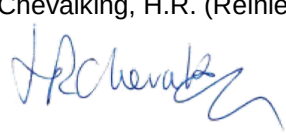
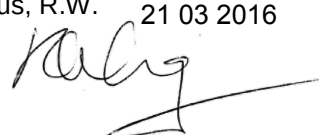


Externe veiligheidsanalyse windturbines aan de Oostpolderdijk

In opdracht van RWE Innogy

rev. nr.	datum	omschrijving
D	21-03-2016	samenvoeging oplegnotitie en rapport (definitief)
C	07-09-2015	definitief
B	20-08-2015	2 ^e concept
A	17-07-2015	1 ^e concept

auteur(s):	Chevalking, H.R. (Reinier)	beoordeeld:	Langius, R.W.	21 03 2016
21 03 2016		21 03 2016		
naam:	Externe veiligheidsanalyse windturbines Oostpolderdijk_versie D	goedgekeurd:	Prins, A.	21 03 2016
referentienr.:	23238.23/15.134406 C & S/RC/RJo	status:	FINAL	
46 pagina's	21-3-2016			

Inhoudsopgave

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Situatieschets	10
2.1 Locaties van de windturbines	10
2.2 Windturbinegegevens	10
2.3 Objecten in het invloedsgebied van de windturbines	11
3 Toetsingskaders	13
3.1 Ondergrondse buisleidingen	13
3.2 Compressorstation Spijk	13
3.2.1 Verdringercompressoren	14
3.2.2 Bovengrondse buisleidingen op het westelijk deel van het terrein	14
3.3 Oostpolderdijk	15
3.3.1 Toetscriteria volgens het HRW	15
3.3.2 Alternatieve toetscriteria	15
3.4 Fietspad op de dijk	16
3.4.1 Individueel Passanten Risico (IPR)	16
3.4.2 Maatschappelijk Risico (MR)	17
3.4.3 Vallende kleine onderdelen	17
3.5 Diverse leidingen en kabels in de dijk	17
3.5.1 Leidingen	18
3.5.2 Kabels	18
4 Aanpak trefkansanalyse	19
4.1 Faalscenario's van een windturbine	19
4.1.1 Bladworp	19
4.1.2 Mastbreuk	20
4.1.3 Rotor/gondelval	20
4.1.4 Faalfrequenties	21
4.2 Ondergrondse buisleidingen	21
4.2.1 Kritische afstand en breedte	21
4.2.2 Trefkansbepaling	22
4.3 Compressorstation Spijk	23
4.4 Oostpolderdijk	23
4.4.1 Bladworp	23
4.4.2 Mastbreuk	23
4.4.3 Rotor/gondelval	26
4.5 Fietspad langs de dijk	26
5 Resultaten en toetsing	27
5.1 Risicocontouren en worpafstanden van de windturbines	27
5.2 Ondergrondse buisleidingen	28
5.2.1 Bladworp	28
5.2.2 Mastbreuk	29
5.2.3 Rotor/gondelval	29
5.3 Compressorstation Spijk	30
5.4 Oostpolderdijk	30
5.4.1 Trefkansen dijkzones	30

5.4.2	Toetsing dijkveiligheid	31
5.5	Fietspad langs de dijk	32
5.5.1	IPR en MR	32
5.5.2	Vallende kleine onderdelen	32
6	Conclusies en aanbevelingen	34
6.1	Ondergrondse buisleidingen	34
6.2	Compressorstation Spijk	34
6.3	Oostpolderdijk	35
6.4	Fietspad langs de dijk	35
7	Bibliografie	36
Lijst van tabellen		37
Lijst van figuren		37
Bijlage A	Zoekvlakken en invloedsgebied windturbines	39
Bijlage B	Beschrijving aanpak analyse waterveiligheid	40
B.1	Inleiding	40
B.2	Afbakening dijkzones en bijbehorende faalmechanismen	40
B.2.1	De dijkzones	41
B.2.2	Identificatie van relevante faalmechanismen	41
B.2.3	Samenvoeging functionele zones en faalkansmechanismen	42
B.3	Faalscenario's windturbines	42
B.3.1	Bladworp	42
B.3.2	Mastbreuk	43
B.3.3	Rotor/gondelval	44
B.4	Impact van de windturbine faalmechanismen op de dijk	44
B.5	Aanpak van de kwantificering van de additionele faalkans	44
Bijlage C	Effect WTG's op buisleiding A-542-01	45
Bijlage D	Effect WTG's op buisleiding A-659	46

Samenvatting

RWE werkt aan de ontwikkeling van Windpark Dankzij de Dijken. Fase 1 van dit project bestaat uit de bouw van een drietal windturbines (WTG01/02/03) langs de Oostpolderdijk, in de zuidoosthoek van het Windpark Eemshaven. In de nabijheid van de geplande windturbines bevinden zich gasinfrastructuur, een fietspad, en een primaire waterkering. Voorliggend rapport is een verslaglegging van de externe veiligheidsanalyse waarin het effect van de windturbines op deze objecten wordt beschouwd.

De analyse is daar waar van toepassing uitgevoerd conform het Handboek Risico Zonering Windturbines met één representatief type windturbine uit de 3MW klasse. Na vergunningverlening zal RWE een definitieve windturbine keuze gaan maken, waarbij een nieuwe kwantificering zal worden gemaakt.

Voor de invloed van windturbines op de waterveiligheid van de Oostpolderdijk is een nieuwe methodiek opgesteld waarin de invloed van de faalscenario's van windturbines op de afzonderlijke faalmechanismen van een dijk zijn beschouwd. De totstandkoming van deze methodiek is een samenwerking geweest tussen NRG, Deltares, Arcadis en RWE.

Ondergrondse buisleidingen A-542-01 en A659

Wanneer het midden van de zoekvlakken aangehouden wordt is de onderlinge afstand tussen de windturbines en beide buisleidingen groter dan de maximale worpafstand bij nominaal toerental. De onderlinge afstand tussen de meest westelijke posities binnen de zoekvlakken en de ondergrondse buisleidingen is kleiner dan deze afstand. Voor de A-659 buisleiding geldt dat er voldoende gronddekking is om falen van de buisleiding ten gevolge van een vallend windturbineblad te voorkomen.

Voor de A-542-01 buisleiding is dit niet het geval en is een kwantificering uitgevoerd om het additionele risico op deze buisleiding te bepalen. De conclusie van deze kwantificering is dat op diverse plekken de additionele bijdrage van WTG01 en WTG02 ten opzichte van de autonome faalfrequentie aanzienlijk is. Dit betreft een drietal stroken van respectievelijk 60, 35 en 20 meter lang, waarbij de gronddekking enkele centimeters tot maximaal 30 centimeter kleiner is dan de kritische afstand. Vanwege de lage autonome faalfrequentie van de buisleiding is de relatieve bijdrage van de windturbines op falen van de buisleiding zeer groot.

Om de bijdrage van deze windturbines te voorkomen of mitigeren kunnen een aantal acties genomen worden zoals:

- plaatsen van de WTG01 en WTG02 in de zone waarbij deze geen invloed hebben op buisleiding A-542-01;
- vergroten van de gronddekking boven de buisleiding op de stroken waar deze onvoldoende is;
- kiezen van een windturbintype met een maximale worpafstand bij nominaal toerental die kleiner is dan de onderlinge afstand tussen de windturbines en de ondergrondse buisleiding

Na vergunningverlening zal RWE een definitieve windturbine keuze gaan maken, waarbij een nieuwe kwantificering zal worden gemaakt. Mitigerende maatregelen zullen worden afgestemd en vastgelegd.

Compressorstation

In samenspraak met Gasunie is een tweetal objecten op het terrein geïdentificeerd waarvan de externe veiligheid mogelijk beïnvloed wordt door WTG03. Dit zijn de compressoren en een aantal bovengrondse buisleidingen op het westelijk deel van compressorstation (CS) terrein. Afhankelijk van de additionele bijdrage van WTG03 op het falen van deze componenten kan besloten worden om wel of geen update van de QRA van CS Spijk uit te voeren.

De bijdrage van WTG03 op het falen van de compressoren is ten opzichte van de autonome faalfrequentie zeer klein. In overleg met Gasunie is gekozen om geen trefkansen te berekenen van de afzonderlijke componenten rondom de compressoren (flensverbindingen en buisleidingen). Wanneer dit, in verband met een mogelijke update van de QRA van CS Spijk, in de toekomst wel uitgevoerd wordt, dient rekening gehouden te worden met het feit dat de in deze analyse bepaalde trefkans van de compressoren niet rechtstreeks geschikt is voor toepassing in het QRA model.

De impact van WTG03 op de bovengrondse buisleidingen op het westelijk deel van terrein van CS Spijk bedraagt ongeveer 5% van de autonome faalfrequentie van deze leidingdelen en voldoet daarmee aan het gestelde toetscriterium.

Waterveiligheid

De invloed van windturbines op de waterveiligheid is met behulp van een nieuwe methodiek gekwantificeerd. Deze methodiek is vastgelegd in een separaat rapport waarin de aanpak en de achterliggende theorie uitgebreid is uitgewerkt. Met behulp van de in deze analyse berekende trefkansen is de invloed van windturbines op de dijk per windturbine per faalmechanisme van de dijk getoetst.

De conclusie uit de gezamenlijke analyses is dat er ten aanzien van *waterveiligheid* geen bezwaar is op het plaatsen van windturbines op de Oostpolderdijk. De bijdrage aan de afzonderlijke faalmechanismen van de dijk is voor elk faalmechanisme minder dan de gebudgetteerde 1%. Daarnaast is de bijdrage van windturbines op het faalkans budget voor niet-waterkerende objecten ruimschoots binnen de 10%.

Fietspad op de dijk

De aanwezigheid van windturbines op de Oostpolderdijk levert een marginale bijdrage aan het IPR en MR van het fietspad langs de dijk. Ten aanzien van beide criteria voldoet de aanwezigheid van de windturbines op de Oostpolderdijk.

Ten aanzien van afvallend ijs en onderdelen in geval van onderhoud of werkzaamheden aan de windturbines dienen in deze situaties een of twee mitigerende maatregelen genomen te worden:

- Oriëntatie rotorbladen aanpassen: stand van het vlak van de rotorbladen parallel aan fietspad
- Fietspad afsluiten

Hiermee worden de risico's voor potentiële passanten over het fietspad voldoende afgedekt.

1 Inleiding

RWE werkt aan de ontwikkeling van Windpark Dankzij de Dijken. Fase 1 van dit project bestaat uit de bouw van een drietal windturbines langs de Oostpolderdijk (locaties 9, 10 en 11, WTG01/02/03) in de zuidoosthoek van het Windpark Eemshaven. De realisatie van dit drietal windturbines langs de Oostpolderdijk loopt procedureel gelijk op met de geplande dijkversterking door het Waterschap Noorderzijlvest.

In de nabijheid van de geplande windturbines bevinden zich o.a. gasinfrastructuur, een fietspad, en een primaire waterkering, namelijk de Oostpolderdijk. In het kader van de Milieu Effect Rapportage (MER) dient er een externe veiligheidsanalyse uitgevoerd te worden, waarin het effect van de windturbines op deze objecten wordt beschouwd.

Dit rapport beschrijft de aanpak en resultaten van de externe veiligheidsanalyse van de drie nieuw te bouwen windturbines op de Oostpolderdijk. Deze externe veiligheidsanalyse is daar waar van toepassing uitgevoerd conform het Handboek Risico Zonering Windturbines (HRW) [1].

Voorliggend rapport is als volgt opgebouwd:

- In hoofdstuk 1: de inleiding.
- In hoofdstuk 2: een situatieschets en een overzicht van de windturbine-eigenschappen en de te analyseren objecten.
- In hoofdstuk 3: vastlegging van de toetsingskaders voor de analyse.
- In hoofdstuk 4: beschrijving van de aanpak van de analyse. Hierbij zal kort ingegaan worden op de specifieke analysetechnieken per te analyseren object.
- In hoofdstuk 5: uitwerking van de tref- en bezwijkkansen en de toetsing van de geïdentificeerde objecten
- In hoofdstuk 6: conclusies

Versie D van dit rapport betreft een samenvoeging van het oorspronkelijke rapport (versie C) en oplegnotitie “Effect verplaatsing windturbines Oostpolderdijk op EV” [2]. In de genoemde oplegnotitie is het effect van een aangepaste locatie van de windturbineposities op de Gasunie-objecten beschouwd. Tevens zijn in versie D een aantal opmerkingen over toetscriteria van compressorstation (CS) Spijk verwerkt naar aanleiding van gesprekken met de Omgevingsdienst Groningen.

