

RAPPORT

Verdieping faalkansen ten behoeve van windpark Spuisluis

Klant: Eneco Wind B.V.

Referentie: I&BBE4373R002D0.2

Versie: 0.2/Concept

Datum: 17 juli 2017

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX Amersfoort
Netherlands
Industry & Buildings
Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Verdieping faalkansen ten behoeve van windpark Spuisluis

Ondertitel:
Referentie: I&BBE4373R002D0.2
Versie: 0.2/Concept
Datum: 17 juli 2017
Projectnaam:
Projectnummer: BE4373
Auteur(s): Peter Winkelman / Erik Zigterman

Opgesteld door: Peter Winkelman

Gecontroleerd door: Karen van Tol

Datum/Initialen: KvT

Goedgekeurd door: 17 juli 2017

Datum/Initialen: Erik Zigterman

Classificatie

Projectgerelateerd



Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and OHSAS 18001:2007.

Inhoud

1	Introductie	1
2	Algemene beschouwingen huidig beleid	3
2.1	Trefkansberekeningen	3
2.2	Economische schade	3
2.3	Activiteitenbesluit	3
2.4	Het Handboek Risicozonering windturbines	4
2.5	Bronmaatregelen conform het Handboek Risicozonering windturbines	5
3	Faalscenario's / frequenties in Handboek Risicozonering windturbines	6
3.1	Faalscenario's en effectmodellen	6
3.2	Faalfrequenties	7
4	Herziene inschatting windturbine faalfrequenties	9
4.1	Stap 1: Voortschrijdende verbetering van de techniek	10
4.1.1	Performance level	10
4.1.2	PL verbetering per Windturbine type	11
4.1.3	PL verbetering sinds Casuïstiek	13
4.1.4	Vergelijking PL overige windturbine leveranciers t.o.v. NordeX	16
4.1.5	Specifieke voorbeelden van technologische verbeteringen	16
4.2	Stap 2: Veiligheidsverbeteringen Eneco ten opzichte van 2010	17
4.2.1	Specialisaties in personeelsbestand	18
4.2.2	Professionalisering	22
	Verklaring van Eneco Wind op 10 juli 2017 over de toekenning van het ISO 55001 certificaat	23
4.2.3	Eindoordeel Stap 2	27
4.3	Stap 3: Specifieke maatregelen voor het project windpark Spuisluis	28
4.4	Resume factorverlaging risico	28
5	Stap 4: Locatiespecifieke kenmerken en samenvattende tabellen	30
5.1	Scenario 1: HS kabels	32
5.2	Scenario 2: Pompstation 3	33
5.3	Scenario 3: Slagschaduw ruim van schip	34
5.4	Scenario 4: Kantoorgebouw 1F02 buiten kantooruren	35
5.5	Scenario 5: Transithal (veiligheid)	36
5.6	Scenario 6: Kantoorgebouw 1F02 binnen kantooruren	38
5.7	Scenario 7: Schip BUKA3	39
5.8	Scenario 8: Transithal (financieel)	40

6 Conclusies

42

Bijlagen

1. Artikel Antea over economische schade
2. Risico tabel Tata Steel IJmuiden
3. NEN-en-iso13849
4. Rapport TUV Nord over NordeX Delta Generatie
5. Simulatiemodel windturbinejaren per generatie (type) windturbine

1 Introductie

Windpark Spuisluis is een initiatief van Windpark IJmond en Eneco Wind. Het windpark wordt ontwikkeld ten zuiden van Tata Steel te Velsen-Noord en ten noorden van de woonkern IJmuiden/Velsen-Zuid en zal bestaan uit een 6-tal windturbines op rij (zie Figuur 1).

Ten behoeve van de vergunningverlening is door Royal HaskoningDHV een kwantitatieve risicoanalyse¹ uitgevoerd, waarin de risico's van de windturbine op de directe omgeving zijn bepaald en getoetst aan de geldende normen en richtwaarden. In deze QRA is geconcludeerd dat het windpark Spuisluis voldoet aan de geldende wettelijke richtlijnen en bepalingen voor wat betreft externe veiligheid.



Figuur 1. Beoogde locaties windturbines

Tata Steel heeft aangegeven dat de risico's voortvloeiend uit het windpark Spuisluis mogelijk de acceptatiegrenzen van hun interne risicomatrix overschrijden. Deze risicomatrix bevat naast acceptatiecriteria voor interne veiligheid onder andere ook acceptatiecriteria voor economische schade. Om Tata Steel te helpen met de interne besluitvorming is een trefkans studie uitgevoerd², waarin voor een aantal objecten een voor Tata Steel te hoog risico wordt berekend.

In deze rapporten worden de gevolgen van een incident met een windturbine van Eneco en Windpark IJmond aan de objecten op het Tata Steel terrein en de kansen daarop besproken. De QRA en de

¹ QRA windpark Spuisluis (I&BBE4373R001F04), Royal HaskoningDHV, 23 mei 2016.

² Trefkansberekeningen (I&BBE4373N002D0.1), Royal HaskoningDHV, 18 november 2016.

trefkansenstudie zijn uitgevoerd op basis van het Handboek Risicozonering windturbines. Dit handboek is herzien in 2012 en gebaseerd op de casuïstiek van falen uit de periode 2000-2010 (handboek risicozonering windturbines, Appendix A). Dit rapport betreft een kwalitatieve, deels semi-kwantitatieve, beschouwing van de aan deze studies ten grondslag liggende faalfrequentie van windturbines, gebaseerd op het handboek Risicozonering windturbines. Wij onderbouwen waarom de faalfrequenties van de windturbines in windpark Spuisluis naar verwachting kleiner zijn en hoeveel kleiner deze dan zijn (grootte-orde).

In dit rapport wordt de verandering van de faalfrequentie van de moderne windturbines in vier stappen onderzocht:

- stap 1: Voortschrijdende verbetering van de techniek;
- stap 2: Additionele veiligheidseisen van Eneco ten opzichte van de industriestandaard;
- stap 3: Specifieke maatregelen voor het project windpark Spuisluis;
- stap 4: Onderzoek naar omstandigheden die de kans op een fataal incident verlagen.

Voordat deze stappen worden doorlopen (hoofdstukken 3 en 4) gaan wij in op het beschikbare normenkader en lichten wij toe welke faalfrequenties (hoofdstuk 2) daarin gehanteerd worden.

2 Algemene beschouwingen huidig beleid

2.1 Trefkansberekeningen

Ten aanzien van trefkansberekeningen wordt aangegeven dat er een grote mate van onzekerheid in de resultaten zit. Er zijn veel aannames en onzekerheden in de uitgangspunten en in de berekeningswijze. In het Handboek Risicozoneringen worden vaak conservatieve keuzes gemaakt. De uiteindelijk berekende trefkansen zijn in de orde grootte van eens per miljoen tot eens per 100 miljoen jaar. De mathematische en complexe berekeningen geven de indruk dat er een zeer secuur getal uitkomt, maar de onbetrouwbaarheid van dat getal is groot. Het is dan ook niet verstandig om het getal als een absolute waarheid aan te nemen. De resulterende trefkans moet eerder als een orde grootte inschatting worden gezien.

Daarnaast moet worden meegenomen dat niet iedere “treffer” ook dezelfde impact zal hebben. In het Handboek is het afwerpen van een tip van een wiek bijvoorbeeld fataal voor een persoon, maar in de doorvertaling hiervan is een gebouw bij het raken van een tip waarschijnlijk wel beschadigd, maar mogelijk niet ernstig. Dat leidt tot conservatieve aannames in de berekeningen van de trefkans. Ook is het niet altijd desastreus als een constructie faalt. Zolang de falende constructie niet tot gevolg heeft dat er personen bij betrokken zijn (veiligheid) of kritische installatieonderdelen worden geraakt (economische schade).

*Geconcludeerd wordt dat de **trefkansberekeningen** conservatief van aard zijn, en vanwege de onzekerheid als een orde grootte inschatting moeten worden gezien en niet als exact getal.*

2.2 Economische schade

Hoewel de externe veiligheid met betrekking tot windturbines goed is geregeld in diverse wetten, besluiten, regelingen etc. is er geen juridisch kader vastgesteld rondom de economische schade die het gevolg kan zijn van een incident met een windturbine. Antea heeft hierover een artikel geschreven, welke als Bijlage 1 aan deze memo is toegevoegd. Het artikel concludeert dat de belangen vaak te tegengesteld zijn, het vraagstuk te normatief en de materie te complex. Hierdoor heeft het ontbreken van een juridisch kader tot gevolg heeft dat projecten vertragen, projectontwikkelaars, overheden en belanghebbenden op kosten worden gejaagd, en dat er zelden consensus ontstaat over de normatieve vraag die voorligt.

Quote Handboek Risicozonering windturbines (paragraaf 1.3):

Het evalueren van economische gevolgschade valt buiten de reikwijdte van het Handboek. Er bestaan geen wettelijke criteria voor het toetsen van economische schades.

Geconcludeerd wordt dat het Handboek Risicozonering niet bedoeld is om economische schade mee te berekenen. En dat er geen juridisch kader is voor de economische schadeafhandeling van windturbine incidenten.

2.3 Activiteitenbesluit

V.w.b. de plaatsing van de turbine is hoofdregel dat het Activiteitenbesluit de EV-regels bevat. Deze worden vrij strikt toegepast (ook in planologische besluiten: bestemmingsplan en inpassingsplan) en worden ook als uitputtend gezien. Zie bijvoorbeeld de zaak over het windturbinepark Delfzijl (ECLI:NL:RVS:2011:BQ6790), waarin ook wordt opgemerkt dat secundaire effecten aan de orde moeten komen in het planologisch besluit.

De normen met betrekking tot externe veiligheid zijn gegeven in artikel 3.15 van het activiteitenbesluit en zijn weergegeven in Tabel 1 hieronder.

Artikel	Tekst Activiteitenbesluit	Beoordeling
3.15.1	Het plaatsgebonden risico voor een buiten de inrichting gelegen kwetsbaar object, veroorzaakt door een windturbine of een combinatie van windturbines, is niet hoger dan 10^{-6} per jaar.	Geen van de objecten van Tata Steel die liggen binnen de binnen de 10^{-6} per jaar PR contour zijn aan te wijzen als kwetsbare objecten.
3.15.2	Het plaatsgebonden risico voor een buiten de inrichting gelegen beperkt kwetsbaar object, veroorzaakt door een windturbine of een combinatie van windturbines, is niet hoger dan 10^{-5} per jaar.	Binnen de 10^{-5} per jaar PR contour liggen geen objecten van Tata Steel
3.15.3	Ten behoeve van het bepalen van het plaatsgebonden risico, bedoeld in het eerste en tweede lid, kunnen bij ministeriële regeling afstanden worden vastgesteld, die minimaal aanwezig moeten zijn tussen een windturbine of een combinatie van windturbines en een buiten de inrichting gelegen kwetsbaar dan wel beperkt kwetsbaar object.	Niet van toepassing. Voor zover bekend zijn er bij ministeriële regeling geen minimale afstanden vastgesteld.
3.15.4	Indien op grond van het derde lid afstanden zijn vastgesteld, worden die in acht genomen en zijn het eerste en tweede lid niet van toepassing.	Niet van toepassing. Voor zover bekend zijn er bij ministeriële regeling geen minimale afstanden vastgesteld.
3.15.5	Bij ministeriële regeling kunnen regels worden gesteld over de berekening van het plaatsgebonden risico.	Niet van toepassing. Voor zover bekend zijn er bij ministeriële regeling geen regels vastgesteld voor de berekening van het plaatsgebonden risico.
3.15.6	Het eerste tot en met vijfde lid zijn niet van toepassing op een windturbine of een combinatie daarvan waarvoor tot 1 januari 2011 een vergunning in werking en onherroepelijk was dan wel een melding was gedaan op grond van artikel 1.10 ten aanzien van een kwetsbaar onderscheidenlijk beperkt kwetsbaar object, indien het plaatsgebonden risico ten gevolge van die windturbine of een combinatie van windturbines voor het betreffende kwetsbare onderscheidenlijk beperkt kwetsbare object voor 1 januari 2011 groter is dan 10^{-6} onderscheidenlijk 10^{-5} per jaar.	Niet van toepassing. Gezien de datum van 1 januari 2011.

Tabel 1: Normen met betrekking tot externe veiligheid

Aangezien aan de normen in het Activiteitenbesluit wordt voldaan (zie QRA windpark Spuisluis) kan worden gesteld dat de externe veiligheid acceptabel is.

Conclusie: De veiligheid van de omgeving van windturbines is conform algemeen normenkader acceptabel aangezien aan de normen in het activiteitenbesluit wordt voldaan.

2.4 Het Handboek Risicozonering windturbines

Het Handboek Risicozonering Windturbines is een praktijkrichtlijn en kent geen strikte juridische inbedding. Tijdens de presentatie van het laatste Handboek Risicozonering werd door de deelnemers aangegeven dat diverse partijen ieder tot hun eigen berekeningsresultaat kwamen met hetzelfde Handboek als uitgangspunt. Tevens werd naar de mening van de opstellers en initiatiefnemers van het Handboek gevraagd. Door het Ministerie van IenM werd toen duidelijk gemaakt dat de waarde van het Handboek vooral moest worden gezien in een startpunt voor discussie en niet in een absoluut correcte berekening van de risico's (zie: *Quote Handboek (par 1.3)*).

Quote Handboek (paragraaf 1.3):

Het Handboek biedt een praktijkrichtlijn ofwel handreiking om een kwantitatieve risicoanalyse voor de risico's van windturbines op de omgeving op een eenduidige en consistente wijze te kunnen uitvoeren.

Geconcludeerd wordt dat hoewel het Handboek Risicozonering het beste is wat er op dit moment beschikbaar is, de resultaten een grote onzekerheidsmarge kennen. De resultaten zijn volgens het Ministerie van IenM niet bedoeld om als strikte getalsmatige waarheden te worden gehanteerd, maar als startpunt voor een discussie.

2.5 Bronmaatregelen conform het Handboek Risicozonering windturbines

Het Handboek geeft informatie over maatregelen: zie *Quote Handboek (par 13.2)*.

Quote Handboek paragraaf 13.2:

Vanuit de windturbine of het windpark kunnen de volgende bronmaatregelen gehanteerd worden:

- ashoogteverlaging,
- toerentalverlaging in combinatie met vermogensbeperking,
- sectormanagement (bv. van bepaalde windhoeken geen gebruik maken),
- verhoging IEC klasse voor mast en fundering.

Wanneer blijkt dat voor een bepaalde locatie het additionele risico van de windturbine te hoog is, is het in een aantal gevallen mogelijk om bronmaatregelen toe te passen. Wanneer deze bronmaatregelen leiden tot een acceptabel additioneel risiconiveau kan de windturbine of het windpark alsnog voldoen aan de risico-eisen.

Het treffen van mitigerende maatregelen aan het te beschermen object is vaak onpraktisch vanwege de grote massa's van de verschillende windturbine onderdelen. Waar het Handboek het niet over heeft, is het toepassen van nieuwe technieken die de frequenties van windturbine faalscenario's kunnen verkleinen of de effecten van een incident kunnen verkleinen. Ten slotte is het onbekend welke veiligheidsvoorzieningen er in de groep windturbines is gerealiseerd die wel in de casuïstiek zijn meegenomen, zodat het zeer lastig is om een kwalificatie, laat staan een kwantificatie van mogelijke maatregelen mee te nemen.

Geconcludeerd wordt dat het Handboek weinig handvaten geeft om maatregelen te identificeren waarmee de risico's van windturbines kunnen worden verkleind en dat het vanwege de ontbrekende basis ook lastig is om nieuwe maatregelen te kwantificeren. Hierdoor kunnen technologische verbeteringen en maatregelen alleen semi-kwantitatief worden beschouwd.

3 Faalscenario's / frequenties in Handboek Risicozonering windturbines

In het Handboek Risicozonering windturbines wordt een aantal potentiële scenario's onderscheiden die bepalend zijn voor het risico. In de *Quote Handboek (par 3.1)* is de tekst uit het Handboek overgenomen.

Quote Handboek (Paragraaf 3.1):

Voor de beoogde windturbines wordt een inventarisatie gemaakt van de potentiële risicoscenario's, waarbij het Handboek onderscheid maakt in:

- breuk van een windturbineblad
- omvallen van een windturbine door mastbreuk
- naar beneden vallen van de gondel en/of de rotor
- het naar beneden vallen van kleine onderdelen.

De faalfrequentie van het naar beneden vallen van kleine onderdelen (bouten, blad- en tipdelen, ijs) moet niet kwantitatief maar kwalitatief worden bepaald. Het naar beneden vallen van kleine turbine-onderdelen of ijs zijn incidenten die voornamelijk risico's vormen voor het gebied onder de rotor. Bladdelen kunnen wel ver van de turbine terecht komen.

Niet alleen het falen, maar ook de omstandigheden waaronder dat gebeurt, zijn van invloed op het risico. Zo kan een blad afbreken bij het nominale toerental, maar ook tijdens overtoeren situatie. In dit laatste geval kan het blad verder weggeslingerd worden.

Onderdeel van de rapportage "Handboek risicozonering windturbines" is een analyse van scenario's en faalkansen die zijn bepaald zijn uit historische Deense, Duitse, Engelse en Nederlandse faalgegevens in de periode 2001 tot en met 2010. Daarnaast zijn faalgegevens gebruikt die zijn opgenomen in de Caithness Windfarm database, Windkraft journals en uit gegevens van twee windturbinefabrikanten. Deze informatie is te vinden in Bijlage A. Het Ministerie van IenM heeft (in samenspraak met het RIVM) bepaald dat het 95% betrouwbaarheidspercentiel voor de faalfrequenties gehanteerd moet worden. De resultaten zijn samengevat in Tabel 1 uit het Handboek.

