

719109
18 februari 2021

EV – HOOFDSTUK
WATERKERINGEN
ENERGIEPARK A59

ENECO

v2.1



Duurzame oplossingen in
energie, klimaat en milieu

Documenttitel	EV – Hoofdstuk Waterkeringen Energiepark A59
Soort document	v2.1
Datum	18 februari 2021
Projectnummer	719109
Opdrachtgever	Eneco
Auteur	Stefan Flanderijn, Pondera Consult
Vrijgave	B. Vogelaar, Pondera Consult

INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding	1
1.1	Windturbines	1
1.2	Posities windturbines	4
2	Bebouwing	5
3	Wegen	5
4	Risicovolle inrichtingen en installaties	5
5	Ondergrondse buisleidingen en bovengrondse gasnetwerk	5
6	Hoogspanningsinfrastructuren	5
7	Waterkeringen	6
7.1	Inleiding	6
7.2	Toetsafstand	8
7.3	Trefkans dijklichaam	9
7.4	Bepaling gevolgschade door treffen	12
7.5	Bepaling relevante overstromingsrisico's	14
7.6	Toetsing van de risico's	15
7.7	Vervolg analyse en contact Waterschap	17
8	Kwalitatieve analyse ijsworp scenario	18

1 INLEIDING

Eneco heeft het voornemen om een tweetal windturbines te realiseren in de Oranjepolder, ten noorden van Oosterhout en ten zuiden van de A59. Het gebied betreft een voornamelijk agrarische omgeving met belangrijke aanwezigheid van de snelweg als voorname infrastructuur en het Wilhelminakanaal.

Deze analyse onderzoekt wat de mogelijke effecten kunnen zijn in relatie tot het onderwerp externe veiligheid en toetst dit aan huidige wet- en regelgeving voor de veiligheid van de omgeving bij de ontwikkeling, exploitatie en bouw van windturbines. Hierbij worden de windturbines getoetst aan de eisen in het geldende Activiteitenbesluit milieubeheer (Activiteitenbesluit). Ook wordt, waar relevant, een doorkijk gegeven naar mogelijke effecten voor inrichtingen van derden in de omgeving in relatie tot het Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi) en voor buisleidingen naar het Besluit externe veiligheid buisleidingen (Bevb). Additioneel worden ook andere beleidsvraagstukken beschouwd zoals de invloed van de windturbines op de veiligheid van de waterkering van het Wilhelminakanaal, passanten of gevaarlijk vervoer op de snelwegen en gevolgen voor momenteel onderliggende bestemmingen.

Alle uitgangspunten, faalscenario's en analyses in deze rapportage zijn gebaseerd op het handboek voor risicozonering van windturbines bestaande uit een handleiding en de handreiking (versie 1.0 – 21 januari 2020)¹, dat een handreiking geeft voor de uitvoering van risicoanalyses bij windturbines in Nederland. De handleiding en de handreiking zijn wijd geaccepteerd als leidraad voor het uitvoeren van dergelijke analyses en meermaals juridisch getoetst in windenergieprojecten. Daarnaast wordt gekeken naar gepubliceerd aanvullend beleid dat betrokken beheerders van infrastructuur, overheden of derden volgen.

In de hierop volgende hoofdstukken wordt per onderwerp de veiligheidssituatie geanalyseerd.

1.1 Windturbines

Om inzicht te geven in de mogelijkheden en risico's wordt gebruik gemaakt van een bandbreedte voor de toe te passen afmetingen van de windturbines. De toegepaste bandbreedte staan vermeld in Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Toepassing onderzochte maximale bandbreedte windturbines

Eigenschap	Minimaal	Maximaal	Eenheid
Tiphoogte	199	235	meter
Rotordiameter	126	170	meter
Ashoogte	126	170	meter

Op basis van bovenstaande dimensies is een niet limitatieve lijst met windturbines opgesteld die mogelijk gerealiseerd zouden kunnen worden binnen de aangegeven bandbreedtes, om daarmee de maximale effecten op het gebied van externe veiligheid te kunnen bepalen. Uitgangspunt hierbij is dat de analyse wordt uitgevoerd aan de hand van de combinatie van

¹ Vanaf nu samen genaamd: Het HRW of het Handboek risicozonering

potentieel meest nadelige eigenschappen zodat elke uiteindelijk te plaatsen windturbine veiliger is dan (of gelijk aan) de onderzochte worst-case situatie. De windturbines waarvan de effecten zijn bepaald staan in Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Windturbines onderzocht op potentiële effecten

Windturbintype	Rotordiameter (in m)	Nominaal toerental (in rpm ⁽²⁾)	Toegepaste ashoogte (in m)
SiemensGamesa SG-170	170	8,8	150
Vestas V150-4.2MW	150	10,4	160
Lagerwey L136	136	11,1	167
SiemensGamesa SG-145	145	10,8	162,5
Vestas V136-3.6	136	11,8	167
SiemensGamesa SG-129	129	12,5	170

*NB – Het kan zijn dat windturbintypes variëren in vermogen t.o.v. deze lijst. Het vermogen is geen eigenschap die direct invloed heeft op de te bepalen veiligheidseffecten. De hier genoemde vermogens zijn ter indicatie.

1.1.1 Interne veiligheid

De interne veiligheid van windturbines is geregeld via de certificering van het ontwerp en de productie. In Nederland mogen alleen windturbines worden geplaatst die gecertificeerd zijn volgens de veiligheidsnormen NVN 11400-0 en aansluitend NEN-EN-IEC 61400. Deze normen bevatten criteria voor veiligheid, geluidemissies en rendement. De keuring volgens deze normen is gericht op een veilige en betrouwbare werking van een windturbine en wordt verricht door een erkend keuringsinstituut. Het windturbineontwerp wordt o.a. gecontroleerd op sterkte van de constructie, elektrische veiligheid, bliksemafleiding en beveiliging tegen te harde wind. De windturbine wordt ook getest. Zo worden er bijvoorbeeld onder verschillende omstandigheden remproeven uitgevoerd. Ook wordt de brandveiligheid van de constructie in de normen behandeld. Voor uitvoering van deze analyse wordt ervan uitgegaan dat de te plaatsen windturbines NEN-EN-IEC-61400 gecertificeerd zijn. Het onderwerp interne veiligheid wordt verder niet geanalyseerd.

