

Bosch & van Rijn

Groenmarktstraat 56
3521 AV Utrecht
030 – 677 6466

Auteurs

Hans Kerkvliet MSc.

Opdrachtgever

Windpark de Plaet BV.



Windpark Piet de Wit

Externe Veiligheidsonderzoek ten behoeve van combi-MER



Windpark Piet de Wit

Externe veiligheidsonderzoek t.b.v. Combi-MER

Datum
20-3-2018

Versie
0.6

Bosch & Van Rijn
Groenmarktstraat 56
3521 AV Utrecht

Tel: 030-677 6466
Mail: info@boschenvanrijn.nl
Web: www.boschenvanrijn.nl

© Bosch & Van Rijn 2018

Behoudens hetgeen met de opdrachtgever is overeengekomen, mag in dit rapport vervatte informatie niet aan derden worden bekendgemaakt. Bosch & Van Rijn BV is niet aansprakelijk voor schade door het gebruik van deze informatie

Inhoudsopgave

HOOFDSTUK 1	INLEIDING	3
1.1	<i>Inleiding</i>	4
1.2	<i>Alternatieven combi-MER</i>	4
1.3	<i>Beoordelingscriteria MER</i>	5
1.4	<i>Leeswijzer</i>	5
HOOFDSTUK 2	RISICO'S WINDTURBINES	6
HOOFDSTUK 3	BEOORDELINGSKADER	8
3.1	<i>(Beperkt) kwetsbare objecten</i>	9
3.2	<i>Risicovolle installaties</i>	9
3.3	<i>Infrastructuur</i>	10
3.4	<i>Waterkering</i>	12
HOOFDSTUK 4	RISICOANALYSE	13
4.1	<i>(Beperkt) kwetsbare objecten</i>	14
4.2	<i>Risicovolle installaties</i>	15
4.3	<i>Infrastructuur</i>	18
4.4	<i>Dijken</i>	23
HOOFDSTUK 5	VOORKEURSALETERNATIEF	32
5.1	<i>Beschrijving voorkeursalternatief</i>	33
5.2	<i>Voorselectie</i>	33
5.3	<i>Selectie windturbines bandbreedte VKA</i>	34
5.4	<i>Rekenmethode</i>	35
5.5	<i>Risicoanalyse</i>	35
HOOFDSTUK 6	CONCLUSIE	50
6.1	<i>(beperkt) Kwetsbare objecten</i>	51
6.2	<i>Risicovolle installaties</i>	51
6.3	<i>Infrastructuur</i>	51
6.4	<i>Dijken</i>	52
HOOFDSTUK 7	BIJLAGEN	53
BIJLAGE A	INRICHTINGSALTERNATIEVEN	54
BIJLAGE B	RISICOCONTOUREN EN WERPAFSTANDEN	56
BIJLAGE C	BEREKENING WERPAFSTAND	75
BIJLAGE D	WERPAFSTANDEN TURBINETYPE	77
BIJLAGE E	(BEPERKT) KWETSBARE OBJECTEN	80
BIJLAGE F	ONDERZOEK WATERKERING MER	81
BIJLAGE G	ONDERZOEK WATERKERING VKA	82

Hoofdstuk 1 Inleiding



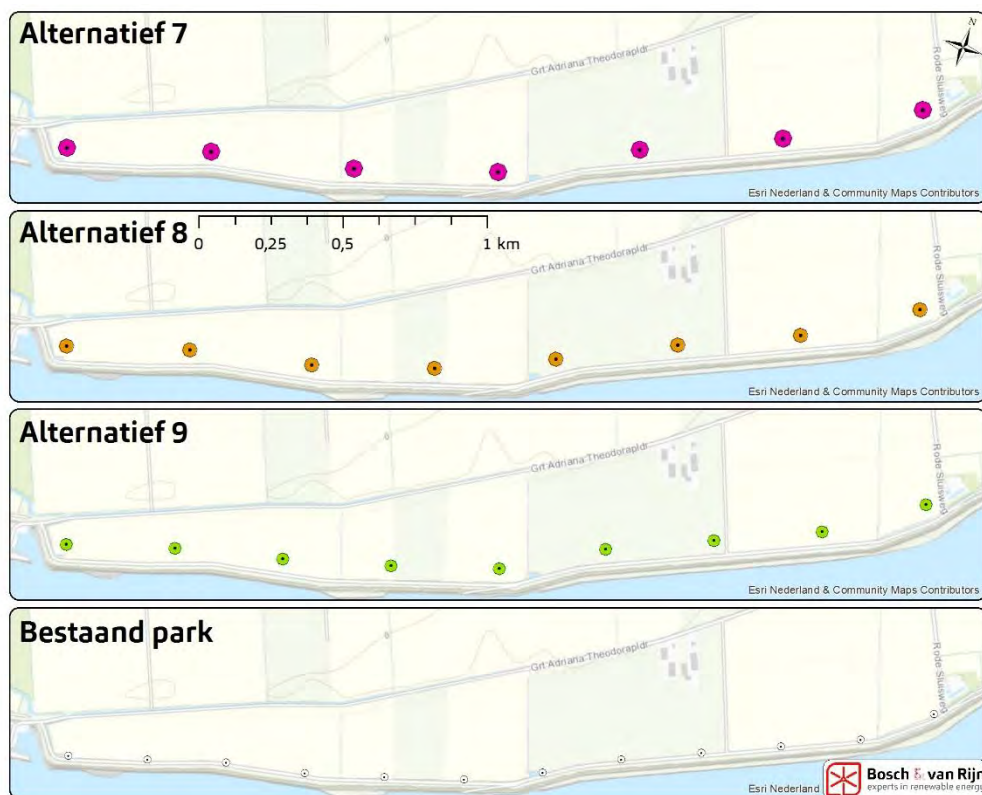
1.1 Inleiding

Bosch & van Rijn heeft een veiligheidsonderzoek uitgevoerd naar de risico's ten gevolge van nieuw te plaatsen windturbines nabij het op te schalen windpark Piet de Wit in Goeree-Overflakkee ten behoeve van een milieueffectrapportage (MER). Deze studie behoort als bijlage tot het milieueffectrapport van Windpark Piet de Wit.

1.2 Alternatieven combi-MER

In het combi-MER-deel worden drie inrichtingsalternatieven en de referentiesituatie onderzocht en beoordeeld. De inrichtingen van de alternatieven zijn ten opzichte van de referentiesituatie weergegeven in onderstaande figuren en de gehanteerde windturbintypes in onderstaand tabel.

Figuur 1 Inrichtingsalternatieven A7, A8, A9 en de referentiesituatie



Ten behoeve van het externe veiligheidsonderzoek zijn verschillende windturbines gebruikt. Bij de referentiesituatie is aangesloten bij het bestaande windturbintype (Vestas V66-1.75MW, ashoogte 67m). Voor alternatief 7 is gebruik gemaakt van een Enercon E141 (ashoogte: 120m). Voor alternatief 8 is gebruik gemaakt van een Gamesa G132 (Ashoogte: 84m), terwijl voor alternatief 9 gebruik is gemaakt van een Vestas V110-2MW (ashoogte: 95m).

In Tabel 1 staan details van deze windturbines.

Tabel 1

Samenvatting van de alternatieven

Alternatief	Type	Aantal	Rotor	Ashoogte
Referentiesituatie	Vestas V66-1.75MW	12	66	67
A7	Enercon E141	7	141	120
A8	Gamesa G132	8	132	84
A9	Vestas V110-2MW	9	110	95

Bijlage A toont de inrichtingsalternatieven in meer detail.

1.3 Beoordelingscriteria MER

In het milieueffectrapportage waar dit onderzoek een bijlage van is wordt het milieueffect veiligheid beoordeeld aan de hand van de volgende criteria:

- Gevaarlijke stoffen (installaties, buisleidingen en vervoer);
- Kwetsbare objecten;
- (Beperkt) Kwetsbare objecten;
- Risico's m.b.t. infrastructuur (dijken, wegen hoogspanningsleidingen)

In deze kwantitatieve risicoanalyse worden alle beoordelingscriteria voor het combi-MER onderzocht.

1.4 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 worden de externe veiligheidsrisico's van windturbines beschreven. Hoofdstuk 3 bevat het toetsingskader voor de beoordeling van de (toename) van externe veiligheidsrisico's. In hoofdstuk 4 zijn de berekeningen opgenomen die zijn uitgevoerd voor de drie onderzochte alternatieven. Hoofdstuk 5 beschrijft de effecten van het voorkeursalternatief. Hoofdstuk 6 bevat de conclusies waarin de berekende waarden worden getoetst aan het in Hoofdstuk 3 beschreven beoordelingskader.

Hoofdstuk 2 Risico's windturbines



Risico's van een windturbine voor de omgeving bestaan uit 3 typen falen:

1. het afbreken van (een gedeelte van) een windturbineblad,
2. het omvallen van een windturbine door mastbreuk,
3. en het naar beneden vallen van de gondel en/of rotor.

Het afbreken van een windturbineblad vormt een risico binnen de straal van de maximale werpafstand. Hierbij worden twee scenario's onderscheiden; werpafstand bij nominaal toerental en de werpafstand bij overtoeren. Het omvallen van een windturbine vormt een risico binnen een straal van de maximale valafstand van de windturbine (tiphoogte). Het naar beneden vallen van de gondel en/of rotor vormt een risico binnen een afstand van de wieklengte.

Op basis van generieke faalfrequenties (Bijlage A, Handboek Risicoberekeningen Windturbines (HRW) 2014), het kogelbaanmodel (zie Bijlage 1. Bron: Bijlage C, HRW 2014) en parameters van de specifieke windturbintypes zijn de werpafstanden en risicocontouren berekend. In bijlage C staan de gehanteerde formules gegeven en bijlage D bevat per windturbintype een printscreen van de resultaten. Hieruit volgen de volgende afstanden:

Tabel 2

Risicocontouren en maximale werpafstanden van onderzochte windturbintype

Alternatief	Wtb type	Ashoogte (m)	Risicocontouren (m)		Max. werpafstand (m)	
			10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	Bij nominaal toerental	Bij overtoeren
Ref. Sit. ¹	V66-1.75MW	67	33	122	122	347
A7	E-141	120	70,5	167	164	428
A8	G132	84	66	150	131	354
A9	V110-2MW	95	55	169	169	476

De windturbines kunnen een risico verhogend effect hebben op nabijgelegen gebouwen, installaties en infrastructuur. Voor het plangebied Piet de Wit zijn de volgende onderwerpen relevant:

- (Beperkt) kwetsbare objecten
- Risicovolle installaties
- Rijkswegen
- Dijken

Er bevinden zich geen buisleidingen (dichtstbijzijnde leiding ligt op meer dan 4 km van de windturbines), hoogspanningsinfrastructuur (dichtstbijzijnde infrastructuur ligt op meer dan 3 km van de windturbines) en spoorwegen (dichtstbijzijnde spoorweg ligt op meer dan 4 km van de windturbines) binnen de invloedssfeer van de windturbines.

¹ Ref. Sit. staat voor referentiesituatie

Hoofdstuk 3 Beoordelingskader



3.1 (Beperkt) kwetsbare objecten

De normstelling omtrent windturbines en objecten waar personen verblijven volgt uit het Activiteitenbesluit:

1. Het plaatsgebonden risico voor een **buiten de inrichting gelegen kwetsbaar object**, veroorzaakt door een windturbine of een combinatie van windturbines, is niet hoger dan **10^{-6} per jaar**.
2. Het plaatsgebonden risico voor een **buiten de inrichting gelegen beperkt kwetsbaar object**, veroorzaakt door een windturbine of een combinatie van windturbines, is niet hoger dan **10^{-5} per jaar**.

Zie Bijlage E voor de definities kwetsbare en beperkt kwetsbare objecten.

Op de 10^{-6} contour heeft een persoon die onafgebroken en onbeschermd op die plaats zou verblijven, een kans op overlijden van één keer in de miljoen jaar als rechtstreeks gevolg van een falende windturbine. Op de 10^{-5} contour is deze kans één keer in de honderdduizend jaar.

3.2 Risicovolle installaties

Indien de windturbines niet substantieel bijdragen aan een verhoging van de risico's van de inrichting zullen de voor de inrichting geldende risicoafstanden niet significant wijzigen. Dat betekent dat toetsing aan de afstanden tot (beperkt) kwetsbare objecten ook na plaatsing van de windturbines niet tot belemmeringen leidt. Om dit te toetsen kan in eerste instantie naar de toename van de catastrofale faalfrequentie van risicovolle installaties behorende tot de inrichting worden gekeken. Indien deze toename een bepaalde richtwaarde niet overschrijdt dan is plaatsing van de windturbine uit oogpunt van risicobeoordeling toegestaan. Als uitgangspunt voor deze richtwaarde wordt volgens het Handboek Risicozonering Windturbines² 10% gehanteerd. Indien de toename deze richtwaarde overschrijdt, is plaatsing niet direct uitgesloten, maar wordt door een uitgebreidere analyse bepaald of er na plaatsing nog steeds voldaan wordt aan de normen uit het Bevi:

- *De grenswaarde, bedoeld in artikel 4, eerste lid, voor kwetsbare objecten is 10^{-6} per jaar.*
- *De richtwaarde, bedoeld in artikel 4, tweede lid, voor beperkt kwetsbare objecten is 10^{-5} per jaar.*

² Handboek Risicozonering Windturbines, 2014.

3.3 Infrastructuur

3.3.1 Wegen

Voor Rijkswegen zijn generieke afstanden berekend waarbuiten er geen ontoelaatbare risico's voor passanten plaatsvinden. Het document "*Beleidsregel voor het plaatsen van windturbines op, in of over Rijkswaterstaatswerken*" staan de minimale afstanden tot Rijkswegen gegeven:

"Langs rijkswegen wordt plaatsing van windturbines toegestaan bij een afstand van ten minste 30m uit de rand van de verharding of bij een rotordiameter groter dan 60m, ten minste de halve diameter".

Voor de overige openbare wegen bestaan geen genormeerde afstanden, waardoor kleinere afstanden mogelijk zijn. In de beleidsregel "*Windturbines langs auto-, spoor-, en vaarwegen – Beoordeling van veiligheidsrisico's*" staan de richtlijnen gegeven:

"Individuele passantenrisico (IPR)

Voor het risico voor de passant is een risicomaat gekozen die aansluit bij de individuele beleving van de passant, namelijk de overlijdenskans per passant per jaar. Hierbij wordt de passant gevolgd gedurende zijn bezigheden in de nabijheid van het windturbinepark.

De initiatiefnemer die een of meerdere windturbines wil plaatsen dient aan te tonen dat het maximale toelaatbare Individueel Passanten Risico IPR niet wordt overschreden op de infrastructuur in de nabijheid van de turbine. De grens is vastgesteld van honderdzestig kilometer per uur. Een generiek IPR van 10^{-6} wordt aangehouden voor alle infrastructuur waarop de wettelijk toelaatbare snelheden de honderdzestig kilometer per uur niet overschrijden, en een generiek IPR van 10^{-7} op infrastructuur waarop wettelijk toelaatbare snelheden boven de honderdzestig kilometer per uur bestaan.

Maatschappelijk risico

Er zijn verschillende maten te kiezen voor het maatschappelijk risico. Rijkswaterstaat en ProRail hanteren het criterium dat er jaarlijks niet meer dan $2 \cdot 10^{-3}$ passanten mogen overlijden. In het externe-veiligheidsbeleid voor stationaire installaties of vervoersactiviteiten wordt uitgegaan van groepsrisicocurven of FN-curven. Groepsrisicocurves hebben alleen betekenis voor 'kleine-kans-groot-gevolg'-ongevallen met slachtofferaantallen groter dan 10 per ongeval. Uit studies ref. [2, 4, 5, 6] blijkt dat bij windturbineparken in de nabijheid van rijkswegen altijd ruimschoots aan de groepsrisiconorm wordt voldaan."

3.3.2 Ijsafworp

Voor het aspect infrastructuur wordt er naast de beleidsregel “Windturbines langs auto-, spoor-, en vaarwegen – Beoordeling van veiligheidsrisico’s” ook gekeken naar ijsafworp. Hiervoor wordt aangesloten bij het Handboek Risicozonering Windturbine:

“Uit ervaring is bekend dat in Nederland ijsafzetting op de bladen meestal ontstaat tijdens stilstand van de windturbine. Observaties van dit fenomeen hebben laten zien dat bij een kleine beweging of doorbuiging van het blad, hetgeen al optreedt bij zeer geringe windsnelheid, het ijs in grote brokken naar beneden valt en dat langwerpige platen ijs in een strook onder het rotorvlak terecht komen. De brokken hebben een oppervlak kleiner dan het blad zelf en een dikte van enkele millimeters tot een centimeter. Door het “dwarrelen” van de brokken ijs kunnen deze, afhankelijk van de hoogte van de windturbine in een strook van enkel tientallen meters breed terecht komen. Bij een turbine met een mashoogte van circa 65 meter is waargenomen dat stukken ijs op 10-15 meter van het rotorvlak terecht kwamen. Indien het gebied onder de rotor vrij toegankelijk is zal het aspect van de afvallend ijs in de risicobeoordeling meegenomen moeten worden. De impact op een object is vergelijkbaar met die van brokken ijs die b.v. van een vrachtwagen afwaaien en een achteropkomende auto treffen; meestal is de achteropkomende auto niet beschadigd. Onbeschermde personen kunnen mogelijk gewond raken. Het aantal keren per jaar dat ijs aangroeit aan een blad is sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden. Indien nodig of gewenst kan dit risico worden vermeden door bij ijsafzetting de turbine zodanig te kruien dat de strook onder het rotorvlak niet meer toegankelijk is voor onbeschermde personen. Het aantal keren per jaar dat ijs aangroeit aan een blad is sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden. Volgens schattingen van de opstellers van het handboek komt de situatie in Nederland maximaal twee keer per jaar voor.

Volgens het Besluit Voorzieningen en Installaties Milieubeheer mogen de windturbines niet in bedrijf zijn of worden genomen indien er ijs op de bladen zit. Mocht dit toch gebeuren dan zijn de risico’s voor de omgeving minimaal, omdat het om kleine brokstukken gaat die relatief ver weg geslingerd kunnen worden. Het PR hiervan is verwaarloosbaar klein.”

NB. In bovenstaande tekst zijn stukken ijs waargenomen op 10-15 meter van het rotorvlak bij een mashoogte van circa 65 meter. In het MER worden windturbintypes met een ashoogte variërend van 84 meter, 95 meter en 120 meter onderzocht. Wanneer de waargenomen afstanden worden geëxtrapoleerd naar de onderzochte ashoogtes zou dat betekenen dat ijs kan vallen binnen een oppervlakte van circa 19.5, 22.0 of 27.7 meter van het rotorvlak.

Ijsdetectie

Windturbines kunnen uitgerust worden met ijsdetectie. Wanneer ijsafzetting plaatsvindt stopt de windturbine en draait deze indien gewenst naar een vooraf ingestelde stand (bijv. parallel aan de weg zodat de afstand tot de weg zo groot mogelijk is). De windturbines worden vervolgens pas weer in bedrijf genomen wanneer visueel is vastgesteld dat er geen ijs meer op de bladen is.

Op basis van bovenstaande teksten kan worden opgemaakt dat wanneer de windturbines over of direct naast de weg gelegen zijn de risico’s gemitigeerd dienen te worden door naast de ijsdetectie ook een positie in te stellen zodat de windturbines bij ijsdetectie een zo groot mogelijke afstand tot de weg aannemen.

Het Handboek noemt voor windturbines met een ashoogte van 65 meter (goed overeenkomend met de bestaande windturbines van windpark Piet de Wit) een afstand van 10-15 meter waarbinnen nog ijs terecht kan komen.

Extrapolatie van deze afstand o.b.v. tiphoogte geeft de volgende waarden:

Tabel 3 Afstand waarbinnen ijs van de rotorbladen terecht kan komen (schatting).

Ashoogte (m)	Tiphoogte (m)	Valafstand ijs (m)	bron
65	±100m	10-15	Handboek Risicozonering
85	±150	15-25	extrapolatie tiphoogte
95	±150	15-25	extrapolatie tiphoogte
120	±180	18-30	extrapolatie tiphoogte

Zolang er geen openbare wegen nabij het windpark zijn gelegen op kortere afstand dan de hierboven beschreven valafstand is er geen risico op ijsafworp wanneer de windturbines bij pertinente weersomstandigheden met de wieken parallel aan de weg worden gekruid.

3.4 Waterkering

De waterkering maakt onderdeel uit van dijkkring 25 – 3: Goeree-Overflakkee³. Voor deze dijk geldt een veiligheidsnorm van 1/300 jaar⁴. Conform het Handboek Risicozonering Windturbines (Versie 3.1, 2014) worden de resultaten van deze trefkansberekening getoetst aan de ontwerpwaarden van de dijkkring.

Als toetsingscriterium wordt gehanteerd:

De additionele faalfrequentie van de geplande windturbines dient kleiner te zijn dan 10% van de autonome faalfrequentie van de primaire waterkering.

³ Waterwet, Bijlage I 'Dijkkringen en primaire waterkeringen' als bedoeld in artikel 1.3, eerste lid.

⁴ Waterwet, Bijlage II

Hoofdstuk 4 Risicoanalyse

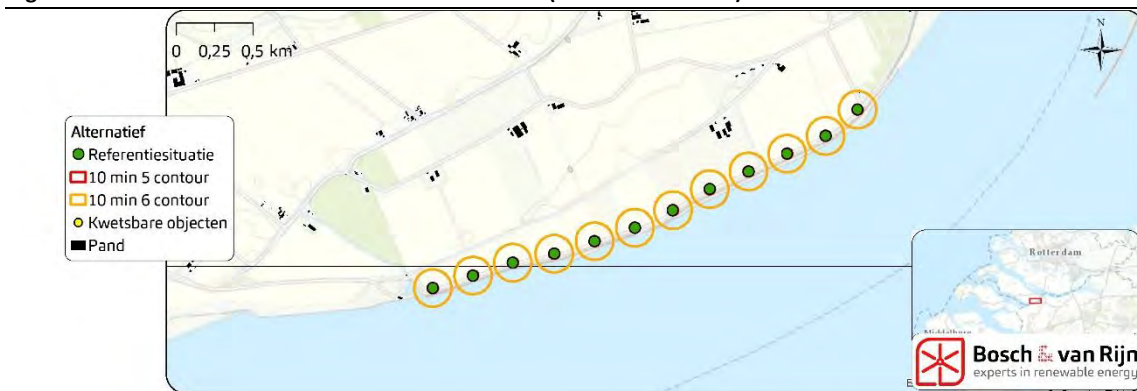


4.1 (Beperkt) kwetsbare objecten

De berekende 10^{-5} en 10^{-6} contouren zijn weergegeven op kaart. Per windturbine-locatie is nagegaan of (geprojecteerde) kwetsbare of beperkt kwetsbare objecten aanwezig zijn. In onderstaande figuren zijn de risicocontouren van de verschillende alternatieven en de referentiesituatie te vinden. Deze zijn tevens in groter formaat weergegeven in Bijlage B.

4.1.1 Referentiesituatie

Figuur 2 Risicocontouren rond de windturbines (Referentiesituatie)



Op basis van de berekende risicocontouren en objecten kent het plangebied voor de referentiesituatie geen (geprojecteerde) aandachtspunten. Er bevinden zich geen beperkt kwetsbare of kwetsbare objecten binnen respectievelijk de 10^{-5} en 10^{-6} contour.

4.1.2 Alternatief 7

Figuur 3 Risicocontouren rond de windturbines (Alternatief 7)



Er bevinden zich geen (geprojecteerde) beperkt kwetsbare objecten of kwetsbare objecten binnen respectievelijk de 10^{-5} en 10^{-6} contour.

4.1.3 Alternatief 8

Figuur 4 Risicocontouren rond de windturbines (Alternatief 8)



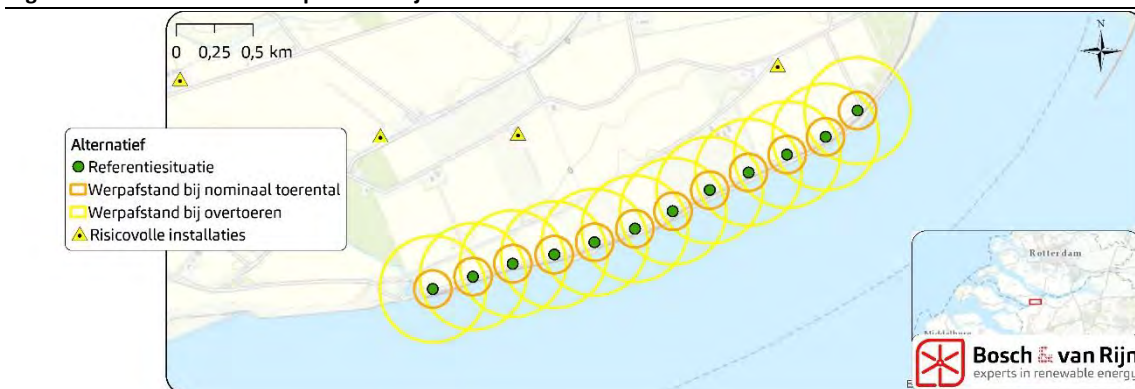
Er bevinden zich geen (geprojecteerde) beperkt kwetsbare objecten of kwetsbare objecten binnen respectievelijk de 10^{-5} en 10^{-6} contour.

4.2 Risicovolle installaties

De berekende maximale werpstanden (bij overtoeren) zijn ingetekend op de kaart en voor de locatie is nagegaan of binnen deze maximale werpafstanden risicovolle installaties aanwezig zijn.

4.2.1 Referentiesituatie

Figuur 5 Maximale werpafstand bij overtoeren van de windturbines en risicovolle installaties.



Er bevinden zich geen risicovolle installaties binnen de invloedssfeer van de windturbines.

4.2.2 Alternatief 7

Figuur 6 Maximale werpafstand bij overtoeren van de windturbines en risicovolle installaties



Er bevinden zich geen risicovolle installaties binnen de invloedssfeer van de windturbines.

4.2.3 *Alternatief 8*

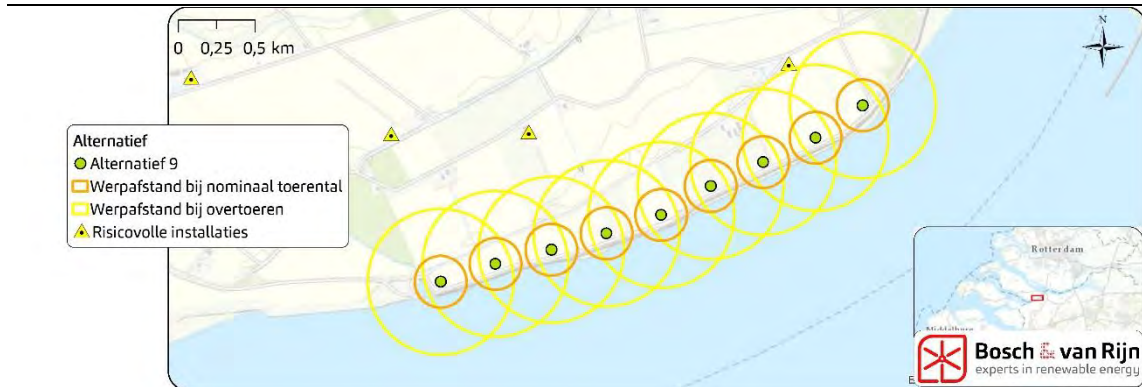
Figuur 7 Maximale werpafstand bij overtoeren van de windturbines en risicovolle installaties



Er bevinden zich geen risicovolle installaties binnen de invloedssfeer van de windturbines.

4.2.4 *Alternatief 9*

Figuur 8 Maximale werpafstand bij overtoeren van de windturbines en risicovolle installaties



Er bevinden zich geen risicovolle installaties binnen de invloedssfeer van de windturbines.

4.2.5 *Alternatief 9*

Er bevinden zich geen (geprojecteerde) beperkt kwetsbare objecten of kwetsbare objecten binnen respectievelijk de 10^{-5} en 10^{-6} contour.

Figuur 9 Risicocontouren rond de windturbines (Alternatief 9)



4.3 **Infrastructuur**

4.3.1 *Wegen*

Voor de alternatieven en de referentiesituatie is nagegaan of een windturbine over een weg draait. Wanneer dit het geval is zal de kans berekend worden dat een persoon wordt geraakt door een afgebroken wiek, mast en/of gondel. Indien er geen overdraai plaatsvindt wordt er voldaan aan veiligheidseisen voor Rijkswegen, waarmee geconcludeerd kan worden dat er zich geen onacceptabele risico's voor doen.

Referentiesituatie

Uit onderstaande figuren blijkt dat er bij alle alternatieven inclusief de referentiesituatie overdraai plaatsvindt over een lokale weg waar voetgangers en fietsers kunnen komen.

Figuur 10 Wieklengthe en wegen in het plangebied - Referentiesituatie



Figuur 11 Wieklengthe en wegen in het plangebied – Alternatief 7



Figuur 12 Wieklengthe en wegen in het plangebied – Alternatief 8



Figuur 13 Wieklengthe en wegen in het plangebied – Alternatief 9

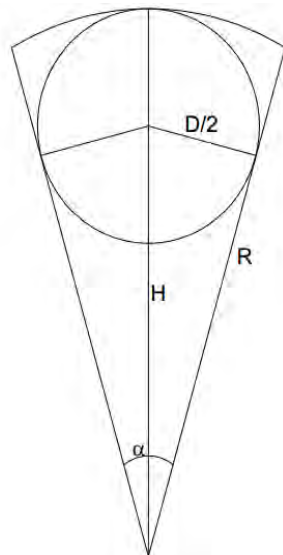


Trefkansberekening

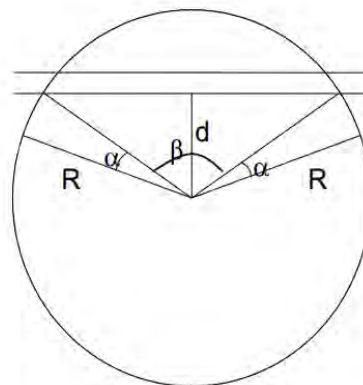
Rekenmethode mastbreuk

De kans dat dat de weg wordt getroffen door een onderdeel van een omvallende windturbine wordt gelijk verondersteld aan de kans dat een gedeelte van een onderstaand cirkelsegment (Figuur 14) in aanraking komt met de leidingstrook, het geen is geïllustreerd in Figuur 17 (HRW, 2014).

Figuur 14 Windturbine als cirkel segment



Figuur 15 Turbine in aanraking met weg



De trefkans wordt berekend voor de windturbine met de hoogste trefkans (WTB 1). Hierbij wordt de assumptie gedaan dat de trefkans voor deze turbinelocatie representatief is voor de andere windturbinelocaties waar overdraai plaatsvindt. Hierdoor ontstaat er een conservatieve benadering.

De trefkans is als volgt:

Alternatief	Turbine nummers	Afstand tot weg (m)	Valhoek graden	Mastbreuk frequentie (per jaar)	Trefkans weg
Ref. Situatie	1 ⁵	5	260	1,3*10 ⁻⁴	9,39*10 ⁻⁵
7	1	50	352	1,3*10 ⁻⁴	1,27*10 ⁻⁴
8	1	50	345	1,3*10 ⁻⁴	1,25*10 ⁻⁴
9	1	50	338	1,3*10 ⁻⁴	1,22*10 ⁻⁴

De kans dat een passant wordt getroffen kan worden berekend door de trefkans te vermenigvuldigen met de verblijfsfactor:

$$\tau = \frac{0,3}{v_o} \frac{1}{365 \cdot 24 \cdot 3600}$$

v_o = snelheid van de passant (m/s)

Ten behoeve van deze berekening gaan we uit van de worst case scenario, wat inhoudt dat de passant met de laagste snelheid de langste verblijftijd heeft. Een voetganger gaat gemiddeld 5 km/uur (1,4 meter per seconde)

Alternatief	Trefkans weg	Verblijftijd passant	Trefkans per passage
Ref. Situatie	9,39*10 ⁻⁵	6,79*10 ⁻⁰⁹	6,38*10 ⁻¹³
7	1,27*10 ⁻⁴	6,79*10 ⁻⁰⁹	8,74*10 ⁻¹³
8	1,25*10 ⁻⁴	6,79*10 ⁻⁰⁹	8,47*10 ⁻¹³
9	1,22*10 ⁻⁴	6,79*10 ⁻⁰⁹	8,29*10 ⁻¹³

Rekenmethode wiekbreuk

De kans dat een persoon wordt geraakt als gevolg van een afgebroken wiek wordt als volgt berekend.

$$P = 1,5 \cdot A_c \text{ (Kritiek oppervlakte wiek)} \cdot p_{zwpt} \text{ (Trefkans zwaartepunt wiek)}$$

Alternatief	A _c	P _{zwpt}	P
Referentiesituatie	62,69	2,37*10 ⁻⁷	2,23*10 ⁻⁵
7	246,76	1,35*10 ⁻⁸	5,00*10 ⁻⁶
8	219,80	1,69*10 ⁻⁸	5,57*10 ⁻⁶
9	158,02	1,39*10 ⁻⁸	3,29*10 ⁻⁶

De kans dat een passant wordt getroffen kan worden berekend door de trefkans te vermenigvuldigen met de verblijfsfactor:

$$\tau = \frac{1}{v_o} \frac{1}{365 \cdot 24 \cdot 3600}$$

⁵ Bij windturbine locatie 1 kan de mast terecht komen op een weg ten noorden, westen en zuiden van de windturbine. Hierdoor is de valhoek groter dan verwacht op basis van de afstand tot de weg.

Alternatief	Trefkans passant
Referentiesituatie	$5,05 \cdot 10^{-13}$
7	$1,13 \cdot 10^{-13}$
8	$1,26 \cdot 10^{-13}$
9	$7,46 \cdot 10^{-14}$

Rekenmethode gondelafworp

Voor het berekenen van personen en objecten ten gevolgen van het afvallen van een gondel met rotor of alleen een rotor kan dezelfde aanpak worden gevolgd als mastbreuk. De masthoogte wordt voor deze berekening nul verondersteld. Het risicogebied blijft dan beperkt tot een gebied rondom de toren dat gelijk is aan de rotordiameter. Daarmee is de trefkans van de weg gelijk aan de kans dat het scenario zich voordoet: $4,0 \cdot 10^{-5}$ per jaar.

Hierdoor is de kans dat een passant getroffen wordt hetzelfde voor alle turbinelocaties en kan berekend worden op de onderstaande manier.

De kans dat een passant wordt getroffen kan worden berekend door de trefkans te vermenigvuldigen met de verblijfsfactor.

$$\tau = \frac{0,3}{v_0} \frac{1}{365 \cdot 24 \cdot 3600}$$

Trefkans passant is: $2,72 \cdot 10^{-13}$ per passage.

Conclusie passantenrisico

De totale trefkans voor een passant is een sommatie van alle trefkansen vermenigvuldigd met het aantal windturbines. Dit leidt tot de volgende trefkansen:

Alternatief	Aantal WTB	Trefkans per WTB	Totale trefkans
Ref. Situatie	12	$1,42 \cdot 10^{-12}$	$1,70 \cdot 10^{-11}$
7	7	$1,26 \cdot 10^{-12}$	$8,81 \cdot 10^{-12}$
8	8	$1,25 \cdot 10^{-12}$	$9,96 \cdot 10^{-12}$
9	9	$1,18 \cdot 10^{-12}$	$1,06 \cdot 10^{-11}$

4.3.2 Ijsafworp

Voor ijsafworp wordt er getoetst aan het feit of de windturbines van een opstelling dusdanig gekruidd kunnen worden dat de weg zich bevindt buiten de oppervlakte waar mogelijk stukken ijs kunnen vallen (zie Tabel 3).

Onderstaande tabel toont de relevante valafstand van de alternatieven, en de afstand van elke windturbine tot de naastgelegen weg.

Eerst wordt er gekeken naar de referentiesituatie en daarna naar de alternatieven.

Referentiesituatie

Onderstaande tabel bevat voor de referentiesituatie de afstand (in meter) tot de dichtstbijzijnde weg.

Tabel 4 Afstanden van de windturbines van de referentiesituatie tot de weg (meters). De afstanden zijn roodgekleurd indien deze kleiner, oranjegekleurd indien deze gelijk en groengekleurd indien deze groter zijn dan de mogelijke valafstand van ijs.

	Valafstand ijs	Windturbine (nummering van west naar oost)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ref Sit.	10-15m	10	10	13	11	13	12	9	6	13	7	19	11
A7	18-30m	53*	52	54	56	53	51	62*					
A8	15-25m	53*	53	51	56	54	54	51	61*				
A9	15-25m	53*	52	51	56	56	54	51	50	63*			

* bij de meest westelijke en de meest oostelijke windturbine in de 3 MER-alternatieven maakt de weg een bocht, waardoor het niet mogelijk is om parallel aan de weg te kruisen.

- **Referentiealternatief** Uit de genoemde afstanden in de tabel is op te maken dat bij alle windturbines in de referentiesituatie, met uitzondering van nr. 11, ijs op de weg zou kunnen komen.
- **MER-alternatieven 8 en 9** Voor de nieuwe alternatieven 8 en 9 geldt dat de afstand tot de weg dermate groot is dat parallel kruisen voldoende is om ijsafworp op de weg te voorkomen. Voor de windturbines op de uiteinden van de lijn geldt dat de weg hier een bocht maakt. Er is hier voor beide alternatieven een gekruide positie mogelijk waarbij de beide delen van de weg zich buiten de risicozone van ijsafworp bevinden.
- **Alternatief 7** Voor alternatief 7 geldt dat er bij de meest westelijke windturbine eventueel ijsafworp mogelijk is op de weg, doordat deze hier een bocht maakt.

4.4 Dijken

In het rapport 'Risicoanalyse: Windturbines en primaire waterkering, opschaling Windpark Piet de Wit (Bijlage F)' is een meer uitgebreide beschrijving van de effecten van de windturbines op de waterkering opgenomen. Hieronder volgt een verkorte versie van de analyse in dat rapport.

NB. In voorgaande berekeningen uit uitgegaan van berekende werpafstanden. Voor dijken is uitgegaan van generieke werpafstanden.

4.4.1 Situatie waterkering

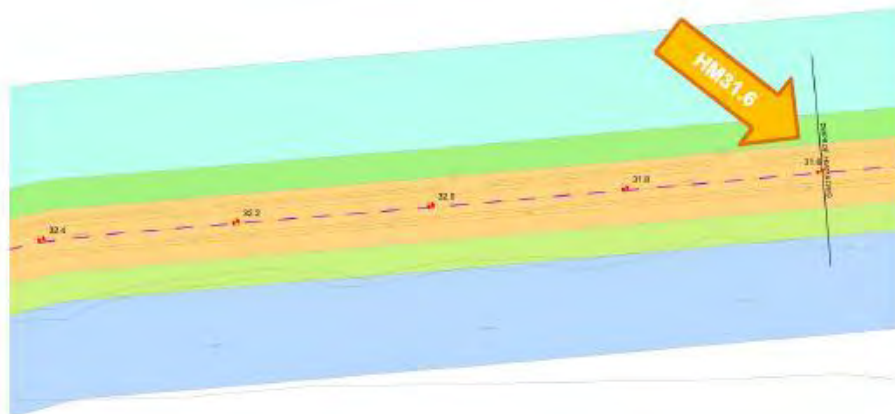
De windturbinelocaties zijn gepland nabij vlakken 37 t/m 39 in onderstaand figuur.

Figuur 16 **Overzichtskaart Primaire waterkeringen (Waterschap Hollandse Delta)**

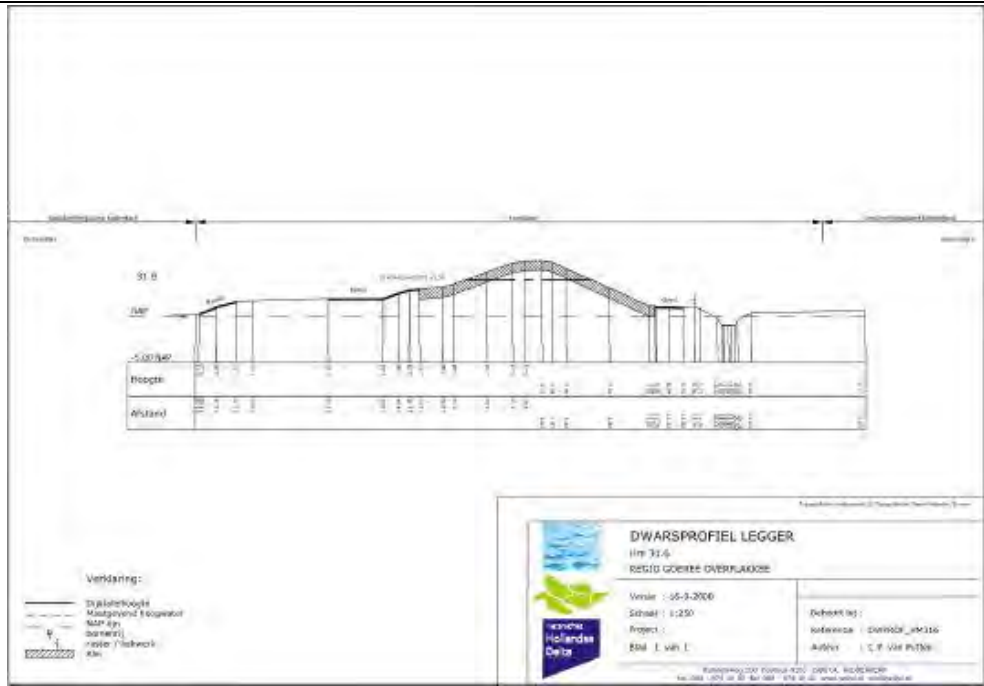


Onderstaande figuren tonen de situatiekaart van vak 37 en dwarsprofiel van HM31.6 en HM 33.6.

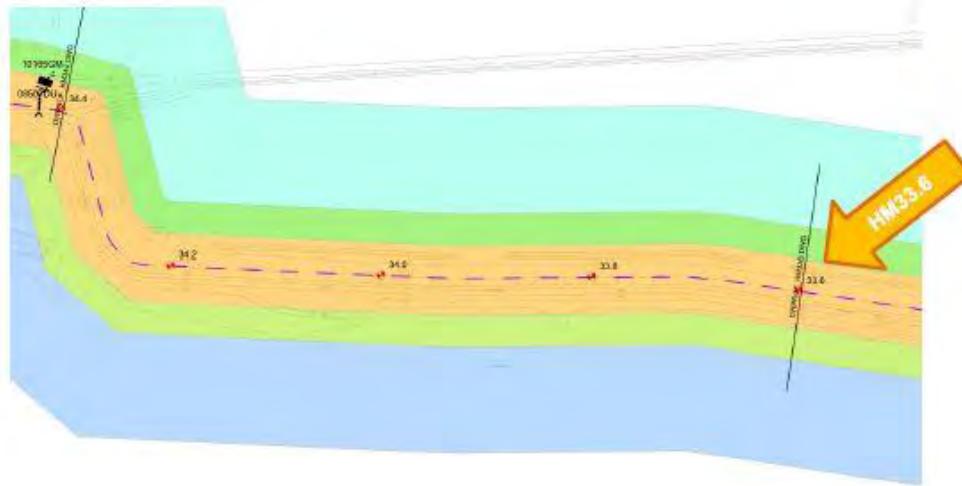
Figuur 17 **Situatiekaart 37 inclusief positie onderstaande dwarsprofiel HM 31.6**



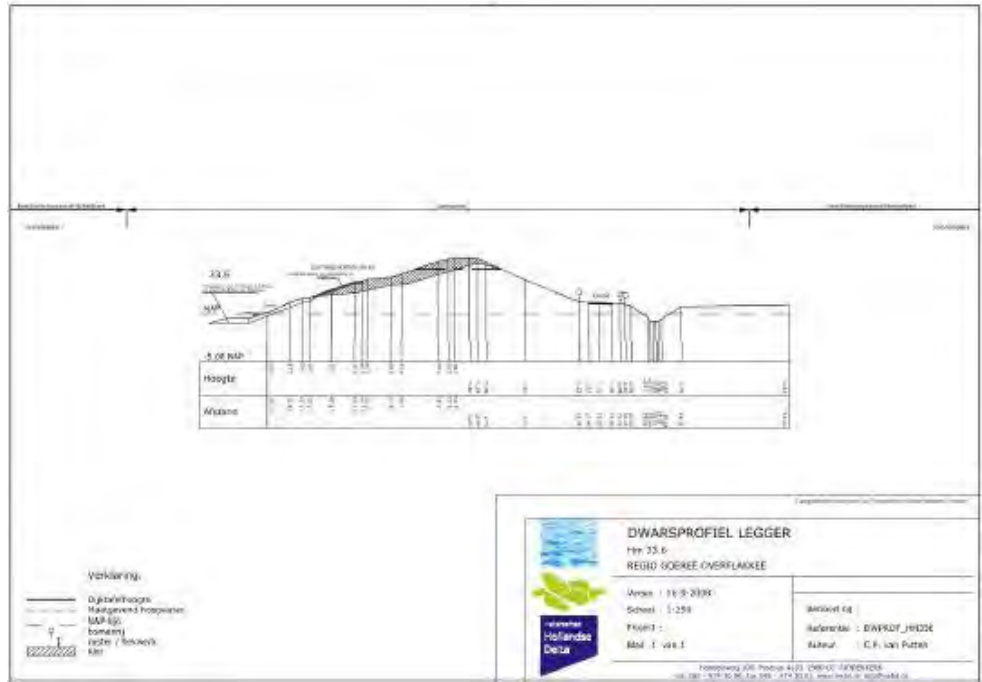
Figuur 18 Dwarsprofiel HM 316



Figuur 19 Positie Dwarsprofiel HM33.6



Figuur 20 Dwarsprofiel HM33.6



4.4.2 Trefkans waterkering

4.4.2.1 Kritische strook

Als kritische strook is een 20 meter brede strook ten opzichte van de kruin van de waterkering aangenomen (10 meter aan beide zijde t.o.v. de kruin-as). De ratio achter de 20 meter is dat hiermee ten minste het functionele deel van de kruin wordt opgevangen.

4.4.2.2 Restprofiel

Indien er sprake is van een restprofiel, betekent het dat het aanwezige restprofiel nog een bepaalde waterstand kan keren. Er is in dat geval sprake van een zogenaamde responstijd tot herstel, zolang er voor of tijdens dit herstel geen 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. Dit betreft de kans dat op het moment van falen van een windturbine of windturbineonderdeel er ook, voor of tijdens het herstellen, een waterstand optreedt welke hoger is dan het aanwezige restprofiel kan keren. Het is aannemelijk dat indien één van de faalscenario's optreedt er sprake is van een restprofiel, welke nog een bepaalde waterstand kan keren.

Als aanname is genomen dat het aanwezige restprofiel niet meer een waterstand kan keren, welke optreedt in het geval van een "lichte storm". De kans op optreden van een "lichte storm" is aangenomen op 5 keer per jaar. Voor de stormduur wordt uitgegaan van 35 uur. Hedendaagse windturbines worden door middel van een

SCADA systeem 24 uur per dag gemonitord. Gangbaar is dat een windturbine zich in ieder geval één keer per 24 uur meldt. Een detectietijd van 24 uur is daarom aannemelijk. De hersteltijd voor de ontstane schade aan de waterkering is geschat op 5 dagen (5x24 = 120 uur).

De kans dat er een “lichte storm” optreedt tijdens de hersteltijd is:

P(niet te keren storm tijdens herstel) = 5 lichte stormen per jaar x (35 uur / 8760 uur per jaar) + 5 lichte stormen per jaar x (24 uur / 8760 uur per jaar) + 5 lichte stormen per jaar x (120 uur / 8760 uur per jaar) = 0,1 per jaar.