Tabel 1: Scenario's en faalkansen voor risicoanalyses(P95)

Scenario	Faalfrequentie per turbine per jaar
Bladbreuk	
Breuk van geheel blad, onder te verdelen in de volgende scenario's:	$8,4 \cdot 10^{-4}$
<i>Bladbreuk bij nominaal bedrijf</i>	$8,4 \cdot 10^{-4}$
<i>Bladbreuk bij overtoeren (2 keer nominaal toerental)</i>	$5,0 \cdot 10^{-6}$
Mastbreuk	
Omvallen van de turbine door mastbreuk	$1,3 \cdot 10^{-4}$
Naar beneden vallen van hele gondel en/of rotor	$4,0 \cdot 10^{-5}$
Naar beneden vallen van: kleine onderdelen (bouten, beschermingskappen, anemometer, etc.) blade en tipdelen nadat een blad de toren heeft geraakt stukken ijs tijdens stilstand	kwalitatief beschouwen (Zie Bijlage C.3)

3.1 Faalscenario's en effectmodellen

De faalscenario's uit het Handboek zijn sterk gestileerd en conservatief van aard. Zo wordt mastbreuk altijd vanaf de grondflens berekend. Dit terwijl een mast bij falen ook halverwege kan breken (of knikken). Bij bladbreuk wordt altijd een heel blad meegenomen, terwijl ook een deel van het blad kan afbreken. Dit deel zal verder vliegen en een groter invloedgebied kennen, maar hierdoor wordt de trefkans per vierkante

meter kleiner (immers de kans blijft hetzelfde en het mogelijk te treffen gebied wordt groter). Ook betreft dit het deel van het blad met de minste massa en zal de impact hiervan kleiner zijn dan van een geheel blad.

In de plaatsgebonden risicoberekeningen en de trefkansberekeningen zoals deze door het Handboek worden voorgesteld wordt de voorkeursrichting van de wind niet standaard meegenomen.

Geconcludeerd wordt dat de effectafstanden en de impact van een onderdeel van de windturbines over het algemeen conservatief worden berekend.

3.2 Faalfrequenties

Zoals in het Handboek Risicozonering windturbines appendix A is aangegeven zijn de faalfrequenties met name gebaseerd op ongevallenstatistieken van windmolens in de periode 2001 – 2010. Dit zijn over het algemeen de windmolens die in de jaren 1980 – 2010 zijn gebouwd, waarbij de oudere windturbines, met minder doorontwikkelde veiligheidsaspecten, zwaarder meetellen omdat deze meer draaiuren hebben per turbine. In de afgelopen 10 - 15 jaar zijn de windturbines echter sterk verbeterd. Er zijn nieuwe ontwerpnormen en er zijn technologische verbeteringen doorgevoerd. Het is aannemelijk dat de faalfrequenties van de nu te bouwen windturbines hierdoor zijn gedaald ten opzichte van de situatie van meer dan 10 jaar geleden.

In appendix A van het Handboek wordt aangegeven dat er een duidelijke verbetering van de faalfrequenties te zien is. Zoals bijvoorbeeld te zien is aan de grafiek van het vijfjaarlijks gemiddelde op basis van de Caithness windfarm database (zie Figuur 2).

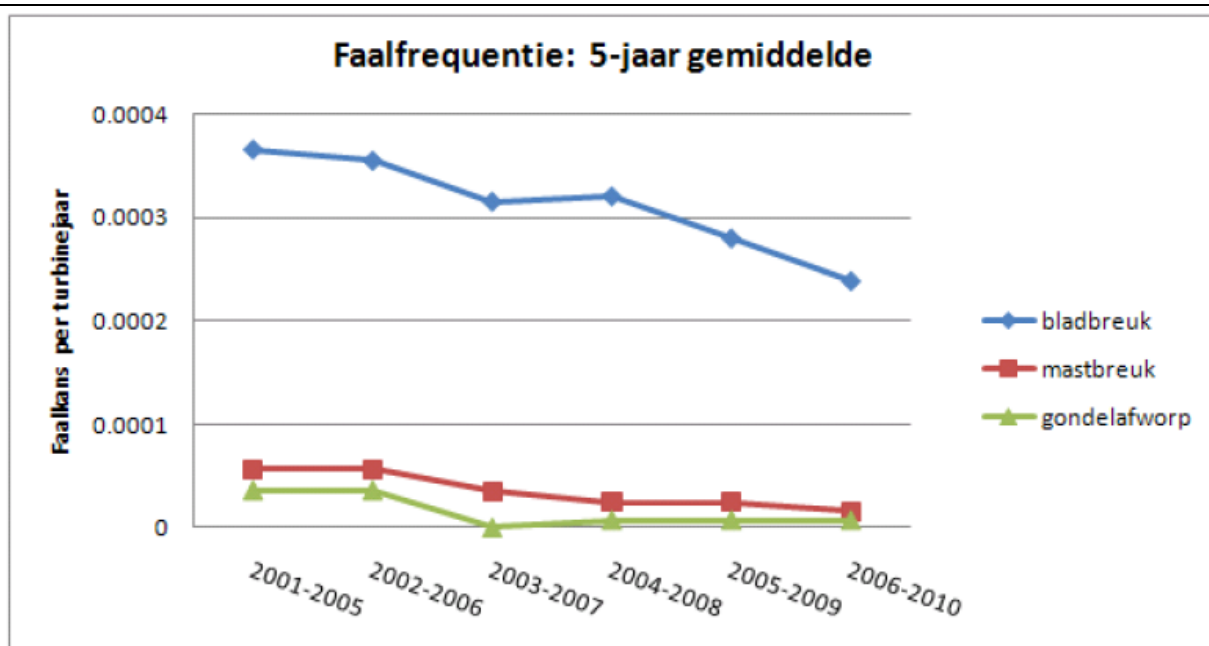
De faalfrequenties die zijn opgenomen in het Handboek Risicozonering windturbines zijn gebaseerd op incidenten met windturbines in het verleden. De faalfrequentie is statistisch bepaald en betreft een verwachtingswaarde met een onzekerheidsmarge. De in het Handboek opgenomen faalfrequenties betreffen het 95% percentiel. Dat betekent dat met 95% zekerheid gezegd kan worden dat de faalfrequentie een *overschatting* is en de werkelijke faalfrequentie lager is.

In voorgaande versies van het Handboek werd voor de frequentie de verwachtingswaarde gehanteerd. Echter in het Handboek uit 2013 wordt het 95% betrouwbaarheidsinterval gebruikt. Hierdoor wordt zelfs nog met een hogere faalfrequentie gerekend dan vroeger (Handboek 2005). Dit ondanks dat Kema, de opsteller van het Handboek, aan heeft gegeven dat de scenario's en afleiding voldoende conservatief is om de verwachtingswaarde te hanteren in plaats van het 95% betrouwbaarheidsinterval (Appendix A, par 2.5).

In de Tabel 2 is een overzicht gegeven van de in 2014 geactualiseerde verwachtingswaarde en het 95% betrouwbaarheidspercentiel gebaseerd op de casuïstiek van de periode 2000 tot 2010.

Geconcludeerd wordt dat de faalfrequentie conservatief is bepaald. Zeker in vergelijking met de nieuwe typen windturbines. De redenen hiervoor zijn:

- *de faalfrequenties zijn gebaseerd op het verleden (periode 2001-2010). Moderne windturbines (met aantoonbare technologische verbeteringen) zijn niet in casuïstiek meegenomen die deze faalfrequenties bepaalt;*
- *er wordt gebruik gemaakt van het 95% betrouwbaarheidsinterval in plaats van de verwachtingswaarde. Dit is een conservatieve benadering.*



Figuur 2: Vijf jaar gemiddelde faalfrequentie van bladbreuk, mastbreuk en gondelafworp

Figuur 2: 5-jaar gemiddelde faalfrequentie uit Handboek

Handboek Appendix A:

Faalfrequenties windturbines		
	verwachtingswaarde	95% betrouwbaarheidspercentiel
Bladbreuk	6,3E-04	8,4E-04
normaal bedrijf	6,2E-04	8,4E-04
tijdens overtoeren	<5,0E-06	5,0E-06
Mastbreuk	5,8E-05	1,3E-04
falen gedeelte van de mast	8,3E-06	
volledig falen	5,0E-05	
Afvallen van gondel en/of rotor	1,8E-05	4,0E-05

Tabel 2: Overzicht van scenario's en faalfrequentie per turbine per jaar uit het Handboek Appendix A.

4 Herziene inschatting windturbine faalfrequenties

De faalfrequenties van de windturbines in het windpark Spuisluis zijn om diverse redenen kleiner dan gehanteerd in het Handboek Risicozonering Windturbines. Deze redenen zijn de technologische verbeteringen van de windturbines, de hoge veiligheidseisen die Eneco hanteert en specifieke maatregelen die getroffen worden voor het windpark Spuisluis.

In dit hoofdstuk wordt de verandering van de faalfrequentie van de moderne windturbines in drie stappen onderzocht:

- Stap 1: voortschrijdende verbetering van de techniek;
- Stap 2: Verbetering in de Eneco organisatie;
- Stap 3: specifieke maatregelen voor het project windpark Spuisluis.

Stap 4: Onderzoek naar omstandigheden die de kans op een fataal incident verlagen, wordt in Hoofdstuk 5 nader beschouwd.

Op basis van deze verdiepingsslag zullen wij de ingeschatte trefkansen op objecten en gebouwen van Tata Steel IJmuiden (hierna Tata Steel) van windturbines van het windpark Spuisluis herzien. Dit gebeurt vooral door een beter inzicht te geven in de faalfrequentie van de huidige generatie windturbines ten opzichte van de windturbines welke aan de basis liggen van de faalfrequenties uit het Handboek Risicozonering Windturbines.

Voortschrijdende verbetering van de techniek

De faalfrequenties die zijn opgenomen in het Handboek Risicozonering windturbines zijn gebaseerd op casuïstiek. Deze casuïstiek bestaat uit incidenten van windturbines die zijn gebouwd voor 2010; dus ook van windturbines die in de periode 1980 – 2000 zijn gebouwd. Dit was een periode waarin de ontwikkeling van turbines nog deels in de kinderschoenen stond en steeds meer veiligheidsverbeteringen langzaam maar zeker werden geïntroduceerd. Uiteraard is er de afgelopen decennia veel verbeterd maar incidenten met deze oude turbines hebben een negatief effect op de faalfrequentie. Hierbij speelt ook mee dat er in verhouding nog maar weinig nieuwe turbines zijn geplaatst die per stuk ook nog relatief weinig uren hebben gemaakt. Het positieve effect van deze nieuwe technieken op de faalfrequentie is daarom slecht/niet in getallen uit te drukken als alleen wordt gekeken naar de casuïstiek.

Van additioneel belang is nog op te merken dat alle technologische ontwikkeling van na 2010 gericht op het verkleinen van de faalkans helemaal geen deel uitmaken van de windturbines die ten grondslag lagen aan de faalfrequenties uit het Handboek Risicozonering.

Verbetering veiligheidsorganisatie Eneco

Bij Eneco staat veiligheid voorop. Als één van de grootste windturbine-exploitanten in Nederland gaat Eneco in haar veiligheidsvoorschriften verder dan de wettelijke voorschriften. Haar bedrijfsgrootte stelt Eneco in staat om op allerlei beheer- en veiligheidsaspecten specialistische experts in dienst te hebben. Dit draagt bij aan de continue verbetering van windturbines en verlaging van de faalkansen. De additionele maatregelen die Eneco toepast hebben een gunstig effect op de faalfrequenties uit het Handboek Risicozonering Windturbines.

Specifieke maatregelen windpark Spuisluis.

Eneco zal voor windpark Spuisluis het bouwproces geheel begeleiden en het beheer uitvoeren. Ook voor het project windpark Spuisluis zal Eneco additionele maatregelen treffen die de veiligheid van de windturbines voor de omgeving verbeteren.

In de onderstaande paragrafen worden de hierboven kort toegelichte drie stappen verder uitgewerkt, toegelicht en gekwantificeerd.

4.1 Stap 1: Voortschrijdende verbetering van de techniek

Bij het tot stand komen van het Handboek Risicozonering Windturbines is uitgegaan van casuïstiek uit de periode 2000 – 2010. In de casuïstiek worden ook eventuele faalincidenten van veel oudere turbines meegenomen. De turbines zijn echter al die tijd doorontwikkeld, waardoor de huidige generatie veiliger is dan de frequenties uit het Handboek doen vermoeden. In deze paragraaf zullen we aan de hand van windturbines van NordeX een inschatting maken van de verbetering in faalfrequenties door technologische ontwikkeling van de turbines. De resultaten van de NordeX turbines worden vergeleken met andere turbinemerken.

Hoewel we in deze paragraaf de NordeX turbines gebruiken om de veiligheidsverbeteringen door de technologische vooruitgang te schetsen moet dit niet worden gelezen als een keus van Eneco voor NordeX als leverancier voor de windturbines van Windpark Spuisluis. Eneco is een aanbestedingsplichtige partij en kan nu nog niet aangeven welk merk en type windturbine gebouwd gaat worden. De beschreven verbeteringen in veiligheid zijn echter vergelijkbaar voor de diverse merken windturbines³.

4.1.1 Performance level

Een goede maat voor de veiligheid van windturbines is de Performance Level (PL). De PL is gedefinieerd in de NEN-EN-ISO 13849-1:2016 : Veiligheid van machines – Veiligheidsgerelateerde delen van besturingssystemen – Deel 1: Algemene beginselen voor ontwerp. Deze NEN-Norm is als Bijlage 3 toegevoegd.

De norm heeft betrekking op de veiligheid gerelateerde delen van een besturingssysteem (safety related parts / control system of SRP/CS) en werkt met het zogenaamde Performance Level (PL). De PL geeft de mate aan waarin een SRP/CS een veiligheidsfunctie kan vervullen (onder voorziene omstandigheden). Er zijn vijf PLs, te weten a t/m e. Waarbij a de laagste en e de hoogste is. De PL wordt gemeten in Probability of dangerous Failure per hour (PFH). De PL wordt door de windturbine leverancier bepaald, maar wordt door een Notified body bekrachtigd.

Conclusie: De PL is een maat voor het falen van veiligheidsgelateerde systemen met een effect op de omgeving en heeft een directe relatie met de faalfrequenties uit het Handboek. De verbetering in PL is dus een goede maat voor de verbetering in faalfrequenties.

³ Eneco heeft met Tata Steel is afgesproken dat het uiteindelijke type windturbine van een minimaal vergelijkbaar veiligheidsniveau moet zijn, zodat deze ook binnen hun risicomatrix past

Voorbeeld PL van NordeX als maat voor faalfrequentie:

Een incident als mastbreuk kan slechts plaatsvinden als een groot aantal factoren samenkomt. Zo kan de mast bijvoorbeeld langzaam zijn sterkte verliezen, maar wordt dit pas een probleem als de windkracht een bepaalde kritische waarde overschrijdt, terwijl de turbine in bedrijf is en tegelijkertijd zowel het veiligheidssysteem als het operationele systeem faalt. Dit is in Figuur 3 toegelicht:

Probability of loosing structural integrity

Estimated values

- Probability according to EN ISO 13849-1 -> Performance Level d (PLd/SIL2)
 - $\geq 10^{-7}$ to 10^{-6} /h
- Critical wheater event (0,3)
- Turbine operation status (0,9)
- Safety System problem (0,1 /1 year)
- Operational System problem (0,1 /1year)

Estimated probability: **$2,3 * 10^{-5}$ /1year**

Figuur 3: kans op omvallen van de mast is een combinatie van factoren.

Figuur 3 laat zien dat met de PL een waarde voor de faalkans van windturbine scenario's kan worden berekend. Omdat de PL echter een voorspelling is en de faalfrequentie een berekende waarde op basis van casuïstiek wordt in deze analyse toch enige voorzichtigheid betracht in het toepassen van de PL-verbeteringen van de windturbine. In deze analyse wordt er daarom van uitgegaan dat de verbetering in PL slechts voor de helft kan worden meegenomen in de factor voor de faalkansreductie.

4.1.2 PL verbetering per Windturbine type

De casuïstiek betreft falen van windturbines uit de periode 2000 – 2010. Aangezien een gemiddelde windturbine een levensduur van circa 20 jaar heeft, betreft de casuïstiek voor een groot deel het falen van oude typen windturbines. De windturbines die momenteel worden gebouwd zijn technologisch verder doorontwikkeld dan de types die gebruikt zijn in de casuïstiek, waarbij er een sterke focus is geweest op veiligheid. In deze analyse wordt er van uitgegaan dat het veiligheidsniveau van de windturbines van NordeX model staat voor het veiligheidsniveau van de windturbines uit dezelfde periode. De uitkomsten worden vergeleken met andere turbine types.

Als basis voor de faalfrequentievergelijking zijn de windturbines van NordeX gekozen die courant waren ten tijde van de periode van data collectie voor de faalfrequenties die in het Handboek zitten. NordeX levert windturbines sinds 2000. Windturbines uit de periode daarvoor worden qua PL gelijk gesteld aan de windturbines van 2000. Van belang is op te merken dat dit in deze analyse een *conservatieve aanname* is omdat deze turbines dan minder ruimte voor verbeteringen hebben. Dit betreft de NordeX Alpha-generatie (introductie 2000), de Beta-generatie (introductie 2007) en de Gamma-generatie (introductie 2010); zie Figuur 4. De windturbine die model staat voor de technologie sprong naar de huidige serie windturbines is de Delta-generatie (introductie 2015). In de Figuur 4 is weergegeven welke windturbine generaties op welk moment werden geïntroduceerd.

2000	Introduction of Generation ALPHA Prototype of N80/2500 installed
2003	First installation of N90/2300
2005	First installation of N90/2500 LS
2007	Introduction of Generation BETA with N90/2500
2008	First installation of N100/2500
2010	Introduction of Generation GAMMA with serial start of N100/2500

Figuur 4: Informatie van NordeX: invoering van generaties Alpha, Beta en Gamma windturbines

De NordeX Alpha-generatie kent een PL-a, de NordeX Beta-generatie een PL-b, de NordeX Gamma-generatie een PL-c en de NordeX Delta-generatie heeft een PL-d, conform de gegevens van NordeX zoals weergegeven in Tabel 3. Voor de Delta Generatie van NordeX is door NordeX een beoordelingsrapport verstrekt. De beoordeling (Zie Bijlage 4) is opgesteld door beoordelingsinstantie TUV-Nord.