1.1.2 Faalscenario's en bepaling effectafstanden

Windturbines kunnen op vijf manieren een risico veroorzaken voor hun omgeving. Het Handboek risicozonering omschrijft de volgende vijf scenario's:

- Mastfalen
 - Het omvallen vanaf de mast, worst-case weergegeven door omvallen vanaf de voet van de mast.
- Gondelfalen
 - Het naar beneden vallen van de gondel (of rotorhub), weergegeven door het naar beneden vallen van de gondel inclusief de volledige rotor vallend langs de masttoren.
- Bladworp bij nominaal toerental en overtoeren

² Rpm = rotaties per minuut

- Het afwerpen van een enkel rotorblad tijdens operatie met een nominaal toerental of in een overtoerensituatie³.
- Vallende kleine onderdelen
 - Het naar beneden vallen van kleine onderdelen zoals bouten en moeren. Dit scenario veroorzaakt vrijwel geen schade of risico voor de externe omgeving door de kleine kans van voorkomen en het relatief beperkte gevolg. Dit scenario wordt niet verder onderzocht in deze analyse.
- Het afwerpen of neervallen van ijsvorming
 - Bij significante ijsvorming aan de bladen kunnen brokstukken van ijs worden afgeworpen. In Hoofdstuk 8 worden over dit scenario adviezen gegeven voor de betrokken locaties.

Per faalscenario hoort een maximale effectafstand. Buiten deze maximale effectafstand is er geen sprake van een significant risico voor het betrokken faalscenario. Voor mastfalen is de maximale effectafstand de afstand van tiphoogte wat in deze analyse maximaal 220 meter is. Voor gondelfalen omschrijft het HRW een maximale afstand van een halve rotordiameter die in dit geval 75 meter bedraagt. De maximale effectafstanden bij bladworp worden berekend met behulp van:

- de gegeven nominale toerentallen en;
- een generieke zwaartepuntsafstand van $1/3^e$ bladlengte tot het centrum van de as.

Hiervoor worden de formules 2.1.1 t/m 2.1.9 uit pagina C-10 van het HRW gebruikt. Tabel 1.3 geeft de verschillende werpafstanden voor de onderzochte windturbinetypes weer.

Tabel 1.3 Werpafstanden windturbines onderzocht op potentiële effecten (maximale waarden zijn dikgedrukt)

Windturbintype	Werpafstand bij nominaal toerental in meters	Werpafstand bij overtoeren toerental in meters
SiemensGamesa SG-170	163	402
Vestas V150-4.2MW	175	433
Lagerwey L136	171	419
SiemensGamesa SG-145	177	439
Vestas V136-3.6	183	457
SiemensGamesa SG-129	186	463

Om de maximale effecten goed weer te geven wordt de werpafstand genomen van een fictieve windturbine met een maximale werpafstand van 186 meter bij nominaal toerental en 463 meter bij overtoeren. Er wordt voor het te werpen blad wel uitgegaan van de maximale bladlengte van 85 meter. Hiermee wordt een worst-case situatie inzichtelijk gemaakt en kunnen de effecten in werkelijkheid enkel kleiner zijn dan berekend, mits de uiteindelijk te bouwen windturbine binnen de genoemde bandbreedte blijft.

³ Conform het HRW wordt de overtoeren situatie omschreven als bladworp bij 2x het nominale toerental. Dit is een overschatting van de werkelijk optredende toerentallen bij een overtoeren situatie, welke eerder 1,25x het nominaal toerental bedragen.

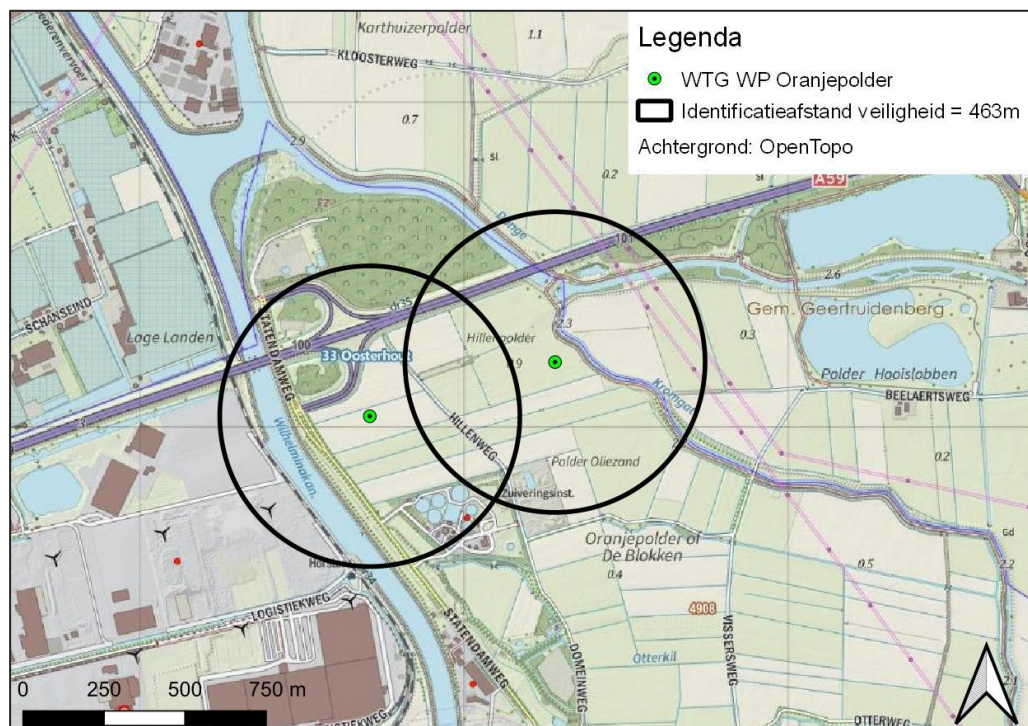
1.2 Posities windturbines

In deze analyse worden twee windturbineposities onderzocht: WT01 en WT02. De coördinaten van de windturbines staan weergegeven in Tabel 1.4 en de posities zijn zichtbaar in Figuur 1.1. Conform de maximale effectafstanden in paragraaf 1.1.2 is de identificatieafstand voor het veiligheidsonderzoek gesteld op 463 meter. Objecten buiten deze afstand zullen volgens de methodiek in het Handboek risicozonering geen risico ondervinden en hoeven niet te worden beschouwd onder het thema externe veiligheid.

