

Risicoanalyse externe veiligheid

Windpark Nieuwe Waterweg

projectnr. 257610 130612 - HE09
revisie 05
14 augustus 2013

auteur(s)
Save

Opdrachtgever

Pondera Consult B.V.
Postbus 579
7550 AN Hengelo

datum vrijgave

14 augustus 2013

beschrijving revisie 05

Aanpassing n.a.v. commentaar RWS 02/08/2013

goedkeuring

RvR



vrijgave

NvR



Projectgroep bestaande uit:

ir. R.A.M. van Rooij

ir. J. Janzen

Datum van uitgave:

14 augustus 2013

Contactadres:

Tolhuisweg 57

8443 DV Heerenveen

Postbus 24

8440 AA Heerenveen

Copyright © 2013

Ingenieursbureau Oranjewoud

Niets uit deze uitgave mag worden veeelvoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, elektronisch of op welke wijze dan ook, zonder schriftelijke toestemming van de auteurs.

Ingenieursbureau Oranjewoud B.V. aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit onderzoek waarbij gebruik is gemaakt van rekenprogramma's waarvan het gebruik van overheidswege verplicht is gesteld. Ook voor verschillen in uitkomsten met eerdere en/of toekomstige versies van deze rekenprogramma's kan Ingenieursbureau Oranjewoud B.V. niet verantwoordelijk worden gehouden.

Inhoud

	blz.	
1	Inleiding	3
1.1	Leeswijzer	4
2	Beleidskader externe veiligheid Windenergie	5
2.1	Wettelijk kader	5
2.2	Handboek Risicozonering Windturbines	6
2.3	Toetsing Windpark Nieuwe Waterweg	6
3	Parameters Windturbine	8
3.1	Eigenschappen Windturbines	8
3.2	Risicoparameters Windturbine	9
4	Resultaten risicoberekening	10
4.1	Plaatsgebondenrisicocontouren	10
5	Domino-effecten	13
5.1	Domino-effecten Nieuwe Waterweg: vervoer gevaarlijke stoffen over water	15
5.2	Domino-effect Hoeksebaan: vervoer gevaarlijke stoffen over de weg	16
5.3	Conclusie domino-effecten	17
6	Risicoanalyse passanten	18
6.1	Spoorvervoer	18
6.2	Fietsers op fietspad	19
6.3	Personenauto's op de weg Poortershaven	20
6.4	Personen in schepen op de Nieuwe Waterweg	20
7	Onvoorziene niet-beschikbaarheid van de Nieuwe Waterweg	22
8	Risicoanalyse treffen van Maeslantkering	24
8.1	Maeslantkering in ruste	24
8.1.1	<i>Trefkansen van de diverse kritieke onderdelen</i>	26
8.1.2	<i>Beschouwing effecten en risico's op Maeslantkering</i>	27
8.2	Maeslantkering in missie	28
8.2.1	<i>Trefkansen waterkering</i>	30
8.2.2	<i>Risicobeschouwing falen van Maeslantkering in missie in relatie tot overstroming</i>	31
8.3	Deelconclusie: Toetsing aan criteria RWS	31
9	Risicoanalyse treffen Delflandsedijk	32
9.1	Trefkansen waterkering	33
9.2	Risicobeschouwing falen waterkering in relatie tot vervolgschade (overstroming)	35
9.2.1	<i>Schade aan waterkering</i>	35
9.2.2	<i>Berekening overstromingskansen</i>	37
9.3	Deelconclusie additionele faalfrequentie waterkering	39
10	Samenvatting deelconclusies opstellingsvarianten 1 en 2	40

11	Mitigerende maatregelen	42
11.1	Maatregel 1: Wegvallen winturbine 2	42
11.2	Maatregel 2: Stilzetten windturbines bij Maeslantkering in missie (hoog water)	42
11.3	Maatregel 3: Afdekken/Afschermen bekabeling	43
11.4	Maatregel 4: Redundant bekabeling	43
12	Voorkeursalternatief	45
12.1	Conclusie voorkeursalternatief	45
Bijlage 1 :	Berekening Trefkans t.b.v. domino-effecten	47
Bijlage 2 :	Berekening IPR en MR	53
Bijlage 3 :	Berekening Onvoorziene niet-beschikbaarheid Nieuwe Waterweg	57
Bijlage 4 :	Berekening trefkans Maeslantkering	59
Bijlage 5 :	Berekening trefkans Delflandsedijk	61

1 Inleiding

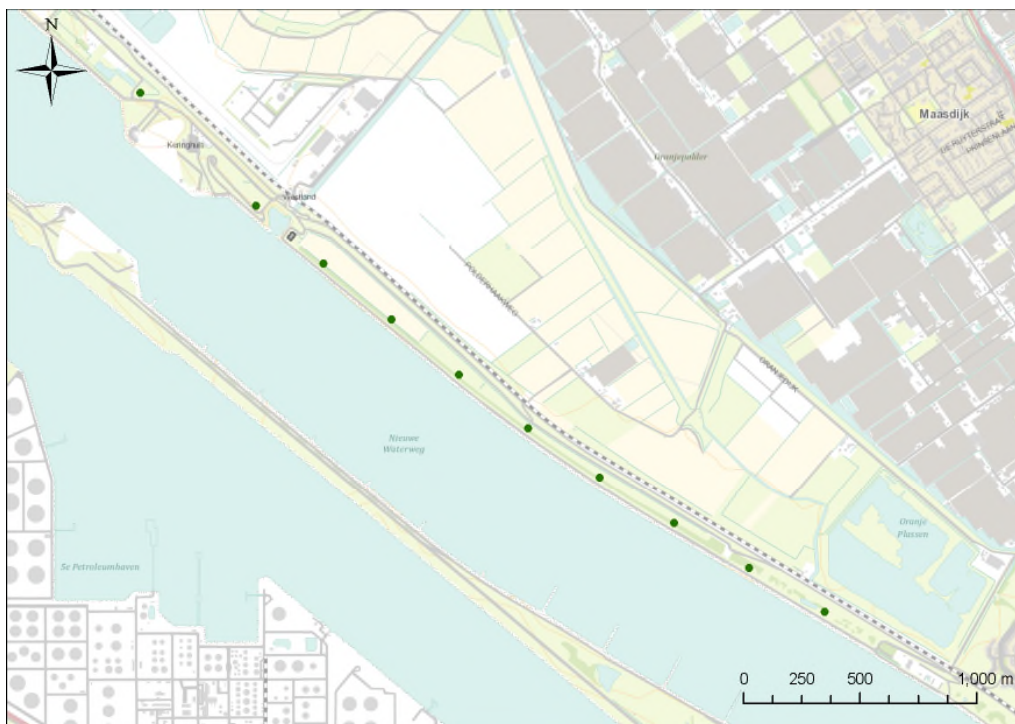
Wolff Nederland Windenergie, FMT BV en en Wind & Co zijn voornemens een 9- of 10-tal windturbines te realiseren op de noordelijke oever van de Nieuwe Waterweg in de directe omgeving van de Maeslantkering. Daarbij worden twee opstellingsalternatieven onderscheiden:

- Opstellingsalternatief 1: bestaande uit 10 windturbines
- Opstellingsalternatief 2: bestaande uit 9 windturbines.

Opstellingsalternatief 1 maakt gebruik van windturbines van Enercon: type E82 van 2,3 MW, ashoogte 90 meter en wiekdiameter 82 m. Deze windturbine valt in de categorie IEC IIA: dit wordt aangeduid als landlocatie.

Opstellingsalternatief 2 maakt gebruik van windturbines van Vestas: type V112 van 3,0 MW, ashoogte 119 meter en een wiekdiameter van 112 m. Deze windturbine valt in de categorie IEC IIA/ IEC IIIA: dit wordt aangeduid als landlocatie.

In onderstaande figuren zijn de opstellingsalternatieven 1 (figuur 1a) en opstellingsalternatief 2 (figuur 1b) getoond.



Figuur 1a Locaties windturbines (groene stippen) variant 1



Figuur 1b Locaties windturbines (blauwe stippen) variant 2

1.1 Leeswijzer

Als eerste heeft Oranjewoud/Save in hoofdstuk 2 het beleidskader beschreven. In hoofdstuk 3 worden parameters van de windturbines (ashoogte, vermogen, rotordiameter etc.) gepresenteerd. In hoofdstuk 4 worden de plaatsgebondenrisicocontouren gegeven van de windturbines. In hoofdstuk 5 worden de domino-effecten beschreven ten aanzien van installatie en/of activiteiten met gevaarlijke stoffen. Daarnaast kunnen falende windturbines kunnen passanten treffen: dit heeft Oranjewoud/Save uitgewerkt in hoofdstuk 6. Door falende windturbines kunnen delen in de vaarweg van de Nieuwe Waterweg terecht komen die daardoor gestremd wordt. Dit is uitgewerkt in hoofdstuk 7. Vervolgens is uitgewerkt in welke mate het falen van de windturbines leidt tot een toename van het overstromingsrisico. Dit vindt plaats in hoofdstuk 8 (additionele faalfrequentie van de Maeslantkering) en 9 (faalfrequentie van de Delflandsedijk). In hoofdstuk 10 zijn de deelconclusies van de opstellingsvarianten 1 en 2 opgenomen. Aanvullend heeft Oranjewoud/Save in de hoofdstukken 11 en 12 een aantal mitigerende maatregelen en een voorkeursalternatief beschreven en beoordeeld.

2 Beleidskader externe veiligheid Windenergie

2.1 Wettelijk kader

Windturbines vormen een risico voor de omgeving in het geval deze zodanig falen dat onderdelen naar beneden vallen, rotoronderdelen worden weggegooid of dat de turbine omvalt. De losgeraakte onderdelen kunnen vervolgens risicovolle inrichtingen en/of activiteiten raken waarbij risico ontstaat op vervolgeffecten. In dat geval is sprake van een domino-effect ten gevolge van falen van een turbine.

In Nederland moet een windturbine (of een groep windturbines) voldoen aan het Activiteitenbesluit in het kader van de Wet milieubeheer (voorheen Besluit voorzieningen en installaties). Met betrekking tot de externe veiligheid zijn in de Staatscourant de "Wijziging milieuregels windturbines" gepubliceerd (Staatscourant 12902, 31 augustus 2009)[2] en nogmaals een wijziging gepubliceerd in het Staatsblad van 11 november 2010 en inmiddels verwoord in artikel 3.2.3 van het Besluit algemene regels inrichtingen milieubeheer (Barim). In de wijziging zijn de normen voor externe veiligheid van windturbines opgenomen, waarbij is aangesloten bij de normering zoals die wordt gehanteerd in het Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi). Concreet betekent dit dat formeel getoetst moet worden aan het plaatsgebonden risico's van 10^{-6} en 10^{-5} per jaar waarbij het volgende geldt:

- Het plaatsgebonden risico voor een kwetsbaar object, veroorzaakt door een windturbine of een combinatie daarvan, is niet hoger dan 10^{-6} per jaar.
- Het plaatsgebonden risico voor een beperkt kwetsbaar object, veroorzaakt door een windturbine of een combinatie daarvan, is niet hoger dan 10^{-5} per jaar.

Een korte beschrijving van het plaatsgebonden risico is opgenomen in het kader.

In tegenstelling tot hetgeen het Bevi stelt wordt in de wijziging milieuregels windturbines geen rekening gehouden met het groepsrisico. Dit betekent dat wettelijk gezien er geen eisen aan het groepsrisico worden gesteld.

Het plaatsgebonden risico presenteert de overlijdenskans van een persoon in de vorm van contouren op een plattegrond rondom de beschouwde activiteit.

Voorbeeld: wanneer een persoon 24 uur per dag een heel jaar lang op de 10^{-6} -contour (van het plaatsgebonden risico) staat, betekent dit dat hij een risico van 1 miljoenste loopt op een dodelijk ongeval als gevolg van de beschouwde activiteiten.

Het risico wordt berekend door te stellen, dat een persoon zich permanent en onbeschermd op een bepaalde plaats bevindt. De risicocontouren op een plattegrond geven aan tot waar de risico's van een bepaald niveau reiken. De grootte van het plaatsgebonden risico is onafhankelijk van de feitelijke omgeving en zegt niets over het aantal personen, dat bij een ongeval getroffen kan worden. De plaatsgebondenrisicocontouren zijn eigenlijk een hoogtekaart van overlijdenskans.

Voor het plaatsgebonden risico zijn in de wijziging milieuregels windturbines normen vastgesteld, te weten de maximale toelaatbare overlijdenskans (grenswaarde) voor een individu. Deze bedraagt:

- 1 op 1.000.000 per jaar (10^{-6} /jaar) voor kwetsbare objecten
- 1 op 100.000 per jaar (10^{-5} /jaar) voor beperkt kwetsbare objecten

2.2 Handboek Risicozonering Windturbines

Bij het vaststellen van genoemde veiligheidsrisico's wordt in Nederland het 'Handboek Risicozonering Windturbines'¹ [1] als leidraad gehanteerd. Hierin wordt in hoofdstuk 2 een overzicht gegeven van de veiligheidseisen waarbij onderscheid wordt gemaakt in *Wetgeving* en in *Toetscriteria*.

Het wetgevend kader wordt gevormd door:

- Activiteitenregeling milieubeheer
- Activiteitenbesluit milieubeheer (Barim)
- Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi)
- Besluit (en regeling) externe veiligheid buisleidingen (Bevb/Revb)

Hierin zijn toetscriteria opgenomen ten aanzien van het plaatsgebonden risico en groepsrisico.

In aanvulling hierop hebben RWS en ProRail eigen criteria voor transport over wegen en spoor opgesteld. Deze zijn verwoord in het document "Windturbines langs auto-, spoor- en vaarwegen: Beoordeling van veiligheidsrisico's". Hierin is een methode opgenomen waarmee de risico's voor passanten op de weg en spoor zijn gespecificeerd. Voor dijklichamen en waterkeringen heeft RWS de "Beleidsregel voor het plaatsen van windturbines op, in of over rijkswaterstaatwerken" opgesteld.

Het Handboek heeft geen wettelijke status. Opgemerkt moet worden dat het Handboek binnen de overheid gehanteerd wordt als leidraad voor het beoordelen van de veiligheids situatie in het kader van een goede ruimtelijke ordening.

2.3 Toetsing Windpark Nieuwe Waterweg

Formeel dient de plaatsing van de 9 of 10 windturbines voor de directe veiligheidsrisico's alleen getoetst te worden aan het Activiteitenbesluit. Zoals in 2.1 beschreven zijn hierbij de PR 10⁻⁵- en PR 10⁻⁶-contouren van belang.

Het *Handboek Risicozonering Windturbines; Agentschap NL (2013)* beschrijft een methodiek voor indirecte risico's. Hierbij gaat het om mogelijke domino-effecten: een calamiteit bij een windturbine resulteert in een calamiteit bij een Bevi-inrichting. De calamiteit bij de Bevi-inrichting op haar beurt resulteert in risico's voor kwetsbare objecten. Het *Handboek* doet de aanbeveling om in dit kader te toetsen aan het Bevi. Hierbij geldt een criterium dat een externe bron (i.c.: windturbine) een maximaal risicoverhogend effect kan hebben van 10%, tenzij anders vermeld. Deze richtwaarde is echter niet wettelijk vastgelegd. In het kader van de m.e.r. is de externe veiligheid nader onderzocht en zijn de richtwaarden uit het Handboek [1] in dit onderzoek als uitgangspunt genomen².

Voor dit onderzoek betekent het dat:

1. een formele toetsing is uitgevoerd aan het activiteitenbesluit;
2. de risicobronnen in het invloedsgebied van de windturbine zijn geïnventariseerd, waarbij is vastgesteld of deze significante invloed op elkaar hebben (domino-effect: toetsing aan een maximaal risicoverhogend effect van 10% tenzij anders vermeld).

1. 3e geactualiseerde versie mei 2013, Agentschap NL.
2. Aanvullend kan worden opgemerkt dat de wettelijk voorgeschreven rekenmethodiek voor Bevi-inrichtingen (HARI) het begrip domino-effect kent en dit onder andere van toepassing verklaart op neerstortende vliegtuigen en falende windturbines: het stelt dat de impact van dergelijke bronnen meegenomen moet worden in de QRA wanneer de frequentie groter is dan 10% van de standaard frequentie van catastrofaal falen.

3. Daar waar het risico-ontvangers betreft (spoorvervoer, wegvervoer, scheepsvaart) heeft Rijkswaterstaat/ProRail een eigen systematiek opgesteld waarin de begrippen Individueel Risico en Passanten Risico worden gebruikt. Deze begrippen zijn voor de specifieke modaliteiten uitgewerkt en beoordeeld/getoetst.

Wanneer uit de analyses blijkt dat door domino-effecten de initiële faalfrequenties van risicobronnen met meer dan 10% verhoogd zijn, dient door het uitvoeren van een QRA (kwantitatieve risicoanalyse) aangetoond te worden dat de situatie nog steeds acceptabel is. In dit onderzoek zijn deze specifieke QRA's niet nodig gebleken, en derhalve niet uitgevoerd.

De aanwezigheid van de Maeslantkering en de dijken langs de Nieuwe Waterweg in de nabijheid van de beide opstellingsalternatieven verdient speciale aandacht. Voor deze waterkering zijn de trefkansen van (onderdelen van) de windturbine bepaald. Het toetsingcriterium voor de Maeslantkering heeft RWS vastgesteld op een maximale bijdrage van 1.10^{-6} per jaar. Dat wil zeggen dat de faalfrequentie van de Maeslantkering tengevolge van het falen van een windturbine volgens RWS niet meer mag bedragen dan 1.10^{-6} per jaar.

N.B.: Oranjewoud/Save gaat bij de beoordeling van deze opstellingsalternatieven uit van de veronderstelling dat de Nieuwe Westelijke Oeververbinding niet wordt gerealiseerd door middel van de Oranjetunnel (deze zou het huidige plangebied doorkruisen) maar door middel van de Blankenberg tunnel. Minister Schultz van Haegen heeft in het voorjaar van 2012 hierover een beslissing genomen die deze veronderstelling ondersteunt: De Blankenburgtunnel moet er komen.

3 Parameters Windturbine

3.1 Eigenschappen Windturbines

Er zijn twee opstellingsalternatieven welke in de m.e.r. bekeken worden³: nr. 1 en nr. 2. In tabel 3.1 zijn de risicobepalende eigenschappen van windturbines opgenomen.

Tabel 3.1 Parameters Windturbine Opstellingsalternatief 1: Enercon E82 IEC klasse IIA

Paramaters Enercon E82 windturbine	Generieke waarde volgens [1]
Masthoogte	90 meter
Rotordiameter	82 meter
Tiphoogte	131 meter
Aantal bladen	3
Gegenereerd vermogen	2,3 MW
IEC klasse II	landlocatie
High impact zone*	104 meter
Maximale werpafstand (landlocatie) bij overtoeren (2 x nom.)	368 meter
Maximale werpafstand (landlocatie) bij mechanisch remmen (1,25 x nom.)	189 meter
Maximale werpafstand (landlocatie) bij nominaal toerental (1 x nom.)	139 meter
PR 10 ⁻⁶ /jr**	142 meter

* high impact zone betreft masthoogte + 1/3 wielengte

** generiek = volgens tabel op blz 16 van [1].

Tabel 3.2 Parameters Windturbine Opstellingsalternatief 2: Vestas V112 IEC klasse IIA/IIIA

Paramaters Vestas V112 windturbine	Generieke waarde volgens [1]
Masthoogte	119 meter
Rotordiameter	112 meter
Tiphoogte	175 meter
Aantal bladen	3
Gegenereerd vermogen	3,0 MW
IEC klasse II	landlocatie
High impact zone*	138 meter
Maximale werpafstand (landlocatie) bij overtoeren (2 x nom.)	369 meter
Maximale werpafstand (landlocatie) bij mechanisch remmen (1,25 x nom.)	189 meter
Maximale werpafstand (landlocatie) bij nominaal toerental (1 x nom.)	143 meter
PR 10 ⁻⁶ /jr**	162 meter

* high impact zone betreft masthoogte + 1/3 wielengte

** generiek = volgens tabel op blz 16 van [1].

N.B. Bij windturbines wordt gebruikgemaakt van verschillende turbineklassen (IEC-klasse). IEC-klasse I betreft een windturbine die geschikt is voor gebruik bij een gemiddelde windsnelheid van 10 m/s.

3. Een definitieve keuze voor een windturbine type alsmede de exacte locatie van elke windturbine is nog niet gemaakt. Daarom zijn voor beide varianten representatieve windturbine types en locaties door opdrachtgever aangereikt.

Dit zijn gemiddelde snelheden die alleen op open zee optreden. IEC-klasse II staat voor een type dat geschikt is voor een gemiddelde windsnelheid van 8,5 m/s.

Het 'Handboek Risicozonering Windturbines' [1] heeft in haar versie 2 hierbij de begrippen landlocatie voor IEC II en kustlocatie voor IEC I gehanteerd. In versie 3 wordt deze benaming niet meer gehanteerd en is sprake van IEC-klasse I, II en III.

3.2 Risicoparameters Windturbine

Scenario's en faalfrequenties voor risicoanalyses volgens het handboek risicozonering [1]:

Tabel 3.3 Faalfrequenties per scenario

Scenario	Faalfrequentie per turbine per jaar
Breuk van geheel blad onderverdeeld in 2 scenario's:	$8,4 \times 10^{-4}$
• bladbreuk bij nominaal rotortoerental	$8,4 \times 10^{-4}$
• overtoeren	$5,0 \times 10^{-6}$
Omvalen van de hele turbine door mastbreuk	$1,3 \times 10^{-4}$
Naar beneden vallen van gondel en/of rotor ⁴	$4,0 \times 10^{-5}$

Bron: Handboek Risicozonering Windturbines; Agentschap NL (2013)

4. Faalfrequentie is gewijzigd t.o.v. Handboek versie 2 uit 2005.

4 Resultaten risicoberekening

De volgende zaken zijn beoordeeld.

- Het plaatsgebonden risico van elke afzonderlijke windturbine en de eventuele aanwezigheid van kwetsbare of beperkt kwetsbare objecten binnen deze contour. Dit is uitgewerkt in hoofdstuk 4.
- De relevantie van domino-effecten. (In hoeverre de aanwezigheid van windturbine(s) de initiële faalfrequentie van andere risicobronnen externe veiligheid met meer dan 10% verhogen). Dit is uitgewerkt in hoofdstuk 5.
- Het risico voor personen (Individueel passantenrisico IPR) en Groepsrisico voor Inrichtingen (GRI), Groepsrisico voor Transportroutes (GRT) en Maatschappelijk Risico (MR). Dit is uitgewerkt in hoofdstuk 6.
- In hoofdstuk 7 is een beschouwing gegeven van de onvoorziene niet beschikbaarheid van de Nieuwe Waterweg.
- Daarnaast verdient de Maeslantkering specifieke aandacht. Dit is uitgewerkt in hoofdstuk 8.
- Ook de dijklichamen verdienen bescherming tegen schade van windturbines: in hoofdstuk 9 is uitgewerkt in hoeverre doorbraak risico's van dijklichamen worden beïnvloed worden door de aanwezigheid van windturbines.

4.1 Plaatsgebondenrisicocontouren

Het plaatsgebonden risico (PR) van 10^{-5} en 10^{-6} per jaar kan:

1. of worden berekend conform de formules Handboek risicozonering windturbines [1], middels het ballistisch model zonder luchtkrachten. Deze zijn weergegeven in tabel 4.1 (zie ook bijlage 1);
2. of worden herleid uit de generieke gegevens van hetzelfde handboek.