Performance Level (PL)	Durchschnittliche Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Ausfalls je Stunde (PFH _D) 1/h
a	$\geq 10^{-5}$ bis $< 10^{-4}$
b	$\geq 3 \times 10^{-6}$ bis $< 10^{-5}$
c	$\geq 10^{-6}$ bis $< 3 \times 10^{-6}$
d	$\geq 10^{-7}$ bis $< 10^{-6}$
e	$\geq 10^{-8}$ bis $< 10^{-7}$

Tabel 3: Informatie van NordeX: verbetering van de PL, zie ook pagina 20 van Bijlage 3⁴.

De windturbines die Eneco zal gaan gebruiken voor het Windpark Spuisluis project zullen qua veiligheid vergelijkbaar zijn met de huidige Delta generatie (NordeX N117). De verbetering in faalfrequentie ten gevolge van technologische vooruitgang wordt afgeleid van de PL verbeteringen van de NordeX turbine types.

Volgens de bovenstaande Tabel 3 en Figuur 4 is de gemiddelde PL verbetering van de Alpha-generatie naar de Delta-generatie serie een factor 100. In de Tabel 4 is de PL verbetering van type naar type inzichtelijk gemaakt.

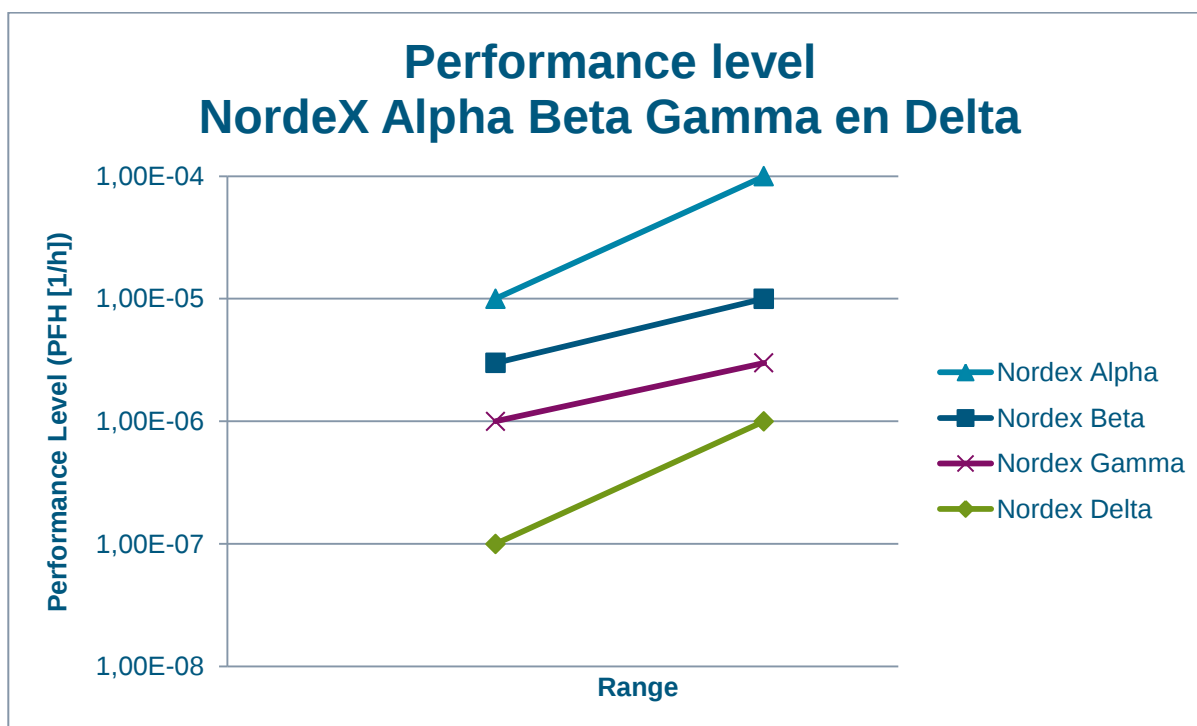
⁴ Deze tabel wijkt iets af van de tabel uit de NEN norm de tabel op pagina 20. Op Duitse websites komt de tabel veel voor bij de bepaling van de PL: zie de volgende sites.

<http://machinerysafety101.com/2017/01/30/iso-13849-analysis-part-3/>
<http://www.maschinen-sicherheit.net/07-seiten/3450-von-pl-auf-sil.php>

PL	Min [1/h]	Max [1/h]	Gemiddeld [1/h]		Factor	Min [-]	Max [-]	Gemiddeld [-]
NordeX Alpha	1.00E-05	1.00E-04	5.50E-05					
NordeX Beta	3.00E-06	1.00E-05	6.50E-06		Alpha -> Beta	3.33	10.00	8.46
NordeX Gamma	1.00E-06	3.00E-06	2.00E-06		Beta -> Gamma	3.00	3.33	3.25
NordeX Delta	1.00E-07	1.00E-06	5.50E-07		Gamma -> Delta	10.00	3.00	3.64
				Totaal	Alpha -> Delta	100	100	100

Tabel 4: Verbetering in PL van type naar type

De verbetering in PL is grafisch weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5: Grafische weergeving van de verbetering van de PL

4.1.3 PL verbetering sinds Casuïstiek

Hieronder wordt bepaald welke gemiddelde PL verbetering er is gemaakt sinds de periode waar de casuïstiek betrekking op heeft. Hiertoe wordt bepaald welke *mix aan windturbines er in de casuïstiek zat* (vergelijkbaar met type Alpha, Beta, etc.), en vervolgens wordt met de gemiddelde PL verbetering per type bepaald wat de gemiddelde PL verbetering sinds de casuïstiek is.

Ten tijde van de periode waaruit de casuïstiek werd gehaald (2000-2010) waren de meeste turbines van het type vergelijkbaar met de Alpha-generatie *of daarvoor* (de levensduur van een windturbine is immers ca. 20 jaar). Daarnaast waren er nog enkele van het types uit de Beta-generatie en de Gamma-generatie. In de casuïstiek zitten dan ook turbines vanuit 1981 tot 2010. Omdat de verschillende types een andere

technologische veiligheidsverbetering laten zien, is het van belang om te weten welk aandeel de verschillende types windturbines hadden in de casuïstiek.

Om een beeld te krijgen van het aandeel van de verschillende types windturbines moeten aannames worden gedaan over de aantallen en types windturbines die in productie waren ten tijde van de periode van de casuïstiek. Hierbij is een grotere technologische sprong te verwachten als er een groter aandeel oude turbines in de casuïstiek zitten. Anders gezegd: Als de casuïstiek allemaal turbines betreft van de Delta-generatie, dan was er geen PL verbetering. Om een **conservatieve inschatting** van de PL-verbetering te maken is het dus van belang om het aandeel oude turbines zeker niet te overschatten.

Er is een berekening gemaakt van de verhouding van de verschillende typen windturbines in de casuïstiek, uitgaande van een eenvoudig groeimodel. Hierbij is aangenomen dat het aantal geplaatste windturbines per jaar ieder jaar toeneemt ten opzichte van het jaar daarvoor. Ook is aangenomen dat zodra een nieuw type turbine beschikbaar komt alle nieuwe turbines vanaf dat moment van het nieuwe type zijn, dit is een *overschatting* van het aandeel nieuwe turbines. Daarnaast wordt aangenomen dat er in dat jaar twee maal zo grote groei is dan in de andere jaren, *dit is ook een overschatting*. Deze overschattingen leiden dus tot een conservatieve inschatting van de PL-verbeteringen.

De groeifactor is geschat op basis van cijfers van het CBS over het geïnstalleerd vermogen per jaar in de periode 2002 – 2010. Het exacte aantal turbines is voor deze vergelijking niet van belang, alleen de verhouding. Hoewel Nederland niet het dominante windturbine land is, wordt aangenomen dat de groeicijfers in procenten niet heel erg afwijken van de landen (Denemarken, Verenigd Koninkrijk en Duitsland) waaruit de casuïstiek afkomstig is.

Het geïnstalleerd vermogen op land conform CBS is weergegeven in de Tabel 5.

Jaar	Geïnstalleerd vermogen in MW	Jaar	Geïnstalleerd vermogen in MW
2002	672	2009	1994
2003	905	2010	2009
2004	1075	2011	2088
2005	1224	2012	2205
2006	1453	2014	2637
2007	1641	2015	3034
2008	1921	2016	3249

Tabel 5: Centraal Bureau voor de Statistiek, 2017: overzicht van het geïnstalleerd vermogen (onshore) wind energie

Op basis van cijfers van het CBS kwam de gemiddelde toename van het geïnstalleerde vermogen in de periode 2002 tot 2010 uit op circa 15 procent. In de periode 2002 tot 2015 is dat circa 13%. *Om het aandeel oude turbines niet te overschatten* (wat een te gunstige PL groei zou weergeven) is de groei per jaar hoger ingeschat. Immers, hoe groter de toename per jaar hoe zwaarder de nieuwere types meetellen in de casuïstiek. Aangenomen wordt dat ieder jaar het aantal geplaatste windturbines met 20% toeneemt⁵. In het jaar van de introductie van een nieuw type (Alpha, Beta etc.) wordt een dubbele toename 40 % aangenomen. Verder wordt er van uitgegaan dat een windturbine maximaal 20 jaar staat.

⁵ Per in 1981 geplaatste windturbine wordt er dus in 1982 1,2 windturbines geplaatst. Dit geeft een totaal van 2,2 windturbines in 1982 voor iedere in 1980 geplaatste windturbine.

Op basis van deze aannames kan de verhouding windturbinejaren per type worden bepaald. Dit levert de resultaten zoals weergegeven in Tabel 6. Deze tabel is voor de leesbaarheid ook in Bijlage 5 opgenomen in groter formaat. In Tabel 7 is het totaal aantal windturbines per type en het totaal aantal windturbinejaren per type weergegeven. De kleuren in Tabel 7 komen overeen met de kleuren uit Tabel 6.

Operational jaar	Aantal geplaatste turbines in jaar																												Total gebruiksjaren																													
	Pre ALPHA														ALPHA										BETA			GAMMA																														
	1.0	1.2	1.4	1.7	2.1	2.5	3.0	3.6	4.3	5.2	6.2	7.4	8.9	10.7	12.8	15.4	18.5	22.2	26.6	37.3	44.7	53.7	64.4	77.3	92.7	111.3	155.8	187.0		224.4	314.1																											
	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008		2009	2010																											
2000	1.0	1.2	1.4	1.7	2.1	2.5	3.0	3.6	4.3	5.2	6.2	7.4	8.9	10.7	12.8	15.4	18.5	22.2	26.6	37.3																																						
2001		1.2	1.4	1.7	2.1	2.5	3.0	3.6	4.3	5.2	6.2	7.4	8.9	10.7	12.8	15.4	18.5	22.2	26.6	37.3	44.7																																					
2002			1.2	1.4	1.7	2.1	2.5	3.0	3.6	4.3	5.2	6.2	7.4	8.9	10.7	12.8	15.4	18.5	22.2	26.6	37.3	44.7	53.7																																			
2003				1.2	1.4	1.7	2.1	2.5	3.0	3.6	4.3	5.2	6.2	7.4	8.9	10.7	12.8	15.4	18.5	22.2	26.6	37.3	44.7	53.7																																		
2004					1.2	1.4	1.7	2.1	2.5	3.0	3.6	4.3	5.2	6.2	7.4	8.9	10.7	12.8	15.4	18.5	22.2	26.6	37.3	44.7	53.7	64.4																																
2005						1.2	1.4	1.7	2.1	2.5	3.0	3.6	4.3	5.2	6.2	7.4	8.9	10.7	12.8	15.4	18.5	22.2	26.6	37.3	44.7	53.7	64.4	77.3																														
2006							1.2	1.4	1.7	2.1	2.5	3.0	3.6	4.3	5.2	6.2	7.4	8.9	10.7	12.8	15.4	18.5	22.2	26.6	37.3	44.7	53.7	64.4	77.3	92.7																												
2007								1.2	1.4	1.7	2.1	2.5	3.0	3.6	4.3	5.2	6.2	7.4	8.9	10.7	12.8	15.4	18.5	22.2	26.6	37.3	44.7	53.7	64.4	77.3	92.7	111.3																										
2008									1.2	1.4	1.7	2.1	2.5	3.0	3.6	4.3	5.2	6.2	7.4	8.9	10.7	12.8	15.4	18.5	22.2	26.6	37.3	44.7	53.7	64.4	77.3	92.7	111.3																									
2009										1.2	1.4	1.7	2.1	2.5	3.0	3.6	4.3	5.2	6.2	7.4	8.9	10.7	12.8	15.4	18.5	22.2	26.6	37.3	44.7	53.7	64.4	77.3	92.7	111.3																								
2010											1.2	1.4	1.7	2.1	2.5	3.0	3.6	4.3	5.2	6.2	7.4	8.9	10.7	12.8	15.4	18.5	22.2	26.6	37.3	44.7	53.7	64.4	77.3	92.7	111.3																							
Total gebruiksjaren																													1.0	2.4	4.3	6.9	10.4	14.9	20.9	28.7	38.7	51.6	68.1	81.7	98.1	117.7	141.2	169.5	203.4	244.0	292.9	410.0	447.3	483.1	515.3	541.0	556.5	556.5	623.3	560.9	448.7	314.1

Tabel 6: Simulatiemodel: Aantal turbines per generatie dat meetelt in de casuïstiek

Type Windturbine	Aantal WT per in 1981 geïnstalleerde WT	%	Aantal Windturbine jaren in periode casuïstiek	%
Pre ALPHA	155	10	1596	23
ALPHA	481	32	3510	50
BETA	567	37	1633	23
GAMMA	314	21	314	4
Totaal	1517	100	7053	100

Tabel 7: Simulatiemodel: Overzicht aandeel type windturbine in de casuïstiek

Toelichting op Tabel 7:

De oudste windturbine die in 2000 nog stond was (gebaseerd op een levensduur van 20 jaar) een turbine die in 1981 is gebouwd. Bij een groei van 20% per jaar werden er in 1982 per bestaande windturbine 1,2 bijgebouwd. En in 1983 waren dat er nog 20% meer dan in 1982 (afgerond 1,4 per in 1981 gebouwde windturbine. In 2001 is de Windturbine uit 1981 verwijderd uit de tabel. In 2002 zijn de windturbines die in 1982 zijn gebouwd verwijderd uit de tabel. In 2000 Waren dus turbines aanwezig uit de periode 1981 – 2000. En wel per in 1981 gebouwde turbine: 1 uit 1981, 1,2 uit 1982 etc. Ieder jaar dat een turbine aanwezig is in de periode tussen 2000 en 2010 levert een windturbinejaar op. Dit betekent dat de turbines uit 1983 een totaal van 4,3 turbinejaren bijdragen aan het totaal aantal turbinejaren en de turbines uit 2006 een totaal van 556,5 turbinejaren. Uiteindelijk wordt een verhouding van het aantal windturbinejaren in de casuïstiek onderzocht. Vanwege deze verhouding die belangrijk is maakt het niet uit hoeveel windturbines in 1981 precies aanwezig waren. In deze exercitie wordt als basis 1 Windturbine genomen, maar de uitkomsten zijn identiek als er met een ander aantal zou worden gerekend.

Op basis van de PL verbeteringen van de types en het conservatief ingeschatte aandeel van de type windturbines in de casuïstiek is de te verwachten performance verbetering ten gevolge van voortschrijdende techniek berekend. Dit is weergegeven in Tabel 8.

Op basis van bovenstaande analyse constateren we een gemiddelde PL verbetering van tenminste een factor 75 ten gevolge van voortschrijdende technologie te verwachten van de Delta-generatie ten opzichte van de casuïstiek die in het Handboek is gebruikt. De verbetering hebben zich vooral in het begin van de onderzochte periode voorgedaan van de Alpha-generatie naar de Beta-generatie (zie Tabel 4).

Conclusie: rekening houdend met ons uitgangspunt dat de verbetering in PL slechts voor de helft kan worden meegenomen in de factor voor de faalkansreductie, komt de factor voor de frequentieverlaging ten gevolge van technologische verbeteringen op 35.

Type windturbine	Aandeel in casuïstiek [%]	PL verbetering naar Delta-generatie	Factor ($=\% \cdot PL$)
Pre ALPHA	23	100.0	22.63
ALPHA	50	100.0	49.76
BETA	23	11.8	2.74
GAMMA	4	3.6	0.16
Totaal (optelling)	100		75.29

Tabel 8: Verbetering van de PL van de (pre) Alpha-generatie naar de Delta-generatie

4.1.4 Vergelijking PL overige windturbine leveranciers t.o.v. NordeX

[HOLD]

Vergelijking PL verbeteringen andere windturbine leveranciers om vast te stellen dat de NordeX turbine typen model kunnen staan voor gehele mix aan turbines uit de periode van de casuïstiek vergaring.

[HOLD]

4.1.5 Specifieke voorbeelden van technologische verbeteringen

De hierboven geschetste aanpak is theoretisch en betreft alleen de verbeteringen in de veiligheidsgerelateerde delen van de besturingssystemen. Hoewel deze in de moderne windturbines op bijna alle grote faalscenario's van grote invloed zijn. Het theoretische karakter geeft aanleiding tot de vraag welke technologische verbeteringen leiden tot verbetering van de veiligheid en daarmee verlaging van de faalkans. Hieronder is een niet limitatief overzicht gegeven van de verbeteringen van de afgelopen 10 jaar, dus sinds 2007. Een aantal hiervan hebben rechtstreekse invloed op de PL. Er is niet getracht om de individuele technologische verbeteringen hieronder te kwantificeren. De hieronder opgenomen verbeteringen dienen als voorbeeld.