4.4.2.3 Trefsector

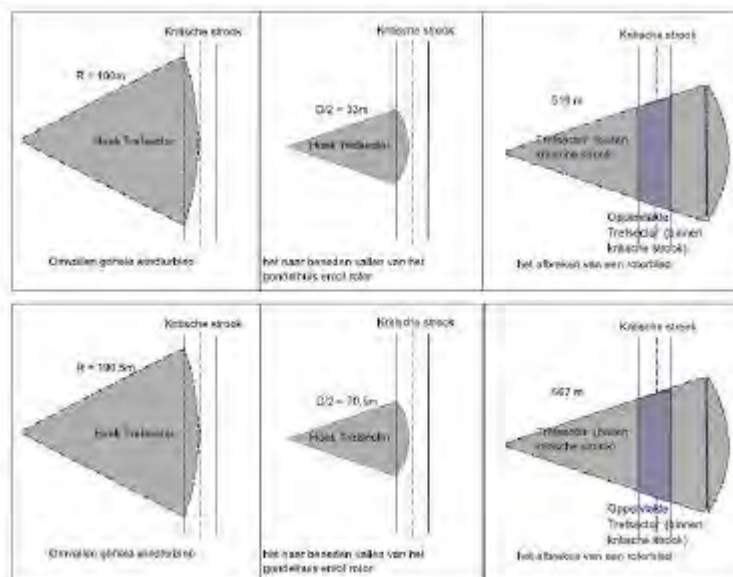
Ten behoeve van de risicoanalyse is, zowel voor de bestaande als voor de nieuwe locaties, per windturbine locatie en faalscenario de trefsector bepaald. De trefsector betreft het gebied waar een falende windturbine of windturbineonderdeel kan neerkomen en daarbij een schade kan veroorzaken, welke een mogelijk risico vormt voor de waterkerende functie van de waterkering.

De kans dat een windturbine of een windturbineonderdeel in de trefsector terecht komt is:

$$P_{(\text{trefsector})} = \text{hoek trefsector} / 360 \text{ graden}$$

De grootte van de trefsector is per alternatief en windturbine locatie bepaald aan de hand van de trefafstand en het snijpunt met de kritische zone.

Figuur 21 Het principe van de trefsector per faalscenario, bestaande windturbines en alternatief 7 als voorbeeld



Bij het faalscenario; “omvallen gehele windturbine” is er, zowel in de bestaande situatie als voor de nieuwe situatie, een grote kans op een aanzienlijke beschadiging van de waterkering. De waterkerende functie van de waterkering kan dan niet

meer worden gegarandeerd. Ten behoeve van de risicoanalyse is aangenomen dat bij het geheel omvallen van een windturbine de kering alle tijden zal falen, wat een conservatieve aanname betreft. Zoals voorgaande reeds is omschreven is de werkelijk valbereik afhankelijk van het type afwijking wat is opgetreden (geheel of deels bezwijken van de toren) en de exacte valrichting. Ook is het aannemelijk dat indien de gehele windturbine omvalt en op of over de kering valt, op basis van waarnemingen bij vergelijkbare incidenten en met behulp van explosief slopen van bestaande windturbines, een deel van de kering gehandhaafd zal blijven.

Voor het faalscenario; “het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor” is er een grote kans op een aanzienlijke beschadiging van het binnentalud van de waterkering. De waterkerende functie van de waterkering kan dan niet meer worden gegarandeerd. Echter gezien de afstand ten opzichte van de kruin van de kering in relatie tot het valbereik bij het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor is het aannemelijk dat de kruin en het buitenwaartse deel van de kering geheel of deels intact blijft. Er zijn altijd sprake zijn van een restprofiel.

Voor het faalscenario; “Het afbreken van een rotorblad” is ten behoeve van de risicoanalyse aangenomen dat in het geval van een worst case impact (impact van de flens, onder een hoek kleiner dan 45 graden) van een rotorblad binnen de trefsector van de kritische strook, er een restprofiel overblijft en er tijd is voor het herstellen van de schade. Er is geen sprake van het direct falen van de waterkering, echter kan de waterkerende functie niet meer worden gegarandeerd. Komt een rotorblad buiten de kritische strook terecht, maar wel in het overige deel van een trefsector dan is onafhankelijk van de wijze van neerkomen de waterkerende functie van de waterkering niet direct in het geding. Door de impact is er schade ontstaan, maar de kruin is nog intact. De hoogste waterstand, volgens de van toepassing zijnde norm-overschrijdingskans, kan nog gekeerd worden. Er is tijd om maatregelen te nemen en de schade te herstellen.

Het neerkomen van de windturbine of windturbineonderdeel buiten de trefsector heeft geen direct gevolg voor de waterkerende functie van de primaire waterkering.

De voor windpark Piet de Wit per faalscenario berekende trefsector, zijn in het navolgende tabel voor zowel de bestaande als nieuwe windturbines weergegeven.

Bestaande windturbines	faalscenario: "omvallen gehele windturbine" [%]	faalscenario: "het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor" [%]	faalscenario: "het afbreken van een rotorblad" [%] = oppervlakte trefsector
Windturbine locatie 1	201	108	2,7
Windturbine locatie 2	160	109	2,6
Windturbine locatie 3	154	106	2,5
Windturbine locatie 4	161	107	2,5
Windturbine locatie 5	158	111	2,5
Windturbine locatie 6	158	108	2,5
Windturbine locatie 7	157	104	2,5
Windturbine locatie 2	158	107	2,5
Windturbine locatie 9	158	108	2,5
Windturbine locatie 10	157	106	2,5
Windturbine locatie 11	166	108	2,5
Windturbine locatie 12	164	97	2,5
Alternatief 7	faalscenario: "omvallen gehele windturbine" [%]	faalscenario: "het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor" [%]	faalscenario: "het afbreken van een rotorblad" [%] = oppervlakte trefsector
Windturbine locatie 1	197	115	2,1
Windturbine locatie 2	132	43	2,0
Windturbine locatie 3	143	52	1,9
Windturbine locatie 4	152	49	1,9
Windturbine locatie 5	141	49	1,9
Windturbine locatie 6	141	49	1,9
Windturbine locatie 7	149	32	2,0
Alternatief 8	faalscenario: "omvallen gehele windturbine" [%]	faalscenario: "het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor" [%]	faalscenario: "het afbreken van een rotorblad" [%] = oppervlakte trefsector
Windturbine locatie 1	186	85	2,1
Windturbine locatie 2	125	27	2,0
Windturbine locatie 3	135	26	1,9
Windturbine locatie 4	129	28	1,9
Windturbine locatie 5	125	26	1,9
Windturbine locatie 6	129	27	1,9
Windturbine locatie 7	130	28	1,9
Windturbine locatie 8	137	1*	2,0
Alternatief 9	faalscenario: "omvallen gehele windturbine" [%]	faalscenario: "het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor" [%]	faalscenario: "het afbreken van een rotorblad" [%] = oppervlakte trefsector
Windturbine locatie 1	186	1*	2,1
Windturbine locatie 2	129	1*	2,0
Windturbine locatie 3	130	1*	1,9
Windturbine locatie 4	129	1*	1,9
Windturbine locatie 5	140	1*	1,9
Windturbine locatie 6	126	1*	1,9
Windturbine locatie 7	130	1*	1,9
Windturbine locatie 8	129	1*	2,0
Windturbine locatie 9	137	1*	2,0

Tabel 2. Trefsector per faalscenario

*voor een aantal locaties is er geen sprake van een snijpunt met de kritische strook, met ander woorden de kruin van de kering wordt niet getroffen, maar het achterland van de kering raakt wel beschadigd. Het restprofiel betreft in dit geval de bestaande kruinhoogte. Ten behoeve van de berekeningsformule wordt een waarde 1 aangehouden.

4.4.2.4 Neerkomen rotorblad

Een rotorblad van een hedendaagse windturbine bestaat voornamelijk composiet materiaal (vezelversterkt materiaal/glasvezel) al dan niet met een metalen flens en of/bladadapter.

De schade die een neerkomend rotorblad veroorzaakt is onder meer sterk afhankelijk van de wijze van neerkomen. Afhankelijk van de impacthoek zal een rotorblad versplinteren en/of afketsen. De meest significante schade wordt veroorzaakt als de flens (verbinding tussen het rotorblad en de rotor) van een rotorblad onder een bepaalde hoek inslaat (uitgaande van de worst case afwerp bij een overtoeren situatie). De overige situaties zorgen voor een lagere impactschade.

De worst case hoek van inslag met het verticaal is kleiner dan 45 graden. De ratio achter deze 45 graden is dat bij een zanddijk met een kleibekleding, theoretisch bij een hoek van inwendig zou zijn en er horizontale afschuiving plaatsvindt. Er zou dus uit kunnen worden gegaan van 30 graden. Echter zou deze aanname voor de dek-laag een niet-conservatieve aanname zijn. Daarom wordt als aanname aangehouden, dat bij een hoek van inslag met het verticaal groter dan 45 graden er een geringe indringing optreedt. Het rotorblad zal met een grotere impactoppervlakte inslaan en zal dan afketsen en/of vervormen en/of deels verbrijzelen, waardoor er een grotere energie opname zal optreden en de impactschade kleiner is.

Voorgaande geeft een: $P(\text{fles naar beneden}) = 2 \cdot 45 \text{ graden} / 360 \text{ graden} = 0.25$

4.4.2.5 *Faalkansberekening per faalkansscenario*

De bepaling van de faalfrequentie per faalkansscenario vindt plaats door het vermenigvuldigen van de gebeurtenissen welke gelijktijdig dienen op te treden, voor er sprake kan zijn van het falen van de waterkering ofwel de waterkende functie kan niet meer worden gegarandeerd.

Omvallen gehele windturbine

De faalfrequentie per windturbine locatie voor het scenario “omvallen gehele windturbine” wordt bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$P_{\text{omvallen gehele windturbine}} = \text{Faalfrequentie omvallen gehele windturbine} * P_{(\text{trefsector})}$$

De additionele faalfrequentie van de waterkering ten gevolge van het geheel omvallen van de windturbine wordt dan ook bepaald door een combinatie van gebeurtenissen:

- De windturbine valt als geheel om’
- De windturbine komt neer in de relevante trefsector

Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor

De additionele faalfrequentie per windturbinelocatie van het scenario “het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor” wordt bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$P_{\text{vallen gondelhuis}} = \text{Faalfrequentie vallen gondelhuis en/of rotor} \times P_{(\text{trefsector})} \times P_{(\text{niet te keren tijdens herstel})}$$

De additionele faalfrequentie van de waterkering ten gevolge van het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor wordt dus bepaald door een combinatie van gebeurtenissen:

- Het gondelhuis en/of rotor valt naar beneden;
En
- Het gondelhuis en/of rotor komt neer in de relevante trefsector

En

- Er treedt voorafgaande aan of gedurende de hersteltijd een hoogwaterstand op, welke hoger is dan de keercapaciteit van het restprofiel (indien het aannemelijk kis dat er sprake is van een restprofiel).

Het afbreken van een rotorblad

De additionele faalfrequentie per windturbine locatie voor het scenario “het afbreken van een rotorblad” wordt bepaald aan de hand van de volgende formule:

P vallen gondelhuis = **Faalfrequentie rotorbladworp** x **P**_(kritische strook) x **P**_(flens naar beneden) x **P**_(niet te keren tijdens herstel)

De additionele faalfrequentie van de waterkering ten gevolge van het afbreken van een rotorblad wordt dus bepaald door een combinatie van gebeurtenissen:

- Een rotorblad wordt afgeworpen’
En
- Een rotorblad komt neer in de kritische strook
En
- De flens komt naar beneden en de hoek van inslag met het verticaal kleiner is dan 45 graden;
En
- Er treedt voorafgaand of gedurende de herstel een hoogwaterstand op, welke hoger is dan de keercapaciteit van het restprofiel.

De additionele faalfrequentie van de waterkering is de som van alle additionele faalfrequenties per faalscenario en per windturbine locaties.

4.4.3 *Conclusie Trefkans dijk*

In het document ‘Risicoanalyse: Windturbines en primaire waterkering, opschaling Windpark Piet de Wit’ is bovenstaande methode verder uitgewerkt en dat heeft geleid tot de volgende resultaten.

Alternatief	Aantal WTB	Totale faalkans
Ref. Situatie	12	7,26*10 ⁻⁴
7	7	4,53*10 ⁻⁵
8	8	4,56*10 ⁻⁵
9	9	4,84*10 ⁻⁵

Hoofdstuk 5 Voorkeursalternatief



5.1 Beschrijving voorkeursalternatief

Mede op basis van de resultaten van het MER is een voorkeursalternatief gedefinieerd. Van dit voorkeursalternatief liggen de windturbinelocaties vast, maar is er een bandbreedte in de ashoogte (82-92,5m) en rotordiameter (115-136m). In dit hoofdstuk zijn twee typen windturbines doorgerekend, die als onder- en bovengrens gelden van de bandbreedte voor *externe veiligheid*. Deze types zijn gekozen uit een niet-uitputtende lijst beschikbare windturbines die qua afmetingen binnen het VKA passen.

Figuur 22 Windturbinelocaties van het voorkeursalternatief (VKA)



5.2 Voorselectie

Aangezien de veiligheidsrisico's van windturbines niet 1-op-1 schalen met de afmetingen is voor het milieuaspect Externe Veiligheid een tweetal windturbintypes uitgekozen die:

- Voldoen aan de bandbreedte-eisen voor wat betreft afmetingen
- Een zo groot mogelijke bandbreedte voor Externe Veiligheid opspannen

Hiervoor is eerst een lijst opgesteld met een aantal verschillende types van verschillende fabrikanten. Hiervan zijn de werpafstanden en risicocontouren bepaald, steeds met de maximale ashoogte (92.5m) om enerzijds de risicocontouren te kunnen vergelijken en anderzijds een *worst case* beschouwing te geven. Deze lijst is niet uitputtend, maar dient om aan te tonen dat er verschillende typen beschikbaar zijn, elk met eigen veiligheidsrisico.

Tabel 5 Voorselecte windturbintypes, ashoogte 92,5m

Wtb type	RD (m)	Risikocontouren (m)		Max. werpafstand (m)	
		10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	Bij nominaal toerental	Bij overtoeren
Enercon E115 TES 3000	115	57,5	145	145	396
Enercon E126 4.2 EP4	127	63	153	146	397
Gamesa 132-5MW	132	66	158	135	360
GE 2.75-120	120	60	146	146	398
Lagerwey L136-4.0MW	136	68	160	149	407
Nordex N131-3000	131	65,5	157	152	418
Nordex N117-2400	117	58,5	142	136	356
Senvion 3.0M122	122	61	147	134	355
Siemens SWT 3.3-130	130	65	160	160	448
Vestas V136-3.6	136	68	161	161	451
Vestas V126-3.45	126	63	164	164	461

N.B. niet alle windturbines uit bovenstaande tabel zijn verkrijgbaar op 92,5m ashoogte. Aangezien de bladen verder worden geworpen met toenemende ashoogte is met zekerheid een worst-case situatie beschouwd ten opzichte van het in werking hebben van dergelijke windturbines op een lagere ashoogte.

5.3 Selectie windturbines bandbreedte VKA

Uit Tabel 5 blijkt dat de Vestas V126-3.45 de hoogste 10 min 6 contour en werpafstanden heeft en de Senvion 3.0M122 de laagste werpafstanden. Hoewel, de Senvion 3.0M122 niet de laagste risicocontouren heeft, wordt er voor gekozen om toch deze windturbintype als 'ondervariant' door te berekenen, omdat de meeste risico's samengaan met de werpafstanden. De Vestas V-126 wordt doorgerekend op de hoogste ashoogte (92,5m) en de Senvion 3.0M122 op de laagste ashoogte die binnen de bandbreedte past (82m).

Tabel 6 Gegevens onder- en bovenvariant v.w.b. Externe Veiligheid

Wtb type	RD (m)	Risikocontouren (m)		Max. werpafstand (m)	
		10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	Bij nominaal toerental	Bij overtoeren
Senvion 3.0M122	122	61	147	134	355
Vestas V126-3.45	126	63	164	164	461

Inde risicoanalyse van het VKA wordt de Senvion M122 aangeduid als 'ondervariant' en de Vestas V126 met 'Bovenvariant'.

N.B. De bovenvariant is berekend op de hoogst mogelijke ashoogte en zou hiermee de tiphoogte van 150m overschrijden, de resultaten geven derhalve een worst-case scenario weer. Het kan zijn dat de te bouwen windturbines een andere ashoogte hebben dan in deze paragraaf berekend. Omdat de veiligheidsrisico's toenemen met toenemende ashoogte en de bovenvariant op de hoogst mogelijke ashoogte is doorgerekend zal een afwijkende ashoogte altijd leiden tot lagere veiligheidsrisico's.

5.4 Rekenmethode

Waar niets is aangegeven houden wij dezelfde rekenmethode aan voor het VKA als voor de MER-Alternatieven.

5.5 Risicoanalyse

5.5.1 (beperkt) Kwetsbare objecten

De berekende 10^{-5} en 10^{-6} contouren zijn weergegeven op kaart. Per windturbine-locatie is nagegaan of (geprojecteerde) kwetsbare of beperkt kwetsbare objecten aanwezig zijn. In onderstaande figuren zijn de risicocontouren van zowel de onder- als bovenvariant te vinden. Deze zijn tevens in groter formaat weergegeven in Bijlage B.

Ondervariant

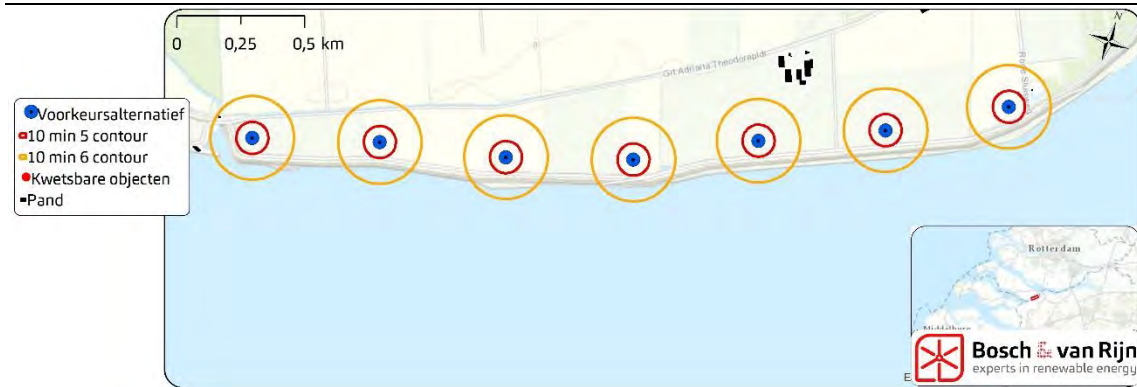
Figuur 23 Risicocontouren rond de windturbines (ondervariant)



Op basis van de berekende risicocontouren en objecten kent het plangebied voor de ondervariant geen (geprojecteerde) aandachtspunten. Er bevinden zich geen beperkt kwetsbare of kwetsbare objecten binnen respectievelijk de 10^{-5} en 10^{-6} contour.

Bovenvariant

Figuur 24 Risicocontouren rond de windturbines (Bovenvariant)



Op basis van de berekende risicocontouren en objecten kent het plangebied voor de bovenvariant geen (geprojecteerde) aandachtspunten. Er bevinden zich geen beperkt kwetsbare of kwetsbare objecten binnen respectievelijk de 10^{-5} en 10^{-6} contour.

5.5.2 Risicovolle installatie

De berekende maximale werpstanden (bij overtoeren) zijn ingetekend op de kaart en voor de locatie is nagegaan of binnen deze maximale werpafstanden risicovolle installaties aanwezig zijn.

Ondervariant

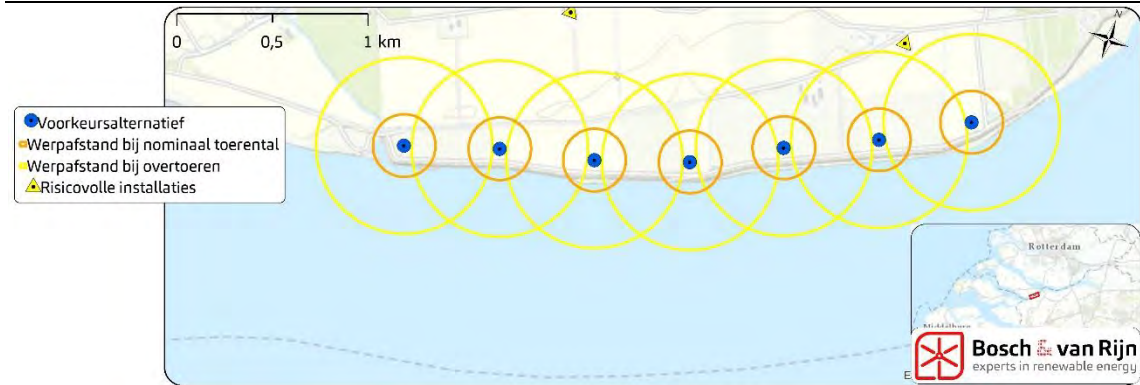
Figuur 25 Maximale werpafstand bij overtoeren van de windturbines en risicovolle installaties (ondervariant)



Er bevinden zich geen risicovolle installaties binnen de invloedssfeer van de windturbines.

Bovenvariant

Figuur 26 Maximale werpafstand bij overtoeren van de windturbines en risicovolle installaties (bovenvariant)



Er bevinden zich geen risicovolle installaties binnen de invloedssfeer van de windturbines.

5.5.3 *Infrastructuur*

5.5.3.1 *Wegen*

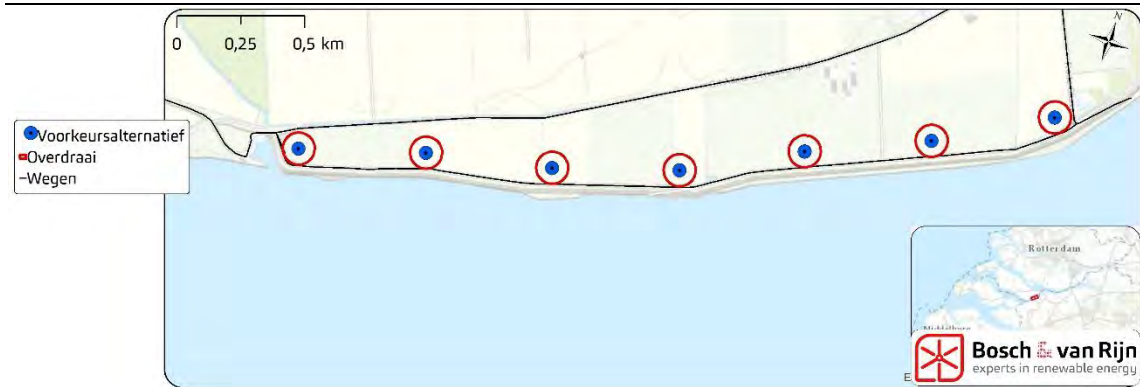
Ondervariant

Figuur 27 Wielengte en wegen in het plangebied - Ondervariant



Bovenvariant

Figuur 28 Wieklenge en wegen in het plangebied - Bovenvariant

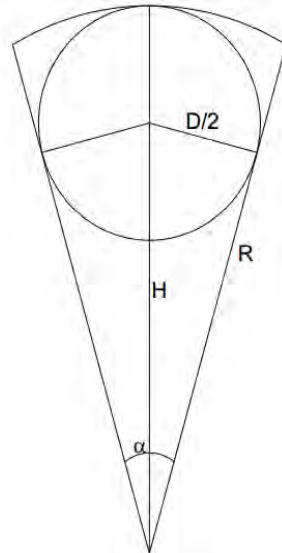


Trefkansberekening

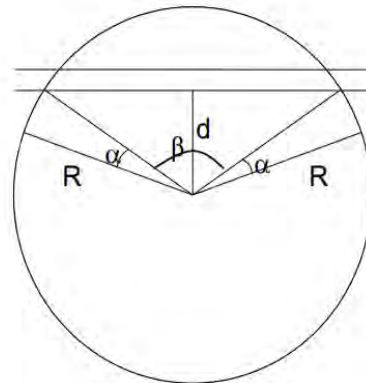
Rekenmethode mastbreuk

De kans dat de weg wordt getroffen door een onderdeel van een omvallende windturbine wordt gelijk verondersteld aan de kans dat een gedeelte van een onderstaand cirkelsegment (Figuur 27) in aanraking komt met de leidingstrook, het geen is geïllustreerd in Figuur 28 (HRW, 2014).

Figuur 29 Windturbine als cirkel segment



Figuur 30 Turbine in aanraking met weg



De trefkans wordt berekend voor de windturbine met de hoogste trefkans (WTB 1). Hierbij wordt de assumptie gedaan dat de trefkans voor deze turbinelocatie representatief is voor de andere windturbinelocaties waar overdraai plaatsvindt. Hierdoor ontstaat er een conservatieve benadering.

De trefkans is als volgt:

Variant	Turbine nummers	Afstand tot weg (m)	Valhoek graden	Mastbreuk frequentie (per jaar)	Trefkans weg
Ondervariant	1 ⁶	63	342	1,3*10 ⁻⁴	1,24*10 ⁻⁴
Bovenvariant	1	63	345	1,3*10 ⁻⁴	1,25*10 ⁻⁴

De kans dat een passant wordt getroffen kan worden berekend door de trefkans te vermenigvuldigen met de verblijfsfactor:

$$\tau = \frac{0,3}{v_o} \frac{1}{365 \cdot 24 \cdot 3600}$$

v_o = snelheid van de passant (m/s)

Ten behoeve van deze berekening gaan we uit van de worst case scenario, wat inhoudt dat de passant met de laagste snelheid de langste verblijftijd heeft. Een voetganger gaat gemiddeld 5 km/uur (1,4 meter per seconde)

Variant	Trefkans weg	Verblijftijd passant	Trefkans per passage
Ondervariant	1,24*10 ⁻⁴	6,79*10 ⁻⁰⁹	8,39*10 ⁻¹³
Bovenvariant	1,25*10 ⁻⁴	6,79*10 ⁻⁰⁹	8,47*10 ⁻¹³

Rekenmethode wiekbreuk

De kans dat een persoon wordt geraakt als gevolg van een afgebroken wiek wordt als volgt berekend.

$$P = 1,5 \cdot A_c \text{ (Kritiek oppervlakte wiek)} \cdot p_{zwpt} \text{ (Trefkans zwaartepunt wiek)}$$

Variat	A _c	P _{zwpt}	P
Ondervariant	190,6	1,27*10 ⁻⁸	3,63*10 ⁻⁶
Bovenvariant	202,05	1,09*10 ⁻⁸	3,29*10 ⁻⁶

De kans dat een passant wordt getroffen kan worden berekend door de trefkans te vermenigvuldigen met de verblijfsfactor:

$$\tau = \frac{1}{v_o} \frac{1}{365 \cdot 24 \cdot 3600}$$

Variant	Trefkans passant
Ondervariant	8,22*10 ⁻¹⁴
Bovenvariant	7,54*10 ⁻¹⁴

⁶ Bij windturbine locatie 1 kan de mast terecht komen op een weg ten noorden, westen en zuiden van de windturbine. Hierdoor is de valhoek groter dan verwacht op basis van de afstand tot de weg.

Rekenmethode gondelafworp

Voor het berekenen van personen en objecten ten gevolgen van het afvallen van een gondel met rotor of alleen een rotor kan dezelfde aanpak worden gevolgd als mastbreuk. De masthoogte wordt voor deze berekening nul verondersteld. Het risicogebied blijft dan beperkt tot een gebied rondom de toren dat gelijk is aan de rotordiameter. Daarmee is de trefkans van de weg gelijk aan de kans dat het scenario zich voordoet: $4,0 \cdot 10^{-5}$ per jaar.

Hierdoor is de kans dat een passant getroffen wordt hetzelfde voor alle turbinelocaties en kan berekend worden op de onderstaande manier.

De kans dat een passant wordt getroffen kan worden berekend door de trefkans te vermenigvuldigen met de verblijfsfactor.

$$\tau = \frac{0,3}{v_o} \frac{1}{365 \cdot 24 \cdot 3600}$$

Trefkans passant is: $2,72 \cdot 10^{-13}$ per passage.

NB. Dit scenario komt alleen voor bij de bovenvariant

Conclusie passantenrisico

De totale trefkans voor een passant is een sommatie van alle trefkans vermenigvuldigd met het aantal windturbines. Dit leidt tot de volgende trefkansen:

Variant	Aantal WTB	Trefkans per WTB	Totale trefkans
Ondervariant	7	$9,21 \cdot 10^{-13}$	$6,45 \cdot 10^{-12}$
Bovenvariant	7	$1,19 \cdot 10^{-12}$	$8,35 \cdot 10^{-12}$

5.5.3.2 Ijsafworp

Voor ijsafworp wordt er getoetst aan het feit of de windturbines van het Voorkeursalternatief dusdanig gekruid kunnen worden dat de weg zich bevindt buiten de oppervlakte waar mogelijk stukken ijs kunnen vallen (zie Tabel 3 en paragraaf 4.3.2).

Figuur 31 Afstand van de windturbine tot dichtstbijzijnde weg



Uit bovenstaande figuur blijkt dat de windturbines op een dusdanige manier gekruid kunnen worden dat de weg zich buiten het oppervlakte bevindt waar mogelijk stukken ijs kunnen vallen.

Dit geldt ook voor windturbine 1 waarbij zich in het zuiden een weg op 70 meter van de windturbine bevindt. Echter, is er een gekruide positie mogelijk waarbij beide wegen zich buiten de risicozone van ijsafworp bevinden.

Ten oosten van windturbine 7 bevindt zich ook een weg op 72 meter. Hiervoor geldt ook dat er een gekruide positie mogelijk is waarbij beide wegen zich buiten de risicozone van ijsafworp bevinden.

5.5.4 *Dijken*⁷

5.5.5 *Situatie waterkering*

De windturbinelocaties zijn gepland nabij vlakken 37 t/m 39 in onderstaand figuur.

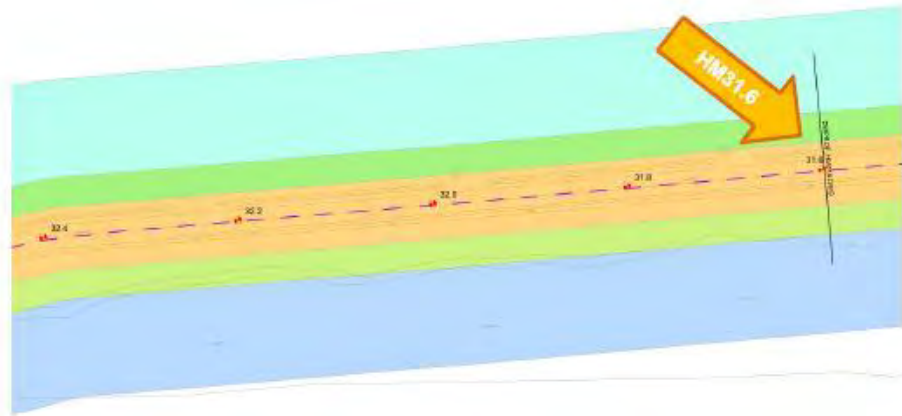
Figuur 32 **Overzichtskaart Primaire waterkeringen (Waterschap Hollandse Delta)**



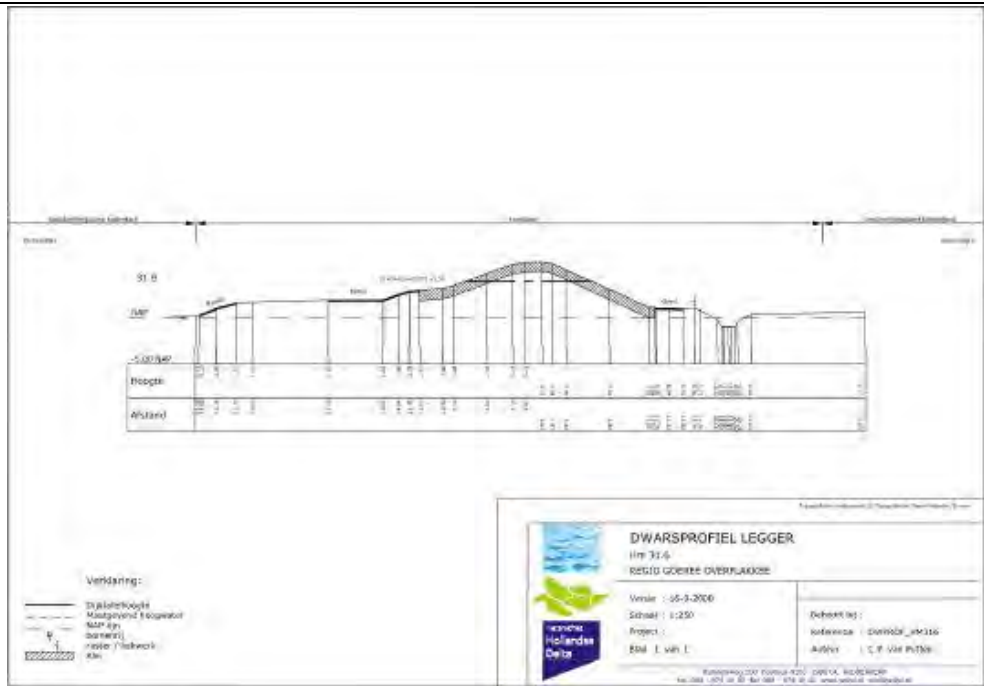
Onderstaande figuren tonen de situatiekaart van vak 37 en dwarsprofiel van HM31.6 en HM 33.6.

⁷ In onderstaande paragraaf wordt ingegaan op de resultaten uit het onderzoek Risicoanalyse± windturbines en primaire waterkering Opschaling Windpark Piet de Wit – voorkeursalternatief (Bijlage G).

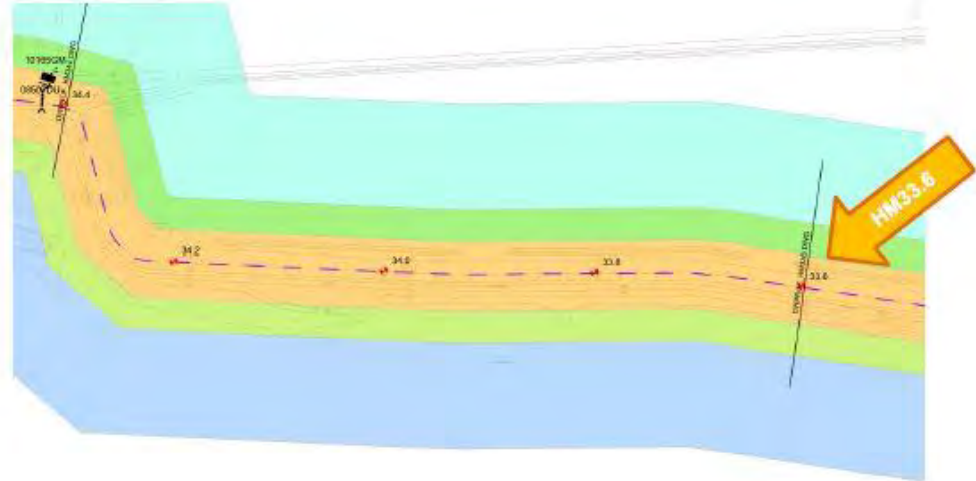
Figuur 33 Situatiekaart 37 inclusief positie onderstaande dwarsprofiel HM 31.6



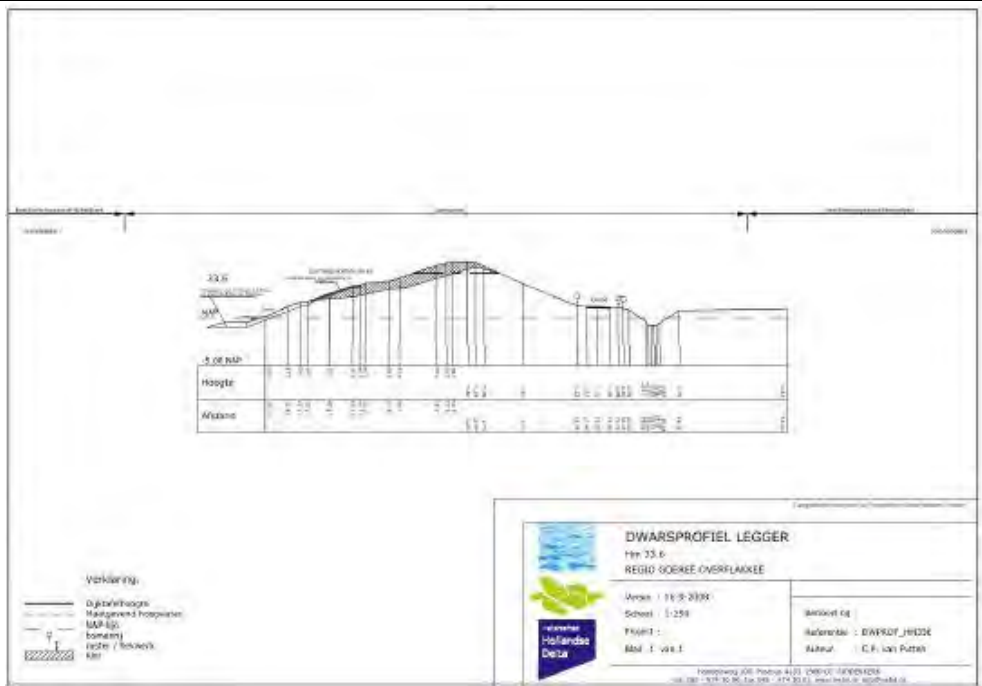
Figuur 34 Dwarsprofiel HM 316



Figuur 35 Positie Dwarsprofiel HM33.6



Figuur 36 Dwarsprofiel HM33.6



5.5.6 Trefkans waterkering

5.5.6.1 Kritische strook

Als kritische strook is een 20 meter brede strook ten opzichte van de kruin van de waterkering aangenomen (10 meter aan beide zijde t.o.v. de kruin-as). De ratio achter de 20 meter is dat hiermee ten minste het functionele deel van de kruin wordt opgevangen.

5.5.6.2 Restprofiel

Indien er sprake is van een restprofiel, betekent het dat het aanwezige restprofiel nog een bepaalde waterstand kan keren. Er is in dat geval sprake van een zogenaamde responstijd tot herstel, zolang er voor of tijdens dit herstel geen waterstand optreedt tot boven het niveau van het restprofiel. Er is dus sprake van een gebeurtenis (dealkans) welke gelijktijdig met het falen van een windturbine of windturbineonderdeel dient op te treden. Dit betreft de kans dat op het moment van falen van een windturbine of windturbineonderdeel er ook, voor of tijdens het herstellen, een waterstand optreedt welke hoger is dan het aanwezige restprofiel kan keren. Het is aannemelijk dat indien één van de faalscenario's optreedt er sprake is van een restprofiel, welke nog een bepaalde waterstand kan keren.

Als aanname is genomen dat het aanwezige restprofiel niet meer een waterstand kan keren, welke optreedt in het geval van een "lichte storm". De kans op optreden van een "lichte storm" is aangenomen op 5 keer per jaar. Voor de stormduur wordt uitgegaan van 35 uur. Hedendaagse windturbines worden door middel van een SCADA systeem 24 uur per dag gemonitord. Gangbaar is dat een windturbine zich in ieder geval één keer per 24 uur meldt. Een detectietijd van 24 uur is daarom aannemelijk. De hersteltijd voor de ontstane schade aan de waterkering is geschat op 5 dagen ($5 \times 24 = 120$ uur).

De kans dat er een "lichte storm" optreedt tijdens de hersteltijd is:

$P(\text{niet te keren storm tijdens herstel}) = 5 \text{ lichte stormen per jaar} \times (35 \text{ uur} / 8760 \text{ uur per jaar}) + 5 \text{ lichte stormen per jaar} \times (24 \text{ uur} / 8760 \text{ uur per jaar}) + 5 \text{ lichte stormen per jaar} \times (120 \text{ uur} / 8760 \text{ uur per jaar}) = 0,1$ per jaar.

5.5.6.3 Trefsector

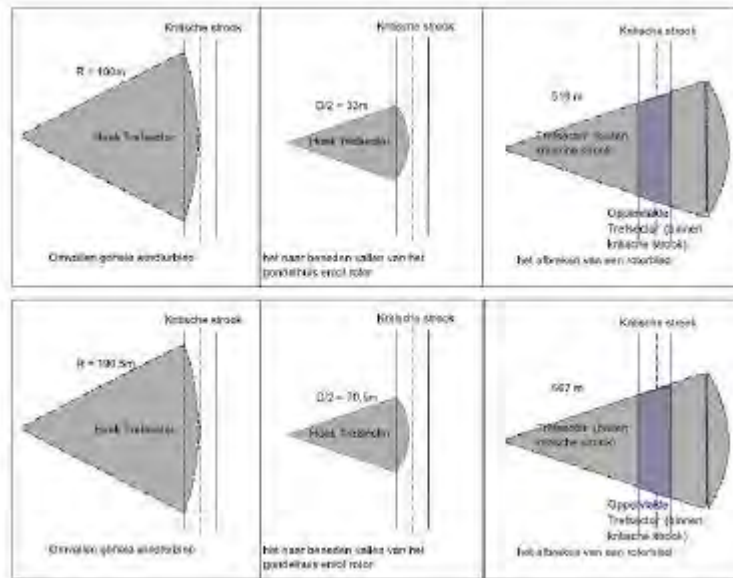
Ten behoeve van de risicoanalyse is, zowel voor de bestaande als voor de nieuwe locaties, per windturbinelocatie en faalscenario de trefsector bepaald. De trefsector betreft het gebied waar een falende windturbine of windturbineonderdeel kan neerkomen en daarbij een schade kan veroorzaken, welke een mogelijk risico vormt voor de waterkende functie van de waterkering.

De kans dat een windturbine of een windturbineonderdeel in de trefsector terecht komt is:

$$P_{(\text{trefsector})} = \text{hoek trefsector} / 360 \text{ graden}$$

De grootte van de trefsector is per alternatief en windturbinelocatie bepaald aan de hand van de trefafstand en het snijpunt met de kritische zone.

Figuur 37 Het principe van de trefsector per faalscenario, bestaande windturbines en alternatief 7 als voorbeeld



Bij het faalscenario; "omvallen gehele windturbine" is er, zowel in de bestaande situatie als voor de nieuwe situatie, een grote kans op een aanzienlijke beschadiging van de waterkering. De waterkerende functie van de waterkering kan dan niet meer worden gegarandeerd. Ten behoeve van de risicoanalyse is aangenomen dat bij het geheel omvallen van een windturbine de kering alle tijden zal falen, wat een conservatieve aanname betreft. Zoals voorgaande reeds is omschreven is de werkelijk valbereik afhankelijk van het type afwijking wat is opgetreden (geheel of deels bezwijken van de toren) en de exacte valrichting. Ook is het aannemelijk dat indien de gehele windturbine omvalt en op of over de kering valt, op basis van waarnemingen bij vergelijkbare incidenten en met behulp van explosief slopen van bestaande windturbines, een deel van de kering gehandhaafd zal blijven.

Voor het faalscenario; "het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor" is er een grote kans op een aanzienlijke beschadiging van het binnentalud van de waterkering. De waterkerende functie van de waterkering kan dan niet meer worden gegarandeerd. Echter gezien de afstand ten opzichte van de kruin van de kering in relatie tot het valbereik bij het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor is het aannemelijk dat de kruin en het buitenwaartse deel van de kering geheel of deels intact blijft. Er zijn altijd sprake zijn van een restprofiel.

Voor het faalscenario; "Het afbreken van een rotorblad" is ten behoeve van de risicoanalyse aangenomen dat in het geval van een worst case impact (impact van de flens, onder een hoek kleiner dan 45 graden) van een rotorblad binnen de trefsector van de kritische strook, er een restprofiel overblijft en er tijd is voor het herstellen van de schade. Er is geen sprake van het direct falen van de waterkering, echter kan de waterkerende functie niet meer worden gegarandeerd. Komt een rotorblad buiten de kritische strook terecht, maar wel in het overige deel van een trefsector dan is onafhankelijk van de wijze van neerkomen de waterkerende functie van de waterkering niet direct in het geding. Door de impact is er schade ontstaan, maar de kruin is nog intact. De hoogste waterstand, volgens de van toepassing zijnde

norm-overschrijdingskans, kan nog gekeerd worden. Er is tijd om maatregelen te nemen en de schade te herstellen.

Het neerkomen van de windturbine of windturbineonderdeel buiten de trefsector heeft geen direct gevolg voor de waterkerende functie van de primaire waterkering.

De voor windpark Piet de Wit per faalscenario berekende trefsector, zijn in het navolgende tabel voor zowel de bestaande als nieuwe windturbines weergegeven.

Bestaande windturbines	faalscenario; "omvallen gehele windturbine" [°]	faalscenario; "het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor" [°]	faalscenario; "het afbreken van een rotorblad" [%] = oppervlakte trefsector
Windturbinelocatie 1	201	106	2,7
Windturbinelocatie 2	160	109	2,6
Windturbinelocatie 3	154	106	2,5
Windturbinelocatie 4	161	107	2,5
Windturbinelocatie 5	158	111	2,5
Windturbinelocatie 6	158	108	2,5
Windturbinelocatie 7	157	104	2,5
Windturbinelocatie 2	158	107	2,5
Windturbinelocatie 9	158	108	2,5
Windturbinelocatie 10	157	106	2,5
Windturbinelocatie 11	166	108	2,5
Windturbinelocatie 12	164	97	2,5
Nieuwe Windturbines Type E115 (onder)variant	faalscenario; "omvallen gehele windturbine" [°]	faalscenario; "het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor" [°]	faalscenario; "het afbreken van een rotorblad" [%] = oppervlakte trefsector
Windturbinelocatie 1	180	1*	2,1
Windturbinelocatie 2	115	1*	2,0
Windturbinelocatie 3	125	1*	1,9
Windturbinelocatie 4	132	1*	1,9
Windturbinelocatie 5	124	1*	1,9
Windturbinelocatie 6	123	1*	1,9
Windturbinelocatie 7	135	1*	2,0
Nieuwe Windturbines Type V136 (boven)variant	faalscenario; "omvallen gehele windturbine" [°]	faalscenario; "het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor" [°]	faalscenario; "het afbreken van een rotorblad" [%] = oppervlakte trefsector
Windturbinelocatie 1	180	23	2,1
Windturbinelocatie 2	115	1*	2,0
Windturbinelocatie 3	125	1*	1,9
Windturbinelocatie 4	132	1*	1,9
Windturbinelocatie 5	124	1*	1,9
Windturbinelocatie 6	123	1*	1,9
Windturbinelocatie 7	135	1*	2,0

Tabel 2. Trefsector per faalscenario

5.5.6.4 *Neerkomen rotorblad*

Een rotorblad van een hedendaagse windturbine bestaat voornamelijk composiet materiaal (vezelversterkt materiaal/glasvezel) al dan niet met een metalen flens en of/bladadapter.

De schade die een neerkomend rotorblad veroorzaakt is onder meer sterk afhankelijk van de wijze van neerkomen. Afhankelijk van de impacthoek zal een rotorblad versplinteren en/of afketsen. De meest significante schade wordt veroorzaakt als de flens (verbinding tussen het rotorblad en de rotor) van een rotorblad onder een bepaalde hoek inslaat (uitgaande van de worst case afworp bij een overtoeren situatie). De overige situaties zorgen voor een lagere impactschade.

De worst case hoek van inslag met het verticaal is kleiner dan 45 graden. De ratio achter deze 45 graden is dat bij een zanddijk met een kleibekleding, theoretisch bij een hoek van inwendig zou zijn en er horizontale afschuiving plaatsvindt. Er zou dus uit kunnen worden gegaan van 30 graden. Echter zou deze aanname voor de deklaag een niet-conservatieve aanname zijn. Daarom wordt als aanname aangehouden, dat bij een hoek van inslag met het verticaal groter dan 45 graden er een geringe indringing optreedt. Het rotorblad zal met een grotere impactoppervlakte inslaan en zal dan afketsen en/of vervormen en/of deels verbrijzelen, waardoor er een grotere energie opname zal optreden en de impactschade kleiner is.