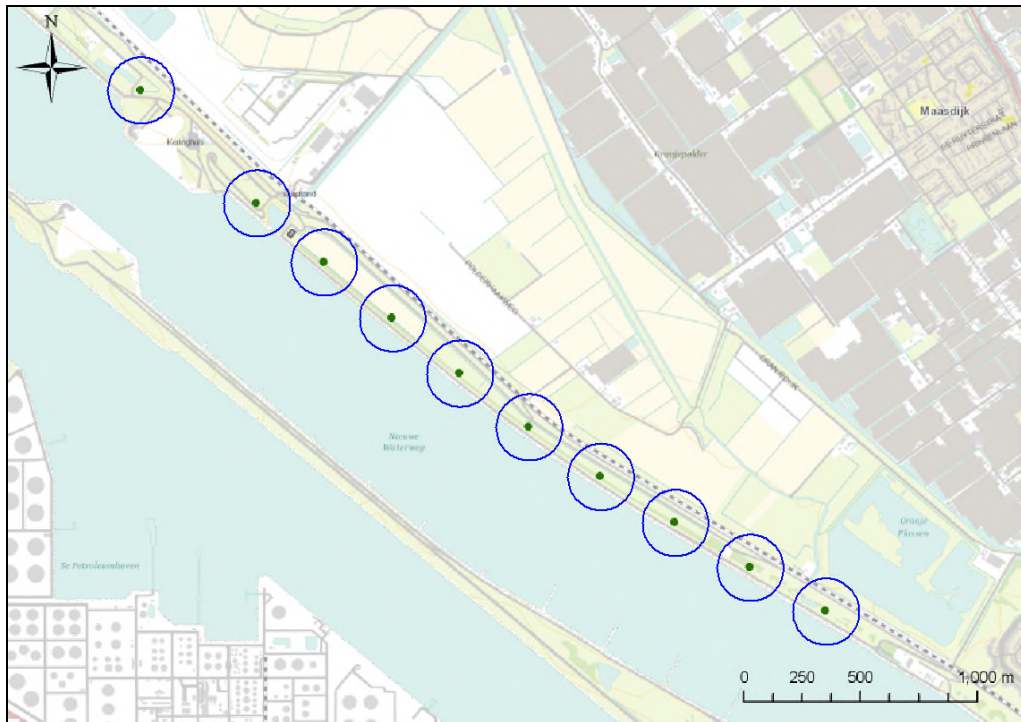
Tabel 4.1 Afstanden in meters tot plaatsgebondenrisicocontouren⁵

Opstellingsvariant	1 [2,3 MW] (Berekend/Generiek)	2 [3,0 MW] (Berekend/Generiek)
Afstand tot 10^{-5} -contour [m]	41/42	56/48
Afstand tot 10^{-6} -contour [m]	131/142	175/162
Afstand tot 10^{-8} -contour [m]	179/--	193/--
Invloedsgebied (maximale werpafstand)	360/368	375/369

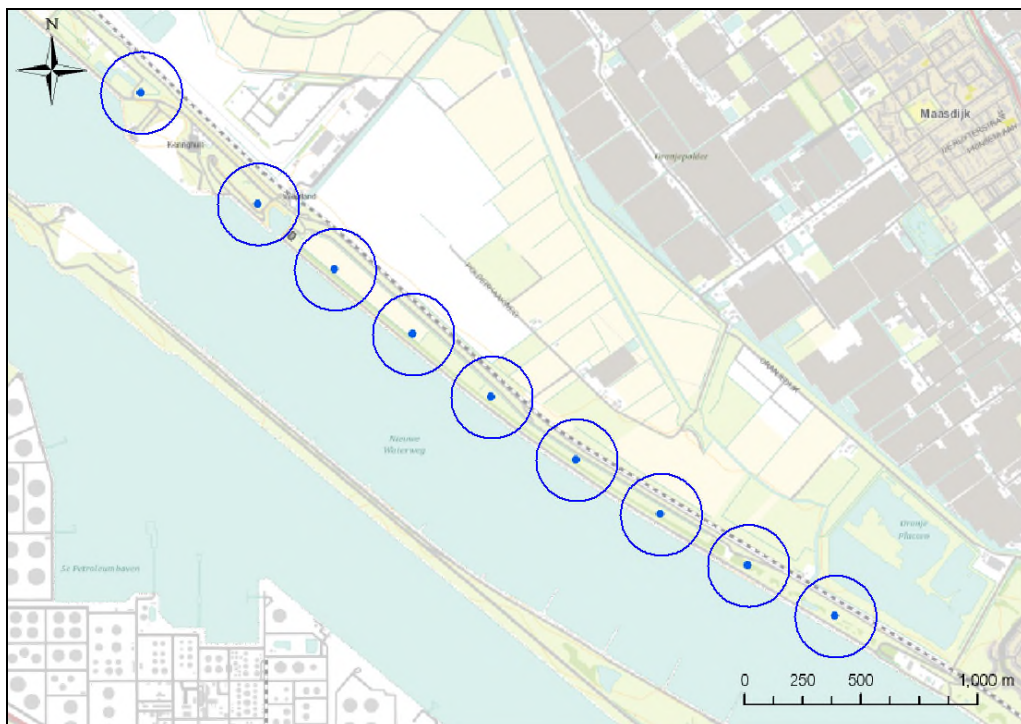
In onderstaande figuren is de grootste waarde zoals getoond in tabel 4.1 van de 10^{-6} /jaar-contour en invloedsgebied weergegeven.

De maximale 10^{-6} /jaar-plaatsgebondenrisicocontouren zijn weergegeven in figuur 4.1a (opstellingsvariant 1) en figuur 4.1b (Opstellingsvariant 2).

5. Voor deze presentatie (een range) is gekozen vanwege het feit dat de definitieve keuze voor de type windturbines nog niet is gemaakt.



Figuur 4.1a Ligging 10^{-6} /jaar-plaatsgebondenrisicocontour (blauw: 142 m): opstellingsvariant 1



Figuur 4.1b Ligging 10^{-6} /jaar-plaatsgebondenrisicocontour (blauw: 175 m): opstellingsvariant 2

De afstand tot de 10^{-6} /jaar-plaatsgebondenrisicocontour geldt volgens [2] als norm voor kwetsbare objecten buiten de inrichting, zoals woonbebouwing en grote kantoren (meer dan 1.500 m^2 / of meer dan 50 personen). De afstand tot de 10^{-5} -plaatsgebondenrisicocontour geldt als norm voor beperkt kwetsbare objecten buiten de inrichting, zoals bedrijfsgebouwen. Dit betekent dat de ligging van de

naastgelegen objecten moeten worden getoetst aan de ligging van de 10^{-5} /j- en 10^{-6} /j-plaatsgebondenrisicocontour.

Toetsing: plaatsgebonden risico 10^{-6} /jaar Variant 1

Er zijn geen kwetsbare of beperkt kwetsbare objecten (volgens definitie Bevi) aanwezig binnen de maximale 10^{-6} /jaar-plaatsgebondenrisicocontour. Dientengevolge zijn er ook geen kwetsbare of beperkt kwetsbare objecten aanwezig binnen de kleinere 10^{-5} /jaar-plaatsgebondenrisicocontour. Hiermee wordt voldaan aan de eisen van de gewijzigde milieuregels voor windturbines (Activiteitenbesluit).

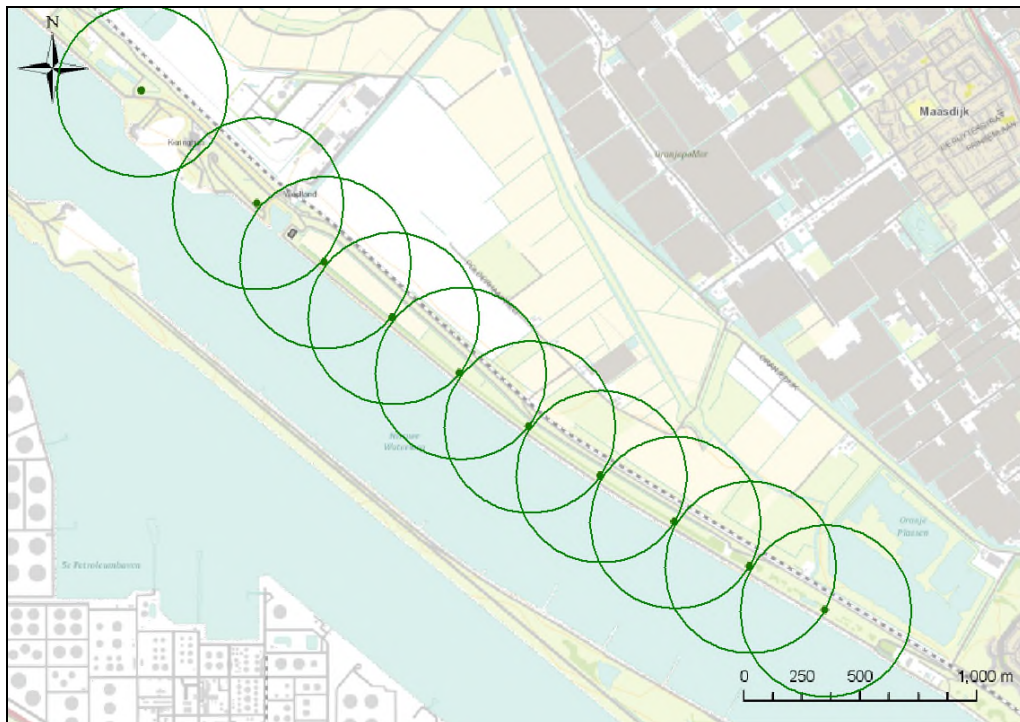
Toetsing: plaatsgebonden risico 10^{-6} /jaar Variant 2

Een deel van het Besturingsgebouw Maeslantkering valt binnen de 10^{-6} /jaar-plaatsgebondenrisicocontour. Dit gebouw is een beperkt kwetsbaar object (het gebouw wordt opgevat als een bedrijfsgebouw met kantoor met een bruto vloeroppervlak minder dan 1.500 m^2 bvo/ 50 medewerkers). Dit object ligt buiten de 10^{-5} /jaar-plaatsgebondenrisicocontour. Vanwege de ligging van dit beperkt kwetsbaar object buiten de 10^{-5} /jaar-plaatsgebondenrisicocontour is voldaan aan de eisen van de gewijzigde milieuregels voor windturbines (Activiteitenbesluit).

5 Domino-effecten

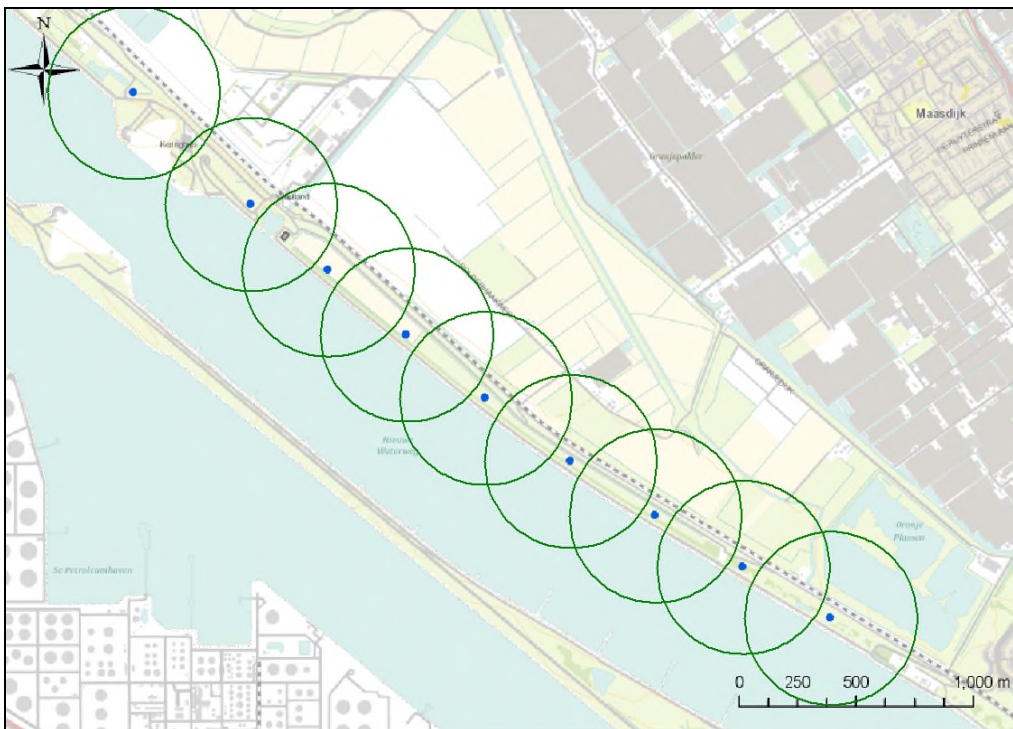
Domino-effecten treden op als gevolg van het falen van de windturbine, indien een activiteit met gevaarlijke stoffen (schepen, tankwagens, spoorketelwagens en buisleidingen met gevaarlijke stoffen) wordt getroffen door onderdelen van een windturbine. Als dit leidt tot het vrijkomen van gevaarlijke stoffen neemt het risico voor de omgeving (mogelijk) toe. Wanneer de initiële faalfrequentie met meer dan 10% toeneemt als gevolg van de aanwezigheid van windturbines dient de risicoberekening van de betreffende modaliteit (schepen, tankwagens, spoorketelwagens, buisleidingen etc.) met deze verhoogde kans te worden uitgevoerd en dient te worden beoordeeld of de berekende risico's acceptabel zijn. Wanneer de initiële faalfrequentie met minder dan 10% toeneemt wordt dit zogenaamde domino-effect als niet relevant beschouwd⁶.

Domino-effecten worden beschouwd binnen het invloedsgebied van de windturbines. In onderstaande figuren zijn de invloedsgebieden van de windturbines getoond.



Figuur 5.1a Ligging invloedsgebied (groen: 368 m): opstellingsvariant 1

6. In overeenstemming met 'Instrument Domino-Effecten' van mei 2003, RIVM.



Figuur 5.1b Ligging invloedsgebied (groen: 369 m): opstellingsvariant 2

De volgende objecten/activiteiten zijn aangetroffen binnen het invloedsgebied van de windturbines. Hierin is geen verschil tussen opstellingsalternatief 1 en opstellingsalternatief 2.

Tabel 5.2 Overzicht objecten/activiteiten binnen invloedsgebied

Windturbine nr. ⁷	Binnen invloedsgebied aanwezig
1	Hoogspanningskabel & grondstation Besturingsgebouw Maeslantkering Maeslantkeringweg Hoeksebaan (weg) Spoor Maeslantwaterkering in rust (kademuur) Delflandsedijk, zeegedeelte Deel Nieuwe Waterweg Woningen Slachthuisweg Industrierrein Hoeksebaan Maeslantkering: Keringshuis Maeslantkering: Besturingsgebouw Maeslantkering: Loods Maeslantkering: Parkeerplaats Maeslantkering: Armen Maeslantkering: kade muur wanneer in missie
2	Parkeerplaats bezoekers waterkering Maeslantkeringweg Hoeksebaan (weg) Spoor Gemaal Oranjekanaal Steiger nabij inlaat Oranjekanaal (Fast Ferry)

7. De molens zijn genummerd van noord naar zuid van 1 tot en met 10 (of 9).

Windturbine nr. ⁷	Binnen invloedsgebied aanwezig
	Delflandsedijk, riviergedeelte Deel Nieuwe Waterweg Buisleiding K1 NAM Bedrijventerrein Hoeksebaan Enkele Woningen Polderkaden langs Oranjekanaal
t/m 9/10	Spoor Poortershaven (weg) Fietspad Delflandsedijk, riviergedeelte Deel Nieuwe Waterweg Woning(en)/bedrijven Buisleiding K1 NAM (alleen WT3) Polderkaden langs Oranjekanaal (alleen WT3)

Van de hierboven genoemde objecten is een drietal welke (mogelijk) gebruikt wordt voor het vervoer van gevaarlijke stoffen. Deze kunnen relevant zijn voor domino-effecten. Het betreft:

- Hoeksebaan: weg tussen Maasdijk (weg) en Industrierrein DSM Resins: Mogelijk relevant vanwege het vervoer gevaarlijke stoffen t.b.v. industrierrein⁸;
- Nieuwe Waterweg: scheepvaart over de Nieuw Waterweg: relevant vanwege het vervoer gevaarlijke stoffen;
- Buisleiding K1 NAM.

Het spoor wordt uitsluitend gebruikt voor personenvervoer en is daarom niet relevant voor het domino-effect.

Gezien de afstand van de buisleiding K1 NAM tot aan WT 2 en WT 3 heeft in overleg met de opdrachtgever geen nadere beschouwing plaatsgevonden. In het MER-rapport (paragraaf 11.3.4 Onder- en bovengrondse transportleidingen en kabels) is dit beschouwd. Hieruit is gebleken dat wordt voldaan aan de NAM-eis. In dit onderzoek is de buisleiding derhalve niet nader beschouwd.

Gelet op bovenstaande zijn mede op verzoek van de opdrachtgever het domino-effect van de Nieuwe Waterweg en het domino-effect van de Hoeksebaan nader uitgewerkt.

5.1 Domino-effecten Nieuwe Waterweg: vervoer gevaarlijke stoffen over water

Waar bevinden zich de schepen op de Nieuwe Waterweg?

De Nieuwe Waterweg is 480 tot 675 meter breed. In de legger op basis van de Waterwet is aangegeven waar formeel gezien de vaarweg zich bevindt. Het blijkt dat deze varieert van circa 70 meter uit de oever (bij km 1023) tot 183 m (vlak voor de Maeslantkering)⁹.

Dit betekent dat schepen voor binnenvaart en schepen voor zeevaart op minimaal 70 meter uit de oever varen.

-
8. Het industrierrein met daarop DSM Resins zelf valt buiten het invloedsgebied en is dus niet relevant voor de risicoanalyse. Het deel van het bedrijventerrein Hoeksebaan dat binnen het invloedsgebied van de windturbines valt bestaat uit een recyclingbedrijf. Dit wordt als een niet risicovol bedrijf beschouwd. Domino-effecten zijn hier niet van toepassing.
 9. Het betreft hier dus de afstand van de grens van de vaarweg tot aan de oever: de vaarweg is dus minder breed dan de Nieuwe Waterweg.

De afstand van het centrum van de windturbine tot aan de waterlijn/oever is 45 m (opstellingsvariant 1, afgeronde, kleinste afstand¹⁰) of 60 m (opstellingsvariant 2, afgeronde, kleinste afstand).

Dit betekent dat de kleinste afstand van schepen tot de windturbine 45 + 70 = 115 m (Var. 1) of 60 + 70 = 130 m (Var. 2).

Er zijn twee soorten schepen:

- zeeschepen: aangenomen grondoppervlak 3.000 m²: vaarsnelheid 15 km/h¹¹;
- binnenvaartschepen: aangenomen grondoppervlak: 1.000 m²: vaarsnelheid 15 km/h.

Lengte van het traject binnen invloedsgebied van de windmolens: circa 3.000 m.

Bij een vaarsnelheid van 15 km/h verkeert elke schip gedurende 12 minuten binnen het invloedsgebied van alle windturbines.

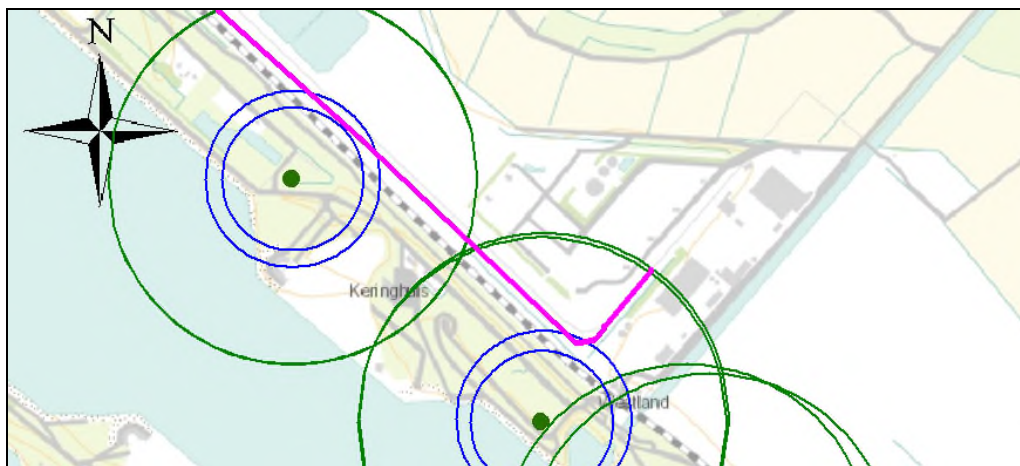
In bijlage 1 is een gedetailleerd overzicht van deze berekening te vinden.

Resultaat van deze berekening is dat de initiële ongevalfrequentie ten gevolge van de windturbines minder dan 10% toeneemt. Domino-effecten zijn derhalve niet relevant en behoeven niet inzichtelijk gemaakt te worden.

5.2 Domino-effect Hoeksebaan: vervoer gevaarlijke stoffen over de weg

Aangenomen is dat over de Hoeksebaan vrachtverkeer met gevaarlijke stoffen kan komen, met als bestemming het Industrieterrein waarop DSM Resins en andere chemische industrie is gevestigd.

In onderstaande figuur is aangegeven welk deel van de weg binnen het invloedsgebied van welke windmolens is gelegen.



Figuur 5.3 Hoeksebaan (roze) gelegen binnen het invloedsgebied van molen 1 en 2 (opstellingsalternatief 1 en molen 1 en 2 (opstellingsalternatief 2). Groene cirkel: invloedsgebied, blauw cirkels 10⁻⁶/jaar-contour

10. De windturbine die het dichtst bij de waterlijn staat heeft een afstand tot de waterlijn zoals gepresenteerd. De andere windturbines hebben een grotere afstand tot de waterlijn. Dit leidt tot een 'worst case'-benadering.
11. Op basis van het document "Klasse Indeling volgens CEMT 1992" is een gemiddeld grondoppervlak van zeeschepen gebruikt van 3.000 m² en een gemiddeld grondoppervlak van binnenvaartschepen van 1.000 m².

De kleinste afstand van de Hoeksebaan tot aan een van beide windmolens is 150 m. Op basis daarvan is de trefkans van een tankwagen met de wettelijke maximale afmetingen berekend (Geen LZV-vrachtwagen). Zie bijlage 1.

Resultaat van deze berekening is dat de initiële ongevalfrequentie ten gevolge van de windturbines minder dan 10% toeneemt. Domino-effecten zijn derhalve niet relevant en behoeven niet inzichtelijk gemaakt te worden.

5.3 Conclusie domino-effecten

Geen van de beide transportmodaliteiten (scheepsvaart met gevaarlijke stoffen, en tankwagens met gevaarlijke stoffen) ondervindt door de aanwezigheid van de windturbines een extra faalfrequentie die de initiële faalfrequentie met meer dan 10% overstijgt. Dit betekent dat het effect domino-effecten ten aanzien van vervoer van gevaarlijke stoffen over vaarweg en weg niet van belang is.

6 Risicoanalyse passanten

Wanneer passanten zich in de nabijheid van de windturbines ophouden kunnen ze geraakt worden door onderdelen van een windturbine wanneer deze faalt. De kans op het gelijktijdig aanwezig zijn van een passant en een windturbineonderdeel op de inslagplek van een losgeraakt onderdeel wordt inzichtelijk gemaakt met het Individueel Passanten Risico. Uitgangspunt hier is een passant die op regelmatige basis langs het windpark komt.