De technologische verbeteringen zijn onder andere:

1. Overtoeren beveiliging van de bladverstelmotoren (van elektrisch naar mechanisch). *Bij overtoeren wordt de windturbine gestopt en wordt de kans op afbreken van een rotor verlaagd.*
2. Automatisch monitoren van het geleverde vermogen ten opzichte van windsnelheid. *Indien deze afwijkt van wat normaal is, wordt de windturbine gestopt en wordt de kans op afbreken van een rotorblad verminderd.*
3. Redundant controle van de kruimotoren / kruirichting. *Bij overschrijding van een grenswaarde wordt de windturbine gestopt.*
4. Mechanische vergrendeling van de rotornaaf tijdens specifieke onderhoudswerkzaamheden. *De vrijgave is alleen mogelijk als alle alarmen zijn opgeheven.*
5. Het plaatsen van hitte- en rook melders in de gondel en de toren. *Ingeval van alarm wordt de windturbine direct stil gezet en afgeschakeld van het elektriciteitsnet.*
6. Betere balansbeveiliging van de bladen en de mast. Op de bladen zijn trilling sensoren aangebracht die de (on)balans van de bladen monitoren. *Bij een te grote onbalans wordt de*

turbine automatisch stilgezet. De turbine mag niet eerder weer in werking worden gezet dan dat de gedetecteerde afwijking is onderzocht en afdoende is gemitigeerd. Door deze beveiliging kunnen initiërende oorzaken voor gevaarlijke scenario's als bladbreuk en mastbreuk voortijdig worden opgespoord.

7. Betere bliksemafleiding van de turbine: de bliksemafleiding in de bladen en in de overdracht van de bladen naar de hub en de mast is sterk verbeterd. *Hierdoor wordt kans op schade aan een blad door blikseminslag sterk verminderd.*
8. Betere coatings. *Dit voorkomt inwendige en uitwendige corrosie van de mast waardoor de kans op falen wordt verminderd.*
9. Verbeterde ontwerp tools en specificaties voor de vervaardiging van windturbine onderdelen. *Hierdoor wordt de turbine als geheel beter en veiliger.*
10. Verbeterde bevestiging van de diverse onderdelen aan elkaar onder andere door verbeterde bouten. *Hierbij wordt de kans op omvallen van de mast, het afvallen van de gondel en het afbreken van de rotors verminderd.*
11. Verbeterde logics/besturingssysteem van de turbine. De turbine meet bijvoorbeeld de meteorologische omstandigheden. De turbine wordt stilgezet als de omstandigheden gunstig zijn voor ijsvorming, nog voor er ijsvorming optreedt. In het verleden werd de ijsafzetting gemeten en werd bij een te grote aangroei de turbine stilgezet. *De nieuwe methode voorkomt dat de turbine draait onder omstandigheden waarbij ijsaangroei op de bladen door draaiende turbines kan plaatsvinden. Hierdoor wordt niet alleen ijsafworp voorkomen, maar wordt ook onbalans in de bladen voorkomen en daarmee de kans op falen*
12. De materialen die gebruikt worden zijn sterk verbeterd (sterker en lichter), waardoor het gewicht van de rotor kon groeien zonder dat dit een negatief effect op de performance heeft. Bijvoorbeeld door toepassing van andere materialen van de rotorbladen is het gewicht per cm lengte (massa per bladoppervlak) van de bladen nauwelijks gegroeid terwijl de diameter sterk is toegenomen. *Dit is leidt niet direct tot een vermindering van de faalkans, maar zorgt er wel voor dat deze niet is gegroeid, terwijl de vermogens en de maten van de turbines wel zijn toegenomen;*
13. Introductie van Condition Monitoring Systemen CMS, waarbij hoogfrequente trillingen in de aandrijftrein geanalyseerd worden om zo beginnende schades op te sporen. *Hiermee worden ook beginnende schades opgespoord welke kunnen leiden tot integriteitsproblemen van de windturbine, zoals bv loszittende bouten tussen kruilager en gondel,*

4.2 Stap 2: Veiligheidsverbeteringen Eneco ten opzichte van 2010

Het Handboek Risicozonering Windturbines omvat de ontwikkelingen in de windturbines tot het jaar 2010. Eneco geeft aan sindsdien heeft een enorme ontwikkeling doorgemaakt te hebben. Dit valt onder meer te constateren aan de hand van het aantal MW op land dat Eneco ontwikkelt en in bij Eneco in beheer is sinds 2010. De totale windturbinecapaciteit is gestegen van onshore 270 MW in 2010 tot 755 MW in 2017 en offshore van 60 MW in 2010 tot 249 in 2017. Eneco heeft plannen voor nog veel meer MW's in de komende jaren. Eneco heeft in 2017 ongeveer 400 windturbines in beheer en heeft geen van de incidenten uit het Handboek Risicozonering Windturbines (mastbreuk, gondelbreuk of bladafworp) meegemaakt in hun bedrijfsvoering.

Eneco heeft aangegeven dat bovengenoemde groei heeft geleid tot de volgende veranderingen binnen de eigen organisatie:

- Specialisatie: op allerlei gebied zijn specialisten aangetrokken;
- Professionalisering: de werkprocessen voor het tot stand komen en beheren van windturbines en windturbine parken zijn gestandaardiseerd en vastgelegd in procedures.

Daarbij is door Eneco aangegeven dat verbetering van de performance en van de veiligheid de rode draden zijn tijdens deze veranderingstrajecten. De bovenstaande ontwikkelingen hebben bij alle grote windontwikkelaars plaatsgevonden maar deze ontwikkeling is in algemene zin niet meegenomen in de huidige faalkansen.

Hieronder worden deze veranderingen stapsgewijs toegelicht. Royal HaskoningDHV ("RHDHV") heeft per onderdeel een waarde toegekend aan de vermindering van de faalkansen die deze verbeteringen met zich mee hebben gebracht. Dit is een kwalitatieve beoordeling gebaseerd op expert judgement waarin de vermindering zo goed mogelijk wordt beoordeeld.

Uitgangspunt is dat Eneco de bouw van de windturbines van het windpark Spuisluis zelf begeleidt en dat Eneco het beheer zelf zal gaan voeren. Dat betekent dat verbeteringen in de organisatie en de verbeterde procedures positief bijdragen aan de veiligheidstoestand van het windpark Spuisluis.

Het onderstaande is gebaseerd op informatie die RHDHV van Eneco heeft gekregen waarbij zo veel als mogelijk bewijsstukken door Eneco zijn aangeleverd aangevuld met kennis die binnen RHDHV zelf aanwezig is. RHDHV heeft zelf geen onderzoek gedaan naar de juistheid van de informatie.

De beoordeling van de verbeteringen in Stap 2 (veiligheidsverbeteringen Eneco ten opzichte van 2010) en Stap 3 (specifieke maatregelen windpark Spuisluis) is gedaan op basis van een kwalitatieve inschatting per onderdeel. Hierbij is er per verbeteringspunt een toelichting gegeven wat de verbetering inhoudt en hoe die ingrijpt op de veiligheid. Daarna is er per verbetering een kwalitatieve inschatting gemaakt of de verbetering niets (0), weinig (+), veel (++) of heel veel (+++) toevoegt aan de faalfrequentieverlaging. Ten slotte is er aan het totaal een verbeteringsfactor is toegekend op basis van expert judgement.

4.2.1 Specialisaties in personeelsbestand

Situatie 2010 bij Eneco:

In 2010 waren bij Eneco Wind 30 FTE verantwoordelijk voor de windturbineontwikkeling en bestond het personeelsbestand uit projectontwikkelaars, bouwmanagers, site managers (bouw & beheer), veiligheidsmedewerkers (2), communicatiemedewerkers, ondersteunend personeel en managers. Human Resources Management medewerkers, financieel medewerkers, jurist en business analisten vallen bij Eneco onder "staf" en zijn in deze telling niet meegenomen.

Ontwikkeling tussen 2010 – 2017 bij Eneco Wind:

Sinds 2010 heeft een sterke specialisatie plaatsgevonden. Naast extra personeel met dezelfde type functies als tot 2010 zijn een aantal specialistische functies toegevoegd die impact hebben op de veiligheid, met een vermindering van de kans op falen tot gevolg. In totaal is het aantal FTE voor windenergieprojecten in 2017 70 FTE (dus zonder de "staf" medewerkers). Eneco heeft aangegeven dat de volgende functies zijn toegevoegd aan het personeelsbestand:

- Data analist;
- Windexpert;
- Contractmanagers;
- Verschillende technisch specialisten;
- Portfoliomanager;
- Assetmanager;
- Veiligheidsdeskundigen (die waren er al maar dat zijn er meer geworden).

De verwachte impact van deze specialisten wordt hieronder beoordeeld.

1. Data-analist. Relevantie voor verlaging van de faalkans:

- De data analyst analyseert alle data van alle windturbines en daarmee alle storingen in windturbines. Hierdoor wordt in een vroegtijdig stadium ontdekt of windturbines afwijkend gedrag vertonen, dat kan leiden tot falen, zodat het potentiële probleem wordt verholpen voordat er een incident plaatsvindt. Er zijn nu 2 data-analisten werkzaam; dit wordt op dit moment uitgebreid met een derde medewerker.
- *Beoordeling RHDHV: De data-analist doet (onder andere) trendanalyses waardoor afwijkende gedrag van een windmolen wordt gesignaleerd. Voor de faalgevallen die niet acuut zijn (zoals door corrosie, vermoeiing, trilling, erosie of slijtage en software problemen) kan daarmee tijdig worden gesignaleerd dat er iets aan de hand is. Hierdoor kan tijdig worden ingegrepen en wordt falen voorkomen. Dit wordt door RHDHV gezien als een belangrijke verbetering.*
- *vermindering falen: +*

2. Windexpert: Relevantie voor verlaging van de faalkans:

- De windexpert onderzoekt het exacte windklimaat op de locaties zodat de juiste turbines gekozen worden gekozen voor het project. Daarvoor wordt een windmeetcampagne opgezet op de locatie. Dit gebeurt ook op de locatie Spuisluis. Als bijvoorbeeld blijkt dat op de locatie de windsnelheid groter is dan gemiddeld en windvlagen vaker en heviger voorkomen, wordt een robuuster windturbine gekozen. In het verleden werd de specificatie van een windturbine minder specifiek gedaan. De huidige situatie vermindert de kans op falen.
- Door de opstelling van een gedetailleerd rapport van de windmeetcampagne van minimaal een jaar krijgen de turbineleveranciers specifieke informatie, die hen helpt om de juiste turbine aan te bieden in een aanbesteding.
- Gedurende de looptijd van het windpark monitort de windexpert het windaanbod op de locatie. Als er belangrijke wijzigingen voordoen dan kunnen ze ingrijpen. Eventuele wijzigingen in het landschap worden voorspeld en indien nodig op geacteerd. Als voorbeeld hiervan noemt Eneco het windpark Afrikahaven in Amsterdam. Daar wordt het Groene Schip gebouwd, welke invloed gaat hebben op het windaanbod. Er zal een andere windtoevoer komen voor windturbines. Door hier alert op te zijn kan het effect hiervan geanalyseerd worden en wordt ook hier potentieel falen voorkomen. Ook ontvangen ze meer data dat geanalyseerd kan worden, op basis waarvan ze in de toekomst betere voorspellingen kunnen doen en dus betere specificaties. Dit is mogelijk een dubbeltelling met de data-analist; hiervoor is gecorrigeerd in de beoordeling.
- *Beoordeling RHDHV: Door de inzet van de windexpert wordt de specificatie van een windturbine nauwkeuriger. De inzet van een windexpert is vooral van belang langs de Nederlandse kust waar windsnelheden en rukwinden vergelijkbaar zijn met offshore terwijl het een onshore locatie is. Dat is op de locatie Spuisluis het geval en de resultaten van het onderzoek hebben daarom een relatief grote impact op het verlagen van de faalkansen. Dit gebeurde in het verleden niet of niet bewust. Dit is specifiek ook voor windpark Spuisluis een hele belangrijke verbetering.*
- *Vermindering falen: +++*

3. Contractmanagers: Relevantie voor verlaging van de faalkans:

- De contractmanagers onderhouden de contacten met leveranciers van windturbines en andere relevantie technische installaties en zorgen er voor dat de eisen of specificaties van Eneco goed worden meegenomen in de aanbestedingen waarbij er telkens voor wordt gezorgd dat nieuwste technieken toegepast worden. De contractmanagers focussen vooral op nieuwe technische ontwikkelingen met betrekking tot windturbines.

Een deel van de verbeteringen zijn veiligheidsgerelateerd met een verlaging van de faalkansen tot gevolg.

- *Beoordeling RHDHV: Eneco geeft aan dat het beleid er tegenwoordig op gericht is om veiligheidsverbeteringen consequent mee te nemen bij de bouw van nieuwe turbines. Hiermee wordt er zorggedragen dat de laatste ontwikkelingen worden ingebouwd. Dat zal in het verleden ook zijn gebeurd maar door hier focus op te leggen loopt Eneco voorop bij het toepassen van de laatste veiligheidstechnieken en is er een verbetering.*
- *Vermindering falen: +*

4. Technisch specialisten: Relevantie voor verlaging van de faalkans

- Een technisch team van Eneco bestaat uit 6 personen. Vijf hiervan zijn technisch specialisten op het gebied van windturbineteknik: windturbinedeskundigen en IV'ers (Installatie-Verantwoordelijke). Dit team is specifiek ingericht voor Wind op Land en de algemene taak is om de performance en safety te verbeteren. Zij delen hun kennis met en geven opleidingen aan de sitemanagers.
- De zesde specialist werkt voor de projectontwikkelaars wind op land en voert inhouse diverse technische studies uit waardoor in de ontwikkelfase snel informatie verkregen kan worden die van belang zijn voor stakeholders uit het projectgebied. Op het gebied van radar, netaansluiting, veiligheid, geluid- en slagschaduw kunnen inhouse rapporten gemaakt worden. Hierdoor is de ontwikkelaar beter geïnformeerd over de mogelijkheden en uitdagingen in het project.
- *Beoordeling RHDHV: Het technisch team van Eneco borgt de opgedane kennis over performance en safety en zorgt er daarmee voor dat deze kennis in nieuwe parken wordt geïmplementeerd. Een direct verband met vermindering van de faalkans is echter moeilijk te leggen. Wel wordt continuïteit op het gebied van veiligheid gewaarborgd. De genoemde inhouse rapporten zijn voornamelijk standaard rapporten die bij een vergunning en MER gevoegd worden en dragen niet additioneel bij aan de verbetering van de kans op falen.*
- *Vermindering falen: 0*

5. Kwaliteitsmanager: Relevantie voor verlaging van de faalkans

- De kwaliteitsmanager zorgt er voor de procedures (zie ook volgende paragraaf) goed worden opgezet en uitgevoerd bij het ontwikkelproces van windturbines. De procedures geven onder meer aan welke studies vereist zijn. Om meer structuur te geven aan het ontwikkel- en operationele proces zijn diverse milestones gedefinieerd. Doordat de hele businessunit hier op dezelfde wijze 'doorheen loopt' zijn er op de essentiële milestones checks, waaronder veiligheidschecks. Deze standaardisatie zorgt ervoor dat issues of potentiële risico's op een vroeger moment aandacht krijgen.
- *Beoordeling RHDHV: bij professionalisering en toename van het personeelsbestand bij windenergie, hoort de invoering van procedures die er voor zorgen dat werkzaamheden op een bepaalde manier worden uitgevoerd waardoor er (onder meer) geen onveilige situaties ontstaan en veiligheidsproblemen worden voorkomen. De instelling van een kwaliteitsmanager bevordert de opstelling van goede procedures. De impact van deze functie is verwerkt in de volgende paragraaf bij procedures en hier dus niet beoordeeld om dubbeltellingen te voorkomen.*
- *Vermindering falen: 0*

6. Portfoliomanager: Relevantie voor verlaging van de faalkans:

- De portfoliomanager is een programmanager die het overzicht en de planning van projecten bewaakt. Veiligheid staat over het algemeen op gespannen voet met een krappe planning. Hier zou deze persoon een rol in kunnen hebben, positief, maar ook negatief.
- *Beoordeling RHDHV: voor zover bekend, geen relevantie of een zeer beperkte relevantie voor het verlagen van de faalkansen.*
- *Vermindering falen: 0*

7. Asset manager. Relevantie voor verlaging van de faalkans:

- De assetmanager heeft overzicht op alle windparken en zoekt naar verbeterpotentieel om de windparken zo goed en veilig mogelijk te laten draaien.
- *Beoordeling RHDHV: De asset manager werkt onder meer samen met de data specialist en andere specialisten die betrokken zijn bij het beheer van windparken. De impact hiervan zit verwerkt in de andere faalkansverlagingen (onder andere Projectteam in de volgende paragraaf).*
- *Vermindering falen: 0*

8. Veiligheidsfunctionarissen windenergie. Relevantie voor verlaging van de faalkans:

- Het aantal FTE voor veiligheidsfunctionarissen is gegroeid van 1 FTE in 2010 naar 4 FTE in 2017. Hoewel het totaal aantal vermogen sterk is gegroeid is ook de capaciteit per turbine sterk gegroeid van 0,5 MW naar 2,5-3MW per turbine. Daarmee is het aantal veiligheidsfunctionarissen per turbine toegenomen. Veiligheidsfunctionarissen hebben als hoofdtak de veiligheid van windmolens voor personeel en omgeving (continu) te verbeteren. Zij zijn ingevoerd in de laatste veiligheidstechnieken en zorgen er voor, in overleg met andere functionarissen, dat de veiligheid van windturbines in overeenstemming is met de afgesproken veiligheidseisen. De veiligheidsdeskundigen zijn nu ook hoger opgeleid dan in 10 jaar geleden en er is veel ervaring opgedaan.
- De veiligheidskundige heeft ook een actieve rol in de Arbocatalogus werkgroep en commissie Veiligheid & Opleiding van brancheorganisatie NWEA. Op die manier wordt binnen de windbranche kennis gedeeld, is er een sterk netwerk beschikbaar en heeft Eneco binnen de branche een voortrekkersrol.
- *Beoordeling RHDHV: In 2010 was er ongeveer 1 FTE veiligheidsfunctionarissen met veel minder windcapaciteit dan nu. Door de grotere capaciteit per windturbine is de verhouding (aantal turbines/functionaris) gedaald. Veiligheid is een belangrijk thema geworden bij de ontwikkeling van windparken en daarmee is de invloed van deze functionarissen belangrijker geworden en heeft dat een positief effect op de veiligheid.*
- *Vermindering falen: +*

9. Bedrijfsvoeringscentrum. Relevantie voor verlaging van de faalkans:

- De bedrijfsvoerders hebben overzicht op alle dagelijkse activiteiten in de windparken en bewaken de werkpermittaanvragen van de verschillende contractors op onder andere op competenties. De bedrijfsvoerders, een speciaal opgeleid team, kunnen 24 uur per dag, 7 dagen per week op afstand ingrijpen.
- Het bedrijfsvoeringcentrum heeft onder meer de volgende kerntaken die relevant zijn voor de veiligheid:
 - 24/7 afhandelen van calamiteiten afhandelen om direct te acteren en daarmee de impact van de calamiteit te verkleinen.
 - Beheren toegang. Bij ongeoorloofd toegang (bijvoorbeeld inbraak) zal het bedrijfsvoeringcentrum de beveiligingsdiensten inschakelen.
 - Storingen doormelden. Het bedrijfsvoeringcentrum is verantwoordelijk voor het contact met onze leveranciers inzake het tijdig opvolgen van storingen. Bij afwijkingen escaleren zij dit bij de Site Manager en Asset Manager die vervolgens actie ondernemen.
 - IJsdetectie afhandelen. Indien een windturbine opgestart moet worden nadat het gestopt is vanwege ijsvorming vindt er altijd een visuele controle plaats conform onze ijsprotocol. Het bedrijfsvoeringcentrum borgt dat er altijd een visuele controle is gedaan alvorens de windturbine weer in bedrijf wordt genomen.
- *Beoordeling RHDHV: De bedrijfsvoerders werken onder meer samen met de sitemanagers die betrokken zijn bij het beheer van windparken. Door het beheer op deze manier te concentreren wordt kennis en ervaring bijeen gebracht en wordt er zorg voor gedragen dat beheer- en veiligheidsprotocollen ook daadwerkelijk worden*

geïmplementeerd op de juiste en continue wijze. Dit is een belangrijke organisatorische stap die bijdraagt aan de verlaging van de faalkansen.