Voorgaande geeft een: $P(\text{flens naar beneden}) = 2 \cdot 45 \text{ graden} / 360 \text{ graden} = 0.25$

5.5.6.5 *Faalkansberekening per faalkansscenario*

De bepaling van de faalfrequentie per faalkansscenario vindt plaats door het vermenigvuldigen van de gebeurtenissen welke gelijktijdig dienen op te treden, voor er sprake kan zijn van het falen van de waterkering ofwel de waterkende functie kan niet meer worden gegarandeerd.

Omvallen gehele windturbine

De faalfrequentie per windturbine locatie voor het scenario “omvallen gehele windturbine” wordt bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$P_{\text{omvallen gehele windturbine}} = \text{Faalfrequentie omvallen gehele windturbine} * P_{(\text{trefsector})}$$

De additionele faalfrequentie van de waterkering ten gevolge van het geheel omvallen van de windturbine wordt dan ook bepaald door een combinatie van gebeurtenissen:

- De windturbine valt als geheel om'
- De windturbine komt neer in de relevante trefsector

Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor

De additionele faalfrequentie per windturbine locatie van het scenario “het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor” wordt bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$P_{\text{vallen gondelhuis}} = \text{Faalfrequentie vallen gondelhuis en/of rotor} \times P_{\text{(trefsector)}} \times P_{\text{(niet te keren tijdens herstel)}}$$

De additionele faalfrequentie van de waterkering ten gevolge van het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor wordt dus bepaald door een combinatie van gebeurtenissen:

- Het gondelhuis en/of rotor valt naar beneden;
En
- Het gondelhuis en/of rotor komt neer in de relevante trefsector

En
- Er treedt voorafgaande aan of gedurende de hersteltijd een hoogwaterstand op, welke hoger is dan de keercapaciteit van het restprofiel (indien het aannemelijk is dat er sprake is van een restprofiel).

Het afbreken van een rotorblad

De additionele faalfrequentie per windturbine locatie voor het scenario “het afbreken van een rotorblad” wordt bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$P_{\text{vallen gondelhuis}} = \text{Faalfrequentie rotorbladworp} \times P_{\text{(kritische strook)}} \times P_{\text{(flens naar beneden)}} \times P_{\text{(niet te keren tijdens herstel)}}$$

De additionele faalfrequentie van de waterkering ten gevolge van het afbreken van een rotorblad wordt dus bepaald door een combinatie van gebeurtenissen:

- Een rotorblad wordt afgeworpen’
En
- Een rotorblad komt neer in de kritische strook
En
- De flens komt naar beneden en de hoek van inslag met het verticaal kleiner is dan 45 graden;
En
- Er treedt voorafgaand of gedurende de herstel een hoogwaterstand op, welke hoger is dan de keercapaciteit van het restprofiel.

De additionele faalfrequentie van de waterkering is de som van alle additionele faalfrequenties per faalscenario en per windturbine locaties.

Conclusie Trefkans dijk

In het document 'Risicoanalyse: Windturbines en primaire waterkering, opschaling Windpark Piet de Wit' is bovenstaande methode verder uitgewerkt en dat heeft geleid tot de volgende resultaten.

Variant	Aantal WTB	Totale faalkans
Ondervariant	7	$3,67 \cdot 10^{-5}$
Bovenvariant	7	$3,69 \cdot 10^{-5}$

Hoofdstuk 6 Conclusie



6.1 (beperkt) Kwetsbare objecten

Er bevinden zich geen (beperkt) kwetsbare objecten binnen de 10^{-5} en 10^{-6} contouren. Hiermee wordt er voldaan aan de veiligheidseisen uit het activiteitenbesluit.

6.2 Risicovolle installaties

Er bevinden zich geen risicovolle installaties binnen de invloedssfeer van de windturbines.

6.3 Infrastructuur

6.3.1 Wegen

De trefkans als gevolg van een falende windturbine is:

Alternatief	Trefkans passant
Referentiesituatie	$1,70 \cdot 10^{-11}$
7	$8,81 \cdot 10^{-12}$
8	$9,96 \cdot 10^{-12}$
9	$1,06 \cdot 10^{-11}$
Ondervariant	$6,45 \cdot 10^{-12}$
Bovenvariant	$8,35 \cdot 10^{-12}$

Om te onderzoeken of er aan het IPR en MR wordt voldaan, wordt in onderstaand tabel gekeken hoeveel passages er nodig zijn om het IPR te overschrijden (per jaar en per dag) en hoeveel passanten er per jaar de windturbine moeten passeren.

Alternatief	Trefkans passant (IPR)	Passages per jaar (IPR)	Passages per dag (IPR)	Aantal passanten (MR)
Ref. Situatie	$1,70 \cdot 10^{-11}$	58823	161	117.647.058
7	$8,81 \cdot 10^{-12}$	113507	310	227.014.756
8	$9,96 \cdot 10^{-12}$	100401	275	200.803.212
9	$1,06 \cdot 10^{-11}$	94339	258	188.679.245
Ondervariant	$6,45 \cdot 10^{-12}$	155038	424	310.077.519
Bovenvariant	$8,35 \cdot 10^{-12}$	119760	328	239.520.958

Gelet op de aard van de weg is het niet realistisch dat het IPR en MR wordt overschreden.

6.3.2 Ijsafworp

Voor de MER-alternatieven 8 en 9 en het voorkeursalternatief geldt dat de windturbines dusdanig gekruidd kunnen worden dat er zich geen weg bevindt binnen de oppervlakte waarin ijsafworp kan optreden.

Voor Alternatief 7 geldt dat één windturbine niet gekruidd kan worden in een positie waarin zich geen weg bevindt binnen de oppervlakte waarin ijsafworp kan optreden terwijl voor de referentiesituatie geldt dat er 11 windturbines zijn die niet gekruidd kunnen worden in een stand waarin zich geen weg bevindt binnen de oppervlakte waarin ijsafworp kan optreden.

6.4 Dijken

De kans dat de waterkerende functie van de primaire waterkering faalt als gevolg van de falende windturbines is:

Alternatief	Aantal WTB	Totale faalkans
Ref. Situatie	12	$7,26 \cdot 10^{-4}$
7	7	$4,53 \cdot 10^{-5}$
8	8	$4,56 \cdot 10^{-5}$
9	9	$4,84 \cdot 10^{-5}$
Ondervariant	7	$3,67 \cdot 10^{-5}$
Bovenvariant	7	$3,69 \cdot 10^{-5}$

Dit resulteert in een faalkansverhoging (t.o.v. de huidige toegestane faalkans van $3,33 \cdot 10^{-3}$) door de windturbines van de alternatieven van:

Alternatief	Totale faalkans	Faalkans verhoging
Ref. Situatie	$7,26 \cdot 10^{-4}$	2,73%
7	$4,53 \cdot 10^{-5}$	1,36%
8	$4,56 \cdot 10^{-5}$	1,37%
9	$4,84 \cdot 10^{-5}$	1,45%
Ondervariant	$3,67 \cdot 10^{-5}$	1,10%
Bovenvariant	$3,69 \cdot 10^{-5}$	1,11%

Hieruit blijkt dat de MER-alternatieven en het voorkeursalternatief een verbetering betekenen van de dijkveiligheid ten opzichte van de referentiesituatie. Dit komt voornamelijk doordat het aantal windturbines afneemt en de afstand tot de dijk toeneemt.

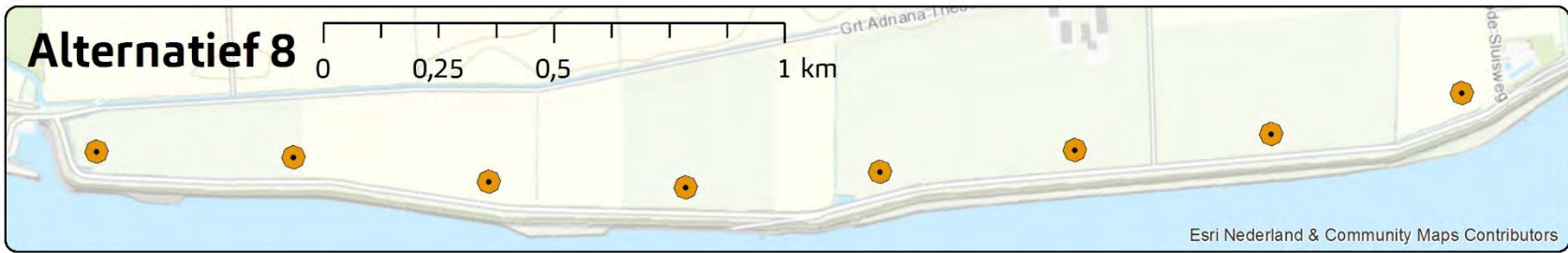
Hoofdstuk 7 Bijlagen



Bijlage A Inrichtingsalternatieven

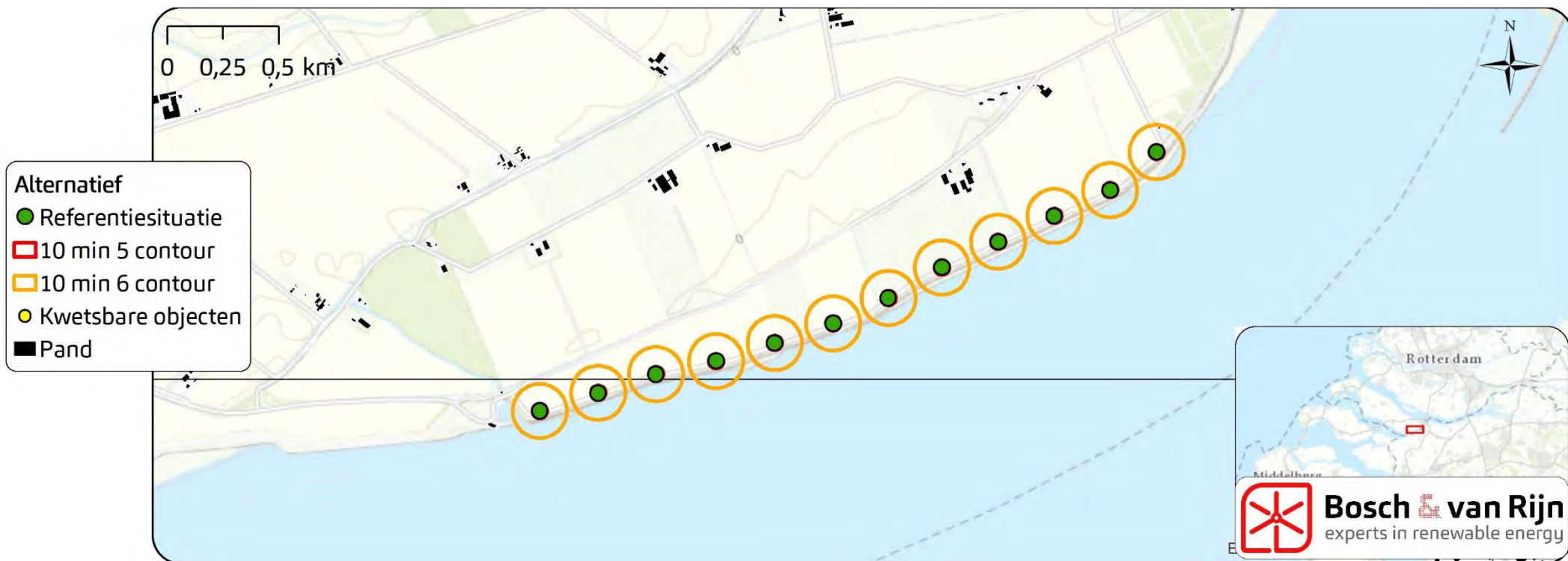
In onderstaande figuur worden de alternatieven weergegeven.

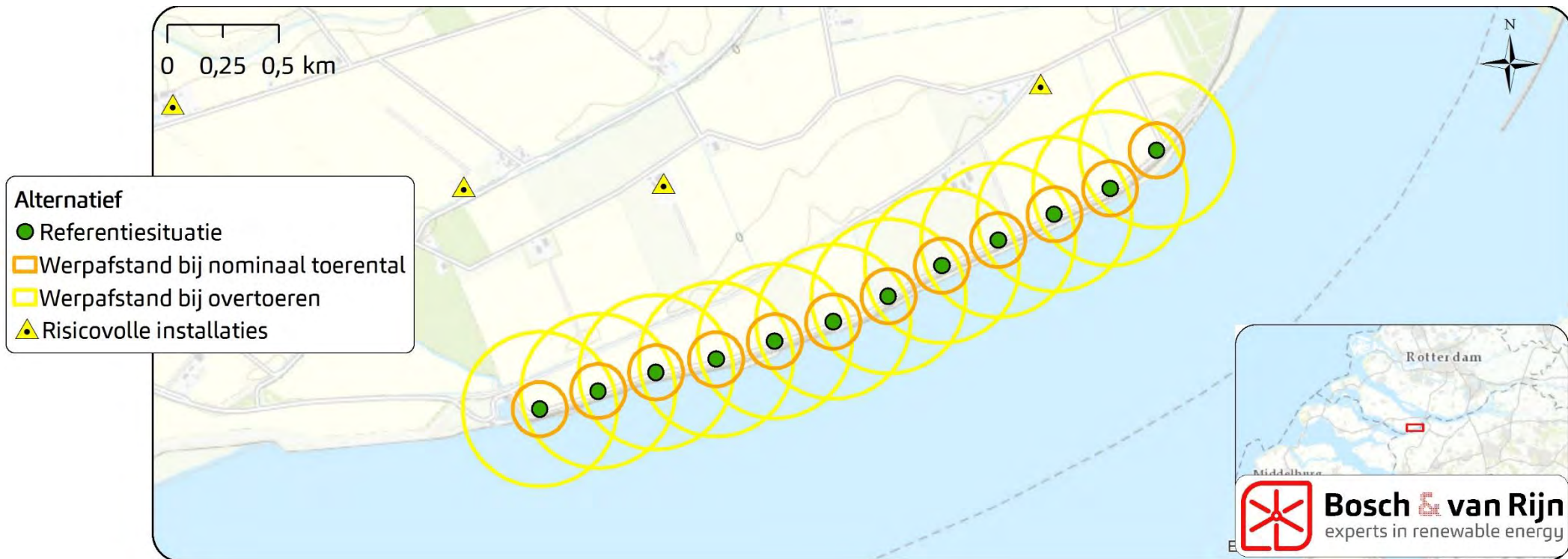


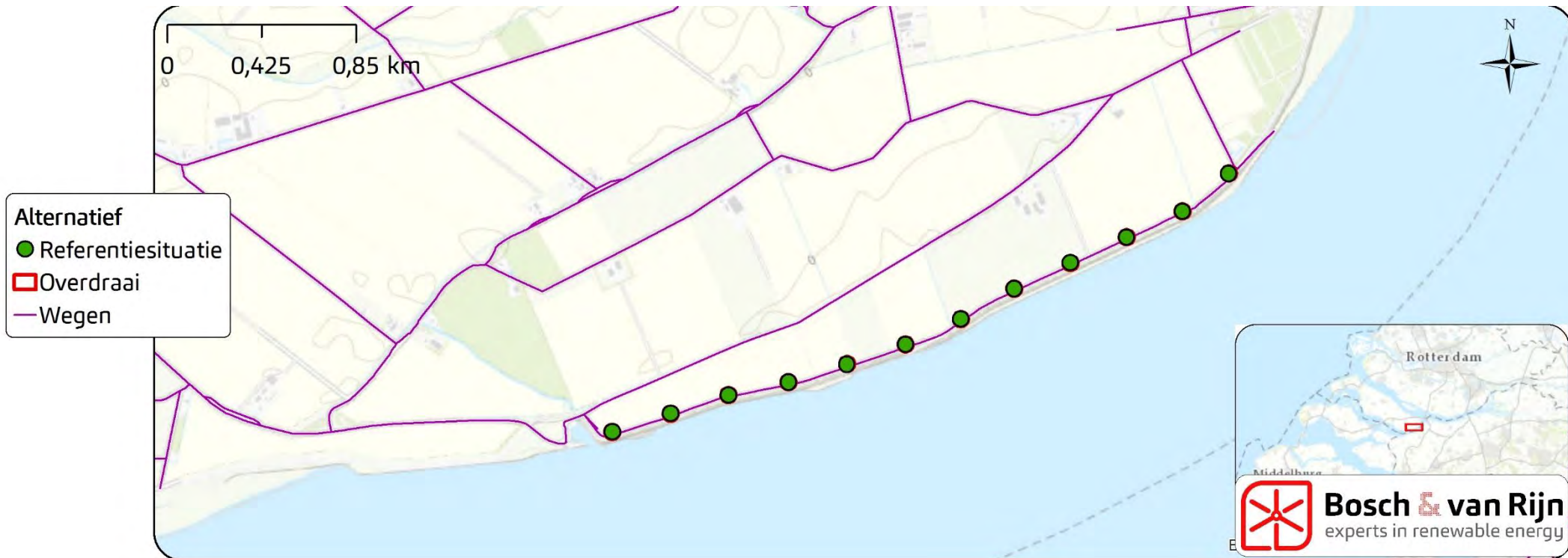


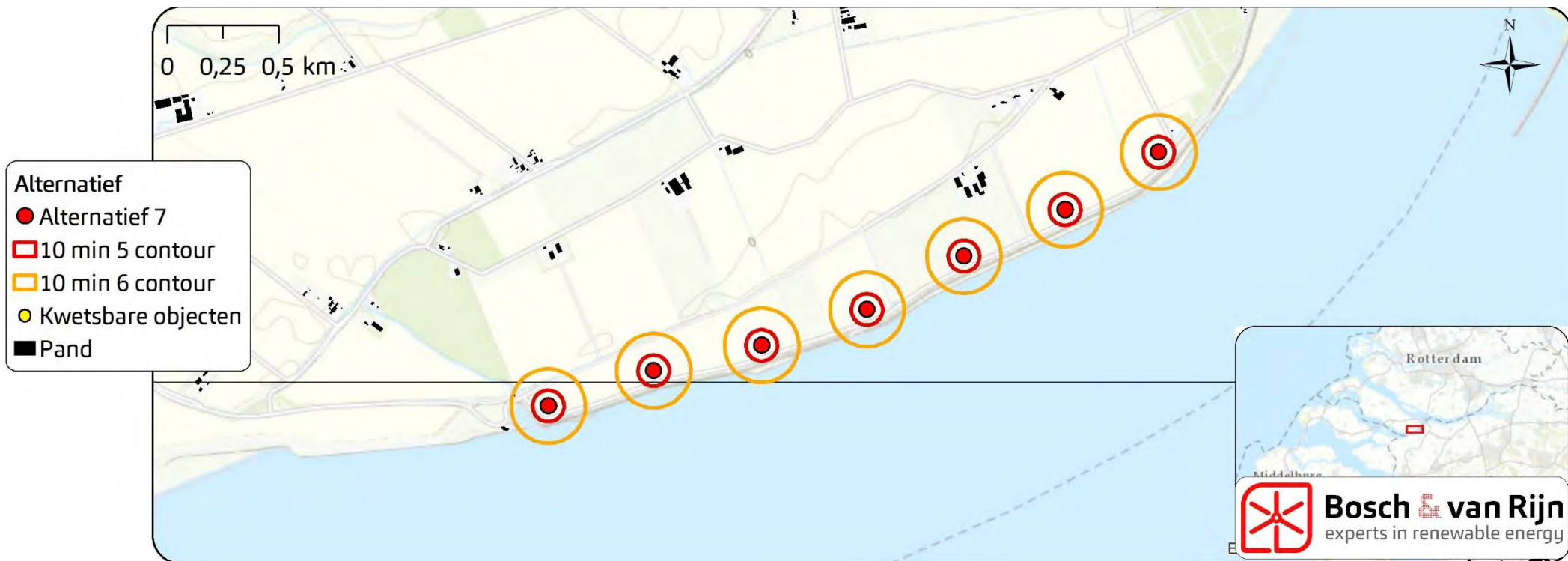
Bijlage B Risicocontouren en werpafstanden

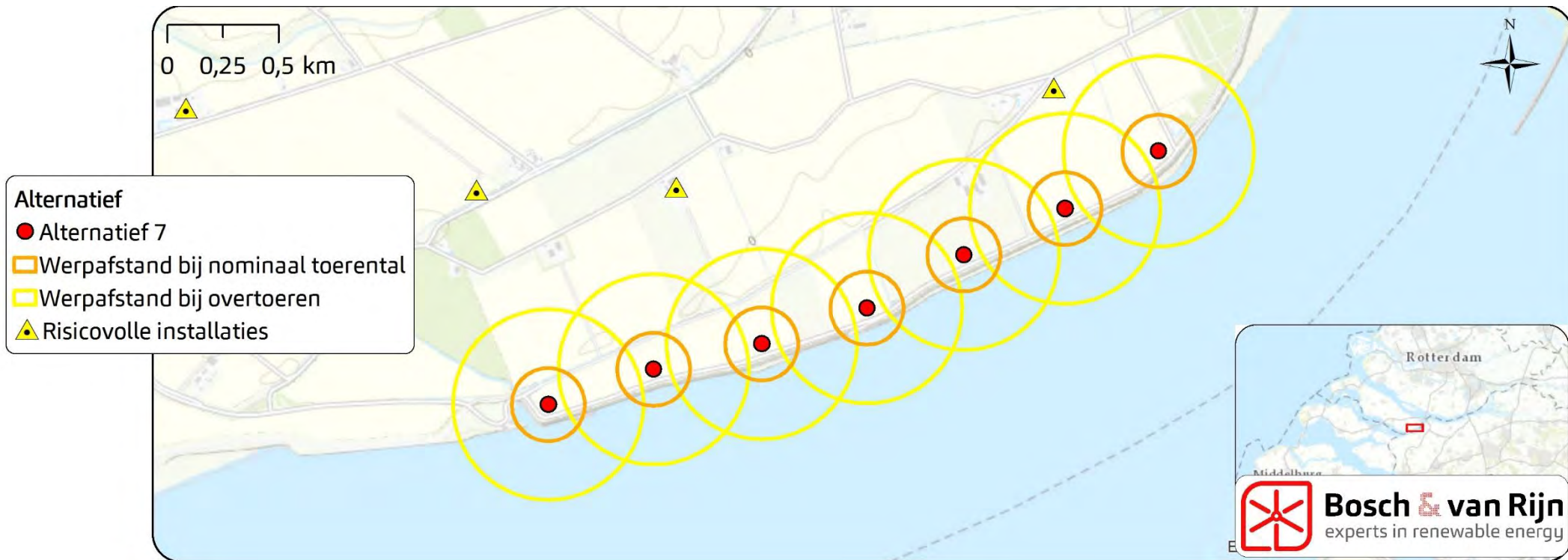


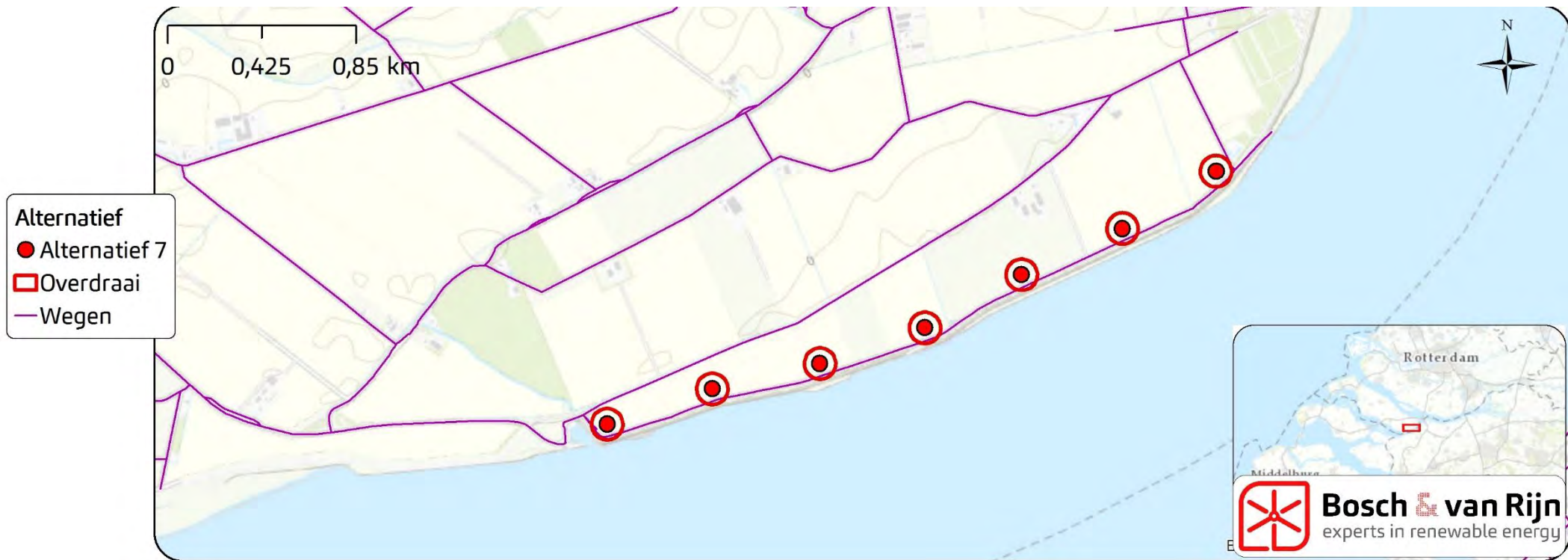


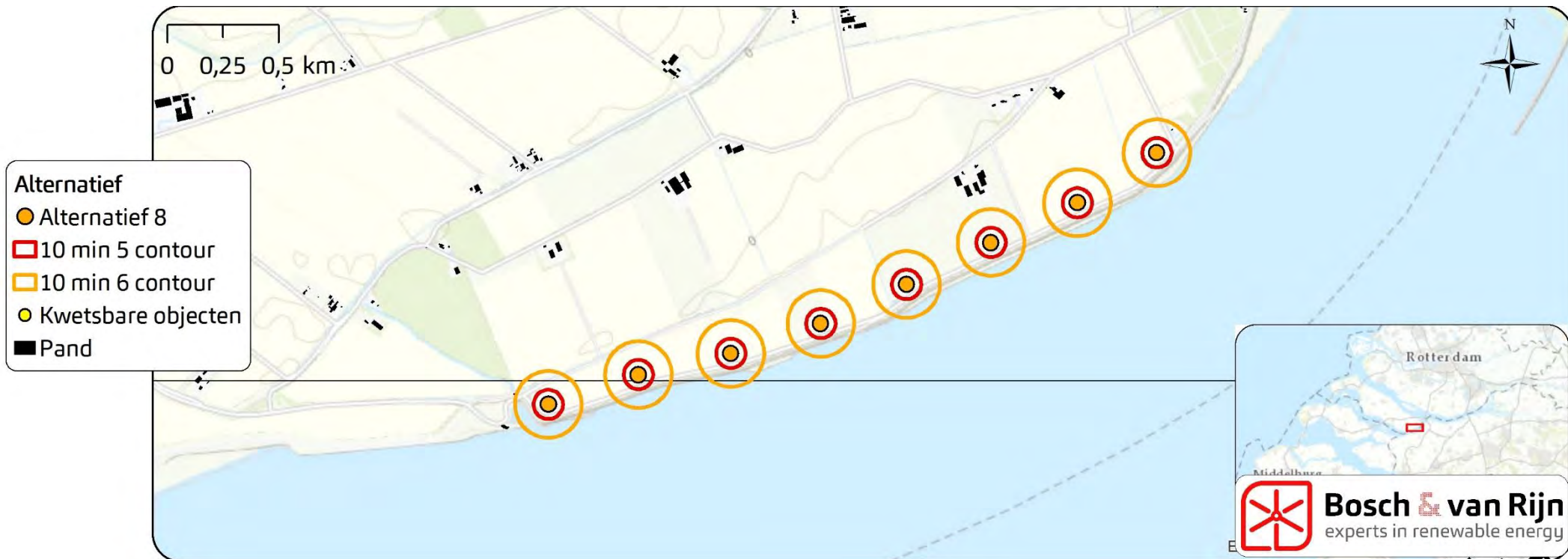






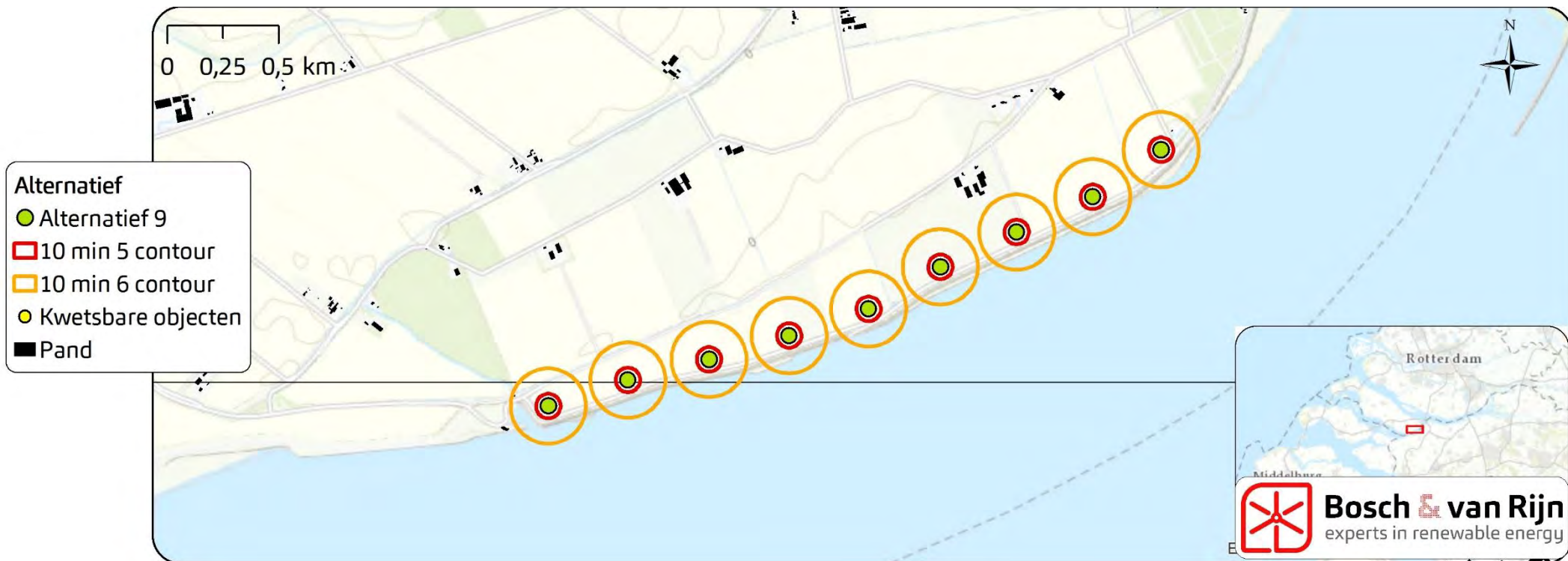


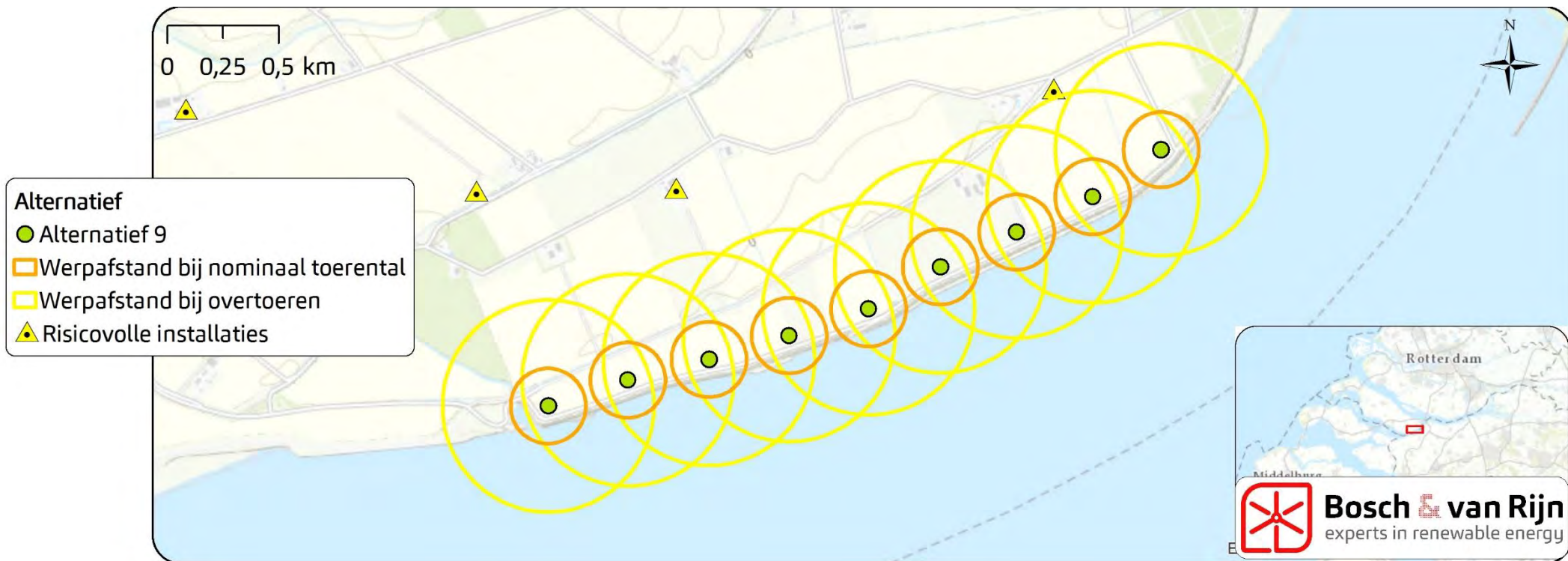


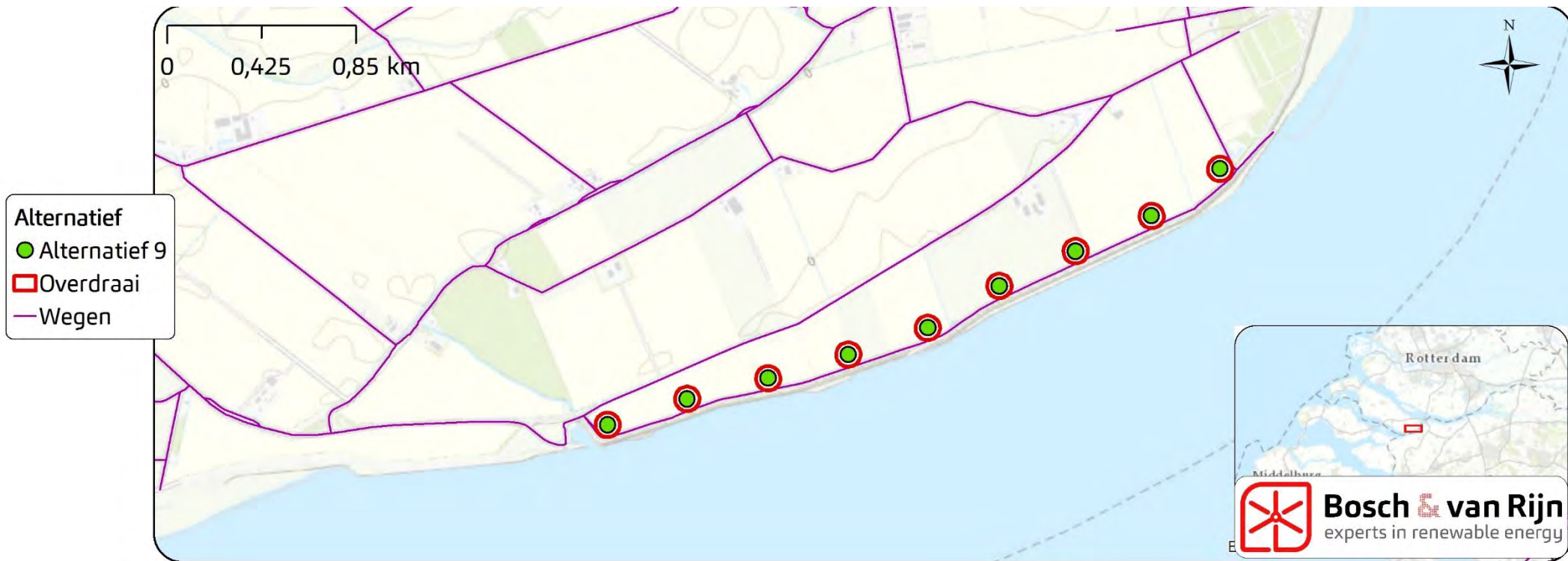




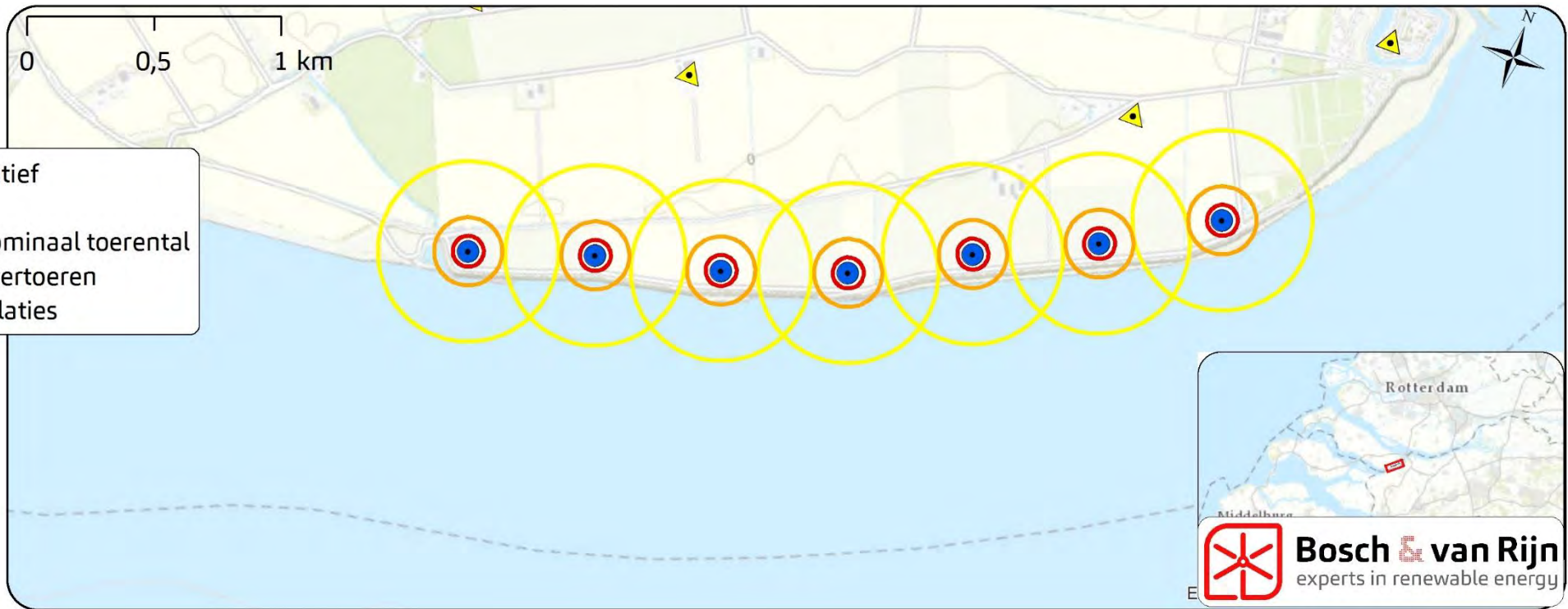


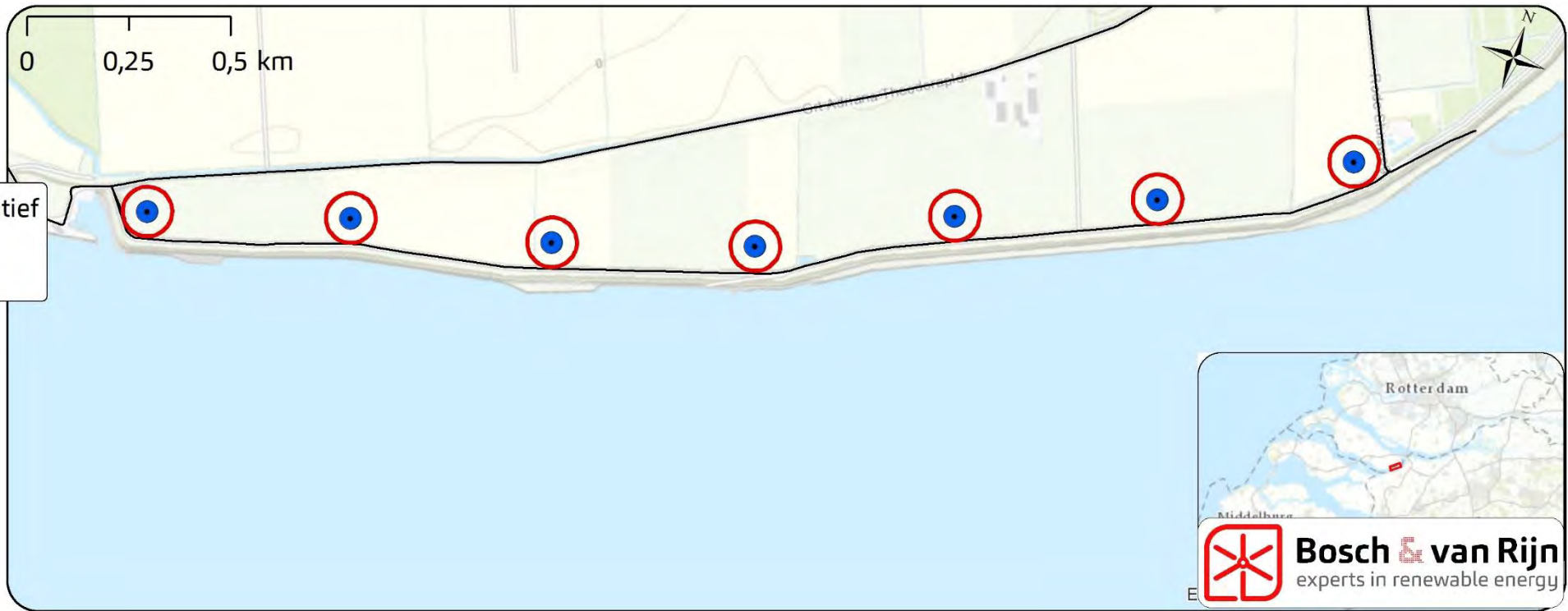


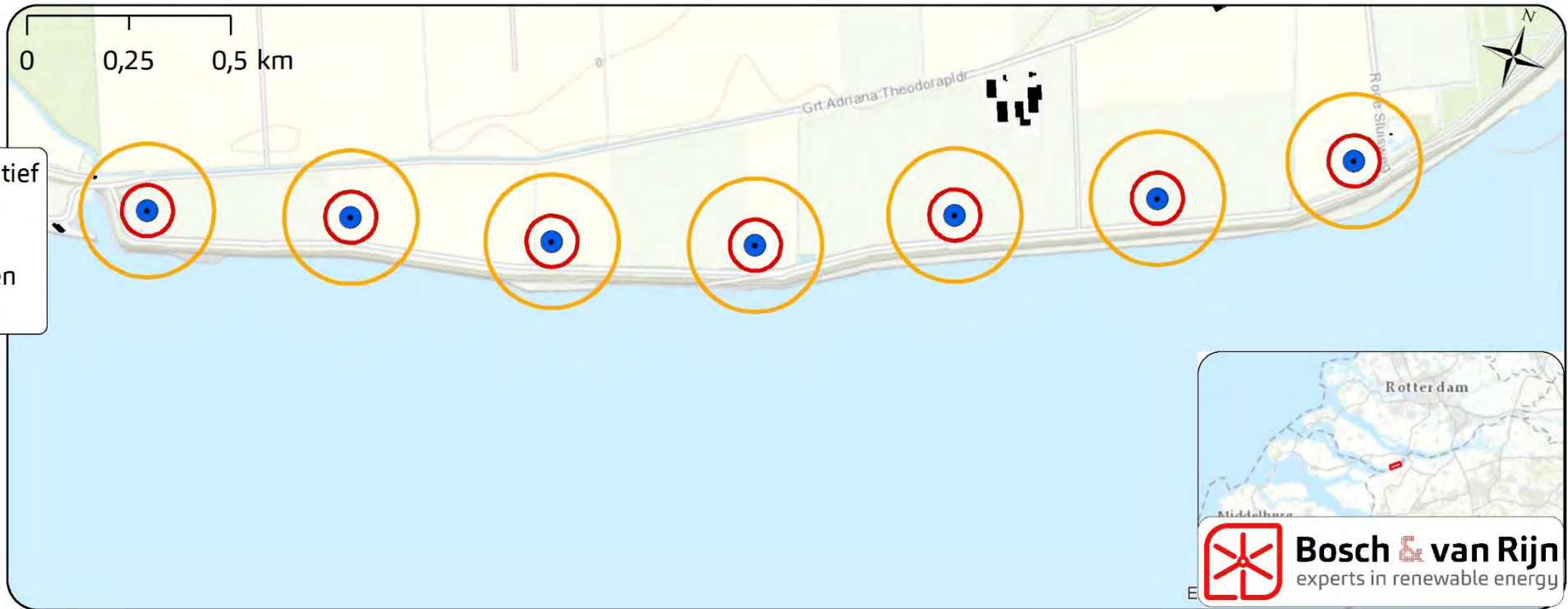


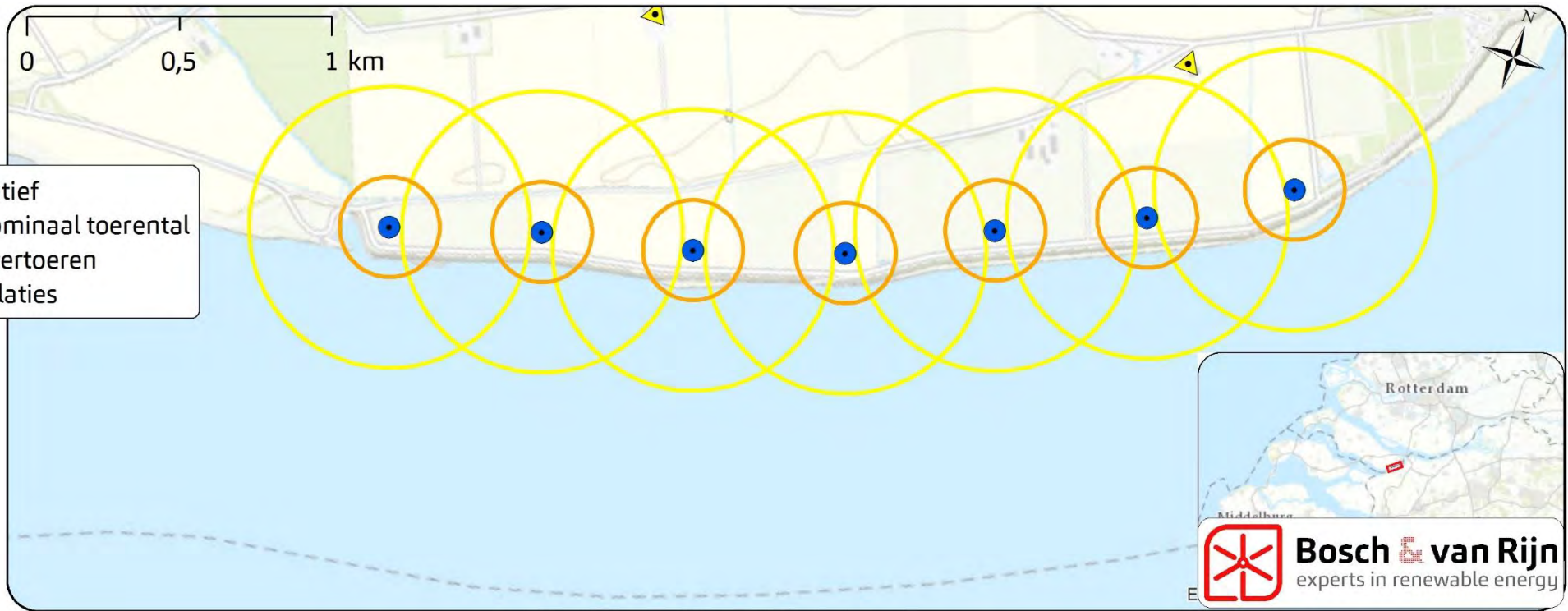


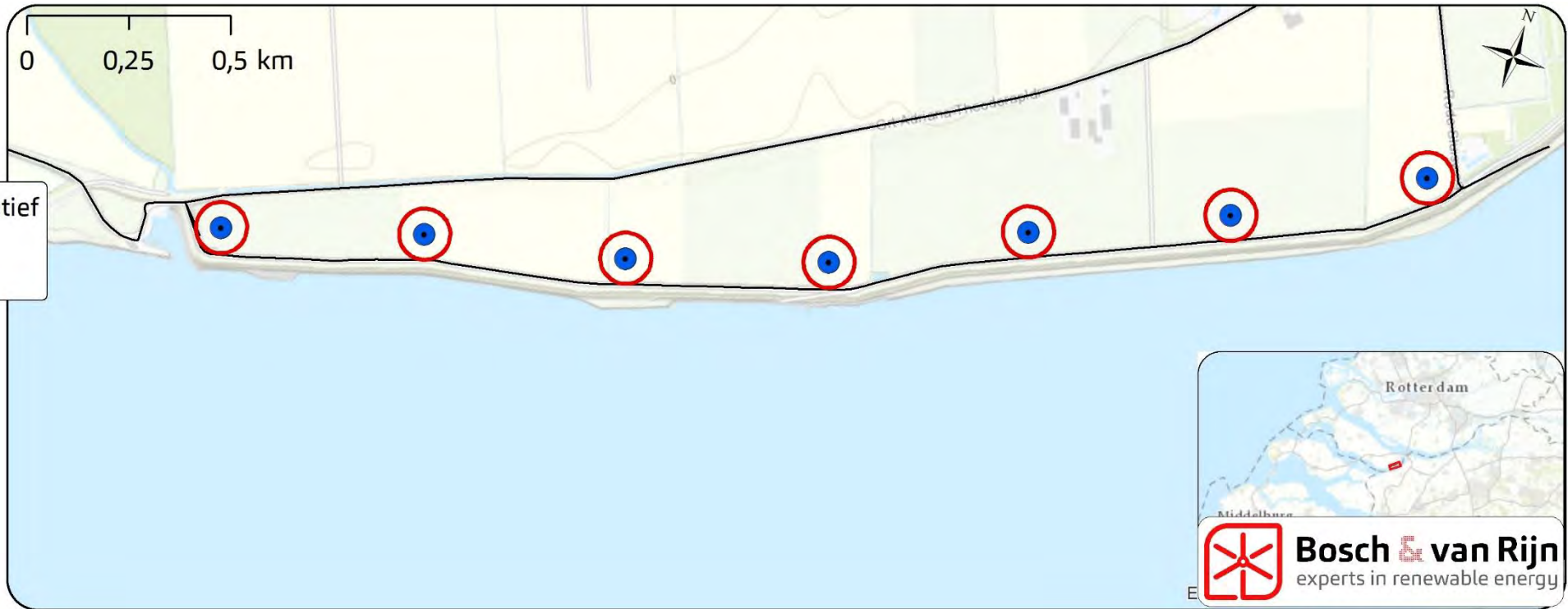












Bijlage C Berekening werpafstand

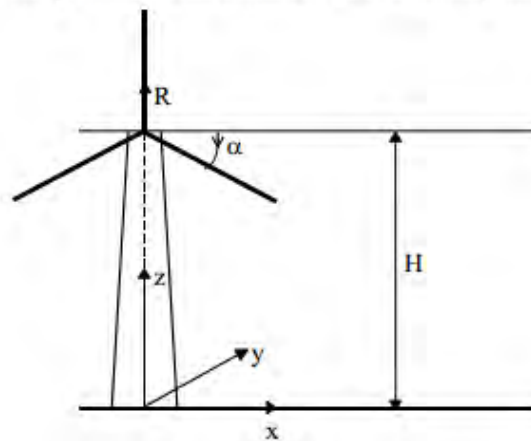
2.1 Ballistisch model zonder luchtkrachten

2.1.1 Bewegingsvergelijking

Dit model is in principe het klassieke kogelbaanmodel, waarbij de luchtkrachten op het blad worden verwaarloosd. De relevante parameters voor dit ballistisch model zijn:

- H : hoogte rotoras [m]
- Ω : toerental van de rotor [rad/s]
- R_z : afstand tot het rotor centrum van het zwaartepunt van wegvliegende deel [m]
- α : azimuthhoek [rad]
- g : valversnelling ($= 9,81 \text{ m/s}^2$).