Daarnaast is het Maatschappelijk Risico berekend: de kans dat een persoon geraakt wordt door een windturbineonderdeel wanneer alle personen die jaarlijks langs de windturbine komen in de berekening worden betrokken.

Een dergelijke berekening is relevant voor alle infrastructuren waarlangs personen zich verplaatsen. In dit geval:

- spoor;
- fietspad (berekening wordt uitgevoerd voor het dichtst bij de windturbines gelegen fietspad: op de Nieuwe Waterweg-oever);
- weg (berekening wordt uitgevoerd voor de dichtst bij de windturbine gelegen weg: Poortershaven);
- vaarweg (Nieuwe Waterweg).

6.1 Spoorvervoer

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd bij het berekenen van het Individueel Plaatsgebonden Risico.

- Snelheid van de trein ter plaatse van het windturbinepark mag maximaal 130 km/h bedragen. Dit is lager dan 160¹² km/h zodat als norm 10⁻⁶/jaar van toepassing is. Gerekend is met een conservatieve snelheid van 80¹³ km/h.
- De maatgevende windturbine is turbine 10 (opstellingsalternatief 1) en turbine 6 (opstellingsalternatief 2). Deze turbines staan het dichtst bij het spoor. Van deze turbine is het individueel passantenrisico berekend en dit is vermenigvuldigd met het aantal aanwezig windturbines (10 respectievelijk 9). Dit leidt tot een 'worst case'-benadering. De andere windturbines staan verder van het spoor.

Van beide opstellingsvarianten is tevens het MR berekend.

- Uitgegaan is van een specifieke passant die 2 x per dag gedurende alle dagen van het jaar deze plek passeert (dus 2 x 365 = 730 maal per jaar).

Opstellingsvariant 1: Het berekende individueel passantenrisico is **2,5 x 10⁻⁹/jaar**. Dit is lager dan de genoemde 10⁻⁶/jaar.

Opstellingsvariant 2: Het berekende individueel passantenrisico is **3,0 x 10⁻⁹/jaar**. Dit is lager dan de genoemde 10⁻⁶/jaar.

Beide opstellingsvarianten voldoen aan de IPR-norm van 10⁻⁶/jaar.

Voor het berekenen van het Maatschappelijk Risico (MR) is gebruik gemaakt van de volgende uitgangspunten.

12. Infrastructuur waar een maximale snelheid van 160 km/h of hoger mag bedragen heeft een IPR-norm van 10⁻⁷/jaar. Wanneer de maximale snelheid lager dan 160 km/h bedraagt is de IPR-norm 10⁻⁶/jaar.
13. 80 km/h als gemiddelde snelheid vanwege de beperkte afstand tussen beide stations.

- Het spoor Hoek van Holland Haven - Maassluis wordt bediend door Sprinter 4100 treinstellen, een 6-delige trein. Deze trein kan bij 100% bezetting 322 personen vervoeren. Uit de dienstregeling blijkt dat deze trein 44 keer per dag van Maassluis naar Hoek van Holland Haven rijdt en 44 keer per dag weer terug. Aangenomen is dat de dienstregeling in de weekenden en vakanties identiek is aan de dienstregeling op een werkdag. Verder is aangenomen dat de totale overall bezetting 50% bedraagt. Dit leidt tot een totaal aantal vervoerde personen van 5.171.320 personen per jaar.
- Gebruikmaken van het Individueel Passanten Risico blijkt het aantal doden per passage per persoon circa $3,49 \cdot 10^{-12}$ (opstellingsvariant 1) of $4,1 \cdot 10^{-12}$ (opstellingsvariant 2) te bedragen. Wanneer dit getal vermenigvuldigd wordt met het aantal personen dat vervoerd wordt langs het windmolen park ontstaat het zogenaamde Maatschappelijke Risico (MR).

Opstellingsvariant 1: Het MR bedraagt: **$1,8 \cdot 10^{-5}$** . Dit is lager dan $2,0 \cdot 10^{-3}$ zodat voldaan is aan de eis van het MR.

Opstellingsvariant 2: Het MR bedraagt: **$2,1 \cdot 10^{-5}$** . Dit is lager dan $2,0 \cdot 10^{-3}$ zodat voldaan is aan de eis van het MR.

Beide opstellingsvarianten voldoen aan de MR norm van $2 \cdot 10^{-3}$ /jaar.

De berekening is opgenomen in bijlage 2.

6.2 Fietsers op fietspad

Niet bekend is hoeveel fietsers zich dagelijks op het fietspad bevinden. Daarom wordt een omgekeerde benadering gevolgd: het aantal fietsers dat zich langs de windturbines mogen begeven alvorens niet meer voldaan wordt aan het MR wordt berekend.

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd bij het berekenen van het individueel plaatsgebonden risico:

- De maximale toegestane snelheid van een fietser ter plaatse van het fietspad is lager dan 160 km/h: dit betekent dat de norm 10^{-6} /jaar van toepassing is. Gerekend is met een snelheid van 15 km/h.
- Van elke windturbine van elke opstellingsvariant is gekeken hoeveel meter fietspad ligt binnen de 10^{-5} /jaar-contour en hoeveel binnen de 10^{-6} /jaar-contour. Dit leidt tot een totale verblijfstijd van binnen 10^{-5} /jaar-contouren en 10^{-6} /jaar-contouren. Op basis hiervan is het IPR berekend.
- Uitgegaan is van een specifieke passant die 2 x per dag gedurende alle dagen van het jaar deze plek passeert (dus $2 \times 365 = 730$ maal per jaar).

Opstellingsvariant 1: Het berekende Individueel Passanten Risico is **$5,7 \cdot 10^{-8}$ /jaar**. Dit is lager dan de genoemde 10^{-6} /jaar.

Opstellingsvariant 2: Het berekende Individueel Passanten Risico is **$6,5 \cdot 10^{-8}$ /jaar**. Dit is lager dan de genoemde 10^{-6} /jaar.

Beide opstellingsvarianten voldoen aan de IPR norm van 10^{-6} /jaar.

Het aantal passages moet worden verhoogd tot 25,8 miljoen (opstellingsvariant 1) of 22,6 miljoen (opstellingsvariant 2) opdat het Maatschappelijk Risico $2 \cdot 10^{-3}$ wordt. Voor beide opstellingsvarianten is het aantal passanten op de fiets dermate hoog, dat met zekerheid gesteld kan worden dat dit in werkelijkheid niet gehaald zal worden. Daarmee is aangetoond dat de werkelijke MR onder de norm blijft.

6.3 Personenauto's op de weg Poortershaven

Niet bekend is hoeveel personenauto's zich dagelijks op deze weg bevinden. Daarom wordt een omgekeerde benadering gevolgd: het aantal personenauto's dat zich langs de windturbines mogen begeven alvorens niet meer voldaan wordt aan het MR wordt berekend.

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd bij het berekenen van het individueel plaatsgebonden risico:

- De maximale toegestane snelheid van een weg ter plaatse van het plan is lager dan 160 km/h: dit betekent dat de norm 10^{-6} /jaar van toepassing is. Gerekend is met een snelheid van 80 km/h.
- Van elke windturbine van elke opstellingsvariant is gekeken hoeveel meter van de Poortershaven ligt binnen de 10^{-5} /jaar-contour en hoeveel binnen de 10^{-6} /jaar-contour. Dit leidt tot een totale verblijfstijd van binnen 10^{-5} /jaar-contouren en 10^{-6} /jaar-contouren. Op basis hiervan is het IPR berekend.
- Uitgegaan is van een specifieke passant die 2 x per dag gedurende alle dagen van het jaar deze plek passeert (dus $2 \times 365 = 730$ maal per jaar).

Opstellingsvariant 1: Het gevonden individueel passantenrisico is **$6,6 \times 10^{-9}$ /jaar**. Dit is lager dan de genoemde 10^{-6} /jaar.

Opstellingsvariant 2: Het gevonden individueel passantenrisico is **$1,2 \times 10^{-8}$ /jaar**. Dit is lager dan de genoemde 10^{-6} /jaar.

Beide opstellingsvarianten voldoen aan de IPR-norm van 10^{-6} /jaar.

Het aantal passages moet worden verhoogd tot 22 miljoen (opstellingsvariant 1) of 12,5 miljoen (opstellingsvariant 2) opdat het Maatschappelijk Risico 2×10^{-3} wordt. Voor beide opstellingsvarianten is het aantal passanten dermate hoog, dat met zekerheid gesteld kan worden dat dit in werkelijkheid niet gehaald zal worden. Daarmee is aangetoond dat de werkelijke MR onder de norm blijft.

6.4 Personen in schepen op de Nieuwe Waterweg

Niet bekend is hoeveel personen in schepen zich dagelijks op de Nieuwe Waterweg bevinden. Daarom wordt een omgekeerde benadering gevolgd: het aantal schepen dat zich langs de windturbines mogen begeven alvorens niet meer voldaan wordt aan het MR wordt berekend

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd bij het berekenen van het Individueel Plaatsgebonden Risico:

- De maximale toegestane snelheid van een vaarweg ter plaatse van het plan is lager dan 160 km/h: dit betekent dat de norm 10^{-6} /jaar van toepassing is. Gerekend is met een snelheid van 15 km/h.
- Vrachtscheepvaart dient minimaal 70 meter uit de oever te blijven (op basis van de legger uit de Waterwet). Recreatievaart zou dichterbij de oever kunnen komen. We gaan uit van het uitgangspunt dat het varend verkeer zich op minimaal 10 meter uit de oever bevindt. Dit is een (zeer) conservatieve aanname.
- Van elke windturbine van elke opstellingsvariant is gekeken hoeveel meter van de Nieuwe Waterweg ligt binnen de 10^{-5} /jaar-contour en hoeveel binnen de 10^{-6} /jaar-contour. Dit leidt tot een totale verblijfstijd van binnen 10^{-5} /jaar-contouren en 10^{-6} /jaar-contouren. Op basis hiervan is het IPR berekend.

- Uitgegaan is van een specifieke passant die 2x per dag gedurende alle dagen van het jaar deze plek passeert (dus $2 \times 365 = 730$ maal per jaar).

Opstellingsvariant 1: Het gevonden individueel passantenrisico is **$1,3 \times 10^{-8}$ /jaar**. Dit is lager dan de genoemde 10^{-6} /jaar.

Opstellingsvariant 2: Het gevonden individueel passantenrisico is **$1,4 \times 10^{-8}$ /jaar**. Dit is lager dan de genoemde 10^{-6} /jaar.

Beide opstellingsvarianten voldoen aan de IPR-norm van 10^{-6} /jaar.

Het aantal passages moet worden verhoogd tot 111,5 miljoen (opstellingsvariant 1) of 101,9 miljoen (opstellingsvariant 2) opdat het maatschappelijk risico 2×10^{-3} wordt. Voor beide opstellingsvarianten is het aantal passanten dermate hoog, dat met zekerheid gesteld kan worden dat dit in werkelijkheid niet gehaald zal worden. Daarmee is aangetoond dat de werkelijke MR onder de norm blijft.

7 Onvoorziene niet-beschikbaarheid van de Nieuwe Waterweg

Calamiteiten met windturbines kunnen leiden tot stremmingen in de Nieuwe Waterweg. In dit hoofdstuk is het begrip 'Onvoorziene niet-beschikbaarheid van de Nieuwe Waterweg' onderzocht aan de hand van een kwantitatieve invulling van dit begrip.

Uitgangspunt is dat de Nieuwe Waterweg als gestremd wordt beschouwd wanneer installatie delen van windturbines in de vaarweg terecht komen. Dat wil zeggen wanneer de turbine delen op meer dan 70 meter van de oever in de Nieuwe Waterweg terecht komen.

Aangezien de windturbines op minimaal 45 meter (opstellingsvariant 1) of minimaal 60 meter (opstellingsvariant 2) zijn gelegen van de oever van de Nieuwe Waterweg betekent dit dat windturbine installaties of delen daarvan minimaal $45 + 70 = 115$ (opstellingsvariant 1) of $60 + 70 = 130$ meter (opstellingsvariant 2) moeten overbruggen voordat ze in de vaarweg van de Nieuwe Waterweg terecht komen. Van belang is nu wat de kans is op het terecht komen van windturbine delen in de vaarweg van de Nieuwe Waterweg.

Tabel 2.1 van de Handleiding risicoanalyse windturbines (tabel 3.2 van dit rapport) geeft een aantal mogelijke calamiteiten die kunnen plaats vinden met windturbines: hieronder nogmaals opgenomen:

Tabel 7.1 Faalscenario's

	Scenario	Gerapporteerde maximale werpafstand [m]
1	Breuk van een geheel blad	150 m
2	Omvallen van de gehele turbine door mastbreuk	Ashoogte + halve rotordiameter
3	Naar beneden vallen van gondel/rotor	Halve rotordiameter

Om te bepalen of deze scenario's relevant kunnen zijn en tot stremmingen in de Nieuwe Waterweg kunnen leiden is onderstaande toetstabel opgenomen:

Tabel 7.2 Maximale werpafstanden

	Scenario	Opstellingsvariant 1 max. werpafstand [m]	Opstellingsvariant 2 max. werpafstand [m]
1	Breuk blad	150	150
2	Mastbreuk/vallen turbine	$90+41= 131$	$119+56 = 175$
3	Beneden vallen gondel/rotor	41	56

Hieruit kan geconcludeerd worden dat breuk blad en mastbreuk / vallen turbine kunnen leiden tot turbinedelen in de vaarweg van de Nieuwe Waterweg. Het scenario vallen gondel/rotor is niet van belang. Beide scenario's inclusief onderliggende berekeningen zijn in de bijlage uitgewerkt.

Het resultaat van de berekening is een frequentie die een maat aangeeft voor de toename van de onvoorziene niet beschikbaarheid van de Nieuwe Waterweg:

$$\begin{aligned} \text{Opstellingsvariant 1: } & 1,7 \times 10^{-4} + 1,24 \times 10^{-4} = \mathbf{2,9 \times 10^{-4}/jaar} \\ \text{Opstellingsvariant 2: } & 1,59 \times 10^{-4} + 1,64 \times 10^{-4} = \mathbf{3,2 \times 10^{-4}/jaar.} \end{aligned}$$

Deze frequentie wordt nu omgerekend naar een schatting van de onvoorziene niet beschikbaarheid per jaar voor:

Opstellingsvariant 1: Frequentie: eens per : $1/2,94 \times 10^{-4}$ /jaar = 3.400 jaar
Opstellingsvariant 2: Frequentie: eens per: $1/3,23 \times 10^{-4}$ /jaar = 3.096 jaar.

Aangenomen wordt dat de stremming ten gevolge van een ongeval met een windturbine 24 uur bedraagt. Met andere woorden: eens in de 3.000 jaar is de vaarroute (Nieuwe Waterweg) 24 uur gestremd vanwege een ongeval met/van één van de windturbines.

Deze gebeurtenis wordt vergeleken met de algemene serviceprestaties die Rijkswaterstaat hanteert voor hoofdvaarwegen. Deze zijn opgenomen in tabel 7.3. en afkomstig uit het document "*Betrouwbaar op vaarweg*" van RWS d.d. juli 2005 v2.

Tabel 7.3 Algemene service prestaties voor hoofdroutes (vaarwegen)

hoofdroute	betrouwbaarheid	niet stremmen als er geen alternatieve route is
		maximaal 24 uur/jaar ongeplande stremming
		ijsbreken wanneer/zodra nodig
	robuustheid	24 uur per dag, 7 dagen per week bediening
	veiligheid	op knooppunten actieve verkeersbegeleiding vanuit walposten
		incident management, responstijd 0,5 uur

In dit geval wordt specifiek gekeken naar de prestatie-eis ten aanzien van de betrouwbaarheid. Deze bedraagt maximaal 24 uur/jaar ongeplande stremming. Ten opzichte van deze prestatie-eis is een ongeplande stremming ten gevolge van een ongeval van/met een windturbine verwaarloosbaar.

8 Risicoanalyse treffen van Maeslantkering

De Maeslantkering is ontworpen om het dichtbevolkte achterland (Zuid-Holland/Rotterdam) te beschermen tegen te hoge waterstanden en vormt onderdeel van de waterkering van de Nieuwe Waterweg. Normaliter staat de Maeslantkering open (scheepvaart kan er ongehinderd langs). Pas bij een voorspelde hoogwaterstand die hoger dan 3,0 m + NAP dreigt te worden bij Rotterdam wordt de Maeslantkering gesloten. Officiële faalkansen van de Maeslantkering bedragen 1 weigering op 100 aanspraken.

In paragraaf 8.1 is het treffen van onderdelen van een windturbine op de Maeslantkering in ruste onderzocht. Het treffen van de Maeslantkering in gebruik (missie) is beschouwd in paragraaf 8.2.

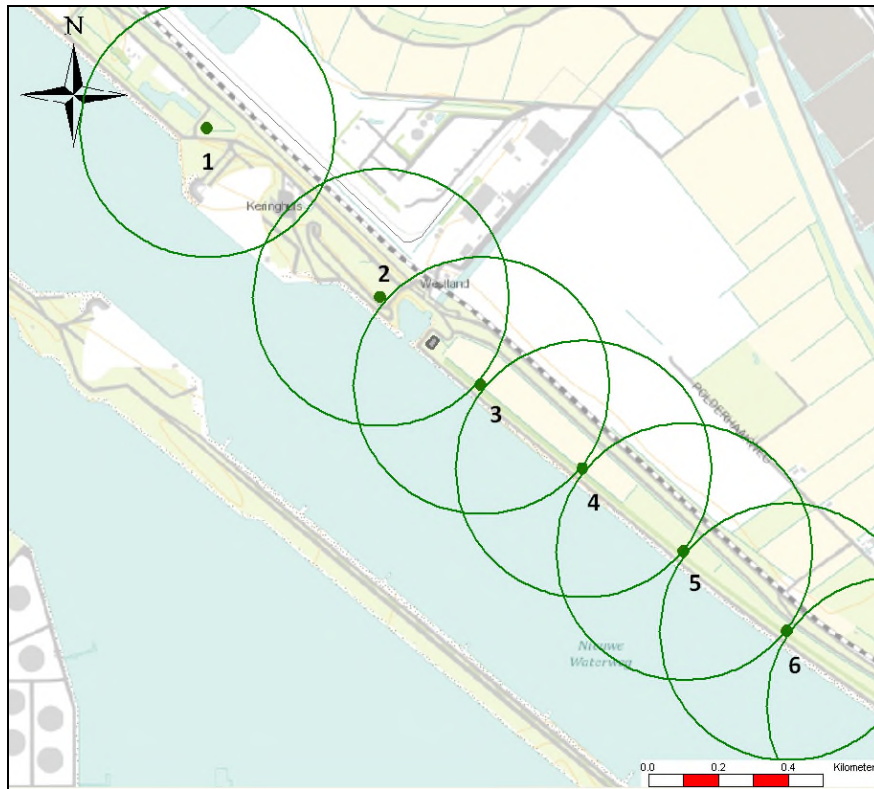
8.1 Maeslantkering in ruste

In het rapport 'Risicoanalyse Windturbine Noordzijde Nieuwe Waterweg', NRG nr 912049/08.91097, d.d. 2 oktober 2008 is voor een aantal windturbines in de nabijheid van de Maeslantkering en in overleg met Rijkswaterstaat bepaald wat de kritieke onderdelen zijn van de Maeslantkering. Deze moeten worden beschouwd in een risicoanalyse.

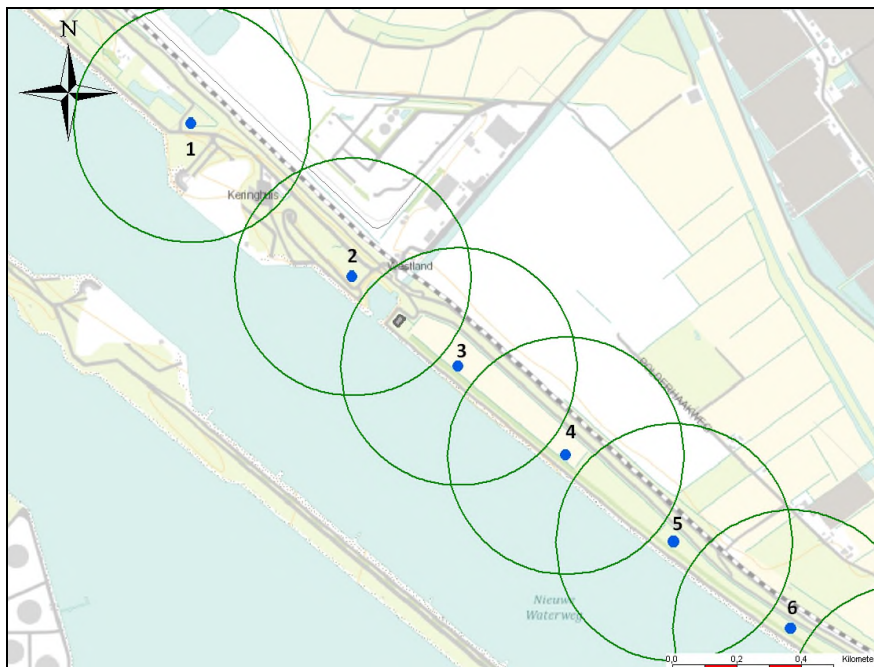
Dit zijn de volgende onderdelen.

- Kerende wand (in rust);
- Vakwerkarmen;
- Bolscharnier;
- Bedieningsgebouw;
- Lier (2 x inclusief back-up van de lier)
- Bekabeling
 - Zinkerkabel
 - Meetkabel (glasvezel)
 - Elektrakabel 10 kV
- Waterstandmeetopstellingen

Allereerst is onderzocht welke windturbines een invloedsgebied hebben dat delen van de Maeslantkering omvat. In figuren 8.1 en 8.2 is hiertoe het invloedsgebied getoond van opstellingsalternatief 1 en 2.



Figuur 8.1 Opstellingsalternatief 1: invloedsgebied m.b.t. Maeslantkering



Figuur 8.2 Opstellingsalternatief 2: invloedsgebied m.b.t. Maeslantkering

Conclusie is dat voor beide opstellingsalternatieven delen van windturbine 1 en 2 (kritische) onderdelen van de Maeslantkering kunnen raken. Windturbine 3 wordt voor de volledigheid in de beschouwing betrokken aangezien deze wel terreinen van de Maeslantkering binnen zijn invloedsgebied heeft. Met betrekking tot de waterstandmeetopstellingen moet worden opgemerkt dat deze op een dusdanig grote afstand liggen dat geen sprake is van significante trefkansen van onderdelen van de windturbine.

De bekabeling, waaronder de zinkerkabels, elektrakabels (10 kV) en glasvezelkabels, ligt voor een belangrijk deel binnen het invloedsgebied van windturbine 1 (NW-kabels) en windturbine 2 (NO-kabels) voor zowel de scenario's blad- als mastbreuk. De trefkansen op de bekabeling is evenals de overige genoemde onderdelen berekend.

8.1.1 Trefkansen van de diverse kritieke onderdelen

In onderstaande tabellen 8.1 en 8.2 is een opsomming gegeven van de trefkansen van de diverse onderdelen van de Maeslantkering. Een overzicht van de uitgebreide berekeningen is opgenomen in bijlage 4 (B4.1 en B4.2). Hierbij is gebruik gemaakt van de volgende berekeningswijzen, in overeenstemming met [1].