- Vermindering falen: +

4.2.2 Professionalisering

De sterke vergroting van het aantal beheerde MW in de laatste jaren en de focus in de samenleving op de energietransitie naar een duurzame energievoorziening (en daarmee de enorme groei van windenergie) hebben er toe geleid dat de windenergiesector een sterke professionaliseringsslag heeft doorgemaakt. Dit heeft geleid tot specialisatie in functies maar ook tot verregaande standaardisering door middel van vastgelegde werkwijzen (onder meer in procedures). Dit zorgt voor een risicoreductie ten opzichte van het niveau waar de faalfrequenties in het Handboek op zijn gebaseerd.

Hieronder worden de procedures beschreven die door Eneco, maar mogelijk ook door andere windenergieontwikkelaars, sinds 2007 zijn ingevoerd bij de ontwikkeling en beheer van windturbines/windparken en die van toepassing zijn op het windpark Spuisluis.

1. **ISO 55000 norm.** Eneco heeft diverse procedures, waaronder een Control-Of-Work procedure en een management of change procedure. Deze procedures zijn vergelijkbaar met de procedures zoals in de proces industrie worden gehanteerd. Op dit moment worden deze omgezet naar de officiële ISO 55000 norm. Dit is een internationale norm die de eisen voor het ontwikkelen, implementeren, onderhouden en verbeteren van een management systeem voor assetmanagement specificeert. De norm beschrijft welke elementen in een assetmanagementsysteem zouden moeten zitten en hoe deze met elkaar verbonden zijn. De invoering van deze procedure heeft de volgende impact op het verlagen van de faalkansen:
 - De Management-of-Change (MOC) procedure. Dit is een procedure uit de procesindustrie waarvan de toepassing van belang is bij grote wijzigingen, wanneer bijvoorbeeld een nieuw onderdeel in de turbine wordt geplaatst of een werkwijze wordt aangepast. Het effect van de wijziging wordt getoetst op de performance van de hele turbine en uiteraard op de veiligheidsimpact. Tijdens de 20 tot 30 jarige levensduur zal het meerdere keren voorkomen dat onderdelen worden vervangen en vaak door een onderdeel dat beter is en mogelijk net iets anders werkt. Deze MOC procedure werd vroeger niet zo strikt toegepast, waardoor de veiligheid kon verslechteren bij wijzigingen. Door het volgen van de Management-of-Change procedure wordt er zorg voor gedragen dat de veiligheid minimaal niet verslechterd. De procedure wordt ook toegepast als het vervangend onderdeel exact hetzelfde is.
 - De Control-of-Work procedure is een werkvergunningen systeem maar gaat ook in op trainingen, keuringen, audits en inspecties. Het bedrijfsvoeringscentrum van Eneco beheert dit. Er gaat niemand een windturbine in van Eneco zonder werkvergunning. Op deze manier controleert Eneco de competenties van de technici en de aard van de werkzaamheden door de juiste persoon wordt uitgevoerd. Bij hoog risicowerk vragen wij aanvullende documenten aan te leveren. Hoogrisico werkzaamheden zijn die werkzaamheden waar geen standaard werkplan voor beschikbaar is. Bij het hijsen van onderdelen is een hijsplan nodig, bij het werken aan hoogspanning is een schakelplan nodig. Dit is vooral ARBO gerelateerd maar door het laten uitvoeren van onderhoud door mensen met de juiste en gecertificeerde competenties heeft dit mogelijk een licht positieve impact op de faalkansen.
 - *Beoordeling RHDHV: De invoering van de bovengenoemde procedures levert (als totaal) een verlaging van de faalkansen op. Hoe langer het geleden is dat een turbine is geplaatst, hoe moeilijker het zal worden om exact dezelfde vervangingsonderdelen te vinden. Dit mede gezien de snelle veranderingen in de technologie. Dan is het van*

belang het effect van het nieuwe onderdeel te toetsen op de hele turbine waarmee de veiligheid minimaal op hetzelfde niveau blijft.

- Vermindering falen: ++

Verklaring van Eneco Wind op 10 juli 2017 over de toekenning van het ISO 55001 certificaat

“Voor de productie van groene energie uit windmolens is wind natuurlijk essentieel. Toch is het niet de enige belangrijke factor. Daar komt veel nog meer bij kijken. Namelijk onze windmolens op een doelmatige, duurzame en kosteneffectieve manier te beheren. Alleen op deze manier stemmen we onze assets af op onze strategische doelen en de behoeften van de stakeholders. Maar er is meer nodig dan alleen een systeem waarin afspraken vastgelegd worden, het gaat ook om de mensen die er mee werken en de processen die eruit volgen die zorgen voor een continue verbetering. Dit hele totaalplaatje heeft het ISO 55001 certificaat behaald. Eneco Wind Operations is hiermee wereldwijd het eerste bedrijf dat voor al haar windparken in Nederland dit certificaat heeft behaald. En dit helpt ons in onze verdere ontwikkeling.”

2. **Management organisatie per project.** Na 2010 is Eneco gestart om per windpark een kernteam te formeren. In het kernteam zit de (1) projectontwikkelaar die in de meeste gevallen later ook de bouwmanager is. Door deze verantwoordelijkheid bij één persoon neer te leggen wordt ervoor gezorgd dat het voortraject wordt verbonden met de bouwfase en dat de verschillende aannemers en onderaannemers beter met elkaar samen werken, wat de eindkwaliteit van het product ten goede komt. Andere leden van het kernteam zijn: (2) de bouwmanager die na financial close van het project het project het windpark zal bouwen en (3) de assetmanager die de in's & out's van de operationele fasen van alle windparken kent en via de sitemanagers de continuïteit in het ontwikkelproces is gewaarborgd. (4) De V&G coördinator is in uitvoeringsfase is permanent aanwezig op een project. Deze wordt ondersteund door de (5) HSSE supervisor in de betreffende regio. Daarboven is de HSSE Manager beschikbaar. Het kernteam is verantwoordelijk voor de uitvoering van een aantal taken die een positieve impact hebben op de veiligheid en de verlaging van de faalkansen. Deze staan hieronder opgesomd.
 - Naast een algemeen type-certificaat, vraagt het kernteam aan een leverancier naar de geschiktheid van een gegeven windturbine voor de specifieke site. Dit om eventuele afwijkingen tussen de actuele site-condities en dit in het type-certificaat te kunnen ondervangen.
 - Tijdens de tenderfase van een project besteedt het kernteam veel aandacht aan faalstatistiek en faal-risico's van componenten en de hele windturbine, gedreven door Reliability Centered Maintenance (RCM). RCM is ontwikkeld vanuit de invalshoek van onderhoudsmanagement, en richt zich primair op het vergroten van de betrouwbaarheid van de turbine. Failure mode and effect analysis (FMEA) is vaak onderdeel van dit systeem en omvat het systematisch in kaart brengen en een grondige analyse van mogelijke storingen en de gevolgen daarvan. De gevolgschade kan financieel zijn (productieproces ligt stil), maar ook liggen op veiligheidsgebied (schade voor mens en/of milieu). RCM probeert met name machine-storingen te voorkomen, die gevolgschades met zich (kunnen) meebrengen. Het kernteam zal actief de leverancier vragen op, en scoren naar, deze aspecten.
 - Een nieuwe risicomatrix voor de ontwikkeling van windprojecten dat gebruikt wordt in mitigerende maatregelen te introduceren is standaard onderdeel op het overleg van het kernteam. De mitigerende maatregelen vormen (waar nodig) onderdeel van de productie-eisen aan leveranciers of ontwerpers/uitvoerders van funderingen.

- *Beoordeling RHDHV: Betere communicatie binnen het team, continuïteit van beleid, turbines aangepast aan de locatie en toepassing van het RCM systeem leiden tot verlaging van de faalkansen. De gepresenteerde risicomatrix van Eneco is vooral gericht wensen/eisen vanuit de verschillende stakeholders maar niet of nauwelijks gericht op verlaging van faalkansen.*
 - *Vermindering falen: +*
3. **Kwaliteitsprocedure begeleiding inkoop.** Eneco heeft na 2010 een uitgebreid Quality Assurance Quality Control proces (QAQC)s ingevoerd. Eén van de belangrijke onderdelen hiervan is zogeheten COLD EYE REVIEW. Eneco past deze COLD EYE REVIEWS toe gedurende het gehele proces vanaf de haalbaarheidsanalyses tot en met productie fase. Deze reviews worden uitgevoerd door geselecteerde onafhankelijke partijen (zoals Outsmart, Endergy Solutions, BetonED, NEBEST) tijdens alle (veiligheids) kritische stappen in het proces. Achtereenvolgens komen de volgende onderwerpen aan de orde: fundering (mast), bladen, gondel:

3a: Fundering:

- Ontwerp van de fundering van de windturbine. Het ontwerp van de fundering van (iedere) windturbine wordt opgesteld door een gespecialiseerd bureau en daarna door een ander specialistische bureau opnieuw beoordeeld. Hiermee voorkomt Eneco dat de fundering niet goed is voor de te plaatsen turbine en de bijbehorende (wind)krachten die er op werken. Dit verlaagt de kans van het omvallen van de windturbine.
- Voor het storten van het beton wordt door Eneco de bewapening onderzocht op consistentie met het ontwerp. Na het storten van het beton worden door Eneco (laag voor laag) blokjes van het beton genomen en in een gespecialiseerd laboratorium onderzocht op kwaliteit. Nadat de fundering is gerealiseerd wordt deze door een derde partij geïnspecteerd en gekeurd.
- Eneco heeft aangegeven voor het windpark Spuisluis deze maatregelen uit te voeren.
- *Beoordeling RHDHV: Een extra review door een onafhankelijke daartoe gespecialiseerde partij geeft een vergroting van de kans dat gemaakte fouten worden gevonden en daarmee een verlaging van de kans fouten in het ontwerp. Hierboven zijn twee voorbeelden gegeven, maar de Cold Eye Reviews worden in het gehele ontwerp en in alle fasen toegepast. Door de externe review van het ontwerp wordt bijvoorbeeld voorkomen dat het funderingsontwerp onvoldoende sterkte heeft (vooral in extreme situaties) en door de inspectie tijdens de aanleg wordt voorkomen dat de fundering afwijkt van het ontwerp. Daarmee wordt de faalkans van omvallen van de mast verkleind.*
- *Vermindering falen: ++*

3b: Rotorbladen

- De fabriek waar de bladen worden besteld moet voldoen aan strenge kwaliteitseisen. Dit wordt gecontroleerd door Eneco. Hierdoor wordt zeker gesteld dat de bladen altijd van de beste kwaliteit zijn.
- De Factory Acceptance Test (FAT) wordt door Eneco bijgewoond in de fabriekshal van de bladenbouwer. Hiermee wordt geborgd dat:
 - dat de bladen voldoen aan de algemene kwaliteitseisen
 - dat de bladen de specifieke kenmerken hebben voor het windpark Spuisluis.
 - Door deze werkwijze wordt voorkomen dat er bladen worden geleverd met constructiefouten.

- Het transport van de bladen, soms over grote afstanden, is een activiteit die er voor kan zorgen dat er (onzichtbare) beschadigingen ontstaan in een blad, bijvoorbeeld door hard remmen of door vervoer over slechte wegen. Sinds 2010 geeft Eneco als eis strenge eisen mee aan fabrikanten van bladen om schade tijdens transport uit te sluiten.
- Na transport, bij aankomst op de locaties van de turbines, worden de bladen opnieuw geïnspecteerd en gekeurd door een daartoe gekwalificeerde derde partij (zoals bijvoorbeeld Outsmart) met behulp van geavanceerde meetapparaten (ultrasone metingen) om haarscheuren op te sporen. Worden haarscheurtjes gevonden dan wordt het blad of gerepareerd of vervangen afhankelijk van de aard van de schade en uiteraard alleen reparatie als het bedoelde veiligheidsniveau daarmee gehaald wordt.
- *Beoordeling RHDHV: Door het toepassen de FAT, de strenge eisen aan het transport en vooral de inspecties na aankomst worden de kans op ontwerpfouten, verkeerde fabricage en beschadigingen van de bladen verminderd en daarmee de faalkans van de bladen zowel voor nominaal toeren als bij overtoeren. Deze stappen controle stappen hebben een vrij grote impact op de verlaging van de faalkans.*
- *Vermindering falen: ++*

3c: Gondel

- Eneco geeft aan dat vergelijkbare kwaliteitsstappen worden uitgevoerd voor alle windturbine onderdelen.
- *Beoordeling RHDHV: RHDHV heeft hier echter geen aanvullend inzicht in gekregen vandaar dat de mogelijke verlaging van de faalkans is kunnen vaststellen*
- *Vermindering falen: 0*

4. Commissioning protocol. Eneco heeft na 2010 een commissioning protocol (in bedrijfsname protocol) ingevoerd waar alle windturbines door moeten voor ze in werking kunnen worden gesteld. Tijdens dit protocol worden alle facetten van de turbine getest en wordt de turbinewerking geoptimaliseerd. Alle data die wordt verkregen wordt vastgelegd in een monitoring systeem. Bij geconstateerde afwijkingen worden maatregelen of verbeteringen doorgevoerd.

- *Beoordeling RHDHV: Dit commissioning protocol is een belangrijke procedure voor verbetering van de performance van de turbine maar ook om faalkansen te verlagen. Op een gestructureerde wijze wordt de windturbine getest alvorens in bedrijf name start. Uiteraard was voor de formele invoering van dit protocol ook al een vorm van commissioning in gebruik maar door standaardisatie, inzet van specialistische kennis en gebruik van kennis uit bestaande windparken (onder meer via de RCM methode waardoor Eneco voortijdig eventuele grote risico's detecteren en mitigeren, zie boven) is de effectiviteit toegenomen. Hiermee heeft dit protocol een belangrijke impact op de verlaging van de faalkans.*
- *Vermindering falen: +*

5. Beheer van de windturbines. De kwaliteit van onderhoud van de turbines is voor Eneco van uiterst belang. Een goed onderhouden machine heeft een hoge mate van betrouwbaarheid en beschikbaarheid, is veiliger, beter voor het milieu, levert meer op, en zorgt voor een goede reputatie. Op het gebied van beheer zijn een aantal belangrijke systemen, procedures en werkwijzen toegevoegd die een impact op de verlaging van de faalkansen kunnen hebben. Deze zijn vanaf 2010 ingesteld en effectief geworden.

- Eneco monitort continue (24/7) alle windturbines via het bedrijfsvoeringscentrum. Dit bedrijfsvoeringscentrum is te allen tijde telefonisch bereikbaar voor meldingen van

afwijkende situaties of zorgen. Op het bedrijfsvoeringscentrum zijn gekwalificeerde mensen aanwezig die toegang hebben tot alle data die nodig is om afwijkende situaties te kunnen analyseren en op afstand in te kunnen grijpen. Als bijvoorbeeld blijkt dat de rotorbladen afwijken van de zogeheten eigenfrequentie, wordt de turbine bij modellen vanaf 2010 automatisch gestopt. Er zijn altijd technici paraat om op heel korte termijn lokaal onderzoek uit te voeren en acties te ondernemen.