Tabel 1.4 Onderzochte windturbineposities (coördinaten in Rijksdriehoekstel)

Windturbinepositie	X-coördinaat	Y-coördinaat
WTG 1	117.709	410.033
WTG 2	118.281	410.200

Figuur 1.1 Weergave windturbineposities en identificatieafstand



De volgende hoofdstukken volgen de opbouw van het Handboek risicozonering.

2 BEBOUWING

3 WEGEN

4 RISICOVOLLE INRICHTINGEN EN INSTALLATIES

5 ONDERGRONDSE BUISLEIDINGEN EN BOVENGRONDSE GASNETWERK

6 HOOGSPANNINGSINFRASTRUCTUREN

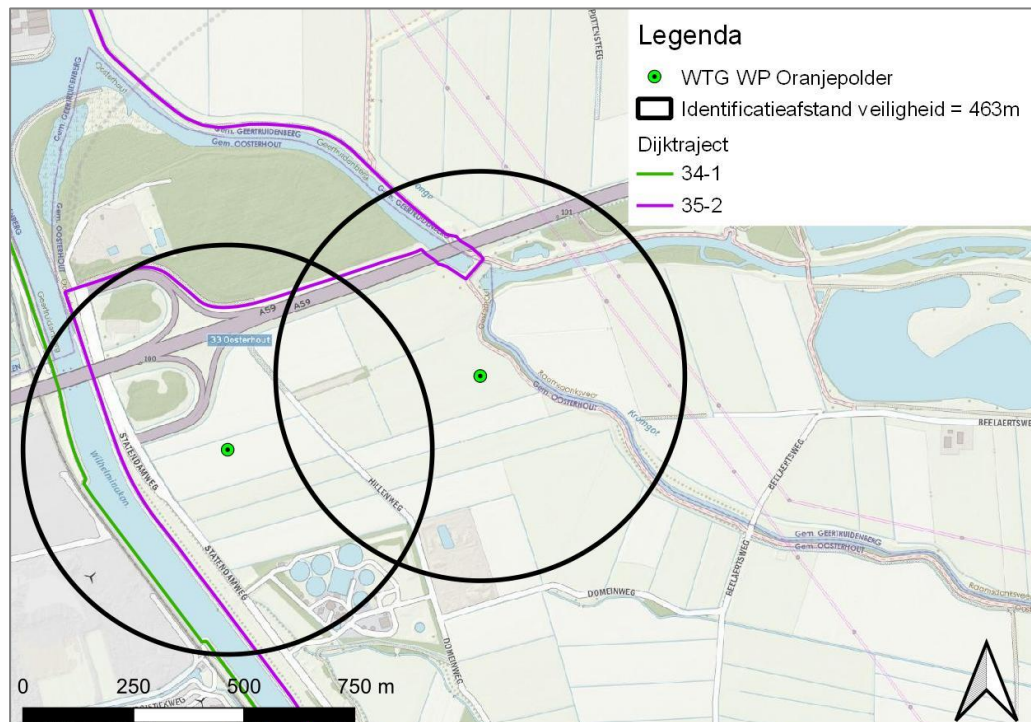
7 WATERKERINGEN

7.1 Inleiding

Dijkbeheerders in Nederland moeten ervoor zorgen dat primaire waterkeringen voldoen aan de veiligheidseisen die hieraan worden gesteld. Dit betekent dat elke waterkering in Nederland dient te voldoen aan een bepaalde norm waarmee de kans op economische schade zo klein mogelijk wordt gehouden. In het Nationaal Basisbestand Primaire Waterkeringen zijn de normen te vinden waaraan elk dijktraject dient te voldoen. Dit bestaat uit een signaleringswaarde en een maximaal toelaatbare faalkans voor een waterkering. Door de trefkans van een windturbine te vergelijken met deze waarden kan inzicht worden verleend in wat de additionele faalkans is van een dijklichaam in relatie tot het risico wat de aanwezigheid van de windturbines hieraan toevoegt.

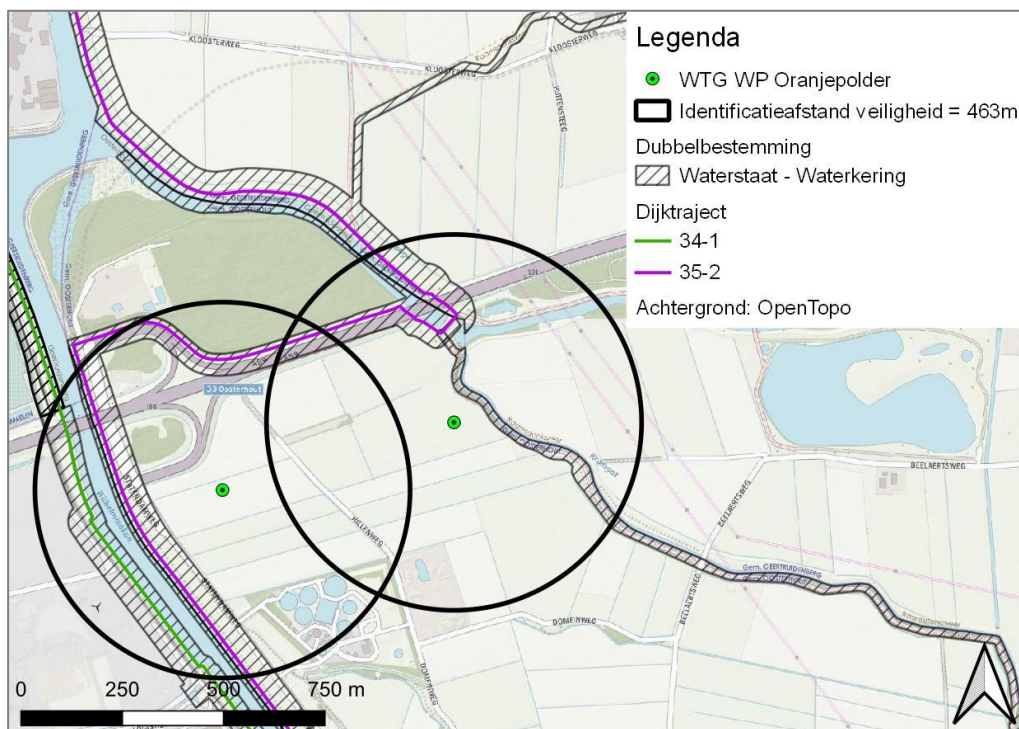
De signaleringswaarde voor een dijktraject is, samen met de ondergrens, als norm in de wet opgenomen. De waarde betreft een overstromingskans. Alle primaire waterkeringen in Nederland hebben een signaleringsnorm gekregen tussen de 1:300 en de 1:1.000.000. Binnen de identificatieafstand van WP Energiepark A59 liggen twee dijktrajecten, zie Figuur 7.1. Voor het dijktraject 35-2 is de signaleringswaarde gelijk aan 1:3.000 jaar en de ondergrens is 1:1.000 jaar. Voor dijktraject 34-1 is de signaleringswaarde gelijk aan 1:1.000 jaar en de ondergrens is 1:300 jaar.

