdelijke kruinverhoging (zandzakken of ophoging)</li> <li>Monitoring van de kruinhoogte en toetsing aan grenswaarden</li> <li>Kruinophoging als herstelmaatregelen</li> <li>Uitvoering buiten stormseizoen</li> </ul>  |           |          |           |      |      |      |      |
|  | Schade dijkbekleding door verdichting dijk/grond a.g.v. trilling                | Herstelmaatregelen opnemen in werkplan  |           |          |           |      |      |      |      |
|  | Verweking van los gepakt zand/keileem door trilling                             | Controle van verwekingsgevoeligheid aan de hand van grondonderzoek  |           |          |           |      |      |      |      |

| Overzicht mogelijke effecten op het waterkerend vermogen |  |   |           |          |           |      |      |      |      |
|--|--|---|-----------|----------|-----------|------|------|------|------|
| Oorzaak  | Gevolg   | Beheersmaatregel  | Overlopen | Overslag | STBI/STBU | STMI | STPH | STBK | STVL |
| Verwijderen fundament                                    | Afname macrostabiliteit dijk door ontgraving   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Controle stabiliteit door glijvlakberekeningen</li> <li>Aanbrengen tijdelijke grondkering (damwandscherm)</li> <li>Uitvoering buiten stormseizoen</li> </ul>   |           |          |           |      |      |      |      |
|  | Verkorting van de kwelweg  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Controle aan de hand van pipingberekeningen</li> <li>Toepassen bemaling</li> <li>Uitvoering buiten stormseizoen</li> </ul>   |           |          |           |      |      |      |      |
| Verwijderen van palen                                    | Verminderde erosiebestendigheid bekleding  | Aanbrengen erosiebestendige structuurmat als tijdelijke bescherming na aanvullen  |           |          |           |      |      |      |      |
|  | Tijdelijke afname kruinhoogte  | Tijdelijke kruinverhoging (zandzakken of ophoging)  |           |          |           |      |      |      |      |
| Achterblijven van palen                                  | Kwelwegverkorting door verstoring ondergrond   | Palen ruim (1,5 à 2 m) onder maaiveld verwijderen en aanvullen met erosiebestendige klei  |           |          |           |      |      |      |      |
|  | Kwelwegverkorting door degradatie beton  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Laat de palen achter door ze ruim (1,5 à 2 m) onder maaiveld te verwijderen en aan te vullen met erosiebestendige klei</li> <li>Meet de locaties van de palen in</li> <li>Extra aandacht bij inspecties</li> </ul> |           |          |           |      |      |      |      |
| Verwijderen kabels en leidingen                          | Afname macrostabiliteit door ontgraving sleuf  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Controle stabiliteit door glijvlakberekeningen</li> <li>Uitvoering buiten stormseizoen</li> </ul>  |           |          |           |      |      |      |      |
|  | Tijdelijke kruinhoogtedaling door open ontgraving  | Tijdelijke kruinverhoging (zandzakken of ophoging)  |           |          |           |      |      |      |      |
| Kraanbelasting tijdens sloop                             | Verminderde erosiebestendigheid tijdens de uitvoering en na aanvullen (nog geen ontwikkelde grasmat) | Aanbrengen erosiebestendige structuurmat als tijdelijke bescherming na aanvullen  |           |          |           |      |      |      |      |
|  | Afname stabiliteit dijk door belasting   | Controle stabiliteit door glijvlakberekeningen  |           |          |           |      |      |      |      |
| Zwaar transport  | Omvalen kraan  | Eisen/opstellen van een hijsplan met onderbouwing dat hijsmaterieel op een veilige manier wordt ingezet   |           |          |           |      |      |      |      |
|  | Vallen onderdeel windturbine   | Eisen/opstellen van een hijsplan met onderbouwing dat hijsmaterieel op een veilige manier wordt ingezet   |           |          |           |      |      |      |      |
| Zwaar transport  | Afname stabiliteit dijk  | Controle stabiliteit door glijvlakberekeningen  |           |          |           |      |      |      |      |
|  | Spoorvorming   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Toepassen rijplaten of schotten</li> <li>Herstelwerkzaamheden uitvoeren na zwaar transport</li> </ul>  |           |          |           |      |      |      |      |