Het gehanteerde assenstelsel en de draairichting wordt aangegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Overzicht parameters in ballistisch model

De bewegingsvergelijking voor het zwaartepunt is nu

$$\ddot{x}(t) = 0, \quad \ddot{y}(t) = 0, \quad \ddot{z}(t) = -g \quad (2.1.1)$$

Met de beginvoorwaarden

$$\begin{aligned} x(0) &= R_z \cos \alpha, & y(0) &= 0, & z(0) &= H - R_z \sin \alpha, \\ \dot{x}(0) &= -\Omega R_z \sin \alpha, & \dot{y}(0) &= 0, & \dot{z}(0) &= -\Omega R_z \cos \alpha, \end{aligned} \quad (2.1.2)$$

is de positie van een wegvliegende deel op tijdstip t is gegeven door:

$$\begin{aligned} x(t) &= R_z \cos \alpha - \Omega R_z t \sin \alpha \\ y(t) &= 0 \\ z(t) &= H - R_z \sin \alpha - \Omega R_z t \cos \alpha - \frac{gt^2}{2} \end{aligned} \quad (2.1.3)$$

Het tijdstip waarop het zwaartepunt de grond raakt volgt uit $z(t_i) = 0$ en wordt gegeven door

$$t_i = -\frac{\Omega R_z \cos \alpha}{g} + \sqrt{\frac{2}{g} \left(H - R_z \sin \alpha + \frac{\Omega^2 R_z^2 \cos^2 \alpha}{2g} \right)} \quad (2.1.4)$$

Substitutie van (2.1.4) in (2.1.3) geeft voor een bepaald toerental de afgelegde afstand, r , als functie van de azimuthoek ten tijde van bladbreuk, ofwel

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = x = h(\alpha; \Omega) \quad (2.1.5)$$

2.1.2 Verdelingsfuncties

De kansverdelingsfunctie f_{ZWP} geeft de kans per m^2 dat het zwaartepunt op een bepaalde plek terechtkomt gegeven bladbreuk. Bij het onderhavige model worden de luchtkrachten niet meegenomen, zodat alleen het toerental en de azimuthoek als stochastische grootheden overblijven. Tevens geldt dat f_{ZWP} alleen afhankelijk is van de afstand tot de windturbine. De kans dat het zwaartepunt van het blad in een cirkelschijf met breedte dr op een afstand r van de turbine terechtkomt, is gegeven door

$$\begin{aligned} f_R(r; \Omega) dr &= P\{r < R < r + dr\} \\ &= P\{h^{-1}(r; \Omega) < \alpha < h^{-1}(r + dr; \Omega)\} \\ &= F_A(h^{-1}(r + dr; \Omega)) - F_A(h^{-1}(r; \Omega)) \end{aligned} \quad (2.1.6)$$

waarbij F_A de cumulatieve verdelingsfunctie is van de azimuthoek waarbij bladbreuk optreedt. Met de aanname dat de azimuthoek waarbij het blad afbreekt uniform is verdeeld, ofwel

$$f_A(r) = \frac{d}{d\alpha} F_A(\alpha) = \frac{1}{2\pi}, \quad 0 \leq \alpha < 2\pi \quad (2.1.7)$$

geldt nu

$$f_R(r; \Omega) = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dr} h^{-1}(r; \Omega) \quad (2.1.8)$$

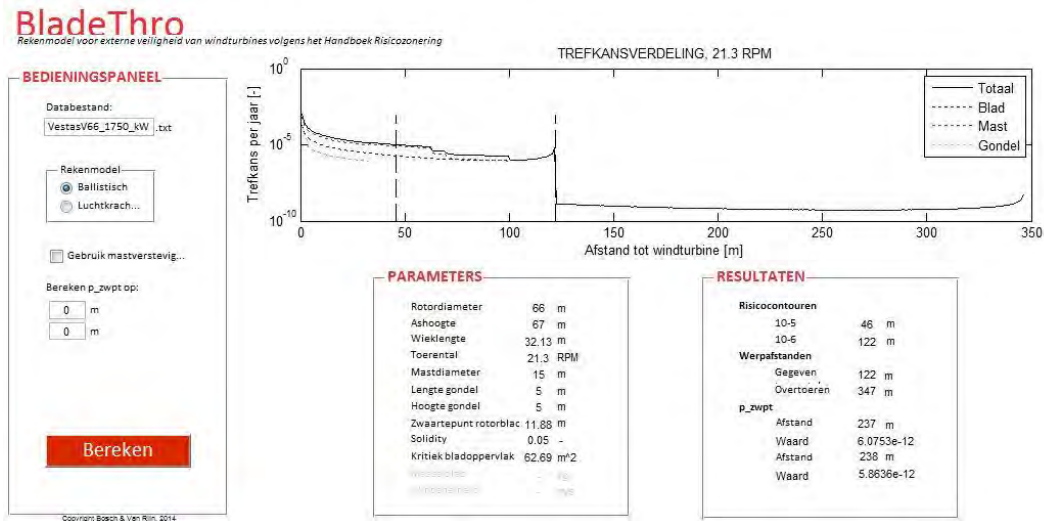
Opm : Om de gevolgde aanpak te demonstreren is bij bovenstaande afleiding verondersteld dat de functie $h(\alpha; \Omega)$ inverteerbaar is. In het geval van bladbreuk zal dit niet zo zijn, want in het algemeen zal het zwaartepunt vanuit twee verschillende azimuthoeken op een bepaalde plek terecht kunnen komen, via de hoge baan of via de lage baan. Bij de numerieke uitwerking zal hiermee rekening moeten worden gehouden.

De kansverdelingsfunctie van de positie waar het zwaartepunt van het blad zal inslaan is nu

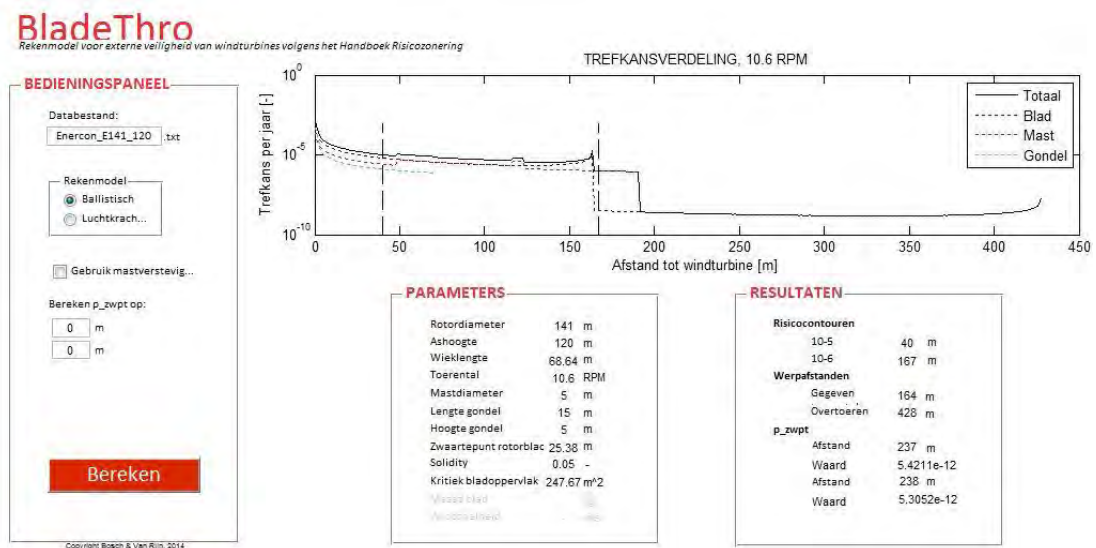
$$f_{ZWP}(x, y; \Omega) = f_{ZWP}(r; \Omega) = \frac{1}{2\pi} f_R(r; \Omega) \quad (2.1.9)$$

Bijlage D Werpafstanden turbinetype

Vestas V66 67 meter ashoogte en 66 meter rotordiameter



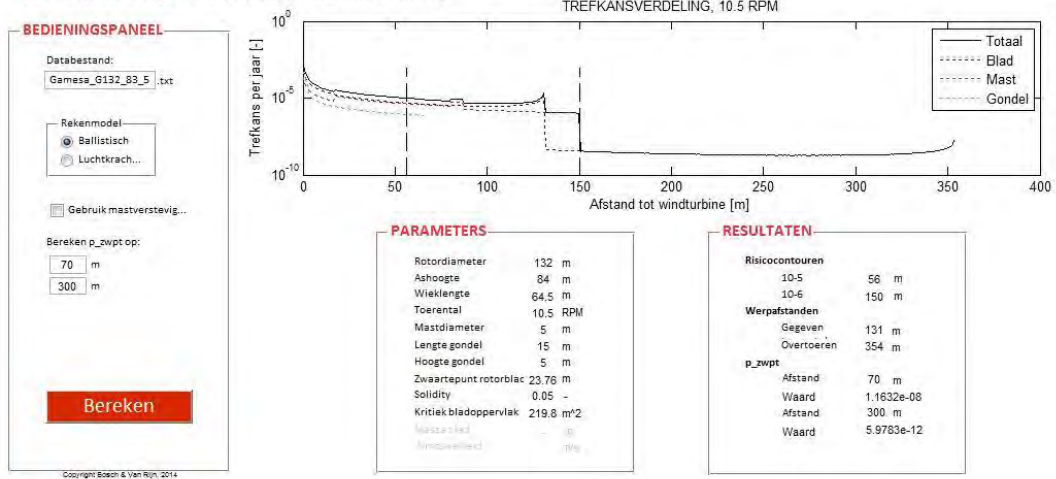
Enercon E-141 120 meter ashoogte en 141 meter rotordiameter



Gamesa G-132 84 meter ashoogte en 132 meter rotordiameter

BladeThro

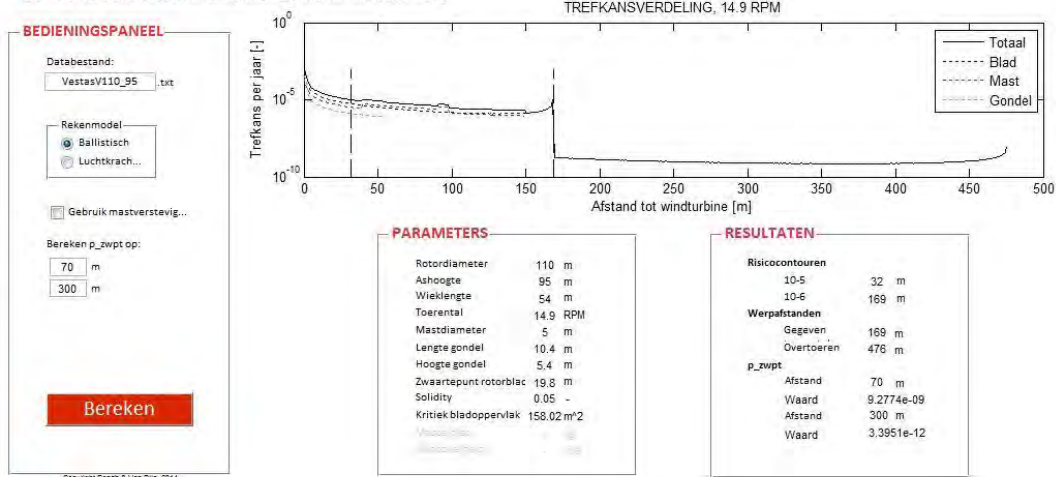
Rekenmodel voor externe veiligheid van windturbines volgens het Handboek Risicozonering



Vestas V110 95 meter ashoogte en 110 meter rotordiameter

BladeThro

Rekenmodel voor externe veiligheid van windturbines volgens het Handboek Risicozonering



Senvion m122 92 meter ashoogte en 122 meter rotordiameter

BladeThro

Rekenmodel voor externe veiligheid van windturbines volgens het Handboek Risicozonering

BEDIENINGSPANEEL

Databestand:

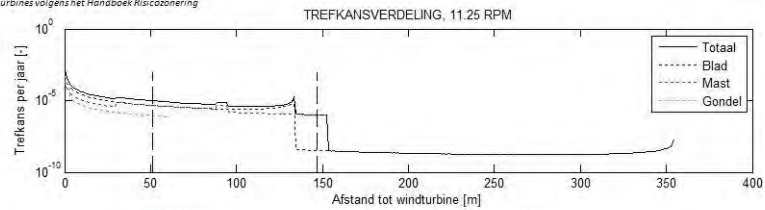
Rekenmodel:
 Ballistisch
 Luchtkrach...

Gebruik mastverstevig...

Bereken p_{zwpt} op:
 m
 m

Bereken

Copyright Bosh & Van Rijn, 2014



PARAMETERS

Rotordiameter	122 m
Ashoogte	92 m
Wielengte	59.8 m
Toerental	11.25 RPM
Mastdiameter	5 m
Lengte gondel	15 m
Hoogte gondel	5 m
Zwaartepunt rotorblad	22 m
Solidity	0.05 -
Kritiek bladoppervlak	190.6 m ²

RESULTATEN

Risicocontouren	
10-5	51 m
10-6	147 m
Werpafstanden	
Gegeven	134 m
Overtoeren	355 m
p_{zwpt}	
Afstand	63 m
Waard	1.2699e-08
Afstand	180 m
Waard	8.374e-12

Vestas V126 92 meter ashoogte en 122 meter rotordiameter

BladeThro

Rekenmodel voor externe veiligheid van windturbines volgens het Handboek Risicozonering

BEDIENINGSPANEEL

Databestand:

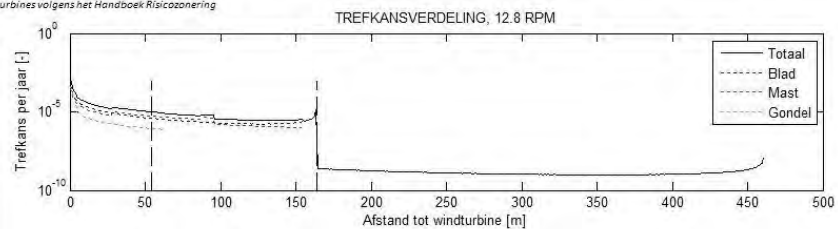
Rekenmodel:
 Ballistisch
 Luchtkrach...

Gebruik mastverstevig...

Bereken p_{zwpt} op:
 m
 m

Bereken

Copyright Bosh & Van Rijn, 2014



PARAMETERS

Rotordiameter	126 m
Ashoogte	92 m
Wielengte	61.66 m
Toerental	12.8 RPM
Mastdiameter	7.5 m
Lengte gondel	12.8 m
Hoogte gondel	6.8 m
Zwaartepunt rotorblad	22.66 m
Solidity	0.05 -
Kritiek bladoppervlak	202.05 m ²

RESULTATEN

Risicocontouren	
10-5	54 m
10-6	164 m
Werpafstanden	
Gegeven	164 m
Overtoeren	461 m
p_{zwpt}	
Afstand	63 m
Waard	1.0854e-08
Afstand	180 m
Waard	6.7731e-12

Bijlage E (beperkt) Kwetsbare objecten

Kwetsbare objecten

- a) woningen, woonschepen en woonwagens, niet zijnde woningen, woonschepen of woonwagens als bedoeld in onderdeel b, onder a;
- b) gebouwen bestemd voor het verblijf, al dan niet gedurende een gedeelte van de dag, van minderjarigen, ouderen, zieken of gehandicapten, zoals:
 - 1. ziekenhuizen, bejaardenhuizen en verpleeghuizen;
 - 2. scholen, of
 - 3. gebouwen of gedeelten daarvan, bestemd voor dagopvang van minderjarigen;
- c) gebouwen waarin doorgaans grote aantallen personen gedurende een groot gedeelte van de dag aanwezig zijn, waartoe in ieder geval behoren:
 - 1. kantoorgebouwen en hotels met een bruto vloeroppervlak van meer dan 1500 m² per object, of
 - 2. complexen waarin meer dan 5 winkels zijn gevestigd en waarvan het gezamenlijk bruto vloeroppervlak meer dan 1000 m² bedraagt en winkels met een totaal bruto vloeroppervlak van meer dan 2000 m² per winkel, voorzover in die complexen of in die winkels een supermarkt, hypermarkt of warenhuis is gevestigd, en
- d) kampeer- en andere recreatieterreinen bestemd voor het verblijf van meer dan 50 personen gedurende meerdere aaneengesloten dagen;

Beperkt kwetsbare objecten

- a) 1°.verspreid liggende woningen, woonschepen en woonwagens van derden met een dichtheid van maximaal twee woningen, woonschepen of woonwagens per hectare, en 2°.dienst- en bedrijfswoningen van derden;
- b) kantoorgebouwen, voorzover zij niet onder kwetsbare objecten, onder c, vallen;
- c) hotels en restaurants, voorzover zij niet kwetsbare objecten, onder c, vallen;
- d) winkels, voorzover zij niet onder kwetsbare objecten, onder c, vallen;
- e) sporthallen, sportterreinen, zwembaden en speeltuinen;
- f) kampeerterrains en andere terreinen bestemd voor recreatieve doeleinden, voorzover zij niet onder kwetsbare objecten, onder d, vallen;
- g) bedrijfsgebouwen, voorzover zij niet onder kwetsbare objecten, onder c, vallen;
- h) objecten die met de onder a tot en met e en g genoemde gelijkgesteld kunnen worden uit hoofde van de gemiddelde tijd per dag gedurende welke personen daar verblijven, het aantal personen dat daarin doorgaans aanwezig is en de mogelijkheden voor zelfredzaamheid bij een ongeval, voorzover die objecten geen kwetsbare objecten zijn, en;
- i) objecten met een hoge infrastructurele waarde, zoals een telefoon- of elektriciteitscentrale of een gebouw met vluchtleiding apparatuur, voorzover die objecten wegens de aard van de gevaarlijke stoffen die bij een ongeval kunnen vrijkomen, bescherming verdienen tegen de gevolgen van dat ongeval;

Bijlage F Onderzoek Waterkering MER



RISICOANALYSE:

Windturbines en primaire waterkering

Opschaling Windpark Piet de Wit

Alternatieven



Datum: 19-01-2018
Auteur: V.J. Winkel
Ventolines B.V.

Document Ref.: 20180119 rapport risicoanalyse WP Piet de Wit toets waterkering Alternatieven
rev00
Versie: 00
Documentstatus: Definitief

Inhoud

1. Samenvatting	3
2. Inleiding.....	4
2.1 Leeswijzer	4
3. Projectomschrijving Windpark Piet de Wit.....	5
4. De risicoanalyse opzet.....	12
5. Uitgangspunten risicoanalyse	14
5.1 Toetsingscriterium	14
5.2 Windturbine	16
5.3 Faalscenario's windturbine	17
5.4 Trefafstand faalscenario's windturbine.....	19
5.5 Faalfrequentienorm	21
5.6 Kritische strook en trefsector	23
5.7 Neerkomen rotorblad.....	26
5.8 Restprofiel en responstijd	27
6. Faalkansberekening per faalkansscenario.....	29
7. Risicoanalyse	30
8. Conclusies.....	36



Bron: Google Earth

© Ventolines

Behoudens hetgeen met de opdrachtgever is overeengekomen, mag niets uit deze rapportage worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Ventolines.

1. Samenvatting

Aan de hand van de uitgevoerde risicoanalyse is aangetoond dat voor de primaire waterkering, gelegen nabij de nieuw geplande windturbinelocaties¹ voor Windpark Piet de Wit, er geen sprake is van een noemenswaardige risicoverhoging als gevolg van de plaatsing van zeven of acht of negen windturbines en daarmee de waterveiligheid gewaarborgd blijft.

Er wordt ruim voldaan aan het in de risicoanalyse vastgestelde toetsingscriterium; *“het additioneel risico is kleiner dan 10% van de autonome faalfrequentie van de primaire waterkering”*, indien er sprake is van een restprofiel voor alle drie de faalscenario's en/of bij het hanteren van de gekozen project specifieke faalfrequenties welke als meer realistischer voor hedendaagse windturbines wordt beschouwd.

De nieuwe situatie verlaagd het risico aanzienlijk. Cumulatief beoordeeld is er op basis van de huidige situatie, binnen het van toepassing zijnde dijksegment, voldoende ruimte voor het vervangen van de huidige twaalf locaties voor zeven of acht of negen nieuwe locaties, met de daarbij behorende windturbintype.

De analyse is uitgevoerd volgens de in Nederland gangbare methode voor het uitvoeren van risicoanalyses voor windturbines, één en ander conform het Handboek Risicozonering Windturbines [1].

¹ In het MER voor de opschaling van Windpark Piet de Wit zijn een drietal alternatieven onderzocht, bestaande uit een layout met 7 of 8 of 9 windturbines, elk met hun eigen windturbintype. De risicoanalyse is uitgevoerd op basis van de windturbinelocaties en –type volgens de in het MER gehanteerde alternatieven.

2. Inleiding

In opdracht van de initiatiefnemer - Windpark De Plaet BV - van het project opschaling Windpark Piet de Wit, heeft Ventolines BV een risicoanalyse “windturbines en primaire waterkering” uitgevoerd voor het plaatsen van 7 of 8 of 9 nieuwe windturbines, conform de in het MER gehanteerde alternatieven. De locaties zijn gesitueerd nabij de Buitendijk, tussen Sluishaven en Ooltgensplaat, welke onderdeel uitmaakt van het Dijkringgebied 25: Goeree-Overflakkee.

Voor de opschaling van het bestaande Windpark Piet de Wit is in navolging van de Waterwet een Watervergunning benodigd, omdat de nieuw geplande windturbinelocaties in de aangrenzende buitenbeschermingszone van een waterstaatwerk gepland zijn. Het bevoegd gezag in dezen is Waterschap Hollandse Delta.

Aan de hand van de uitgevoerde risicoanalyse is beoordeeld welk risico het bestaande en de nieuw geplande windturbines vormen voor de waterkerende functie van de aanwezige primaire waterkering, indien er sprake is van het falen van een windturbine of windturbineonderdeel.

Door middel van een kwantitatieve analyse is beoordeeld of de additionele faalfrequentie ten gevolge van het plaatsen van de windturbines kleiner is dan het voor de opschaling van Windpark Piet de Wit vastgestelde toetsingscriterium.

2.1 Leeswijzer

In hoofdstuk 3 is een korte omschrijving gegeven van de relevante kenmerken en uitgangspunten. Vervolgens is in hoofdstuk 4 de opzet van de risicoanalyse beschreven.

De voor de analyse gehanteerde uitgangspunten en aannames zijn beschreven in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 zijn de gehanteerde berekeningswijzen per faalscenario beschreven. Hoofdstuk 7 bevat de uiteindelijke uitwerking van de uitgevoerde analyse. De eindconclusie van de risicoanalyse is in hoofdstuk 8 beschreven.

3. Projectomschrijving Windpark Piet de Wit

Windpark De Plaet BV is voornemens om het bestaande Windpark Piet de Wit, bestaande uit een twaalfstal windturbines van het type Vestas V66 met een ashoogte van 67 meter op te schalen met een nieuw type windturbine. In de MER zijn drie alternatieven onderzocht, bestaande uit 7 of 8 of 9 windturbines. In de MER en zo ook in deze risicoanalyse zijn de navolgende windturbintype per alternatief beschouwd:

- Alternatief 7 windturbines; ENERCON E-141 4.XMW rotordiameter 141 meter en ashoogte 120 meter
- Alternatief 8 windturbines; Gamesa G132 3.XMW rotordiameter 132 en ashoogte 84 meter
- Alternatief 9 windturbines; Vestas V110 2.XMW rotordiameter 110 en ashoogte 95 meter

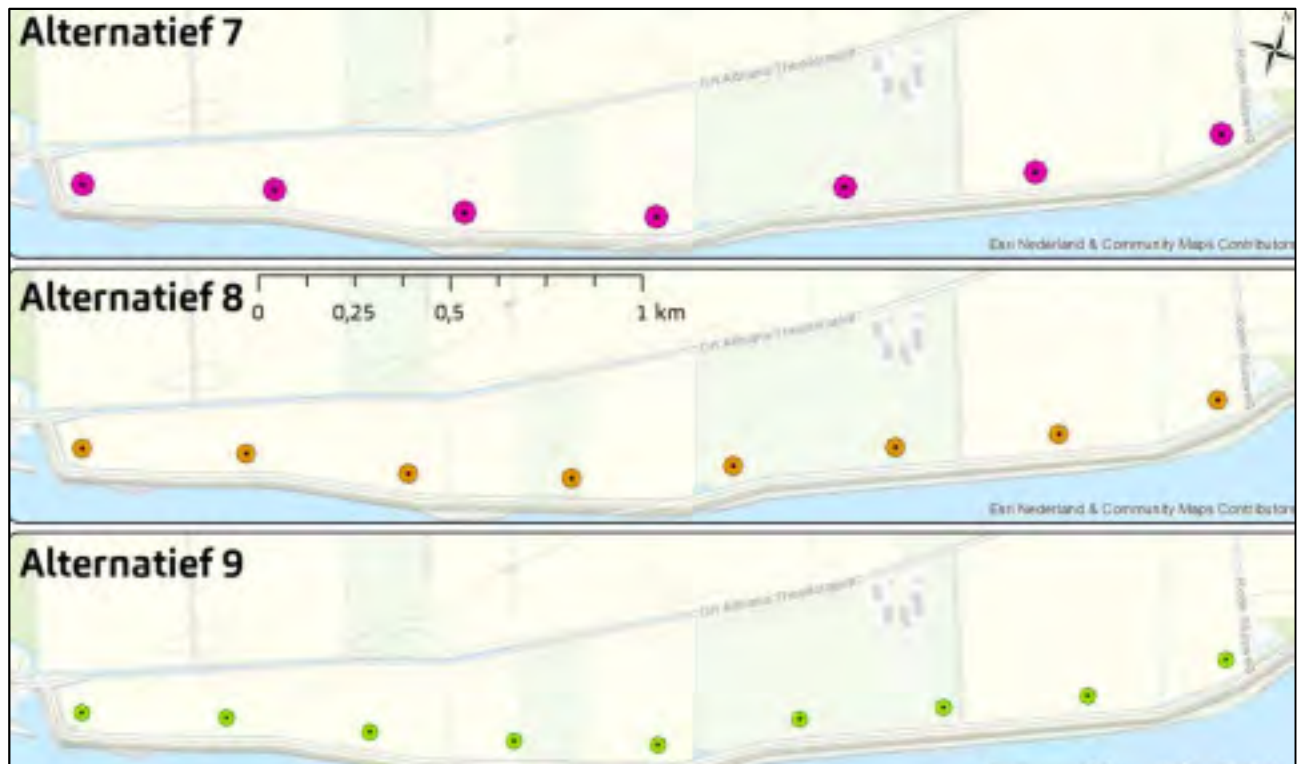
Zowel de bestaande als de nieuw geplande windturbinelocaties zijn als lijnopstelling langs de aanwezige waterkering, welke onderdeel is van het Dijkkringgebied 25: Goeree-Overflakkee, gesitueerd. De middelpunten van de nieuw geplande windturbines bevinden zich op een afstand 40 à 44 meter ten opzichte van de binnendijkse grens van de kernzone.

In de navolgende afbeeldingen is de ligging van de bestaande en nieuw geplande windturbine-locaties weergegeven.





Afbeelding 1. Situering bestaande windpark Piet de Wit (bron: Google Earth)



Afbeelding 2. Situering locaties alternatieven 7, 8 en 9 opschaling windpark Piet de Wit (bron: MER)

Primaire waterkeringen

De nabijgelegen waterkering maakt onderdeel uit van de dijkkring 25: Goeree-Overflakkee. Aan de westzijde grenst dijkkring 25 aan de Noordzee, aan de noordzijde grenst de dijkkring aan de Harlingvliet en aan de oost- en zuidzijde grenst de dijkkring aan het Volkerak-Zoommeer en het Grevelingenmeer. De bestaande windturbines en de nieuw gepland zijn gesitueerd in het deel, waarbij de waterkering grenst aan het Volkerak-Zoommeer. Dit deel betreft een categorie c-kering [2] [3] met een veiligheidsnorm van 1:300 jaar [4]. Deze norm is vastgelegd in de Waterwet en houdt in dat de kering een hydraulische belasting met een kans van voorkomen van eens in de 300 jaar moet kunnen weerstaan. Op te merken is, is dat het een voormalige zeedijk betreft, welke voor zwaardere omstandigheden is ontworpen.

De kering nabij de projectlocatie betreft een type kering welke grenst aan een oppervlaktewater (Volkerak-Zoommeer), welke wordt afgesloten door een categorie b primaire waterkering. De kering is niet bestemd voor de directe kering van buitenwater. De voorliggende categorie b waterkering is de Grevelingendam (verbindende waterkering nummer 16) en de Philipsdam (verbindende waterkering nummer 17).

Het Volkerak-Zoommeer heeft een streefpeil onder normale omstandigheden welke varieert tussen de NAP -0,10 meter en NAP +0,15 meter. Vanaf 1 januari 2016 is er een waterakkoord [5] voor het Volkerak-Zoommeer afgesloten, voor het tijdelijk bergen van rivierwater bij extreme situaties. De voor deze nieuwe situatie gestelde hoogwaterstand is NAP +2.3 m NAP. De kans van voorkomen is gesteld op 1/1430 per jaar. [6]

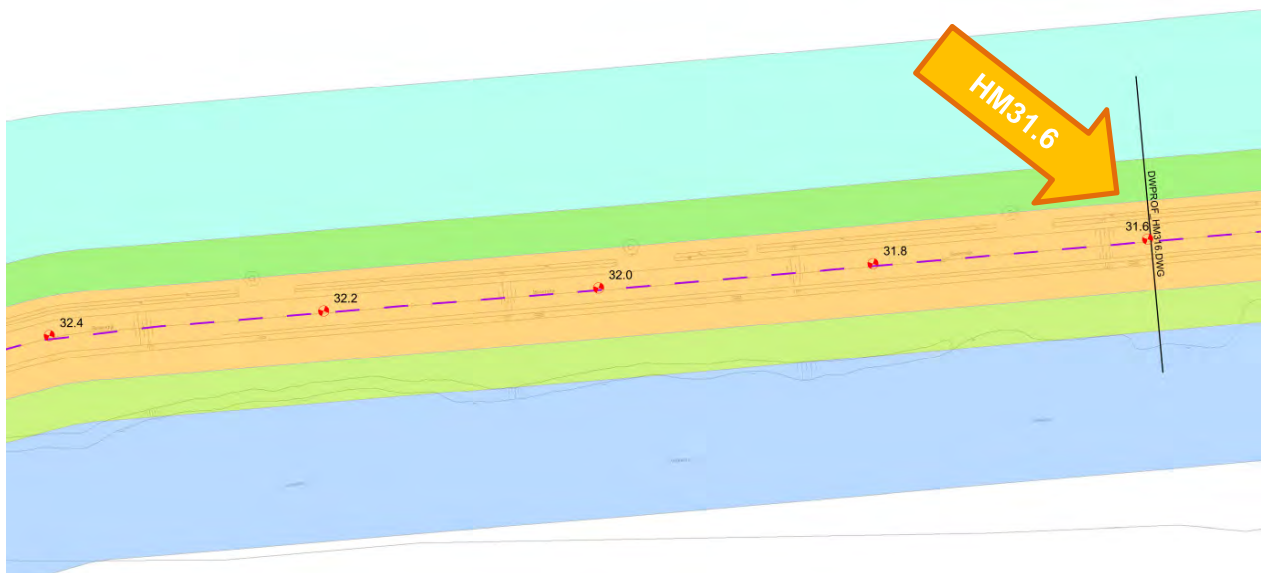
In afbeelding 3, 4, 5, 6 en 7 zijn de dwarsprofielen ter plaatsen van HM31.6 en HM33.6 weergegeven [7] [8].

De kering ter plaatse van dwarsprofiel HM31.6 wordt gekenmerkt door een voorland van circa 20 a 25 meter en een kruinhoogte van circa NAP + 5,75 meter (dijktafelhoogte NAP + 3,75 meter). Buitenwaarts is de kering voorzien van beton en zowel buitenwaarts als binnenwaarts bekleed met klei. Ter hoogte van de waterlijn is er basalt en stortsteen aangebracht (niveau circa NAP +1,51 meter).

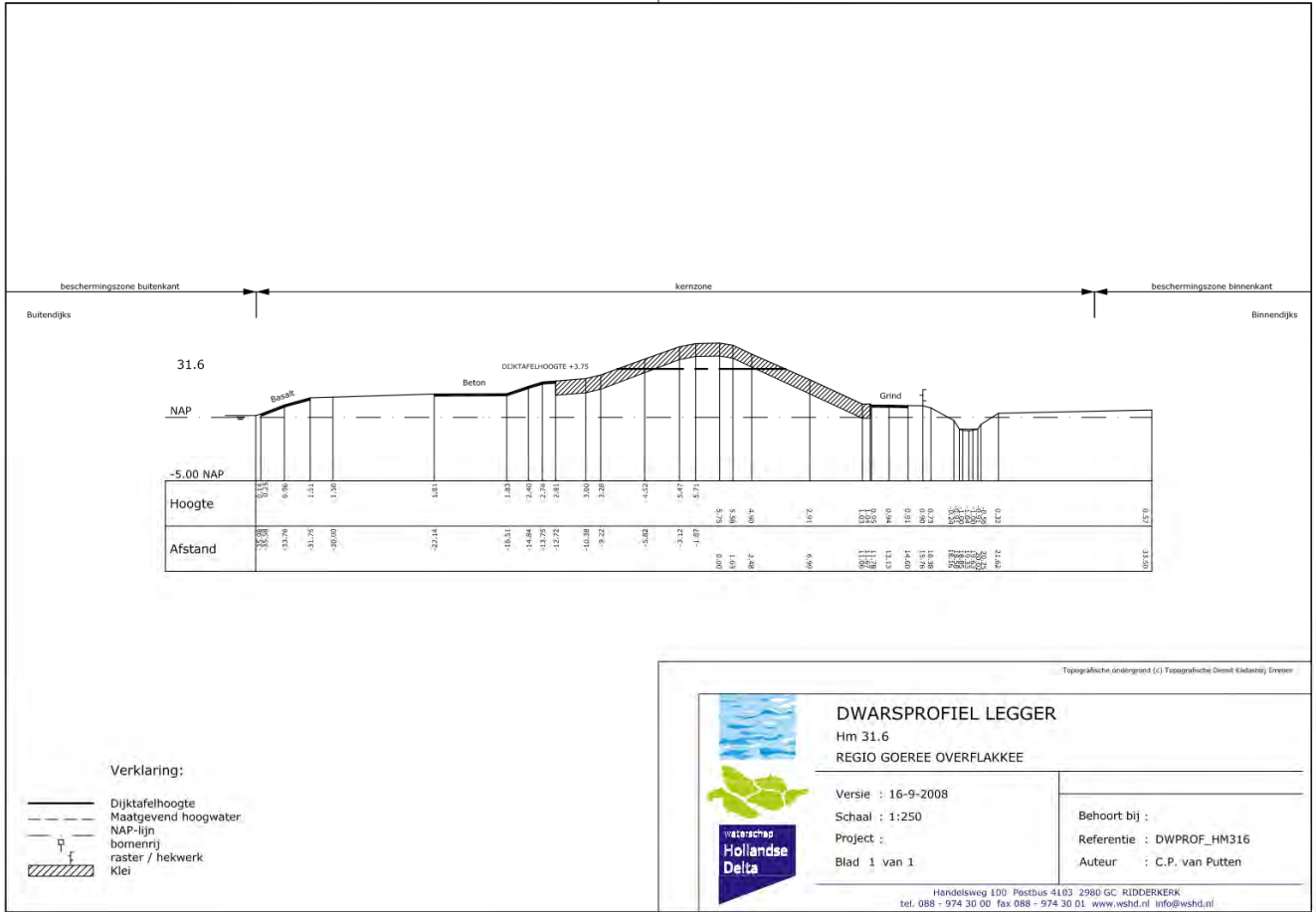
Ter plaatse van dwarsprofiel HM33.6 wordt de kering gekenmerkt door een buitenwaartse bekleding van klei, welke richting de waterlijn overgaat in een bekleding bestaande uit Koperslaktegels op gebroken grind en ter hoogte van de gemiddelde waterstand uit basalt en een steunberm van stortsteen. De kruinhoogte is circa NAP +5.86 meter (dijktafelhoogte NAP + 4,65 meter).



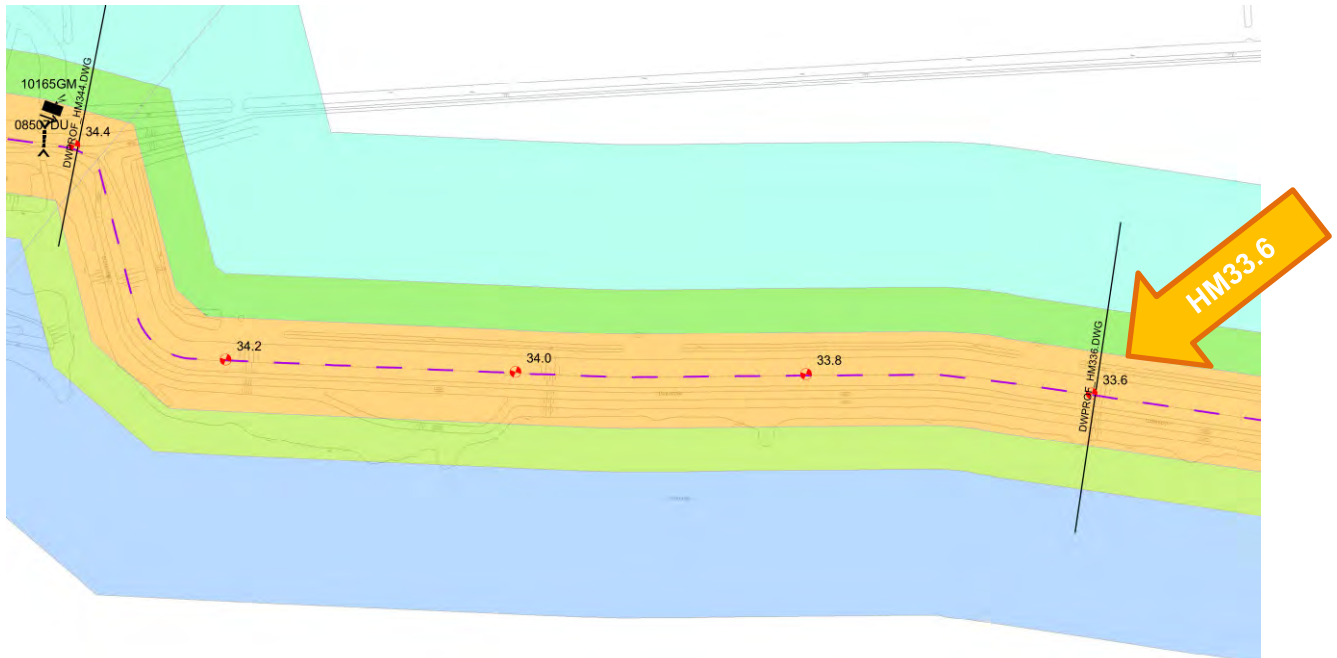
Afbeelding 3 positie Dwarsprofiel HM31.6 & 33.6



Afbeelding 4 positie Dwarsprofiel HM31.6



Afbeelding 5. Dwarsprofiel legger Hm 31.6



Afbeelding 6 positie Dwarsprofiel HM33.6

In onderstaande tabel zijn de voor de risicoanalyse relevante kenmerken weergegeven.

	Kenmerk
Type kering	Voormalige Zeedijk, categorie c, achter een verbindende b-kering (ook wel behorende tot de categorie Meren)
Toetspeil	NAP + 0.9 meter (kruin ligt circa 4,85 - 4,96 meter boven het toetspeil) [3]
Veiligheidsnorm	1/300 jaar [4]
Waterstanden	Waterpeil Volkerak-Zoommeer normale omstandigheden: NAP -0,10m en +0,15 meter Waterberging Volkerak-Zoommeer: maatgevende hoogwaterstand NAP +2,3 meter [5]
Bekleding	Buitenwaarts: ter plaatse waterlijn basalt en stortsteen ter plaatse teen beton of Koperslaktegels op gebroekengrind Binnenwaarts: HM 31.6 klei, circa 1,0 – 1,25 meter dik
Opbouw dijklichaam	Zand
Breedte kernzone	Circa 65 meter
Niveaus	Dijktafelhoogte profiel HM31.6: NAP +3,75 meter Dijktafelhoogte profiel HM31.6: NAP +4,65 meter Kruinhoogte profiel HM31.6: circa NAP +5,75 meter Kruinhoogte profiel HM33.6: circa NAP +5,86 meter Teen (overgang klei – beton) buitenwaarts profiel HM31.6: circa NAP +2,81 meter Teen (overgang klei – Koperslaktegels) buitenwaarts profiel HM33.6: circa NAP +3,38 meter Basalt profiel HM31.6: circa NAP +1,51 meter Basalt profiel HM33.6: circa NAP +1,69 meter
Afstanden t.o.v. windturbine-middelpunten	Middelpunt WT – grens kernzone binnenwaarts: WT1 - 9 circa 40 - 44 meter Middelpunt WT – insteek dijksloot: WT1 – 9 circa 47 - 49 meter Middelpunt WT – kruin: WT1 - 9 circa 70 – 74 meter Middelpunt WT – teen waterkering buitenwaarts: WT1 – 9 circa 81 - 83 meter Middelpunt WT – insteek basalt: WT1 – 9 circa 86 – 109 meter

Tabel 1. Relevante kenmerken

4. De risicoanalyse opzet

De opzet van de risicoanalyse is het kwantificeren van de additionele faalfrequentie als gevolg van de plaatsing van de windturbines en het effect op de autonome faalfrequentie van de primaire waterkering. De toetsing heeft dan ook plaatsgevonden op basis van faalfrequenties van de windturbines. Dit betekent dat de bijdrage aan de faalfrequentie, ten gevolge van de plaatsing van de windturbines, een fractie dient te zijn van de autonome faalfrequentie van de waterkering. Hier is sprake van als de faalkansbijdrage kleiner is dan het voor het project vastgestelde toetsingscriterium.

Als eerste is per windturbinelocatie, aan de hand van de maximale trefafstand (ook wel het maximale valbereik genoemd) van een falende windturbine of windturbineonderdeel, beoordeeld welke potentiële faalscenario's van toepassing zijn.

Vervolgens is voor iedere individuele windturbine en voor elk van toepassing zijnde faalscenario de faalfrequentie bepaald.

Tenslotte is per faalscenario de som van alle individuele faalfrequenties bepaald.