2 Situatieschets

2.1 Locaties van de windturbines

RWE heeft binnen het plangebied voor de windturbines een drietal zoekvlakken vastgelegd waarbinnen de locatie van de windturbines zal vallen. In Bijlage A zijn de zoekvlakken van de windturbines langs de Oostpolderdijk weergegeven. In Tabel 2.1 zijn de coördinaten van het midden en het meest westelijke punt van de zoekvlakken voor de windturbines weergegeven. Dit betreft de Rijksdriehoekskoördinaten (RD-coördinaten). De voorgenomen locaties van de windturbines bevinden zich op de binnenberm van de Oostpolderdijk.

Tabel 2.1 Locaties Windturbines

Windturbine	Coördinaten			
	midden		west	
	RD-X	RD-Y	RD-X	RD-Y
WTG01	253863	604597	253852	604597
WTG02	253854	604237	253842	604237
WTG03	253849	603877	253841	603877

2.2 Windturbinegegevens

RWE onderzoekt in het kader van de m.e.r.-procedure twee alternatieven voor het plaatsen van windturbines, namelijk turbines uit de 3MW klasse of uit de 6MW klasse. In deze externe veiligheidsbeoordeling wordt één type windturbine nader beschouwd, die als representatief kan gelden voor de 3MW klasse, namelijk de Lagerwey LW 100- 3MW. In Tabel 2.2 zijn de voor deze analyse relevante windturbine gegevens opgenomen.

Tabel 2.2 Windturbinegegevens Lagerwey LW 100- 3MW

Eigenschap	Eenheid	Grootte
Nominaal toerental	[rpm]	15,2
Maximaal toerental	[rpm]	18
Aantal bladen	[-]	3
Lengte bladen	[m]	48,8
Rotordiameter	[m]	100
Massa van het blad	[kg]	9.200
Zwaartepunt ¹	[m]	14,5
Oppervlakte van het blad	[m ²]	100,3
Massa gondel (incl. naaf en generator)	[kg]	100.000
Massa mast	[kg]	269.200
Ashoogte ²	[m]	98

2.3 Objecten in het invloedsgebied van de windturbines

De blauwe cirkels rondom de locaties weergegeven in Bijlage A geven het invloedsgebied weer van de windturbines op de omgeving. De reikwijdte (straal) van deze cirkels is bepaald door de maximale worpafstand van een windturbineblad bij overtoeren. In §4.1.1 wordt de totstandkoming van dit getal toegelicht. De volgende objecten, die zich binnen het invloedsgebied van de windturbines bevinden, worden vanuit oogpunt van externe veiligheid getoetst:

- Ondergrondse hogedruk buisleidingen A-542-01 en A-659
- Gascompressorstation Spijk
- Oostpolderdijk
- Fietspad op de Oostpolderdijk
- Diverse leidingen en kabels in de Oostpolderdijk

¹ Gemeten ten opzichte van verbindingsflens van het blad met de naaf van de windturbine.

² Voor bladworpsimulaties en de bepaling van de kritische afstanden van buisleidingen wordt een hoogte van 105,5 m aangehouden vanwege de mogelijk verhoogde plaatsing van de windturbine ten opzichte van de omgeving.

3 Toetsingskaders

In dit hoofdstuk is per object het toetsingskader weergegeven zoals dit in het HRW is benoemd. Daar waar het HRW onvoldoende kader biedt of afwijkende kaders gehanteerd dienen te worden, wordt dit benoemd.

3.1 Ondergrondse buisleidingen

In hoofdstuk 9 van het HRW zijn de criteria weergegeven om de invloed van een windturbine op de veiligheid van buisleidingen te toetsen. Hierin wordt voor ondergrondse buisleidingen geadviseerd minimaal een afstand aan te houden die gelijk is aan de grootste van de volgende waarden:

- maximale werpafstand bij nominaal toerental
- ashoogte + $\frac{1}{2}$ rotordiameter (=tipafstand)

Het HRW stelt dat indien aan deze afstandseis wordt voldaan wordt, er geen kwantitatieve risicoanalyse nodig is. Indien dit niet het geval is moet er een kwantitatieve analyse gedaan worden welke beoordeeld dient te worden door bevoegd gezag. Voor meer inhoudelijke informatie over de aanpak van deze kwantificering wordt verwezen naar het HRW [1], hoofdstuk 9 en bijlage C4 en naar het beleid van Gasunie inzake het veilig plaatsen van windturbines nabij haar infrastructuur [3].

3.2 Compressorstation Spijk

Als onderdeel van het Besluit Risico's Zware Ongevallen (BRZO) dient Gasunie voor CS Spijk een kwantitatieve risicoanalyse (QRA) uit te voeren met het rekenprogramma Safeti-NL. Omdat de te plaatsen windturbines mogelijk een effect hebben op de externe veiligheid van CS Spijk, en daarmee op de resultaten van de QRA, moet de trefkans³ van voor de externe veiligheid relevante objecten bepaald worden.

In samenspraak met Gasunie [4] is een tweetal objecten geïdentificeerd op het terrein van het CS die zich binnen het invloedsgebied van WTG03 bevinden en waarvan de trefkans bepaald dient te worden. Wanneer de bijdrage van WTG03 op deze objecten significant zou blijken, moet er een update van de QRA van CS Spijk uitgevoerd worden waarin de bijdrage van WTG03 is meegenomen. De geïdentificeerde objecten zijn een aantal bovengrondse buisleidingen op westelijk deel van het terrein van CS Spijk en de verdringercompressoren. In Figuur 1 is de locatie van beide objecten omcirkeld.

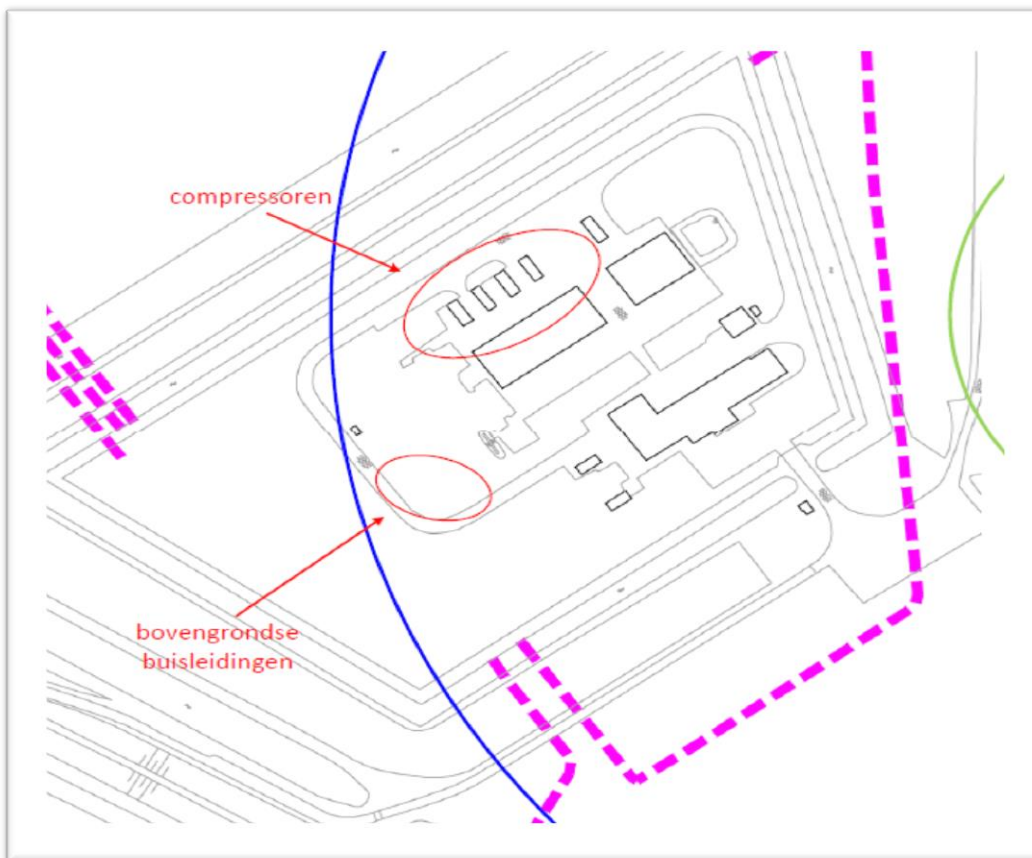
³ In dit document wordt (in lijn met terminologie in het HRW [1]) met het begrip *trefkans* een kans op treffen door een windturbineonderdeel **per jaar** bedoeld, in feite een treffrequentie.

3.2.1 Verdringercompressoren

Uit de vergelijking van de trefkans met de autonome faalfrequenties van de compressoren wordt bepaald of de windturbine significant bijdraagt aan het risico van het CS, en daarmee de Plaatsgebonden Risico (PR) $1E-6$ /jaar contour van het CS wel of niet (significant) zal wijzigen door de windturbines. Als de verwachting is dat de PR $1E-6$ /jaar contour van het CS wel (significant) wijzigt, dan moet deze opnieuw berekend worden met de additionele bijdrage van de windturbines op het falen van de compressoren. Om te bepalen of de PR $1E-6$ /jaar contour significant wijzigt wordt (conform HRW) een toetscriterium gehanteerd waarbij de bijdrage van de windturbines op het falen van de compressoren niet meer dan 10% van de autonome faalfrequentie van de compressoren mag zijn.

3.2.2 Bovengrondse buisleidingen op het westelijk deel van het terrein

Het HRW hanteert een minimale adviesafstand voor bovengrondse buisleidingen gelijk aan de maximale worpafstand bij overtoeren. Omdat de bovengrondse leidingen op het westelijk deel van het CS terrein deels binnen deze afstand liggen (binnen de blauwe cirkel in Bijlage A), dient een aanvullende kwantitatieve analyse uitgevoerd te worden om de bijdrage van de windturbine aan het falen van deze bovengrondse buisleidingen te bepalen. Wanneer bijdrage van de windturbines op het falen van de buisleidingen meer dan 10% bijdraagt aan de autonome faalfrequentie dan is herberekening met verwerking van de trefkans nodig.



Figuur 1 Locatie objecten op terrein van CS Spijk

In Tabel 3.1 zijn de door Gasunie verstrekte autonome faalfrequenties [5] voor de compressoren en bovengrondse buisleidingen weergegeven.

Tabel 3.1 Faalgegevens objecten CS Spijk

Object	Scenario	Frequentie [/jr]
Verdringercompressor	Breuk van de toevoerleiding	2,9E-04*
Bovengrondse buisleiding	Breuk van de toevoerleiding	2,8E-07**

* Voor de toetsing is falen van één enkele compressor gebruikt. Dit is een conservatieve aanname.

** De aangenomen bovengrondse buisleidinglengte op het westelijk deel van het CS terrein is circa 50 meter. Voor de toetsing van het effect van WTG03 op deze bovengrondse buisleiding is de autonome faalfrequentie ($5,6\text{E-}09 \text{ m}^{-1}\text{jr}^{-1}$) vermenigvuldigd met de buislengte (50 meter).

Omdat niet met zekerheid vastgesteld kan worden wat het precieze effect van de val van een windturbineonderdeel op deze objecten zal zijn, wordt voor de risicotoetsing (conservatief) enkel het ‘breuk’-effect getoetst van zowel de compressoren als de bovengrondse buisleidingen.

3.3 Oostpolderdijk

3.3.1 Toetscriteria volgens het HRW

In het HRW zijn de onderstaande criteria ten aanzien van de plaatsing van windturbines in de nabijheid van dijklichamen en waterkeringen benoemd:

- Plaatsing van windturbines wordt niet toegestaan in de kernzone⁴ van de primaire waterkering.
- Plaatsing van windturbines buiten de kernzone van de primaire waterkering wordt slechts toegestaan mits dit geen negatieve gevolgen heeft voor de waterkerende functie van de primaire waterkering conform de veiligheidsnorm van de Waterwet.