- Op het windpark zal continue (24/7) camera bewaking aanwezig zijn. Hierdoor kan er zeer snel op afstand worden onderzocht of er iets aan de hand is, waardoor vrijwel direct adequate actie kan worden ondernomen (wat in de meeste gevallen leidt tot stilzetten van de turbine).
- Eneco heeft de beschikking over een incidenten afhandelingsproces waarbij continue (24/7) diverse organisatie onderdelen beschikbaar zijn. Deze incidenten vormen input aan het continue verbetering proces.
- Eneco past Management-of-Change procedures toe op al haar parken (deze procedure is onderdeel van ISO 55000). Dit betekent dat de gevolgen van een wijziging (een nieuw onderdeel, een nieuw werkwijze) wordt getoetst op gevolgen van de performance van de hele turbine. De impact op de verlaging van de faalkans van deze verbetering is al meegenomen onder punt 1.
- Eneco heeft een maintenance managementsysteem waarin zij de opvolging monitort van onderhoudsactiviteiten van aannemer, zowel preventief als collectief. Veiligheidskeuringen op tijd en het oppakken het gepland en ongepland opvolging geven aan onderhoud.
- Eneco voert periodiek veiligheidsinspecties uit. Er wordt gekeken naar de orde en netheid van de windturbines en of alle veiligheidsmiddelen gekeurd zijn. De ervaring van Eneco is dat de kwaliteit van onderhoud toeneemt indien de opdrachtgever betrokken is bij de uit te voeren werkzaamheden. De resultaten van de inspecties worden gedeeld en geëvalueerd met de contractor als onderdeel van ons leveranciersmanagement, zodat dit een continue verbeterproces is.
- *Beoordeling RHDHV: De permanente monitoring en inspecties dragen bij aan de verlaging van de faalkans doordat bij afwijkingen van de standaardmeetresultaten de turbine wordt stopgezet of wordt nader onderzoek verricht ter plaatse. Dat dit continue gebeurt, levert een belangrijke bijdrage aan de verlaging van de faalkans. De verlaging van de faalkans als gevolg van de data-analyse is in par 4.2.1 opgenomen bij de functie data-analist Ook de MoC procedure is al eerder (positief) beoordeeld.*
- *Vermindering falen: +*

6. Afspraken met de omgeving:

- Eneco heeft een speciale sitemanager/beheerder tijdens de levensduur van het windpark. Deze beheerder gaat regelmatig langs bij alle betrokken partijen om af te stemmen of alles nog volgens afspraak verloopt, of er nieuwe ontwikkelingen zijn waar rekening mee moet worden gehouden, of er zorgen en/of wensen zijn. Vanwege deze grote betrokkenheid van Eneco is het gemakkelijk voor betrokken partijen om de weg naar Eneco te vinden in het geval van zorgen of afwijkende situaties. Hierdoor kan er snel worden gereageerd, bijvoorbeeld door een windturbine uit te schakelen als de situatie daarom vraagt. Voor Tata Steel betekent dit dat er minimaal één keer per jaar een gesprek plaats vindt ter evaluatie van de onderlinge contacten en om door te nemen of er ontwikkelingen verwacht worden die invloed kunnen hebben op elkaanders performance.
- *Beoordeling RHDHV: Hoewel goede communicatie tussen betrokken partijen van groot belang is, levert dit niet direct een verlaging van de faalkans op.*

- Vermindering falen: 0

4.2.3 Eindoordeel Stap 2

Eneco schat in dat haar performance in 2017 ten opzichte van 2010 ca. een factor 10 beter is. Royal HaskoningDHV komt in de beoordeling lager uit. De totale vermindering van de faalkans is door de toevoeging van de specialisaties en daarmee veiligheidsdeskundigheid toegenomen met een factor 2, zie Tabel 9. De verlaging van de faalkans als gevolg van professionalisering wordt door RHDHV geschat op minimaal 2 voor de fundering/mast, op minimaal 2 van het blad en op 1,5 van de gondel (zie Tabel 10).

Op basis van deze analyse komt RHDHV uit op

- een totaal factor 4 voor de verlaging van de faalkans van de mast;
- een totaal factor 4 voor de verlaging van de faalkans van het blad;
- een totaal factor 3 voor de verlaging van de faalkans van de gondel.

Nr:	Specialisatie	Verlaging faalkans
1	Data analyst	+
2	Windexpert	+++
3	Contractmanagers	+
4	Technische specialisten	0
5	Kwaliteitsmanager	0
6	Portfoliomanager	0
7	Assetmanager	0
8	Veiligheidsspecialisten	+
9	Bedrijfsvoeringscentrum	+
	Totaal specialisatie	2

Tabel 9: Overzicht verlaging faalkans als gevolg van specialisatie bij Eneco sinds 2010

Nr.	Professionalisering	Verlaging faalkans fundering/mast	Verlaging faalkans blad	Verlaging kans gondelbreuk
1	ISO 55000	++	++	++
2	Management per project	+	+	+
3	QAQC	++	++	0
4	Commissioning protocol	+	+	+
5	Beheer	+	+	+
6	Afspraken met omgeving	0	0	0
	Totaal professionalisering	1,5	1,5	1.25
	Totaal periode 2010-2017	3	3	2,5

Tabel 10: Overzicht verlaging faalkans als gevolg van professionalisering bij Eneco sinds 2010 en Totaal overzicht.

4.3 Stap 3: Specifieke maatregelen voor het project windpark Spuisluis

Eneco treft naast de generieke maatregelen de volgende maatregelen specifiek voor windpark Spuisluis.

1. Monitoringsprotocol zettingsvloeiing. Omdat de windturbines op een landtong staan, op relatief korte afstand tot de primaire waterkering, is met Rijkswaterstaat afgesproken dat de staat van de grond gemonitord zal worden. Hierbij zullen periodiek grondmonsters worden genomen om er zeker van te zijn dat er geen zettingsvloeiing dreigt op te treden. Deze monitoring zal er voor zorgen dat er bij afwijkende situaties (bijvoorbeeld scheef zakken van de turbines) ruim van te voren zal kunnen worden ingegrepen. Hierdoor kan ook worden voorkomen dat een windturbinemast zal omvallen ten gevolge van zettingsvloeiingen.
2. Er zal een stopknop in de controlekamer van Tata Steel worden gerealiseerd die bij gevaarlijke situaties voor de bemanning in het schip ten gevolge van slagschaduw, binnen de kaders van het slagschaduwonderzoek, kan worden bediend. De windturbine wordt in dat geval afgeschakeld. Deze mitigerende maatregel heeft geen effect op de faalkans. Mitigatie van de effecten van slagschaduw is wel van belang voor Tata Steel. In Hoofdstuk 4 wordt hier nader op ingegaan.
3. Er komt een extra noodstopknop voor het geval Tata Steel medewerkers constateren dat er iets niet goed is met de windturbine.

Royal HaskoningDHV gaat in deze notitie uit van verbetering grote verbetering van de faalfrequentieverlaging alleen voor de mastbreuk omdat het monitoringsprotocol vooral effect zal hebben op een mogelijke mastbreuk. Dit betekent dus een ++ voor deze faalfrequentieverlaging (zie inleiding par 4.2). Voor de andere twee maatregelen is het niet te beoordelen (door RHDHV) in welke mate dit leidt tot verlaging van de faalrisico's (0).

- Bladbreuk nominaal: (0) vertaalt in factor 1
- Bladbreuk overtoeren: (0) vertaalt in factor 1
- Mastbreuk: (++) vertaalt in factor 1,3
- Gondelbreuk: (0) vertaalt in factor 1

4.4 Resume factorverlaging risico

Als gevolg van de verbeteringen zoals beschreven in de stappen 1, 2 en 3 is het aannemelijk dat de kans op falen is verminderd ten opzicht van de uitkomsten uit het Handboek Risicozonering Windturbines. In Tabel 11 is dit weergegeven.

	Verlaging faalkans door:			Totaal
	Stap 1	Stap 2	Stap 3	
	Techniek	Organisatie Eneco	Specifiek Spuisluis	
Bladbreuk nominaal	35	3	1	105
Bladbreuk overtoeren	35	3	1	105
Mastbreuk	35	3	1,3	136,5
Gondelbreuk	35	2,5	1	87,5

Tabel 11: Vermindering van faalkans per type falen

De factor ter verlaging van de faalfrequentie wordt toegepast op de faalfrequenties zoals gegeven in het Handboek Risicozonering Windturbines v 3.1. De frequenties uit het handboek betreffen 95 percentiel waarden van de casuïstiek uit de periode 2000 – 2010. De factoren die worden toegepast geven de veiligheidswinst aan met de toe te passen windturbines voor het project windpark Spuisluis. De resulterende frequentie betreft nog steeds een 95 percentiel faalfrequentie waarvoor een groot deel van het conservatisme genoemd Hoofdstuk 1 en 2 blijft bestaan.

5 Stap 4: Locatiespecifieke kenmerken en samenvattende tabellen

Naast de kans dat een object getroffen kan worden door een ongewenste gebeurtenis van een windturbine wordt de veiligheid (uitgedrukt in de kans op overlijden van een persoon) ook beïnvloed door andere factoren, zoals de aanwezigheid van personen. In de onderstaande paragrafen worden de door Tata Steel aangedragen oranje en rode scenario's doorgenomen en vergeleken met de door Tata Steel gehanteerde veiligheidsmatrix.

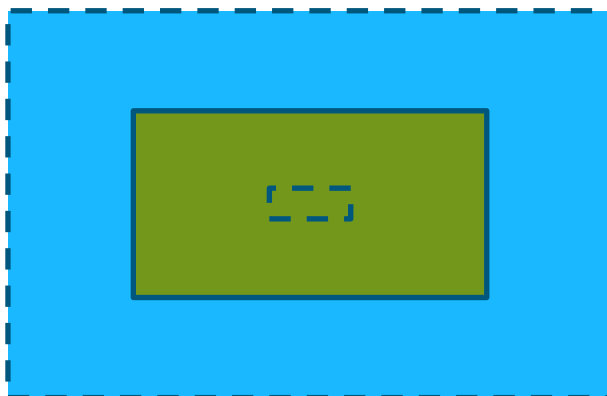
Per scenario is de originele inschatting⁶ van de trefkans vergeleken met de vermindering van de trefkans ten gevolge van de in Hoofdstuk 4 in stap 1, 2 en 3 beschreven factoren aangegeven. Per scenario is beoordeeld of er locatiespecifieke kenmerken zijn die de trefkans verminderen; dit is Stap 4.

Een aantal van deze kenmerken komt voor in een aantal scenario's. Deze kenmerken zijn:

1. Niet iedere treffer door een blad bij overtoeren zal dezelfde impact hebben (factor 2 faalfrequentieverlaging).
2. De mast valt niet altijd op een object (factor 1,45 faalfrequentieverlaging).

Kenmerk 1: Niet iedere treffer door een blad bij overtoeren zal dezelfde impact hebben

Het object waarop een blad valt heeft een grondoppervlak dat is weergegeven door het oranje gebied. Wanneer het blauwe gebied (met een breedte van 2/3 bladlengte) door het zwaartepunt van een blad wordt geraakt dan is de kans aanwezig dat het blad het object raakt (zie Figuur 6).



Figuur 6: Berekening faalfrequentieverlaging door treffer met blad

Niet iedere treffer is echter gelijk. Het blad bestaat namelijk uit een zeer massief deel, gevormd door de verbindingsflens en uit een minder massief deel aan de andere zijde van het zwaartepunt. Wanneer de verbindingsflens het object treft, dan wordt de grootste schade (waar het scenario van uit gaat) bereikt. Wanneer de tip van het blad het object raakt dan zal de schade veel minder groot zijn. Dit betreft een ander schade scenario met kleinere financiële of veiligheidsimpact.

Wanneer het zwaartepunt van een blad binnen het blauwe gebied land dan is de kans ongeveer 50% dat de flens in de richting van het object ligt en 50% dat deze er vanaf wijst. Hetzelfde geldt voor het gebied binnen het object tot 2/3 van de bladlengte.

⁶ Trefkansberekeningen (I&BBE4373N002D0.1), Royal HaskoningDHV, 18 november 2016

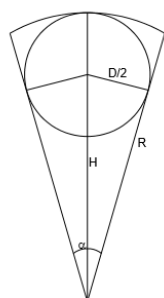
Van alle objecten die onderzocht zijn, is het blauwe gebied qua oppervlak ongeveer gelijk aan het oppervlak van het oranje gebied. Daarom zal de kans op een treffer met de flens (die nodig is voor de grote schade waar in de scenario's van wordt uitgegaan) ca. 50% zijn van de totale kans op treffen. De faalfrequentieverlaging wordt voor deze situaties daarom op 2 gesteld.

Kenmerk 2: De mast valt niet altijd op een object

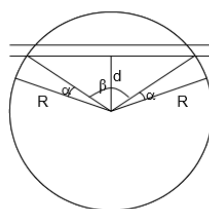
In bijlage C van het handboek windturbines staat hoe de hoek berekend moet worden, waarmee de trefkans van een mastbreuk kan worden bepaald. Niet iedere treffer bij een mastbreuk zal hetzelfde schadebeeld geven. Alleen een directe treffer door de mast of de gondel zal resulteren in de grote schade die in het scenario wordt bedoeld. Wanneer een mast naast het object valt, zal deze slechts door een deel van het blad geraakt kunnen worden. Dit brengt een veel kleinere financiële schade of veiligheidsrisico met zich mee. In Figuur 7 is dit grafisch weergegeven en zijn de bijbehorende formules waarmee de hoeken worden berekend gegeven.

De totale hoek, gegeven door de term tussen de grote haken ($\beta + 2 \times \alpha/2$) moet dus verminderd worden met de term $2 \times \alpha/2$. Dit kan door te vermenigvuldigen met de factor $\left[\frac{(\alpha + \beta) - \alpha}{\alpha + \beta} \right]$. Hierin is $(\alpha + \beta)$ de totale hoek in de originele berekening en α de hoek gegeven door de formule $\sin^{-1} \left\{ \frac{(D/2)}{H} \right\}$. De hoek trefkans totaal voor een voltreffer en schamper tezamen is 90 graden. De hoek van een voltreffer waar bij de mast valt op de transithal is 62 graden. De hoek als de mast de transithal schampert is 28 graden.

De verlagingsfactor is dan: $1 / (62/90) = 1,45$



Figuur 12: Windturbine gemodelleerd als cirkelsegment



Figuur 11: Turbine in aanraking met infrastructuur

De kans dat een nabijgelegen infrastructuur wordt getroffen door een omvallende turbine is nu

$$P_t = P_{mb} \cdot \frac{1}{2\pi} \left[\beta + 2 \frac{\alpha}{2} \right] \\ = P_{mb} \cdot \frac{1}{2\pi} \left[2 \cdot \cos^{-1} \left(\frac{d}{H + D/2} \right) + 2 \cdot \sin^{-1} \left(\frac{D/2}{H} \right) \right] \quad (5.2.3)$$

waarbij

d : Afstand tussen turbine en de infrastructuur [m]

P_{mb} : Kans op mastbreuk [1/jaar]

Figuur 7: Bepaling faalfrequentieverlaging door omvallen van de mast

Achtereenvolgens komen worden de acht scenario's besproken. Scenario 2 tot en met 7 gaan over veiligheidsaspecten en scenario 1 en 8 gaan over financiële aspecten. De financiële aspecten betreffen het herstel van schades en de mogelijk vervolgschades zoals het stopzetten

van de staalproductie als gevolg van de schade aan een (deel van) een fabriek of ander belangrijk bedrijfsonderdeel.

1. HS kabels getroffen door een falend blad bij overtoeren.
2. Pompstation 3 getroffen door een falend blad bij overtoeren.
3. Slagschaduw ruim schip.
4. Kantoorgebouw 1F02 getroffen buiten kantooruren door een vallende mast of een falend blad bij overtoeren.
5. Transithal getroffen door een falend blad bij nominaal toeren of bij overtoeren of door een vallende mast.
6. Kantoorgebouw 2F02 getroffen binnen kantooruren door een vallende mast of een falend blad bij overtoeren.
7. Schip BUKA3 getroffen door een vallende mast of een falend blad bij overtoeren.
8. Transithal getroffen door een falend blad bij nominaal toeren of bij overtoeren of door een vallende mast.

5.1 Scenario 1: HS kabels

Bij de beoordeling conform het Handboek Risicozonering Windturbines valt de kans dat de HS kabels getroffen worden door een afgebroken blad bij overtoeren in de categorie geel van de Tata Steel risico tabel: 5B. De minimale verlagingsfactor om te komen tot de groene categorie van de Tata Steel risicotabel is 11.

Naast de generieke verlagingsfactoren uit de Stappen 1, 2 en 3 is er met betrekking tot de HS Kabels een locatiespecifiek kenmerk. Dit kenmerk staat hieronder weergegeven.

- in het Handboek Risicozonering Windturbines wordt voor de HS-kabels van TenneT de grootste van de volgende afstanden meegenomen: maximale werpafstand bij nominaal toerental of ashoogte + $\frac{1}{2}$ rotordiameter. In dit licht bekeken is het geen maatgevend scenario. De kans op falen is evenredig met de breedte van de kritische strook. Die kans is bij de berekening conservatief bepaald op 10 m breed omdat er geen detail gegevens beschikbaar zijn van de locatie van de HS-kabels. De werkelijke trefkans zal lager zijn. Echter omdat deze gegevens niet bekend zijn, is er geen verlagingsfactor voor dit geval toegepast.

In Tabel 12 is het effect op het treffen van HS kabels weergegeven voor het geval deze worden getroffen door een blad als gevolg van overtoeren. Door de verlagingsfactor van 1 voor de bladen valt het nieuwe risico in de groene zone van de Tata Steel risicotabel.

Nummer 1	Omschrijving:	HS kabels worden getroffen door blad overtoeeren		
	Type:	Financieel		
Verlagingsfactor Stap 1,2,3		Verlagingsfactor Stap 4		Totale verlagingsfactor
Mast		Mast		
Blad Nominaal		Blad Nominaal		
Blad Overtoeeren	105	Blad Overtoeeren	1	105
Trefkans oud			Trefkans nieuw	
Mast				
Blad Nominaal				
Blad Overtoeeren	1,8E-07		1,7E-09	
Totaal			1,7E-09	
Tata Risicotabel				
5B			5A	

Tabel 12: Beoordeling scenario HS kabels worden getroffen door blad bij overtoeren

5.2 Scenario 2: Pompstation 3

Bij de beoordeling conform het Handboek Risicozonering Windturbines valt de kans dat het Pompstation 3 getroffen wordt door een afgebroken blad bij overtoeren in de categorie geel van de Tata Steel risicotabel: 5B. De minimale verlagingsfactor om te komen tot de groene categorie van de Tata Steel risicotabel is 9.

Naast de generieke verlagingsfactoren uit de Stappen 1, 2 en 3 zijn er met betrekking tot het Pompstation 3 een aantal locatiespecifieke kenmerken. Deze kenmerken staan hieronder weergegeven.