Figuur 7.1 Dijktrajecten primaire waterkering binnen identificatieafstand



Naast de voorgenoemde dijktrajecten zijn er tevens in het Bestemmingsplan buitengebied⁴ stroken langs het Kromgat (waterloop nabij windturbinelocatie 2), de Donge en het Wilhelminakanaal die de dubbelbestemming Waterstaat – Waterkering hebben, zie onderstaand Figuur 7.2.

Figuur 7.2 Dijktrajecten en Dubbelbestemming Waterstaat – Waterkering rondom plangebied



Er zal worden onderzocht of de primaire waterkeringen (dijktrajecten in Figuur 7.2) kunnen worden geraakt en of er sprake is van rotoroverdraai met de gebieden die de dubbelbestemming Waterstaat – Waterkering hebben (zie ook Figuur 7.2).

⁴ NL.IMRO.0826.BSPbuitengeb2013-VA01

Potentiële effecten

Een windturbine kan op verschillende manieren een effect veroorzaken aan de functionele werking van een waterkering welke grofweg is onder te verdelen in twee categorieën:

- Bovengrondse effecten;
 - Effecten afkomstig van de kans op schade doordat windturbineonderdelen tijdens het falen van een windturbine op of tegen een waterkering aan vallen en daarmee een gat slaan in de waterkering. Dit zijn effecten die tijdens exploitatie optreden.
- Ondergrondse effecten.
 - Effecten afkomstig van ondergrondse effecten zoals trillingen, lokale en interne erosie, zetting, afschuiven of zettingsvloeiing. Dit zijn effecten die zowel deels tijdens exploitatie of voornamelijk tijdens de bouw (trillingen) kunnen optreden.

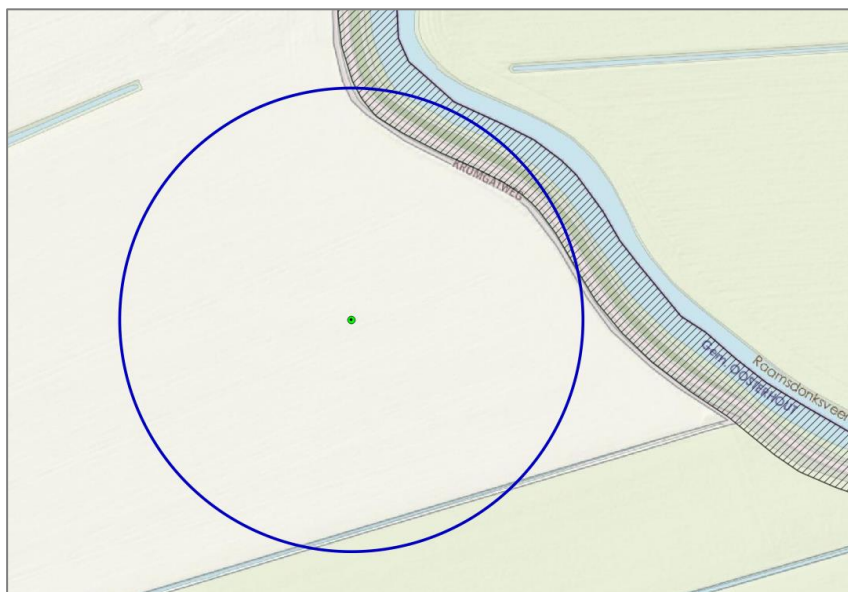
Deze analyse beschouwt enkel de mogelijke bovengrondse effecten volgens het Handboek risicozonering.

7.2 Toetsafstand

Rijkswaterstaat dient een vergunning af te geven voor de bouw van windturbines indien de windturbines op of boven gronden van Rijkswaterstaat wordt geplaatst. Dit betekent dat indien de rotor draait over een dijk of waterkering in eigendom van Rijkswaterstaat dat er een vergunning benodigd is. De betrokken terreinen van de dijktrajecten 34-1 en 35-2 zijn in eigendom van het Waterschap Brabantse Delta. Ook de overige gebieden bestemd als waterkering zijn in het eigendom van het Waterschap Brabantse Delta. Er is daarmee geen vergunning benodigd voor de bouw van de windturbines van Rijkswaterstaat.

Er kan wel sprake zijn van rotoroverdraai van windturbinelocatie 2 met een gebied met de dubbelbestemming Waterstaat – Waterkering. Volgens het vigerende bestemmingsplan is er toestemming van het Waterschap nodig. Het Waterschap Brabantse Delta heeft aangegeven dat deze lokale kering onderdeel is van een 'overige kering'. Het waterpeil is hier gereguleerd. Er is geen sprake van overstromingen. In de Keur van het Waterschap staat dat ze het profiel van deze overige keringen in stand houden. Er is enkel sprake van een instandhoudingsdoelstelling. De windturbine doet daar geen afbreuk aan. Eventuele schade moet natuurlijk wel hersteld worden.

Figuur 7.3 Rotoroverdraai van windturbinelocatie 2



Voor de primaire waterkeringen geldt dat de dijkbeheerders zorgdragen voor de veiligheid van de waterkeringen. Er is contact met de dijkbeheerder (Waterschap Brabantse Delta) om de mogelijke effecten inzichtelijk te maken. Als een eerste analyse wordt hier de trefkans van de bovengrondse effecten inzichtelijk gemaakt op de dijktrajecten van de primaire waterkering.