Deze eisen komen voort uit artikel 7 van de “Beleidsregel voor het plaatsen van windturbines op, in of over rijkswaterstaatwerken”.

3.3.2 Alternatieve toetscriteria

Vanwege de plaatsing van de windturbines binnen de kernzone dient er een alternatieve analyse uitgevoerd te worden waarin de risico’s van de windturbines voor de veiligheid van de waterkering Oostpolderdijk in kaart gebracht worden. Hierbij dient expliciet en kwantitatief de invloed van windturbines op het aspect *waterveiligheid* beschouwd te worden. Daarom is een werkgroep

⁴ Dit is de waterkering plus het gebied dat zich uitstrekt tot waar bezwijkmechanismen van de waterkering reiken (bijvoorbeeld het uittreepunt van een glijcirkel). (Definitie conform Voorschrift Toetsen op Veiligheid, versie 2006).

samengesteld waarin de expertise van Deltares, Arcadis en NRG gebruikt is om tot een aanpak te komen. De aanpak en analyseresultaten zijn weergegeven in [6].

In [6] is het toetscriterium als volgt gedefinieerd: “*De bijdrage van de NWO’s (niet waterkerende objecten) aan de faalkans per dijkfaalmechanisme moet verwaarloosbaar klein zijn. De additionele kans op dijkfalen door windturbines moet 1% tot 10% zijn van de toelaatbare kans van het beschouwde faalmechanisme zonder windturbines.*”

Deze eis wordt als volgt geïnterpreteerd:

1. 1% van de toelaatbare faalkans op doorsnedeniveau per dijkmechanisme; de kansbijdrage van alle faalincidenten van 1 windturbine moet kleiner zijn dan deze 1% doorsnedeniveau per faalmechanisme per windturbine
2. 10% van de toelaatbare faalkans op dijktrajectniveau voor alle niet-waterkerende objecten tezamen oftewel: de totale kansbijdrage van alle windturbines, gesommeerd voor alle faalmechanismen

Ad.1. Hierbij wordt de invloed per windturbine op de afzonderlijke **directe** faalmechanismen beschouwd [6]. Voor elk faalmechanisme geldt dat de invloed van windturbines kleiner dan 1% moet zijn.

Ad. 2. In de beschouwing waterveiligheid [6] wordt onderscheid gemaakt tussen faalkansbudget voor de faalmechanismen die direct tot overstroming kunnen leiden (directe faalmechanismen, 70%) en de faalmechanismen, die niet direct tot overstroming leiden (indirecte faalmechanismen, 30%). Onder de indirecte faalmechanismen vallen onder meer het falen van niet-waterkerende objecten (NWO’s). Dit zijn de categorieën bebouwing, begroeiing, pijpleidingen en overige objecten, waaronder ook windturbines. Door toe te staan dat de windturbines 10% van het budget van de toelaatbare faalkans op dijktrajectniveau voor niet-waterkerende objecten mogen gebruiken, blijft er nog 20% van dit faalkans budget over voor overige niet-waterkerende objecten.

Voor een uitgebreidere toelichting over de totstandkoming van de aanpak van de analyse van de waterveiligheid wordt verwezen naar Bijlage B en [6]. Bijlage B is een beknopte verslaglegging weergegeven van het proces dat heeft plaatsgevonden om tot een aanpak te komen. Daarnaast is in Bijlage B enige inhoudelijke informatie weergegeven zodat de lezer zonder waterveiligheidsachtergrond tot begrip kan komen van de aanpak voor toetsing van de waterveiligheid.

3.4 Fietspad op de dijk

Volgens het HRW dient een tweetal toetscriteria beschouwd te worden, namelijk het Individueel Passanten Risico (IPR) en het Maatschappelijk Risico (MR). Daarnaast wordt het vallen van kleine onderdelen behandeld.

3.4.1 Individueel Passanten Risico (IPR)

Het IPR is een risicomaat die aansluit bij de individuele beleving van de passant, namelijk de overlijdenskans per passant per jaar. Hierbij wordt de passant gevolgd gedurende zijn bezigheden in de nabijheid van een windturbine. Het IPR houdt dus rekening met de aanwezigheidsfractie van een passant;

dit is de procentuele verblijfsduur in de ‘gevaarlijke’ omgeving gedurende een jaar. Het maximaal toelaatbaar IPR wordt gesteld op $1E-06$ per jaar. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat een mens overlijdt, zodra deze geraakt wordt door een deel van een windturbine.

3.4.2 Maatschappelijk Risico (MR)

Het MR is de verwachtingswaarde van het aantal dodelijke slachtoffers per jaar. Dit is het product van het gemiddelde aantal dodelijke slachtoffers per passage en het aantal passages per jaar. Ten opzichte van het IPR wordt bij het MR met alle passages gerekend, in plaats van het aantal passages van één enkel persoon. Het externe veiligheidsbeleid van VROM houdt per industriële installatie een acceptabel risiconiveau aan van $2E-03$ dodelijke slachtoffers per jaar. Een maximaal toelaatbaar MR van $2E-03$ dodelijke slachtoffers per jaar sluit hierbij aan. Deze waarde wordt in dit rapport dan ook aangehouden voor toetsing.

3.4.3 Vallende kleine onderdelen

De faalfrequentie van het naar beneden vallen van kleine turbineonderdelen (bouten, blad- en tipdelen, ijs) mag kwalitatief bepaald worden. Het naar beneden vallen van kleine turbineonderdelen of ijs zijn incidenten die vooral risico’s vormen voor personen in het gebied onder de rotor (ervan uitgaande dat een windturbine wordt stilgezet bij ijsvorming aan de bladen). De frequenties van ijsafwerpen zijn zeer locatieafhankelijk en hiervoor is ook geen generieke waarde te bepalen. Bij kans op ijsvorming worden de turbines automatisch stilgezet (beveiliging).

3.5 Diverse leidingen en kabels in de dijk

Ter hoogte van de locaties van de windturbines bevinden zich in de dijk een aantal buisleidingen, een aantal waterleidingen, een tweetal datakabels en een elektriciteitskabel. Dit zijn:

- a. Lagedruk gasleiding, Enexis, diameter n.b. (aansluiting vanaf gas hogedruk (Enexis) naar gemaal)
- b. Hogedruk gasleiding, Enexis, diameter 50 mm, PE-80, (4 bar) SDR 17,6
- c. Datakabel, Ziggo
- d. Datakabel, Groningen Seaports
- e. Middenspanningskabel, Enexis
- f. Waterleiding in de dijk (veedrinkwaterleiding)
- g. Waterleiding in het landbouwperceel achter de dijk, Waterbedrijf Groningen, diameter 500 mm

Ad. b. Dit betreft een gasleiding waarin een maximale druk heerst van 4 bar. Besluit Externe Veiligheid Buisleidingen is wetgeving waaronder alleen buisleidingen met een druk vanaf 16 bar voor het transport van aardgas en vloeibare brandstoffen vallen.

3.5.1 Leidingen

Buisleidingen worden in het HRW onderverdeeld in:

1. leidingen waardoor minder risicovolle tot ongevaarlijke stoffen worden getransporteerd, zoals lagedruk aardgasleidingen, drinkwaterleidingen, rioleringen, en stadsverwarming.
2. leidingen waardoor gevaarlijke stoffen worden getransporteerd, zoals hogedruk aardgasleidingen en hogedruk brandstofleidingen of petrochemische leidingen.

Voor buisleidingen waardoor minder risicovolle tot ongevaarlijke stoffen worden getransporteerd, bestaan geen risicocriteria. Deze leidingen hoeven in een risicoanalyse dan ook niet te worden beschouwd. Dit is het geval voor alle bovengenoemde leidingen.

3.5.2 Kabels

Voor boven- of ondergrondse lijnen of kabels, zoals kabels voor telecom en centrale-antennesystemen en midden- of laagspanningsinfrastructuur, bestaan geen risicocriteria waaraan getoetst hoeft te worden. Deze kabels worden derhalve buiten beschouwing gelaten in deze risicoanalyse.

4 Aanpak trefkansanalyse

In de eerste paragraaf van dit hoofdstuk (§ 4.1) is de algemene aanpak van de trefkansanalyse volgens de methodiek zoals beschreven in het HRW weergegeven. In de daaropvolgende paragrafen (§ 4.2 - § 4.5) wordt per object toelichting gegeven over de in deze analyse gehanteerde (eventueel afwijkende) aanpak.

4.1 Faalscenario's van een windturbine

De risico's van een windturbine voor personen en objecten in de directe omgeving worden gevormd door drie faaltypen:

- bladworp, d.w.z. het afbreken en weggeworpen worden van (een gedeelte van) een rotorblad;
- mastbreuk, d.w.z. het omvallen van de mast (inclusief gondel en rotor);
- rotor/gondelval, d.w.z. het neerstorten van de gondel en/of rotor.

4.1.1 Bladworp

De treffrequentie van personen en objecten door afgeworpen rotorbladen wordt bepaald met behulp van een simulatiemodel. Het gebruikte rekenmodel is een kogelbaanmodel, waarbij rekening gehouden wordt met luchtweerstand, de windverdeling op de betreffende locatie en de liftkrachten van de rotorbladen. De praktische uitvoering hiervan vindt plaats door met behulp van een Monte Carlo-simulatie het ballistisch worpmodel te combineren met het effect van luchtkrachten. Hierbij wordt tevens rekening gehouden met de invloed van wind, door gebruik te maken van een windrichting- en snelheidsverdeling van een locatie in de nabijheid van de windturbines.

Gegevens met betrekking tot de verdeling van windsnelheden en windrichtingen zijn ontleend aan de windstatistiek van het KNMI [7], weerstation Lauwersoog. Weerstation Lauwersoog is het dichtstbijzijnde weerstation waarvan de windfrequentietabellen beschikbaar zijn.

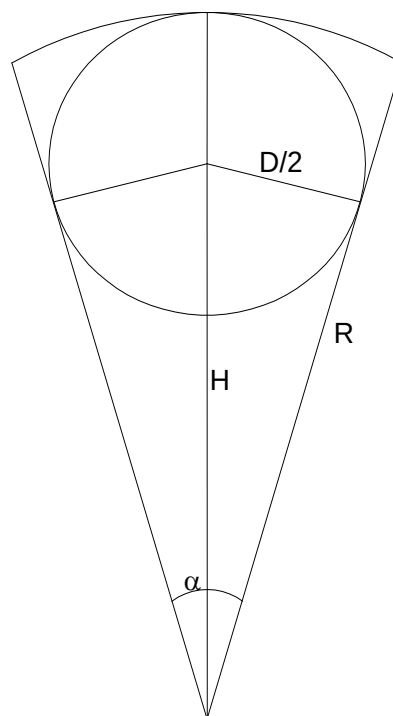
De simulatie levert een groot aantal (60.000) treffers op, die met behulp van een raster gelokaliseerd zijn. Gebruik makend van het bladoppervlakte en de faalfrequentie kan dit raster daarna verwerkt worden tot een risicocontour. Deze risicocontour wordt vervolgens in een aangeleverde kaart verwerkt zodat zichtbaar is waar de diverse contouren lopen. Met behulp van 3D software wordt hierna het risicovolume per object berekend.

In §2.3 wordt gerefereerd aan de reikwijdte van de windturbines. Deze komt tot stand door de maximale worpafstand van een windturbineblad bij overtoeren te bepalen. Hierbij wordt geen rekening gehouden met luchtkrachten. De overtoeren-situatie is een toerental waarbij de rotor tweemaal de nominale draaisnelheid heeft. De grootst geworpen afstand vermeerderd met 2/3 van de bladlengte is de maximale worpafstand in de overtoeren-situatie, en vormt het maximale theoretische invloedsgebied van de windturbines. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat voor moderne windturbines de overtoeren-situatie waarbij een dubbel toerental behaald wordt niet realistisch is, vanwege het aantal overtoeren-

beveiligingen dat ingebouwd is. Daarnaast is de inschatting dat een windturbineblad zal breken, vóórdat een dubbel toerental bereikt is. Deze wijze van berekenen van de grootte van het invloedsgebied van de windturbines levert derhalve een conservatieve (grote) waarde op.

4.1.2 Mastbreuk

De treffrequentie van personen en bovengrondse objecten ten gevolge van mastbreuk wordt bepaald door de windturbine te modelleren met behulp van een cirkelsegment met de zogenoemde openingshoek (α). In Figuur 2 is dit cirkelsegment weergegeven.