- Niet iedere treffer door een blad bij overtoeren zal dezelfde impact hebben. In het trefkansmodel, dat gebruikt wordt voor de berekeningen, wordt het zwaartepunt van het blad gevolgd. Bij de berekening van de trefkans wordt ook de situatie meegeteld dat het zwaartepunt *naast* het object valt en slechts de tip van het blad het object raakt. Ook is het mogelijk dat het zwaartepunt wel het object raakt, maar dat het onderdeel van het blad met de flens naast het object terecht komt. In beide gevallen zal de schade kleiner zijn dan wanneer het object getroffen wordt door de massieve flensverbinding van het blad. De kans dat dit gebeurd wordt ingeschat op ca 50% en levert een verlagingsfactor 2 op.
- Wanneer een blad afbreekt zal deze door wind naar achteren worden verplaatst. Het risico dat het pompstation getroffen wordt als gevolg van een afbrekend blad is daarmee vooral bij zuidoostelijke wind. Uit de windroos van IJmuiden blijkt zuidoostelijke wind minder vaak (ca 25% minder) voorkomt. Rekening houdend met de windrichting is het dus aannemelijk dat de kans op treffen voor als gevolg van bladbreuk circa 25% lager is. Omdat de berekeningen met invloed van windkrachten erg ingewikkeld is, wordt deze factor niet meegewogen.

Het kenmerk “het object wordt niet in alle gevallen vol getroffen” geldt voor het Blad afbreuk bij overtoeren. Stap 4 levert voor het Pompstation 3 de volgende verlagingsfactor op.

- Blad overtoeren 2

De combinatie van verschillende verlagingsfactoren heeft als gevolg dat het nieuwe risico in de groene zone komt van de Tata Steel risicotabel (zie Tabel 13).

Nummer 2	Omschrijving:	Pompstation 3 wordt getroffen door blad overtoeren		
	Type:	Financieel		
Verlagingsfactor Stap 1,2,3		Verlagingsfactor Stap 4		Totale verlagingsfactor
Mast		Mast		
Blad Nominaal		Blad Nominaal		
Blad Overtoeren	105	Blad Overtoeren	2	210
Trefkans oud			Trefkans nieuw	
Mast				
Blad Nominaal				
Blad Overtoeren	8,9E-08		4,2E-10	
Totaal			4,2E-10	
Tata Risicotabel				
5B			5A	

Tabel 13: Beoordeling scenario Pompstation 3 wordt getroffen door een blad bij overtoeren

5.3 Scenario 3: Slagschaduw ruim van schip

Nadere analyse van Antea Consult wijst uit dat het verlaadproces naar verwachting 182 uur/jaar slagschaduw ondervindt. Dit is 4,1% van de bedrijfstijd (uitgaande van 12 uur/dag, 365 dagen/jaar). De slagschaduw wordt nagenoeg geheel veroorzaakt door WTG 1, 2 en 3 in het voor- en najaar. In 0,69 % van de bedrijfstijd van WTG 1, 2 en 3 wordt slagschaduw op het verlaadproces veroorzaakt. Dit scenario wordt niet beïnvloed door de vermindering van de faalkans.

De volgende mitigerende maatregelen zijn mogelijk om het effect van slagschaduw te verminderen tot een gewenst niveau:

- afschermen ruim/kraan waardoor de slagschaduw belemmerd wordt;
- plaatsing stopknop in operationeel centrum Tata Steel die bij hinder de turbines stil kan zetten;
- bij falen stopknop kan telefonisch contact worden opgenomen met het bedrijfsvoeringscentrum van Eneco, die op afstand de windturbine kan bedienen.

Na toepassing van de mitigerende maatregelen treedt er geen risico meer op, waardoor dit een 4A scenario wordt, kleur groen, zie ook Tabel 14.

Nummer	Omschrijving:		Slagschaduw ruim van schip		
3	Type:		Veiligheid		
Verlagingsfactor Stap 1,2,3			Verlagingsfactor Stap 4		Totale verlagingsfactor
Mast			Mast		
Blad Nominaal			Blad Nominaal		
Blad Overtoeren			Blad Overtoeren		
Trefkans oud				Trefkans nieuw	
Mast					
Blad Nominaal					
Blad Overtoeren					
Totaal					
Tata Risicotabel					
4C				4B	

Tabel 14: Beoordeling scenario Slagschaduw in het ruim van een schip

5.4 Scenario 4: Kantoorgebouw 1F02 buiten kantooruren

Bij de beoordeling conform het Handboek Risicozonering Windturbines valt de kans dat het kantoorgebouw 1F02 getroffen wordt buiten kantooruren in de categorie rood van de Tata Steel risico tabel: 5C. De minimale verlagingsfactor om te komen tot de groene categorie van de Tata Steel risicotabel is 2,5.

Tabel 15 beschrijft het scenario van het treffen van het kantoorgebouw 1F02 (buiten kantooruren) door een blad overtoeren of door de mast. Naast de vermindering van de trefkans voortkomende uit de Stappen 1, 2, en 3 zijn er nog locatiespecifiek kenmerken die de kans op treffen verminderen. Deze kenmerken staan hieronder weergegeven.

- Bij dit scenario (*kans op minder dan 5 fatalities*) hoort de trefkans tijdens kantooruren. Buiten kantooruren zijn er slechts 4 personen aanwezig; tijdens kantooruren zijn er ook minstens 4 personen aanwezig. Er is dus geen verblijftijdscorrectie van kracht en de verlagingsfactor wordt niet aangepast.
- Vergelijkbaar met de situatie bij pompstation 3 (Scenario 2) wordt ook hier een verlagingsfactor aangenomen voor bladbreuk bij overtoeren. Het blad kan wel een treffer veroorzaken, maar de schade is niet in alle gevallen hetzelfde omdat het object niet door de massieve flens wordt getroffen. Het trefkansmodel, dat gebruikt wordt voor de berekeningen, wordt het zwaartepunt van het blad gevolgd. Bij de berekening van de trefkans wordt ook de situatie meegeteld dat het zwaartepunt naast het object valt en slechts de tip van het blad het object raakt. Ook is het mogelijk dat het zwaartepunt wel het object raakt, maar dat het onderdeel van het blad met de flens naast het object terecht komt. In beide gevallen zal de schade kleiner zijn dan wanneer het object getroffen wordt door de massieve flensverbinding van het blad. Om recht te doen aan deze vermindering van de trefkans is een verlagingsfactor factor 2 genomen
- Vergelijkbaar hieraan is er ook een kans dat de mast naast het gebouw valt, maar de bladen het gebouw wel treffen. Het gebouw staat namelijk op een afstand van de turbine groter dan de masthoogte. Dit effect is echter al meegewogen in de oorspronkelijke risicoberekeningen en leidt niet tot de aanpassing van de verlagingsfactor.

- De factor tijd is in het geval van het scenario bladbreuk bij overtoeren wel van belang. Tussen het moment dat een windturbine niet meer onder controle is en in overtoeren gaat en het moment dat een blad ten gevolge van de overtoeren situatie zal falen zit enige tijd. In deze tijd kan personeel het gebouw evacueren. Omdat dit moeilijk uit te rekenen valt, is in deze berekeningen hier geen credit aan gegeven en leidt niet toe aanpassing van de verlagingsfactor.
- Niet iedere grote treffer van het object zal direct leiden tot een dodelijk slachtoffer. Aangenomen wordt dat er een kans is van 10% dat er geen dodelijk slachtoffer valt. (Vergelijkbaar aan aardbevingen wordt er van uitgegaan dat bij het instorten van een gebouw er een kans is dat personen de ramp overleven). Dit leidt tot de vermindering van de trefkans met een verlagingsfactor: 1,11

Het locatiespecifieke kenmerk “personen bevinden niet in de gevarezone” geldt voor alle onderzochte faalmogelijkheden voor dit scenario. Het kenmerk “object niet in alle gevallen vol getroffen”, geldt voor het Blad afbreuk bij overtoeren. Stap 4 levert voor de Kantoorgebouw 1F02 buiten kantooruren de volgende verlagingsfactoren op voor de verschillende faalmogelijkheden:

- Mastbreuk: 1,11
- Blad overtoeren $1,11 * 2 = 2,22$

De combinatie van verschillende verlagingsfactoren heeft als gevolg dat het nieuwe risico in de groene zone komt van de Tata Steel risicotabel (zie Tabel 15). Mogelijke aanvullende mitigerende maatregelen zijn:

- met bedrijfsvoering afspraken turbine met betrekking tot windrichting en kracht;
- nood-ontruiming kantoorgebouw 1F02 bij dreigend falen van de molen

Nummer	Omschrijving:		Kantoorgebouw 1F02 wordt getroffen buiten kantooruren		
	Type:		Veiligheid		
4					
Verlagingsfactor Stap 1,2,3			Verlagingsfactor Stap 4		Totale verlagingsfactor
Mast		136,5	Mast	1,11	152
Blad Nominaal			Blad Nominaal		
Blad Overtoeren		105	Blad Overtoeren		231
Trefkans oud				Trefkans nieuw	
Mast		2,4E-06		1,6E-08	
Blad Nominaal					
Blad Overtoeren		1,0E-07		4,3E-10	
Totaal				1,6E-08	
Tata Risicotabel					
4C				4B	

Tabel 15: Beoordeling scenario dat het kantoorgebouw 1F02 wordt getroffen buiten kantooruren door een blad of door de mast.

5.5 Scenario 5: Transithal (veiligheid)

Bij de beoordeling conform het Handboek Risicozonering Windturbines valt de kans dat de Transithal wordt getroffen door de mast of door een blad met nominaal toeren of door een blad met overtoeren in de categorie rood van de Tata Steel risico tabel: 4D. De minimale verlagingsfactor om te komen tot de groene categorie van de Tata Steel risicotabel is 244.

Naast de generieke verlagingsfactoren uit de Stappen 1, 2 en 3 zijn er met betrekking tot de Transithal een aantal locatiespecifieke kenmerken. Deze staan hieronder weergegeven.

- In de transithal zijn 50% van de tijd 1-4 man aanwezig. Dit geeft een vermindering van de kans op een fatality van een verlagingsfactor 2 ten gevolge van verminderde verblijftijd.
- De kans op treffen van de Transithal is ten tijde van de vorige rapportage conform het Handboek Risicozonering Windturbines gelijk gesteld aan de kans op een fatality. Echter gezien de grootte van de transithal is dit een zeer conservatief uitgangspunt. Het is mogelijk dat de personen zich op een andere locatie bevinden dan waar het gebouw wordt getroffen. Niet iedere grote treffer van het object zal daarom direct leiden tot een dodelijk slachtoffer. Aangenomen wordt dat er een kans is van 10% dat er geen dodelijk slachtoffer valt. (Vergelijkbaar aan aardbevingen wordt er van uitgegaan dat bij het instorten van een gebouw er een kans is dat personen de ramp overleven). De kans op een fatality gegeven een instorten van het gebouw wordt geschat op 90%. Dit leidt tot een verlagingsfactor 1,11.
- Identiek aan de kans op treffen van het Pompstation 3 is ook voor de Transithal onderzocht hoe groot de kans is dat deze bij *bladfalen door overtoeren* en bij *bladfalen bij nominaal toeren* door de massieve flens wordt getroffen of slechts door de tip. Het trefkansmodel, dat gebruikt wordt voor de berekeningen, wordt het zwaartepunt van het blad gevolgd. Bij de berekening van de trefkans wordt ook de situatie meegeteld dat het zwaartepunt naast het object valt en slechts de tip van het blad het object raakt. Ook is het mogelijk dat het zwaartepunt wel het object raakt, maar dat het onderdeel van het blad met de flens naast het object terecht komt. In beide gevallen zal de schade kleiner zijn dan wanneer het object getroffen wordt door de massieve flensverbinding van het blad. Om recht te doen aan deze vermindering van de trefkans is een verlagingsfactor factor 2 genomen.
- Ook kan de mast bij mastbreuk naast de Transithal vallen, waarbij deze alleen geraakt wordt door het blad. Dit levert een veel kleinere impact op. De verlagingsfactor hiervoor is bepaald op 1,45.
- De factor tijd is in het geval van het scenario bladbreuk bij overtoeren van belang. Tussen het moment dat een windturbine niet meer onder controle is en in overtoeren gaat en het moment dat een blad ten gevolge van de overtoeren situatie zal falen zit enige tijd. In deze tijd kan personeel het gebouw evacueren. Hier is in deze berekeningen geen credit aan gegeven. De minderingsfactor verandert hierdoor niet.

De locatiespecifieke kenmerken “verblijftijd” en “personen bevinden niet in de gevarezone” gelden voor alle onderzochte faalmogelijkheden. Het kenmerk “niet volledig treffen door een blad” geldt voor nominaal en voor overtoeren en het kenmerk “niet volledig treffen bij het omvallen van de mast” geldt uiteraard alleen voor mastbreuk. Stap 4 levert voor de Transithal de volgende verlagingsfactoren op voor de verschillende faalmogelijkheden:

- Mastbreuk: $1,11 * 2 * 1,45 = 3,19$
- Blad nominaal $1,11 * 2 * 2 = 4,44$
- Blad overtoeren $1,11 * 2 * 2 = 4,44$

Tabel 16 beschrijft het scenario van het treffen van de Transithal door de mast of door een blad nominale toeren of een blad in overtoeren. De combinatie van verschillende verlagingsfactoren heeft als gevolg dat het nieuwe faalkansrisico in de groene zone komt van de Tata Steel risicotabel.

Als mogelijke aanvullende mitigerende maatregelen worden nog genoemd:

- afspraken maken met Bedrijfsvoering van Tata Steel bij bepaalde windrichtingen en windkracht;

- noodontzuiming Transithal bij dreigend falen van de molen.

Nummer 5	Omschrijving:	Transithal wordt getroffen door blad of mast		
	Type:	Veiligheid		
Verlagingsfactor Stap 1,2,3		Verlagingsfactor Stap 4		Totale verlagingsfactor
Mast	136,5	Mast	3,19	435
Blad Nominaal	105	Blad Nominaal	4,44	466
Blad Overtoeren	105	Blad Overtoeren	4,44	466
			Trefkans nieuw	
Mast	4,3E-05		9,9E-08	
Blad Nominaal	2,0E-04		4,3E-07	
Blad Overtoeren	5,8E-07		1,2E-09	
Totaal			5,3E-07	
Tata Risicotabel				
4D			4B	

Tabel 16: Scenario Transithal wordt getroffen door de mast, een blad nominaal of een blad in overtoeren

5.6 Scenario 6: Kantoorgebouw 1F02 binnen kantooruren

Bij de beoordeling conform het Handboek Risicozonering Windturbines valt de kans dat het Kantoorgebouw 1F02 wordt getroffen binnen kantooruren door de mast met nominaal toeren of door een blad of door een blad met overtoeren in de categorie rood van de Tata Steel risico tabel: 5C. De minimale verlagingsfactor om te komen tot de groene categorie van de Tata Steel risicotabel is 250.

Naast de generieke verlagingsfactoren uit de Stappen 1, 2 en 3 zijn er met betrekking tot het kantoorgebouw 1F02 binnen kantooruren een aantal locatiespecifieke kenmerken. Deze staan hieronder weergegeven.

- Alleen tijdens kantooruren is er een kans op meer dan 5 slachtoffers. In tijd betekent dat 23,7 % van de tijd (5 dagen per week, 8 uur per dag). Dit geeft een extra vermindering van de kans op een fatality van een verlagingsfactor van $100/23,7 = 4,2$.
- Vergelijkbaar met de verlagingsfactoren voor het treffen van 1F02 buiten kantooruren (met maximaal 4 fatalities), wordt voor het blad bij overtoeren nog een verlagingsfactor toegepast de massieve flens. Het trefkansmodel, dat gebruikt wordt voor de berekeningen, wordt het zwaartepunt van het blad gevolgd. Bij de berekening van de trefkans wordt ook de situatie meegeteld dat het zwaartepunt naast het object valt en slechts de tip van het blad het object raakt. Ook is het mogelijk dat het zwaartepunt wel het object raakt, maar dat het onderdeel van het blad met de flens naast het object terecht komt. In beide gevallen zal de schade kleiner zijn dan wanneer het object getroffen wordt door de massieve flensverbinding van het blad. Om recht te doen aan deze vermindering van de trefkans is een verlagingsfactor factor 2 genomen.
- Niet iedere grote treffer van het object zal direct leiden tot een dodelijk slachtoffer. Aangenomen wordt dat er een kans is van 10% dat er geen dodelijk slachtoffer valt. (Vergelijkbaar aan aardbevingen wordt

er van uitgegaan dat bij het instorten van een gebouw er een kans is dat personen de ramp overleven). Dit leidt tot de verlaging van de trefkans met een verlagingsfactor: 1,11.

De locatiespecifieke kenmerken “verblijftijd” en “personen bevinden niet in de gevarenzone” gelden voor alle onderzochte faalmogelijkheden. Het kenmerk “niet volledig treffen” geldt in het geval van bladfalen door overtoeren. Stap 4 levert voor de Transithal de volgende verlagingsfactoren op voor de verschillende faalmogelijkheden:

- Mastbreuk: $4,2 * 1,11 = 4,67$
- Blad overtoeren $4,2 * 2 * 1,11 = 9,33$

Tabel 17 beschrijft het scenario van het treffen van het kantoorgebouw 1F02 tijdens kantooruren door de mast of door een blad in overtoeren. De combinatie van verschillende verlagingsfactoren heeft als gevolg dat het nieuwe risico in de groene zone komt van de Tata Steel risicotabel.

Als mogelijke aanvullende mitigerende maatregelen worden nog genoemd:

- afspraken maken met Bedrijfsvoering van Tata Steel bij bepaalde windrichtingen en windkracht;
- noodonttruiming kantoorgebouw 1F02 bij dreigend falen van de molen.