- treffen van een onderdeel door een turbineblad: gebruik is gemaakt van het ballistisch model zonder luchtkrachten;
- treffen van een onderdeel door mastbreuk: deze wordt bepaald door de initiële faalfrequentie van de mast en de fractie van de 360-gradencirkel waarin de mast moet vallen om het object te raken;
- vallende gondel: deze wordt bepaald door de initiële faalfrequentie van de gondel en de fractie van de 360-gradencirkel waarin de gondel moet vallen om het object te raken;
- verdeling van richtingen waarin mast en of gondel kunnen vallen is homogeen over de windroos verondersteld;
- raken van een de onderdelen Kerende wand, Vakwerk armen, Bolscharnier en Bedieningsgebouw wordt gelijkgesteld aan falen van de hele Maeslantkering;
- voor de bekabeling is voornamelijk uitgegaan van de berekeningswijze van het Handboek versie 2 uit 2005, waarbij ervan wordt uitgegaan dat treffen leidt tot falen van de kabel. Versie 3 stelt dat deze benadering niet meer actueel is, maar dat voor kabels op dit moment geen onderbouwd model beschikbaar is. Vervolgens wordt verwezen naar een aantal mogelijke modellen (zie paragraaf 8.1.3 [1]). Het uitwerken van deze modellen vraagt gedetailleerde gegevens over eigenschappen van kabels en materialen en geeft een resultaat een relatief grote onzekerheid. Oranjewoud/Save heeft daarom gekozen voor de pragmatische aanpak uit 2005. Uit een globale analyse blijkt dat deze gegevens leiden tot een meer conservatieve schatting van de tref-/faalkans. (voor meer info zie ook paragraaf 11.3 uitwerken mitigerende maatregelen bekabeling).

Tabel 8.1 Trefkans onderdelen opstellingsvariant 1

Kritiek onderdeel	Trefkans per jaar	Bijdrage meer dan 10 ⁶ per jaar	Nader onderzoek nodig (bij > 10 ⁻⁶)
Kerende wand	6,8.10 ⁻⁸	nee	nee
Vakwerk armen	6,8.10 ⁻⁷	nee	nee
Bolscharnier	5,7.10 ⁻⁸	nee	nee
Lier	< 10 ⁻⁹	-	nee
Bedieningsgebouw	2,5.10 ⁻⁸	nee	nee
Bekabeling	1,0.10 ⁻⁴	ja	ja
Totaal	1,0.10⁻⁴	ja	ja

Tabel 8.2 Trefkans onderdelen opstellingsvariant 2

Kritiek onderdeel	Trefkans per jaar	Bijdrage meer dan 10 ⁻⁶ per jaar	Nader onderzoek nodig (bij > 10 ⁻⁶)
Kerende wand	1,2.10 ⁻⁵	ja	ja
Vakwerk armen	5,8.10 ⁻⁷	nee	nee
Bolscharnier	5,7.10 ⁻⁸	nee	nee
Lier	< 10 ⁻⁹	-	nee
Bedieningsgebouw	2,1.10 ⁻⁵	ja	ja
Bekabeling	1,3.10 ⁻⁴	ja	ja
Totaal	1,6.10⁻⁴	ja	ja

De totale kans dat een (onder)deel van een van de windturbines een van de vitale onderdelen van de Maeslantkering treft bedraagt:

- 1,0 x 10⁻⁴ per jaar voor opstellingsvariant 1, en
- 1,6 x 10⁻⁴ per jaar voor opstellingsvariant 2.

In deze tabellen zijn de berekende trefkanssen vergeleken met het toetsingscriterium van RWS, dat stelt dat de toegestane bijdrage aan de faalfrequentie van de Maeslantkering (additionele faalfrequentie) maximaal 10⁻⁶ per jaar mag bedragen. Voor zowel opstellingsvariant 1 als voor opstellingsvariant 2 geldt dat de trefkans op het geheel aan kritieke onderdelen meer bedraagt dan 1.10⁻⁶ per jaar. Omdat het treffen van een kritisch onderdeel niet direct leidt tot een overstroming zijn de risico's hiervan nader beschouwd in par. 8.2. en zijn daarbij de additionele faalfrequenties berekend.

8.1.2 *Beschouwing effecten en risico's op Maeslantkering*

Een overstroming ten gevolg van het falen van een windturbine kan plaatsvinden in geval de volgende twee gebeurtenissen gelijktijdig plaatsvinden.

Gebeurtenis 1: Een onderdeel van een windturbine raakt de waterkering in ruste met als gevolg dat deze niet beschikbaar is.

Gebeurtenis 2: Een waterstand van 3,0 m + NAP of hoger wordt verwacht, waarbij de Maeslantkering moet worden gesloten.

De kans op gebeurtenis 1 is berekend in paragraaf 8.1 waarbij ervan uitgegaan is, dat raken gelijk staat aan falen van de waterkering. Dit betekent dat na raken van de waterkering de waterkering gedurende bepaalde tijd buiten bedrijf is. In die periode kan de waterkering niet worden gesloten. Voor het vaststellen van de tijdsduur voor de herstelperioden zijn in overleg met RWS de herstelperioden van de schades aan de verschillende onderdelen ingeschat.

Tabel 8.3 Vastgestelde schadeherstelperioden van kritieke onderdelen

Onderdeel	Grote schade (20 % van de schades)	Kleine schade (80 % van de schades)	Gemiddeld tijdsduur niet beschikbaar zijn van Maeslantkering na treffen onderdeel van windturbine
- Kerende wand - Vakwerkarmen - Bolscharnier	1 jaar	1 maand	0,267 jaar
- Bedieningsgebouw	1 maand	1 maand	0,083 jaar
- De lier	(*)	(*)	niet relevant
- Bekabeling	1 week (**)	1 week	0,019 jaar

(*) De herstelperiode van de Lier is niet nader beschouwd aangezien de trefkans van de Lier verwaarloosbaar is (< 10⁻⁹ per jaar).

(**) Conform opgave van Enercon (turbinefabrikant) bedraagt de herstelperiode maximaal 1 week.

Gecombineerd met de berekende trefkans levert dit een tijdsfractie op van het niet beschikbaar zijn van de Maeslantkering. Deze is hieronder voor beide opstellingsvarianten weergegeven.

Tabel 8.4 Berekende tijdsfractie 'niet beschikbaar' opstellingsvariant 1

Opstellingsvariant 1	Gemiddeld tijdsduur niet beschikbaar zijn van Maeslantkering na treffen onderdeel van windturbine	Kans op treffen [-/jaar]	Tijdsfractie niet beschikbaar [-]
Onderdeel			
- Kerende wand	0,267 jaar	$6,8 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-8}$
- Vakwerkarmen	0,267 jaar	$6,8 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$
- Bolscharnier	0,267 jaar	$5,7 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$
- Bedieningsgebouw	0,083 jaar	$2,5 \cdot 10^{-8}$	$2,1 \cdot 10^{-9}$
- Bekabeling	0,019 jaar	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$
Totaal			$2,1 \cdot 10^{-6}$

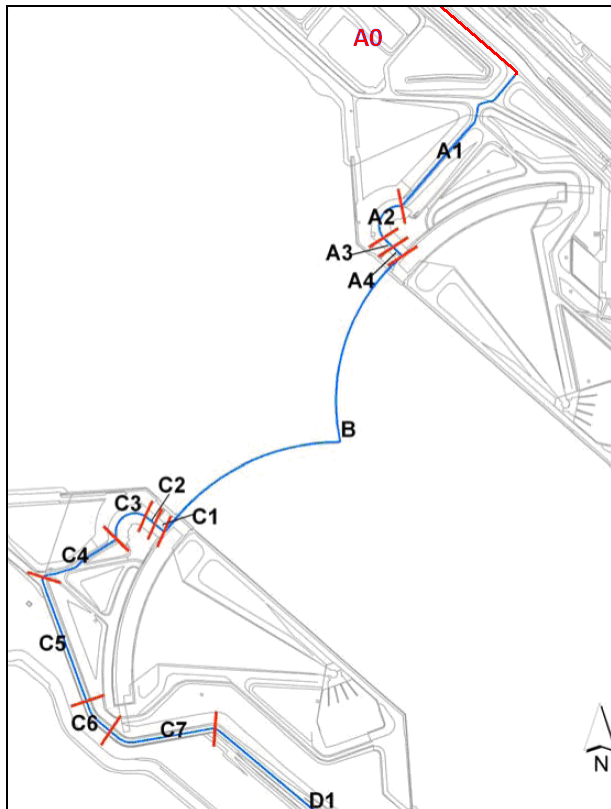
Tabel 8.5 Berekende tijdsfractie 'niet beschikbaar' opstellingsvariant 2

Opstellingsvariant 2	Gemiddeld tijdsduur niet beschikbaar zijn van Maeslantkering na treffen onderdeel van windturbine	Kans op treffen [-/jaar]	Tijdsfractie niet beschikbaar [-]
Onderdeel			
- Kerende wand	0,267 jaar	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-6}$
- Vakwerkarmen	0,267 jaar	$5,8 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$
- Bolscharnier	0,267 jaar	$5,7 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$
- Bedieningsgebouw	0,083 jaar	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$
- Bekabeling	0,019 jaar	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$
Totaal			$7,6 \cdot 10^{-6}$

De additionele faalfrequentie is vervolgens gelijk aan de tijdsfractie 'niet beschikbaar' maal de frequentie op hoog water (waarbij de waterkering moet worden gesloten). Deze frequentie bedraagt eens in de 10 jaar (10^{-1} per jaar). Hiermee bedraagt de additionele faalfrequentie ten gevolge van het falen van een windturbine voor opstellingsvariant 1 $2,1 \cdot 10^{-7}$ per jaar en voor opstellingsvariant 2 $7,6 \cdot 10^{-7}$ per jaar.

8.2 Maeslantkering in missie

Uitgangspunt bij deze beschouwing is dat het achterland van de Maeslantkering tegen hoogwater beschermd wordt door de Maeslantkering. In het document "Leggerdocument Dijkkring verbindende Waterkering Stormvloedkering Nieuwe Waterweg/Europoort", d.d. 3-7-2009, Code DZH-ARN-2009.01201 Kenmerk 073916515:B D03011.007010 is aangegeven wat in de omgeving van de Maeslantkering de primaire waterkeringen zijn. In figuur 9.1 is aangegeven waar deze primaire waterkeringen zich bevinden.



Figuur 8.3 Primaire waterkeringen (toegevoegd dijkvak A0 = Delflandsedijk weergegeven in rood)

In genoemd document is als toelichting op figuur 8.3 onderstaande tabel opgenomen (gedeeltelijk overgenomen).

Tabel 8.6 Specificatie van de diverse onderdelen van de waterkering

Naam	Secctie	Omschrijving	Leggerhoogte [m + NAP]
[-]	[-]	[-]	
SVKW (landhoofd noord)	A1	Aansluiting op Delflandse dijk	7,50
	A2	Grondlichaam rondom bedieningsgebouw	9,55
	A3	Grondlichaam generator bedieningsgebouw	Nader te bepalen
	A4	Kistdam, talud boven kistdam	Nader te bepalen
SVKW	B	Toetsing Maeslantkering in paragraaf 3.12	5,0
SVKW (landhoofd zuid)	C1	Kistdam, talud boven kistdam	Nader te bepalen
	C2	Grondlichaam generator bedieningsgebouw	Nader te bepalen
	C3	Grondlichaam rondom bedieningsgebouw	9,55
	C4	Aansluiting grondlichaam op tuimelkade	7,50

A0 (Delflandsedijk) maakt geen onderdeel uit van de verbindende Maeslantkering maar wordt beschouwd als een onderdeel van de dijkkring. Een deel van A0 ligt in het invloedsgebied van windturbine 1 en is derhalve in de analyse van de trefkans meegenomen.

Van bovengenoemde sectiedelen A0, A1, A2, A3 en A4 is de trefkans bepaald voor zowel turbinebladen (of delen van bladen), mast of mast en rotor en gondel of gondel en rotor. Onderdeel B betreft de Maeslantkering in gesloten toestand (= in werking). De open toestand van de kering (= in rust) is beschouwd in paragraaf 8.1. Onderdelen C1 tot en met C4 vallen buiten het invloedsgebied van de opstellingsalternatieven.

Bij de Maeslantkering in missie moet worden onderzocht in hoeverre het treffen van een onderdeel van een windturbine kan leiden tot falen van de Maeslantkering in missie. Met falen wordt in dit geval bedoeld het raken (treffen) van een onderdeel van de kering met overstroming als gevolg. Allereerst is de trefkans op de onderdelen A en B beschouwd (8.2.1). Daarna is een beschrijving van het effect gegeven, waarna een beschouwing over het risico is gegeven (deels kwantitatief).

8.2.1 Trefkansen waterkering

Gebruikte afmetingen :

- Delflandsedijk A0: volgens opgave van Hoogheemraadschap Delfland (e-mail d.d.12 april 2013) is de te gebruiken hoogte van deze dijk 10,4 m en de breedte 45 m.
- Waterkeringsdeel A1: L: 195 m, H: 7,5 m, aangenomen Breedte 2 x hoogte 15 m.
- Waterkeringsdeel A2: L: 66 m, H: 9,55 m, aangenomen Breedte 2 x hoogte: 19,1 m.
- Waterkeringsdeel A3 en A4: L: 15 m, H: 7,5 m, aangenomen Breedte 2 x hoogte: 15 m.
- Waterkeringsdeel B: L: 250 m, blootgestelde hoogte H: 10 m, aangenomen, breedte 7,2 m.
- De trefkans van de dijk wordt berekend door als afstand te nemen de kleinste afstand tot de kruin minus de halve breedte van de dijk. In wezen wordt hier de trefkans van de voet van de waterkering berekend (conservatief uitgangspunt).

De resultaten zijn opgenomen in tabel 8.7 voor opstellingsvariant 1 en in 8.8 voor opstellingsvariant 2. Een overzicht van de uitgebreide berekeningen is opgenomen in bijlage 5 (B5.1 en B5.2).

N.B.: Bij de trefkansen moet worden opgemerkt dat dit berekende kansen zijn per jaar. Deze kans is volgens gehanteerde methodiek [1] onafhankelijk van windsnelheid. Dit betekent dat de kans van treffen over het jaar gelijk is verspreid.

Tabel 8.7 Trefkansen waterkeringen opstellingsvariant 1

Onderdeel	Trefkans per jaar	Bijdrage meer dan 10^{-6} per jaar	Nader onderzoek nodig
Delflandsedijk A0	1,9E-04	ja	ja
Waterkeringsdeel A1	9,8E-05	ja	ja
Waterkeringsdeel A2	3,8E-08	ja	ja
Waterkeringsdeel A3	6,6E-09	nee	nee
Waterkeringsdeel A4	3,2E-09	nee	nee
Waterkeringsdeel B*	5,3E-08	nee	nee
Totaal	2,8E-04		

Tabel 8.8 Trefkansen waterkeringen opstellingsvariant 2

Onderdeel	Trefkans per jaar	Bijdrage meer dan 10^{-6} per jaar	Nader onderzoek nodig
Delflandsedijk A0	1,7E-04	ja	ja
Waterkeringsdeel A1	7,6E-05	ja	ja
Waterkeringsdeel A2	6,7E-05	ja	ja
Waterkeringsdeel A3	2,7E-06	ja	ja
Waterkeringsdeel A4	3,2E-09	nee	nee
Waterkeringsdeel B*	5,3E-08	nee	nee
Totaal	3,1E-04		

In deze tabellen zijn de berekende trefkansen vergeleken met zowel de kans van 10^{-6} per jaar en een bijdrage van meer of minder dan 10% ten opzichte van waterstandoverschrijdingskans op overstroming van eens in de 10.000 jaar (10^{-4} per jaar). Voor de analyse is ervan uitgegaan dat de onderdelen van de

kering deel uitmaakt van de gehele Maeslantkering. In dat geval is het toetsingscriterium voor de Maeslantkering van toepassing en deze bedraagt volgens RWS 10^{-6} per jaar.

Ten opzichte van de trefkansen op de dijklichamen A0, A1 en A2 kan worden gesteld dat de trefkans (en daarmee het risico) op de Maeslantkering significant bijdraagt aan het totale risico. Het risico op de dijklichamen A0, A1 en A2 is derhalve hieronder nader beschouwd. Op basis van de trefkans wordt de kans op overstroming bepaald in geval de Maeslantkering in missie is (paragraaf 8.3.2).

8.2.2 Risicobeschuiving falen van Maeslantkering in missie in relatie tot overstroming

Vervolgschade treedt op wanneer de volgende twee gebeurtenissen gelijktijdig optreden.

- Gebeurtenis 1: de Maeslantkering is vanwege hoog water (3,0 m +NAP) in missie
- Gebeurtenis 2: een onderdeel van een windturbine raakt een onderdeel van de Maeslantkering.

De additionele faalfrequentie is gelijk aan de tijdsfractie dat de waterkering in missie is maal de kans op treffen van een windturbine(onderdeel).

Volgens RWS is de Maeslantkering eenmaal in de tien jaar gedurende 5 dagen (= 0,0137 jaar) in gebruik.

De cumulatieve frequentie van treffen van een onderdeel van een windturbine op een onderdeel van de waterkering bedraagt respectievelijk $2,8 \cdot 10^{-4}$ en $3,1 \cdot 10^{-4}$ per jaar.

Tabel 8.9 Berekenende additionele faalfrequentie bij in gebruik zijn van Maeslantkering

	Maeslantkering in missie [-/jaar]	Tijd in missie [jaar]	Trefkans onderdeel windturbine [-/jaar]	Additionele faalfrequentie waterkering [-/jaar]
Opstellingsvariant 1	0,1	0,0137	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$0,39 \cdot 10^{-6}$
Opstellingsvariant 2	0,1	0,0137	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$0,43 \cdot 10^{-6}$

8.3 Deelconclusie: Toetsing aan criteria RWS

De berekenende additionele faalfrequenties zijn vergeleken met het toetsingscriterium van RWS, dat stelt dat de toegestane bijdrage aan de faalfrequentie van de Maeslantkering maximaal 10^{-6} per jaar mag bedragen. Hiertoe moeten de additionele faalfrequenties van de Maeslantkering in ruste en in missie bij elkaar worden opgeteld.

Tabel 8.10 Berekenende additionele faalfrequentie bij in gebruik zijn van Maeslantkering

	Maeslantkering in ruste [-/jaar]	Maeslantkering in missie [-/jaar]	Additionele faalfrequentie waterkering [-/jaar]	Overschrijding Toetsingscriterium RWS
Opstellingsvariant 1	$0,21 \times 10^{-6}$	$0,39 \times 10^{-6}$	$0,60 \times 10^{-6}$	nee
Opstellingsvariant 2	$0,76 \times 10^{-6}$	$0,43 \times 10^{-6}$	$1,2 \times 10^{-6}$	ja

De additionele faalfrequentie voldoet voor opstellingsvariant 2 niet aan het toetsingscriterium van RWS van $1 \cdot 10^{-6}$ per jaar. Gelet hierop zijn in hoofdstuk 11 en 12 een aantal mitigerende maatregelen beschouwd en is op basis daarvan een voorkeuralternatief doorgerekend.

9 Risicoanalyse treffen Delflandsedijk

Naast de Maeslantkering vormen de dijken langs de Nieuwe Waterweg onderdeel van de waterkering van de Nieuwe Waterweg. De windturbines staan in de nabijheid van deze dijken. De vraag die zich nu voordoet is of de aanwezigheid van de windturbines de kans op falen van de dijklichamen verhoogt en zo ja met hoeveel?

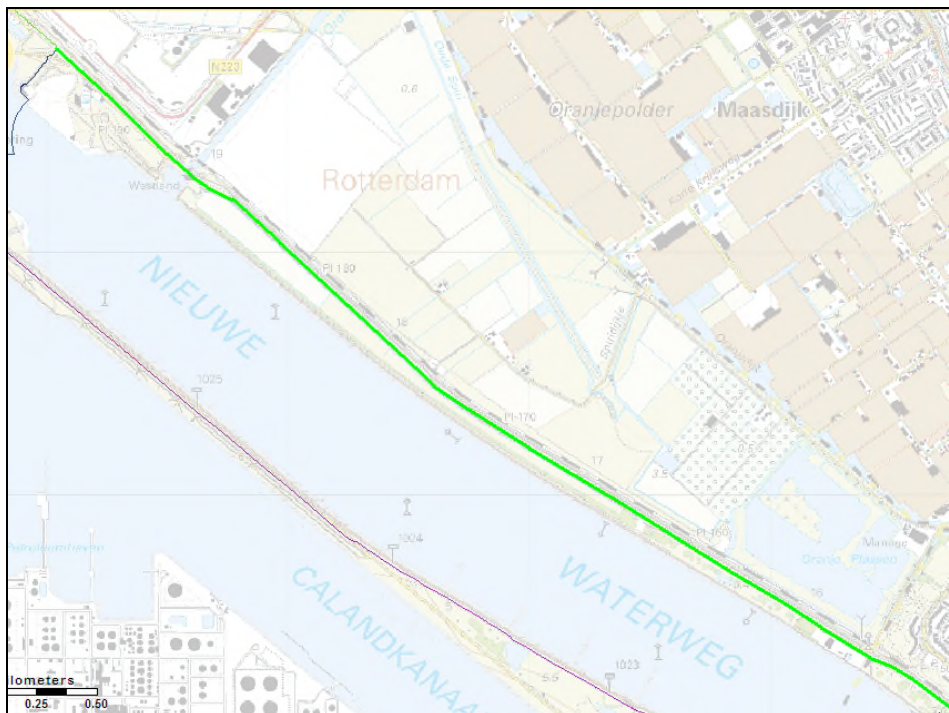
Vragen die daarbij beantwoord dienen te worden zijn onder andere:

- waar bevinden zich de dijklichamen?
- wat is de trefkans van het dijklichaam door een windturbine of windturbine onderdeel?
- wat is de kans, gegeven dat het dijklichaam getroffen wordt door een windturbine of windturbineonderdeel, dat het dijklichaam zwaar beschadigd wordt (en wel zo zwaar dat de waterkerende functie niet langer gegarandeerd kan worden)?
- wat is de kans dat zich een bepaalde hoogwaterstand voordoet?
- wat is de kans dat een waterkering bezwijkt tijdens hoogwater, wanneer deze waterkering beschadigd is?

Zowel stroomafwaarts van de Maeslantkering als stroomopwaarts van de Maeslantkering worden dijklichamen blootgesteld aan impactschade van falende windturbines. Er is vooralsnog geen gevalideerde methode bekend die impactschade van windturbines kan vertalen naar verlies van waterkerend vermogen (uitgedrukt in maatgevende hoogwaterstand) van een dijklichaam. Volgens [1] geldt in dat geval dat de mogelijke gevolgschade in overleg met de beheerder van het dijklichaam moet worden beoordeeld. Gelet hierop heeft Oranjewoud/Save tussentijds overleg gevoerd met zowel het Hoogheemraadschap Delfland als RWS als zijnde de beheerders van zowel de keringen stroomafwaarts als de keringen stroomopwaarts. Op basis van dit overleg heeft Oranjewoud/Save in dit hoofdstuk de uitgangspunten benoemd en op basis hiervan een risicoanalyse gemaakt. Deze zijn hieronder benoemd.