Figuur 2 Cirkelsegment ($R = \text{ashoogte } (H) + \text{rotordiameter } (D)/2$)

De trefkans van het object wordt gelijkgesteld aan de kans dat een gedeelte van het cirkelsegment in aanraking komt met het object. Hierbij is een uniforme verdeling aangenomen van de richting waarin de windturbinemast valt. Dat wil zeggen dat er geen windverdeling wordt toegepast om de richting waarin de mast valt, te bepalen.

4.1.3 Rotor/gondelval

De treffrequentie van personen en objecten ten gevolge van het neerstorten van de gondel met rotor of alleen de rotor wordt bepaald middels hetzelfde model als onder 4.1.2, waarbij de masthoogte (H) nul verondersteld wordt. Het risicogebied blijft dan beperkt tot een gebied rondom de mastvoet ter grootte van de rotordiameter.

4.1.4 Faalfrequenties

In Tabel 4.1 zijn de faalfrequenties weergegeven zoals deze in het HRW samengesteld zijn.

Tabel 4.1 Generieke faalfrequenties

Scenario	Faalfrequentie [l/jr]
Bladworp	
<i>Nominaal toerental</i>	8,4E-04
<i>Overtieren</i>	5,0E-06
Mastbreuk	1,3E-04
Rotor/gondelval	4,0E-05

Deze generieke data is gebaseerd op een historie van windturbines tot 2000. Voor moderne turbines wordt aangenomen dat de faalfrequenties aanzienlijk lager liggen. Initieel zal de risicobeoordeling echter plaatsvinden op basis van deze conservatieve generieke faalfrequenties uit het HRW. Indien er overschrijdingen geconstateerd worden van de toetsingscriteria, kan gekozen worden om een onderzoek te doen en een onderbouwing op te stellen naar reëlere faalfrequenties.

4.2 Ondergrondse buisleidingen

In onderstaande paragrafen is de totstandkoming van de bijbehorende trefkans uiteengezet.

4.2.1 Kritische afstand en breedte

Voor de trefkansbepaling van de ondergrondse buisleidingen dient eerst de kritische afstand bepaald te worden. De kritische afstand is de maximale afstand tussen een neerkomend turbineblad ten opzichte van de leiding waarbij de leiding nog faalt. Bij de bepaling van de kritische afstand wordt gebruik gemaakt van het shockwave-model (HRW, Bijlage C.4). Deze methodiek is afgeleid uit onderzoek naar de uitwerking van explosieven op ondergrondse pijpleidingen. Voor toepassing bij windturbines is de formule herschreven zodanig dat de maximale afstand waarbij de leiding nog faalt (de kritische afstand), volgt uit de hoeveelheid toelaatbare stress.

In Tabel 4.2 zijn de buisleiding parameters weergegeven die benodigd zijn om de kritische afstand te bepalen.

Tabel 4.2 Eigenschappen ondergrondse buisleidingen

Eigenschap buisleiding	Eenheid	A-542-01	A-659
minimum vloeigrens	Pa	4,14E+08	4,14E+08
interne gasdruk	Pa	7,06E+06	7,99E+06
diameter	mm	457	610
wanddikte	mm	7,03	9,3
elasticiteitsmodulus	Pa	2,10E+11	2,10E+11

Met behulp van de kritische afstand en de diepteligging van de buisleiding kan de kritische breedte bepaald worden. De diepteligging van deze leidingen is echter variabel. Dit heeft invloed op twee aspecten, namelijk de kritische breedte, maar ook de autonome faalfrequentie van de buisleidingen.

Ten aanzien van het eerste aspect kan het volgende gesteld worden: wanneer de kritische afstand kleiner is dan de diepteligging, is er voldoende gronddekking om de impact van een neervallend windturbine-onderdeel te weerstaan, en zal eventueel treffen van de grond boven dat leidingdeel niet leiden tot bezwijken. Wanneer de diepteligging kleiner is dan de kritische afstand zal er een kritische breedte ontstaan, en dient de trefkans getoetst te worden. In §8.1.2 van bijlage C.4 van het HRW [1] is in Figuur 21 een grafische weergave van de totstandkoming van de kritische breedte weergegeven.

Ten aanzien van het tweede aspect geldt dat de autonome faalfrequentie van buisleidingen direct gekoppeld is aan diepteligging ervan. Naarmate buisleidingen dieper liggen, is de autonome faalfrequentie lager.

4.2.2 Trefkansbepaling

In overleg met Gasunie is gekozen om per leidingsectie de trefkans door de windturbines te beschouwen. Een voordeel hiervan is dat er rekening gehouden kan worden met de variërende trefkans van de buisleiding bij de doorkruising van het invloedsgebied van de windturbines, en zodoende een nauwkeuriger afweging gemaakt kan worden bij de toetsing van de veiligheid.

Gasunie heeft een tweetal Excel-lijsten aangeleverd met daarin de RD-coördinaten van de leidingsecties, de bijbehorende diepteligging, en de autonome faalfrequentie.

Door gebruik te maken van de RD-coördinaten van de locaties van de windturbines en de RD-coördinaten van de leidingsecties kan de onderlinge afstand bepaald worden. De corresponderende trefkans voor die onderlinge afstand is de maat voor het trefkansniveau van de betreffende leidingsectie. Door dit trefkansniveau te vermenigvuldigen met de kritische breedte wordt de absolute trefkans van het betreffende leidingdeel verkregen. Bij deze trefkans berekening is uitgegaan van de meest westelijke locaties op de zoekvlakken zoals weergegeven in Bijlage A. Voor de berekening van de trefkans van de ondergrondse buisleidingen wordt gebruik gemaakt van het ballistisch worpmodel.

4.3 Compressorstation Spijk

De trefkansberekening van onderdelen van het CS Spijk is uitgevoerd conform de aanpak zoals beschreven in §4.1.1. Hierbij wordt de trefkans van het gebied waarin de compressoren zich bevinden als één geheel beschouwd en getoetst aan het falen van één compressor (conservatieve aanname). Bij deze trefkans berekening is uitgegaan van de meest westelijke locaties op de zoekvlakken zoals weergegeven in Bijlage A. De aangenomen bovengrondse buisleidinglengte op het westelijk deel van het CS terrein is 50 meter.

4.4 Oostpolderdijk

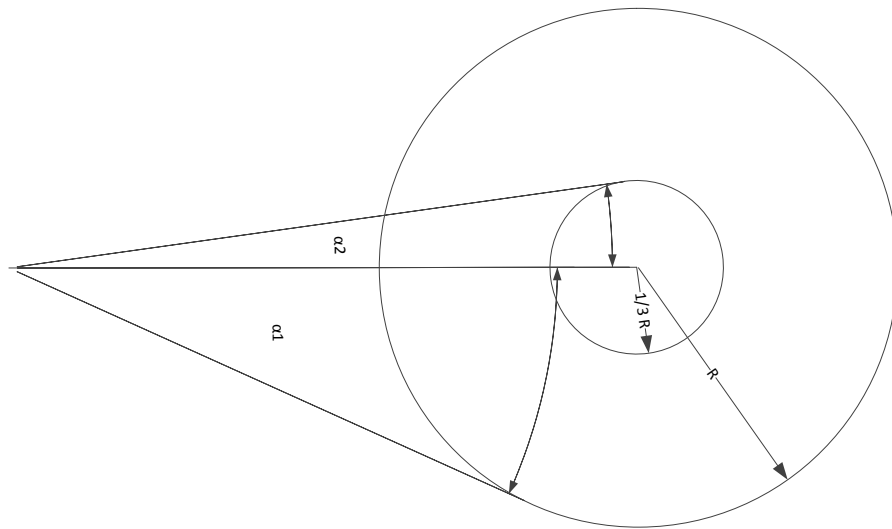
In dit deel wordt de aanpak voor de trefkansberekening van de verschillende dijkzones bepaald. De dijkzones zijn gedefinieerd in bijlage B.2.1. Voor de trefkans van de Oostpolderdijk zijn alle faalscenario's van windturbines van toepassing. In deze paragraaf wordt kort per faalscenario de aanpak van de trefkansberekening toegelicht.

4.4.1 Bladworp

Voor de trefkansberekening van bladworp op de dijkzones wordt eerst een risicocontour gebouwd conform de methodiek beschreven in §4.1.1. Voor alle drie de windturbines geldt een gelijke afstandsverdeling tot de vijf dijkzones zoals benoemd in bijlage B.2.1.

4.4.2 Mastbreuk

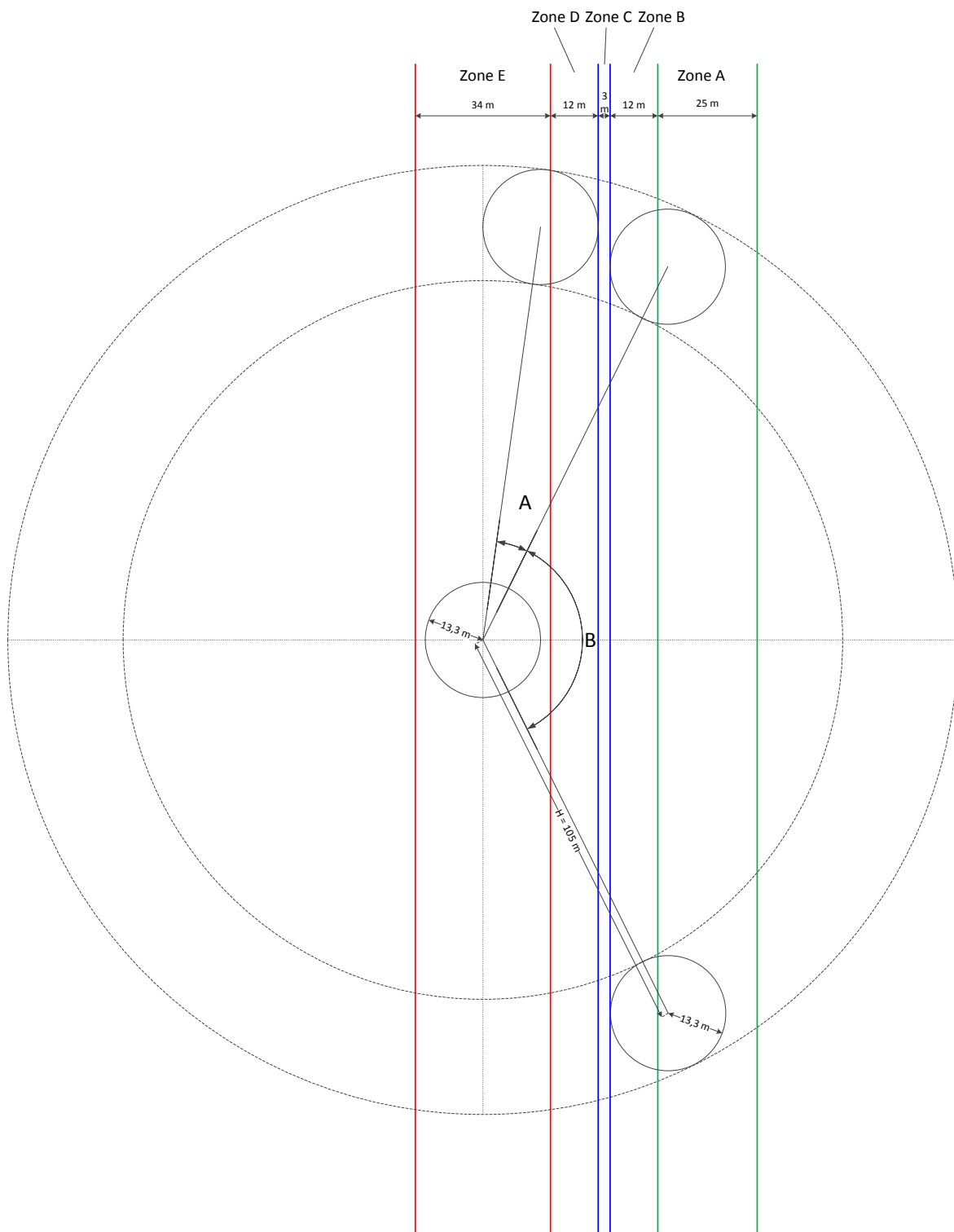
Per dijkzone moet de trefkans door mastbreuk berekend worden. Dit wordt gedaan conform de methode beschreven in §4.1.2. Echter vanwege het feit dat slechts 1/3 van het rotorblad in staat wordt geacht om noemenswaardige schade aan te richten [6] [8], is de hoek α kleiner dan bij het standaard mastbreukscenario.