Nummer 6	Omschrijving:	Kantoorgebouw 1F02 wordt getroffen binnen kantooruren		
	Type:	Veiligheid		
Verlagingsfactor Stap 1,2,3		Verlagingsfactor Stap 4		Totale verlagingsfactor
Mast	136,5	Mast	4,67	637
Blad Nominaal		Blad Nominaal		
Blad Overtoeren	105	Blad Overtoeren	9,33	980
Trefkans oud			Trefkans nieuw	
Mast	2,4E-06		3,8E-09	
Blad Nominaal				
Blad Overtoeren	1,0E-07		1,0E-10	
Totaal			3,9E-09	
Tata Risicotabel				
5C			5A	

Tabel 17: Scenario kantoorgebouw 1F02 wordt getroffen binnen kantooruren

5.7 Scenario 7: Schip BUKA3

Bij de beoordeling conform het Handboek Risicozonering Windturbines valt de kans dat het schip BUKA3 wordt getroffen door de mast of door een blad met overtoeren in de categorie geel van de Tata Steel risico tabel: 4C. De minimale verlagingsfactor om te komen tot de groene categorie van de Tata Steel risicotabel is 20.

Naast de generieke verlagingsfactoren uit de Stappen 1, 2 en 3 zijn er met betrekking tot het schip BUKA3 een aantal locatiespecifieke kenmerken. Deze kenmerken staan hieronder weergegeven.

- de trefkans berekening is gedaan voor de meest kritische positie van de kraan. De werkelijke trefkans zal lager zijn. Dit is moeilijk te bepalen en daarom is er voor dit geval geen verlagingsfactor toegepast;

- vergelijkbaar met de verlagingsfactoren voor het treffen van 1F02 buiten kantooruren, wordt voor het blad bij overtoeren nog een verlagingsfactor toegepast de massieve flens. Het trefkansmodel, dat gebruikt wordt voor de berekeningen, wordt het zwaartepunt van het blad gevolgd. Bij de berekening van de trefkans wordt ook de situatie meegeteld dat het zwaartepunt naast het object valt en slechts de tip van het blad het object raakt. Ook is het mogelijk dat het zwaartepunt wel het object raakt, maar dat het onderdeel van het blad met de flens naast het object terecht komt. In beide gevallen zal de schade kleiner zijn dan wanneer het object getroffen wordt door de massieve flensverbinding van het blad. Om recht te doen aan deze verlaging van de trefkans is een verlagingsfactor factor 2 genomen;
- niet iedere grote treffer van het object zal direct leiden tot een dodelijk slachtoffer. Aangenomen wordt dat er een kans is van 10% dat er geen dodelijk slachtoffer valt. (Vergelijkbaar aan aardbevingen wordt er van uitgegaan dat bij het instorten van een gebouw er een kans is dat personen de ramp overleven). Dit leidt tot de verlaging van de trefkans met een verlagingsfactor: 1,11.

Het kenmerk “niet volledig treffen geldt in het geval van bladfalen door overtoeren” geldt uiteraard alleen voor blad bij overtoeren. Het locatiespecifieke kenmerk “personen bevinden niet in de gevarezone” geldt voor beide onderzochte faalmogelijkheden. Stap 4 levert voor het Schip BUKA3 de volgende verlagingsfactoren op voor de verschillende faalmogelijkheden:

- Mastbreuk: 1,11
- Blad overtoeren $2 \times 1,11 = 2,22$

Tabel 18 beschrijft het scenario van het treffen Schip BUKA3 getroffen door de mast of door een blad in overtoeren. De combinatie van verschillende verlagingsfactoren heeft als gevolg dat het nieuwe risico in de groene zone komt van de Tata Steel risicotabel.

Als mogelijke aanvullende mitigerende maatregelen worden nog genoemd het instellen van sectormanagement bij de betreffende windturbine zodat, afhankelijk van de windrichting, windturbine selectief aan blijven zodat kwetsbare gebied wordt ontzien.

Nummer 7	Omschrijving:	Schip BUKA3		
	Type:	Veiligheid		
Verlagingsfactor Stap 1,2,3		Verlagingsfactor Stap 4		Totale verlagingsfactor
Mast	136,5	Mast	1,11	152
Blad Nominaal		Blad Nominaal		
Blad Overtoeren	105	Blad Overtoeren	2,22	233
Trefkans nieuw				
Mast	2,0E-05		1,3E-07	
Blad Nominaal				
Blad Overtoeren	1,5E-07		6,4E-10	
Totaal			1,3E-07	
Tata Risicotabel				
4C			4B	

Tabel 18: Beoordeling scenario Schip BUKA3 getroffen door mast of blad overtoeren

5.8 Scenario 8: Transithal (financieel)

Bij de beoordeling conform het Handboek Risicozonering Windturbines valt de kans dat de Transithal wordt getroffen door een mast of door een blad nominaal of door een blad met overtoeren in de categorie rood van de Tata Steel risico tabel: 4D. De minimale verlagingsfactor om te komen tot de groene categorie van de Tata Steel risicotabel is 244.

Naast de generieke verlagingsfactoren uit de Stappen 1, 2 en 3 zijn er met betrekking tot de Transithal een aantal locatiespecifieke kenmerken. Deze kenmerken staan hieronder weergegeven.

- vergelijkbaar met de verlagingsfactoren voor het treffen van de Transithal in par 5.5, wordt voor het blad bij nominaal toeren en bij overtoeren nog een verlagingsfactor toegepast de massieve flens. Het trefkansmodel, dat gebruikt wordt voor de berekeningen, wordt het zwaartepunt van het blad gevolgd. Bij de berekening van de trefkans wordt ook de situatie meegeteld dat het zwaartepunt naast het object valt en slechts de tip van het blad het object raakt. Ook is het mogelijk dat het zwaartepunt wel het object raakt, maar dat het onderdeel van het blad met de flens naast het object terecht komt. In beide gevallen zal de schade kleiner zijn dan wanneer het object getroffen wordt door de massieve flensverbinding van het blad. Om recht te doen aan deze verlaging van de trefkans is een verlagingsfactor factor 2 genomen;
- ook kan de mast bij mastbreuk naast de Transithal vallen, waarbij deze alleen geraakt wordt door het blad. Dit levert een veel kleinere impact op. De verlagingsfactor hiervoor is bepaald op 1,45.

Het kenmerk “niet volledig treffen door een blad” geldt voor blad bij nominaal toeren en bij overtoeren en het kenmerk “niet volledig treffen bij het omvallen van de mast” geldt uiteraard alleen voor mastbreuk. Stap 4 levert voor de Transithal de volgende verlagingsfactoren op voor de verschillende faalmogelijkheden:

- Mastbreuk: 1,45
- Blad nominaal 2
- Blad overtoeren 2

Als mogelijke aanvullende mitigerende maatregelen worden nog genoemd:

- afspraken maken met Bedrijfsvoering van Tata Steel bij bepaalde windrichtingen en windkracht.
- het aanbrengen van strekstroomkjes op de mast

Tabel 19 beschrijft het scenario van het treffen Transithal wordt getroffen door mast, blad nominale toeren of blad overtoeren. De combinatie van verschillende verlagingsfactoren heeft als gevolg dat het nieuwe risico in de gele zone komt van de Tata Steel risicotabel.

als gevolg dat het nieuwe risico in de gele zone komt van de Tata Steerhloot

Nummer	Omschrijving:	Transithal wordt getroffen		
8	Type:	Financieel		
Verlagingsfactor Stap 1,2,3		Verlagingsfactor Stap 4		Totale verlagingsfactor
Mast	136,5	Mast	1,45	198
Blad Nominaal	105	Blad Nominaal	2	210
Blad Overtoeren	105	Blad Overtoeren	2	210
Trefkans oud			Trefkans nieuw	
Mast	4,3E-05		2,2E-07	
Blad Nominaal	2,0E-04		9,5E-07	
Blad Overtoeren	5,8E-07		2,8E-09	
Totaal			1,2E-06	
Tata Risicotabel				
4D			4C	

Tabel 19: Scenario transithal wordt getroffen door mast, blad nominale toeren en blad overtoeren

6 Conclusies

In dit rapport is het aannemelijk gemaakt dat de trefkansen die in een eerdere studie zijn bepaald op basis van het Handboek Risicozonering Windturbines zeer conservatief zijn. Er is aannemelijk gemaakt dat de technologische verbeteringen, de verhoogde veiligheidseisen bij Eneco en de aanvullende veiligheidsmaatregelen voor windpark Spuisluis een aanzienlijke verbetering van de faalfrequenties laten zien. Daarnaast dragen de locatiespecifieke kenmerken ook flink bij aan het vermindering van de faalfrequenties. In Tabel 20 is een overzicht gegeven van de resultaten uit dit rapport Herziening faalkansen en het eerder ingediende veiligheidsrapport⁷. Dit betekent dat de onderzochte scenario's bij Tata Steel op één na alle groen scoren conform de risicomatrix van Tata Steel.

Scenario		Faalkans Berekening Handboek	Cat. Tata Steel veiligheidstabel	Rapport Verdieping faalkansen	Cat. Tata Steel veiligheidstabel
Nr	Naam				
1	HS kabels	1,1E-07	5B	1,0E-09	5A
2	Pompstation 3	8,9E-08	5B	4,2E-10	5A
3	Slagschaduw ruim schip		4C		
4	1F02 buiten kantooruren	2,5E-06	4C	1,6E-08	4B
5	Transithal veiligheid	2,4E-04	4D	5,3E-07	4B
6	2F02 binnen kantooruren	2,5E-06	5C	3,9E-09	5A
7	Schip BUKA3	2,0E-05	4C	1,3E-07	4B
8	Transithal financieel	2,4E-04	4D	1,2E-06	4C

Tabel 20: Vermindering van faalkans per type falen

Overige conclusies:

- de omgevingsveiligheid van de omgeving van windturbines is gewaarborgd aangezien aan de normen in het Activiteitenbesluit wordt voldaan;
- er is geen juridisch kader voor de economische schadeafhandeling van windturbine incidenten, partijen dienen hier samen uit te komen;
- het Handboek Risicozonering Windturbines is niet bedoeld om economische schade mee te berekenen;
- het Handboek Risicozonering Windturbines is verouderd;
- hoewel het Handboek Risicozonering Windturbines het beste is wat er op dit moment beschikbaar is, kennen de resultaten een grote onzekerheidsmarge. De resultaten zijn volgens het Ministerie van I&M niet bedoeld om als strikte getalsmatige waarheden te worden gehanteerd, maar als startpunt voor een discussie;
- de effectafstanden en de impact van een onderdeel van de windturbines worden over het algemeen conservatief berekend;
- de trefkansberekeningen zijn conservatief van aard, en moeten vanwege de onzekerheid als een orde grootte inschatting worden gezien en niet als exact getal;

Het Handboek Risicozonering Windturbines geeft weinig handvaten om maatregelen te identificeren waarmee de risico's van windturbines kunnen worden verkleind en vanwege de ontbrekende basis is het

⁷ Trefkansberekeningen (I&BBE4373N002D0.1), Royal HaskoningDHV, 18 november 2016.

lastig om nieuwe maatregelen te kwantificeren. Hierdoor kunnen technologische verbeteringen en maatregelen alleen semi-kwantitatief worden beschouwd.

Bijlage

1. Artikel Antea over economische schade

Bijlage

2. Risico tabel Tata Steel IJmuiden

Risicomatrix Tata Steel IJmuiden, versie 1/2/2012						Potentiële kans						
Potentieel effect	Veiligheid & Gezondheid	Milieu	Reputatie	Financieel	Product- en service-kwaliteit	A	B	C	D	E	F	
						Vrijwel Ondenkbaar	Extreem Onwaarschijnlijk	Zeet Onwaarschijnlijk	Onwaarschijnlijk	Mogelijk tot Waarschijnlijk	Regelmatig	
						Nooit van gehoord	Nooit van gehoord in staalsector	Wel eens van gehoord in staalsector	Wel eens plaatsgevonden bij Tata Steel, gebeurt vaker in staalsector	Heeft plaatsgevonden in IJmuiden, gebeurt vaker bij Tata Steel	Komt regelmatig voor in IJmuiden	
						< 10 ⁻⁸ /jr	10 ⁻⁸ tot 10 ⁻⁶ /jr	10 ⁻⁶ tot 10 ⁻⁴ /jr	10 ⁻⁴ tot 10 ⁻² /jr	10 ⁻² tot 1 /jr	> 1 /jr	
5	Catastrofaal	≥ 5 doden binnen site, en/of één of meer doden buiten site	Extreem grote emissie gevaarlijke stof, langdurige milieuschade. Grote publieke bezorgdheid	Aanhoudende internationale onrust. Langdurige schade naam TATA	> 100 mln	Verlies aanzienlijk markt-aandeel	5A	5B	5C	5D	5E	5F
4	Zeet ernstig	Eén of meer (<5) doden en/of zeer ernstig letsel binnen site. Ziekenhuis-opname van mens(en) uit publiek	Ernstige overschrijding vergunde emissie met milieuschade. Correctieve maatregelen buiten site nodig	Nationale onrust, extern onderzoek, landelijke media aandacht	€ 10 -100 mln	Verlies klanten	4A	4B	4C	4D	4E	4F
3	Ernstig	Ernstig letsel met verzuim binnen site (LTI) en/of lichte veiligheids- en gezondheidseffecten op publiek	Grote overschrijding vergunde emissie met milieuschade. Effect buiten de site. Meerdere externe klachten	Regionale onrust, negatieve aandacht nationale media	€ 0,5 - 10 mln	Klachten van meerdere klanten	3A	3B	3C	3D	3E	3F
2	Serieus	Licht letsel, tijdelijk aangepast werk, recordable. Geen veiligheids- of gezondheidseffecten op publiek	Overschrijding vergunde emissie met herstelbare milieuschade. Externe klacht, mogelijk waarschuwing door autoriteiten	Lokale onrust, mogelijk lokale media aandacht	€ 100.000 - 500.000	Formele klanten-klacht	2A	2B	2C	2D	2E	2F
1	Gering	Gering letsel of gezondheidseffect, EHBO behandeling, geen invloed op inzetbaarheid	Kleine emissie met mogelijk geringe milieuschade binnen site	Geen publieke onrust, geen media aandacht	€ 10.000 - 100.000	Off-spec/ niet nakomen afspraak	1A	1B	1C	1D	1E	1F
0	Verwaarloosbaar	Geen gevolgen	Geen effecten	Geen gevolgen	< € 10.000	Geen klachten	0A	0B	0C	0D	0E	0F

Bijlage

3. NEN-en-iso13849

Bijlage

4. Rapport TUV Nord over NordeX Delta Generatie

Bijlage

5. Simulatiemodel windturbinejaren per generatie (type) windturbine

		Aantal geplaatste turbines in jaar																														BETA			GAMMA	
		Pre ALPHA																				ALPHA														
		1.0	1.2	1.4	1.7	2.1	2.5	3.0	3.6	4.3	5.2	6.2	7.4	8.9	10.7	12.8	15.4	18.5	22.2	26.6	37.3	44.7	53.7	64.4	77.3	92.7	111.3	155.8	187.0	224.4	314.1					
		1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010					
Operationeel in jaar	2000	1.0	1.2	1.4	1.7	2.1	2.5	3.0	3.6	4.3	5.2	6.2	7.4	8.9	10.7	12.8	15.4	18.5	22.2	26.6	37.3	44.7	53.7	64.4	77.3	92.7	111.3	155.8	187.0	224.4	314.1					
	2001		1.2	1.4	1.7	2.1	2.5	3.0	3.6	4.3	5.2	6.2	7.4	8.9	10.7	12.8	15.4	18.5	22.2	26.6	37.3	44.7	53.7	64.4	77.3	92.7	111.3	155.8	187.0	224.4	314.1					
	2002			1.4	1.7	2.1	2.5	3.0	3.6	4.3	5.2	6.2	7.4	8.9	10.7	12.8	15.4	18.5	22.2	26.6	37.3	44.7	53.7	64.4	77.3	92.7	111.3	155.8	187.0	224.4	314.1					
	2003				1.7	2.1	2.5	3.0	3.6	4.3	5.2	6.2	7.4	8.9	10.7	12.8	15.4	18.5	22.2	26.6	37.3	44.7	53.7	64.4	77.3	92.7	111.3	155.8	187.0	224.4	314.1					
	2004					2.1	2.5	3.0	3.6	4.3	5.2	6.2	7.4	8.9	10.7	12.8	15.4	18.5	22.2	26.6	37.3	44.7	53.7	64.4	77.3	92.7	111.3	155.8	187.0	224.4	314.1					
	2005						2.5	3.0	3.6	4.3	5.2	6.2	7.4	8.9	10.7	12.8	15.4	18.5	22.2	26.6	37.3	44.7	53.7	64.4	77.3	92.7	111.3	155.8	187.0	224.4	314.1					
	2006							3.0	3.6	4.3	5.2	6.2	7.4	8.9	10.7	12.8	15.4	18.5	22.2	26.6	37.3	44.7	53.7	64.4	77.3	92.7	111.3	155.8	187.0	224.4	314.1					
	2007								3.6	4.3	5.2	6.2	7.4	8.9	10.7	12.8	15.4	18.5	22.2	26.6	37.3	44.7	53.7	64.4	77.3	92.7	111.3	155.8	187.0	224.4	314.1					
	2008									4.3	5.2	6.2	7.4	8.9	10.7	12.8	15.4	18.5	22.2	26.6	37.3	44.7	53.7	64.4	77.3	92.7	111.3	155.8	187.0	224.4	314.1					
	2009										5.2	6.2	7.4	8.9	10.7	12.8	15.4	18.5	22.2	26.6	37.3	44.7	53.7	64.4	77.3	92.7	111.3	155.8	187.0	224.4	314.1					
2010											6.2	7.4	8.9	10.7	12.8	15.4	18.5	22.2	26.6	37.3	44.7	53.7	64.4	77.3	92.7	111.3	155.8	187.0	224.4	314.1						
Totaal gebruiksjaar		1.0	2.4	4.3	6.9	10.4	14.9	20.9	28.7	38.7	51.6	68.1	81.7	98.1	117.7	141.2	169.5	203.4	244.0	292.9	410.0	447.3	483.1	515.3	541.0	556.5	556.5	623.3	560.9	448.7	314.1					