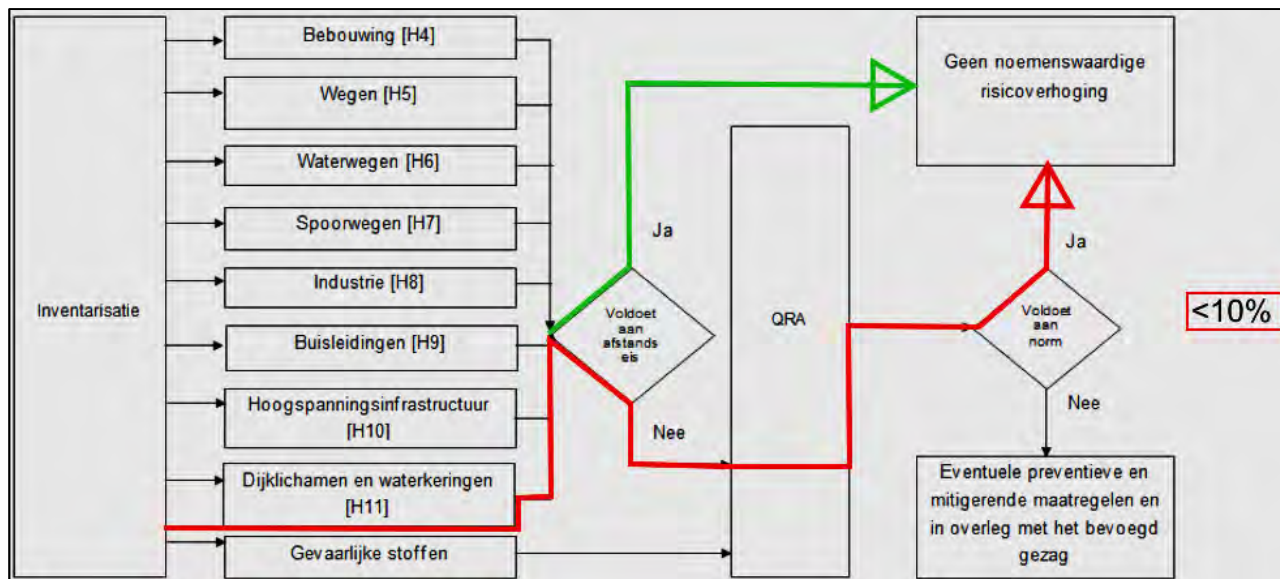
Wanneer de som van alle individuele faalfrequenties kleiner is dan het toetsingscriterium, is aangetoond dat de faalkansbijdrage door de geplande windturbines niet leidt tot een noemenswaardige risicoverhoging.

De uitgevoerde risicoanalyse is in lijn met de in Nederland gangbare methode voor risicoanalyses van windturbines, zoals deze is beschreven in het Handboek Risicozonering Windturbines 3^e geactualiseerde versie mei 2013 en herziende versie 3.1 september 2014, hierna te noemen 'het handboek'. Het handboek biedt een praktijkrichtlijn voor windturbines met een vermogen vanaf 1 MW om een kwantitatieve risicoanalyse op een eenduidige en consistente wijze te kunnen uitvoeren.

De totstandkoming van het handboek is in samenwerking gegaan met een klankbordgroep met daarin overheden en vertegenwoordigers van de belanghebbende partijen. Dit maakt het handboek tot een algemeen geaccepteerde methode voor het berekenen van risico's van windturbines. Een groot aantal Nederlandse windenergie-projecten zijn reeds vergund, waarbij een kwantitatieve risicoanalyse op basis van het handboek ten grondslag ligt, voorbeelden hiervan zijn: windturbines te Eemshaven, windpark Noordoostpolder, windpark Kreekraksluizen, Windpark Delfzijl Noord, windpark Haatlandhaven, windpark Krammer en windpark Battenoot.

Er is in de risicoanalyse gebruik gemaakt van de in het handboek weergegeven generieke waarden voor de faalfrequenties en de trefafstanden (gehele windturbine en gondelhuis) en werpafstanden (rotorblad). Naast de in het handboek weergegeven generieke faalfrequenties (per windturbine per jaar) zijn ook project specifieke faalfrequenties toegepast.

In afbeelding 8 is de gevolgde opzet conform het handboek schematisch weergegeven.



Afbeelding 8. Schematische weergave gebruik van het handboek (bron: Handboek Risicozoning Windturbines herziende versie 3.1 september 2014)

5. Uitgangspunten risicoanalyse

5.1 Toetsingscriterium

Als toetsingscriterium wordt gehanteerd:

De additionele faalfrequentie van de geplande windturbines dient kleiner te zijn dan 10% van de autonome faalfrequentie van de primaire waterkering.

In deze rapportage wordt voor de “additionele faalfrequentie” de volgende definitie gehanteerd:

De faalkansbijdrage van alle geplande windturbines t.a.v. de autonome faalfrequentie van de primaire waterkering, welke tot stand komt door de som van alle individuele faalfrequenties per windturbine en per faalscenario.

In deze rapportage wordt voor de “autonome faalfrequentie” de volgende definitie gehanteerd:

Het verwachte aantal keren dat de primaire waterkering tekort schiet in het keren van een bepaalde waterstand wat kan leiden tot “overloop” of te grote “golfoverslag”, bij de situatie zonder windturbines (de wettelijke veiligheidsnorm van de waterkering).

De ratio achter het 10% criterium is tweeledig. Enerzijds ontbreekt vanuit de waterveiligheid een toetsregel of criterium om dit soort activiteiten te beoordelen. Om een beeld van de impact te krijgen wordt over het algemeen met 0,5 - 1% of 10% van de veiligheidsnorm² gewerkt. De keuze voor een toetsingscriterium wordt gemaakt op basis van expert judgement.

Het dijklichaam nabij de windturbinelocaties betreft een voormalige zeedijk, welke ten opzichte van de huidige situatie voor zwaardere omstandigheden is ontworpen. Het huidige toetspeil is bijvoorbeeld 4,9 meter lager dan de lokale kruinhoogte. In het project Veiligheid Nederland in Kaart (VNK) zijn de overstromingsrisico's voor de dijkkring 25 berekend [2] [9]. Daarbij zijn de categorie c keringen van dijkkring 25 in de beschouwing van de overstromingskans niet meegenomen. In de VNK rapportage voor dijkkring 25 zijn hiervoor de volgende aannames gehanteerd:

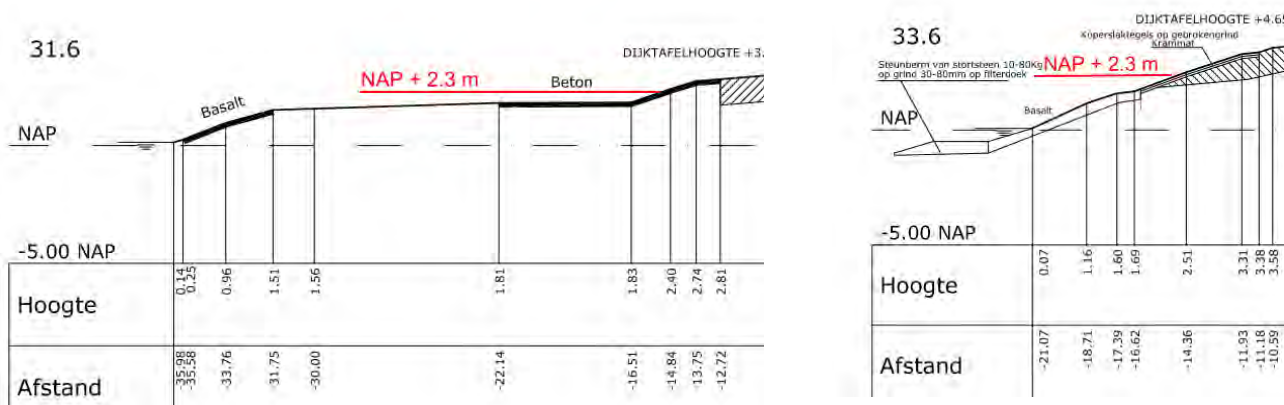
- Er zijn primaire waterkeringen van categorie b waarbij bresvorming niet waarschijnlijk is en waar een grote berging aanwezig is. Hierdoor heeft een doorbraak geen merkbare invloed op de hydraulische randvoorwaarden van het achterliggende water. Het Volkerak-Zoommeer achter de Philipsdam en Grevelingendam is een voorbeeld hiervan. Aangenomen wordt dat vanwege het gedrag van deze verbindende waterkeringen deze niet in de berekening van de overstromingskans van de achterliggende dijkkringgebieden hoeven te worden betrokken.
- Primaire waterkeringen van categorie c, die bespoeld zijn, d.w.z. waar water tegenaan staat, zijn onder normale omstandigheden veilig en hebben in die situatie een verwaarloosbare bijdrage aan de faalkans. Dit is het geval voor alle categorie c waterkeringen van dijkkring 25.

² De wettelijke veiligheidsnorm van een waterkering is niet gelijk aan de faalkans van een primaire waterkering. De wettelijke veiligheidsnorm wordt aangegeven als de norm-overschrijdingskans per jaar van de hoogste hoogwaterstand. De norm-overschrijdingskans heeft enkel betrekking op de kans op overstroming door het overschrijden van een bepaalde waterstand die kan leiden tot “overloop” of te “grote golfoverslag”. Echter het falen (bezwijken) van een waterkering wordt uitgedrukt in de overstromingskans ofwel de kans op overstroming van de waterkering. Door in de onderliggende risicoanalyse de wettelijke veiligheidsnorm gelijk te stellen aan de faalkans van de primaire waterkering is er sprake van een conservatieve aanname. De werkelijke faalfrequentie van de aanwezige primaire waterkering zal vele malen kleiner zijn.

- Primaire waterkeringen van categorie c hebben een verwaarloosbare faalkans als het gaat om oude zeedijken. Dit geldt ook voor de oude kunstwerken in deze zeedijken. Verondersteld wordt dat de kans, dat de verbindende waterkering faalt en de oude zeedijken + kunstwerken falen, niet bijdraagt aan de overstromingskans van het dijkkringgebied. De dijken achter de verbindende waterkering zijn per slot van rekening ontworpen in een tijd dat de betreffende kering er nog niet was. Ze zijn dus voor zwaardere omstandigheden ontworpen. Ook dit geldt voor alle categorie c waterkeringen in dijkkring 25.

Vanwege de lokale situatie; een c-kering (voormalige zeedijk) met lokaal een breed stuk buitenberm, een grote overhoogte en de van toepassing zijnde afstanden, wordt 10% van de huidige veiligheidsnorm op basis van expert judgement als voldoende beschouwd. Voor het deel waar de windturbines gepland zijn, is er sprake van een robuuste waterkering en beperkte hydraulische belastingen. Dit biedt de ruimte om een 10% criterium te handhaven, omdat de kans op overstroming en daarmee het falen van de waterkering voor het projectgebied zeer klein is. Het reserveren van een deel van de faalkansruimte ten behoeve van de windturbines is aanvaardbaar zonder dat de faalkans (kans op een overstroming) van de waterkering groter wordt dan de veiligheidsnorm.

Opgemerkt wordt dat naar aanleiding van het waterakkoord in 2016 het Volkerak-Zoommeer in extreme situatie als waterberging van het achterliggend rivierenland kan fungeren. Volgens de beschikbare gegevens [6] zal er sprake zijn van een maatgevende hoogwaterstand van NAP +2,3 meter. De kans van optreden is gesteld op 1/1430^e per jaar. Zoals in afbeelding 9 is weergegeven, wordt bij een dergelijke waterstand de kern van de dijkconstructie niet bereikt. Ondanks de kans op voorkomen van een hogere waterstand van NAP +2.3 meter is er nog steeds sprake van een robuuste waterkering en beperkte hydraulische belastingen.



Afbeelding 9. Maximale waterstand NAP + 2.3 meter

Anderzijds wordt het 10% criterium ook in het handboek gebruikt, onder andere voor gevaarlijke stoffen; “Als uitgangspunt wordt een risico toename tot 10% geaccepteerd. Dit is een additioneel risico dat over het algemeen door de markt toelaatbaar wordt geacht”. Dit heeft ook te maken met het feit dat men bij risicoanalyses te maken heeft met nauwkeurigheds-marges, waardoor er een bepaalde onzekerheidsruimte rond de (toets-)waarde bestaat. Een additionele faalfrequentie lager dan 10% van de autonome faalfrequentie van de primaire waterkering geeft aan dat het effect van de additionele faalfrequentie beperkt is.

Opgemerkt wordt dat het 10% criterium ook recent is toegepast bij soortgelijke windenergieprojecten, met een vergelijkbare situatie in relatie tot een nabijgelegen primaire waterkering, bijvoorbeeld voor het windpark Noordoostpolder [10], windpark Krammer [11] en windpark Battenoert [12].

De voor deze kering van toepassing zijnde wettelijke veiligheidsnorm is 1/300 jaar ($3,33 \cdot 10^{-3}$). Het 10% toetsingscriterium is: **Additionele faalfrequentie waterkering < $3,33 \cdot 10^{-3}$ per jaar**

5.2 Windturbine

In de risicoanalyse zijn de navolgende relevante hoofdkenmerken van de windturbine als uitgangspunten voor de onderzochte alternatieven aangehouden:

Bestaande windturbines:

- Leverancier : Vestas
- Type : V66
- Nominaal vermogensklasse : 1,75 MW
- Aantal windturbinelocaties : 12
- Ashoogte : circa 67 meter (t.o.v. bovenkant fundament)
- Rotordiameter : 66 meter
- Maximale tiphoogte : 100 meter (t.o.v. bovenkant fundament)
- IEC windklasse : II (aannee)

Windturbine alternatief 7

- Leverancier : Enercon
- Type : E141
- Nominaal vermogensklasse : 4.2 MW
- Aantal windturbinelocaties : 7
- Ashoogte : circa 120 meter (t.o.v. bovenkant fundament)
- Rotordiameter : 141 meter
- Maximale tiphoogte : 190,5meter (t.o.v. bovenkant fundament)
- IEC windklasse : II

Windturbine alternatief 8

- Leverancier : Siemens - Gamesa
- Type : G132
- Nominaal vermogensklasse : 3.3 MW
- Aantal windturbinelocaties : 8
- Ashoogte : circa 84 meter (t.o.v. bovenkant fundament)
- Rotordiameter : 132 meter
- Maximale tiphoogte : 150 meter (t.o.v. bovenkant fundament)
- IEC windklasse : II

Windturbine alternatief 9

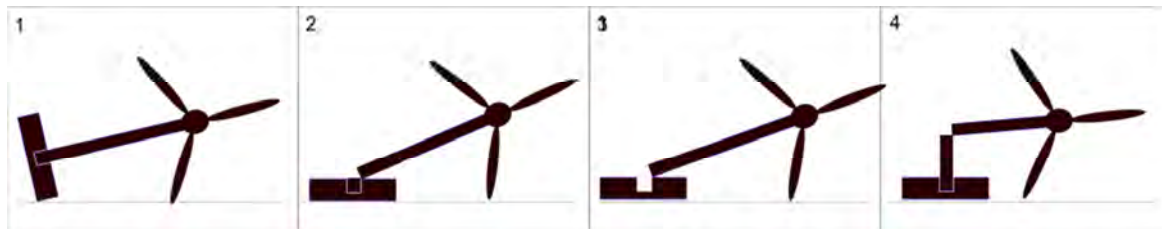
- Leverancier : Vestas
- Type : V101
- Nominaal vermogensklasse : 2.0 MW
- Aantal windturbinelocaties : 9
- Ashoogte : circa 95 meter (t.o.v. bovenkant fundament)
- Rotordiameter : 110 meter
- Maximale tiphoogte : 150 meter (t.o.v. bovenkant fundament)
- IEC windklasse : III

5.3 Faalscenario's windturbine

Conform het handboek worden de volgende faalscenario's voor de windturbine onderscheiden:

1. Het geheel omvallen van de windturbine

De onderstaande afbeeldingen symboliseren de faalmechanismen welke kunnen leiden tot het faalscenario; "het geheel omvallen van de windturbine".



1) het bezwijken van het gehele windturbinefundament.

Opgemerkt wordt dat in het verleden dergelijke incidenten zich enkel hebben voorgedaan bij windturbines welke gefundeerd waren "op staal". Er zijn geen vergelijkbare incidenten bekend met een windturbine gefundeerd op een paalfundatie, zoals bij windpark Piet de Wit zal worden toegepast.

2) het bezwijken van de mechanische verbinding: verankering fundament en toren.

Opgemerkt wordt dat een gedegen onderhouds- en inspectieprogramma het eventuele risico op het falen van een mechanische verbinding drastisch reduceert of uitsluit. Bij in het verleden opgetreden incidenten is gebleken dat het bezwijken van een mechanische verbinding vaak het gevolg is van slechte montage en/of onderhoud en/of een falend inspectieprogramma en dus voorkomen had kunnen worden indien een gedegen onderhouds- en inspectieprogramma wél was nageleefd.

3) het bezwijken van de verankering in het fundament.

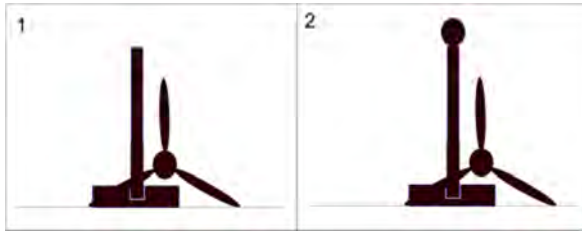
Opgemerkt wordt dat voor zover bekend de oorzaak van in het verleden opgetreden incidenten overwegend het gevolg waren van het niet naleven van de bouwvoorschriften en/of de aan de uitvoering van het fundament gestelde eisen. Overige bekende incidenten waren voornamelijk ten gevolge van het optreden van extreme omstandigheden waardoor ontwerpbelastingen werden overschreden. In Nederland zijn, zover bekend, geen windturbines omgevallen ten gevolge van het bezwijken van de verankering in het fundament.

4) het bezwijken van een torendeel.

Opgemerkt wordt dat bij het bezwijken van een torendeel er geen sprake is van het geheel omvallen van de windturbine, maar een deel van de windturbine. De trefafstand van het omgevallen deel is hiermee kleiner.

2. Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor

De navolgende afbeeldingen symboliseren de faalmechanismen welke kunnen leiden tot het faalscenario; "het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor".

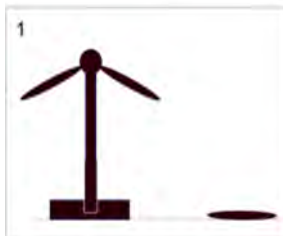


- 1) het bezwijken van de mechanische verbinding tussen de toren en het gondelhuis. Hierdoor valt het gondelhuis als geheel naar beneden, inclusief rotor.
- 2) het bezwijken van de mechanische verbinding tussen het gondelhuis en de rotor. Hierdoor valt de rotor naar beneden.

Opgemerkt wordt dat een gedegen onderhouds- en inspectieprogramma het eventuele risico op het falen van een mechanische verbinding drastisch reduceert of uitsluit. Bij in het verleden opgetreden incidenten is gebleken dat het bezwijken van een mechanische verbinding vaak het gevolg is van slechte montage en/of onderhoud en/of een falend inspectieprogramma en dus voorkomen had kunnen worden indien een gedegen onderhouds- en inspectieprogramma wél was nageleefd.

3. Het afbreken van een rotorblad

De onderstaande afbeelding symboliseert het faalmechanisme welke kan leiden tot het faalscenario; "het afbreken van een rotorblad".



- 1) het bezwijken van de mechanische verbinding tussen de naaf en het rotorblad. Hierdoor kan het rotorblad worden afgeworpen. Of een rotorblad wordt weggeworpen en welke afstand het aflegt is afhankelijk van diverse omstandigheden. Breekt bijvoorbeeld het rotorblad af in een stilstand situatie, of bij nominaal toerental of bij overtoeren. In dit laatste geval is de kans groot dat het blad wordt weggeslingerd en kan het de grootste afstand overbruggen. In het handboek wordt daarom onderscheid gemaakt tussen werpafstanden in het geval van nominaal toerental en bij overtoeren.

4. Het naar beneden vallen van kleine onderdelen of stukken ijs

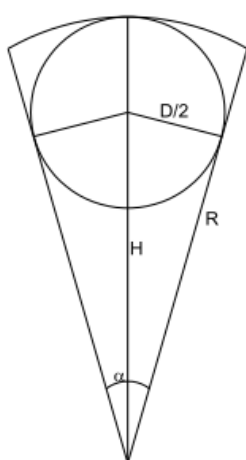
Er is een -zeer beperkte- risico dat kleine onderdelen(bouten, beschermingskappen, e.d.) loskomen en naar beneden vallen. Tevens is onder bepaalde condities het risico aanwezig dat er ijsvorming optreedt, wat naar beneden kan vallen. Omdat dergelijke kleine onderdelen of stukken ijs geen schade aan een kering kunnen geven en daarmee een risico voor de standzekerheid van de waterkerende functie van de waterkering kunnen vormen, wordt het scenario "het naar beneden vallen van kleinen onderdelen of stukken ijs" in de risicoanalyse niet verder beschouwd.

5.4 Trefafstand faalscenario's windturbine

Per alternatief en locatie is in de analyse aan de hand van de maximale trefafstand beoordeeld of een windturbine locatie een risico zou kunnen vormen voor de waterkerende functie van de primaire waterkering. Bij een grotere afstand dan de maximale trefafstand is het falen van een windturbine of windturbineonderdeel niet relevant voor de waterkerende functie van de primaire waterkering.

Het geheel omvallen van de windturbine

De maximale trefafstand voor het faalscenario; "het geheel omvallen van de windturbine" is in navolging van het handboek gelijk aan de tiphoogte. De tiphoogte is de som van de ashoogte plus een halve rotordiameter, zie onderstaande afbeelding 10.



$$R : H + D/2 \text{ [m]}$$

$$D : \text{diameter van de rotor [m]}$$

$$H : \text{ashoogte [m]}$$

Afbeelding 10. Tiphoogte (bron: het handboek)

Voor de risicoanalyse is voor de bestaande windturbines een maximale tiphoogte van **100 meter** en voor de nieuw te plannen windturbines een maximale tiphoogte van **190,5 meter** voor alternatief 7 en **150 meter** voor alternatief 8 en 9 gehanteerd.

Opgemerkt wordt dat het aanhouden van de tiphoogte een conservatieve aanname betreft, omdat:

- Bij het bezwijken van een torendeel er geen sprake is van het geheel omvallen van de windturbine, maar een deel van de windturbine. De trefafstand van het omgevallen deel is hiermee, zoals ook in voorgaande paragraaf aangegeven, kleiner.
- De rotorbladen van de bestaande en nieuwe windturbine bestaan uit composiet materiaal (vezel versterkt materiaal/glasvezel). Bij het geheel omvallen van een windturbine zal dit deel over het grootste gedeelte vervormen en/of verbrijzelen. De impactschade zal over deze zone daardoor beperkt zijn. Impactschade zal dan ook voornamelijk ten gevolge van de torendelen en het gondelhuis ontstaan. De maximale trefafstand is in het geval van de bestaande windturbines circa 69 meter en voor de nieuwe windturbines met een ashoogte van 84 meter circa 89 meter, met een ashoogte van 95 meter circa 100 meter en met een ashoogte van 120 meter circa 125 meter.

Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor

De maximale trefafstand voor het faalscenario; "het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor" is in navolging van het handboek gelijk aan de halve rotordiameter. Voor de risicoanalyse is als maximale waarde voor de bestaande windturbines **33 meter** ($D/2 = 66m/2$) en voor de nieuw te plannen windturbines **70,5 meter** voor alternatief 7, **66 meter** voor alternatief 8 en **55 meter** voor alternatief 9 aangehouden.

Het afbreken van een rotorblad

Voor de maximale trefafstand voor het faalscenario; "het afbreken van een rotorblad" zijn ten behoeve van de risicoanalyse de volgende conservatieve aannames gedaan:

- Er wordt uitgegaan van de situatie: "overtoeeren". Er wordt geen onderscheid gemaakt onder welke omstandigheid (toerental) een rotorblad faalt.

Overtoeeren betreft de situatie waarbij alle veiligheidssystemen van de windturbine falen en daardoor de rotor niet meer kan worden afgeremd. Op het moment dat deze situatie optreedt bij een voldoende hoge windsnelheid kan de rotor van een windturbine in overtoeren geraken, dit kan leiden tot het bezwijken van de rotor en/of rotorblad(en).

Als maximale trefafstand wordt voor de bestaande windturbines een maximale werpafstand van **519 meter** ten opzichte van het windturbinemiddelpunt aangehouden. Deze waarde is in overeenstemming met de generieke waarde van het handboek voor de 2.000 kW vermogensklasse voor IEC klasse II locaties en een 80 meter ashoogte, zie onderstaande afbeelding.

Voor de drie alternatieven wordt als maximale trefafstand een maximale werpafstand van **667 meter** ten opzichte van het windturbinemiddelpunt aangehouden. Deze waarde is in overeenstemming met de generieke waarde van het handboek voor de 4.000 kW vermogensklasse voor IEC klasse II locaties en een 120 meter ashoogte, zie onderstaande afbeelding. Deze aanname is voor de alternatieven 8 en 9 een conservatieve aanname.

IEC1										
Turbine type	WT1000		WT2000		WT3000		WT4000		WT5000	
Vermogen [kW]	1000		2000		3000		4000		5000	
Ashoogte [m]	60	80	80	100	90	120	90	120	100	120
Max Werpafstand [m]										
Bij nominaal toerental	131	143	158	170	176	193	186	204	202	214
Bij overtoeren	389	406	457	473	507	531	543	568	585	602

IEC2										
Turbine type	WT1000		WT2000		WT3000		WT4000		WT5000	
Vermogen [kW]	1000		2000		3000		4000		5000	
Ashoogte [m]	60	80	80	100	90	120	90	120	100	120
Max Werpafstand [m]										
Bij nominaal toerental	142	155	175	187	198	216	213	231	233	245
Bij overtoeren	430	447	519	536	588	613	641	667	699	716

Afbeelding 11 generieke waarden voor werpafstanden (bron: het handboek)

5.5 Faalfrequentienorm

De risicoanalyse is voor de bestaande en nieuwe windturbines per faalscenario, zowel op basis van de generieke faalfrequenties conform het handboek, als op basis van project specifieke faalfrequentie uitgevoerd.

Faalfrequentienorm conform het handboek

De volgens het handboek vastgestelde generieke faalfrequentiefrequentie is per faalscenario in het navolgende overzicht weergegeven.

Faalscenario	Norm
1. Het geheel omvallen van de windturbines	$p \leq 1.3 \cdot 10^{-4}$
2. Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor	$p \leq 4.0 \cdot 10^{-5}$
3. Het afbreken van een rotorblad	$p \leq 8.4 \cdot 10^{-4}$

Kanttekening Handboek Risicozonering Windturbines

Het Handboek Risicozonering Windturbines, bevat richtlijnen voor het uitvoeren van een risicoanalyse voor windturbines. Het handboek wordt voor Nederlandse onshore windenergieprojecten als een algemeen geaccepteerde richtlijn beschouwd voor de uitvoering van een risicoanalyse voor windturbines, indien deze onderdeel uitmaakt van een vergunningsaanvraag.

De in het handboek gehanteerde generieke faalfrequenties zijn gebaseerd op een historie van windturbines tot 2000 en voor stalen torenconfiguraties. Echter de ontwikkeling van windturbineontwerpen en de normen en richtlijnen voor het ontwerpen, testen, certificeren en produceren van windturbines (IEC-61400 serie) heeft de laatste jaren een grote innovatie doorgemaakt, waardoor terecht de vraag kan worden gesteld of de gegevens van vóór het jaar 2000 nog representatief zijn voor de hedendaagse windturbines.

Door de introductie van nieuwe en het aanscherpen van bestaande normen en richtlijnen voor het ontwerpen, testen, certificeren en produceren van windturbines is het aannemelijk om te veronderstellen dat voor moderne windturbines lagere faalfrequenties van toepassing zijn, dan de in het Handboek Risicozonering Windturbines 2^e geactualiseerde versie januari 2005 aanbevolen generieke waarden op basis van gegevens vóór het jaar 2000. Meerdere instituten/partijen hebben eerder op basis van het Handboek Risicozonering Windturbines 2^e geactualiseerde versie januari 2005 een soortgelijke conclusie getrokken. Op basis hiervan heeft men geadviseerd om meer realistische faalfrequenties te hanteren en/of project specifieke faalfrequenties toe te passen.

In 2013 is het handboek geactualiseerd. Opmerkelijk is dat de generieke rekenwaarden voor de faalfrequenties, met uitzondering voor het faalscenario “naar beneden vallen gondelhuis”, niet zijn gewijzigd ten opzichte van de januari 2005 versie.

DNV KEMA heeft in 2011 in opdracht van Gasunie en TenneT een onderzoek verricht naar risicovolle incidenten van windturbines. De resultaten van dit onderzoek zijn overgenomen in de geactualiseerde versie van het handboek (bijlage A van het handboek).

Er is in dit onderzoek voornamelijk vergeleken of de resultaten, welke gevonden zijn aan de hand van het analyseren van een drietal bronnen, overeenkomen met de verwachtingswaardes uit het handboek versie 2005. In de geactualiseerde versie van het handboek is aangegeven:

“Momenteel worden juist veel windturbines met een vermogen van minimaal 2 MW geplaatst. Bij het bouwen van moderne windturbines wordt steeds meer aandacht besteed aan veiligheid. In de studie naar faalfrequenties is onderzocht of de faalfrequenties van moderne windturbines afwijken van de faalfrequenties die in het Handboek van 2005 zijn gehanteerd. Nieuwe faalstatistieken van moderne windturbines moeten uitwijzen of - en zo ja, hoeveel - de faalkansen daadwerkelijk kleiner zijn.”

Ondanks de actualisatie van het handboek, kan nog steeds gesteld worden dat de gehanteerde generieke faalfrequenties niet actueel -en daarmee tevens niet representatief en hanteerbaar- zijn voor het voor windpark Piet de Wit geplande windturbintetype. Deze constatering kan vanuit het handboek worden gesteld omdat:

- veel van de geraadpleegde databases onvolledig zijn en/of de betrouwbaarheid onvoldoende is aangetoond.

In bijlage A van het handboek zijn de volgende opmerkelijke opmerkingen gemaakt:

“Opvallend is dat faalgegevens van windturbines niet centraal worden bijgehouden: er bestaan geen (openbare) wetenschappelijke databases die incidenten met windturbines of windturbineonderdelen registreren.”

“Ook veel van de kennisinstututen, windturbinefabrikanten, onderhoudsbedrijven en verzekeringsmaatschappijen die DNV KEMA heeft benaderd konden of wilden geen faalgegevens van moderne windturbines leveren. Deze informatie wordt als vertrouwelijk en concurrentiegevoelig beschouwd.”

“Een database die wel openbaar beschikbaar is, is de Caithness Windfarm database. Deze uitgebreide database wordt bijgehouden door tegenstanders van windenergie. Hoewel niet alle referenties die de database gebruikt te achterhalen zijn, wordt deze database ook aangewend door andere partijen die de risico's van windturbines in kaart willen brengen.”

- er onvoldoende wordt aangetoond of de generieke waarden representatief zijn voor moderne windturbines in de vermogensklasse > 1,0MW

In bijlage A van het handboek zijn de volgende opmerkelijke opmerkingen gemaakt:

“Opvallend is dat de gefaalde windturbines zonder uitzondering oudere windturbines zijn. De gefaalde windturbines zijn geplaatst in de jaren '90 met vermogens kleiner of gelijk aan 1 MW. Er zijn geen faalincidenten met turbines groter dan 1 MW gevonden, maar er zijn ook maar een beperkt aantal van deze categorie geplaatst.”

“De database geeft slechts in een enkel geval aan om welk turbintetype het gaat. In deze database zijn dan ook incidenten van oude turbintypes meegenomen, zonder dat een splitsing kan worden gemaakt tussen oude en moderne windturbines.”

“Omdat de Caithness database alle windturbintypen weergeeft (groter en kleiner dan 1 MW) worden deze faalfrequenties als conservatief beschouwd voor moderne windturbines.”

- het gehanteerde totaal aan bedrijfsjaren, wordt als onvoldoende beschouwd voor de representatieve windturbintypen.

Samengevat kan gesteld worden dat de in het handboek gehanteerde generieke waarden, als niet representatief zijn te beschouwen voor het voor windpark Piet de Wit onderzochte windturbintypes. Het is aannemelijk om te veronderstellen dat, in het bijzonder voor de faalscenario's; "het geheel omvallen van de windturbines" en "het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor", lagere faalfrequenties van toepassing zijn.

Faalfrequentienorm project specifiek

Vanwege de voorgaande beschreven kanttekeningen is de risicoanalyse voor de nieuw geplande windturbines ook aan de hand van project specifieke faalfrequenties doorgerekend, welke als meer representatief worden beschouwd voor moderne windturbines. Op basis van expert judgement en eerdere vergelijkbare uitgevoerde risicoanalyses zijn de aangehouden project specifieke faalfrequenties in het onderstaand overzicht weergegeven.

Faalscenario	Norm
1. Het geheel omvallen van de windturbines	$p \leq 1.0 \cdot 10^{-5}$
2. Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor	$p \leq 1.0 \cdot 10^{-5}$
3. Het afbreken van een rotorblad	$p \leq 1.0 \cdot 10^{-4}$

5.6 Kritische strook en trefsector

Het falen van een windturbine of windturbineonderdeel betekent niet direct dat er sprake is van een risico voor de waterkerende functie van de waterkering.

Het risico op falen is onder meer afhankelijk van de trefafstand en de wijze van neerkomen van een windturbine of windturbine-onderdeel. Andere aspecten die een rol spelen zijn; situering, opbouw/constructie en de robuustheid en daarmee aanwezige overdimensionering (marge) van de waterkering en de omstandigheden tijdens het falen (o.a. waterstand). Om aan de afhankelijkheden (trefafstand en wijze van neerkomen) invulling te geven is er ten behoeve van de risicoanalyse een kritische strook voor de waterkering en een trefsector per windturbine gedefinieerd.

Kritische strook

Als kritische strook is een 20 meter brede strook ten opzichte van de kruin van de waterkering aangenomen. De ratio achter de 20 meter is dat hiermee ten minste het functionele deel van de kruin wordt ondervangen.

Wanneer een windturbine of windturbineonderdeel de kritische strook treft, wordt aangenomen dat afhankelijk van het optredende faalscenario, er sprake is van het onmiddellijk falen of op het punt staan van falen van de waterkering ($P_{\text{(kritische strook)}}$). In het laatste geval is er schade ontstaan aan de kruin van de primaire waterkering, maar is er nog een restprofiel aanwezig welke nog een bepaalde waterstand kan keren. In dat geval is er nog sprake van een bepaalde responstijd tot herstel.

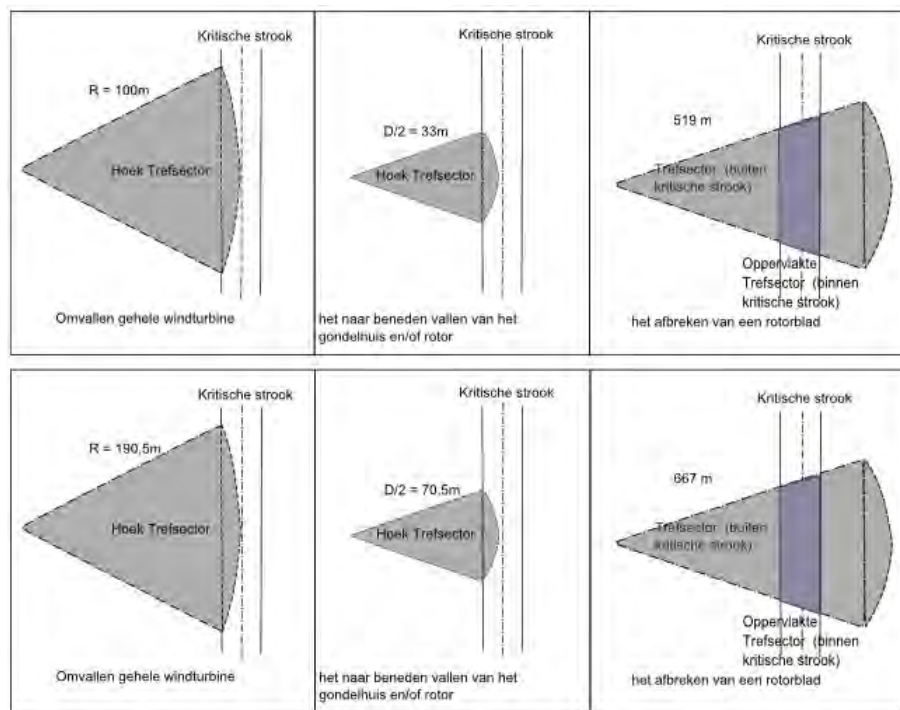
Trefsector

Ten behoeve van de risicoanalyse is, zowel voor de bestaande als voor de nieuwe locaties, per windturbinelocatie en faalscenario de trefsector bepaald. De trefsector betreft het gebied waar een falende windturbine of windturbineonderdeel kan neerkomen en daarbij een schade kan veroorzaken, welke een mogelijk risico vormt voor de waterkerende functie van de waterkering.

De kans dat een windturbine of een windturbineonderdeel in de trefsector terecht komt is:

$$P_{(\text{trefsector})} = \text{Hoek trefsector} / 360^\circ$$

De grootte van een trefsector is per alternatief en windturbine locatie bepaald aan de hand van de trefafstand en het snijpunt met de kritische zone.



Afbeelding 12. het principe van de trefsector per faalscenario, bestaande windturbines en alternatief 7 als voorbeeld

Bij het faalscenario; “omvallen gehele windturbine” is er, zowel in de bestaande situatie als voor de nieuwe situatie, een grote kans op een aanzienlijke beschadiging van de waterkering. De waterkerende functie van de waterkering kan dan niet meer worden gegarandeerd. Ten behoeve van de risicoanalyse is aangenomen dat bij het geheel omvallen van een windturbine de kering te alle tijde zal falen, wat een conservatieve aanname betreft. Zoals voorgaande reeds is omschreven is de werkelijke valbereik afhankelijk van het type afwijking wat is opgetreden (geheel of deels bezwijken van de toren) en de exacte valrichting. Ook is het aannemelijk dat indien de gehele windturbine omvalt en op of over de kering valt, op basis van waarnemingen bij vergelijkbare incidenten en het met behulp van explosief slopen van bestaande windturbines³, een deel van de kering gehandhaafd zal blijven, waardoor er sprake zal zijn van een restprofiel, zie navolgende paragraaf met betrekking tot restprofiel en responsetijd.

Voor het faalscenario; “het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor” is er een grote kans op een aanzienlijke beschadiging van het binnentalud van de waterkering. De waterkerende functie van de waterkering kan dan niet meer worden gegarandeerd. Echter gezien de afstand ten opzichte van de kruin van de kering in relatie tot het valbereik bij het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor is het aannemelijk dat de kruin en het buitenwaartse deel van de kering geheel of deels intact blijft. Er zal altijd sprake zijn van een restprofiel.

Voor het faalscenario; “het afbreken van een rotorblad” is ten behoeve van de risicoanalyse aangenomen dat in het geval van een worst case impact (impact van de flens, onder een hoek van <math><45^\circ</math>) van een rotorblad binnen de trefsector van de kritische strook, er een restprofiel overblijft en er tijd is voor het herstellen van de schade. Er is geen sprake van het direct falen van de waterkering, echter kan de waterkerende functie niet meer worden gegarandeerd. Komt een

³ <https://www.youtube.com/watch?v=PdLTvAnxcdM> & <https://www.youtube.com/watch?v=9gOcl7zLGGo>

rotorblad buiten de kritische strook terecht, maar wel in het overige deel van een trefsector dan is onafhankelijk van de wijze van neerkomen de waterkerende functie van de waterkering niet direct in het geding. Door de impact is er schade ontstaan, maar de kruin is nog intact. De hoogste waterstand, volgens de van toepassing zijnde norm-overschrijdingskans, kan nog gekeerd worden. Er is tijd om maatregelen te nemen en de schade te herstellen.

Het neerkomen van de windturbine of windturbineonderdeel buiten de trefsector heeft geen direct gevolg voor de waterkerende functie van de primaire waterkering.

De voor windpark Piet de Wit per faalscenario bepaalde trefsector, zijn in het navolgende tabel voor zowel de bestaande als nieuwe windturbines weergegeven.

Bestaande windturbines	faalscenario; "omvallen gehele windturbine" [°]	faalscenario; "het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor" [°]	faalscenario; "het afbreken van een rotorblad" [%] = oppervlakte trefsector
Windturbinelocatie 1	201	106	2,7
Windturbinelocatie 2	160	109	2,6
Windturbinelocatie 3	154	106	2,5
Windturbinelocatie 4	161	107	2,5
Windturbinelocatie 5	158	111	2,5
Windturbinelocatie 6	158	108	2,5
Windturbinelocatie 7	157	104	2,5
Windturbinelocatie 2	158	107	2,5
Windturbinelocatie 9	158	108	2,5
Windturbinelocatie 10	157	106	2,5
Windturbinelocatie 11	166	108	2,5
Windturbinelocatie 12	164	97	2,5
Alternatief 7	faalscenario; "omvallen gehele windturbine" [°]	faalscenario; "het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor" [°]	faalscenario; "het afbreken van een rotorblad" [%] = oppervlakte trefsector
Windturbinelocatie 1	197	115	2,1
Windturbinelocatie 2	132	43	2,0
Windturbinelocatie 3	143	52	1,9
Windturbinelocatie 4	152	49	1,9
Windturbinelocatie 5	141	49	1,9
Windturbinelocatie 6	141	49	1,9
Windturbinelocatie 7	149	32	2,0
Alternatief 8	faalscenario; "omvallen gehele windturbine" [°]	faalscenario; "het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor" [°]	faalscenario; "het afbreken van een rotorblad" [%] = oppervlakte trefsector
Windturbinelocatie 1	186	85	2,1
Windturbinelocatie 2	125	27	2,0
Windturbinelocatie 3	135	26	1,9
Windturbinelocatie 4	129	28	1,9
Windturbinelocatie 5	125	26	1,9
Windturbinelocatie 6	129	27	1,9
Windturbinelocatie 7	130	28	1,9
Windturbinelocatie 8	137	1*	2,0
Alternatief 9	faalscenario; "omvallen gehele windturbine" [°]	faalscenario; "het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor" [°]	faalscenario; "het afbreken van een rotorblad" [%] = oppervlakte trefsector
Windturbinelocatie 1	186	1*	2,1
Windturbinelocatie 2	129	1*	2,0
Windturbinelocatie 3	130	1*	1,9
Windturbinelocatie 4	129	1*	1,9
Windturbinelocatie 5	140	1*	1,9
Windturbinelocatie 6	126	1*	1,9
Windturbinelocatie 7	130	1*	1,9
Windturbinelocatie 8	129	1*	2,0
Windturbinelocatie 9	137	1*	2,0

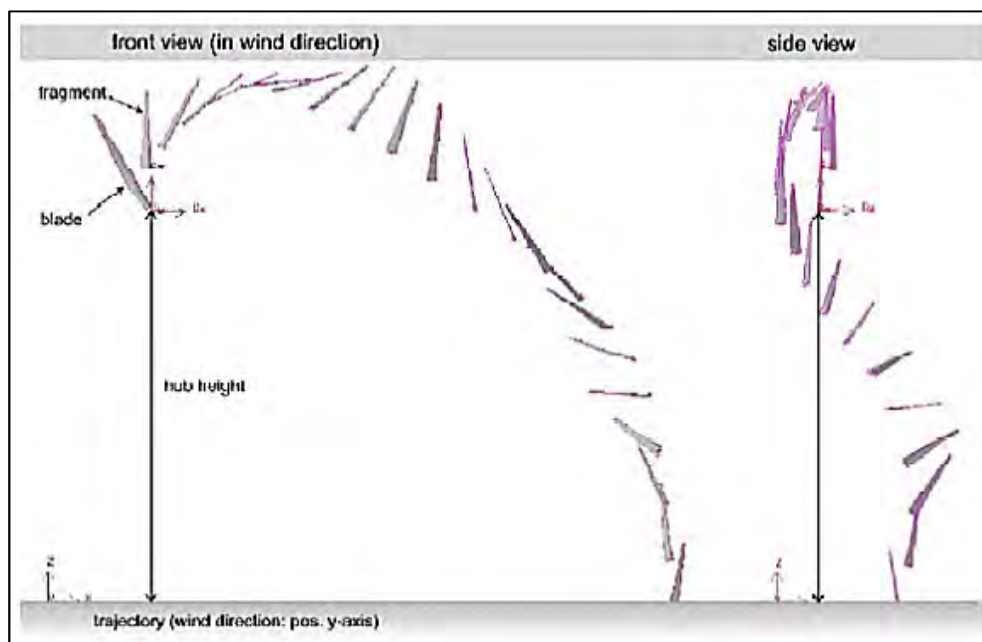
Tabel 2. Trefsector per faalscenario

*voor een aantal locaties is er geen sprake van een snijpunt met de kritische strook, met ander woorden de kruin van de kering wordt niet getroffen, maar het achterland van de kering raakt wel beschadigd. Het restprofiel betreft in dit geval de bestaande kruinhoogte. Ten behoeve van de berekeningsformule wordt een waarde 1 aangehouden.

5.7 Neerkomen rotorblad

Een rotorblad van een hedendaagse windturbine bestaat voornamelijk uit composiet materiaal (vezelversterkt materiaal/glasvezel) al dan niet met een metalen flens en/of bladadapter.

De schade die een neerkomend rotorblad veroorzaakt is onder meer sterk afhankelijk van de wijze van neerkomen. Afhankelijk van de impacthoek zal een rotorblad versplinteren en/of afketsen. De meest significante schade wordt veroorzaakt als de flens (verbinding tussen het rotorblad en de rotor) van een rotorblad onder een bepaalde hoek inslaat (uitgaande van de worst case afworp bij een overtoeren situatie, zie afbeelding 13). De overige situaties zorgen voor een lagere impactschade.



Afbeelding 13. een voorbeeld van een simulatie van het neerkomen van een rotorblad (flens naar beneden)

De worst case hoek van inslag met het verticaal is kleiner dan **45 graden**. De ratio achter deze 45 graden is dat bij een zanddijk met een kleibekleding, theoretisch bij een hoek van inwendige wrijving van 30 graden voor het zand en een hoek van inval met de verticaal van 30 graden er geen indringing zou zijn en er horizontale afschuiving plaatsvindt. Er zou dus uit kunnen worden gegaan van 30 graden. Echter zou deze aanname voor de deklaag een niet-conservatieve aanname zijn. Daarom wordt als aanname aangehouden, dat bij een hoek van inslag met het verticaal groter dan 45 graden er een geringe indringing optreedt. Het rotorblad zal met een grotere impactoppervlakte inslaan en zal dan afketsen en/of vervormen en/of deels verbrijzelen, waardoor er een grotere energie opname zal optreden en de impactschade kleiner is.

Voorgaande geeft een: **P(flens naar beneden) = $2 \times 45^\circ / 360^\circ = 0,25$**

5.8 Restprofiel en responstijd

Wanneer een waterkering wordt getroffen door een falende windturbine of windturbineonderdeel, behoeft dat niet het onmiddellijk falen of op het punt staan van falen van de waterkering te betekenen. Afhankelijk van het optredende faalscenario zal er sprake zijn van een beperkte tot een forse impact schade, het is echter aannemelijk dat er nagenoeg in alle gevallen sprake zal zijn van een zogenaamd restprofiel ofwel delen van de kering die nog intact zijn.

Indien er sprake is van een restprofiel, betekent het dat het aanwezige restprofiel nog een bepaalde waterstand kan keren. Er is in dat geval sprake van een zogenaamde responstijd tot herstel, zolang er voor of tijdens dit herstel geen waterstand optreedt tot boven het niveau van het restprofiel.