Figuur 3 Cirkelsegment met gewijzigde hoek α vanwege een kleinere rotorstraal

In Figuur 3 is het verschil tussen de hoek α (1) bij de hele rotor, en de hoek α (2) weergegeven. Dit heeft tot gevolg dat het invloedsgebied van het faalscenario mastbreuk minder omvangrijk is.

In Figuur 4 is weergegeven hoe de bijdrage van mastbreuk gekwantificeerd wordt. Hierin is onderscheid gemaakt tussen de gondel en de mast. In de figuur is de bijdrage van mastbreuk op het treffen van Zone C weergegeven. De fractie waarbij de gondel Zone C treft is twee keer de hoek A gedeeld door de hele cirkel. De fractie waarbij alleen de mast zone C treft, is hoek B gedeeld door de hele cirkel.



Figuur 4 Weergave hoekberekening voor scenario mastbreuk (mast/gondel) op dijkzones

Met behulp van deze fracties vermenigvuldigd met de faalfrequentie van mastbreuk kan per zone de bijdrage van mast en gondel bepaald worden.

4.4.3 Rotor/gondelval

De aanpak voor rotor/gondelval is conform §4.1.3. In dit geval wordt echter net als bij het mastbreukscenario niet de hele rotorstraal als invloedsgebied meegenomen, maar slechts 1/3 R [6] [8]. Dit houdt in dat enkel Zone E te maken heeft met dit faalscenario.

4.5 Fietspad langs de dijk

De trefkansberekening van het fietspad wordt voor alle faalscenario's uitgevoerd conform de aanpak zoals beschreven in §4.1.

Het IPR wordt als volgt berekend:

$IPR = \text{aanwezigheidsduur} * \text{aantal passages per persoon} * \text{trefkans}$

Het MR wordt als volgt berekend:

$MR = \text{aanwezigheidsduur} * \text{aantal passerende personen (per windturbine)} * \text{trefkans}$

De aannames voor de berekening van het IPR en MR zijn weergegeven in Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Aannames passantengegevens fietspad over de dijk

Grootheid	Grootte	Eenheid
snelheid fiets	4,2	[m/s]
lengte passant incl. remweg	12	[m]
aantal passerende personen	66	[/dag]

Actuele gegevens over het aantal passanten over de Oostpolderdijk zijn niet voorhanden. Daarom is het aantal fietsers gebaseerd op het maximum aantal aangenomen fietsers over het gehele dijktraject zoals geschat in de Passende Beoordeling [9], locatie 3 (fietspad ten oosten van de Schaapweg, 66).

5 Resultaten en toetsing

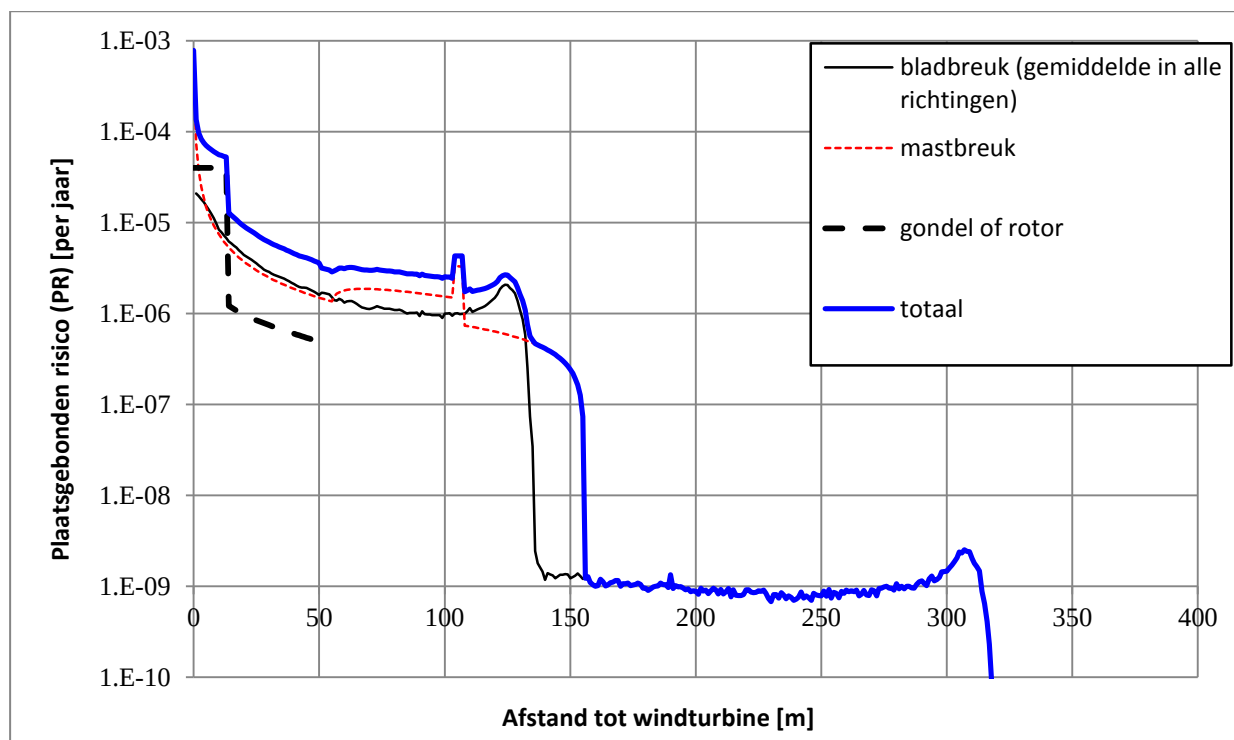
5.1 Risicocontouren en worpafstanden van de windturbines

De maximale theoretische worpafstand (ballistisch) van de doorgerkende Lagerwey windturbines is circa 345 meter in de overtoeren-situatie. De theoretische worpafstand vermeerderd met 2/3 bladlengte (circa 35 meter) bedraagt 380 meter. Deze afstand wordt gebruikt om het theoretische invloedsgebied van de windturbines te bepalen.

Wanneer de maximale theoretische worpafstand wordt berekend met inachtneming van luchtkrachten is deze circa 320 meter in de overtoeren-situatie. Deze worpafstand met luchtkrachten wordt gebruikt om de risico's (a.g.v. bladworp) van objecten te toetsen.

De maximale theoretische worpafstand bij nominaal toerental is 133 meter. De tipafstand, dat wil zeggen de maximale afstand waarbij een object wordt geraakt bij faalscenario mastbreuk, is 148 meter.

In Figuur 5 zijn de afzonderlijke bijdrages van de faalscenario's en een gesommeerde totale bijdrage van een windturbine aan het plaatsgebonden risico (PR) uitgezet tegen de afstand tot de windturbine. Dit betreft de bovengrondse invloed en een gemiddelde trefkans over alle windrichtingen, waarbij rekening is gehouden met luchtkrachten.



Figuur 5 PR versus afstand tot de windturbine

5.2 Ondergrondse buisleidingen

5.2.1 Bladworp

Volgens het afstandscriterium geformuleerd in §3.1 dient een beschouwing van de trefkansen als gevolg van het faalscenario bladworp uitgevoerd te worden. De maximale worpafstand bij nominaal toerental is namelijk 133 meter. In Tabel 5.1 zijn de onderlinge afstanden tussen de ondergrondse buisleidingen en de windturbines weergegeven. De blanco cellen geven de situaties weer waar geen verdere beoordeling plaats hoeft te vinden. De oranje cellen geven de situaties weer waarbij deze afstand kleiner is dan de maximale worpafstand bij nominaal toerental.

Tabel 5.1 Afstand tussen ondergrondse buisleidingen en windturbines

Windturbine	Afstand tot A-542-01 [m]		Afstand tot A-659 [m]	
	Midden	West	Midden	West
WTG01	137	125	145	133
WTG02	138	125	145	132
WTG03	208	200	134	125

Wanneer de buisleidingen binnen het invloedsgebied liggen van bladworp bij nominaal toerental is wel of niet bezwijken hiervan afhankelijk van de diepteligging van de buisleiding. Vanwege een variërende diepteligging van beide buisleidingen is de invloed van een neerstortend blad op de tracés variabel. Daar waar de buisleidingen dieper dan de kritische afstanden liggen, is er voldoende gronddekking om bezwijken van de buisleidingen te voorkomen. In dat geval is er, wanneer de ondergrondse buisleiding binnen het invloedsgebied van de maximale worpafstand bij nominaal toerental ligt, sprake van treffen = bezwijken.

Voor het faalscenario bladworp van de doorgerekende windturbines is de kritische afstand voor de A-542-01 buisleiding 2,16 meter, en voor de A-659 buisleiding 2,26 meter. In Bijlage C en Bijlage D is het verloop van de diepteligging van de buisleidingen weergegeven. Tevens is in deze grafieken het invloedsgebied van de WTG's weergegeven met behulp van de verticale blauwe lijnen. De diepteligging is rood gekleurd waar deze onvoldoende gronddekking biedt om de impact van een vallend turbineblad te weerstaan.

Voor de A-659 buisleiding geldt dat deze, daar waar de windturbinebladen de grond raken, voldoende gronddekking heeft om bezwijken hiervan te voorkomen.

Voor de A-542-01 is dit voor windturbines WTG01 en WTG02 niet het geval. De relatieve bijdrage van deze windturbines op het falen van deze ondergrondse buisleiding is in dat geval zeer groot, orde grootte $10E+04$ % en vertoont een 'cliff edge' effect rondom het punt waar de diepteligging gelijk is aan de kritische afstand. Dit heeft voornamelijk te maken met een zeer lage autonome faalfrequentie van de ondergrondse buisleidingen. Het 'cliff edge' effect houdt in dat daar waar de gronddekking voldoende is (kritische afstand < gronddekking), er geen toegevoegde bezwikkans is, en daar waar de gronddekking onvoldoende is, de bijdrage direct zeer groot is. Dit betreft een drietal stroken van respectievelijk 60, 35

en 20 meter lang (zie rode lijnen in Bijlage C), waarbij de gronddekking enkele centimeters tot maximaal 30 centimeter kleiner is dan de kritische afstand.

5.2.2 Mastbreuk

Volgens het afstandscriterium geformuleerd in §3.1 dient een beschouwing van de trefkansen als gevolg van het faalscenario mastbreuk uitgevoerd te worden. De tipafstand is namelijk 148 meter, en voor alle situaties behalve WTG03 op de A-542-01 buisleiding wordt niet aan het criterium voor de minimale afstand voldaan.

Voor het faalscenario mastbreuk is de kritische afstand voor de A-542-01 buisleiding 6,08 meter, en voor de A-659 6,38 meter. Hierbij is de massa van de gondel (circa 130 ton) vermeerderd met de massa van de rotor (3*circa 9 ton), en rekening gehouden met een verhoogde opstelling van de windturbine als gevolg van plaatsing op de dijk. De kritische breedte wordt afgeleid van de kritische afstand volgens de methodiek beschreven in §4.2.1 en is afhankelijk van de diepteligging van de buisleidingen. Daarom is per leidingsectie de onderlinge afstand tussen buisleiding en windturbine getoetst aan bovenstaande sommatie. De maximale kritische breedte is circa 12 meter voor beide gasleidingen.

Voor de bepaling van de bezwijkkans van de buisleidingen als gevolg van het faalscenario mastbreuk is aangenomen dat het punt van impact van de gondel op de grond een maximale afstand ten opzichte van de windturbine heeft van de ashoogte vermeerderd met de halve gondelhoogte. Deze afstand is 98 meter + 2,3 meter = 100,3 meter.

De maximale afstand waarbij in geval van mastbreuk de windturbine een ondergrondse buisleiding doet bezwijken is:

bezwijkafstand = punt van impact (100,3 meter) + kritische breedte/2 (circa 6 meter)

Voor alle windturbines geldt dat beide buisleidingen op voldoende afstand liggen, dat wil zeggen op een afstand van > 106,3 meter. Het faalscenario mastbreuk heeft derhalve geen invloed op het bezwijken van de buisleidingen.