7.3 Trefkans dijklichaam

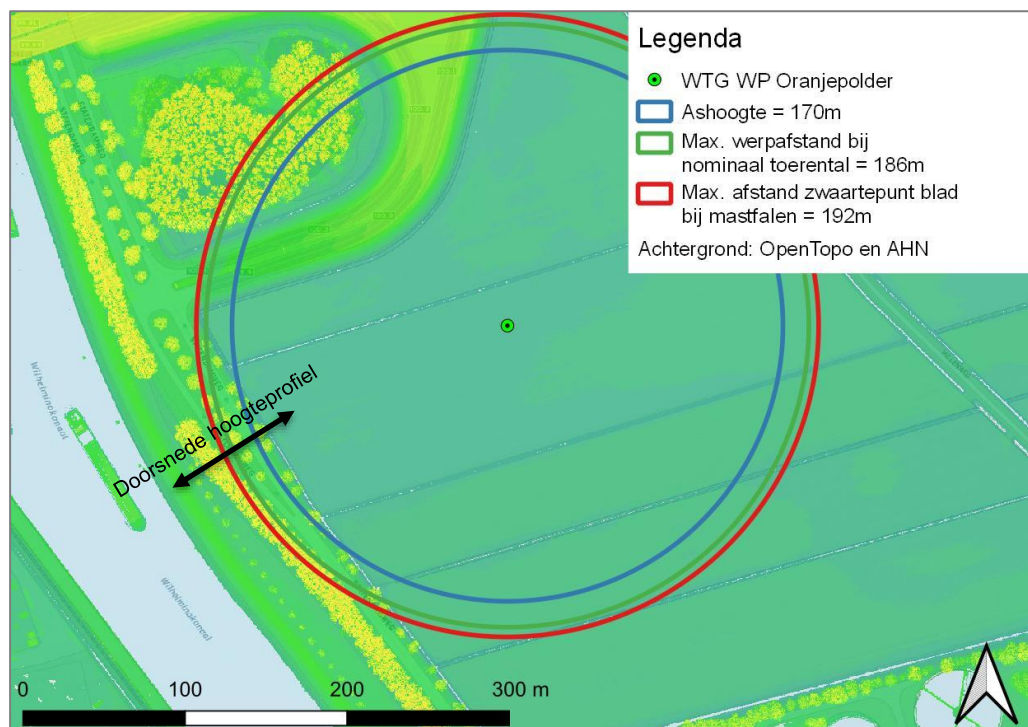
Om de trefkans van het dijklichaam inzichtelijk te maken wordt de kans op het landen van gewichten van windturbineonderdelen op de primaire waterkering inzichtelijk gemaakt. Hiervoor wordt gekeken naar de zone uit het bestemmingsplan met de dubbelbestemming Waterstaat – Waterkering rondom dijktraject 35-2, omdat deze waterkering het dichtst bij een windturbinelocatie van WP Energiepark A59 is gelegen. De voorgenoemde zone geeft een goede weergave van de trefkans van zowel de kruin van de dijk als een beperkte zone eromheen waar nog significante schade aan de functionele werking van de dijk zou kunnen plaatsvinden als daar een gat in wordt geslagen.

Er worden twee faalscenario's van de windturbine onderzocht:

- Mastfalen;
 - De windturbine faalt vanaf de voet van het fundament en valt in zijn geheel om.
- Bladworp bij nominaal toerental.
 - Een enkel blad wordt tijdens nominaal toerental in zijn geheel weggeworpen.
- Bladworp bij overtoeren toerental.
 - Een enkel blad wordt tijdens overtoeren in zijn geheel weggeworpen.
 - De trefkansen van bladworp bij overtoeren zitten verwerkt in de trefkans van bladworp bij nominaal toerental maar dit effect wordt niet separaat beschouwd gezien de kleine kans van optreden.

De maximale afstand waarop in het scenario mastfalen het gondelgewicht kan vallen is 170m. De afstand waarop het zwaartepunt van het blad terecht kan komen bedraagt maximaal $(170 + 130 / 6 = 192\text{m})$, wanneer er windturbines met een ashoogte van 170m en de daarbij behorende maximale rotordiameter van 130m worden gerealiseerd⁵. De maximale afstand waarop het zwaartepunt van een blad kan terechtkomen als gevolg van bladworp bij nominaal toerental bedraagt 186m. Deze afstanden zijn hieronder weergegeven in Figuur 7.4. In Figuur 7.4 is daarbij de hoogtekaart (AHN3) als ondergrond gebruikt, om inzicht te krijgen in waar de kruin van de waterkering zich bevindt.

Figuur 7.4 Primaire waterkering nabij windturbinelocatie 1



Volgens de hoogtekaart lijkt de dijk uit twee delen te bestaan; het primaire deel langs het water, waar ook het fietspad is gelegen, en het secundaire deel, waar de Statendamweg is gesitueerd.

De grootste afstand, waarbij het zwaartepunt van het blad terechtkomt bij het scenario mastfalen, bedraagt 192m. De binnentoe van het primaire deel van de dijk (kruinhoogte 3,9m +NAP) is op minimaal 214m gelegen van windturbine 1 en kan dus niet worden geraakt door mast-, gondel- of bladgewicht in de faalscenario's mastfalen, gondelfalen of bladworp bij nominaal toerental.

Na overleg met het Waterschap zijn de trefkansen van de verschillende zones van de waterkering inzichtelijk gemaakt. In de rapportage “*Trefkansanalyse waterkering - Windpark*

⁵ Bij windturbines met een grotere rotordiameter en lagere ashoogte wordt deze afstand kleiner, 192m is worst case

Oranjepolder Oosterhout van 21 oktober 2020 is berekend dat de zones als volgt geraakt kunnen worden:

Tabel 7.1 Trefkansen van windturbine 01 op waterkering

	Beschermingszone A	Beschermingszone B	Waterstaatswerk Oost	Waterstaatswerk West
Bladgewicht	$2,5 \times 10^{-05}$	$5,5 \times 10^{-05}$	$1,3 \times 10^{-07}$	$8,0 \times 10^{-08}$
Gondelgewicht	$7,5 \times 10^{-06}$	$1,7 \times 10^{-05}$	0	0