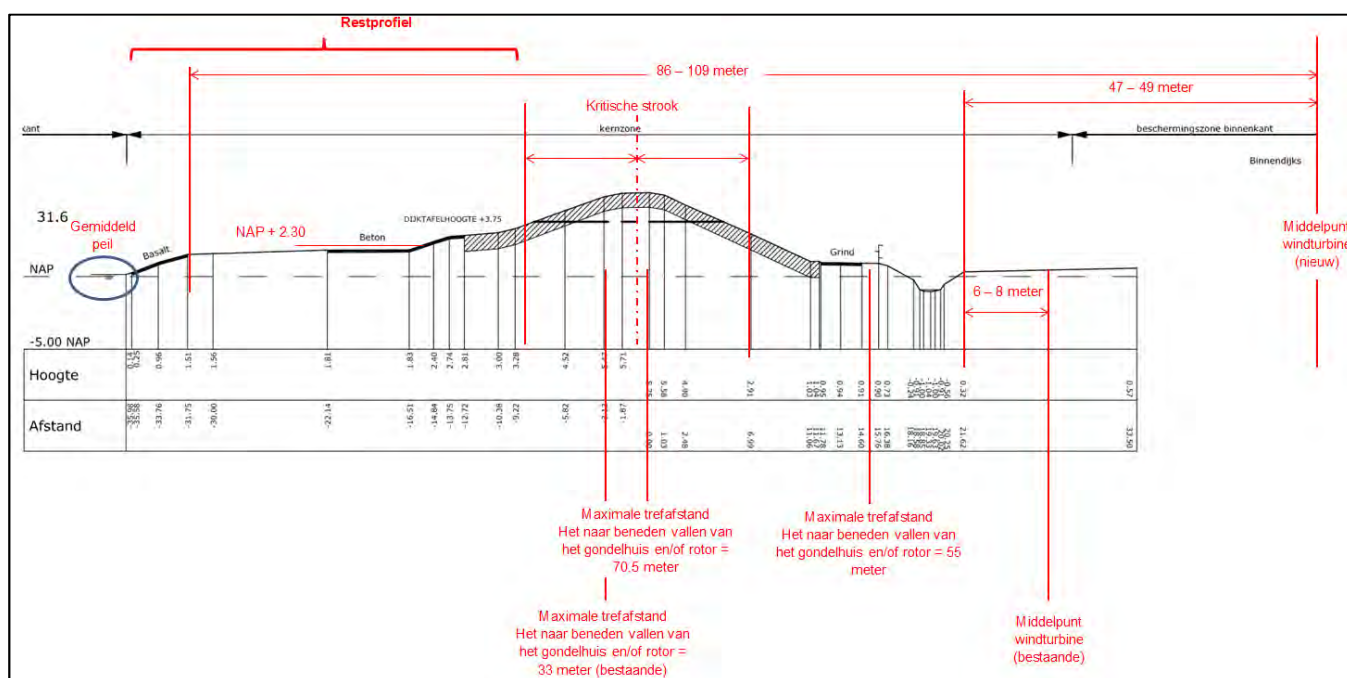
Er is dus sprake van een gebeurtenis (deelkans) welke gelijktijdig met het falen van een windturbine of windturbineonderdeel dient op te treden. Dit betreft de kans dat op het moment van falen van een windturbine of windturbineonderdeel er ook, voor of tijdens het herstellen, een waterstand optreedt welke hoger is dan het aanwezige restprofiel kan keren.

In afbeelding 14 en 15 is de zone voor de risicoanalyse voor zowel de bestaande windturbines als nieuwe windturbines gehanteerde restprofiel aangegeven.

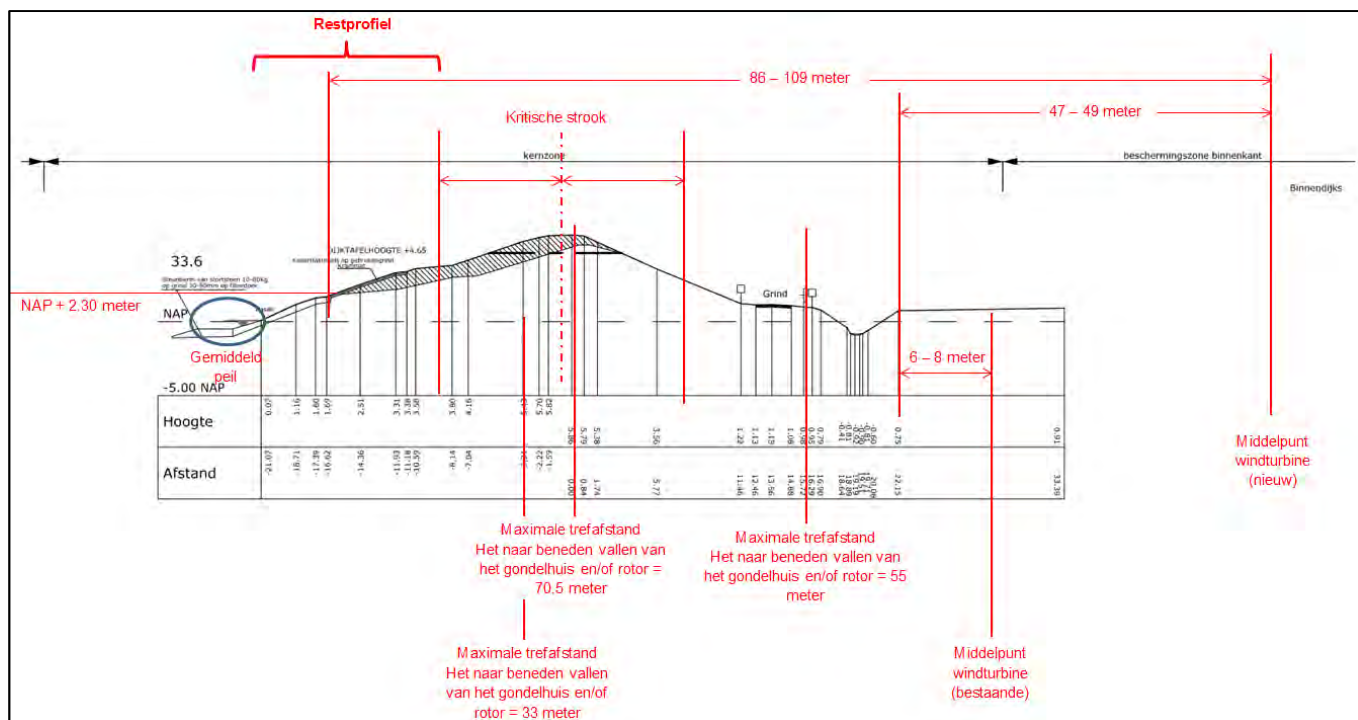
Om rekening te houden met de inzet van het Volkerak-Zoommeer als tijdelijke waterberging is aangenomen dat het minimale benodigde restprofiel boven de NAP + 2.30 meter dient te liggen. Gezien de voorgaande aangegeven kans van voorkomen van $1/1430^e$ per jaar, is deze aanname een uiterst conservatieve aanname.

Vanwege de maximale trefafstand voor de faalscenario's "Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor" en "Het afbreken van een rotorblad" is het aannemelijk dat er in ieder geval in de aangegeven zone altijd sprake zal zijn van een restprofiel, welke tijdelijk een waterstand van maximaal NAP + 2.30 meter kan keren.

Indien de faalscenario "Het geheel omvallen van de windturbines" optreedt, is als worst case scenario aangehouden dat er geen sprake zal zijn van een restprofiel, wat een conservatieve aanname is.



Afbeelding 14. zone restprofiel in relatie tot valbereik gondelhuis (dwarsprofiel legger Hm 31.6)



Afbeelding 15. zone restprofiel in relatie tot valbereik gondelhuis (dwarsprofiel legger Hm 33.6)

Als conservatieve aanname is aangehouden dat het aanwezige restprofiel niet meer een waterstand van NAP +2.30 meter kan keren, welke optreedt in het geval van een “lichte storm”, al dan niet in combinatie met een tijdelijke waterbergende functie van het Volkerak-Zoommeer. De kans op optreden van een “lichte storm” is aangenomen op 5 keer per jaar. Voor de stormduur wordt uitgegaan van 35 uur.

Hedendaagse windturbines worden door middel van een SCADA⁴ systeem 24 uur per dag gemonitord. Gangbaar is dat een windturbine zich in ieder geval één keer per 24 uur meldt. Als detectietijd van 24 uur is daarom aannemelijk. Daarbij wordt opgemerkt, dat indien er een ongebruikelijke situatie en/of schade aan een windturbine optreedt er normaliter direct een melding via het SCADA systeem wordt afgegeven.

De hersteltijd voor de ontstane schade aan de waterkering is geschat op 5 dagen (5x24 = 120 uur).

De kans dat er een “lichte storm” optreedt tijdens de hersteltijd is:

$$P(\text{niet te keren storm tijdens herstel}) = 5 \text{ lichte stormen per jaar} \times (35 \text{ uur} / 8760 \text{ uur per jaar}) + 5 \text{ lichte stormen per jaar} \times (24 \text{ uur} / 8760 \text{ uur per jaar}) + 5 \text{ lichte stormen per jaar} \times (120 \text{ uur} / 8760 \text{ uur per jaar}) = 0,1 \text{ per jaar}$$

Zoals voorgaande aangegeven is voor de faalscenario “Het geheel omvallen van de windturbines” aangenomen dat er sprake is van het falen van de kering en er dus geen sprake is van een restprofiel, er is dan geen sprake van een zogenaamde responstijd tot herstel.

⁴ SCADA is de afkorting voor Supervisory Control and Data Acquisition

6. Faalkansberekening per faalkansscenario

De bepaling van de faalfrequentie per faalkansscenario vindt plaats door het vermenigvuldigen van de gebeurtenissen welke gelijktijdig dienen op te treden, voor er sprake kan zijn van het falen van de waterkering ofwel de waterkerende functie kan niet meer worden gegarandeerd.

Omvallen gehele windturbine

De faalfrequentie per windturbinelocatie voor het scenario “omvallen gehele windturbine” wordt bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$P_{\text{omvallen gehele windturbine}} = \text{Faalfrequentie omvallen gehele windturbine} \times P_{(\text{trefsector})}$$

De additionele faalfrequentie van de waterkering ten gevolge van het geheel omvallen van de windturbine wordt dan ook bepaald door een combinatie van gebeurtenissen:

- de windturbine valt als geheel om;
en
- de windturbine komt neer in de relevante trefsector.

Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor

De additionele faalfrequentie per windturbinelocatie voor het scenario “het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor” wordt bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$P_{\text{vallen gondelhuis}} = \text{Faalfrequentie vallen gondelhuis en/of rotor} \times P_{(\text{trefsector})} \times P_{(\text{niet te keren storm tijdens herstel})}$$

De additionele faalfrequentie van de waterkering ten gevolge van het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor wordt dus bepaald door een combinatie van gebeurtenissen:

- het gondelhuis en/of rotor valt naar beneden;
en
- het gondelhuis en/of rotor komt neer in de relevante trefsector;
en
- er treedt voorafgaande aan of gedurende de hersteltijd een hoogwaterstand op, welke hoger is dan de keercapaciteit van het restprofiel (indien het aannemelijk is dat er sprake is van een restprofiel).

Het afbreken van een rotorblad

De additionele faalfrequentie per windturbinelocatie voor het scenario “het afbreken van een rotorblad” wordt bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$P_{\text{rotorbladworp}} = \text{Faalfrequentie rotorbladworp} \times P_{(\text{kritische strook})} \times P_{(\text{flens naar beneden})} \times P_{(\text{niet te keren storm tijdens herstel})}$$

De additionele faalfrequentie van de waterkering ten gevolge van het afbreken van een rotorblad wordt dus bepaald door een combinatie van gebeurtenissen:

- een rotorblad wordt afgeworpen;
en
- een rotorblad komt neer in de kritische strook;
en
- de flens komt naar beneden en de hoek van inslag met het verticaal kleiner is dan 45 graden;
en
- er treedt voorafgaand aan of gedurende de hersteltijd een hoogwaterstand op, welke hoger is dan de keercapaciteit van het restprofiel.

De additionele faalfrequentie van de waterkering is de som van alle additionele faalfrequenties per faalscenario en per windturbinelocaties (“Additionele faalfrequentie waterkering”).

7. Risicoanalyse

In afbeelding 16 t/m 18 zijn voor de drie alternatieven de rekensheets van de analyse, op basis van de generieke faalfrequenties conform het handboek en de project specifieke faalfrequenties weergegeven, met als uitgangspunt dat in het geval van het geheel omvallen van de windturbine er geen sprake zal zijn van een restprofiel. Zoals voorgaande besproken wordt deze aanname als conservatief beschouwd, de analyse is dan ook nogmaals uitgevoerd, maar dan met de aanname dat er ook in het geval van het volledig omvallen van de windturbine een restprofiel aanwezig zal blijven en er zodoende sprake is van een responsetijd tot herstel. De resultaten van deze analyse zijn voor de drie alternatieven in afbeelding 19 t/m 21 weergegeven.

Uitgangspunten

Bestaande windpark Piet de Wit

Handboek:	1,30E-04
Faalfrequentie scenario: geheel omvallen windturbine	4,00E-05
Faalfrequentie scenario: neerstorten gondelhuis	8,40E-04
Faalfrequentie scenario: afbreken rotorblad	
Project specifiek:	
Faalfrequentie scenario: geheel omvallen windturbine	1,00E-05
Faalfrequentie scenario: neerstorten gondelhuis	1,00E-05
Faalfrequentie scenario: afbreken rotorblad	1,00E-04
Maximale tiphoogte (meter)	100
Maximale rotordiameter (meter)	66
Maximale afwerpen rotorblad (meter)	519
Breedte kritische zone (meter)	20
Veiligheidsnorm waterkering	3,33E-03
Additionele criteria	10%

VKA

Faalfrequentie scenario: geheel omvallen windturbine	1,00E-05
Faalfrequentie scenario: neerstorten gondelhuis	1,00E-05
Faalfrequentie scenario: afbreken rotorblad	1,00E-04
Maximale tiphoogte (meter)	150
Maximale rotordiameter (meter)	132
Maximale afwerpen rotorblad IECII & 4,0MW (meter)	667
Breedte kritische zone (meter)	20
Veiligheidsnorm waterkering	3,33E-03
Additionele criteria	10%

Bestaande windturbines faalkansen handboek 2014	Het geheel omvallen van de windturbine		Neerstorten gondelhuis		Afbreken rotorblad		Project specifiek		Project specifiek		Project specifiek		Project specifiek		Project specifiek		Project specifiek		Project specifiek	
	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee
1	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee
2	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee
3	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee
4	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee
5	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee
6	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee
7	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee
8	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee
9	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee
10	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee
11	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee
12	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee
Subtotaal	7,05E-04		21,15		0,43		21,76		0,08		11,87		12,05		0,91		0,95		0,01	
Subtotaal Additionele faalfrequentie	10%																			

Afbeelding 17. Rekensheet alternatief 8 op basis van de generieke faalfrequenties conform het handboek en op basis van de project specifieke faalfrequenties, zonder restprofiel in het geval van het geheel omvallen van een windturbine

Uitgangspunten	
Bestaande windpark Piet de Wit	
Handboek:	
Faalfrequentie scenario: geheel omvallen windturbine	1,30E-04
Faalfrequentie scenario: neerstorten gondelhuis	4,00E-05
Faalfrequentie scenario: afbreken rotorblad	8,40E-04
Project specific:	
Faalfrequentie scenario: geheel omvallen windturbine	1,00E-05
Faalfrequentie scenario: neerstorten gondelhuis	1,00E-05
Faalfrequentie scenario: afbreken rotorblad	1,00E-04
Maximale tophoogte [meter]	100
Maximale rotor diameter [meter]	66
Maximale afwerpen rotorblad [meter]	519
Breedte kritische zone [meter]	20
Veiligheidsnorm waterkering	3,33E-03
Aditionele criteria	10%
VKA	
Faalfrequentie scenario: geheel omvallen windturbine	1,00E-05
Faalfrequentie scenario: neerstorten gondelhuis	1,00E-05
Faalfrequentie scenario: afbreken rotorblad	1,00E-04
Maximale tophoogte [meter]	190,5
Maximale rotor diameter [meter]	141
Maximale afwerpen rotorblad IECII & 4,0MW [meter]	587
Breedte kritische zone [meter]	20
Veiligheidsnorm waterkering	3,33E-03
Aditionele criteria	10%

faalkansen handboek 2014 met restprofiel faalscenario: geheel omvallen van de windturbine		Meer geheel omvallen van de windturbine																			
		Heel (1/100000)		Rood (1/10000)		Oranje (1/1000)		Geel (1/100)		Groen (1/10)		Blauw (1/1)		Zwart (1/100000)							
		ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee						
1	ja	197	ja	1,30E-04	0,55	0,100	7,11E-06	ja	115	ja	4,00E-05	0,32	0,100	1,20E-06	ja	8,40E-04	2,1%	0,25	0,100	4,41E-07	
2	ja	132	ja	1,30E-04	0,37	0,100	4,77E-06	ja	43	ja	4,00E-05	0,12	0,100	4,78E-07	ja	8,40E-04	2,0%	0,25	0,100	4,30E-07	
3	ja	143	ja	1,30E-04	0,40	0,100	5,16E-06	ja	52	ja	4,00E-05	0,14	0,100	5,76E-07	ja	8,40E-04	1,9%	0,25	0,100	3,99E-07	
4	ja	152	ja	1,30E-04	0,42	0,100	5,49E-06	ja	49	ja	4,00E-05	0,14	0,100	5,44E-07	ja	8,40E-04	1,9%	0,25	0,100	3,99E-07	
5	ja	141	ja	1,30E-04	0,38	0,100	5,09E-06	ja	46	ja	4,00E-05	0,14	0,100	5,44E-07	ja	8,40E-04	1,9%	0,25	0,100	3,99E-07	
6	ja	141	ja	1,30E-04	0,39	0,100	5,09E-06	ja	49	ja	4,00E-05	0,14	0,100	5,44E-07	ja	8,40E-04	1,9%	0,25	0,100	3,99E-07	
7	ja	149	ja	1,30E-04	0,41	0,100	5,38E-06	ja	32	ja	4,00E-05	0,09	0,100	3,56E-07	ja	8,40E-04	2,0%	0,25	0,100	4,20E-07	
				Subtotaal		3,81E-05						4,32E-06								2,88E-08	
				Subtotaal		Aditionele faalfrequentie (%)	1,14					0,13								0,09	
												1,36									

Afbeelding 19. Rekensheet alternatief 7 op basis van de generieke faalfrequenties conform het handboek, met restprofiel in het geval van het geheel omvallen van een windturbine

Uitgangspunten	
Bestaande windpark Piet de Wit	
Handboek:	
Faalfrequentie scenario: geheel omvallen windturbine	1,30E-04
Faalfrequentie scenario: neerstorten gondelhuis	4,00E-05
Faalfrequentie scenario: afbreken rotorblad	8,40E-04
Project specific:	
Faalfrequentie scenario: geheel omvallen windturbine	1,00E-05
Faalfrequentie scenario: neerstorten gondelhuis	1,00E-05
Faalfrequentie scenario: afbreken rotorblad	1,00E-04
Maximale tophoogte [meter]	100
Maximale rotor diameter [meter]	66
Maximale afwerpen rotorblad [meter]	519
Breedte kritische zone [meter]	20
Veiligheidsnorm waterkering	3,33E-03
Aditionele criteria	10%
VKA	
Faalfrequentie scenario: geheel omvallen windturbine	1,00E-05
Faalfrequentie scenario: neerstorten gondelhuis	1,00E-05
Faalfrequentie scenario: afbreken rotorblad	1,00E-04
Maximale tophoogte [meter]	150
Maximale rotor diameter [meter]	132
Maximale afwerpen rotorblad IECII & 4,0MW [meter]	667
Breedte kritische zone [meter]	20
Veiligheidsnorm waterkering	3,33E-03
Aditionele criteria	10%

faalkansen handboek 2014 met restprofiel faalscenario: geheel omvallen van de windturbine		Meer geheel omvallen van de windturbine																			
		Heel (1/100000)		Rood (1/10000)		Oranje (1/1000)		Geel (1/100)		Groen (1/10)		Blauw (1/1)		Zwart (1/100000)							
		ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee	ja	nee						
1	ja	186	ja	1,30E-04	0,52	0,100	6,72E-06	ja	85	ja	4,00E-05	0,24	0,100	9,44E-07	ja	8,40E-04	2,1%	0,25	0,100	4,41E-07	
2	ja	125	ja	1,30E-04	0,35	0,100	4,51E-06	ja	27	ja	4,00E-05	0,08	0,100	3,00E-07	ja	8,40E-04	2,0%	0,25	0,100	4,20E-07	
3	ja	135	ja	1,30E-04	0,38	0,100	4,89E-06	ja	26	ja	4,00E-05	0,07	0,100	2,89E-07	ja	8,40E-04	1,9%	0,25	0,100	3,99E-07	
4	ja	129	ja	1,30E-04	0,36	0,100	4,69E-06	ja	28	ja	4,00E-05	0,08	0,100	3,11E-07	ja	8,40E-04	1,9%	0,25	0,100	3,99E-07	
5	ja	125	ja	1,30E-04	0,35	0,100	4,51E-06	ja	26	ja	4,00E-05	0,07	0,100	2,89E-07	ja	8,40E-04	1,9%	0,25	0,100	3,99E-07	
6	ja	129	ja	1,30E-04	0,36	0,100	4,89E-06	ja	27	ja	4,00E-05	0,08	0,100	3,00E-07	ja	8,40E-04	1,9%	0,25	0,100	3,99E-07	
7	ja	130	ja	1,30E-04	0,36	0,100	4,69E-06	ja	26	ja	4,00E-05	0,08	0,100	3,11E-07	ja	8,40E-04	1,9%	0,25	0,100	3,99E-07	
8	ja	137	ja	1,30E-04	0,38	0,100	4,95E-06	ja	1	ja	4,00E-05	0,00	0,100	1,11E-08	ja	8,40E-04	2,0%	0,25	0,100	4,20E-07	
				Subtotaal		3,96E-05						2,76E-06								3,20E-08	
				Subtotaal		Aditionele faalfrequentie (%)	1,19					0,08								0,10	
												1,37									

Afbeelding 20. Rekensheet alternatief 8 op basis van de generieke faalfrequenties conform het handboek, met restprofiel in het geval van het geheel omvallen van een windturbine

Uitgangspunten												
Bestaande windpark Piet de Wit												
Handboek:												
Faalfrequentie scenario: geheel omvallen windturbine	1,30E-04											
Faalfrequentie scenario: neerstorten gondelhuis	4,00E-05											
Faalfrequentie scenario: afbreken rotorblad	8,40E-04											
Project specific:												
Faalfrequentie scenario: geheel omvallen windturbine	1,00E-05											
Faalfrequentie scenario: neerstorten gondelhuis	1,00E-05											
Faalfrequentie scenario: afbreken rotorblad	1,00E-04											
Maximale lophoogte (meter)	100											
Maximale rotor diameter (meter)	66											
Maximale afwerpen rotorblad (meter)	519											
Breedte kritische zone (meter)	20											
Veiligheidsnorm waterkering	3,33E-03											
Additional criteria	10%											
VKA												
Faalfrequentie scenario: geheel omvallen windturbine												
Faalfrequentie scenario: neerstorten gondelhuis												
Faalfrequentie scenario: afbreken rotorblad												
Maximale lophoogte (meter)	150											
Maximale rotor diameter (meter)	110											
Maximale afwerpen rotorblad (IECII & 4,0MW) (meter)	667											
Breedte kritische zone (meter)	20											
Veiligheidsnorm waterkering	3,33E-03											
Additional criteria	10%											

faalkansen handboek 2014 met restprofiel faalscenario: geheel omvallen van de windturbine																				
	Met restprofiel consistent van de windturbine	Hoofd afdelbaar	Restprofiel	Faalfrequentie (geheel omvallen windturbine)	Faalfrequentie (neerstorten gondelhuis)	Faalfrequentie (afbreken rotorblad)	Primaire veiligheidsnorm kritische zone (meter)	Primaire veiligheidsnorm kritische zone (meter)	Maximale grondniveau afstand (meter)	Maximale lophoogte windturbine	Maximale rotor diameter	Maximale afwerpen rotorblad								
1	ja	189	ja	1,30E-04	0,52	0,100	6,72E-06	ja	1	ja	4,00E-05	0,00	0,100	1,11E-08	ja	8,40E-04	2,1%	0,25	0,100	4,41E-07
2	ja	129	ja	1,30E-04	0,36	0,100	4,66E-06	ja	1	ja	4,00E-05	0,00	0,100	1,11E-08	ja	8,40E-04	2,0%	0,25	0,100	4,20E-07
3	ja	130	ja	1,30E-04	0,36	0,100	4,69E-06	ja	1	ja	4,00E-05	0,00	0,100	1,11E-08	ja	8,40E-04	1,9%	0,25	0,100	3,99E-07
4	ja	129	ja	1,30E-04	0,36	0,100	4,66E-06	ja	1	ja	4,00E-05	0,00	0,100	1,11E-08	ja	8,40E-04	1,9%	0,25	0,100	3,99E-07
5	ja	140	ja	1,30E-04	0,39	0,100	5,06E-06	ja	1	ja	4,00E-05	0,00	0,100	1,11E-08	ja	8,40E-04	1,9%	0,25	0,100	3,99E-07
6	ja	126	ja	1,30E-04	0,35	0,100	4,55E-06	ja	1	ja	4,00E-05	0,00	0,100	1,11E-08	ja	8,40E-04	1,9%	0,25	0,100	3,99E-07
7	ja	130	ja	1,30E-04	0,36	0,100	4,69E-06	ja	1	ja	4,00E-05	0,00	0,100	1,11E-08	ja	8,40E-04	1,9%	0,25	0,100	3,99E-07
8	ja	129	ja	1,30E-04	0,36	0,100	4,66E-06	ja	1	ja	4,00E-05	0,00	0,100	1,11E-08	ja	8,40E-04	2,0%	0,25	0,100	4,20E-07
9	ja	137	ja	1,30E-04	0,38	0,100	4,85E-06	ja	1	ja	4,00E-05	0,00	0,100	1,11E-08	ja	8,40E-04	2,0%	0,25	0,100	4,20E-07
							Subtotaal	4,40E-05												3,70E-06
							Subtotaal	1,24												0,11
																				1,45

Afbeelding 21. Rekensheet alternatief 9 op basis van de generieke faalfrequenties conform het handboek, met restprofiel in het geval van het geheel omvallen van een windturbine

8. Conclusies

De additionele faalfrequentie van de waterkering is voor de bestaande situatie op basis van de generieke faalfrequentie conform het handboek groter dan het gestelde toetsingscriterium. Op basis van de gekozen methodiek is er voor de bestaande situatie sprake van een noemenswaardige risicoverhoging en dus een risico voor de waterveiligheid. Ook voor de onderzochte alternatieven is op basis van de generieke faalfrequentie conform het handboek de additionele faalfrequentie van de waterkering groter dan het gestelde toetsingscriterium. Wanneer er wel rekening wordt gehouden met een bepaalde mate van restprofiel, indien een windturbine volledig omvalt, dan is de additionele faalfrequentie van de waterkering op basis van de generieke faalfrequentie conform het handboek ruim kleiner dan het gestelde toetsingscriterium. Op basis van de gekozen project specifieke faalfrequenties, welke als realistischer worden beschouwd (zie voorgaande kanttekeningen met betrekking tot het handboek), is de additionele faalfrequentie van de waterkering voor de nieuw geplande windturbines kleiner dan 1%.

De resultaten van de analyse tonen aan dat er voor de huidige situatie er sprake is van een noemenswaardige risicoverhoging.

De onderzochte alternatieven verlaagd het risico aanzienlijk. Cumulatief beoordeeld is er op basis van de huidige situatie, binnen het van toepassing zijnde dijksegment, voldoende ruimte voor het vervangen van de huidige twaalf locaties door één van de drie alternatieven, de situatie zal ten aanzien van de bestaande situatie aanzienlijk verbeteren.

Wanneer er geen rekening wordt gehouden met een restprofiel, bij het geheel omvallen van een windturbine, is er sprake van een overschrijding van circa 2 – 3,5% van het gestelde toetsingscriterium. Maar is er sprake van een aanzienlijke risico verlagings ten opzicht van de bestaande situatie op basis van de gekozen methodiek. Wanneer er wel rekening wordt gehouden met een restprofiel, wat als meer aannemelijk wordt beschouwd, wordt er ruim voldaan aan het gestelde toetsingscriterium en is er geen sprake van een noemenswaardige risicoverhoging als gevolg van de plaatsing van nieuwe windturbines (7 of 8 of 9) en blijft de waterveiligheid gewaarborgd. Op basis van de geselecteerde project specifieke faalfrequenties, welke als meer realistischer voor moderne windturbines wordt beschouwd, is er sprake van een verwaarloosbare risicoverhoging (<1%).

De resultaten van de analyse zijn in onderstaand overzicht weergegeven.

Faalfrequenties conform het handboek Risicozonering Windturbines			
<u>Bestaande windturbines</u>			
Faalscenario	Faalfrequentie	% van de autonome faalfrequentie	Toets-criterium
Het geheel omvallen van de windturbine	7,05E-04	21,15	
Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor	1,42E-05	0,43	
Het afbreken van een rotorblad	6,36E-06	0,19	
Totale Additionele faalfrequentie (afgerond)		21,76	<10%

Faalfrequenties conform het handboek Risicozonering Windturbines

Nieuw geplande windturbines (zonder restprofiel bij het geheel omvallen van de windturbine)

Alternatief 7 windturbines

Faalscenario	Faalfrequentie	% van de autonome faalfrequentie	Toets-criterium
Het geheel omvallen van de windturbine	3,81E-04	11,43	
Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor	4,32E-06	0,13	
Het afbreken van een rotorblad	2,88E-06	0,09	
Totale Additionele faalfrequentie (afgerond)		11,65	<10%

Alternatief 8 windturbines

Faalscenario	Faalfrequentie	% van de autonome faalfrequentie	Toets-criterium
Het geheel omvallen van de windturbine	3,96E-04	11,87	
Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor	2,76E-06	0,08	
Het afbreken van een rotorblad	3,28E-06	0,10	
Totale Additionele faalfrequentie (afgerond)		12,05	<10%

Alternatief 9 windturbines

Faalscenario	Faalfrequentie	% van de autonome faalfrequentie	Toets-criterium
Het geheel omvallen van de windturbine	4,46E-04	13,39	
Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor	1,00E-07	0,00	
Het afbreken van een rotorblad	3,70E-06	0,11	
Totale Additionele faalfrequentie (afgerond)		13,50	<10%

Faalfrequenties conform het handboek Risicozonering Windturbines

Nieuw geplande windturbines (met restprofiel bij het geheel omvallen van de windturbine)

Alternatief 7 windturbines

Faalscenario	Faalfrequentie	% van de autonome faalfrequentie	Toets-criterium
Het geheel omvallen van de windturbine	3,81E-05	1,14	
Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor	4,32E-06	0,13	
Het afbreken van een rotorblad	2,88E-06	0,09	
Totale Additionele faalfrequentie (afgerond)		1,36	<10%

Alternatief 8 windturbines

Faalscenario	Faalfrequentie	% van de autonome faalfrequentie	Toets-criterium
Het geheel omvallen van de windturbine	3,96E-05	1,19	
Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor	2,76E-06	0,08	
Het afbreken van een rotorblad	3,28E-06	0,10	
Totale Additionele faalfrequentie (afgerond)		1,37	<10%

Alternatief 9 windturbines

Faalscenario	Faalfrequentie	% van de autonome faalfrequentie	Toets-criterium
Het geheel omvallen van de windturbine	4,46E-05	1,34	
Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor	1,00E-07	0,00	
Het afbreken van een rotorblad	3,70E-06	0,11	
Totale Additionele faalfrequentie (afgerond)		1,45	<10%

Faalfrequenties project specifiek			
<u>Nieuw geplande windturbines</u> <u>(zonder restprofiel bij het geheel omvallen van de windturbine)</u>			
<u>Alternatief 7 windturbines</u>			
Faalscenario	Faalfrequentie	% van de autonome faalfrequentie	Toets-criterium
Het geheel omvallen van de windturbine	2,93E-05	0,88	
Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor	1,08E-06	0,03	
Het afbreken van een rotorblad	3,43E-07	0,01	
Totale Additionele faalfrequentie (afgerond)		0,92	<10%
<u>Alternatief 89 windturbines</u>			
Faalscenario	Faalfrequentie	% van de autonome faalfrequentie	Toets-criterium
Het geheel omvallen van de windturbine	3,04E-05	0,91	
Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor	6,89E-07	0,02	
Het afbreken van een rotorblad	3,90E-07	0,01	
Totale Additionele faalfrequentie (afgerond)		0,95	<10%
<u>Alternatief 9 windturbines</u>			
Faalscenario	Faalfrequentie	% van de autonome faalfrequentie	Toets-criterium
Het geheel omvallen van de windturbine	3,43E-05	1,03	
Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor	2,50E-08	0,00	
Het afbreken van een rotorblad	4,40E-07	0,01	
Totale Additionele faalfrequentie (afgerond)		1,04	<10%

Overzicht 1. resultaten risicoanalyse

Referenties:

- [1] Handboek Risicozonering Windturbines, AgentschapNL, 3^e geactualiseerde versie mei 2013 en herziende versie 3.1 september 2014
- [2] Projectbureau VNK2, Veiligheid Nederland in Kaart Overstromingsrisico dijkkring 25 Goeree-Overflakkee, Oktober 2014
- [3] Hydraulische Randvoorwaarden primaire waterkeringen categorie c, voor de derde toetsronde 2006-2011 (HRC 2006)
- [4] Waterwet bijlage 2
- [5] Waterakkoord Volkerak-Zoommeer, 1 januari 2016
- [6] Ontwerpbesluit tot wijziging van het peilbesluit Volkerak-Zoommeer, RR08.019392, 24 september 2012
- [7] Leggerprofiel Waterschap Hollandse delta; HM31.6, referentie DWPROF_HM316
- [8] Leggerprofiel Waterschap Hollandse delta; HM33.6, referentie DWPROF_HM336
- [9] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Veiligheid Nederland in Kaart Overstromingsrisico dijkkring 25 Goeree-Overflakkee, December 2005
- [10] MER windpark Noordoostpolder, briefrapport NRG maart 2011; "Reactie op het bezwaar tegen de gehanteerde faalkansen met als referentie DEWI-OCC"
- [11] Ventolines, Risicoanalyse Windturbines en primaire waterkering Windpark Krammer, 10 februari 2014
- [12] Ventolines, Risicoanalyse Windturbines en primaire waterkering Windpark Battenoert, 22 september 2014

Bijlage G Onderzoek Waterkering VKA



RISICOANALYSE:

Windturbines en primaire waterkering

Opschaling Windpark Piet de Wit

Voorkeursalternatief



Datum: 21-02-2018
Auteur: V.J. Winkel
Ventolines B.V.

Document Ref.: 20180221 rapport risicoanalyse WP Piet de Wit toets waterkering VKA rev03
Versie: 03
Documentstatus: Definitief

Inhoud

1. Samenvatting	3
2. Inleiding.....	4
2.1 Leeswijzer	4
3. Projectomschrijving Windpark Piet de Wit.....	5
4. De risicoanalyse opzet	10
5. Uitgangspunten risicoanalyse.....	11
5.1 Toetsingscriterium.....	11
5.2 Windturbine.....	13
5.3 Faalscenario's windturbine.....	14
5.4 Trefafstand faalscenario's windturbine	16
5.5 Faalfrequentienorm.....	18
5.6 Kritische strook en trefsector.....	20
5.7 Neerkomen rotorblad	23
5.8 Restprofiel en responstijd.....	24
6. Faalkansberekening per faalkansscenario.....	26
7. Risicoanalyse	27
8. Conclusies	29



Bron: Google Earth

© Ventolines

Behoudens hetgeen met de opdrachtgever is overeengekomen, mag niets uit deze rapportage worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Ventolines.

1. Samenvatting

Aan de hand van de uitgevoerde risicoanalyse is aangetoond dat voor de primaire waterkering, gelegen nabij de nieuw geplande windturbinelocaties¹ voor Windpark Piet de Wit, er geen sprake is van een noemenswaardige risicoverhoging als gevolg van de plaatsing van zeven windturbines en daarmee de waterveiligheid gewaarborgd blijft.

Er wordt ruim voldaan aan het in de risicoanalyse vastgestelde toetsingscriterium; *“het additioneel risico is kleiner dan 10% van de autonome faalfrequentie van de primaire waterkering”*, indien er sprake is van een restprofiel voor alle drie de faalscenario's en/of bij het hanteren van de gekozen project specifieke faalfrequenties welke als meer realistischer voor hedendaagse windturbines wordt beschouwd.

De nieuwe situatie verlaagt het risico aanzienlijk ten aanzien van de bestaande situatie, wanneer er geen sprake is van een restprofiel bij het volledig omvallen van een windturbine. Cumulatief beoordeeld is er op basis van de huidige situatie, binnen het van toepassing zijnde dijksegment, voldoende ruimte voor het vervangen van de huidige twaalf locaties voor zeven nieuwe locaties.

De analyse is uitgevoerd volgens de in Nederland gangbare methode voor het uitvoeren van risicoanalyses voor windturbines, één en ander conform het Handboek Risicozonering Windturbines [1].

¹ In de MER voor de opschaling van Windpark Piet de Wit bestaat het “voorkeursalternatief” (VKA) uit 7 windturbines. De risicoanalyse is uitgevoerd op basis van de windturbinelocaties volgens het voorkeursalternatief.

2. Inleiding

In opdracht van de initiatiefnemer - Windpark De Plaet BV - van het project opschaling Windpark Piet de Wit, heeft Ventolines BV een risicoanalyse “windturbines en primaire waterkering” uitgevoerd voor het plaatsen van 7 nieuwe windturbines, nabij de Buitendijk, tussen Sluishaven en Ooltgensplaat, welke onderdeel uitmaakt van het Dijkringgebied 25: Goeree-Overflakkee.

Voor de opschaling van het bestaande Windpark Piet de Wit is in navolging van de Waterwet een Watervergunning benodigd, omdat de nieuw geplande windturbinelocaties in de aangrenzende buitenbeschermingszone van een waterstaatwerk gepland zijn. Het bevoegd gezag in dezen is Waterschap Hollandse Delta.

Aan de hand van de uitgevoerde risicoanalyse is beoordeeld welk risico het bestaande en de nieuw geplande windturbines vormen voor de waterkerende functie van de aanwezige primaire waterkering, indien er sprake is van het falen van een windturbine of windturbineonderdeel.

Door middel van een kwantitatieve analyse is beoordeeld of de additionele faalfrequentie ten gevolge van het plaatsen van de windturbines kleiner is dan het voor de opschaling van Windpark Piet de Wit vastgestelde toetsingscriterium.

2.1 Leeswijzer

In hoofdstuk 3 is een korte omschrijving gegeven van de relevante kenmerken en uitgangspunten. Vervolgens is in hoofdstuk 4 de opzet van de risicoanalyse beschreven.

De voor de analyse gehanteerde uitgangspunten en aannames zijn beschreven in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 zijn de gehanteerde berekeningswijzen per faalscenario beschreven. Hoofdstuk 7 bevat de uiteindelijke uitwerking van de uitgevoerde analyse. De eindconclusie van de risicoanalyse is in hoofdstuk 8 beschreven.

3. Projectomschrijving Windpark Piet de Wit

Windpark De Plaet BV is voornemens om het bestaande Windpark Piet de Wit, bestaande uit een twaalfstal windturbines van het type Vestas V66 met een ashoogte van 67 meter, op te schalen met een nieuw type windturbine. In het MER voor de opschaling van Windpark Piet de Wit bestaat het “voorkeursalternatief” (VKA) uit 7 windturbines, met een maximale tiphoogte van 150 meter en een rotordiameter van minimaal 115 meter en maximaal 136 meter. In het MER en zo ook in deze risicoanalyse zijn voor de beoordeling van een onder- en bovenvariant van het VKA de navolgende windturbintypes beschouwd:

- (onder)variant: Enercon E-115 3.X MW rotordiameter 115 meter en ashoogte 92,5 meter
- (boven)variant: Vestas V136 3.X/4.X MW rotordiameter 136 en ashoogte 82 meter

Zowel de bestaande als de nieuw geplande windturbinelocaties zijn als lijnopstelling langs de aanwezige waterkering, welke onderdeel is van het Dijkkringgebied 25: Goeree-Overflakkee, gesitueerd. De middelpunten van de nieuw geplande windturbines bevinden zich op een afstand 60 à 63 meter ten opzichte van de binnendijkse grens van de kernzone.

In de navolgende afbeeldingen is de ligging van de bestaande en nieuw geplande windturbine-locaties weergegeven.



Afbeelding 1. Situering bestaande windpark Piet de Wit (bron: Google Earth)



Afbeelding 2. Situering locaties voorkeursalternatief opschaling windpark Piet de Wit (bron: MER)

Primaire waterkeringen

De nabijgelegen waterkering maakt onderdeel uit van de dijkkring 25: Goeree-Overflakkee. Dijkkring 25 wordt omsloten door de Noordzee, het Grevelingenmeer, het Volkerak-Zoommeer en het Haringvliet.



Afbeelding 3. Goeree-Overflakkee (dijkkringgebied 25) bron [3]

De bestaande en nieuw geplande windturbines zijn gesitueerd in het deel, waarbij de waterkering grenst aan het Volkerak-Zoommeer. Dit deel van dijkkring 25 betreft een categorie c-kering [2] [3], welke wordt afgesloten door een categorie b primaire waterkering. De kering is niet bestemd voor de directe kering van buitenwater. De voorliggende categorie b waterkering is de Grevelingendam (verbindende waterkering nummer 16) en de Philipsdam (verbindende waterkering nummer 17). Voor dit deel van de kering is een veiligheidsnorm van 1:300 jaar [4] van toepassing. Deze norm is vastgelegd in de Waterwet en houdt in dat de kering een hydraulische belasting met een kans van voorkomen van eens in de 300 jaar moet kunnen weerstaan. Op te merken is, is dat het een voormalige zeedijk betreft, welke voor zwaardere omstandigheden is ontworpen.

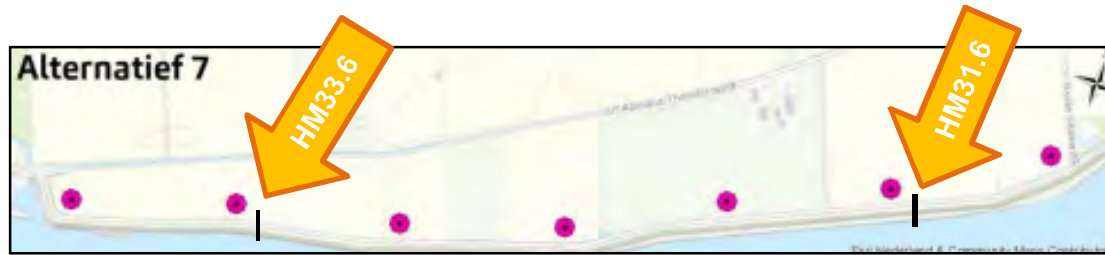
Het Volkerak-Zoommeer heeft een streefpeil onder normale omstandigheden welke varieert tussen de NAP -0,10 meter en NAP +0,15 meter. Vanaf 1 januari 2016 is er een waterakkoord [5] voor het Volkerak-Zoommeer afgesloten, voor het tijdelijk bergen van rivierwater bij extreme situaties. De voor deze nieuwe situatie gestelde hoogwaterstand is NAP +2.3 m NAP. De kans van voorkomen is gesteld op 1/1430 per jaar. [6]

In afbeelding 4, 5, 6, 7 en 8 zijn de dwarsprofielen ter plaatsen van HM31.6 en HM33.6 weergegeven [7] [8].

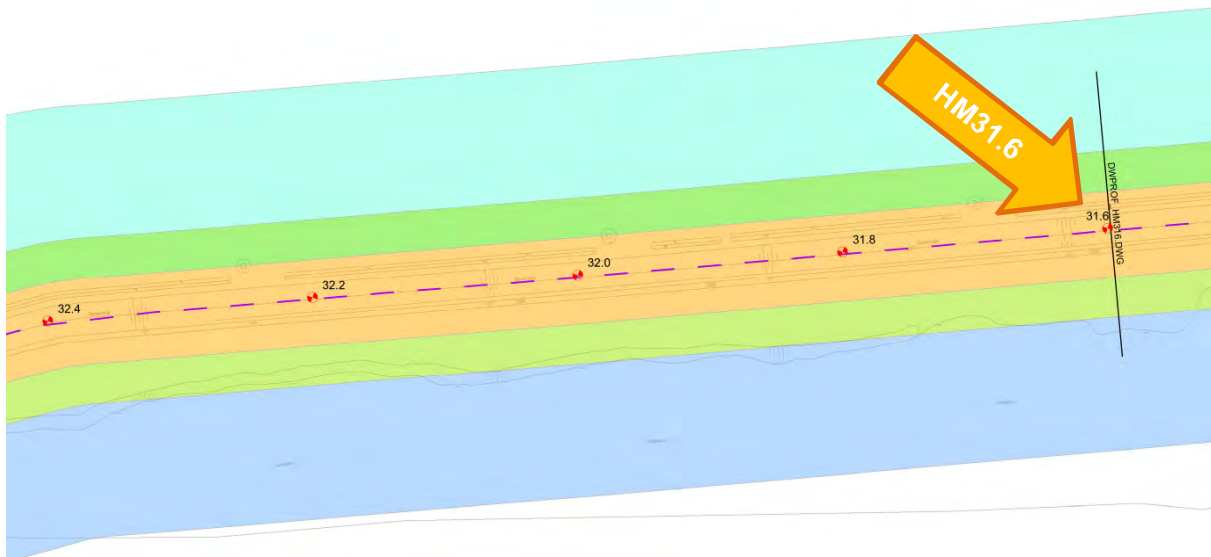
De kering ter plaatse van dwarsprofiel HM31.6 wordt gekenmerkt door een voorland van circa 20 a 25 meter en een kruinhoogte van circa NAP + 5,75 meter (dijktafelhoogte NAP + 3,75 meter). Buitenwaarts is de kering voorzien van beton en zowel buitenwaarts als binnenwaarts bekleed met klei. Ter hoogte van de waterlijn is er basalt en stortsteen aangebracht (niveau circa NAP +1,51 meter).

Ter plaatse van dwarsprofiel HM33.6 wordt de kering gekenmerkt door een buitenwaartse bekleding van klei, welke richting de waterlijn overgaat in een bekleding bestaande uit Koperslaktegels op gebroken grind en ter hoogte van de gemiddelde waterstand uit basalt en een steunberm van stortsteen. De kruinhoogte is circa NAP +5.86 meter (dijktafelhoogte NAP + 4,65 meter).