5.2.3 Rotor/gondelval

Het faalscenario rotor/gondelval draagt niet bij aan een toename van de faalfrequentie van de buisleidingen omdat de buisleidingen buiten de invloedssfeer van dit faalscenario liggen.

5.3 Compressorstation Spijk

CS Spijk valt buiten de invloedsgebieden van WTG01 en WTG02, alleen WTG03 is nader beschouwd. In Tabel 5.2 zijn de trefkansen van de geïdentificeerde objecten bij CS Spijk weergegeven. Dit betreft de trefkansen voor de situatie waarin WTG03 gepositioneerd is in de meest westelijke positie binnen het in §2.1 beschreven zoekvlak voor WTG03.

Tabel 5.2 Trefkansen en bijdrage van WTG03 op objecten CS Spijk

Object	Autonome faalrequentie [/jr]	Trefkans WTG03 [/jr]	Bijdrage [%]
Verdringercompressoren	2,9E-04	1,1E-08	0,004
Bovengrondse buisleiding (50 meter)	2,8E-07	1,4E-08	5,2

De bijdrage van WTG03 op de compressoren is zeer klein ten opzichte van de autonome faalrequentie (0,004%). Dit is mede het gevolg van de relatief hoge autonome faalrequentie van de compressoren. Hiermee wordt voldaan aan de in §3.2 gestelde maximum bijdrage van 10%.

De bijdrage van WTG03 op falen van de bovengrondse buisleidingen op het westelijk deel van het terrein is iets meer dan 5% van de autonome faalrequentie. Hiermee wordt voldaan aan de in §3.2 gestelde maximum bijdrage van 10%.

5.4 Oostpolderdijk

5.4.1 Trefkansen dijkzones

In Tabel 5.3 zijn de trefkansen van de dijkzones weergegeven, uitgesplitst naar de faalscenario's van de windturbines.

Tabel 5.3 Trefkansen van de dijkzones

Dijkzone	Breedte	Trefkans per faalscenario windturbine [/jr]			
		Rotor/ gondelval	Mastbreuk	Bladworp	
				(nominaal)	(overtieren)
A (buitentalud, onder + buitenberm)	25 m	6,9E-05	n.v.t.	6,9E-05	3,1E-07
B (buitentalud, boven)	13 m	1,7E-05	n.v.t.	1,2E-05	3,9E-05
C (kruin)	3 m	1,4E-05	4,60E-05	1,2E-05	5,2E-06
D (binnentalud, boven)	12 m	1,7E-05	n.v.t.	5,5E-05	2,4E-07
E (binnenberm + ondertalud)	34 m	2,6E-05	n.v.t.	2,5E-04	1,1E-06

5.4.2 Toetsing dijkveiligheid

In [8] is, gebruik makend van de in Tabel 5.3 weergegeven trefkansen, de impact van de windturbines op de waterveiligheid verwerkt en getoetst. In Tabel 5.4 zijn de additionele faalkansen per faalmechanisme per windturbine weergegeven. Volgens het gestelde toetscriterium mag de bijdrage van één windturbine per afzonderlijk faalmechanisme maximaal 1% zijn

Tabel 5.4 Toetsing van additionelebijdrage per windturbine per faalmechanisme

Beschouwde Faalmechanismen dijk	Toelaatbare faalkans [/jr]	Toelaatbare additionele faalkans = 1% [/jr]	Berekende additionele faalkans [/jr]	Additionele bijdrage [%]	Oordeel
Golfoverslag (HT)	3,5E-05	3,5E-07	2.8E-07	0,80	Voldoet
Schade/erosie bekleding (STBK)	1,0E-04	1,0E-06	2.2E-07	0,21	Voldoet
Macro-instabiliteit binnenwaarts (STBI)	3,2E-09	3,2E-11	6,9E-12	0,07	Voldoet
Macro-instabiliteit buitenwaarts (STBU)	6,3E-07	6,3E-09	1,8E-10	0,01	Voldoet

Voor alle faalmechanismen geldt dat voldaan wordt aan aspect 1 van het in §3.3.2 gestelde criterium, namelijk een maximale bijdrage van 1% per faalmechanisme. Wanneer de bijdrage van alle windturbines en alle faalmechanismen van de dijk worden gesommeerd is de totale bijdrage van de windturbines op het dijktracé 3,3%. Ook dit is binnen het in §3.3.2 gestelde criterium (aspect 2) van 10%. Hiermee kan gesteld worden dat ten aanzien van waterveiligheid de aanwezigheid van deze drie windturbines acceptabel is volgens de in [6] gestelde criteria.

Tevens dient ook vermeld te worden dat in de uitgangspunten van de waterveiligheidsanalyse een aantal conservatieve aannames gedaan zijn, waaronder:

- In de methodiek is uitgegaan van de maximale diepte van een krater op de dijk in alle gevallen dat de dijk getroffen wordt door een windturbine onderdeel. In de praktijk zal dit zeker niet het geval zijn. Een minder diepe krater houdt in dat er een meer resthoogte overblijft, en de kans op een overstroming kleiner.
- Ten aanzien van de gehanteerde reparatie tijden is in alle gevallen uitgegaan van een conservatieve reparatieduur. Het is goed denkbaar dat wanneer een windturbine gedurende het stormseizoen de dijk treft er snelle maatregelen te nemen zijn die de schade aan de dijk mitigeren.

5.5 Fietspad langs de dijk

5.5.1 IPR en MR

In Tabel 5.5 zijn de trefkansen van het fietspad, uitgesplitst naar windturbine en faalscenario, weergegeven.

Tabel 5.5 Trefkansen van het fietspad

Windturbine	Trefkans per faalscenario [/jr]			Totale trefkans [/jr]
	Bladworp	Mastbreuk	Rotor/ gondelval	
WTG01	3,59E-05	8,20E-05	4,00E-05	1,58E-04
WTG02	4,22E-05	8,22E-05	4,00E-05	1,64E-04
WTG03	4,97E-05	8,51E-05	4,00E-05	1,75E-04
totaal	1,28E-04	2,49E-04	1,20E-04	4,97E-04

Het invloedsgebied betreft een tracé van circa 1400 meter. Gegeven de snelheid van een fietser van 4,2 m/s en een lengte van de fietser van 12 meter (fiets + remweg) wordt de aanwezigheidsduur daarmee:

$$(12/1400)*((1400/4,2)/(3600*24*365)) = 9,1E-08 \text{ jaar}$$

De eenmalig passerende fietser heeft hiermee een IPR van 4,5E-11 per jaar. De (fictieve) dagelijks tweemaal passerende (d.w.z., 730 keer per jaar), zelfde fietser komt hier uit op een IPR van 3,3E-08 per jaar. Aan het toetscriterium van 1E-06 per jaar voor het IPR wordt hiermee ruimschoots voldaan.

Het aantal passages per dag waarbij het MR overschreden wordt is > 121677. Aangezien het aantal passages geschat wordt op maximaal 66 [9], wordt ook ruimschoots aan het toetscriterium van 2E-03 per jaar voor het MR voldaan.

5.5.2 Vallende kleine onderdelen

Voor vallende kleine onderdelen wordt onderscheid gemaakt tussen vallende kleine turbineonderdelen (bouten, blad- en tipdelen) en afvallend ijs. De kans op optreden is van het eerstgenoemde is niet ondenkbaar tijdens werkzaamheden aan de windturbines. Het is daarom vanuit veiligheidsoogpunt noodzakelijk het omliggende terrein af te zetten voor passanten gedurende werkzaamheden aan de windturbines.

Ook het risico dat een fietser, wandelaar of werknemer geraakt wordt door vallende brokken ijs is niet uitgesloten, wanneer er geen maatregelen worden genomen. Windturbines worden (via ijsdetectie) automatisch stilgezet in vorstperiodes waarbij ijscondities ontstaan. Dat is echter niet voldoende om het risico voor een passant weg te nemen. Daarom moet tenminste één van de volgende twee maatregelen in acht genomen worden in periodes van ijsaangroei (kan enkele tot vele dagen per winter zijn):

- Oriëntatie rotorbladen aanpassen: stand van het vlak van de rotorbladen parallel aan fietspad
- Fietspad afsluiten

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Ondergrondse buisleidingen

De zoekgebieden voor de windturbines op de Oostpolderdijk zoals voorgesteld in Bijlage A leveren ten aanzien van de externe veiligheid op beide ondergrondse buisleidingen geen additioneel risico op wanneer het midden van het zoekvlak aangehouden wordt. Wanneer de meest westelijke locatie op deze zoekvlakken aangehouden wordt leveren WTG01 en WTG02 een aanzienlijk additioneel risico op voor de A-542-01 buisleiding. Deze bijdrage vertoont een ‘cliff-edge’ effect rondom het punt waar de gronddekking gelijk is aan de kritische afstand.

Om tot een acceptabel additioneel risico niveau te komen ten aanzien van de A-542-01 buisleiding, kunnen bij de verdere planuitwerking (na vergunningverlening en definitieve turbinetype keuze), in overleg met Gasunie en het bevoegd gezag, de onderstaande acties genomen worden:

- a. Het plaatsen van de WTG01 en WTG02 in de zone waarbij deze geen invloed hebben op buisleiding A-542-01. Deze maatregel komt er ruwweg op neer dat de maximale worpafstand bij nominaal toerental aangehouden wordt als minimale afstand tussen de windturbine en de buisleiding.
- b. Vergroten van de gronddekking boven de buisleidingen op de stroken waar dit onvoldoende aanwezig is. Gezien het tekort (maximaal 30 centimeter) over een lengte van circa 105 meter (verdeeld over een drietal stroken) lijkt dit een uitvoerbare maatregel.
- c. Kiezen van een windturbine met een maximale worpafstand bij nominaal toerental van 125 meter. Dit is de kleinste afstand tussen 1 van de windturbines en de A-542-01 buisleiding.
- d. Verlagen van de ashoogte. Dit heeft zowel effect op de kritische afstand als de maximale worpafstand. Bij beide is dit effect echter marginaal.
- e. Een combinatie van bovengenoemde maatregelen.

6.2 Compressorstation Spijk

De invloed van WTG03 op de geïdentificeerde objecten op CS Spijk is relatief klein. De bijdrage van WTG03 op het falen van de compressoren is 0,004%.

In overleg met Gasunie [4] is gekozen om geen trefkansen te berekenen van de afzonderlijke componenten rondom de compressoren (flensverbindingen en buisleidingen). Wanneer dit, in verband met een mogelijke update van de QRA van CS Spijk, in de toekomst wel uitgevoerd wordt, dient rekening gehouden te worden met het feit dat de in deze analyse bepaalde trefkans van de compressoren niet rechtstreeks geschikt is voor toepassing in het QRA model. In dat geval wordt aanbevolen een Failure Mode Effect Analysis (FMEA) uit te voeren om het precieze effect van de impact van een windturbineonderdeel op de diverse compressor-installatiedelen te bepalen. Een daaruit volgende

kwantificering kan dan gebruikt worden om de bestaande QRA van CS Spijk bij te werken en de nieuwe risicocontouren van het CS Spijk te bepalen.

De impact van WTG03 op de bovengrondse buisleidingen op het westelijk deel van het terrein van CS Spijk bedraagt ongeveer 5% van de autonome faalfrequentie van deze leidingdelen en voldoet daarmee aan het toetscriterium.

6.3 Oostpolderdijk

Ten aanzien van de waterveiligheid voldoet de aanwezigheid van de windturbines op de Oostpolderdijk aan beide aspecten van de in §3.3.2 geformuleerde toetscriteria. De bijdrage van één windturbine is per faalmechanisme van de dijk minder dan 0,8%. Daarnaast is de gesommeerde bijdrage van alle windturbines op alle faalmechanismen 3,3% waar een maximale bijdrage van 10% toegestaan is. Hierbij wordt tevens vermeld dat in de methodiek conservatieve aannames gedaan zijn, en er diverse mitigerende maatregelen mogelijk zijn, zoals bijvoorbeeld maatregelen om de reparatieduur na schade aan de dijk te verkleinen.

6.4 Fietspad langs de dijk

De aanwezigheid van windturbines op de Oostpolderdijk levert een marginale bijdrage aan het IPR en MR van het fietspad langs de dijk. Ten aanzien van beide criteria voldoet de aanwezigheid van de windturbines op de Oostpolderdijk.