Uitgangspunt is dat de situatie is beschouwd dat de Maeslantkering niet in missie is. In die situatie worden alle dijklichamen binnen de invloedsgebieden van de windturbines beschouwd. Voor WT1 betreft dit de Delflandsedijk stroomafwaarts van de Maeslantkering (onderdeel A0) en de verbindingsdijk A1¹⁴. Voor de overige windturbines betreft dit de Delflandsedijk stroomopwaarts vanaf de Maeslantkering. Het gaat daarbij om de waterkeringen welke zich bevinden op de noordelijke oever van de Nieuwe Waterweg gelegen tussen kilometerraai 1023 en 1026. Opgemerkt moet worden dat het falen van de Delflandsedijk stroomafwaarts mede is beschouwd in geval de Maeslantkering in missie is (zie tabel 8.7, onderdeel A0). In onderstaande figuur is de ligging van de waterkering (dijkkringlijn) precies aangegeven. Deze gegevens zijn afkomstig van <http://geoportaal2.hhdelfland.nl/webatlas/delflandsedijk.html>.

14. Het dijklichaam A1 is alleen relevant als de kering in missie is. Bij de kering in ruste wordt ervan uitgegaan van deze dijk dermate hoog is (10 meter aflopend) dat het treffen van een onderdeel niet leidt tot falen van de waterkering. Dit is in overleg met RWS besproken.



Figuur 9.1 Ligging van de waterkering stroomopwaarts van de Maeslantkering (groene lijn)

De precieze ligging van de waterkering is van belang om de afstand tot de windturbines te kunnen bepalen. Deze afstand bepaalt weer de trefkans.

9.1 Trefkansen waterkering

Allereerst wordt de kans op treffen van een waterkering (dijklichaam) berekend. De methode van berekenen is als volgt.

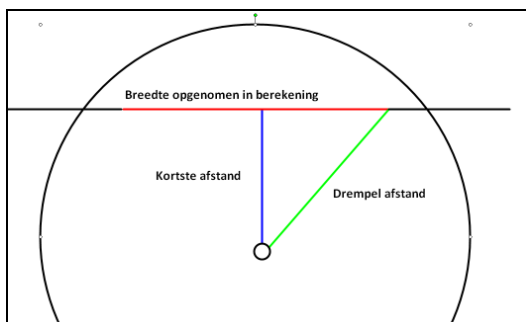
- 'Blad raakt dijklichaam' wordt berekend op de volgende manier:
 - de kleinste afstand van kruin dijklichaam tot windturbine is bepaald;
 - vervolgens is hiervan afgetrokken de halve breedte van het dijklichaam;¹⁵
 - vervolgens is bepaald wat de lengte is van het dijklichaam traject dat meegenomen dient te worden in de berekening.
- 'Motor/rotor raakt object' en 'Gondel raakt object' wordt bepaald door de faalfrequentie x de fractie van de cirkel waarin het geheel moet vallen om de waterkering te raken.

Gebruikte aannames voor het berekenen van de trefkans blad (per e-mail aangeleverd door Hoogheemraadschap Delfland d.d. 12 april 2013):

- Turbine 1: volgens opgave van Hoogheemraadschap Delfland (e-mail d.d. 12 april 2013) is de te gebruiken hoogte van deze dijk (dijkvak A0) 10,4 m en de breedte 45 m.
- Turbine 2 tot en met 7: hoogte 6,85 m + NAP, breedte: 35 m.
- Turbine 8 (en 9, 10): hoogte: 6,50 m + NAP, breedte: 35 m.
- Breedte: het blijkt dat de trefkans zich in de orde van grootte van 10^{-5} /jaar beweegt totdat een bepaalde drempelafstand overschreden wordt: boven deze waarde neemt de trefkans circa een factor 100 af. Voor windturbines van opstellingsvariant 1 ligt deze drempel op 180 meter voor windturbines van opstellingsvariant 2 ligt deze drempel op 194 meter. Per windmolen is bepaald

15. Op deze wijze wordt dus de kans berekend dat de voet van het dijklichaam wordt geraakt door een windturbinedeel.

welke breedte (eigenlijk lengte van de waterkering) ligt binnen het invloedsgebied van de windturbine op een afstand die varieert tussen de kleinste afstand (blauwe lijn) en de drempelafstand (groene lijn: zie figuur 9.2). Het deel van de waterkering dat op een grotere afstand ligt dan de drempelafstand heeft een verwaarloosbare trefkans. De rode lijn (voorstellende de waterkering) is de afstand opgenomen in de berekening van de trefkans.



Figuur 9.2 Toelichting op welke breedte is opgenomen in de trefkans berekening

Op deze wijze zijn alle windturbines voor beide varianten doorgerekend (zie tabel 10.1 en 10.2.)

Tabel 9.1 Trefkans waterkeringen Delflandsedijk opstellingsvariant 1

Trefkans van de waterkering (Delflandsedijk) door windturbine	Totale trefkans [1/j]
Windturbine 1	1,90E-04
Windturbine 2	2,55E-04
Windturbine 3	1,27E-04
Windturbine 4	1,15E-04
Windturbine 5	1,56E-04
Windturbine 6	5,90E-04
Windturbine 7	4,01E-04
Windturbine 8	2,60E-04
Windturbine 9	2,84E-04
Windturbine 10	5,90E-04
Totale trefkans waterkering in invloedsgebied	2,94E-03

Tabel 9.2 Trefkans waterkeringen Delflandsedijk opstellingsvariant 2

Trefkans van de waterkering (Delflandsedijk) door windturbine	Totale trefkans [1/j]
Windturbine 1	1,70E-04
Windturbine 2	2,38E-04
Windturbine 3	1,56E-04
Windturbine 4	5,05E-04
Windturbine 5	5,21E-04
Windturbine 6	6,06E-04
Windturbine 7	3,59E-04
Windturbine 8	2,01E-04
Windturbine 9	2,61E-03
Totale trefkans waterkering in invloedsgebied	3,02E-03

De cumulatieve vastgestelde trefkans voor het dijklichaam bedraagt:

- $2,9 \times 10^{-3}$ /jaar voor opstellingsvariant 1, en
- $3,0 \times 10^{-3}$ /jaar voor opstellingsvariant 2.

De trefkans is voor opstellingsvariant 2 beperkt hoger dan de trefkans voor opstellingsvariant 1. Een overzicht van de uitgebreide berekeningen is opgenomen in bijlage 5 (B5.3 en B5.4).

9.2 Risicobeschouwing falen waterkering in relatie tot vervolgschade (overstroming)

Op basis van de tabellen uit bijlage 5 (B5.3 en B.5.4) wordt geconcludeerd dat alle drie scenario's van falen (vallen gondel, mast en/of treffen van turbineblad) van windturbines relevant zijn voor het berekenen van de trefkansen van de dijklichamen. Gelet hierop heeft Oranjewoud/Save de vervolgschade op overstroming bepaald op basis van de totale trefkans.

Overstroming treedt op als sprake is van het gelijktijdig optreden van de volgende gebeurtenissen in genoemde volgorde.

Situatie 1

- Gebeurtenis 1: een waterkering wordt getroffen door een onderdeel van een windturbine waarbij schade aan de waterkering optreedt. Schade betekent in dit geval dat het waterkerend vermogen is verminderd (ten opzichte van het vereiste waterkerend vermogen). Concreet: er zit een 'gat op de dijk'. Het waterkerend vermogen is gereduceerd tot een hoogte van $h_r + \text{NAP}$.
- Gebeurtenis 2: in de periode dat de schade aanwezig is treedt een waterstand op die hoger is dan $h_r + \text{NAP}$. Dit leidt tot overstroming van de beschadigde waterkering.

De kans op overstroming voor situatie 1 is gelijk aan:

$$\text{de kans op treffen met een schade (gereduceerd waterkerend vermogen tot } h_r) \times \text{de kans op een waterstand van } h_r \text{ gedurende de periode van schade.}$$

Situatie 2

- Gebeurtenis 1: de waterstand heeft een hoogte van $h_r + \text{NAP}$. Deze waterstand treedt gedurende een bepaalde tijd op.
- Gebeurtenis 2: tijdens de periode met een waterstand van h_r , treft een onderdeel van de windturbine de waterkering waardoor het waterkerend vermogen wordt verlaagd tot een gereduceerd waterkerend vermogen van h_r of minder (schade = 'gat op de dijk'). Dit leidt tot een overstroming van de beschadigde waterkering.

De kans op een overstroming voor situatie 2 is gelijk aan:

$$\text{de frequentie op een waterstand van } h_r \times \text{de kans dat de waterkering gedurende de periode met waterstand } h_r \text{ wordt getroffen door een onderdeel van de windturbine met een schade dat leidt tot een gereduceerd waterkerend vermogen van } h_r \text{ of minder.}$$

Voor het berekenen van de kans op overstroming is de belangrijke vraag voor beide situaties: Hoe groot is het gat en dientengevolge hoe groot is het gereduceerd waterkerend vermogen h_r ?

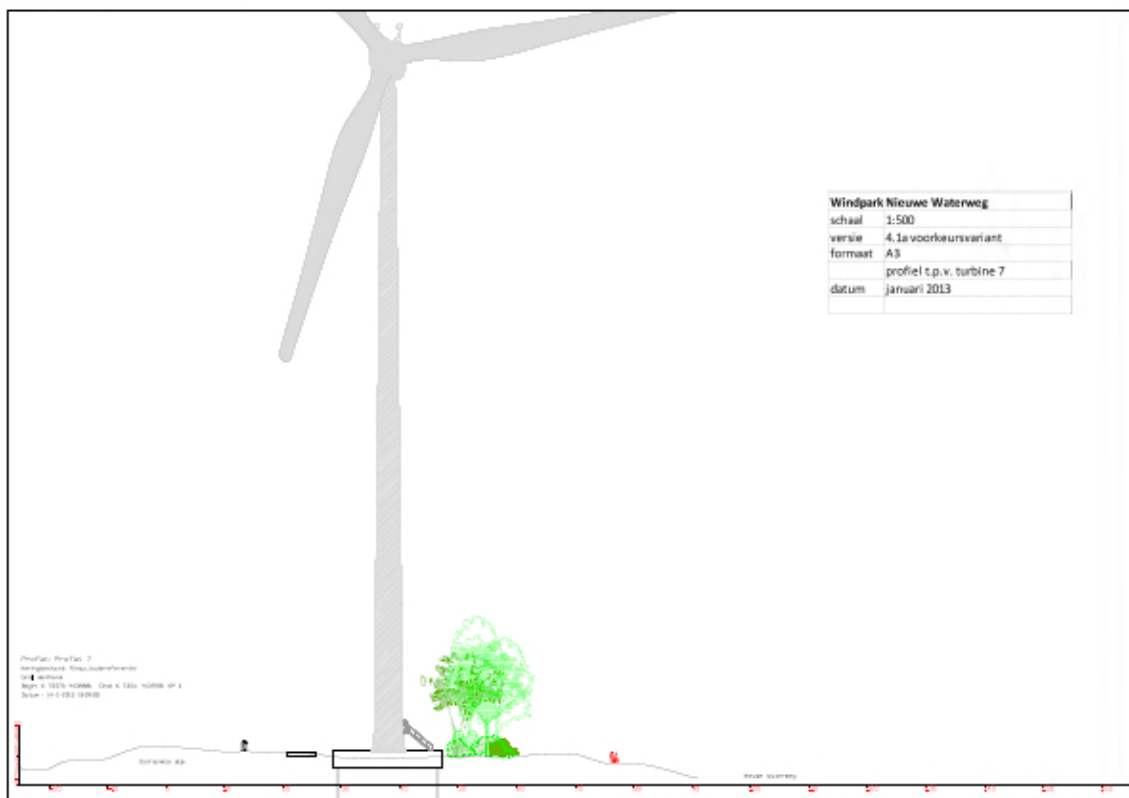
NB: Als een onderdeel van de windturbine op een dijk komt, kan de waterkering falen doordat er een stabiliteitsprobleem optreedt of dat de dijkbekleding zodanig wordt beschadigd dat erosie plaatsvindt waardoor de dijk bezwijkt. In dit onderzoek is alleen gekeken naar de hoogte omdat deze naar alle waarschijnlijkheid het maatgevende faalmechanisme van de dijk is.

9.2.1 Schade aan waterkering

Op basis van literatuurgegevens (onderzoek Windpark in Noordoostpolder) moet bij treffen van onderdelen van windturbines in worden uitgegaan van een locale schade aan de waterkering van 1 tot 3 meter. Hiermee wordt het waterkerend vermogen van het dijklichaam tijdelijk lager. Een lager

waterkerend vermogen wil zeggen dat een overstroming bij een lagere waterstand kan optreden. In de praktijk betekent dit dat de kans op overstroming tijdens de schadepriode toeneemt.

Voor het beschouwen van de mogelijk schade aan de waterkering zijn daarnaast specifiek de profielen van windturbines op de waterkering geanalyseerd. Hierbij valt het op dat de hoogteverschillen in het gebied vanaf de oever van de Nieuwe Waterweg tot achter de Delflandsedijk beperkt zijn (zie voorbeeld van een profiel in figuur 10.3). Het hoogteverschil tussen het gebied ten zuiden van de windturbine en ten noorden van de windturbine (Delflandsedijk) is in alle gevallen 1,5 meter of kleiner. Omdat bij het treffen van een windturbine op de Delflandsedijk de zuidzijde ongeschonden blijft, betekent dit dat bij een gat in de Delflandsedijk dat groter is dan 1,5 meter het voorliggend land boven het gat uitsteekt. De maximale reductie in waterkerend vermogen bedraagt derhalve 1,5 meter.

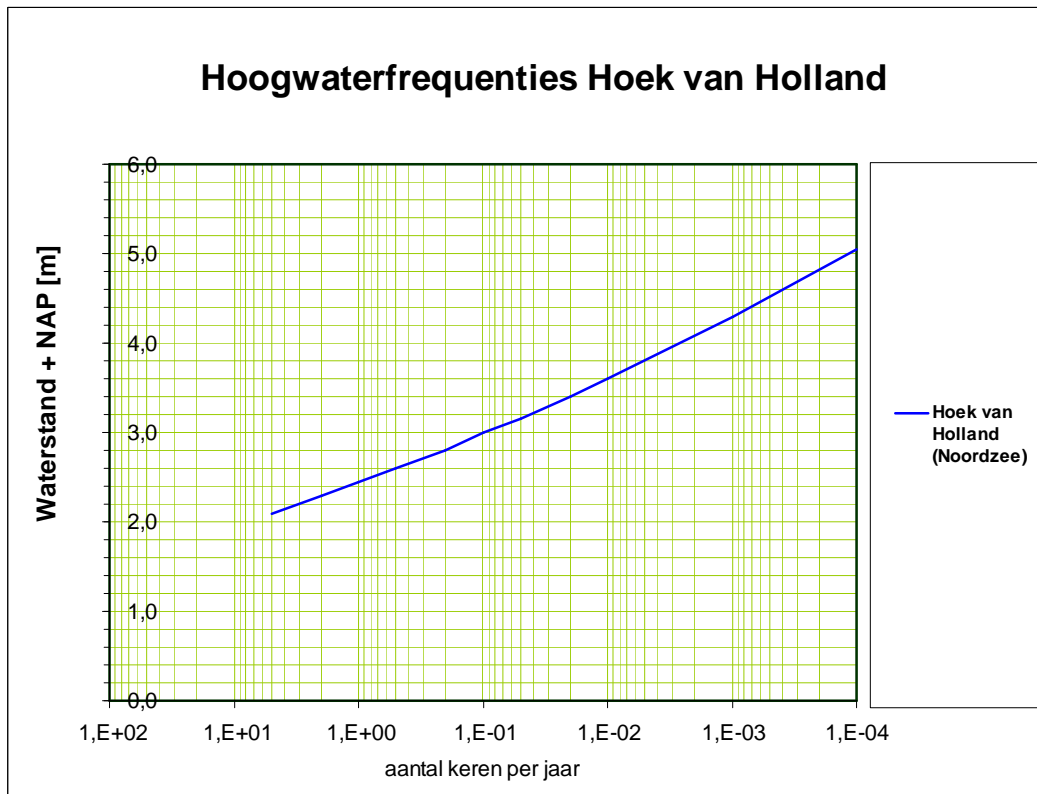


Figuur 9.3 Profiel windturbine 7 en dijklichaam(waterkering)

In onderstaand tabel is een schade aan de waterkering analoog naast hoogwaterstanden en hun frequenties bij Hoek van Holland gelegd. Een schade van 1,5 meter wordt vooraansnog als maximaal beschouwd. Waar bij een overschrijdingskans van 1 op 10.000 de waterstand NAP +5,05 meter is, hoort bij een 1,5 meter lagere waterstand een overschrijdingskans van 1 op 100. Dit geeft een goede indicatie van de verschillen.

Tabel 9.3 Waterkerend vermogen versus kans op optreden overstroming

Schade waterkering [meter]	Analoog waterstand bij Hoek van Holland [meter + NAP]	Overschrijdingskans [per jaar]
0 (geen schade)	5,05	1.10 ⁻⁴
1	4,05	2,5.10 ⁻³
1,5	3,55	1.10 ⁻²
2	3,05	1.10 ⁻¹
3	2,05	10



Figuur 9.4 Hoogwaterfrequenties Hoek van Holland (bron van de gegevens: Hoek van Holland-Noordzee, slotgemiddelden 1991.0))

Het repareren van gat betreft een noodsituatie waarbij de waterkering worden gerepareerd. Vooralnog wordt ervan uitgegaan dat de noodoplossing maximaal 7 dagen duurt (een werkweek). De duur van de periode met een gereduceerd waterkerend vermogen bedraagt hiermee 0,019 jaar.

9.2.2 Berekening overstromingskansen

Voor genoemde gebeurtenissen in situatie 1 en situatie 2 zijn vervolgens de faalkansen en uiteindelijk de kans op overstroming berekend bij schades van 1, 2 en 3 meter. De totale faalfrequentie ten gevolge van het treffen van een windturbine is de som van kans voor situatie 1 en situatie 2.

Situatie 1

Tabel 9.4 Berekende faalfrequentie dijken, opstellingsvariant 1

Schade waterkering [meter]	Trefkans [-/jaar]	Tijdsfractie met schade [jaar]	h_r [meter]	Overschrijdingskans [-/jaar]	Falen waterkering = overstroming [-/jaar]
0	$2,9 \cdot 10^{-3}$	0,019	5,05	10^{-4}	$5,5 \cdot 10^{-9}$
1	$2,9 \cdot 10^{-3}$	0,019	4,05	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-7}$
1,5	$2,9 \cdot 10^{-3}$	0,019	3,55	$1 \cdot 10^{-2}$	$5,5 \cdot 10^{-7}$
2	$2,9 \cdot 10^{-3}$	0,019	3,05	$1 \cdot 10^{-1}$	$5,5 \cdot 10^{-6}$
3	$2,9 \cdot 10^{-3}$	0,019	2,05	10	$5,5 \cdot 10^{-4}$

Tabel 9.5 Berekende faalfrequentie waterkering stroomopwaarts, opstellingsvariant 2

Schade waterkering [meter]	Trefkans [-/jaar]	Tijdsfractie met schade [jaar]	h _r [meter]	Overschrijdingskans [-/jaar]	Falen waterkering = overstroming [-/jaar]
0	3,0.10 ⁻³	0,019	5,05	10 ⁻⁴	5,7.10 ⁻⁹
1	3,0.10 ⁻³	0,019	4,05	2,5.10 ⁻³	1,4.10 ⁻⁷
1,5	3,0.10 ⁻³	0,019	3,55	1.10 ⁻²	5,7.10 ⁻⁷
2	3,0.10 ⁻³	0,019	3,05	1.10 ⁻¹	5,7.10 ⁻⁶
3	3,0.10 ⁻³	0,019	2,05	10	5,7.10 ⁻⁴

Situatie 2

Tabel 9.6 Berekende faalfrequentie waterkering stroomopwaarts, opstellingsvariant 1

Schade waterkering [meter]	Waterstand met hoogte h _r [meter]	Optreden van waterstand met hoogte van h _r [-/jaar]	Tijdsfractie met waterstand h _r [jaar]	Trefkans [-/jaar]	Falen waterkering = overstroming [-/jaar]
0	5,05	10 ⁻⁴	0,014	2,9.10 ⁻³	4,1.10 ⁻⁹
1	4,05	2,5.10 ⁻³	0,014	2,9.10 ⁻³	1,0.10 ⁻⁷
1,5	3,55	1.10 ⁻²	0,014	2,9.10 ⁻³	4,1.10 ⁻⁷
2	3,05	1.10 ⁻¹	0,014	2,9.10 ⁻³	4,1.10 ⁻⁶
3	2,05	10	0,014	2,9.10 ⁻³	4,1.10 ⁻⁴

Tabel 9.7 Berekende faalfrequentie waterkering stroomopwaarts, opstellingsvariant 2

Schade waterkering [meter]	Waterstand met hoogte h _r [meter]	Optreden van waterstand met hoogte van h _r [-/jaar]	Tijdsfractie met waterstand h _r [jaar]	Trefkans [-/jaar]	Falen waterkering = overstroming [-/jaar]
0	5,05	10 ⁻⁴	0,014	3,0.10 ⁻³	4,2.10 ⁻⁹
1	4,05	2,5.10 ⁻³	0,014	3,0.10 ⁻³	1,1.10 ⁻⁷
1,5	3,55	1.10 ⁻²	0,014	3,0.10 ⁻³	4,2.10 ⁻⁷
2	3,05	1.10 ⁻¹	0,014	3,0.10 ⁻³	4,2.10 ⁻⁶
3	2,05	10	0,014	3,0.10 ⁻³	4,2.10 ⁻⁴

Totaal = Situatie 1 en 2

Tabel 9.8 Berekende faalfrequentie op overstroming bij waterkering stroomopwaarts

Schade waterkering [meter]	Falen waterkering = overstroming [-/jaar]	
	Opstellingsvariant 1	Opstellingsvariant 2
0	9,6.10 ⁻⁹	9,9.10 ⁻⁹
1	2,4.10 ⁻⁷	2,5.10 ⁻⁷
1,5	9,6.10 ⁻⁷	9,9.10 ⁻⁷
2	9,6.10 ⁻⁶	9,9.10 ⁻⁶
3	9,6.10 ⁻⁴	9,9.10 ⁻⁴

De veiligheidsnorm is een overschrijdingskans van 1,0 x 10⁻⁴/jaar. Bij een schade van 1,5 meter bedraagt de bijdrage aan de faalfrequentie voor overstromen voor opstellingsvariant 2 afgerond 1,0 x 10⁻⁶ per jaar.

9.3 Deelconclusie additionele faalfrequentie waterkering

Zowel de Maeslantkering als de Delflandsedijk maken deel uit van de totale waterkering om het achterland te beschermen tegen overstroming. Beide onderdelen kunnen onafhankelijk van elkaar worden getroffen door onderdelen van de windturbines. Dit betekent dat de faalfrequenties voor beide keringen moeten worden opgeteld. Wanneer wordt uitgegaan van een maximale schade aan de Delflandsedijk van 1,5 meter bedraagt de totale additionele faalfrequentie voor de gehele waterkering (de kans dat een overstroming reëel is als gevolg van het falen van een onderdeel het windturbinepark):

Opstellingsvariant 1: $6,0 \times 10^{-7} + 9,6 \times 10^{-7} = 1,6 \times 10^{-6}$ per jaar
Opstellingsvariant 2: $1,2 \times 10^{-6} + 9,9 \times 10^{-7} = 2,2 \times 10^{-6}$ per jaar.

Vanwege het ontbreken van een vastgesteld toetsingskader voor de faalfrequentie van de gehele waterkering is deze faalfrequentie vergeleken met de norm die in Nederland wordt gehanteerd voor overstroming. Deze is vastgesteld 1 op 10.000 (eens per 10.000 jaar) voor de *'overschrijdingskans van een waterstand waartegen een dijkvak van de waterkering bestand moet zijn (norm)'*. De additionele faalfrequentie voor de waterkering bedraagt respectievelijk 1,6 % en 2,2 % ten opzichte van de overschrijdingskans en wordt derhalve als niet relevant beschouwd.