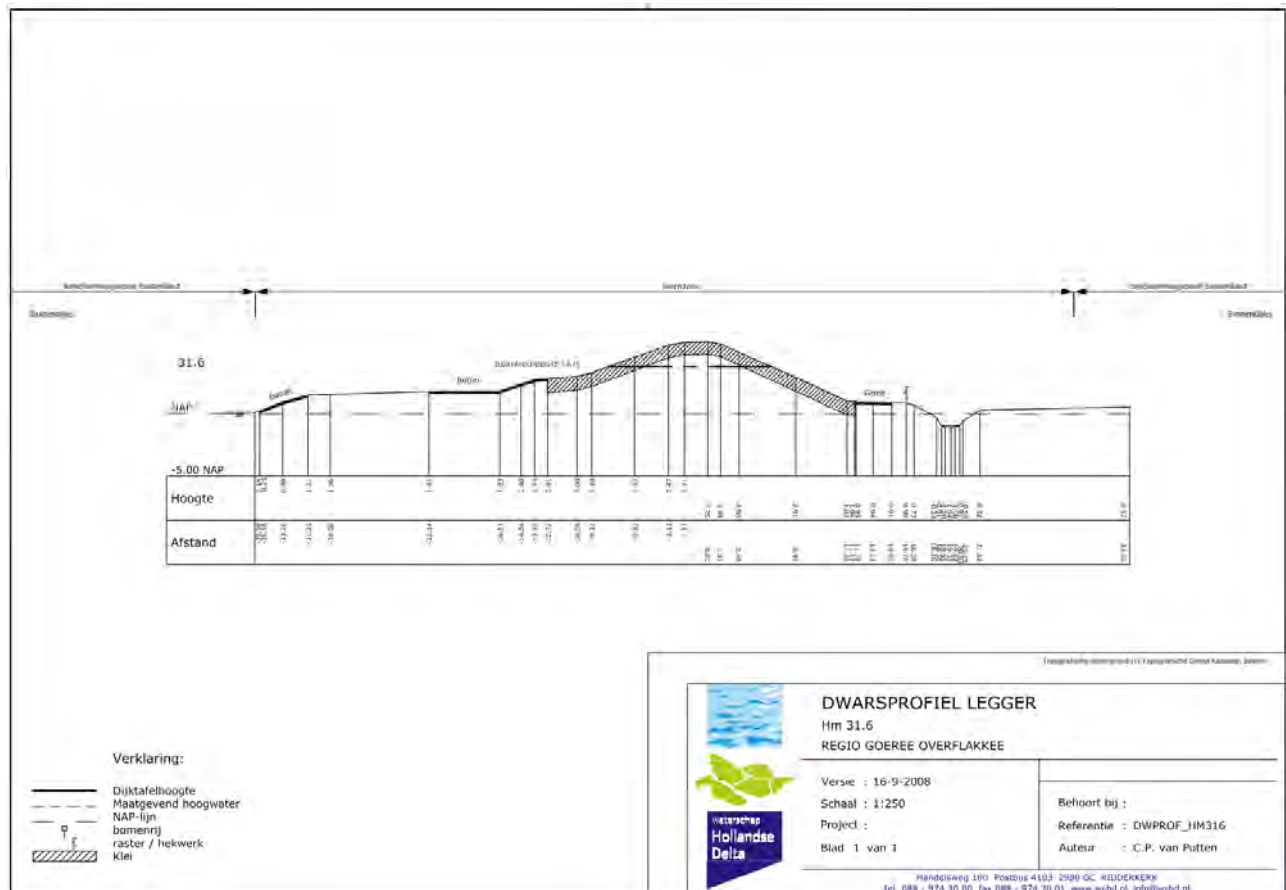
Ten behoeve van de risicoanalyse is dwarsprofiel HM33.6 aangehouden voor de bestaande en nieuw geplande windturbine locaties 1 t/m 4 en dwarsprofiel HM 31.6 voor de locaties 5, 6 en 7.



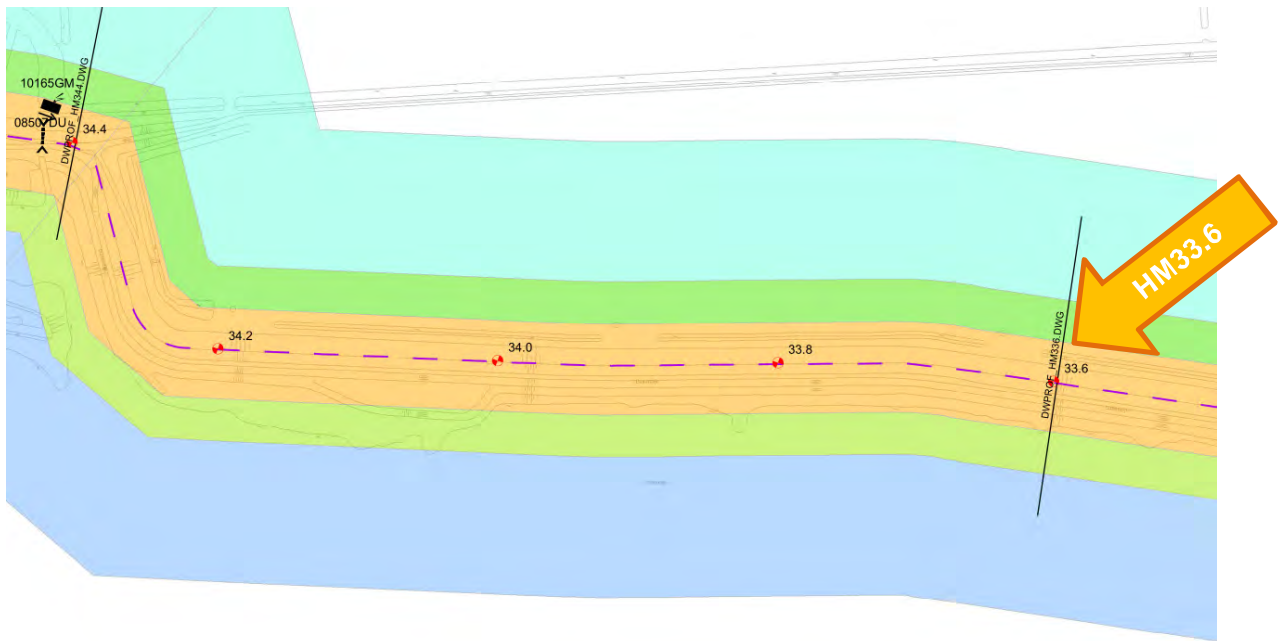
Afbeelding 4. Positie Dwarsprofiel HM31.6 & 33.6



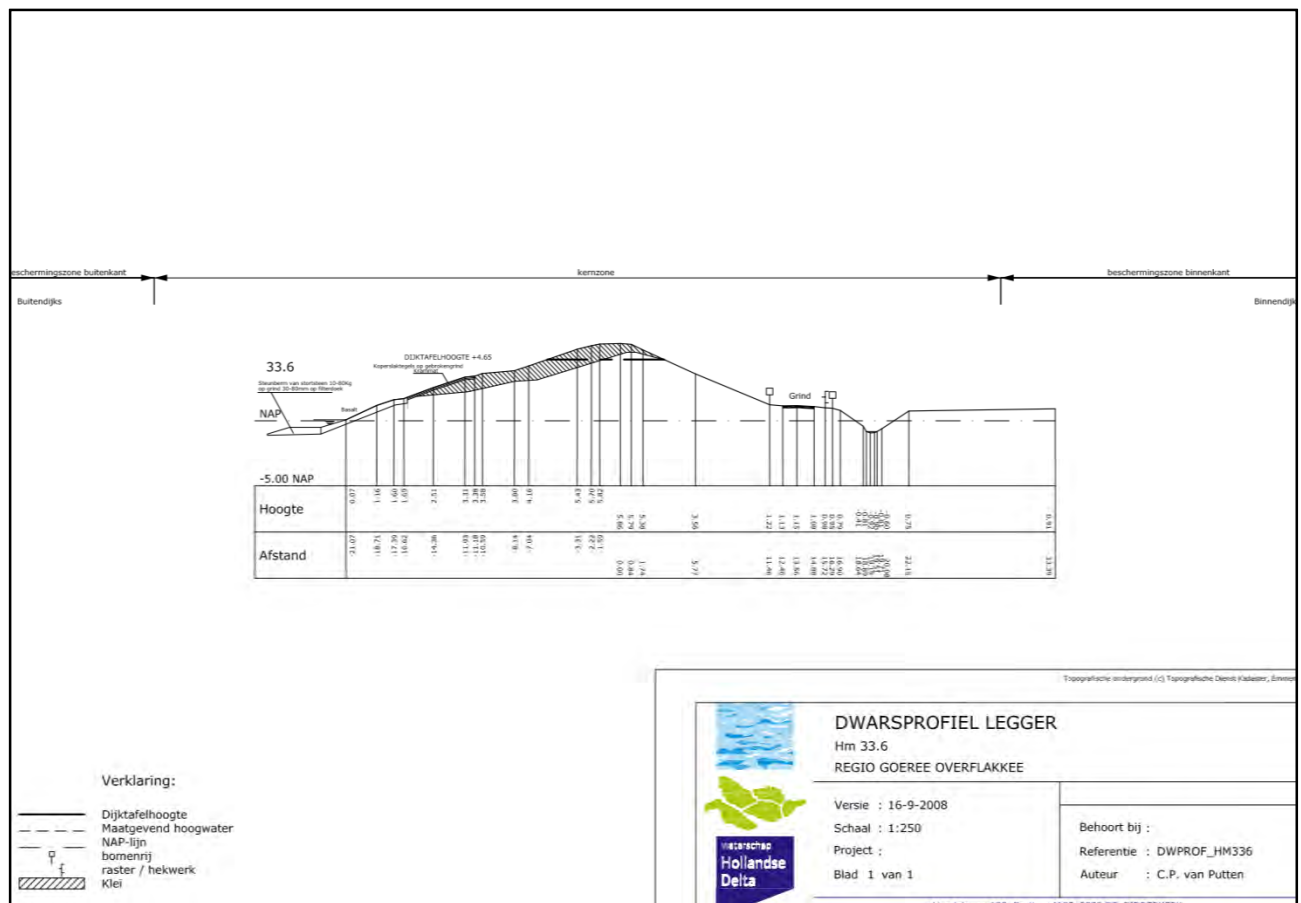
Afbeelding 5. Positie Dwarsprofiel HM31.6



Afbeelding 6. Dwarsprofiel legger Hm 31.6



Afbeelding 7. Positie Dwarsprofiel HM33.6



Afbeelding 8. Dwarsprofiel legger Hm 33.6

In onderstaande tabel zijn de voor de risicoanalyse relevante kenmerken weergegeven.

	Kenmerk
Type kering	Voormalige Zeedijk, categorie c, achter een verbindende b-kering (ook wel behorende tot de categorie Meren)
Toetspeil	NAP + 0.9 meter (kruin ligt circa 4,85 - 4,96 meter boven het toetspeil) [3]
Veiligheidsnorm	1/300 jaar [4]
Waterstanden	Waterpeil Volkerak-Zoommeer normale omstandigheden: NAP -0,10m en +0,15 meter Waterberging Volkerak-Zoommeer: maatgevende hoogwaterstand NAP +2,3 meter [5]
Bekleding	Buitenwaarts: ter plaatse waterlijn basalt en stortsteen ter plaatse teen beton of Koperslaktegels op gebroekengrind Binnenwaarts: HM 31.6 klei, circa 1,0 – 1,25 meter dik
Opbouw dijklichaam	Zand
Breedte kernzone	Circa 65 meter
Niveaus	Dijktafelhoogte profiel HM31.6: NAP +3,75 meter Dijktafelhoogte profiel HM31.6: NAP +4,65 meter Kruinhoogte profiel HM31.6: circa NAP +5,75 meter Kruinhoogte profiel HM33.6: circa NAP +5,86 meter Teen (overgang klei – beton) buitenwaarts profiel HM31.6: circa NAP +2,81 meter Teen (overgang klei – Koperslaktegels) buitenwaarts profiel HM33.6: circa NAP +3,38 meter Basalt profiel HM31.6: circa NAP +1,51 meter Basalt profiel HM33.6: circa NAP +1,69 meter
Afstanden t.o.v. windturbine-middelpunten	Middelpunt windturbine (WT) – grens kernzone binnenwaarts: WT1 circa 46 (havengebied) - 54 meter WT2 circa 51 meter WT3 circa 51 meter WT4 circa 51 meter WT5 circa 50 meter WT6 circa 50 meter WT7 circa 48 meter Middelpunt windturbine (WT) – insteek dijksloot: WT1 circa 50 meter WT2 circa 57 meter WT3 circa 58 meter WT4 circa 58 meter WT5 circa 58 meter WT6 circa 57 meter WT7 circa 52 meter Middelpunt windturbine – kruin: WT1 circa 76 (havengebied) - 84 meter WT2 circa 80 meter WT3 circa 80 meter WT4 circa 82 meter WT5 circa 80 meter WT6 circa 80 meter WT7 circa 78 meter Middelpunt windturbine – teen waterkering buitenwaarts: WT1 circa 84 (havengebied) - 92 meter WT2 circa 88 meter WT3 circa 90 meter WT4 circa 90 meter WT5 circa 89 meter WT6 circa 90 meter WT7 circa 87 meter Middelpunt windturbine – insteek basalt: WT1 circa 92 (havengebied) - 100 meter WT2 circa 97 meter WT3 circa 121 meter WT4 circa 94 meter WT5 circa 112 meter WT6 circa 112 meter WT7 circa 90 meter

Tabel 1. Relevante kenmerken

4. De risicoanalyse opzet

De opzet van de risicoanalyse is het kwantificeren van de additionele faalfrequentie als gevolg van de plaatsing van de windturbines en het effect op de autonome faalfrequentie van de primaire waterkering. De toetsing heeft dan ook plaatsgevonden op basis van faalfrequenties van de windturbines. Dit betekent dat de bijdrage aan de faalfrequentie, ten gevolge van de plaatsing van de windturbines, een fractie dient te zijn van de autonome faalfrequentie van de waterkering. Hier is sprake van als de faalkansbijdrage kleiner is dan het voor het project vastgestelde toetsingscriterium.

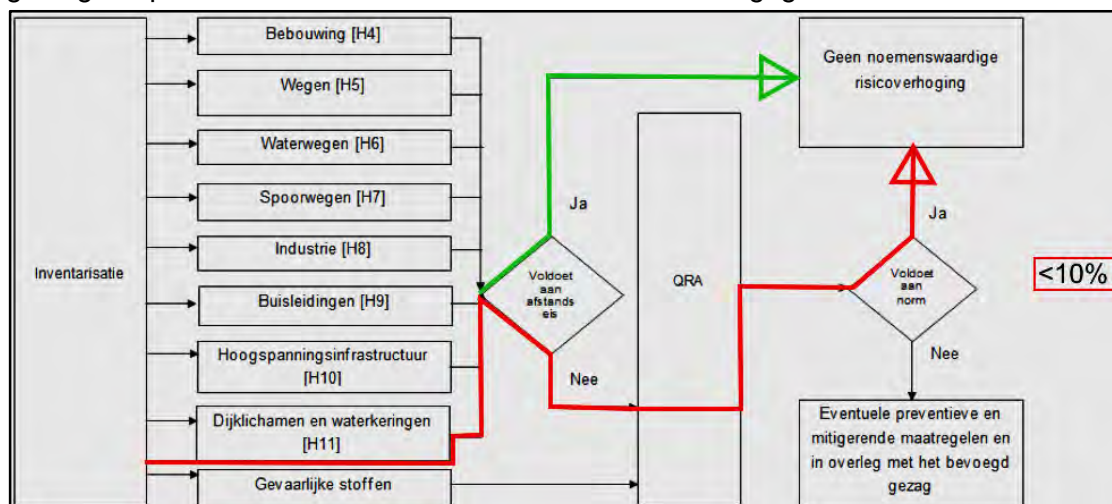
Als eerste is per windturbinelocatie, aan de hand van de maximale trefafstand (ook wel het maximale valbereik genoemd) van een falende windturbine of windturbineonderdeel, beoordeeld welke potentiële faalscenario's van toepassing zijn. Vervolgens is voor iedere individuele windturbine en voor elk van toepassing zijnde faalscenario de faalfrequentie bepaald. Tenslotte is per faalscenario de som van alle individuele faalfrequenties bepaald.

Wanneer de som van alle individuele faalfrequenties kleiner is dan het toetsingscriterium, is aangetoond dat de faalkansbijdrage door de geplande windturbines niet leidt tot een noemenswaardige risicoverhoging.

De uitgevoerde risicoanalyse is in lijn met de in Nederland gangbare methode voor risicoanalyses van windturbines, zoals deze is beschreven in het Handboek Risicozonering Windturbines 3^e geactualiseerde versie mei 2013 en herziende versie 3.1 september 2014, hierna te noemen 'het handboek'. Het handboek biedt een praktijkrichtlijn voor windturbines met een vermogen vanaf 1 MW om een kwantitatieve risicoanalyse op een eenduidige en consistente wijze te kunnen uitvoeren.

De totstandkoming van het handboek is in samenwerking gegaan met een klankbordgroep met daarin overheden en vertegenwoordigers van de belanghebbende partijen. Dit maakt het handboek tot een algemeen geaccepteerde methode voor het berekenen van risico's van windturbines. Een groot aantal Nederlandse windenergie-projecten zijn reeds vergund, waarbij een kwantitatieve risicoanalyse op basis van het handboek ten grondslag ligt, voorbeelden hiervan zijn: windturbines te Eemshaven, windpark Noordoostpolder, windpark Kreekraksluizen, Windpark Delfzijl Noord, windpark Haatlandhaven, windpark Krammer en windpark Battenoot.

Er is in de risicoanalyse gebruik gemaakt van de in het handboek weergegeven generieke waarden voor de faalfrequenties en de trefafstanden (gehele windturbine en gondelhuis) en werpafstanden (rotorblad). Naast de in het handboek weergegeven generieke faalfrequenties (per windturbine per jaar) zijn ook project specifieke faalfrequenties toegepast. In afbeelding 9 is de gevolgde opzet conform het handboek schematisch weergegeven.



Afbeelding 9. Schematische weergave gebruik van het handboek (bron: Handboek Risicozonering Windturbines herziende versie 3.1 september 2014)

5. Uitgangspunten risicoanalyse

5.1 Toetsingscriterium

Als toetsingscriterium wordt gehanteerd:

De additionele faalfrequentie van de geplande windturbines dient kleiner te zijn dan 10% van de autonome faalfrequentie van de primaire waterkering.

In deze rapportage wordt voor de “additionele faalfrequentie” de volgende definitie gehanteerd:

De faalkansbijdrage van alle geplande windturbines t.a.v. de autonome faalfrequentie van de primaire waterkering, welke tot stand komt door de som van alle individuele faalfrequenties per windturbine en per faalscenario.

In deze rapportage wordt voor de “autonome faalfrequentie” de volgende definitie gehanteerd:

Het verwachte aantal keren dat de primaire waterkering tekort schiet in het keren van een bepaalde waterstand wat kan leiden tot “overloop” of te grote “golfoverslag”, bij de situatie zonder windturbines (de wettelijke veiligheidsnorm van de waterkering).

De ratio achter het 10% criterium is tweeledig. Enerzijds ontbreekt vanuit de waterveiligheid een toetsregel of criterium om dit soort activiteiten te beoordelen. Om een beeld van de impact te krijgen wordt over het algemeen met 0,5 - 1% of 10% van de veiligheidsnorm² gewerkt. De keuze voor een toetsingscriterium wordt gemaakt op basis van expert judgement.

Het dijklichaam nabij de windturbinelocaties betreft een voormalige zeedijk, welke ten opzichte van de huidige situatie voor zwaardere omstandigheden is ontworpen. Het huidige toetspeil is bijvoorbeeld 4,9 meter lager dan de lokale kruinhoogte. In het project Veiligheid Nederland in Kaart (VNK) zijn de overstromingsrisico's voor de dijkkring 25 berekend [2] [9]. Daarbij zijn de categorie c keringen van dijkkring 25 in de beschouwing van de overstromingskans niet meegenomen. In de VNK rapportage voor dijkkring 25 zijn hiervoor de volgende aannames gehanteerd:

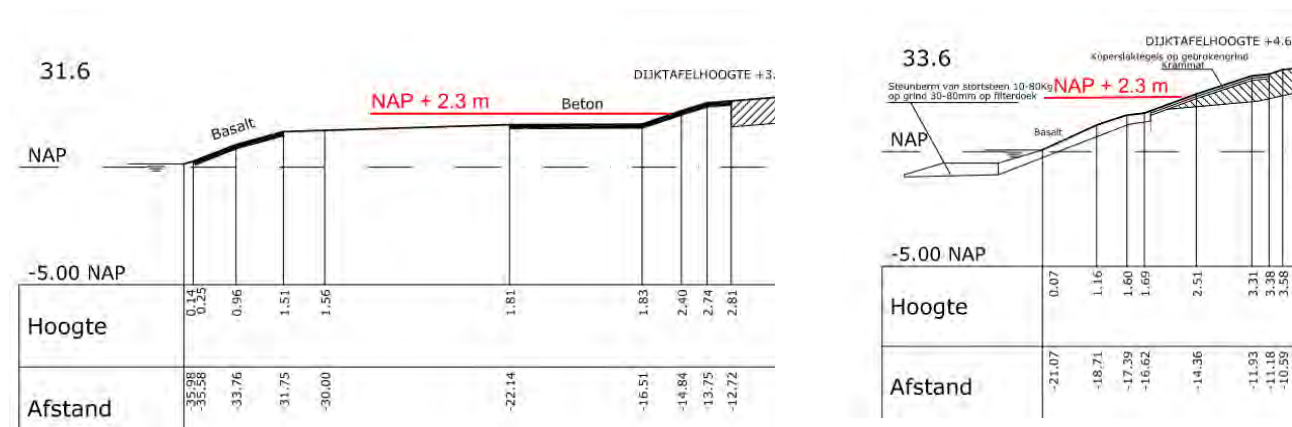
- Er zijn primaire waterkeringen van categorie b waarbij bresvorming niet waarschijnlijk is en waar een grote berging aanwezig is. Hierdoor heeft een doorbraak geen merkbare invloed op de hydraulische randvoorwaarden van het achterliggende water. Het Volkerak-Zoommeer achter de Philipsdam en Grevelingendam is een voorbeeld hiervan. Aangenomen wordt dat vanwege het gedrag van deze verbindende waterkeringen deze niet in de berekening van de overstromingskans van de achterliggende dijkkringgebieden hoeven te worden betrokken.
- Primaire waterkeringen van categorie c, die bespoeld zijn, d.w.z. waar water tegenaan staat, zijn onder normale omstandigheden veilig en hebben in die situatie een verwaarloosbare bijdrage aan de faalkans. Dit is het geval voor alle categorie c waterkeringen van dijkkring 25.
- Primaire waterkeringen van categorie c hebben een verwaarloosbare faalkans als het gaat om oude zeedijken. Dit geldt ook voor de oude kunstwerken in deze zeedijken.

² De wettelijke veiligheidsnorm van een waterkering is niet gelijk aan de faalkans van een primaire waterkering. De wettelijke veiligheidsnorm wordt aangegeven als de norm-overschrijdingskans per jaar van de hoogste hoogwaterstand. De norm-overschrijdingskans heeft enkel betrekking op de kans op overstroming door het overschrijden van een bepaalde waterstand die kan leiden tot “overloop” of te “grote golfoverslag”. Echter het falen (bezwijken) van een waterkering wordt uitgedrukt in de overstromingskans ofwel de kans op overstroming van de waterkering. Door in de onderliggende risicoanalyse de wettelijke veiligheidsnorm gelijk te stellen aan de faalkans van de primaire waterkering is er sprake van een conservatieve aanname. De werkelijke faalfrequentie van de aanwezige primaire waterkering zal vele malen kleiner zijn.

Verondersteld wordt dat de kans, dat de verbindende waterkering faalt en de oude zeedijken + kunstwerken falen, niet bijdraagt aan de overstromingskans van het dijkringgebied. De dijken achter de verbindende waterkering zijn per slot van rekening ontworpen in een tijd dat de betreffende kering er nog niet was. Ze zijn dus voor zwaardere omstandigheden ontworpen. Ook dit geldt voor alle categorie c waterkeringen in dijkring 25.

Vanwege de lokale situatie; een c-kering (voormalige zeedijk) met lokaal een breed stuk buitenberm, een grote overhoogte en de van toepassing zijnde afstanden, wordt 10% van de huidige veiligheidsnorm op basis van expert judgement als voldoende beschouwd. Voor het deel waar de windturbines gepland zijn, is er sprake van een robuuste waterkering en beperkte hydraulische belastingen. Dit biedt de ruimte om een 10% criterium te handhaven, omdat de kans op overstroming en daarmee het falen van de waterkering voor het projectgebied zeer klein is. Het reserveren van een deel van de faalkansruimte ten behoeve van de windturbines is aanvaardbaar zonder dat de faalkans (kans op een overstroming) van de waterkering groter wordt dan de veiligheidsnorm.

Opgemerkt wordt dat naar aanleiding van het waterakkoord in 2016 het Volkerak-Zoommeer in extreme situatie als waterberging van het achterliggend rivierenland kan fungeren. Volgens de beschikbare gegevens [6] zal er sprake zijn van een maatgevende hoogwaterstand van NAP +2,3 meter. De kans van optreden is gesteld op $1/1430^e$ per jaar. Zoals in afbeelding 10 is weergegeven, wordt bij een dergelijke waterstand de kern van de dijkconstructie niet bereikt. Ondanks de kans op voorkomen van een hogere waterstand van NAP +2.3 meter is er nog steeds sprake van een robuuste waterkering en beperkte hydraulische belastingen.



Afbeelding 10. Maximale waterstand NAP + 2.3 meter

Anderzijds wordt het 10% criterium ook in het handboek gebruikt, onder andere voor gevaarlijke stoffen; "Als uitgangspunt wordt een risico toename tot 10% geaccepteerd. Dit is een additioneel risico dat over het algemeen door de markt toelaatbaar wordt geacht". Dit heeft ook te maken met het feit dat men bij risicoanalyses te maken heeft met nauwkeurigheidsmarges, waardoor er een bepaalde onzekerheidsruimte rond de (toets-)waarde bestaat. Een additionele faalfrequentie lager dan 10% van de autonome faalfrequentie van de primaire waterkering geeft aan dat het effect van de additionele faalfrequentie beperkt is.

Opgemerkt wordt dat het 10% criterium ook recent is toegepast bij soortgelijke windenergieprojecten, met een vergelijkbare situatie in relatie tot een nabijgelegen primaire waterkering, bijvoorbeeld voor het windpark Noordoostpolder [10], windpark Krammer [11] en windpark Battenloort [12].

De voor deze kering van toepassing zijnde wettelijke veiligheidsnorm is $1/300$ jaar ($3,33 \cdot 10^{-3}$). Het 10% toetsingscriterium is: **Additionele faalfrequentie waterkering $< 3,33 \cdot 10^{-3}$ per jaar**

5.2 Windturbine

In de risicoanalyse zijn de navolgende relevante hoofdkenmerken van de windturbine als uitgangspunten aangehouden:

Bestaande windturbines:

- Leverancier : Vestas
- Type : V66
- Nominaal vermogensklasse : 1,75 MW
- Aantal windturbinelocaties : 12
- Ashoogte : circa 67 meter (t.o.v. bovenkant fundament)
- Rotordiameter : 66 meter
- Maximale tiphoogte : 100 meter (t.o.v. bovenkant fundament)
- IEC windklasse : II

Nieuwe windturbines (onder)variant VKA:

- Leverancier : Enercon
- Type : E115
- Nominaal vermogensklasse : 3.2 MW
- Aantal windturbinelocaties : 7
- Ashoogte : circa 92,5 meter (t.o.v. bovenkant fundament)
- Rotordiameter : 115 meter
- Maximale tiphoogte : 150 meter (t.o.v. bovenkant fundament)
- IEC windklasse : II

Nieuwe windturbines (boven)variant VKA:

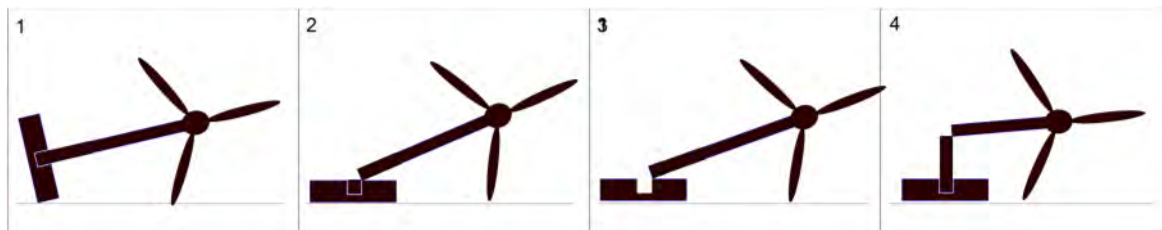
- Leverancier : Vestas
- Type : V136
- Nominaal vermogensklasse : 3.45 MW of 4.2MW
- Aantal windturbinelocaties : 7
- Ashoogte : circa 82 meter (t.o.v. bovenkant fundament)
- Rotordiameter : 136 meter
- Maximale tiphoogte : 150 meter (t.o.v. bovenkant fundament)
- IEC windklasse : II

5.3 Faalscenario's windturbine

Conform het handboek worden de volgende faalscenario's voor de windturbine onderscheiden:

1. Het geheel omvallen van de windturbine

De onderstaande afbeeldingen symboliseren de faalmechanismen welke kunnen leiden tot het faalscenario; "het geheel omvallen van de windturbine".



- 1) het bezwijken van het gehele windturbinefundament.

Opgemerkt wordt dat in het verleden dergelijke incidenten zich enkel hebben voorgedaan bij windturbines welke gefundeerd waren "op staal". Er zijn geen vergelijkbare incidenten bekend met een windturbine gefundeerd op een paalfundatie, zoals bij windpark Piet de Wit zal worden toegepast.

- 2) het bezwijken van de mechanische verbinding: verankering fundament en toren.

Opgemerkt wordt dat een gedegen onderhouds- en inspectieprogramma het eventuele risico op het falen van een mechanische verbinding drastisch reduceert of uitsluit. Bij in het verleden opgetreden incidenten is gebleken dat het bezwijken van een mechanische verbinding vaak het gevolg is van slechte montage en/of onderhoud en/of een falend inspectieprogramma en dus voorkomen had kunnen worden indien een gedegen onderhouds- en inspectieprogramma wél was nageleefd.

- 3) het bezwijken van de verankering in het fundament.

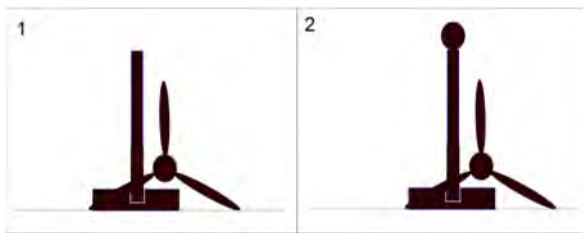
Opgemerkt wordt dat voor zover bekend de oorzaak van in het verleden opgetreden incidenten overwegend het gevolg waren van het niet naleven van de bouwvoorschriften en/of de aan de uitvoering van het fundament gestelde eisen. Overige bekende incidenten waren voornamelijk ten gevolge van het optreden van extreme omstandigheden waardoor ontwerpbelastingen werden overschreden. In Nederland zijn, zover bekend, geen windturbines omgevallen ten gevolge van het bezwijken van de verankering in het fundament.

- 4) het bezwijken van een torendeel.

Opgemerkt wordt dat bij het bezwijken van een torendeel er geen sprake is van het geheel omvallen van de windturbine, maar een deel van de windturbine. De trefafstand van het omgevallen deel is hiermee kleiner.

2. Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor

De navolgende afbeeldingen symboliseren de faalmechanismen welke kunnen leiden tot het faalscenario; "het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor".

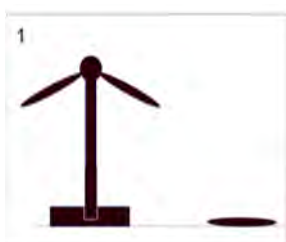


- 1) het bezwijken van de mechanische verbinding tussen de toren en het gondelhuis. Hierdoor valt het gondelhuis als geheel naar beneden, inclusief rotor.
- 2) het bezwijken van de mechanische verbinding tussen het gondelhuis en de rotor. Hierdoor valt de rotor naar beneden.

Opgemerkt wordt dat een gedegen onderhouds- en inspectieprogramma het eventuele risico op het falen van een mechanische verbinding drastisch reduceert of uitsluit. Bij in het verleden opgetreden incidenten is gebleken dat het bezwijken van een mechanische verbinding vaak het gevolg is van slechte montage en/of onderhoud en/of een falend inspectieprogramma en dus voorkomen had kunnen worden indien een gedegen onderhouds- en inspectieprogramma wél was nageleefd.

3. Het afbreken van een rotorblad

De onderstaande afbeelding symboliseert het faalmechanisme welke kan leiden tot het faalscenario; "het afbreken van een rotorblad".



- 1) het bezwijken van de mechanische verbinding tussen de naaf en het rotorblad. Hierdoor kan het rotorblad worden afgeworpen. Of een rotorblad wordt weggeworpen en welke afstand het aflegt is afhankelijk van diverse omstandigheden. Breekt bijvoorbeeld het rotorblad af in een stilstand situatie, of bij nominaal toerental of bij overtoeren. In dit laatste geval is de kans groot dat het blad wordt weggeslingerd en kan het de grootste afstand overbruggen. In het handboek wordt daarom onderscheid gemaakt tussen werpafstanden in het geval van nominaal toerental en bij overtoeren.

4. Het naar beneden vallen van kleine onderdelen of stukken ijs

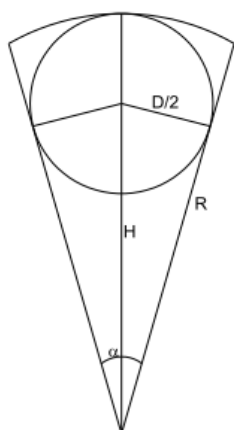
Er is een -zeer beperkte- risico dat kleine onderdelen(bouten, beschermingskappen, e.d.) loskomen en naar beneden vallen. Tevens is onder bepaalde condities het risico aanwezig dat er ijsvorming optreedt, wat naar beneden kan vallen. Omdat dergelijke kleine onderdelen of stukken ijs geen schade aan een kering kunnen geven en daarmee een risico voor de standzekerheid van de waterkerende functie van de waterkering kunnen vormen, wordt het scenario "het naar beneden vallen van kleine onderdelen of stukken ijs" in de risicoanalyse niet verder beschouwd.

5.4 Trefafstand faalscenario's windturbine

Per locatie is in de analyse aan de hand van de maximale trefafstand beoordeeld of een windturbine locatie een risico zou kunnen vormen voor de waterkerende functie van de primaire waterkering. Bij een grotere afstand dan de maximale trefafstand is het falen van een windturbine of windturbineonderdeel niet relevant voor de waterkerende functie van de primaire waterkering.

Het geheel omvallen van de windturbine

De maximale trefafstand voor het faalscenario; "het geheel omvallen van de windturbine" is in navolging van het handboek gelijk aan de tiphoogte. De tiphoogte is de som van de ashoogte plus een halve rotordiameter, zie onderstaande afbeelding 11.



$$R : H + D/2 \text{ [m]}$$

$$D : \text{diameter van de rotor [m]}$$

$$H : \text{ashoogte [m]}$$

Afbeelding 11. Tiphoogte (bron: het handboek)

Voor de risicoanalyse is voor de bestaande windturbines een maximale tiphoogte van **100 meter** ($H+D/2 = 67+66\text{m}/2$) en voor de nieuw te plannen windturbines een maximale tiphoogte van **150 meter** ($H+D/2 = 92,5+115\text{m}/2$ of $82 + 136\text{m}/2$) gehanteerd.

Opgemerkt wordt dat het aanhouden van de tiphoogte een conservatieve aanname betreft, omdat:

- Bij het bezwijken van een torendeel er geen sprake is van het geheel omvallen van de windturbine, maar een deel van de windturbine. De trefafstand van het omgevallen deel is hiermee, zoals ook in voorgaande paragraaf aangegeven, kleiner.
- De rotorbladen van de bestaande en nieuwe windturbine bestaan uit composiet materiaal (vezel versterkt materiaal/glasvezel). Bij het geheel omvallen van een windturbine zal dit deel over het grootste gedeelte vervormen en/of verbrijzelen. De impactschade zal over deze zone daardoor beperkt zijn. Impactschade zal dan ook voornamelijk ten gevolge van de torendelen en het gondelhuis ontstaan. De maximale trefafstand is in het geval van de bestaande windturbines circa 69 meter en voor de nieuwe windturbines met een ashoogte van 82 meter circa 86 meter en met een ashoogte van 92,5 meter circa 96,5 meter.

Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor

De maximale trefafstand voor het faalscenario; "het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor" is in navolging van het handboek gelijk aan de halve rotordiameter. Voor de risicoanalyse is als maximale waarde voor de bestaande windturbines **33 meter** ($D/2 = 66\text{m}/2$) en voor de nieuw te plannen windturbines **57,5 meter** ($D/2 = 115\text{m}/2$) en **68 meter** ($D/2 = 136\text{m}/2$) aangehouden.

Het afbreken van een rotorblad

Voor de maximale trefafstand voor het faalscenario; "het afbreken van een rotorblad" zijn ten behoeve van de risicoanalyse de volgende conservatieve aannames gedaan:

- Er wordt uitgegaan van de situatie: "overtoeeren". Er wordt geen onderscheid gemaakt onder welke omstandigheid (toerental) een rotorblad faalt.

Overtoeeren betreft de situatie waarbij alle veiligheidssystemen van de windturbine falen en daardoor de rotor niet meer kan worden afgeremd. Op het moment dat deze situatie optreedt bij een voldoende hoge windsnelheid kan de rotor van een windturbine in overtoeren geraken, dit kan leiden tot het bezwijken van de rotor en/of rotorblad(en).

Als maximale trefafstand wordt voor de bestaande windturbines een maximale werpafstand van **519 meter** ten opzichte van het windturbinemiddelpunt aangehouden. Deze waarde is in overeenstemming met de generieke waarde van het handboek voor de 2.000 kW vermogensklasse voor IEC klasse II locaties en een 80 meter ashoogte, zie onderstaande afbeelding.

Voor de nieuw te plannen windturbines wordt als maximale trefafstand een maximale werpafstand van **667 meter** ten opzichte van het windturbinemiddelpunt aangehouden. Deze waarde is in overeenstemming met de generieke waarde van het handboek voor de 4.000 kW vermogensklasse voor IEC klasse II locaties en een 120 meter ashoogte, zie onderstaande afbeelding. Deze aanname is voor zowel de onder- als (boven)variant met een ashoogte $\leq 92,5$ meter en nominaal vermogen klasse van 3.X MW een conservatieve aanname.

IEC1										
Turbine type	WT1000		WT2000		WT3000		WT4000		WT5000	
Vermogen [kW]	1000		2000		3000		4000		5000	
Ashoogte [m]	60	80	80	100	90	120	90	120	100	120
Max Werpafstand [m]										
Bij nominaal toerental	131	143	158	170	176	193	186	204	202	214
Bij overtoeren	389	406	457	473	507	531	543	568	585	602

IEC2										
Turbine type	WT1000		WT2000		WT3000		WT4000		WT5000	
Vermogen [kW]	1000		2000		3000		4000		5000	
Ashoogte [m]	60	80	80	100	90	120	90	120	100	120
Max Werpafstand [m]										
Bij nominaal toerental	142	155	175	187	198	216	213	231	233	245
Bij overtoeren	430	447	519	536	588	613	641	667	699	716

Afbeelding 12 generieke waarden voor werpafstanden (bron: het handboek)

5.5 Faalfrequentienorm

De risicoanalyse is voor de bestaande en nieuwe windturbines per faalscenario, zowel op basis van de generieke faalfrequenties conform het handboek, als op basis van project specifieke faalfrequentie uitgevoerd.

Faalfrequentienorm conform het handboek

De volgens het handboek vastgestelde generieke faalfrequentiefrequentie is per faalscenario in het navolgende overzicht weergegeven.

Faalscenario	Norm
1. Het geheel omvallen van de windturbines	$p \leq 1.3 \cdot 10^{-4}$
2. Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor	$p \leq 4.0 \cdot 10^{-5}$
3. Het afbreken van een rotorblad	$p \leq 8.4 \cdot 10^{-4}$

Kanttekening Handboek Risicozonering Windturbines

Het Handboek Risicozonering Windturbines, bevat richtlijnen voor het uitvoeren van een risicoanalyse voor windturbines. Het handboek wordt voor Nederlandse onshore windenergieprojecten als een algemeen geaccepteerde richtlijn beschouwd voor de uitvoering van een risicoanalyse voor windturbines, indien deze onderdeel uitmaakt van een vergunningsaanvraag.

De in het handboek gehanteerde generieke faalfrequenties zijn gebaseerd op een historie van windturbines tot 2000 en voor stalen torenconfiguraties. Echter de ontwikkeling van windturbineontwerpen en de normen en richtlijnen voor het ontwerpen, testen, certificeren en produceren van windturbines (IEC-61400 serie) heeft de laatste jaren een grote innovatie doorgemaakt, waardoor terecht de vraag kan worden gesteld of de gegevens van vóór het jaar 2000 nog representatief zijn voor de hedendaagse windturbines.

Door de introductie van nieuwe en het aanscherpen van bestaande normen en richtlijnen voor het ontwerpen, testen, certificeren en produceren van windturbines is het aannemelijk om te veronderstellen dat voor moderne windturbines lagere faalfrequenties van toepassing zijn, dan de in het Handboek Risicozonering Windturbines 2^e geactualiseerde versie januari 2005 aanbevolen generieke waarden op basis van gegevens vóór het jaar 2000. Meerdere instituten/partijen hebben eerder op basis van het Handboek Risicozonering Windturbines 2^e geactualiseerde versie januari 2005 een soortgelijke conclusie getrokken. Op basis hiervan heeft men geadviseerd om meer realistische faalfrequenties te hanteren en/of project specifieke faalfrequenties toe te passen.

In 2013 is het handboek geactualiseerd. Opmerkelijk is dat de generieke rekenwaarden voor de faalfrequenties, met uitzondering voor het faalscenario “naar beneden vallen gondelhuis”, niet zijn gewijzigd ten opzichte van de januari 2005 versie.

DNV KEMA heeft in 2011 in opdracht van Gasunie en TenneT een onderzoek verricht naar risicovolle incidenten van windturbines. De resultaten van dit onderzoek zijn overgenomen in de geactualiseerde versie van het handboek (bijlage A van het handboek).

Er is in dit onderzoek voornamelijk vergeleken of de resultaten, welke gevonden zijn aan de hand van het analyseren van een drietal bronnen, overeenkomen met de verwachtingswaardes uit het handboek versie 2005. In de geactualiseerde versie van het handboek is aangegeven:

“Momenteel worden juist veel windturbines met een vermogen van minimaal 2 MW geplaatst. Bij

het bouwen van moderne windturbines wordt steeds meer aandacht besteed aan veiligheid. In de studie naar faalfrequenties is onderzocht of de faalfrequenties van moderne windturbines afwijken van de faalfrequenties die in het Handboek van 2005 zijn gehanteerd. Nieuwe faalstatistieken van moderne windturbines moeten uitwijzen of - en zo ja, hoeveel - de faalkansen daadwerkelijk kleiner zijn.”

Ondanks de actualisatie van het handboek, kan nog steeds gesteld worden dat de gehanteerde generieke faalfrequenties niet actueel -en daarmee tevens niet representatief en hanteerbaar- zijn voor het voor windpark Piet de Wit geplande windturbintype. Deze constatering kan vanuit het handboek worden gesteld omdat:

- veel van de geraadpleegde databases onvolledig zijn en/of de betrouwbaarheid onvoldoende is aangetoond.

In bijlage A van het handboek zijn de volgende opmerkelijke opmerkingen gemaakt:

“Opvallend is dat faalgegevens van windturbines niet centraal worden bijgehouden: er bestaan geen (openbare) wetenschappelijke databases die incidenten met windturbines of windturbineonderdelen registreren.”

“Ook veel van de kennisinstituten, windturbinefabrikanten, onderhoudsbedrijven en verzekeringsmaatschappijen die DNV KEMA heeft benaderd konden of wilden geen faalgegevens van moderne windturbines leveren. Deze informatie wordt als vertrouwelijk en concurrentiegevoelig beschouwd.”

“Een database die wel openbaar beschikbaar is, is de Caithness Windfarm database. Deze uitgebreide database wordt bijgehouden door tegenstanders van windenergie. Hoewel niet alle referenties die de database gebruikt te achterhalen zijn, wordt deze database ook aangewend door andere partijen die de risico's van windturbines in kaart willen brengen.”

- er onvoldoende wordt aangetoond of de generieke waarden representatief zijn voor moderne windturbines in de vermogensklasse > 1,0MW

In bijlage A van het handboek zijn de volgende opmerkelijke opmerkingen gemaakt:

“Opvallend is dat de gefaalde windturbines zonder uitzondering oudere windturbines zijn. De gefaalde windturbines zijn geplaatst in de jaren '90 met vermogens kleiner of gelijk aan 1 MW. Er zijn geen faalincidenten met turbines groter dan 1 MW gevonden, maar er zijn ook maar een beperkt aantal van deze categorie geplaatst.”

“De database geeft slechts in een enkel geval aan om welk turbintype het gaat. In deze database zijn dan ook incidenten van oude turbintypes meegenomen, zonder dat een splitsing kan worden gemaakt tussen oude en moderne windturbines.”

“Omdat de Caithness database alle windturbintypen weergeeft (groter en kleiner dan 1 MW) worden deze faalfrequenties als conservatief beschouwd voor moderne windturbines.”

- het gehanteerde totaal aan bedrijfsjaren, wordt als onvoldoende beschouwd voor de representatieve windturbintypen (3.X of 4.X MW vermogensklasse).

Samengevat kan gesteld worden dat de in het handboek gehanteerde generieke waarden, als niet representatief zijn te beschouwen voor het voor windpark Piet de Wit geplande windturbintype. Het is aannemelijk om te veronderstellen dat, in het bijzonder voor de faalscenario's; “het geheel

omvallen van de windturbines” en “het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor”, lagere faalfrequenties van toepassing zijn.

Faalfrequentienorm project specifiek

Vanwege de voorgaande beschreven kanttekeningen is de risicoanalyse voor de nieuw geplande windturbines ook aan de hand van project specifieke faalfrequenties doorgerekend, welke als meer representatief worden beschouwd voor moderne windturbines, zoals de ENERCON E115 of een Vestas V136. Op basis van expert judgement en eerdere vergelijkbare uitgevoerde risicoanalyses zijn de aangehouden project specifieke faalfrequenties in het onderstand overzicht weergegeven.

Faalscenario	Norm
1. Het geheel omvallen van de windturbines	$p \leq 1.0 \cdot 10^{-5}$
2. Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor	$p \leq 1.0 \cdot 10^{-5}$
3. Het afbreken van een rotorblad	$p \leq 1.0 \cdot 10^{-4}$

5.6 Kritische strook en trefsector

Het falen van een windturbine of windturbineonderdeel betekent niet direct dat er sprake is van een risico voor de waterkerende functie van de waterkering.

Het risico op falen is onder meer afhankelijk van de trefafstand en de wijze van neerkomen van een windturbine of windturbine-onderdeel. Andere aspecten die een rol spelen zijn; situering, opbouw/constructie en de robuustheid en daarmee aanwezige overdimensionering (marge) van de waterkering en de omstandigheden tijdens het falen (o.a. waterstand). Om aan de afhankelijkheden (trefafstand en wijze van neerkomen) invulling te geven is er ten behoeve van de risicoanalyse een kritische strook voor de waterkering en een trefsector per windturbine gedefinieerd.

Kritische strook

Als kritische strook is een 20 meter brede strook ten opzichte van de kruin van de waterkering aangenomen. De ratio achter de 20 meter is dat hiermee ten minste het functionele deel van de kruin wordt ondervangen.

Wanneer een windturbine of windturbineonderdeel de kritische strook treft, wordt aangenomen dat afhankelijk van het optredende faalscenario, er sprake is van het onmiddellijk falen of op het punt staan van falen van de waterkering ($P_{(kritische\ strook)}$). In het laatste geval is er schade ontstaan aan de kruin van de primaire waterkering, maar is er nog een restprofiel aanwezig welke nog een bepaalde waterstand kan keren. In dat geval is er nog sprake van een bepaalde responstijd tot herstel.