Ten aanzien van afvallend ijs en onderdelen in geval van onderhoud of werkzaamheden aan de windturbines dienen in deze situaties een of twee mitigerende maatregelen genomen te worden:

- Oriëntatie rotorbladen aanpassen: stand van het vlak van de rotorbladen parallel aan fietspad
- Fietspad afsluiten

Hiermee worden de risico's voor potentiële passanten over het fietspad voldoende afgedekt.

7 Bibliografie

- [1] DNV Kema, „Handboek Risicozonering Windturbines,” AgentschapNL, 2014.
- [2] H.R.Chevalking, „Effect verplaatsing windturbines Oostpolderdijk op EV,” NRG, 918102/15.135159 C&S/RC/RJo, Arnhem, 2015.
- [3] Gasunie N.V., *Het beleid van Gasunie TS inzake het veilig plaatsen van windturbines nabij haar infrastructuur*, juli, 2015.
- [4] P. Kassenberg, *Aantekening 286, Windturbines Eemshaven zuid*, Groningen: Gasunie, 2015.
- [5] M. Middel, „Email: WT's Spijk: ff componenten,” DNV-GL, Groningen, 2015.
- [6] RWE Innogy, „Windturbines Oostpolderdijk: Beoordeling Waterveiligheid,” augustus 2015.
- [7] KNMI, <http://www.knmi.nl/samenw/hydra>, de Bilt, Utrecht.
- [8] RWE Innogy, „Geotechnische beschouwing impact bovengrondse calamiteiten windturbine,” juli 2015.
- [9] Grontmij, „Kiek over de Diek, Passende beoordeling,” 2013.

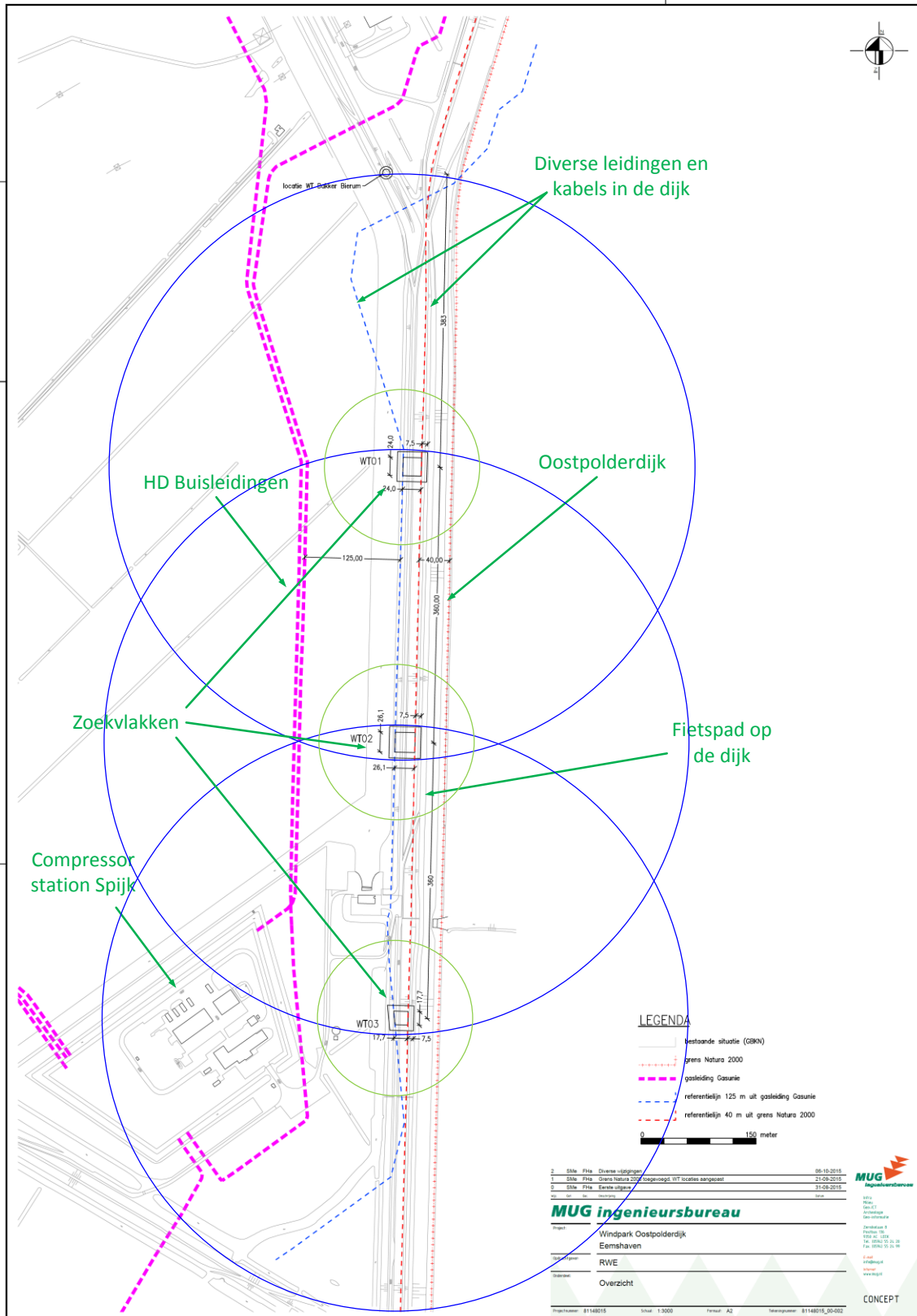
Lijst van tabellen

Tabel 2.1	Locaties Windturbines	10
Tabel 2.2	Windturbinegegevens Lagerwey LW 100- 3MW	11
Tabel 3.1	Faalgegevens objecten CS Spijk	15
Tabel 4.1	Generieke faalfrequenties	21
Tabel 4.2	Eigenschappen ondergrondse buisleidingen	22
Tabel 4.3	Aannames passantengegevens fietspad over de dijk	26
Tabel 5.1	Afstand tussen ondergrondse buisleidingen en windturbines	28
Tabel 5.2	Trefkansen en bijdrage van WTG03 op objecten CS Spijk	30
Tabel 5.3	Trefkansen van de dijkzones	30
Tabel 5.4	Toetsing van additionelebijdrage per windturbine per faalmechanisme	31
Tabel 5.5	Trefkansen van het fietspad	32
Tabel B.7.1	Dijkzones met bijbehorende afstanden, breedtes en faalmodi	42

Lijst van figuren

Figuur 1	Locatie objecten op terrein van CS Spijk	14
Figuur 2	Cirkelsegment ($R = \text{ashoogte (H)} + \text{rotordiameter (D)}/2$)	20
Figuur 3	Cirkelsegment met gewijzigde hoek α vanwege een kleinere rotorstraal	24
Figuur 4	Weergave hoekberekening voor scenario mastbreuk (mast/gondel) op dijkzones	25
Figuur 5	PR versus afstand tot de windturbine	27
Figuur 6	Indeling dijkzones en functies	41

Bijlage A Zoekvlakken en invloedsgebied windturbines



Bijlage B Beschrijving aanpak analyse waterveiligheid

B.1 Inleiding

Vanwege het ontbreken van een eenduidige methode voor de bepaling van de invloed van windturbines op dijklichamen is in [6] een gestructureerde methodiek uiteengezet. Het doel daarvan is te komen tot een kwantificatie en toetsing van het additionele falen van de dijk als gevolg van de aanwezigheid van de windturbines. Er is daarbij onderscheid gemaakt tussen (1) de ondergrondse invloed door onder andere trillingen en (2) de bovengrondse invloed die het gevolg is van faalincidenten van de windturbine. Enkel dit laatste aspect zal in deze analyse behandeld worden.

De bovengrondse invloed van de windturbines is met een expertise-werkgroep uitgewerkt in een viertal sessies. In deze bijlage wordt een samenvatting gegeven van de doorlopen stappen en de totstandkoming van de kwantificering van het dijkfalen. Deze informatie is bedoeld om de minder ingevoerde lezer inzicht te verschaffen in het doorlopen proces. Voor de meer inhoudelijke waterveiligheidsbeschouwing wordt verwezen naar [6].

Globaal behelst de gestructureerde aanpak de volgende stappen:

- a. Identificatie van de dijkzones en de relevante faalmechanismen van de dijk die beïnvloed worden door impact van een windturbineonderdeel.
- b. Kwalitatieve bepaling van de impact van de faalscenario's van een windturbine (zie §4.1) op de dijkzones, uitgesplitst naar faalmechanisme van de dijk.
- c. Bepaling van de impact van de afzonderlijke windturbineonderdelen op de ondergrond waar deze terecht komen.
- d. Bepaling van de additionele faalkans per faalmechanisme, en toetsing aan het criterium.

Deel (a) bepaalt de matrix-indeling ten behoeve van de uitvoering van een Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), in deel (b) worden de faalscenario's van de windturbine aan deze matrix-indeling toegevoegd. Deel (c) en (d) zijn kwantitatieve uitwerkingen uitgevoerd door respectievelijk Arcadis en Deltares.

B.2 Afbakening dijkzones en bijbehorende faalmechanismen

Vanwege de diversiteit aan functies van de verschillende onderdelen van het dijklichaam, moet er in de analyse onderscheid gemaakt worden in het falen hiervan. Dit heeft primair te maken met de consequenties van het falen van een van de functies en de eventuele tijd die benodigd is om de functie te herstellen. Zo heeft bijvoorbeeld falen van het buitentalud aan de zeezijde van de dijk andere gevolgen dan een beschadiging van de binnenberm.

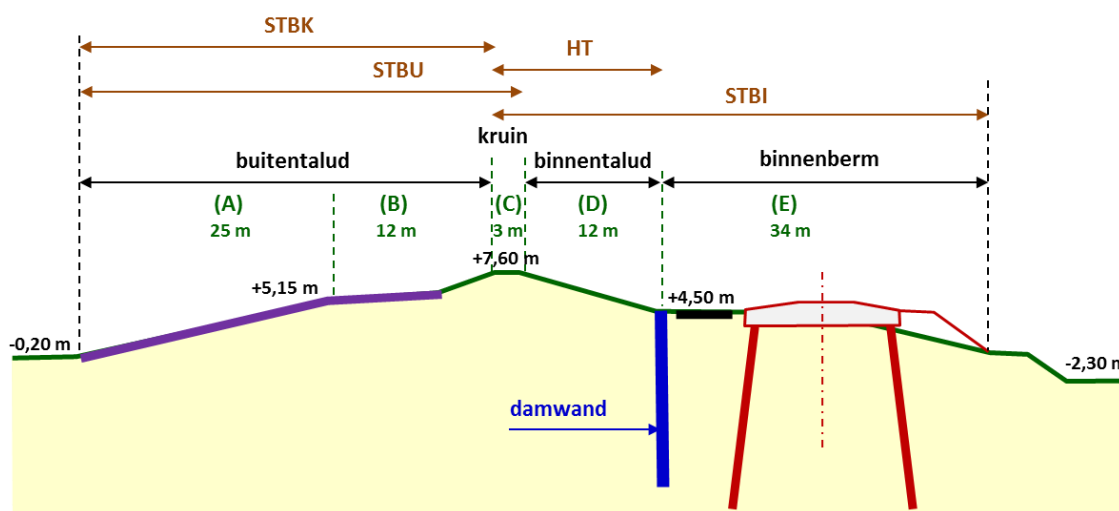
Daarnaast is er vanuit dijkveiligheid in het ontwerp rekening gehouden met autonoom falen. Hiertoe is een vijftal faalmechanismen geïdentificeerd. De locaties van deze faalmechanismen zijn eveneens in te delen over de functionele zones. In §B.2.1 en §B.2.2 worden functionele zones met bijbehorende faalmechanismen geïdentificeerd, om zodoende een inzichtelijke matrix verkrijgen naar functie en faalmechanisme. In het vervolg van de analyse kan deze matrix daarna uitgebreid worden met de faalscenario's van windturbines.