10 Samenvatting deelconclusies opstellingsvarianten 1 en 2

Oranjewoud/Save heeft voor een tweetal opstellingsvarianten van windturbines nabij de Maeslantkering een risicoanalyse ten aanzien van de externe veiligheid uitgevoerd. Beschouwd is in hoeverre de risico's welke deze windturbines in de omgeving veroorzaken acceptabel zijn of niet. Speciale aandacht is daarbij besteed aan de Maeslantkering, waterkerende dijken stroomafwaarts van de Maeslantkering en waterkerende dijken stroomopwaarts van de Maeslantkering.

De volgende conclusies zijn op basis van de analyse getrokken.

Toetsing: plaatsgebonden risico 10^{-6} /jaar Opstellingsvariant 1

Er zijn geen kwetsbare of beperkt kwetsbare objecten (volgens definitie Bevi) aanwezig binnen de maximale 10^{-6} /jr-plaatsgebondenrisicocontour. Dientengevolge zijn er ook geen kwetsbare of beperkt kwetsbare objecten aanwezig binnen de kleinere 10^{-5} /jr-plaatsgebondenrisicocontour. Hiermee wordt voldaan aan de eisen van de gewijzigde milieuregels voor windturbines (Activiteitenbesluit).

Toetsing: plaatsgebonden risico 10^{-6} /jaar Opstellingsvariant 2

Binnen de maximale 10^{-6} /jr-plaatsgebondenrisicocontour is één object (beperkt kwetsbaar, volgens definitie Bevi) aanwezig. Dit object ligt buiten de 10^{-5} /jr-plaatsgebondenrisicocontour. Vanwege de ligging van een beperkt kwetsbaar object buiten de 10^{-5} /jr-plaatsgebondenrisicocontour wordt voldaan aan de eisen van de gewijzigde milieuregels voor windturbines (Activiteitenbesluit).

Toetsing: domino-effecten: interactie windturbines en gevaarlijke stoffen (Opstellingsvariant 1 en 2)

Geen van de beide transportmodaliteiten (scheepsvaart over de Nieuwe Waterweg met gevaarlijke stoffen, en tankwagens met gevaarlijke stoffen over de Hoekse Baan) ondervindt door de aanwezigheid van de windturbines een extra faalfrequentie die de initiële faalfrequentie met meer dan 10% overstijgt. Dit betekent dat het effect domino-effecten ten aanzien van vervoer van gevaarlijke stoffen over vaarweg en weg niet relevant is.

Toetsing: Trefkansen passanten: Individueel Passanten Risico (IPR) en Maatschappelijk Risico (MR) (Opstellingsvariant 1 en 2).

De trefkansen van passanten voor de modaliteiten spoor, fietspad, weg en Nieuwe Waterweg is inzichtelijk gemaakt. Het blijkt dat alle beschouwde modaliteiten een IPR en een MR hebben dat aan de norm voldoet (IPR < 10^{-6} , en MR < 2×10^{-3}). Hiermee wordt aan de aanvullende toetsingseisen ten aanzien van passanten voldaan.

Toetsing: Onvoorziene niet beschikbaarheid van de Nieuwe Waterweg (Opstellingsvariant 1 en 2)

Op basis van een aantal aannames is een beschouwing gegeven van de toename van de onvoorziene niet beschikbaarheid van de Nieuwe Waterweg als gevolg van calamiteiten met windturbines. Het blijkt dat de onvoorziene niet beschikbaarheid door de aanwezigheid van de windturbines toeneemt met 0,06% per jaar (Variant 1) of 0,07% per jaar (variant 2). Dit wordt als verwaarloosbaar beoordeeld.

Toetsing: Trefkansen Maeslantkering (combinatie van in ruste en in missie)

Na treffen van onderdelen van een windturbine bestaat de kans dat de Maeslantkering ten gevolge van de schade niet kan worden ingezet bij 'hoog water' of dat de Maeslantkering in missie wordt getroffen. Beide situaties leiden tot overstroming. De totaal berekende additionele faalfrequentie op overstroming van de Maeslantkering bedraagt als volgt:

	Additionele faalfrequentie met kans op overstroming [-/jaar]
Opstellingsvariant 1	$0,6 \cdot 10^{-6}$
Opstellingsvariant 2	$1,2 \cdot 10^{-6}$

De bijdrage aan de kans op overstroming is daarmee voor opstellingsvariant 2 groter dan het toetsingscriterium van RWS van $1 \cdot 10^{-6}$ per jaar.

Toetsing: Trefkansen Dijklichamen

In het rapport is een analyse opgenomen die uitgaat van een maximaal optreden van een schade dat leidt tot een reducerend waterkerend vermogen van 1,5 meter. De kans op overstroming bedraagt in dat geval voor opstellingsvariant 1 $9,6 \cdot 10^{-7}$ per jaar en voor opstellingsvariant 2 $9,9 \cdot 10^{-6}$ per jaar.

Toetsing Waterkering (= combinatie van Maeslantkering en Dijklichamen)

Vanwege het feit dat zowel de Maeslantkering als de Delflandsedijk deel uitmaken deel van de totale waterkering worden de faalfrequenties voor de Maeslantkering en Delflandsedijk bij elkaar opgeteld. De berekende totale additionele faalfrequentie (de kans dat een overstroming reëel is als gevolg van het falen van een onderdeel het windturbinepark) bedraagt:

Opstellingsvariant 1: $6,0 \times 10^{-7} + 9,6 \times 10^{-7} = 1,6 \times 10^{-6}$ per jaar
Opstellingsvariant 2: $1,2 \times 10^{-6} + 9,9 \times 10^{-7} = 2,2 \times 10^{-6}$ per jaar.

Vanwege het ontbreken van een vastgesteld toetsingskader voor de faalfrequentie van de gehele waterkering is deze faalfrequentie vergeleken met de norm die in Nederland wordt gehanteerd voor overstroming. Deze is vastgesteld 1 op 10.000 (eens per 10.000 jaar) voor de *'overschrijdingskans van een waterstand waartegen een dijkvak van de waterkering bestand moet zijn (norm)'*. De additionele faalfrequentie voor de waterkering bedraagt respectievelijk 1,6 % en 2,2 % ten opzichte van de overschrijdingskans en wordt derhalve als niet relevant beschouwd.

Verskil opstellingvariant 1 en opstellingsvariant 2

Opgemerkt moet worden dat de faalfrequenties in opstellingsvariant 1 over het algemeen lager liggen dan bij opstellingsvariant 2. Dit heeft te maken met het feit dat de werpafstand voor het type windturbine in opstellingsvariant 2 verder reikt.

Bovengenoemde frequenties betreft berekende faalfrequenties zonder mitigerende maatregelen. In hoofdstuk 11 en 12 wordt een aantal mitigerende maatregelen beschreven en uitgewerkt als voorkeursalternatief. Dit betreft de additionele faalfrequentie zonder mitigerende maatregelen.

11 Mitigerende maatregelen

Zoals uit de conclusie is gebleken wordt niet voldaan aan het toetsingscriterium van RWS ten aanzien van de Maeslantkering. De aanwezigheid van de windturbines conform opstellingsvariant 2 leidt tot een voor RWS niet-acceptabele additionele faalfrequentie van de Maeslantkering. Gelet hierop is een aantal mitigerende maatregelen nader beschouwd. De maatregelen moeten ertoe leiden dat de additionele faalfrequentie van de waterkering wordt beperkt. De beschreven en onderzochte mitigerende maatregelen zijn als volgt.

1. Wegvallen van windturbine 2
2. Stilzetten van windturbines bij Maeslantkering in missie (hoog water)
3. Afdekken/afschermen van bekabeling
4. Redundante bekabeling.

Van genoemde mitigerende maatregelen is in volgende paragrafen afzonderlijk het effect van iedere maatregel berekend/ingeschat.

11.1 Maatregel 1: Wegvallen winturbine 2

Deze mitigerende maatregel maakt deel uit de van de voorkeursvariant zoals die is beschreven in het MER. Concreet betreft dit opstellingsvariant 2 zonder windturbine 2 (WT2). Het wegvallen van WT2 leidt tot een reductie van de trefkans voor alle onderdelen en aspecten die in dit onderzoek zijn beschouwd. Het effect van de maatregel is in tabel 11.1 inzichtelijk gemaakt. Dit betreft het effect zonder overige mitigerende maatregelen.

Tabel 11.1 Berekende additionele faalfrequentie van Maeslantkering met/zonder maatregel 1

	Maeslantkering zonder maatregel 1 [-/jaar]	Maeslantkering met maatregel 1 [-/jaar]	Effect	Overschrijding Toetsingscriterium RWS
Opstellingsvariant 1	$0,60 \times 10^{-6}$	$0,50 \times 10^{-6}$	17 %	nee
Opstellingsvariant 2	$1,2 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-6}$	17 %	ja

11.2 Maatregel 2: Stilzetten windturbines bij Maeslantkering in missie (hoog water)

De in paragraaf 8.3. genoemde overstroming treedt op in geval de Maeslantkering in missie is. Dit is het geval met hoog water en overwegend harde wind. Als maatregel kan worden overwogen de windturbines bij deze omstandigheden buiten werking te stellen (stilzetten). In dat geval is de kans op falen van de windturbine kleiner. Over hoeveel kleiner deze kans is zijn geen concrete gegevens beschikbaar. In dit onderzoek wordt aangenomen dat de kans op treffen van een (onderdeel van een) blad verwaarloosbaar klein is. In dat geval resteert de trefkans ten gevolge van mastbreuk. In tabel 11.2 en 11.3 is het verschil en effect van de maatregel inzichtelijk gemaakt.

Tabel 11.2 Berekende additionele faalfrequentie van Maeslantkering zonder mitigerende maatregel 2

	Maeslantkering in ruste [-/jaar]	Maeslantkering in missie [-/jaar]	Totaal [-/jaar]	Overschrijding Toetsingscriterium RWS
Opstellingsvariant 1	$0,21 \times 10^{-6}$	$0,39 \times 10^{-6}$	$0,60 \times 10^{-6}$	nee
Opstellingsvariant 2	$0,76 \times 10^{-6}$	$0,43 \times 10^{-6}$	$1,2 \times 10^{-6}$	ja

De additionele faalfrequentie voldoet zonder mitigerende maatregel 2 voor opstellingsvariant 2 niet aan het toetsingscriterium van RWS van 1.10^{-6} per jaar.

Tabel 11.3 Berekende additionele faalfrequentie van Maeslantkering stilzetten windturbine tijdens missie

	Maeslantkering in ruste [-/jaar]	Maeslantkering in missie [-/jaar]	Totaal [-/jaar]	Overschrijding Toetsingscriterium RWS
Opstellingsvariant 1	$0,21 \times 10^{-6}$	$0,16 \times 10^{-6}$	$0,37 \times 10^{-6}$	nee
Opstellingsvariant 2	$0,76 \times 10^{-6}$	$0,19 \times 10^{-6}$	$0,95 \times 10^{-6}$	nee

Het effect voor opstellingsvariant 1 bedraagt 38 %, voor opstellingsvariant bedraagt het effect 21 %. De additionele faalfrequentie voldoet met mitigerende maatregel 2 voor zowel opstellingsvariant 1 als 2 aan het toetsingscriterium van RWS van 1.10^{-6} per jaar.

11.3 Maatregel 3: Afdekken/Afschermen bekabeling

Bij het berekenen van de trefkansen van de kritische onderdelen van de Maeslantkering is gebleken dat de trefkans van de bekabeling (zowel elektrakabel (10 kV) als glasvezel) relatief groot is. In de berekeningen is er van uit gegaan dat treffen van de kabel direct leidt tot schade aan de Maeslantkering ten gevolge van breuk van de leiding. Bij schade wordt uitgegaan van een reparatietijd van 1 week. In geval de bekabeling voldoende afgedekt kan worden leidt treffen van de locatie van de leiding niet tot schade aan de leiding en derhalve niet tot schade aan de Maeslantkering. Afdekking kan plaatsvinden door het aanbrengen van betonnen platen boven de locatie van de kabel. Hoe sterker het beton (of ander type materiaal), hoe kleiner de kans dat een kabel breekt en hoe groter het effect. Uitgangspunt is dat de sterkte voldoende is zodat bij treffen geen kabelbreuk optreedt. Specifieke gegevens over de hiervoor benodigde sterkte zijn op dit moment niet bekend, maar kunnen worden berekend op basis van de modellen uit [1] en de fysische- en materiaaleigenschappen van windturbine, leiding en (diepte)ligging. Nader onderzoek moet uitwijzen of de gewenste afdekking technisch en financieel haalbaar is.

11.4 Maatregel 4: Redundant bekabeling

Mitigerende maatregel 4 houdt in dat een tweede leidingtracé voor alle bekabeling van WMO tot aan waterkering wordt aangelegd. Deze bekabeling wordt aan de andere zijde van de windturbine aangelegd zodat bij falen van de windturbine hooguit één van de tracés wordt geraakt. Bij falen van kabel 1 wordt overgeschakeld op kabel 2 (de redundant of bypass). Hierdoor is bij treffen en falen van kabel 1 geen sprake van falen van de Maeslantkering.

Maatregel 3 en 4 leiden beiden tot het niet falen van de bekabeling bij treffen van een onderdeel van de windturbine. De trefkansen van de kritische onderdelen van de Maeslantkering in ruste als geheel wordt hierdoor kleiner waarmee de additionele faalfrequentie ten gevolge van een ongeval met een windturbine afneemt. De additionele faalfrequenties met maatregel 3 of 4 zijn opgenomen in tabel 11.4.

Tabel 11.4 Berekende additionele faalfrequentie op overstroming van Maeslantkering, met maatregelen 3/4

	Maeslantkering in ruste [-/jaar]	Maeslantkering in missie [-/jaar]	Totaal [-/jaar]	Overschrijding Toetsingscriterium RWS
Opstellingsvariant 1	$0,023 \times 10^{-6}$	$0,39 \times 10^{-6}$	$0,41 \times 10^{-6}$	nee
Opstellingsvariant 2	$0,51 \times 10^{-6}$	$0,43 \times 10^{-6}$	$0,94 \times 10^{-6}$	nee

Het effect voor opstellingsvariant 1 bedraagt 32 %, voor opstellingsvariant bedraagt het effect 22 %. De additionele faalfrequentie voldoet met mitigerende maatregel 3 (of 4) voor zowel opstellingsvariant 1 als 2 aan het toetsingscriterium van RWS van 1.10^{-6} per jaar.

12 Voorkeursalternatief

Aanvullend op het onderzoek naar de effecten van opstellingsvarianten 1 en 2 zijn in dit hoofdstuk de effecten van het Voorkeursalternatief opgenomen. Het voorkeursalternatief gaat uit van opstellingsvariant 2 met daarop de volgende wijzigingen:

- weglaten van WT 2 (mitigerende maatregel 2);
- verschuiven van de meest oostelijk gelegen WT9 met enkele meters (iets verder van het spoor);
- afdekking of redundant bekabeling NW (mitigerende maatregel 3 of 4);
- windturbine uit bedrijf nemen bij in gebruik zijn van Maeslantkering (mitigerende maatregel 2).

In totaal heeft dit alternatief 8 windturbines. Vanwege het wegvallen van een van de windturbines en het nemen van mitigerende maatregelen kan generiek worden gesteld dat de effecten ten aanzien van externe veiligheid kleiner zijn dat de effecten met 9 windturbines. De verschillen zijn inzichtelijk gemaakt in onderstaand tabel 12.1 voor opstellingsvariant 1, opstellingsvariant 2 en het voorkeursalternatief.

12.1 Conclusie voorkeursalternatief

Uit het onderzoek naar de opstellingvarianten 1 en 2 is gebleken dat zonder mitigerende maatregelen opstellingsvariant 2 niet voldoet aan het toetsingscriterium van RWS voor de Maeslantkering. Aan de overige relevante normering en toetsingscriteria voor windturbines wordt wel voldaan. Met het treffen van de mitigerende maatregelen, die leiden tot het voorkeursalternatief, wordt de berekende additionele faalfrequentie voor de Maeslantkering verlaagd tot $6,9 \cdot 10^{-7}$ per jaar. Hiermee wordt ten aanzien van het aspect externe veiligheid met uitvoering van het voorkeursalternatief voldaan aan het toetsingscriterium van RWS voor de Maeslantkering en aan de overige relevante normering en toetsingscriteria voor windturbines.

Tabel 12.1 Overzicht berekende effecten per onderdeel voor opstellingsvarianten 1 en 2 en het voorkeursalternatief

Onderdeel	Opstellingsvariant 1	Opstellingsvariant 2	Voorkeursalternatief
Risicocontouren			
10 ⁻⁶ per jaar	142	175	175
kwetsbare objecten binnen PR	nee	nee	nee
beperkt kwetsbare objecten binnen PR	nee	ja (bij WT 1)	ja (bij WT1)
Domino-effecten gevaarlijke stoffen			
Vervoer gevaarlijke stoffen over water	3,2.10 ⁻¹⁰ (< 10 %)	2,4.10 ⁻¹⁰ (< 10 %)	2,1.10 ⁻¹⁰ (< 10 %)
Vervoer gevaarlijke stoffen over spoor	7,3.10 ⁻¹⁰ (< 10 %)	5,4.10 ⁻¹⁰ (< 10 %)	4,8.10 ⁻¹⁰ (< 10 %)
Vervoer gevaarlijke stoffen over weg	2,7.10 ⁻¹² (< 10 %)	7,8.10 ⁻¹² (< 10 %)	6,9.10 ⁻¹² (< 10 %)
Passanten			
Spoor	IPR = 2,5.10 ⁻⁹ per jaar MR = 1,8.10 ⁻⁵ per jaar	IPR = 3,0.10 ⁻⁹ per jaar MR = 2,1.10 ⁻⁵ per jaar	IPR = 2,7.10 ⁻⁹ per jaar MR = 1,9.10 ⁻⁵ per jaar
Fietsers	IPR = 5,7.10 ⁻⁸ per jaar MR = niet relevant	IPR = 6,5.10 ⁻⁸ per jaar MR = niet relevant	IPR = 5,8.10 ⁻⁸ per jaar MR = niet relevant
Personenauto's	IPR = 6,6.10 ⁻⁹ per jaar MR = niet relevant	IPR = 1,2.10 ⁻⁸ per jaar MR = niet relevant	IPR = 1,0.10 ⁻⁸ per jaar MR = niet relevant
Schepen	IPR = 1,3.10 ⁻⁸ per jaar MR = niet relevant	IPR = 1,4.10 ⁻⁸ per jaar MR = niet relevant	IPR = 1,3.10 ⁻⁸ per jaar MR = niet relevant
Onvoorzien beschikbaarheid			
Nieuwe Waterweg	eens per 3.400 jaar	eens per 3.070 jaar	eens per 3.570 jaar
Additionele faalfrequenties Maeslantkering en Delflandsedijk			
Maeslantkering:			
- in rust	2,1.10 ⁻⁷ per jaar	7,6.10 ⁻⁷ per jaar	5,0.10 ⁻⁷ per jaar
- in missie	3,9.10 ⁻⁷ per jaar	4,3.10 ⁻⁷ per jaar	1,9.10 ⁻⁷ per jaar
Totaal (1)	6,0.10 ⁻⁷ per jaar	1,2.10 ⁻⁶ per jaar	6,9.10 ⁻⁷ per jaar
Delflandsedijk	9,6.10 ⁻⁷ per jaar	9,9.10 ⁻⁷ per jaar	9,1.10 ⁻⁷ per jaar
Totaal Nieuwe Waterweg	1,6.10 ⁻⁶ per jaar	2,2.10 ⁻⁶ per jaar	1,6.10 ⁻⁶ per jaar

- (1) De berekende additionele faalfrequenties zijn vergeleken met het toetsingscriterium van RWS, dat stelt dat de toegestane bijdrage aan de faalfrequentie van de Maeslantkering maximaal 10⁻⁶ per jaar mag bedragen. Hiertoe moeten de additionele faalfrequenties van de Maeslantkering in ruste en in missie bij elkaar worden opgeteld.