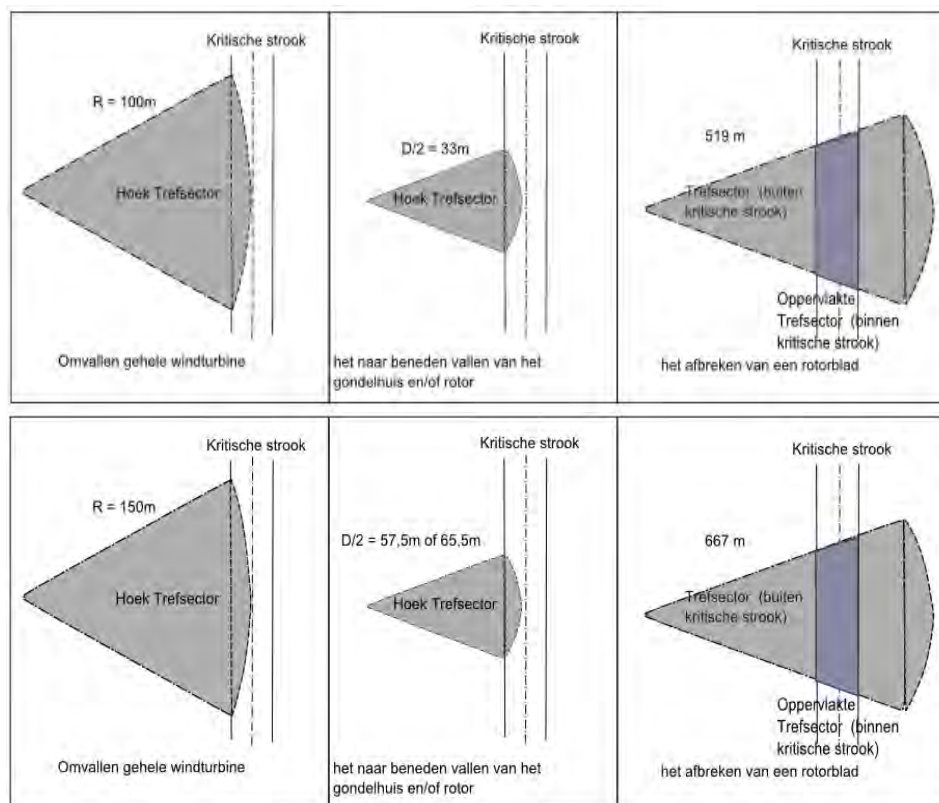
Trefsector

Ten behoeve van de risicoanalyse is, zowel voor de bestaande als voor de nieuwe locaties, per windturbinelocatie en faalscenario de trefsector bepaald. De trefsector betreft het gebied waar een falende windturbine of windturbineonderdeel kan neerkomen en daarbij een schade kan veroorzaken, welke een mogelijk risico vormt voor de waterkerende functie van de waterkering.

De kans dat een windturbine of een windturbineonderdeel in de trefsector terecht komt is:

$$P_{(trefsector)} = \text{Hoek trefsector} / 360^\circ$$

De grootte van een trefsector is per windturbinelocatie bepaald aan de hand van de trefafstand en het snijpunt met de kritische zone.



Abbeelding 13. het principe van de trefsector per faalscenario, bestaande windturbines en nieuw geplande windturbines

Bij het faalscenario; “omvallen gehele windturbine” is er, zowel in de bestaande situatie als voor de nieuwe situatie, een grote kans op een aanzienlijke beschadiging van de waterkering. De waterkerende functie van de waterkering kan dan niet meer worden gegarandeerd. Zoals voorgaande reeds is omschreven is de werkelijke valbereik afhankelijk van het type afwijking welke is opgetreden (geheel of deels bezwijken van de toren) en de exacte valrichting. Schade aan de kering zal voornamelijk plaatsvinden ten gevolgen van de massa van het gondelhuis.

In het geval van de bestaande situatie is het valbereik van het gondelhuis tot over of tot aan de bekleding ter hoogte van de waterlijn. Ten behoeve van de bestaande situatie wordt uitgegaan van een mogelijke schade aan de bekleding ter plaatse van de waterlijn en er geen sprake is van een restprofiel, dus falen van de kering. Deze aanname is conservatief. De bestaande windturbines betreft een lichtere klasse windturbine (vermogen-klasse < 2MW), met een lager kopgewicht en ashoogte. Het is namelijk aannemelijk dat er altijd sprake zal zijn van enig restprofiel, zie navolgende paragraaf met betrekking tot restprofiel en responsetijd.

In het geval van de nieuwe situatie is voor de (boven)variant het valbereik van het gondelhuis tot over of tot aan de bekleding ter hoogte van de waterlijn, uitzondering hierop is locatie 3 vanwege het extra stuk voorland. Voor de (onder)variant is het valbereik van het gondelhuis over de kruin, maar niet voorbij het niveau van NAP +2,30 meter. Ten behoeve van de nieuwe situatie en de (boven)variant wordt uitgegaan van een mogelijke schade aan de bekleding ter plaatse van de waterlijn en er geen sprake is van een restprofiel, dus falen van de kering. Ook deze aanname is conservatief, het is aannemelijk dat indien de gehele windturbine omvalt en op of over de kering valt, op basis van waarnemingen bij vergelijkbare incidenten en het met behulp van explosief slopen van bestaande windturbines³, een deel van de kering gehandhaafd zal blijven, waardoor er sprake zal zijn van een restprofiel.

Voor het faalscenario; “het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor” is er gezien de afstand tot de kering een geringe kans op een aanzienlijke beschadiging van het binnentalud van de waterkering. Het risico op het niet kunnen garanderen van de waterkerende functie van de waterkering is nihil. Er zal altijd sprake zijn van een voldoende hoog restprofiel.

³ <https://www.youtube.com/watch?v=PdLTvAnxcdM> & <https://www.youtube.com/watch?v=9gOcl7zLGGo>

Voor het faalscenario; “het afbreken van een rotorblad” is ten behoeve van de risicoanalyse aangenomen dat in het geval van een worst case impact (impact van de flens, onder een hoek van <math><45^\circ</math>) van een rotorblad binnen de trefsector van de kritische strook, er een restprofiel overblijft en er tijd is voor het herstellen van de schade. Er is geen sprake van het direct falen van de waterkering, echter kan de waterkerende functie niet meer worden gegarandeerd. Komt een rotorblad buiten de kritische strook terecht, maar wel in het overige deel van een trefsector dan is onafhankelijk van de wijze van neerkomen de waterkerende functie van de waterkering niet direct in het geding. Door de impact is er schade ontstaan, maar de kruin is nog intact. De hoogste waterstand, volgens de van toepassing zijnde norm-overschrijdingskans, kan nog gekeerd worden. Er is tijd om maatregelen te nemen en de schade te herstellen.

Het neerkomen van de windturbine of windturbineonderdeel buiten de trefsector heeft geen direct gevolg voor de waterkerende functie van de primaire waterkering.

De voor windpark Piet de Wit per faalscenario bepaalde trefsector, zijn in het navolgende tabel voor zowel de bestaande als nieuwe windturbines weergegeven.

Bestaande windturbines	faalscenario; “omvallen gehele windturbine” [°]	faalscenario; “het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor” [°]	faalscenario; “het afbreken van een rotorblad” [%] = oppervlakte trefsector
Windturbinelocatie 1	201	106	2,7
Windturbinelocatie 2	160	109	2,6
Windturbinelocatie 3	154	106	2,5
Windturbinelocatie 4	161	107	2,5
Windturbinelocatie 5	158	111	2,5
Windturbinelocatie 6	158	108	2,5
Windturbinelocatie 7	157	104	2,5
Windturbinelocatie 2	158	107	2,5
Windturbinelocatie 9	158	108	2,5
Windturbinelocatie 10	157	106	2,5
Windturbinelocatie 11	166	108	2,5
Windturbinelocatie 12	164	97	2,5
Nieuwe Windturbines Type E115 (onder)variant	faalscenario; “omvallen gehele windturbine” [°]	faalscenario; “het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor” [°]	faalscenario; “het afbreken van een rotorblad” [%] = oppervlakte trefsector
Windturbinelocatie 1	180	1*	2,1
Windturbinelocatie 2	115	1*	2,0
Windturbinelocatie 3	125	1*	1,9
Windturbinelocatie 4	132	1*	1,9
Windturbinelocatie 5	124	1*	1,9
Windturbinelocatie 6	123	1*	1,9
Windturbinelocatie 7	135	1*	2,0
Nieuwe Windturbines Type V136 (boven)variant	faalscenario; “omvallen gehele windturbine” [°]	faalscenario; “het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor” [°]	faalscenario; “het afbreken van een rotorblad” [%] = oppervlakte trefsector
Windturbinelocatie 1	180	23	2,1
Windturbinelocatie 2	115	1*	2,0
Windturbinelocatie 3	125	1*	1,9
Windturbinelocatie 4	132	1*	1,9
Windturbinelocatie 5	124	1*	1,9
Windturbinelocatie 6	123	1*	1,9
Windturbinelocatie 7	135	1*	2,0

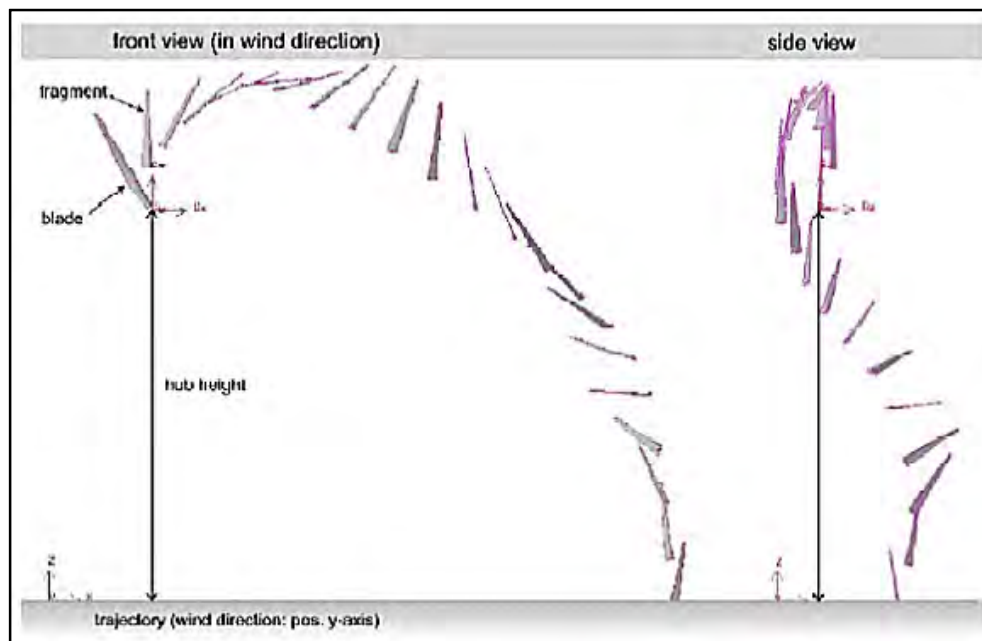
Tabel 2. Trefsector per faalscenario

*voor een aantal locaties is er geen sprake van een snijpunt met de kritische strook, met ander woorden de kruin van de kering wordt niet getroffen, maar het achterland van de kering raakt wel beschadigd. Het restprofiel betreft in dit geval de bestaande kruinhoogte. Ten behoeve van de berekeningsformule wordt een waarde 1 aangehouden.

5.7 Neerkomen rotorblad

Een rotorblad van een hedendaagse windturbine in de 3.X en 4.X MW vermogensklasse, zoals de Enercon E115 of de Vestas V136, bestaat voornamelijk uit composiet materiaal (vezelversterkt materiaal/glasvezel) al dan niet met een metalen flens en/of bladadapter.

De schade die een neerkomend rotorblad veroorzaakt is onder meer sterk afhankelijk van de wijze van neerkomen. Afhankelijk van de impacthoek zal een rotorblad versplinteren en/of afketsen. De meest significante schade wordt veroorzaakt als de flens (verbinding tussen het rotorblad en de rotor) van een rotorblad onder een bepaalde hoek inslaat (uitgaande van de worst case afworp bij een overtoeren situatie, zie afbeelding 14). De overige situaties zorgen voor een lagere impactschade.



Afbeelding 14. een voorbeeld van een simulatie van het neerkomen van een rotorblad (flens naar beneden)

De worst case hoek van inslag met het verticaal is kleiner dan **45 graden**. De ratio achter deze 45 graden is dat bij een zanddijk met een kleibekleding, theoretisch bij een hoek van inwendige wrijving van 30 graden voor het zand en een hoek van inval met de verticaal van 30 graden er geen indringing zou zijn en er horizontale afschuiving plaatsvindt. Er zou dus uit kunnen worden gegaan van 30 graden. Echter zou deze aanname voor de deklaag een niet-conservatieve aanname zijn. Daarom wordt als aanname aangehouden, dat bij een hoek van inslag met het verticaal groter dan 45 graden er een geringe indringing optreedt. Het rotorblad zal met een grotere impactoppervlakte inslaan en zal dan afketsen en/of vervormen en/of deels verbrijzelen, waardoor er een grotere energie opname zal optreden en de impactschade kleiner is.

Voorgaande geeft een: **P(flens naar beneden) = $2 \times 45^\circ / 360^\circ = 0,25$**

5.8 Restprofiel en responstijd

Wanneer een waterkering wordt getroffen door een falende windturbine of windturbineonderdeel, behoeft dat niet het onmiddellijk falen of op het punt staan van falen van de waterkering te betekenen. Afhankelijk van het optredende faalscenario zal er sprake zijn van een beperkte tot een forse impact schade, het is echter aannemelijk dat er nagenoeg in alle gevallen sprake zal zijn van een zogenaamd restprofiel ofwel delen van de kering die nog intact zijn.

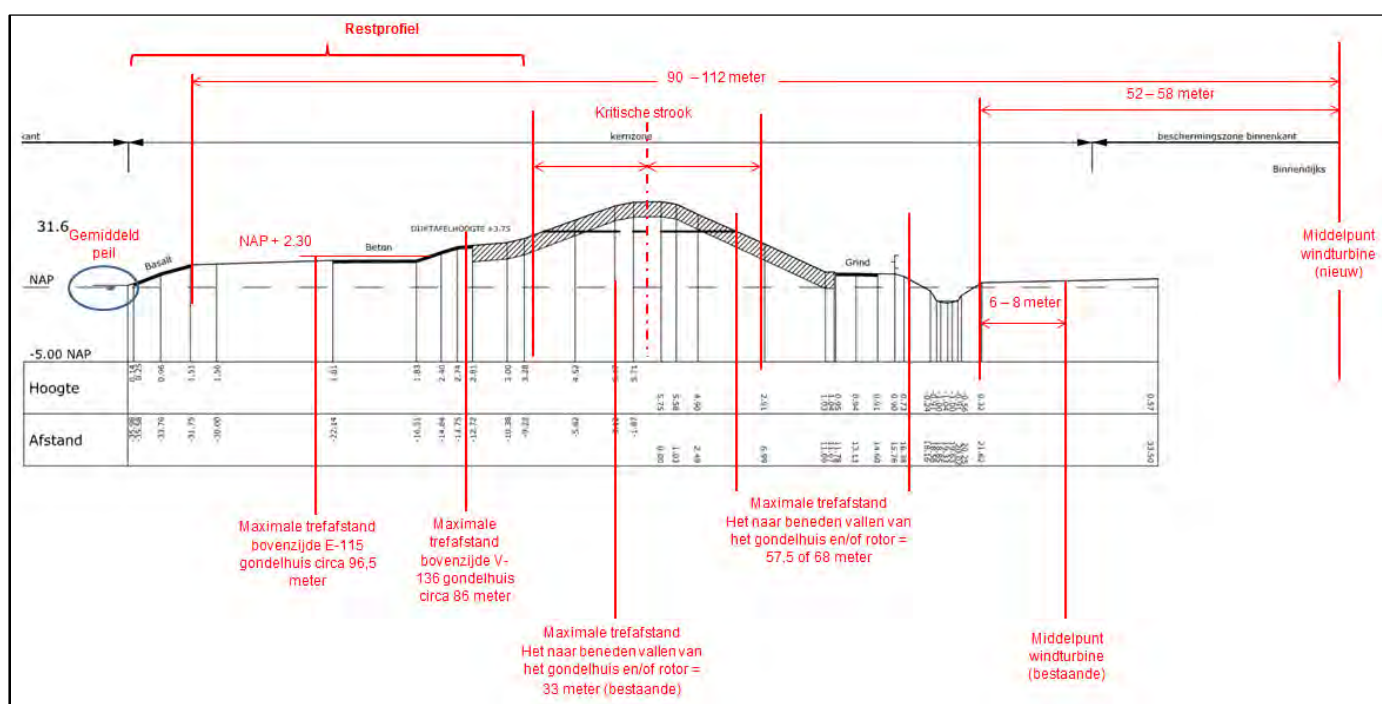
Indien er sprake is van een restprofiel, betekent het dat het aanwezige restprofiel nog een bepaalde waterstand kan keren. Er is in dat geval sprake van een zogenaamde responstijd tot herstel, zolang er voor of tijdens dit herstel geen waterstand optreedt tot boven het niveau van het restprofiel.

Er is dus sprake van een gebeurtenis (deelkans) welke gelijktijdig met het falen van een windturbine of windturbineonderdeel dient op te treden. Dit betreft de kans dat op het moment van falen van een windturbine of windturbineonderdeel er ook, voor of tijdens het herstellen, een waterstand optreedt welke hoger is dan het aanwezige restprofiel kan keren.

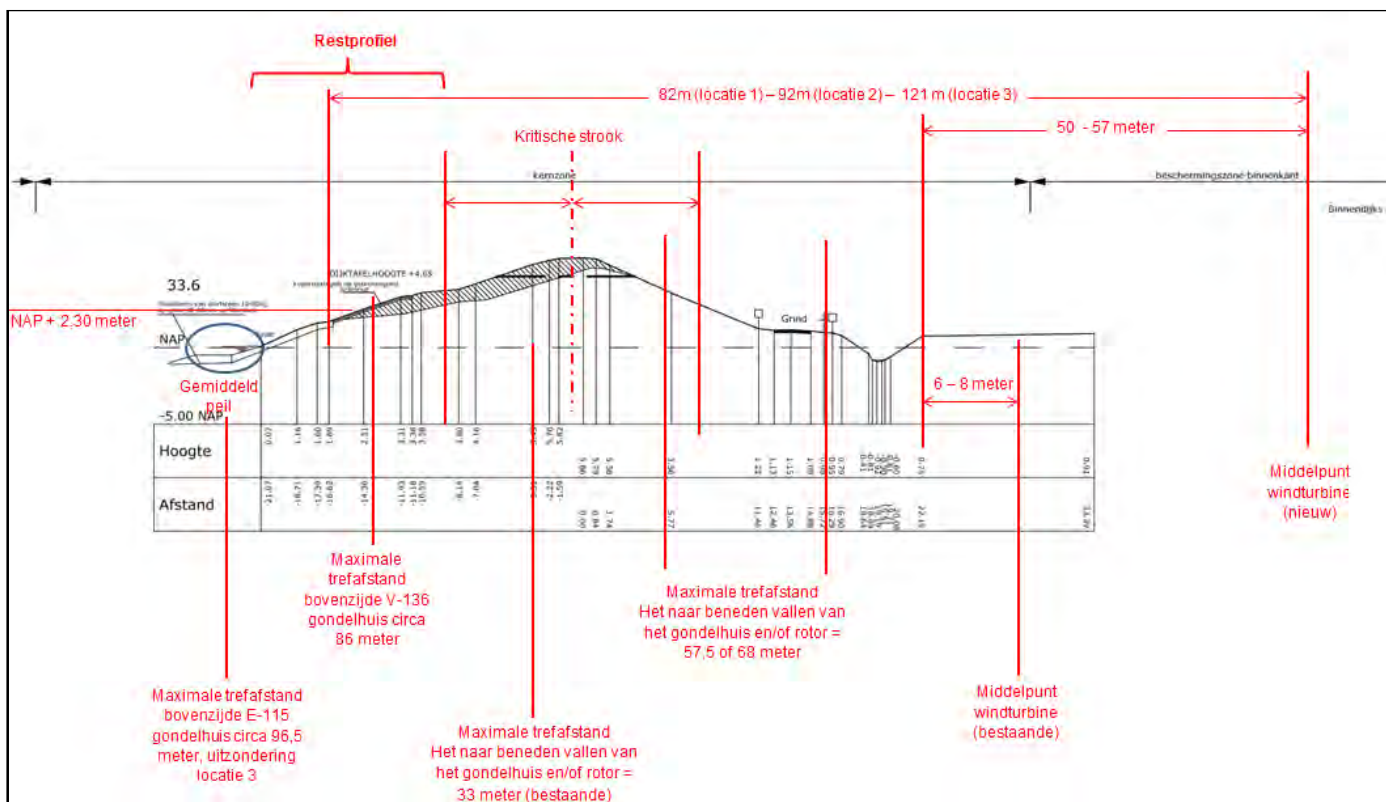
In afbeelding 15 en 16 is de zone voor de risicoanalyse voor zowel de bestaande windturbines als nieuwe windturbines gehanteerde restprofiel aangegeven. Om rekening te houden met de inzet van het Volkerak-Zoommeer als tijdelijke waterberging is aangenomen dat het minimale benodigde restprofiel boven de NAP + 2.30 meter dient te liggen. Gezien de voorgaande aangegeven kans van voorkomen van 1/1430^e per jaar, is deze aanname een uiterst conservatieve aanname.

Voor het faalscenario “Het geheel omvallen van de windturbines” is voor de bestaande situatie als worst case scenario aangehouden dat er geen sprake zal zijn van een restprofiel. Om de impact te beoordelen en te kunnen vergelijken met de nieuwe situatie is de bestaande situatie ook doorgerekend indien er wel sprake is van een restprofiel. Voor de nieuwe situatie is gezien de van toepassing zijnde maximale valbereik van het gondelhuis, voor de (onder)variant, aangenomen dat er geen sprake is van een restprofiel. Uitzondering hierop is locatie 3 vanwege de aanwezigheid van een extra stuk voorland. Voor de (boven)variant is gezien het maximale valbereik van het gondelhuis aannemelijk dat er altijd sprake is van een voldoende hoog restprofiel.

Vanwege de maximale trefafstand voor de faalscenario's “Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor” en “Het afbreken van een rotorblad” is het aannemelijk dat de schade aan de kering beperkt/nihil zal zijn, het is aannemelijk om te veronderstellen dat er altijd sprake zal zijn van een restprofiel welke gelijk of hoger ligt dan het toetspeil.



Afbeelding 15. zone restprofiel in relatie tot valbereik gondelhuis (dwarsprofiel legger Hm 31.6)



Afbeelding 16. zone restprofiel in relatie tot valbereik gondelhuis (dwarsprofiel legger Hm 33.6)

Als conservatieve aanname is aangehouden dat het aanwezige restprofiel niet meer een waterstand van NAP +2.30 meter kan keren, welke optreedt in het geval van een “lichte storm”, al dan niet in combinatie met een tijdelijke waterbergende functie van het Volkerak-Zoommeer. De kans op optreden van een “lichte storm” is aangenomen op 5 keer per jaar. Voor de stormduur wordt uitgegaan van 35 uur.

Hedendaagse windturbines worden door middel van een SCADA⁴ systeem 24 uur per dag gemonitord. Gangbaar is dat een windturbine zich in ieder geval één keer per 24 uur meldt. Als detectietijd van 24 uur is daarom aannemelijk. Daarbij wordt opgemerkt, dat indien er een ongebruikelijke situatie en/of schade aan een windturbine optreedt er normaliter direct een melding via het SCADA systeem wordt afgegeven.

De hersteltijd voor de ontstane schade aan de waterkering is geschat op 5 dagen (5x24 = 120 uur).

De kans dat er een “lichte storm” optreedt tijdens de hersteltijd is:

$$P(\text{niet te keren storm tijdens herstel}) = 5 \text{ lichte stormen per jaar} \times (35 \text{ uur} / 8760 \text{ uur per jaar}) + 5 \text{ lichte stormen per jaar} \times (24 \text{ uur} / 8760 \text{ uur per jaar}) + 5 \text{ lichte stormen per jaar} \times (120 \text{ uur} / 8760 \text{ uur per jaar}) = 0,1 \text{ per jaar}$$

Zoals voorgaande aangegeven is voor de bestaande situatie voor het faalscenario “Het geheel omvallen van de windturbines” aangenomen dat er sprake is van het falen van de kering en er dus geen sprake is van een restprofiel, er is dan geen sprake van een zogenaamde responstijd tot herstel.

⁴ SCADA is de afkorting voor Supervisory Control and Data Acquisition

6. Faalkansberekening per faalkansscenario

De bepaling van de faalfrequentie per faalkansscenario vindt plaats door het vermenigvuldigen van de gebeurtenissen welke gelijktijdig dienen op te treden, voor er sprake kan zijn van het falen van de waterkering ofwel de waterkerende functie kan niet meer worden gegarandeerd.

Omvallen gehele windturbine

De faalfrequentie per windturbinelocatie voor het scenario “omvallen gehele windturbine” wordt bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$P_{\text{omvallen gehele windturbine}} = \text{Faalfrequentie omvallen gehele windturbine} \times P_{(\text{trefsector})}$$

De additionele faalfrequentie van de waterkering ten gevolge van het geheel omvallen van de windturbine wordt dan ook bepaald door een combinatie van gebeurtenissen:

- de windturbine valt als geheel om;
en
- de windturbine komt neer in de relevante trefsector.

Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor

De additionele faalfrequentie per windturbinelocatie voor het scenario “het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor” wordt bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$P_{\text{vallen gondelhuis}} = \text{Faalfrequentie vallen gondelhuis en/of rotor} \times P_{(\text{trefsector})} \times P_{(\text{niet te keren storm tijdens herstel})}$$

De additionele faalfrequentie van de waterkering ten gevolge van het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor wordt dus bepaald door een combinatie van gebeurtenissen:

- het gondelhuis en/of rotor valt naar beneden;
en
- het gondelhuis en/of rotor komt neer in de relevante trefsector;
en
- er treedt voorafgaande aan of gedurende de hersteltijd een hoogwaterstand op, welke hoger is dan de keercapaciteit van het restprofiel (indien het aannemelijk is dat er sprake is van een restprofiel).

Het afbreken van een rotorblad

De additionele faalfrequentie per windturbinelocatie voor het scenario “het afbreken van een rotorblad” wordt bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$P_{\text{rotorbladworp}} = \text{Faalfrequentie rotorbladworp} \times P_{(\text{kritische strook})} \times P_{(\text{flens naar beneden})} \times P_{(\text{niet te keren storm tijdens herstel})}$$

De additionele faalfrequentie van de waterkering ten gevolge van het afbreken van een rotorblad wordt dus bepaald door een combinatie van gebeurtenissen:

- een rotorblad wordt afgeworpen;
en
- een rotorblad komt neer in de kritische strook;
en

- de flens komt naar beneden en de hoek van inslag met het verticaal kleiner is dan 45 graden;
en
- er treedt voorafgaand aan of gedurende de hersteltijd een hoogwaterstand op, welke hoger is dan de keercapaciteit van het restprofiel.

De additionele faalfrequentie van de waterkering is de som van alle additionele faalfrequenties per faalscenario en per windturbine locaties (“Additionele faalfrequentie waterkering”).

7. Risicoanalyse

In afbeelding 17 is de rekensheet van de analyse van de bestaande situatie, op basis van de generieke faalfrequenties conform het handboek, weergegeven. Voor de bestaande situatie is de impact beoordeeld indien er geen en wel sprake is van een restprofiel voor het faalscenario “Het geheel omvallen van de windturbines”.

In afbeelding 18 is de rekensheet van de analyse voor de nieuwe situatie voor de (onder)variant en de (boven) variant, op basis van de generieke faalfrequenties conform het handboek en project specifieke faalfrequenties, weergegeven

Uitgangspunten																				
Bestaande windpark Piet de Wit																				
Handboek:		1.30E-04																		
Faalfrequentie scenario: geheel omvallen windturbine		4.00E-05																		
Faalfrequentie scenario: neerstorten gondelmuis		8.40E-04																		
Faalfrequentie scenario: afbreken rotorblad																				
Project specifiek:		1.00E-05																		
Faalfrequentie scenario: geheel omvallen windturbine		1.00E-05																		
Faalfrequentie scenario: neerstorten gondelmuis		1.00E-04																		
Faalfrequentie scenario: afbreken rotorblad																				
Maximale tiphoogte [meter]		100																		
Maximale rotorhoogte [meter]		86																		
Maximale afwerpen rotorblad [meter]		519																		
Breedte kritische zone [meter]		20																		
Veiligheidsnorm waterkering		3.33E-03																		
Additionele criteria		10%																		
Bestaande windturbines faalkansen handboek 2014																				
		Het geheel omvallen van de windturbines	Neerstorten rotorblad	Neerstorten gondelmuis	Faalfrequentie (geheel omvallen windturbines)	Neerstorten rotorblad	Neerstorten gondelmuis	Faalfrequentie (neerstorten gondelmuis)	Faalfrequentie (neerstorten rotorblad)	Faalfrequentie (neerstorten gondelmuis)	Faalfrequentie (neerstorten rotorblad)	Faalfrequentie (neerstorten gondelmuis)	Faalfrequentie (neerstorten rotorblad)	Faalfrequentie (neerstorten gondelmuis)	Faalfrequentie (neerstorten rotorblad)					
1	ja	201	nee	1.30E-04	0.56	0.100	7.26E-05	ja	106	ja	4.00E-05	0.29	0.100	1.18E-06	ja	8.40E-04	2.7%	0.25	0.100	5.67E-07
2	ja	190	nee	1.30E-04	0.44	0.100	5.78E-05	ja	109	ja	4.00E-05	0.30	0.100	1.21E-06	ja	8.40E-04	2.6%	0.25	0.100	5.46E-07
3	ja	154	nee	1.30E-04	0.43	0.100	5.56E-05	ja	106	ja	4.00E-05	0.29	0.100	1.18E-06	ja	8.40E-04	2.5%	0.25	0.100	5.25E-07
4	ja	151	nee	1.30E-04	0.45	0.100	5.91E-05	ja	107	ja	4.00E-05	0.30	0.100	1.19E-06	ja	8.40E-04	2.5%	0.25	0.100	5.25E-07
5	ja	158	nee	1.30E-04	0.44	0.100	5.71E-05	ja	111	ja	4.00E-05	0.31	0.100	1.23E-06	ja	8.40E-04	2.5%	0.25	0.100	5.25E-07
6	ja	158	nee	1.30E-04	0.44	0.100	5.71E-05	ja	106	ja	4.00E-05	0.30	0.100	1.20E-06	ja	8.40E-04	2.5%	0.25	0.100	5.25E-07
7	ja	157	nee	1.30E-04	0.44	0.100	5.67E-05	ja	104	ja	4.00E-05	0.29	0.100	1.16E-06	ja	8.40E-04	2.5%	0.25	0.100	5.25E-07
8	ja	158	nee	1.30E-04	0.44	0.100	5.71E-05	ja	107	ja	4.00E-05	0.30	0.100	1.19E-06	ja	8.40E-04	2.5%	0.25	0.100	5.25E-07
9	ja	158	nee	1.30E-04	0.44	0.100	5.71E-05	ja	109	ja	4.00E-05	0.30	0.100	1.20E-06	ja	8.40E-04	2.5%	0.25	0.100	5.25E-07
10	ja	157	nee	1.30E-04	0.44	0.100	5.67E-05	ja	106	ja	4.00E-05	0.29	0.100	1.18E-06	ja	8.40E-04	2.5%	0.25	0.100	5.25E-07
11	ja	166	nee	1.30E-04	0.46	0.100	5.99E-05	ja	108	ja	4.00E-05	0.30	0.100	1.20E-06	ja	8.40E-04	2.5%	0.25	0.100	5.25E-07
12	ja	164	nee	1.30E-04	0.46	0.100	5.92E-05	ja	97	ja	4.00E-05	0.27	0.100	1.09E-06	ja	8.40E-04	2.5%	0.25	0.100	5.25E-07
Subtotaal		7.08E-04													1.42E-05			5.36E-06		
Subtotaal Additionele faalfrequentie (%)															0.43			0.19		
21.15																				
21.76																				
Bestaande windturbines faalkansen handboek 2014																				
		Het geheel omvallen van de windturbines	Neerstorten rotorblad	Neerstorten gondelmuis	Faalfrequentie (geheel omvallen windturbines)	Neerstorten rotorblad	Neerstorten gondelmuis	Faalfrequentie (neerstorten gondelmuis)	Faalfrequentie (neerstorten rotorblad)	Faalfrequentie (neerstorten gondelmuis)	Faalfrequentie (neerstorten rotorblad)	Faalfrequentie (neerstorten gondelmuis)	Faalfrequentie (neerstorten rotorblad)	Faalfrequentie (neerstorten gondelmuis)	Faalfrequentie (neerstorten rotorblad)					
1	ja	201	ja	1.30E-04	0.56	0.100	7.26E-05	ja	106	ja	4.00E-05	0.29	0.100	1.18E-06	ja	8.40E-04	2.7%	0.25	0.100	5.67E-07
2	ja	190	ja	1.30E-04	0.44	0.100	5.78E-05	ja	109	ja	4.00E-05	0.30	0.100	1.21E-06	ja	8.40E-04	2.6%	0.25	0.100	5.46E-07
3	ja	154	ja	1.30E-04	0.43	0.100	5.56E-05	ja	106	ja	4.00E-05	0.29	0.100	1.18E-06	ja	8.40E-04	2.5%	0.25	0.100	5.25E-07
4	ja	151	ja	1.30E-04	0.45	0.100	5.91E-05	ja	107	ja	4.00E-05	0.30	0.100	1.19E-06	ja	8.40E-04	2.5%	0.25	0.100	5.25E-07
5	ja	158	ja	1.30E-04	0.44	0.100	5.71E-05	ja	111	ja	4.00E-05	0.31	0.100	1.23E-06	ja	8.40E-04	2.5%	0.25	0.100	5.25E-07
6	ja	158	ja	1.30E-04	0.44	0.100	5.71E-05	ja	106	ja	4.00E-05	0.30	0.100	1.20E-06	ja	8.40E-04	2.5%	0.25	0.100	5.25E-07
7	ja	157	ja	1.30E-04	0.44	0.100	5.67E-05	ja	104	ja	4.00E-05	0.29	0.100	1.16E-06	ja	8.40E-04	2.5%	0.25	0.100	5.25E-07
8	ja	158	ja	1.30E-04	0.44	0.100	5.71E-05	ja	107	ja	4.00E-05	0.30	0.100	1.19E-06	ja	8.40E-04	2.5%	0.25	0.100	5.25E-07
9	ja	158	ja	1.30E-04	0.44	0.100	5.71E-05	ja	109	ja	4.00E-05	0.30	0.100	1.20E-06	ja	8.40E-04	2.5%	0.25	0.100	5.25E-07
10	ja	157	ja	1.30E-04	0.44	0.100	5.67E-05	ja	106	ja	4.00E-05	0.29	0.100	1.18E-06	ja	8.40E-04	2.5%	0.25	0.100	5.25E-07
11	ja	166	ja	1.30E-04	0.46	0.100	5.99E-05	ja	108	ja	4.00E-05	0.30	0.100	1.20E-06	ja	8.40E-04	2.5%	0.25	0.100	5.25E-07
12	ja	164	ja	1.30E-04	0.46	0.100	5.92E-05	ja	97	ja	4.00E-05	0.27	0.100	1.09E-06	ja	8.40E-04	2.5%	0.25	0.100	5.25E-07
Subtotaal		7.08E-05													1.42E-05			5.36E-06		
Subtotaal Additionele faalfrequentie (%)															0.43			0.19		
0.11																				
2.73																				

Afbeelding 17. rekensheet op basis van de generieke faalfrequenties conform het handboek voor de bestaande situatie.

Uitgangspunten		VKA	
Faalfrequentie scenario: geheel omvallen windturbine	1,00E-05		
Faalfrequentie scenario: neerslijten grondniveau	1,00E-05		
Faalfrequentie scenario: afbreken rotorblad	1,00E-04		
Maximale toerhoogte (meter)	150		
Maximale rotordiameter (meter)	115 of 136		
Maximale afwerpen rotorblad IECII & 4.0MW (meter)	667		
Breedte kritische zone (meter)	29		
Veiligheidsnorm waterkering	3,33E-03		
Aditionele criteria	10%		

faalkansen handboek 2014		Windturbine type E115		(Onder)variant		Zonder restprofiel bij geheel omvallen windturbine	
	Met geheel omvallen van de windturbine	Hoek rotorstator	Restprofiel	Faalfrequentie (geheel omvallen windturbine)	Pr (rotorstator)	Pr (met te keren storm tijdens herstel)	Pr (omvallen gehele windturbine)
1	ja	180	nee	1,30E-04	0,50	0,100	6,50E-05
2	ja	115	nee	1,30E-04	0,32	0,100	4,15E-05
3	ja	125	ja	1,30E-04	0,35	0,100	4,51E-05
4	ja	132	nee	1,30E-04	0,37	0,100	4,77E-05
5	ja	124	nee	1,30E-04	0,34	0,100	4,48E-05
6	ja	123	nee	1,30E-04	0,34	0,100	4,44E-05
7	ja	135	nee	1,30E-04	0,38	0,100	4,88E-05
Subtotaal							2,97E-04
Subtotaal Additionele faalfrequentie (%)							0,90
							8,99

faalkansen handboek 2014		Windturbine type E115		(Onder)variant		Met restprofiel bij geheel omvallen windturbine	
	Met geheel omvallen van de windturbine	Hoek rotorstator	Restprofiel	Faalfrequentie (geheel omvallen windturbine)	Pr (rotorstator)	Pr (met te keren storm tijdens herstel)	Pr (omvallen gehele windturbine)
1	ja	180	ja	1,30E-04	0,50	0,100	6,50E-05
2	ja	115	ja	1,30E-04	0,32	0,100	4,15E-05
3	ja	125	ja	1,30E-04	0,35	0,100	4,51E-05
4	ja	132	ja	1,30E-04	0,37	0,100	4,77E-05
5	ja	124	ja	1,30E-04	0,34	0,100	4,48E-05
6	ja	123	ja	1,30E-04	0,34	0,100	4,44E-05
7	ja	135	ja	1,30E-04	0,38	0,100	4,88E-05
Subtotaal							3,37E-05
Subtotaal Additionele faalfrequentie (%)							1,01
							1,10

faalkansen project specifiek		Windturbine type E115		(Onder)variant		Zonder restprofiel bij geheel omvallen windturbine	
	Met geheel omvallen van de windturbine	Hoek rotorstator	Restprofiel	Faalfrequentie (geheel omvallen windturbine)	Pr (rotorstator)	Pr (met te keren storm tijdens herstel)	Pr (omvallen gehele windturbine)
1	ja	180	nee	1,00E-05	0,50	0,100	5,00E-06
2	ja	115	nee	1,00E-05	0,32	0,100	3,19E-06
3	ja	125	ja	1,00E-05	0,35	0,100	3,47E-07
4	ja	132	nee	1,00E-05	0,37	0,100	3,67E-06
5	ja	124	nee	1,00E-05	0,34	0,100	3,44E-06
6	ja	123	nee	1,00E-05	0,34	0,100	3,42E-06
7	ja	135	nee	1,00E-05	0,38	0,100	3,75E-06
Subtotaal							2,28E-05
Subtotaal Additionele faalfrequentie (%)							0,68
							0,70

faalkansen handboek 2014		Windturbine type V136		(Boven)variant		Zonder restprofiel bij geheel omvallen windturbine	
	Met geheel omvallen van de windturbine	Hoek rotorstator	Restprofiel	Faalfrequentie (geheel omvallen windturbine)	Pr (rotorstator)	Pr (met te keren storm tijdens herstel)	Pr (omvallen gehele windturbine)
1	ja	180	ja	1,30E-04	0,50	0,100	6,50E-05
2	ja	115	ja	1,30E-04	0,32	0,100	4,15E-05
3	ja	125	ja	1,30E-04	0,35	0,100	4,51E-05
4	ja	132	ja	1,30E-04	0,37	0,100	4,77E-05
5	ja	124	ja	1,30E-04	0,34	0,100	4,48E-05
6	ja	123	ja	1,30E-04	0,34	0,100	4,44E-05
7	ja	135	ja	1,30E-04	0,38	0,100	4,88E-05
Subtotaal							3,37E-05
Subtotaal Additionele faalfrequentie (%)							1,01
							1,11

faalkansen project specifiek		Windturbine type V136		(Boven)variant		Zonder restprofiel bij geheel omvallen windturbine	
	Met geheel omvallen van de windturbine	Hoek rotorstator	Restprofiel	Faalfrequentie (geheel omvallen windturbine)	Pr (rotorstator)	Pr (met te keren storm tijdens herstel)	Pr (omvallen gehele windturbine)
1	ja	180	ja	1,00E-05	0,50	0,100	5,00E-07
2	ja	115	ja	1,00E-05	0,32	0,100	3,19E-07
3	ja	125	ja	1,00E-05	0,35	0,100	3,47E-07
4	ja	132	ja	1,00E-05	0,37	0,100	3,67E-07
5	ja	124	ja	1,00E-05	0,34	0,100	3,44E-07
6	ja	123	ja	1,00E-05	0,34	0,100	3,42E-07
7	ja	135	ja	1,00E-05	0,38	0,100	3,75E-07
Subtotaal							2,28E-06
Subtotaal Additionele faalfrequentie (%)							0,68
							0,70

Afbeelding 18. rekensheet op basis van de generieke faalfrequenties conform het handboek en project specifieke faalfrequenties voor de nieuwe situatie; (onder)variant en (boven)variant.

8. Conclusies

De additionele faalfrequentie van de waterkering is voor de bestaande situatie, indien er geen sprake is van een restprofiel, op basis van de generieke faalfrequentie conform het handboek groter dan het gestelde toetsingscriterium. Op basis van de gekozen methodiek is er voor de bestaande situatie sprake van een noemenswaardige risicoverhoging en dus een risico voor de waterveiligheid.

Voor de nieuwe situatie, voor zowel de (onder)variant als de (boven)variant, wordt er voldaan aan het gestelde toetsingscriterium en is er geen sprake van een noemenswaardige risicoverhoging als gevolg van de plaatsing van zeven nieuwe windturbines en blijft de waterveiligheid gewaarborgd. Op basis van de geselecteerde project specifieke faalfrequenties, welke als meer realistischer voor moderne windturbines wordt beschouwd, is er sprake van een verwaarloosbare risicoverhoging (<0,5%).

De nieuwe situatie verlaagt het risico aanzienlijk. Cumulatief beoordeeld is er op basis van de huidige situatie, binnen het van toepassing zijnde dijksegment, voldoende ruimte voor het vervangen van de huidige twaalf locaties voor zeven nieuwe locaties, de situatie zal ten aanzien van de bestaande situatie aanzienlijk verbeteren.

Wanneer er voor de bestaande situatie wel rekening wordt gehouden met een bepaalde mate van restprofiel, indien een windturbine geheel omvalt, dan is de additionele faalfrequentie van de waterkering op basis van de generieke faalfrequentie conform het handboek ook kleiner dan het gestelde toetsingscriterium.

De resultaten van de analyse zijn in onderstaand overzicht weergegeven.

Faalfrequenties conform het handboek Risicozonering Windturbines			
<u>Bestaande windturbines</u>			
Zonder restprofiel bij het geheel omvallen van een windturbine			
Faalscenario	Faalfrequentie	% van de autonome faalfrequentie	Toets-criterium
Het geheel omvallen van de windturbine	7,05E-04	21,15	
Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor	1,42E-05	0,43	
Het afbreken van een rotorblad	6,36E-06	0,19	
Totale Additionele faalfrequentie (afgerond)		21,76	<10%

Faalfrequenties conform het handboek Risicozonering Windturbines			
<u>Bestaande windturbines</u>			
met restprofiel bij het geheel omvallen van een windturbine			
Faalscenario	Faalfrequentie	% van de autonome faalfrequentie	Toets-criterium
Het geheel omvallen van de windturbine	7,05E-05	2,11	
Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor	1,42E-05	0,43	
Het afbreken van een rotorblad	6,36E-06	0,19	
Totale Additionele faalfrequentie (afgerond)		2,73	<10%

Faalfrequenties conform het handboek Risicozoning Windturbines			
<u>Nieuw geplande windturbines: (onder)variant E-115</u>			
Zonder restprofiel bij geheel omvallen windturbine			
Faalscenario	Faalfrequentie	% van de autonome faalfrequentie	Toets-criterium
Het geheel omvallen van de windturbine	2,97E-04	8,90	
Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor	7,78E-08	0,00	
Het afbreken van een rotorblad	2,88E-06	0,09	
Totale Additionele faalfrequentie (afgerond)		8,99	<10%

Faalfrequenties conform het handboek Risicozoning Windturbines			
<u>Nieuw geplande windturbines: (onder)variant E-115</u>			
Met restprofiel bij geheel omvallen windturbine			
Faalscenario	Faalfrequentie	% van de autonome faalfrequentie	Toets-criterium
Het geheel omvallen van de windturbine	3,37E-05	1,01	
Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor	7,78E-08	0,00	
Het afbreken van een rotorblad	2,88E-06	0,09	
Totale Additionele faalfrequentie (afgerond)		1,10	<10%

Faalfrequenties project specifiek			
<u>Nieuw geplande windturbines: (onder)variant E-115</u>			
Zonder restprofiel bij geheel omvallen windturbine			
Faalscenario	Faalfrequentie	% van de autonome faalfrequentie	Toets-criterium
Het geheel omvallen van de windturbine	2,28E-05	0,68	
Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor	1,94E-08	0,00	
Het afbreken van een rotorblad	3,43E-07	0,01	
Totale Additionele faalfrequentie (afgerond)		0,70	<10%

Faalfrequenties conform het handboek Risicozoning Windturbines			
<u>Nieuw geplande windturbines: (boven)variant V136</u>			
Faalscenario	Faalfrequentie	% van de autonome faalfrequentie	Toets-criterium
Het geheel omvallen van de windturbine	3,37E-05	1,01	
Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor	3,22E-07	0,01	
Het afbreken van een rotorblad	2,88E-06	0,09	
Totale Additionele faalfrequentie (afgerond)		1,11	<10%

Faalfrequenties project specifiek			
<u>Nieuw geplande windturbines: (boven)variant V136</u>			
Faalscenario	Faalfrequentie	% van de autonome faalfrequentie	Toets-criterium
Het geheel omvallen van de windturbine	2,59E-06	0,08	
Het naar beneden vallen van het gondelhuis en/of rotor	8,06E-08	0,00	
Het afbreken van een rotorblad	3,43E-07	0,01	
Totale Additionele faalfrequentie (afgerond)		0,09	<10%

Referenties:

- [1] Handboek Risicozonering Windturbines, AgentschapNL, 3^e geactualiseerde versie mei 2013 en herziende versie 3.1 september 2014
- [2] Projectbureau VNK2, Veiligheid Nederland in Kaart Overstromingsrisico dijkkring 25 Goeree-Overflakkee, Oktober 2014
- [3] Hydraulische Randvoorwaarden primaire waterkeringen categorie c, voor de derde toetsronde 2006-2011 (HRC 2006)
- [4] Waterwet bijlage 2
- [5] Waterakkoord Volkerak-Zoommeer, 1 januari 2016
- [6] Ontwerpbesluit tot wijziging van het peilbesluit Volkerak-Zoommeer, RR08.019392, 24 september 2012
- [7] Leggerprofiel Waterschap Hollandse delta; HM31.6, referentie DWPROF_HM316
- [8] Leggerprofiel Waterschap Hollandse delta; HM33.6, referentie DWPROF_HM336
- [9] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Veiligheid Nederland in Kaart Overstromingsrisico dijkkring 25 Goeree-Overflakkee, December 2005
- [10] MER windpark Noordoostpolder, briefrapport NRG maart 2011; "Reactie op het bezwaar tegen de gehanteerde faalkansen met als referentie DEWI-OCC"
- [11] Ventolines, Risicoanalyse Windturbines en primaire waterkering Windpark Krammer, 10 februari 2014
- [12] Ventolines, Risicoanalyse Windturbines en primaire waterkering Windpark Battennoert, 22 september 2014



Bosch & van Rijn
experts in renewable energy

Groenmarktstraat 56
3521 AV Utrecht
www.boschenvanrijn.nl