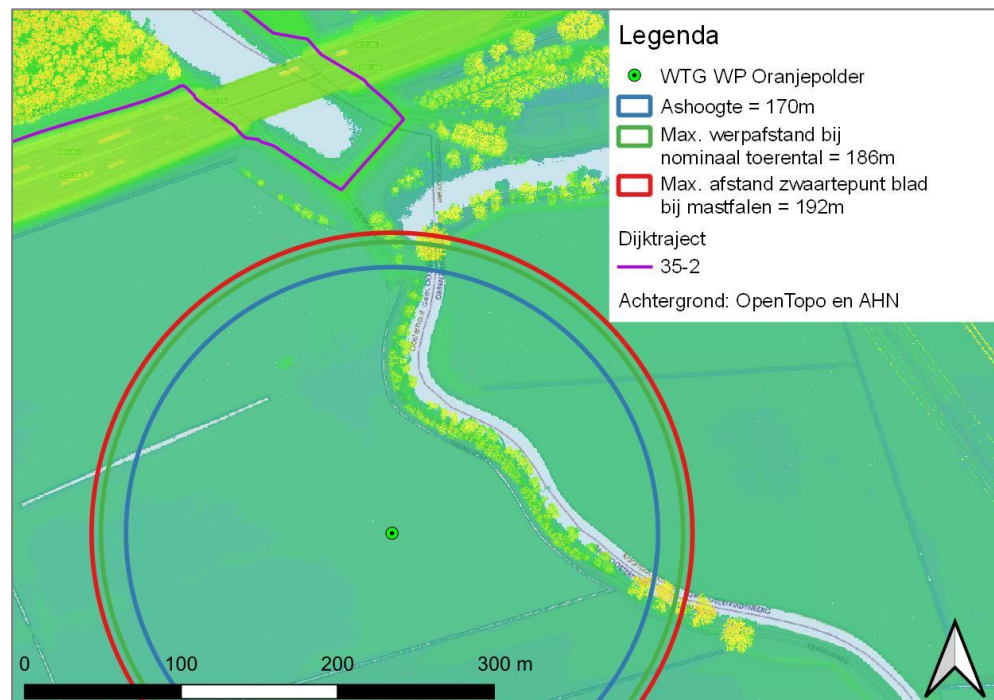
Als gevolg van de trefkansen kan er schade ontstaan aan de verschillende onderdelen. Afhankelijk van waar de schade optreedt en hoe groot de schade is kunnen er wel of niet risico's optreden die de kans op overstroming verhogen. Deze berekening is weergegeven in paragraaf 7.4. De zone van het waterstaatswerk zelf nabij windturbine 1 kan enkel worden geraakt in het faalscenario bladworp bij overtoeren. De trefkans van het waterstaatswerk zelf is zodanig klein dat er geen significante kans op overstroming als gevolg van dat risico wordt verwacht bij windturbine 01.

Dezelfde analyse is gebruikt voor windturbine 2 en de afstanden zijn weergegeven in Figuur 7.5. De primaire waterkering nabij windturbine 2 kan enkel worden geraakt in het faalscenario bladworp bij overtoeren. De trefkans van het waterstaatswerk zelf is zodanig klein dat er geen significante kans op overstroming als gevolg van dat risico wordt verwacht bij windturbine 02.

Tabel 7.2 Trefkansen van windturbine 02 op waterkering

	Beschermingszone A	Beschermingszone B	Waterstaatswerk Oost	Waterstaatswerk West
Bladgewicht	$1,8 \times 10^{-06}$	$3,3 \times 10^{-05}$	$8,6 \times 10^{-08}$	0
Gondelgewicht	0	0	0	0

Figuur 7.5 Primaire waterkering nabij windturbinelocatie 2



7.4 Bepaling gevolgschade door treffen

De schade aan de waterkering zal variëren aan de hand van welk onderdeel met welk gewicht en vanaf welke hoogte vallend de waterkering wordt getroffen.

Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen het vallen van gewichten en het werpen van rotorbladen omdat bij bladworp een gewicht omhoog gegooid kan worden en daardoor met grotere kracht kan neervallen dan bij de andere twee vallende faalscenario's. Dit betekent dat bij mastfalen de gewichten van de onderdelen tot de volgende kraterdieptes zouden kunnen zorgen. Een eerdere berekening was uitgevoerd met de 'Menard' methode. De 'Menard methode' ging uit van dimensielloze objecten die met hun volle gewicht één punt van de waterkering raken waardoor de kraterdieptes ruim overschat werden. Met de nieuwe methode kan een berekening worden uitgevoerd welke meer rekening houdt met de dimensies van de betrokken onderdelen. Onderstaande formules zijn gebaseerd op de worst-case methodiek voor kraterbepaling van 'Bernard'⁶.

$$Z = \frac{1}{c} * \left[- \left(a + \frac{2}{3} * b * V \right) + \sqrt{\left(a + \frac{2}{3} * b * V \right)^2 + G_w * c * V^2} \right]$$

Met:

Z = Indringingsdiepte (kratervorming) [m]

$$a = \frac{A * d}{S * N}$$

$$b = \frac{d}{S * N} * \sqrt{\left(\frac{3}{7} * B * G_w \right)}$$

⁶ Bernard (1978): Depth and motion prediction for earth penetrators. ADA056701, Vicksburg.

$$c = \frac{B * d^2}{S^2 * N^2}$$

V = Impactsnelheid van het onderdeel [m/s]

G_w = Gewicht van onderdeel [kg]

d = Diameter van treffend onderdeel (breedte object) [m]

S = Grondsoort-type (6 = Medium dense, medium to coarse sand, wet or dry on the loose side)

N = Object nose shape (0,56 = Flat or blunt surface)

A = Constante waarde = $2,2 \times 10^{06}$ [N/m]

B = Constante waarde = $2,8 \times 10^{07}$ [N/m³]

RPM = Toerental tijdens bladworp

Zp = Zwaartepunt rotorblad (generiek op 1/6 x Rotordiameter)

Voor de bepaling van de Impactsnelheid (V) wordt voor gondelfalen en mastfalen uitgegaan van de ashoogte waarmee de impactsnelheid kan worden berekend met de formule:

$$V = \sqrt{2 * 9,81 * ashoogte}$$

De impactsnelheid bij bladworp bij nominaal toerental en overtoeren wordt bepaald door de rotatiesnelheid en de boogvlucht die het blad aflegt door de lucht. De geldende formule gaat uit van maximale valsnelheid vanaf de maximale hoogte die bereikt kan worden bij een werphoek van 60 graden. Deze waarde wordt representatief geacht voor een maximale hoogte waarbij het rotorblad nog wel enige afstand aflegt tijdens de worp. De snelheid bij bladworp wordt bepaald met de formule:

$$Werpsnelheid = 2 * \pi * \frac{RPM}{60} * Zp$$

De hoogste top van de worp kan dan worden bepaald met:

$$Maximale werphoogte = \frac{Werpsnelheid^2 * \sin(90)^2}{2 * 9,81} + Ashoogte$$

In onderstaande tabel wordt voor een maximaal windturbinetype de relevante eigenschappen van de windturbine weergegeven. Hierbij wordt voor de faalscenario's bladworp en mastfalen elk een eigen worst-case windturbine gehanteerd.