Bijlage 1 : Berekening Trefkans t.b.v. domino-effecten

Trefkans langs weg, vaarweg of spoorweg afgebroken blad				
V112 turbine, 3 MW, 9 stuks				
Scenario: Binnenvaartschip op 70 meter uit de oever				
Lo	lengte van het passerende object [m]			75 m
vo	snelheid van het passerende object [m/s]	km/h	15	4,17 m/s
bo	breedte van het passerende object [m]			13,3 m
	Oppervlak van het passerende object			1.000 m ²
Lb	Lengte van het blad [m]			56 m
Nt	Aantal turbines [-]			9
d	Afstand van de turbine tot aan rand weg/vaarweg/spoorweg [m]			130
Actie 1	Lees in figuur 4.1 af wat de genormaliseerde trefkans is (Bijlage B)			8,00E-05
Actie 2	Fab			3,27242E-05
Actie 3	Pwb			4,2074E-10
Trefkans langs weg, vaarweg of spoorweg omvallende turbine				
Lo	lengte van het passerende object [m]			75 m
vo	snelheid van het passerende object [m/s]			4,17 m/s
bo	breedte van het passerende object [m]			13,3 m
Lb	Lengte van het blad [m]			56 m
Nt	Aantal turbines [-]			9
d	Afstand van de turbine tot aan rand weg/vaarweg/spoorweg [m]			130
Actie 1	Lees in figuur 4.2 af wat de genormaliseerde trefkans is			6,00E-05
Actie 2	Fam			5,70776E-07
Actie 3	Pwb			3,08E-10
Samengevat				
	Getroffen door blad			4,2074E-10
	Getroffen door mast			3,08E-10
	Totale kans			7,29E-10
Lengte van weg/spoor/vaarweg blootgesteld aan risico				
	Vaarweg			3 km
	bijdrage in de faalkans			2,43E-10
Ongevalsrequentie RBMII		10%		Extra kans Conclusie
	Bevaarbaarheidsklasse 4	8,67E-08 [1/vrt.km]	8,67E-09	2,43E-10 Kans neemt minder dan 10% toe
	Bevaarbaarheidsklasse 5	1,32E-07 [1/vrt.km]	1,32E-08	2,43E-10 Kans neemt minder dan 10% toe
	Bevaarbaarheidsklasse 6	4,14E-07 [1/vrt.km]	4,14E-08	2,43E-10 Kans neemt minder dan 10% toe

Trefkans langs weg, vaarweg of spoorweg afgebroken blad				
E82 turbine, 2,3 MW, 10 stuks				
Scenario: Binnenvaartschip op 50 meter uit de oever				
Lo	lengte van het passerende object [m]			75 m
vo	snelheid van het passerende object [m/s]	km/h	15	4,17 m/s
bo	breedte van het passerende object [m]			13,3 m
	Oppervlak van het passerende object			1.000 m ²
Lb	Lengte van het blad [m]			41 m
Nt	Aantal turbines [-]			10
d	Afstand van de turbine tot aan rand weg/vaarweg/spoorweg [m]			115
Actie 1	Lees in figuur 4.1 af wat de genormaliseerde trefkans is			9,00E-05
Actie 2	Fab			2,7E-05
Actie 3	Pwb			5,93E-10
Trefkans langs weg, vaarweg of spoorweg omvallende turbine				
Lo	lengte van het passerende object [m]			75 m
vo	snelheid van het passerende object [m/s]			4,17 m/s
bo	breedte van het passerende object [m]			13,3 m
Lb	Lengte van het blad [m]			41 m
Nt	Aantal turbines [-]			10
d	Afstand van de turbine tot aan rand weg/vaarweg/spoorweg [m]			115
Actie 1	Lees in figuur 4.2 af wat de genormaliseerde trefkans is			6,50E-05
Actie 2	Fam			5,71E-07
Actie 3	Pwb			3,71E-10
Samengevat				
	Getroffen door blad			5,93E-10
	Getroffen door mast			3,71E-10
	Totale kans			9,64E-10
Lengte van weg/spoor/vaarweg blootgesteld aan risico				
	Vaarweg			3 km
	bijdrage in de faalkans			3,21E-10
Ongevalsequentie RBMII				
			10%	
Bevaarbaarheidsklasse 4	8,67E-08 [1/vrt.km]		8,67E-09	Extra kans
Bevaarbaarheidsklasse 5	1,32E-07 [1/vrt.km]		1,32E-08	Conclusie
Bevaarbaarheidsklasse 6	4,14E-07 [1/vrt.km]		4,14E-08	3,21E-10 Kans neemt minder dan 10% toe

Trefkans langs weg, vaarweg of spoorweg afgebroken blad			
V112 turbine, 3 MW, 9 stuks			
Scenario: Zeeschip op 50 meter uit de oever			
Lo	lengte van het passerende object [m]		150 m
vo	snelheid van het passerende object [m/s]	km/h	15 4,17 m/s
bo	breedte van het passerende object [m]		20,0 m
	Oppervlak van het passerende object		3.000 m ²
Lb	Lengte van het blad [m]		56 m
Nt	Aantal turbines [-]		9
d	Afstand van de turbine tot aan rand weg/vaarweg/spoorweg [m]		130
Actie 1	Lees in figuur 4.1 af wat de genormaliseerde trefkans is		8,00E-05
Actie 2	Fab		7,68645E-05
Actie 3	Pwb		9,88258E-10
Trefkans langs weg, vaarweg of spoorweg omvallende turbine			
Lo	lengte van het passerende object [m]		150 m
vo	snelheid van het passerende object [m/s]		4,17 m/s
bo	breedte van het passerende object [m]		20,0 m
Lb	Lengte van het blad [m]		56 m
Nt	Aantal turbines [-]		9
d	Afstand van de turbine tot aan rand weg/vaarweg/spoorweg [m]		130
Actie 1	Lees in figuur 4.2 af wat de genormaliseerde trefkans is		6,00E-05
Actie 2	Fam		1,14155E-06
Actie 3	Pwb		6,16E-10
Samengevat			
	Getroffen door blad		9,88258E-10
	Getroffen door mast		6,16E-10
	Totale kans		1,60E-09
	Lengte van weg/spoor/vaarweg blootgesteld aan risico		
	Vaarweg	3 km	
	bijdrage in de faalkans		5,35E-10
Ongevalsrequentie RBMII		10%	Extra kans Conclusie
Bevaarbaarheidsklasse 4	8,67E-08 [1/vrt.km]	8,67E-09	5,35E-10 Kans neemt minder dan 10% toe
Bevaarbaarheidsklasse 5	1,32E-07 [1/vrt.km]	1,32E-08	5,35E-10 Kans neemt minder dan 10% toe
Bevaarbaarheidsklasse 6	4,14E-07 [1/vrt.km]	4,14E-08	5,35E-10 Kans neemt minder dan 10% toe

Trefkans langs weg, vaarweg of spoorweg afgebroken blad				
E82 turbine, 2,3 MW, 10 stuks				
Scenario: Zeeschip op 50 meter uit de oever				
Lo	lengte van het passerende object [m]			150 m
vo	snelheid van het passerende object [m/s]	km/h	15	4,17 m/s
bo	breedte van het passerende object [m]			20,0 m
	Oppervlak van het passerende object			3.000 m ²
Lb	Lengte van het blad [m]			41 m
Nt	Aantal turbines [-]			10
d	Afstand van de turbine tot aan rand weg/vaarweg/spoorweg [m]			115
Actie 1	Lees in figuur 4.1 af wat de genormaliseerde trefkans is			9,00E-05
Actie 2	Fab			6,54E-05
Actie 3	Pwb			1,44E-09
Trefkans langs weg, vaarweg of spoorweg omvallende turbine				
Lo	lengte van het passerende object [m]			150 m
vo	snelheid van het passerende object [m/s]			4,17 m/s
bo	breedte van het passerende object [m]			20,0 m
Lb	Lengte van het blad [m]			41 m
Nt	Aantal turbines [-]			10
d	Afstand van de turbine tot aan rand weg/vaarweg/spoorweg [m]			115
Actie 1	Lees in figuur 4.2 af wat de genormaliseerde trefkans is			6,50E-05
Actie 2	Fam			1,14E-06
Actie 3	Pwb			7,42E-10
Samengevat				
	Getroffen door blad			1,44E-09
	Getroffen door mast			7,42E-10
	Totale kans			2,18E-09
Lengte van weg/spoor/vaarweg blootgesteld aan risico				
	Vaarweg			3 km
	bijdrage in de faalkans			7,26E-10
Ongevalsequentie RBMII				
			10%	
Bevaarbaarheidsklasse 4	8,67E-08 [1/vrt.km]	8,67E-09		7,26E-10 Kans neemt minder dan 10% toe
Bevaarbaarheidsklasse 5	1,32E-07 [1/vrt.km]	1,32E-08		7,26E-10 Kans neemt minder dan 10% toe
Bevaarbaarheidsklasse 6	4,14E-07 [1/vrt.km]	4,14E-08		7,26E-10 Kans neemt minder dan 10% toe
			Extra kans	Conclusie

Trefkans langs weg, vaarweg of spoorweg afgebroken blad			
V112 turbine, 3 MW, 9 stuks			
Scenario: Tankwagen op 150 m van windmolen 1 en 2 (op Hoeksebaan)			
Lo	lengte van het passerende object [m]		18,75 m tankwagen max
vo	snelheid van het passerende object [m/s]	km/h	40,0 11,1 m/s bocht in weg
bo	breedte van het passerende object [m]		2,6 m max breedte
	Oppervlak van het passerende object		48 m ²
Lb	Lengte van het blad [m]		56 m
Nt	Aantal turbines [-]		2
d	Afstand van de turbine tot aan rand weg/vaarweg/spoorweg [m]		150
Actie 1	Lees in figuur 4.1 af wat de genormaliseerde trefkans is		5,00E-05
Actie 2	Fab		2,20063E-06
Actie 3	Pwb		3,9297E-12
Trefkans langs weg, vaarweg of spoorweg omvallende turbine			
Lo	lengte van het passerende object [m]		18,75 m
vo	snelheid van het passerende object [m/s]		11,12 m/s
bo	breedte van het passerende object [m]		2,6 m
Lb	Lengte van het blad [m]		56 m
Nt	Aantal turbines [-]		2
d	Afstand van de turbine tot aan rand weg/vaarweg/spoorweg [m]		150
Actie 1	Lees in figuur 4.2 af wat de genormaliseerde trefkans is		5,00E-05
Actie 2	Fam		5,34675E-08
Actie 3	Pwb		5,35E-12
Samengevat			
	Getroffen door blad		3,9297E-12
	Getroffen door mast		5,35E-12
	Totale kans		9,28E-12
	Lengte van weg/spoor/vaarweg blootgesteld aan risico		
	Route binnen invloedsgebied		1,18 km
	bijdrage in de faalkans		7,86E-12
Ongevalsequentie RBMII			
		10%	Extra kans Conclusie
	Weg buiten bebouwde kom	3,60E-07 [1/vrt.km]	3,60E-08 7,86E-12 Kans neemt minder dan 10% toe
	Weg binnen bebouwde kom	5,90E-07 [1/vrt.km]	5,90E-08 7,86E-12 Kans neemt minder dan 10% toe
	Weg Snelweg	8,30E-08 [1/vrt.km]	8,30E-09 7,86E-12 Kans neemt minder dan 10% toe

Trefkans langs weg, vaarweg of spoorweg afgebroken blad					
E82 turbine, 2,3 MW, 10 stuks					
Scenario: Tankwagen op 150 m van windmolen 1 en 2 (op Hoeksebaan)					
Lo	lengte van het passerende object [m]				18,75 m
vo	snelheid van het passerende object [m/s]	km/h	40,032		11,12 m/s
bo	breedte van het passerende object [m]				2,6 m
Lb	Oppervlak van het passerende object				48 m ²
Lb	Lengte van het blad [m]				41 m
Nt	Aantal turbines [-]				2
d	Afstand van de turbine tot aan rand weg/vaarweg/spoorweg [m]				150
Actie 1	Lees in figuur 4.1 af wat de genormaliseerde trefkans is				4,00E-05
Actie 2	Fab				1,67E-06
Actie 3	Pwb				3,25E-12
Trefkans langs weg, vaarweg of spoorweg omvallende turbine					
Lo	lengte van het passerende object [m]				18,75 m
vo	snelheid van het passerende object [m/s]				11,12 m/s
bo	breedte van het passerende object [m]				2,6 m
Lb	Lengte van het blad [m]				41 m
Nt	Aantal turbines [-]				2
d	Afstand van de turbine tot aan rand weg/vaarweg/spoorweg [m]				150
Actie 1	Lees in figuur 4.2 af wat de genormaliseerde trefkans is				0,00E+00
Actie 2	Fam				5,35E-08
Actie 3	Pwb				0,00E+00
Samengevat					
Getroffen door blad					3,25E-12
Getroffen door mast					0,00E+00
Totale kans					3,25E-12
Lengte van weg/spoor/vaarweg blootgesteld aan risico					
Vaarweg					1,18 km
bijdrage in de faalkans					2,75E-12
Ongevalsequentie RBMII		10%		Extra kans Conclusie	
Weg buiten bebouwde kom	3,60E-07 [1/vrt.km]	3,60E-08		2,75E-12	Kans neemt minder dan 10% toe
Weg binnen bebouwde kom	5,90E-07 [1/vrt.km]	5,90E-08		2,75E-12	Kans neemt minder dan 10% toe
Weg Snelweg	8,30E-08 [1/vrt.km]	8,30E-09		2,75E-12	Kans neemt minder dan 10% toe

Bijlage 2 : Berekening IPR en MR

Rekenblad volgens document Windturbines langs auto-, spoor- en vaarwegen, Windgroep Energie, Ministerie V&W Directoraat -Generaal Rijkswaterstaat
Beoordeling van Veiligheidsrisico's
VRWP-R-99004
d.d. 15 april 1999

Scenario omschrijving
Opstellingsalternatief 1: Berekening IPR en MR van spoorvervoer langs opstellingsvariant 1

Grootheid	Waarde	Omschrijving	Formule
Omrekenfactor		3,15E+07 van jaar naar seconden	a
Omrekenfactor		3,17E-08 van seconde naar jaar	b=1/a
Omrekenfactor		0,277777778 van km/h naar m/s	c=1/3,6
Snelheid passant	80 km/h 22,22 m/s		d e=d x c
Kans gebied 1		1,00E-05 kans per jaar	f
Kansgebied 2		3,17E-13 kans per seconden	g=f/a
		1,00E-06 kans per jaar	h
		3,17E-14 kans per seconden	i=h/a
Lengte gebied 1 per windturbine (gemiddeld)	-	m	
Lengte gebied 2 per windturbine (gemiddeld)	240	m	
Aantal windturbines	10	stuk	x1
Passagetijd 1 gehele park	-	s	l=j/e x X1
Passagetijd 2 gehele park	108,00	s	m=k/e x X1
Aantal passages per passant per jaar	730	iedere dag 2 x	n
Aanwezigheidsfractie passant per passage (1e-5)	-		o=l/a
Aanwezigheidsfractie passant per passage (1e-6)	3,43E-06		p=m/a
Individueel passanten risico	2,50E-09	norm is 1e-6	r=(g x l + i x m) x n
Doden / passage	3,43E-12		s = g x l = i x m
Aantal passages per jaar	5,17E+06		t
Maatschappelijk risico	1,77E-05	norm is 2e-3	u = s x t

Nadere gegevens
Aard van de infrastructuur snelheid lager dan 160 km/h
Van toepassing maximaal IPR 1,00E-06

Rekenblad volgens document Windturbines langs auto-, spoor- en vaarwegen, Windgroep Energie, Ministerie V&W Directoraat -Generaal Rijkswaterstaat
Beoordeling van Veiligheidsrisico's
VRWP-R-99004
d.d. 15 april 1999

Scenario omschrijving
Opstellingsalternatief 2: Berekening IPR en MR van spoorvervoer langs opstellingsvariant 2

Grootheid	Waarde	Omschrijving	Formule
Omrekenfactor		3,15E+07 van jaar naar seconden	a
Omrekenfactor		3,17E-08 van seconde naar jaar	b=1/a
Omrekenfactor		0,277777778 van km/h naar m/s	c=1/3,6
Snelheid passant	80 km/h 22,22 m/s		d e=d x c
Kans gebied 1		1,00E-05 kans per jaar	f
Kansgebied 2		3,17E-13 kans per seconden	g=f/a
		1,00E-06 kans per jaar	h
		3,17E-14 kans per seconden	i=h/a
Lengte gebied 1 per windturbine (gemiddeld)	-	m	
Lengte gebied 2 per windturbine (gemiddeld)	318	m	
Aantal windturbines	9	stuk	x1
Passagetijd 1 gehele park	-	s	l=j/e x X1
Passagetijd 2 gehele park	128,79	s	m=k/e x X1
Aantal passages per passant per jaar	730	iedere dag 2 x	n
Aanwezigheidsfractie passant per passage (1e-5)	-		o=l/a
Aanwezigheidsfractie passant per passage (1e-6)	4,09E-06		p=m/a
Individueel passanten risico	2,98E-09	norm is 1e-6	r=(g x l + i x m) x n
Doden / passage	4,09E-12		s = g x l = i x m
Aantal passages per jaar	5,17E+06		t
Maatschappelijk risico	2,11E-05	norm is 2e-3	u = s x t

Nadere gegevens
Aard van de infrastructuur snelheid lager dan 160 km/h
Van toepassing maximaal IPR 1,00E-06

Rekenblad volgens document Windturbines langs auto-, spoor- en vaarwegen, Windgroep Energie, Ministerie V&W Directoraat -Generaal Rijkswaterstaat
Beoordeling van Veiligheidsrisico's
VRWP-R-99004
d.d. 15 april 1999

Scenario omschrijving
Opstellingsalternatief 1: Fietspad nabij windmolens: berekening van maximaal aantal personen tot toetswaarden worden bereikt

Grootheid	Waarde	Omschrijving	Formule
Omrekenfactor		3,15E+07 van jaar naar seconden	a
Omrekenfactor		3,17E-08 van seconde naar jaar	b=1/a
Snelheid passant	15 km/h	4,17 m/s	d
			e=d x c
Kans gebied 1		1,00E-05 kans per jaar	f
		3,17E-13 kans per seconden	g=f/a
Kansgebied 2		1,00E-06 kans per jaar	h
		3,17E-14 kans per seconden	i=h/a
Lengte gebied 1 per windturbine (gemiddeld)	77 m		
Lengte gebied 2 per windturbine (gemiddeld)	246 m		
Aantal windturbines	10 stuks		x1
Passagetijd 1 gehele park	185,07 s		l=j/e x X1
Passagetijd 2 gehele park	591,47 s		m=k/e x X1
Aantal passages per passant per jaar	730	iedere dag 2 x	n
Aanwezigheidsfractie passant per passage (1e-5)	5,88E-06		o=l/a
Aanwezigheidsfractie passant per passage (1e-6)	1,88E-05		p=m/a
Individueel passanten risico	5,66E-08	norm is 1e-6	r=(g x l + i x m) x n
Doden / passage	7,75E-11		s = g x l = i x m
Aantal passages per jaar	2,58E+07		t
Maatschappelijk risico	2,00E-03	norm is 2e-3	u = s x t

Nadere gegevens
Aard van de infrastructuur: snelheid lager dan 160 km/h
Van toepassing maximaal IPR: 1,00E-06

Rekenblad volgens document Windturbines langs auto-, spoor- en vaarwegen, Windgroep Energie, Ministerie V&W Directoraat -Generaal Rijkswaterstaat
Beoordeling van Veiligheidsrisico's
VRWP-R-99004
d.d. 15 april 1999

Scenario omschrijving
Opstellingsalternatief 2: Fietspad nabij windmolens: berekening van maximaal aantal personen tot toetswaarden worden bereikt

Grootheid	Waarde	Omschrijving	Formule
Omrekenfactor		3,15E+07 van jaar naar seconden	a
Omrekenfactor		3,17E-08 van seconde naar jaar	b=1/a
Snelheid passant	15 km/h	4,17 m/s	d
			e=d x c
Kans gebied 1		1,00E-05 kans per jaar	f
		3,17E-13 kans per seconden	g=f/a
Kansgebied 2		1,00E-06 kans per jaar	h
		3,17E-14 kans per seconden	i=h/a
Lengte gebied 1 per windturbine (gemiddeld)	103 m		
Lengte gebied 2 per windturbine (gemiddeld)	262 m		
Aantal windturbines	9 stuks		x1
Passagetijd 1 gehele park	222,50 s		l=j/e x X1
Passagetijd 2 gehele park	565,50 s		m=k/e x X1
Aantal passages per passant per jaar	730	iedere dag 2 x	n
Aanwezigheidsfractie passant per passage (1e-5)	7,06E-06		o=l/a
Aanwezigheidsfractie passant per passage (1e-6)	1,80E-05		p=m/a
Individueel passanten risico	6,47E-08	norm is 1e-6	r=(g x l + i x m) x n
Doden / passage	8,86E-11		s = g x l = i x m
Aantal passages per jaar	2,26E+07		t
Maatschappelijk risico	2,00E-03	norm is 2e-3	u = s x t

Nadere gegevens
Aard van de infrastructuur: snelheid lager dan 160 km/h
Van toepassing maximaal IPR: 1,00E-06

Rekenblad volgens document Windturbines langs auto-, spoor- en vaarwegen, Windgroep Energie, Ministerie V&W Directoraat -Generaal Rijkswaterstaat
Beoordeling van Veiligheidsrisico's
VRWP-R-99004
d.d. 15 april 1999

Scenario omschrijving
Opstellingsalternatief 1: Poortershaven weg nabij windmolens: berekening van maximaal aantal personen tot toetswaarden worden bereikt

Grootheid	Waarde	Omschrijving	Formule
Omrekenfactor		3,15E+07 van jaar naar seconden	a
Omrekenfactor		3,17E-08 van seconde naar jaar	b=1/a
Snelheid passant	80 km/h 22,22 m/s		d e=d x c
Kans gebied 1		1,00E-05 kans per jaar	f
Kansgebied 2		3,17E-13 kans per seconden 1,00E-06 kans per jaar	g=f/a h
Lengte gebied 1 per windturbine (gemiddeld)	37 m	3,17E-14 kans per seconden	i=h/a
Lengte gebied 2 per windturbine (gemiddeld)	268 m		
Aantal windturbines	10 stuks		x1
Passagetijd 1 gehele park	16,51 s		l=j/e x X1
Passagetijd 2 gehele park	120,55 s		m=k/e x X1
Aantal passages per passant per jaar	730	iedere dag 2 x	n
Aanwezigheidsfractie passant per passage (1e-5)	5,24E-07		o=l/a
Aanwezigheidsfractie passant per passage (1e-6)	3,83E-06		p=m/a
Individueel passanten risico		6,62E-09 norm is 1e-6	r=(g x l + i x m) x n
Doden / passage		9,07E-12	s = g x l = i x m
Aantal passages per jaar	2,20E+08		t
Maatschappelijk risico		2,00E-03 norm is 2e-3	u = s x t

Nadere gegevens
Aard van de infrastructuur: snelheid lager dan 160 km/h
Van toepassing maximaal IPR: 1,00E-06

Rekenblad volgens document Windturbines langs auto-, spoor- en vaarwegen, Windgroep Energie, Ministerie V&W Directoraat -Generaal Rijkswaterstaat
Beoordeling van Veiligheidsrisico's
VRWP-R-99004
d.d. 15 april 1999

Scenario omschrijving
Opstellingsalternatief 2: Poortershaven weg nabij windmolens: berekening van maximaal aantal personen tot toetswaarden worden bereikt

Grootheid	Waarde	Omschrijving	Formule
Omrekenfactor		3,15E+07 van jaar naar seconden	a
Omrekenfactor		3,17E-08 van seconde naar jaar	b=1/a
Snelheid passant	80 km/h 22,22 m/s		d e=d x c
Kans gebied 1		1,00E-05 kans per jaar	f
Kansgebied 2		3,17E-13 kans per seconden 1,00E-06 kans per jaar	g=f/a h
Lengte gebied 1 per windturbine (gemiddeld)	96 m	3,17E-14 kans per seconden	i=h/a
Lengte gebied 2 per windturbine (gemiddeld)	286 m		
Aantal windturbines	9 stuks		x1
Passagetijd 1 gehele park	39,00 s		l=j/e x X1
Passagetijd 2 gehele park	115,69 s		m=k/e x X1
Aantal passages per passant per jaar	730	iedere dag 2 x	n
Aanwezigheidsfractie passant per passage (1e-5)	1,24E-06		o=l/a
Aanwezigheidsfractie passant per passage (1e-6)	3,67E-06		p=m/a
Individueel passanten risico		1,17E-08 norm is 1e-6	r=(g x l + i x m) x n
Doden / passage		1,61E-11	s = g x l = i x m
Aantal passages per jaar	1,25E+08		t
Maatschappelijk risico		2,00E-03 norm is 2e-3	u = s x t

Nadere gegevens
Aard van de infrastructuur: snelheid lager dan 160 km/h
Van toepassing maximaal IPR: 1,00E-06

Rekenblad volgens document Windturbines langs auto-, spoor- en vaarwegen, Windgroep Energie, Ministerie V&W Directoraat -Generaal Rijkswaterstaat
Beoordeling van Veiligheidsrisico's
VRWP-R-99004
d.d. 15 april 1999

Scenario omschrijving
Opstellingsalternatief 1: Personen in schepen nabij windturbines: berekening van maximaal aantal personen tot toetswaarden worden bereikt

Grootheid	Waarde	Omschrijving	Formule
Omrekenfactor		3,15E+07 van jaar naar seconden	a
Omrekenfactor		3,17E-08 van seconde naar jaar	b=1/a
Snelheid passant	15 km/h	4,17 m/s	d
			e=d x c
Kans gebied 1		1,00E-05 kans per jaar	f
		3,17E-13 kans per seconden	g=f/a
Kansgebied 2		1,00E-06 kans per jaar	h
		3,17E-14 kans per seconden	i=h/a
Lengte gebied 1 per windturbine (gemiddeld)		- m	
Lengte gebied 2 per windturbine (gemiddeld)	235	m	
Aantal windturbines	10	stuk	x1
Passagetijd 1 gehele park	-	s	l=j/e x X1
Passagetijd 2 gehele park	564,39	s	m=k/e x X1
Aantal passages per passant per jaar	730	iedere dag 2 x	n
Aanwezigheidsfractie passant per passage (1e-5)	0,00E+00		o=l/a
Aanwezigheidsfractie passant per passage (1e-6)	1,79E-05		p=m/a
Individueel passanten risico	1,31E-08	norm is 1e-6	r=(g x l + i x m) x n
Doden / passage	1,79E-11		s = g x l = i x m
Aantal passages per jaar	111.500.000		t
Maatschappelijk risico	2,00E-03	norm is 2e-3	u = s x t

Nadere gegevens
Aard van de infrastructuur: snelheid lager dan 160 km/h
Van toepassing maximaal IPR: 1,00E-06

Rekenblad volgens document Windturbines langs auto-, spoor- en vaarwegen, Windgroep Energie, Ministerie V&W Directoraat -Generaal Rijkswaterstaat
Beoordeling van Veiligheidsrisico's
VRWP-R-99004
d.d. 15 april 1999

Scenario omschrijving
Opstellingsalternatief 2: Personen in schepen nabij windturbines: berekening van maximaal aantal personen tot toetswaarden worden bereikt

Grootheid	Waarde	Omschrijving	Formule
Omrekenfactor		3,15E+07 van jaar naar seconden	a
Omrekenfactor		3,17E-08 van seconde naar jaar	b=1/a
Snelheid passant	15 km/h	4,17 m/s	d
			e=d x c
Kans gebied 1		1,00E-05 kans per jaar	f
		3,17E-13 kans per seconden	g=f/a
Kansgebied 2		1,00E-06 kans per jaar	h
		3,17E-14 kans per seconden	i=h/a
Lengte gebied 1 per windturbine (gemiddeld)		- m	
Lengte gebied 2 per windturbine (gemiddeld)	286	m	
Aantal windturbines	9	stuk	x1
Passagetijd 1 gehele park	-	s	l=j/e x X1
Passagetijd 2 gehele park	617,14	s	m=k/e x X1
Aantal passages per passant per jaar	730	iedere dag 2 x	n
Aanwezigheidsfractie passant per passage (1e-5)	0,00E+00		o=l/a
Aanwezigheidsfractie passant per passage (1e-6)	1,96E-05		p=m/a
Individueel passanten risico	1,43E-08	norm is 1e-6	r=(g x l + i x m) x n
Doden / passage	1,96E-11		s = g x l = i x m
Aantal passages per jaar	101.900.000		t
Maatschappelijk risico	2,00E-03	norm is 2e-3	u = s x t

Nadere gegevens
Aard van de infrastructuur: snelheid lager dan 160 km/h
Van toepassing maximaal IPR: 1,00E-06

Bijlage 3 : Berekening Onvoorziene niet-beschikbaarheid Nieuwe Waterweg

In onderstaande is uitgewerkt de bijdrage aan de onvoorziene niet beschikbaarheid van de Nieuwe Waterweg. In deze bijlage zijn de berekeningen getoond welke behoren bij hoofdstuk 7.