Eigenschap	Waarde	Eenheid	Bron
Rotordiameter	130	meter	i.c.m. maximale tiphoogte = 235m
Ashoogte	170	meter	i.c.m. maximale tiphoogte = 235m
Toerental nominaal	12,5	rotaties per minuut	SG-129
Toerental overtoeren	25	rotaties per minuut	SG-129
Werphoogte bij bladworp	170	meter	SG-129 op 170m
Zwaartepunt rotorblad	21,5	meter	generiek 1/6 x RD
Gewicht gondel / hub	300	ton	Inschatting
Gewicht rotorblad	24	ton	Inschatting
Gewicht masttoren	Niet van toepassing / Kratervorming door gondelgewicht wordt maatgevend geacht		
Trefdiameter rotorblad	3,5	meter	gemiddeld

Trefdiameter gondel	4,5	meter	gemiddeld
---------------------	-----	-------	-----------

Alle waardes invullend in de formules worden de volgende resultaten bepaald.

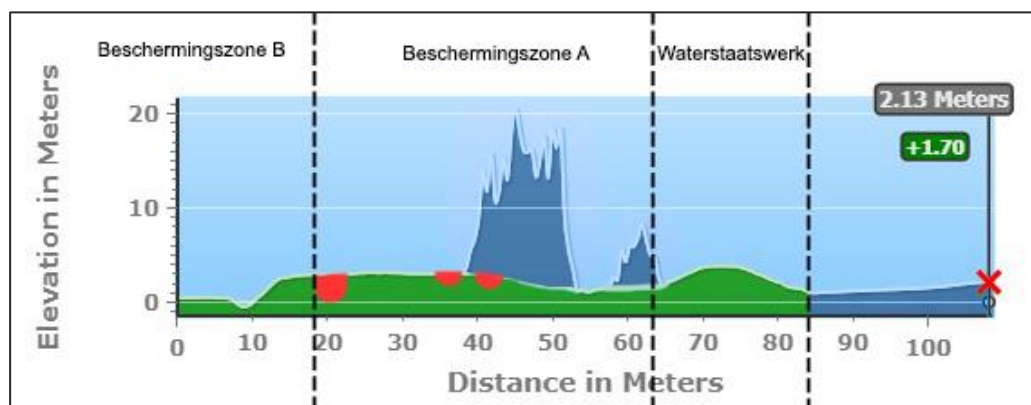
Figuur 7.6 Uitkomsten bepaling kraterdieptes

Grootheid	Waarde	Eenheid
Impactsnelheid gondelfalen	57,8	[m/s]
Impactsnelheid bladworp nominaal	64,3	[m/s]
Impactsnelheid bladworp overtoeren	80,6	[m/s]
Indringingsdiepte gondel	2,9	[m]
Indringingsdiepte blad bij mastfalen	1,0	[m]
Indringingsdiepte bladworp nominaal	1,1	[m]
Indringingsdiepte bladworp overtoeren	1,4	[m]

7.5 Bepaling relevante overstromingsrisico's

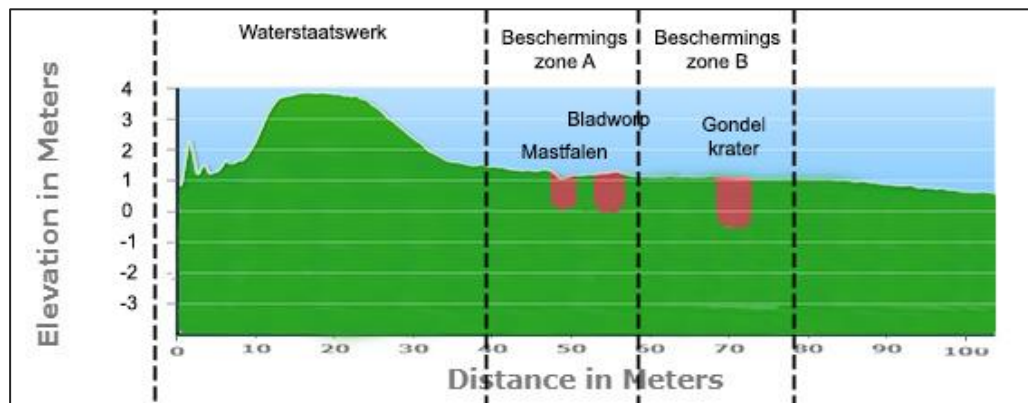
In onderstaand figuur is het hoogteprofiel van de waterkering weergegeven op de locatie met daarin opgenomen de kraterdieptes veroorzaakt door de faalscenario's van de windturbine 01 en windturbine 02.

Figuur 7.7 Hoogteprofiel waterkering windturbine 01 en vallende gewichten



*Verschillende horizontale en verticale schaal

Figuur 7.8 Hoogteprofiel waterkering windturbine 02 en vallende gewichten



*Verschillende horizontale en verticale schaal

7.6 Toetsing van de risico's

Op basis van deze informatie wordt met de betrokken dijkbeheerder (Waterschap Brabantse Delta) onderzocht of er sprake kan zijn van significante risico's. Er is een toetsingskader afgestemd wat bestaat uit twee normcriteria:

- De additionele faalkans van de waterkering mag op doorsnedeniveau, per toetsspoor, niet hoger zijn dan 1%.
- Op trajectniveau mag de totale bijdrage van de windturbines aan de faalkans, niet hoger zijn dan 0,5% van de ondergrens.