Breuk van een blad

Wanneer een blad loslaat van de as zal deze 'windafwaarts' van de windturbine neerkomen.

De kans op het loslaten van een blad bedraagt $8,4 \times 10^{-4}$ per jaar per turbine. De kans dat deze op land terecht komt is afhankelijk van de verdeling van de windrichtingen. Windroos van Hoek van Holland is onderstaand gegeven.

Tabel B3.1 Meteobestand Hoek van Holland

Me	345-15	15-45	45-75	75-105	105-135	135-165	165-195	195-225	225-255	255-285	285-315	315-345
HVH B3	2,36	1,18	1,25	2,86	1,35	1,6	1	0,62	1,25	2,01	1,63	1,69
HVH D1,5	0,67	0,49	0,7	0,99	0,6	0,79	0,7	0,47	0,48	0,65	0,69	0,64
HVH D5	2,75	1,77	1,71	2,24	1,38	1,81	2,46	1,97	2,42	2,51	1,82	1,85
HVH D9	5,01	2,33	1,61	1,77	1,14	1,56	3,77	6,31	11,38	6,12	3,91	3,77
Uur	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
METE NACHT	345-15	15-45	45-75	75-105	105-135	135-165	165-195	195-225	225-255	255-285	285-315	315-345
HVH D1,5	0,44	0,84	1,32	1,67	0,77	0,87	1,06	0,51	0,39	0,46	0,36	0,37
HVH D5	1,48	1,82	2,37	2,92	1,62	2,3	3,37	2,31	1,94	1,8	1,33	1,33
HVH D9	2,73	1,58	1,67	1,31	0,9	1,7	4,14	6,55	8,5	5,41	4,41	3,28
HVH E5	0,43	1,23	1,82	2,92	0,95	0,85	1,23	0,63	0,54	0,35	0,3	0,32
HVH F1,5	0,49	1,09	2,25	2,77	1,34	1,23	1,26	0,57	0,46	0,38	0,43	0,39

Aangenomen wordt het volgende:

- breuk van een blad vindt plaats bij de maximale windsnelheden van het meteobestand dag en nacht (D9 dag en D9 nacht).
- de blauwgearceerde windsectors leiden tot het neerkomen van een blad in de Nieuwe Waterweg. Afgeleid kan worden dat de kans daarop is 27% (dag) en 32% (nacht). Hiervan wordt als gemiddelde genomen: 30%.
- de kans dat een blad meer dan 115 (opstellingsvariant 1) of 130 (opstellingsvariant 2) meter aflegt is met behulp van het ballistisch model zonder luchtkrachten bepaald op 6,8% respectievelijk 7,0% gegeven het feit dat de windturbine faalt.

Bovenstaande leidt tot de volgende berekening:

- kans op falen van de windturbine (blad) x kans op neerkomen in water x kans op neerkomen op meer dan 115/130 m x aantal molens =

$$\text{Opstellingsvariant 1: } 8,4 \times 10^{-4} \times 30\% \times 6,8\% \times 10 = 1,7 \times 10^{-4}$$

$$\text{Opstellingsvariant 2: } 8,4 \times 10^{-4} \times 30\% \times 7,0\% \times 9 = 1,59 \times 10^{-4}$$

Mastbreuk / omvallen gehele windturbine

Wanneer de windturbine door mastbreuk in zijn geheel omvalt kunnen mastdelen, gondeldelen en bladdelen in de vaarweg terechtkomen. Wanneer de mast haaks op de oever de Nieuwe Waterweg in valt reiken de windturbinedelen het verst. Naarmate de hoek met de oever toe of afneemt zijn er steeds minder delen van de windturbine welke in het gebied van de vaarweg terechtkomen. Bij een voldoende grote hoek blijft de gehele windturbine zelfs uit het gebied van de vaarweg.

Uitgangspunt is dat de windrichting bepaalt in welke richting de windturbine valt. De kans is dus 30% dat de windturbine in het water valt. Deze kans verdelen we homogeen over 180 graden. De hoek die leidt tot neerkomen van windturbinedelen in het vaargebied wordt gegeven door:

$$\delta = 2 \times \arccos(p/r)$$

waarin: p: de loodrechte afstand tot de vaarweg (115 m, respectievelijk 130 m)
waarin: r: masthoogte met halve diameter rotor (131 m, respectievelijk 175 m).

De kans dat de windturbine of delen daarvan in de vaarweg valt:

$kans_{in\ vaarweg} = \text{falen mast} \times 30\% \times \delta/180 \times \text{aantal molens}$

Opstellingsvariant 1: $1,3 \times 10^{-4} \times 30\% \times 2 \times \arccos(115/131) / 180 = 1,24 \times 10^{-4}/j$

Opstellingsvariant 2: $1,3 \times 10^{-4} \times 30\% \times 2 \times \arccos(130/175) / 180 = 1,64 \times 10^{-4}/j$

Hoek waarbinnen delen in de vaarweg van de Nieuwe Waterweg terechtkomen :

Opstellingsvariant 1: 57 graden.

Opstellingsvariant 2: 84 graden.

Conclusie van beide voorgaande scenario's

Het totaal van beide scenario's (bladbreuk plus falen mast) geeft een maat voor de toename van de onvoorziene niet beschikbaarheid van de Nieuwe Waterweg:

Opstellingsvariant 1: $1,7 \times 10^{-4} + 1,24 \times 10^{-4} = 2,94 \times 10^{-4}/\text{jaar}$

Opstellingsvariant 2: $1,59 \times 10^{-4} + 1,64 \times 10^{-4} = 3,23 \times 10^{-4}/\text{jaar}$.

Bijlage 4 : Berekening trefkans Maeslantkering

Tabel B4.1 Trefkans van onderdelen voor opstellingsalternatief 1

Object	Turbine	Blad raakt object	Mast/rotor raakt object	Gondel raakt object	Totaal
		<i>Volgens rekenmodule[1] (**)</i>	<i>ashoogte + halve diameter: 131 m</i>	<i>Halve rotor diameter: 41 m</i>	
Kerende wand	nr 1	$6,8 \times 10^{-8}$	Niet van belang	Niet van belang	$6,8 \times 10^{-8}$
	nr 2	$<10^{-9}$ (*)	Niet van belang	Niet van belang	-
	nr 3	$<10^{-9}$	Niet van belang	Niet van belang	-
	Uitgangspunt	Cirkelsegment is recht verondersteld: 22 meter hoog waarvan aangenomen bovenste 13 m blootgesteld aan inslag van windturbinedelen, 210 meter lang, 7,2 m diep. Kleinste afstand tot windturbine 1: 168 m, Kleinste afstand tot windturbine 2: 473 m. Kleinste afstand tot windturbine 3: 877 m			
Vakwerk armen	nr 1	$1,9 \times 10^{-7}$	Niet van belang	Niet van belang	$1,9 \times 10^{-7}$
	nr 2	$4,9 \times 10^{-7}$	Niet van belang	Niet van belang	$4,9 \times 10^{-7}$
	nr 3	$<10^{-9}$	Niet van belang	Niet van belang	-
	Uitgangspunt	Vakwerkarmen zijn in twee delen gemodelleerd: 1 ^e : B171 x D60 x H15 2 ^e : B86 x D175 x H15 Kleinste afstand tot windturbine 1: 193 en 237 m, Kleinste afstand tot windturbine 2: 500 en 360 m. Kleinste afstand tot windturbine 3: 910 en 709 m.			
Bolscharnier	nr 1	$<10^{-9}$	Niet van belang	Niet van belang	-
	nr 2	$5,7 \times 10^{-8}$	Niet van belang	Niet van belang	$5,7 \times 10^{-8}$
	nr 3	$<10^{-9}$	Niet van belang	Niet van belang	-
	Uitgangspunt	Uitgegaan is van een omhulling van B50 x D50 x H13 m. Kleinste afstand tot windturbine 1: 416 m, Kleinste afstand tot windturbine 2: 355 m. Kleinste afstand tot windturbine 3: 709 m			
Lier (2 maal)	nr 1	$<10^{-9}$	Niet van belang	Niet van belang	-
	nr 2	$<10^{-9}$	Niet van belang	Niet van belang	-
	nr 3	$<10^{-9}$	Niet van belang	Niet van belang	-
	Uitgangspunt	Beschouwd zijn twee lieren met elke een omvang van 3 x 3 x 3 meter Kleinste afstand tot windturbine 1: 206 en 227 meter Kleinste afstand tot windturbine 2: > 600 meter Kleinste afstand tot windturbine 3: > 600 meter			
Bedieningsgebouw	nr 1	$2,5 \times 10^{-8}$	Niet van belang	Niet van belang	$2,5 \times 10^{-8}$
	nr 2	$<10^{-9}$	Niet van belang	Niet van belang	-
	nr 3	$<10^{-9}$	Niet van belang	Niet van belang	-
	Uitgangspunt	Bedieningsgebouw gemodelleerd D50 x B50 x H5 m Kleinste afstand tot windturbine 1: 153 m Kleinste afstand tot windturbine 2: 627 m Kleinste afstand tot windturbine 3: > 1 km			
Kabels	nr 1	$7,3 \times 10^{-6}$	$4,7 \times 10^{-5}$	Niet van belang	$5,4 \times 10^{-5}$
	nr 2	$5,5 \times 10^{-6}$	$4,2 \times 10^{-5}$	Niet van belang	$4,8 \times 10^{-5}$
	nr 3	$<10^{-9}$	Niet van belang	Niet van belang	-
	Uitgangspunt	Als rechte lijn gemodelleerd D2 x B238/B222 x H1 m Kleinste afstand tot windturbine 1: 55 m Kleinste afstand tot windturbine 2: 69 m Kleinste afstand tot windturbine 3: > 1 km			
SOM van alle voorgaande onderdelen [1/j]					$1,03 \times 10^{-4}$

(*) Een kans van kleiner dan eens in de miljard jaar ($<10^{-9}$ per jaar) wordt als niet relevant beschouwd.

(**) Oranjewoud/Save heeft de formules voor de trefkansberekening, zoals die in het *Handboek Risicozonering Windturbines*[1] is opgenomen, verwerkt in een rekenmodule (Excel).

Tabel B4.2 Trefkans van onderdelen voor opstellingsalternatief 2

Object	Turbine	Blad raakt object	Mast/rotor raakt object	Gondel raakt object	Totaal
		<i>Volgens rekenmodule[1]</i>	<i>ashoogte + halve diameter: 175 m</i>	<i>Halve rotor diameter: 56 m</i>	
Kerende wand	nr 1	$3,4 \times 10^{-8}$	$1,2 \times 10^{-5}$	Niet van belang	$1,2 \times 10^{-5}$
	nr 2	$<10^{-9}$ (*)	Niet van belang	Niet van belang	-
	nr 3	$<10^{-9}$	Niet van belang	Niet van belang	-
	Uitgangspunt	Cirkelsegment is recht verondersteld: 22 meter hoog waarvan aangenomen bovenste 13 m blootgesteld aan inslag van windturbinedelen, 210 meter lang, 7,2 m diep. Kleinste afstand tot windturbine 1: 168 m, Kleinste afstand tot windturbine 2: 473 m. Kleinste afstand tot windturbine 3: 912 m			
Vakwerk armen	nr 1	$3,8 \times 10^{-7}$	Niet van belang	Niet van belang	$3,8 \times 10^{-7}$
	nr 2	$2,0 \times 10^{-7}$	Niet van belang	Niet van belang	$2,0 \times 10^{-7}$
	nr 3	$<10^{-9}$	Niet van belang	Niet van belang	-
	Uitgangspunt	Vakwerkarmen zijn in twee delen gemodelleerd: 1 ^e : B: 171 x D60 x H 15 2 ^e : B86 x D175 x H 15 Kleinste afstand tot windturbine 1: 193 en 237 m, Kleinste afstand tot windturbine 2: 500 en 360 m. Kleinste afstand tot windturbine 3: 950 en 766 m			
Bolscharnier	nr 1	$<10^{-9}$	Niet van belang	Niet van belang	-
	nr 2	$5,7 \times 10^{-8}$	Niet van belang	Niet van belang	$5,7 \times 10^{-8}$
	nr 3	$<10^{-9}$	Niet van belang	Niet van belang	-
	Uitgangspunt	Bolscharnier Uitgegaan is van een omhulling van B50 x D50 x H13 m. Kleinste afstand tot windturbine 1: 416 m, Kleinste afstand tot windturbine 2: 355 m. Kleinste afstand tot windturbine 3: 766 m			
Lier (2 maal)	nr 1	$<10^{-9}$	Niet van belang	Niet van belang	-
	nr 2	$<10^{-9}$	Niet van belang	Niet van belang	-
	nr 3	$<10^{-9}$	Niet van belang	Niet van belang	-
		Beschouwd zijn twee lieren met elke een omvang van 3 x 3 x 3 meter Kleinste afstand tot windturbine 1: 206 en 227 meter Kleinste afstand tot windturbine 2: > 600 meter Kleinste afstand tot windturbine 3: > 600 meter			
Bedieningsgebouw	nr 1	$7,5 \times 10^{-8}$	$2,1 \times 10^{-5}$	Niet van belang	$2,1 \times 10^{-5}$
	nr 2	$<10^{-9}$	Niet van belang	Niet van belang	-
	nr 3	$<10^{-9}$	Niet van belang	Niet van belang	-
	Uitgangspunt	Bedieningsgebouw gemodelleerd D 47 x B 32 x H 10 m Kleinste afstand tot windturbine 1: 153 m Kleinste afstand tot windturbine 2: 627 m Kleinste afstand tot windturbine 3: > 1 km			
Kabels	nr 1	$7,7 \times 10^{-6}$	$5,2 \times 10^{-5}$	$1,5 \times 10^{-5}$	$7,5 \times 10^{-5}$
	nr 2	$7,9 \times 10^{-6}$	$4,8 \times 10^{-5}$	Niet van belang	$5,6 \times 10^{-5}$
	nr 3	$<10^{-9}$	Niet van belang	Niet van belang	-
	Uitgangspunt	Als rechte lijn gemodelleerd D2 x B332/321 x H1 m Kleinste afstand tot windturbine 1: 55 m Kleinste afstand tot windturbine 2: 69 m Kleinste afstand tot windturbine 3: > 1 km			
SOM van alle voorgaande onderdelen [1/j]					$1,64 \times 10^{-4}$

(*) Een kans kleiner dan 10^{-9} per jaar wordt als niet relevant beschouwd.

Bijlage 5 : Berekening trefkans Delflandsedijk

Gebruikte afmetingen:

- Delflandsedijk A0: volgens opgave van Hoogheemraadschap Delfland (e-mail d.d.12 april 2013) is de te gebruiken hoogte van deze dijk 10,4 m en de breedte 45 m.
- Waterkeringsdeel A1: L: 195 m, H: 7,5 m, aangenomen Breedte 2 x hoogte 15 m.
- Waterkeringsdeel A2: L: 66 m, H: 9,55 m, aangenomen Breedte 2 x hoogte: 19,1 m.
- Waterkeringsdeel A3 en A4: L: 15 m, H: 7,5 m, aangenomen Breedte 2 x hoogte: 15 m.
- Waterkeringsdeel B: L: 250 m, blootgestelde hoogte H: 10 m, aangenomen, breedte 7,2 m.
- De trefkans van de dijk wordt berekend door als afstand te nemen de kleinste afstand tot de kruin minus de halve breedte van de dijk. In wezen wordt hier de trefkans van de voet van de waterkering berekend (conservatief uitgangspunt).

Tabel B5.1 Trefkans waterkeringen opstellingsvariant 1

Turbine 1 Opstellingsvariant 1	Kleinste afstand van waterkering tot turbine 1 minus halve breedte	Blad raakt object	Mast/rotor raakt object	Gondel raakt object	Totale trefkans [1/j]
		<i>Trefkans Volgens rekenmodule[1]</i>	<i>Trefkans in gebied ashoogte (90 m) + halve diameter (41 m) = 131 m</i>	<i>Trefkans in gebied: Halve rotor diameter: 41 m</i>	
Delflandsedijk A0	62,5	1,4E-04	4,5E-05	Niet van belang	1.85E-04
Waterkeringsdeel A1	68,5	5,6E-05	4,2E-05	Niet van belang	9,8E-05
Waterkeringsdeel A2	144	3,8E-08	nvt	Niet van belang	3,8E-08
Waterkeringsdeel A3	193	6,6E-09	nvt	Niet van belang	6,6E-09
Waterkeringsdeel A4	199	3,2E-09	nvt	Niet van belang	3,2E-09
Waterkeringsdeel B*	212	5,3E-08	nvt	Niet van belang	5,3E-08
Totale trefkans waterkering in invloedsgebied					2,83E-04

Tabel B5.2 Trefkans waterkeringen opstellingsvariant 2

Turbine 1 Opstellingsvariant 2	Kleinste afstand van waterkering tot turbine 1 minus halve breedte	Blad raakt object	Mast/rotor raakt object	Gondel raakt object	Totale trefkans [1/j]
		<i>Trefkans Volgens rekenmodule[1]</i>	<i>Trefkans in gebied ashoogte (119 m) + halve diameter (56 m)= 175 m</i>	<i>Trefkans in gebied: Halve rotor diameter: 56 m</i>	
Delflandsedijk A0	62,5	1,2E-04	5,0E-05	Niet van belang	1,7E-04
Waterkeringsdeel A1	68,5	2,8E-05	4,8E-05	Niet van belang	7,6E-05
Waterkeringsdeel A2	144	4,2E-05	2,5E-05	Niet van belang	6,7E-05
Waterkeringsdeel A3	193	2,7E-09	nvt	Niet van belang	2,7E-06
Waterkeringsdeel A4	199	3,2E-09	nvt	Niet van belang	3,2E-09
Waterkeringsdeel B*	212	5,3E-08	nvt	Niet van belang	5,3E-08
Totale trefkans waterkering in invloedsgebied					3,13E-04

(*) Opgemerkt moet worden dat de trefkans bij waterkeringsdeel B is gebaseerd op volledig gesloten toestand van de kering.

Tabel B5.3 Trefkans waterkeringen Delflandsedijk opstellingsvariant 1

Trefkans van de waterkering door windturbine x	Kleinste afstand van waterkering tot turbine	Blad raakt object	Mast/rotor raakt object	Gondel raakt object	Totale trefkans [1/j]
		<i>Trefkans Volgens rekenmodule [1]</i>	<i>Trefkans in gebied ashoogte (90 m) + halve diameter (41 m) = 131 m</i>	<i>Trefkans in gebied: Halve rotor diameter: 41 m</i>	
Windturbine 1 (*)	62,5	1,40E-04	4,50E-05	Niet van belang	1,85E-04
Windturbine 2	61,2	1,80E-04	4,50E-05	Niet van belang	2,25E-04
Windturbine 3	93,3	9,40E-05	3,30E-05	Niet van belang	1,27E-04
Windturbine 4	77,7	7,60E-05	3,90E-05	Niet van belang	1,15E-04
Windturbine 5	57,8	1,10E-04	4,60E-05	Niet van belang	1,56E-04
Windturbine 6	22,8	5,20E-04	5,80E-05	1,20E-05	5,90E-04
Windturbine 7	34,8	3,40E-04	5,40E-05	7,00E-06	4,01E-04
Windturbine 8	35,7	2,00E-04	5,40E-05	6,40E-06	2,60E-04
Windturbine 9	31,5	2,20E-04	5,50E-05	8,60E-06	2,84E-04
Windturbine 10	22,5	5,20E-04	5,80E-05	1,20E-05	5,90E-04
Totale trefkans waterkering in invloedsgebied					2,94E-03

(*) treffen van Delflandsedijk dijkvak A0

Tabel B5.4 Trefkans waterkeringen Delflandsedijk opstellingsvariant 2

Trefkans van de waterkering door windturbine x	Kleinste afstand van waterkering tot turbine	Blad raakt object	Mast/rotor raakt object	Gondel raakt object	Totale trefkans [1/j]
		<i>Trefkans Volgens rekenmodule [1]</i>	<i>Trefkans in gebied ashoogte (119 m) + halve diameter (56 m)= 175 m</i>	<i>Trefkans in gebied: Halve rotor diameter: 56 m</i>	
Windturbine 1 (*)		1,20E-04	5,00E-05	Niet van belang	1,7E-04
Windturbine 2	50,8	1,80E-04	5,30E-05	0,0000054	2,38E-04
Windturbine 3	77	1,10E-04	4,60E-05	Niet van belang	1,56E-04
Windturbine 4	21,5	4,30E-04	6,00E-05	1,50E-05	5,05E-04
Windturbine 5	28,1	4,50E-04	5,80E-05	1,30E-05	5,21E-04
Windturbine 6	18,2	5,30E-04	6,00E-05	1,60E-05	6,06E-04
Windturbine 7	31,5	2,90E-04	5,70E-05	1,20E-05	3,59E-04
Windturbine 8	60,1	1,50E-04	5,10E-05	Niet van belang	2,01E-04
Windturbine 9	8,6	1,80E-04	6,30E-05	1,80E-05	2,61E-04
Totale trefkans waterkering in invloedsgebied					3,02E-03

(*) Treffen van Delflandsedijk dijkvak A0.