Er zijn door het Waterschap Brabantse Delta in de situaties zoals weergegeven in Figuur 7.7 en Figuur 7.8 drie faalscenario's van de waterkering geïdentificeerd die een rol kunnen spelen in het vergroten van de kans op een overstroming:

- Macrostabieleit binnenwaarts: Eis van $1/25000$ * ondergrens $1/1000$ = Toetsingseis 4×10^{-07}
- Piping: Eis van $1/4167$ * ondergrens van $1/1000$ = Toetsingseis $2,4 \times 10^{-06}$
- Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (hoogte) aantasting: Eis van $1/4157$ * ondergrens van $1/1000$ = Toetsingseis $2,4 \times 10^{-06}$.

De toetseisen (doorsnede-eisen) zijn aangegeven door het Waterschap Brabantse Delta.

7.6.1 Macrostabieleit binnenwaarts en piping

De aantasting van de macrostabieleit binnenwaarts en het optreden van piping kan in de hier optredende situatie enkel plaatsvinden als er significante kratervorming plaats vindt volgens Figuur 7.7 en Figuur 7.8. De totale trefkans per windturbine van de beschermingszones A en B is: $1,05 \times 10^{-04}$ en $4,1 \times 10^{-05}$. Er kan daarmee niet direct worden voldaan aan de toetsingseisen. De aantasting van de macrostabieleit binnenwaarts en het optreden van piping vindt echter alleen significant plaats bij hogere waterstanden gelijktijdig aan het aanwezig zijn van een krater. Een krater veroorzakend gevolg van het falen van een windturbine is een zeer herkenbaar risico wat niet gemist kan worden. Een dergelijk faalscenario van het omvallen van de windturbine of het faalscenario van een bladworp zijn direct herkenbaar en te identificeren. Het is daarmee realistisch om een hersteltijd van eventuele schade van 7 dagen te hanteren.

De kans op een overstroming als gevolg van de kratervorming op meer dan 20 meter van de kern en taluds van de waterkering is enkel significant indien er een zeer abnormaal hoge belasting op de waterkeringen aanwezig is als gevolg van een extreme hoge waterstand. Uitgaande van een hoogwaterduur van 2 dagen en een kans op voorkomen van een hoge waterstand van $1/10$ jaar⁷ kan daarmee een eerste inschatting worden gemaakt van de te verwachten kans op overstroming als gevolg van de krater vorming. De kans op een hoogwaterstand tijdens de herstelwerkzaamheden is daarmee in te schatten als: $1/10 * (2/365) + 1/10 * (7/365) = 0,00246$.

De kans van kratervorming tijdens hoogwater wordt daarmee per windturbine:

- WT01 – $1,05 \times 10^{-04} * 0,00246 = 2,6 \times 10^{-07}$
- WT02 – $4,1 \times 10^{-05} * 0,00246 = 1,0 \times 10^{-07}$

Deze trefkansen nemen verder af indien onderzocht wordt of de optredende kraters wel daadwerkelijk kunnen zorgen voor piping effecten of aantasting van de macrostabiliteit binnenwaarts. Voor beide posities kan gesteld worden dat kan worden voldaan aan de gestelde toetsingseisen voor zowel piping als macrostabiliteit binnenwaarts.

In overleg met het Waterschap Brabantse Delta wordt nader onderzocht of de gehanteerde uitgangspunten conservatief genoeg zijn en wordt de rekenmethodiek nader uitgewerkt. Deze nadere uitwerking vindt plaats vooraf aan de bouw van de windturbines.

7.6.2 Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (hoogte) aantasting

Deze faalscenario's kunnen enkel optreden indien de waterstaatswerken zelf worden getroffen door windturbineonderdelen. De trefkansen van de windturbines van de waterstaatswerken bedragen $1,3 \times 10^{-07}$ en $8,6 \times 10^{-08}$. Dit is beide lager dan de toetsingseis van $2,4 \times 10^{-06}$ per jaar. Er kan worden voldaan aan de door het waterschap aangegeven toetseis voor deze faalscenario's.

7.6.3 Toetsing op trajectniveau

Door het Waterschap Brabantse Delta is aangegeven dat de totale faalkans verhoging niet hoger mag zijn dan 0,5% van de ondergrens van $1/1.000$ jaar. De toetsingseis op trajectniveau is daarmee 5×10^{-06} per jaar. Door de faalkansen van de situaties op doorsnedeniveau op te tellen voor beide windturbines kan de totale faalkans worden bepaald.

WT01 – Treffen waterstaatswerk -	$1,3 \times 10^{-07}$
WT02 – Treffen waterstaatswerk -	$8,6 \times 10^{-08}$
WT01 – Kratervorming beschermingszones tijdens hoogwater –	$2,6 \times 10^{-07}$
WT02 – Kratervorming beschermingszones tijdens hoogwater –	$1,0 \times 10^{-07}$
Cumulatief risico per traject	$5,8 \times 10^{-07}$

De overstromingskans per traject is ruim lager dan 0,5% van de ondergrens van $1/1.000$ jaar.

⁷ Een waterstand van boven de 1,95m +NAP heeft een kans op voorkomen van circa eens per 5 jaar.

7.7 Vervolg analyse en contact Waterschap

Deze analyse toont aan dat kan worden voldaan aan de gestelde toetsingseisen van het Waterschap Brabantse Delta. Hierbij wordt uitgegaan van een hersteltijd van kratervorming in de beschermingszones A en B als gevolg van het falen van een windturbine van 7 dagen met een hoogwaterduur van 2 dagen. Hierbij is uitgegaan dat hoogwater met een kans van voorkomen van 1/10 jaar niet gekeerd zou kunnen worden als gevolg van de kratervorming. In deze situatie kan er worden voldaan aan de gestelde eisen van het Waterschap Brabantse Delta.

Vooraf aan de bouw van de windturbines wordt nader uitgewerkt wat de betrokken overstromingskansen zijn in afstemming met het Waterschap Brabantse Delta. Deze analyse geeft een eerste inschatting van de mogelijke effecten en omschrijft een risico inschattingsmethodiek voor bovengrondse effecten. De windturbines liggen op zodanige afstand vanaf de dijklichamen (>170 meter) van de primaire waterkeringen dat de ondergrondse effecten op de functionaliteit van de primaire waterkeringen verwaarloosbaar klein worden geacht.

8 KWALITATIEVE ANALYSE IJSWORP SCENARIO