B.2.1 DE DIJKZONES

In Figuur 6 is een dwarsdoorsnede van de Oostpolderdijk weergegeven, waarin de dijk is ingedeeld in 5 zones, Zone A – Zone E. Onderstaand de benoemingen van de zones met bijbehorende functies:

- Zone A: buitentalud, golfklap- en overdrukzone
- Zone B: buitentalud, golfploopzone
- Zone C: kruin, golfoverslagzone
- Zone D: binnenzijde boventalud, golfoverslagzone
- Zone E: binnenzijde berm en ondertalud, stabiliteitberm

In Figuur 6 zijn tevens de dimensies van de zones weergegeven.



Figuur 6 Indeling dijkzones en functies

B.2.2 IDENTIFICATIE VAN RELEVANTE FAALMECHANISMEN

In de beschouwing waterveiligheid [6] is een viertal dijkfaalmechanismen geselecteerd waarop het windturbine-falen invloed kan hebben. Dit zijn:

- Macro-instabiliteit buitenwaarts (STBU)
- Macro-instabiliteit binnenwaarts (STBI)

- Golfoverslag en overloop (HT)
- Beschadiging bekleding en erosie buitentalud (STBK)
- Piping en heave

Piping/heave wordt niet nader beschouwd vanwege de aanwezigheid van het stabiliteitsscherp [6].

B.2.3 SAMENVOEGING FUNCTIONELE ZONES EN FAALKANSMECHANISMEN

In Tabel B.7.1 zijn de zones en de bijbehorende faalmodi in een matrix uiteengezet. Hieruit is te zien welke autonome faalmechanismen per zone een rol spelen. Tevens is de maatvoering van de zones aan de tabel toegevoegd welke dient als input voor de trefkansberekening van de zones, conform de aanpak beschreven in §4.3.

Tabel B.7.1 Dijkzones met bijbehorende afstanden, breedtes en faalmodi

Zone	Benaming	Afstand tot windturbine [m]	Breedte strook [m]	Dijkfaalmechanisme			
				STBK	STBU	HT	STBI
zone A	buitentalud	44	25	x	x		
zone B	buitentalud	32	12	x	x		
zone C	kruin	29	3		x	x	
zone D	binnenzijde boventalud	17	12			x	x
zone E	binnenzijde berm en ondertalud	0	34				x

Tabel B.7.1 is gebruikt als basis voor het uitvoeren van een FMEA waarbij per zone gekeken is naar de invloed van een windturbineonderdeel op de relevante dijkfaalmechanismen.

B.3 Faalscenario's windturbines

In §4.1 zijn de faalscenario's toegelicht zoals deze in het HRW zijn geïdentificeerd. Dit zijn bladworp, rotor/gondelval en mastbreuk. Vanwege de grote verschillen in massa (een blad weegt 9 ton, een gondel zo'n 100 ton) tussen de windturbinecomponenten moet er ook in de gevolgschade aan de dijkzones onderscheid gemaakt worden in het effect van de betreffende component op de dijk. Tevens is de methodiek voor de trefkansbepaling per scenario afwijkend ten opzichte van de in het HRW voorgeschreven methodiek.

B.3.1 BLADWORP

Het faalscenario bladworp heeft de grootste reikwijdte. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat er onderscheid is tussen bladworp bij nominaal toerental van de windturbine en bladworp tijdens overtoeren. Tevens zal de impact van een neerkomend blad bij overtoeren groter zijn vanwege de hogere initiële

snelheid van het blad. Maximale snelheden zijn bij nominaal toerental rond de 50 m/s en bij overtoeren 70 m/s.

Vanwege dit verschil in impact is er in de beschouwing van dit faalscenario bij treffen van de dijk onderscheid gemaakt tussen de bladworp nominaal en overtoeren. Dat houdt in dat er per zone een trefkans bladworp nominaal en een trefkans bladworp overtoeren berekend wordt.

Hoewel het denkbaar is dat de hoek van impact van het blad met de ondergrond van invloed is op de diepte van de krater, wordt er geen reductiefactor toegekend aan de berekende trefkans. In andere analyses wordt doorgaans een factor 0,25 toegekend aan dit fenomeen. Het niet toepassen van deze factor heeft een tweetal redenen:

1. Om deze factor goed te kunnen onderbouwen is het nodig simulatieberekeningen uit te voeren, waarvan op voorhand gesteld kan worden dat de onzekerheidsmarge vrij groot is. Dit vanwege het chaotisch vluchtgedrag van een blad tijdens afworp.
2. De impact van het blad veroorzaakt niet alleen een krater, maar belangrijker nog, schade aan de bekleding van de dijk (faalmechanisme STBK). De krater zal alleen een rol spelen bij de kerende hoogte van de dijk (faalmechanisme HT).

B.3.2 MASTBREUK

Het faalscenario mastbreuk is eveneens op te splitsen in twee delen, namelijk de mast en de gondel. Reden voor een dergelijke aanpak is dat de impact van een gondel anders/groter is dan de impact van de mast, vanwege de geconcentreerde massa van de gondel. De gondel zal hierdoor zowel het faalmechanisme macrostabiliteit (STBI / STBU) als beschadiging van bekleding (STBK) veroorzaken. Het contact-oppervlak van de mast met de grond bij mastbreuk is vele malen groter, waardoor de krater minder diep zal zijn. In dat geval wordt daarom alleen beschadiging van de bekleding verondersteld. De mast zal verder op Zone A en B geen effect hebben omdat de kruin en het binnentalud de mast op zullen vangen wanneer de windturbine haaks op de dijk valt. De kruin zal in dat geval wel een krater of deuk vertonen.

Ten aanzien van het contact van de rotor/gondel met de grond bij mastbreuk is aangenomen dat vanwege versplintering van het buitenste deel van de rotor bij impact dit niet zal bijdragen aan schade aan de dijk. Daarom wordt voor het trefoppervlak van de gondel een straal van $1/3 R$ aangenomen.

Voor de impact van het treffen van de mast op de kruin (Zone C) wordt wel een impactberekening gedaan om de diepte van de krater te bepalen. Dit dient in de trefkansberekening meegenomen te worden.

In de faalkansanalyse wordt aardbeving met als gevolg een omvallende windturbine niet afzonderlijk beschouwd. Reden hiervoor is dat de consequenties van een buiten-ontwerpaardbeving de impact van een neerstortende windturbine ver overstijgen. Impact van een windturbine is (mogelijk) falen van een klein deel van de dijk, impact van een buiten-ontwerpaardbeving betekent falen van een gehele dijkkring.

B.3.3 ROTOR/GONDELVAL

Bij het vallen van de gondel inclusief de rotor is het uitgangspunt conform HRW dat dit onderdeel direct naast de mast valt. De gondel landt dan op de funderingsplaat van de turbine en zal hieraan forse schade veroorzaken waarbij verreweg het grootste deel van de energie van zowel de gondel als de rotor zal worden opgenomen. Het vallen van de gondel zelf wordt hierdoor niet als relevant beschouwd voor het beoordelen van de waterveiligheid.

B.4 Impact van de windturbine faalmechanismen op de dijk

Met behulp van de basismatrix uit B.2.3 aangevuld met de aangepaste faalscenario's uit B.3 is een Excel-matrix opgesteld waarmee op een gestructureerde wijze alle voorkomende incidenten geanalyseerd kunnen worden. Dit is gedaan door het toepassen van een FMEA, waarbij in eerste instantie kwalitatief door een dijk-expertgroep een beoordeling is gemaakt van de mogelijke schade die optreedt per incident. Daarnaast is een schatting gemaakt van de reparatietijd per incident, en de eventuele mitigerende maatregelen die genomen kunnen worden.

Om tot een kwantificering te komen is er de noodzaak het effect van de windturbineonderdelen op de dijk te onderbouwen en tot inslagdieptes te komen. Hiertoe is door Arcadis een impactanalyse gedaan [8], waarin met behulp van een drietal methoden de grootte van de krater en de geotechnische implicaties op de stabiliteit van de dijk bepaald zijn.

B.5 Aanpak van de kwantificering van de additionele faalkans

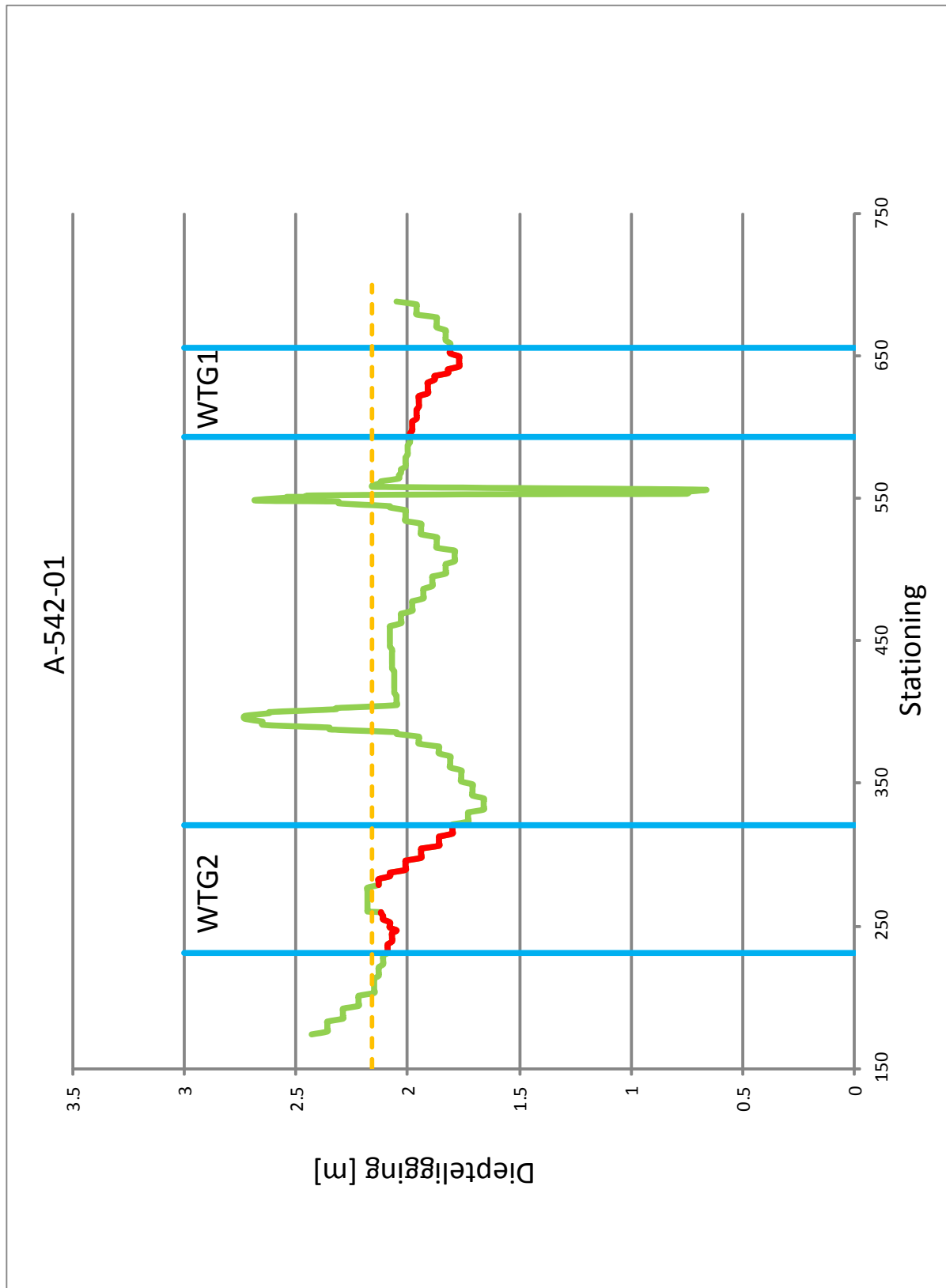
De kans dat een dijkfaalmechanisme optreedt als gevolg van een windturbineonderdeel wordt bepaald door het product van de volgende kansbijdragen:

1. De trefkans: dit is de kans dat een onderdeel in een bepaalde zone van de dijk inslaat.
2. De kans op hoogwater, inclusief een correctie op de kortere expositieduur dan het stormseizoen.
3. De kans dat de dijk niet op tijd is hersteld; de oorzaak is de benodigde tijd voor detectie van de faalincidenten en de opgetreden schade en de benodigde tijd voor het uitvoeren van herstelwerkzaamheden in de vorm van noodreparaties.
4. De kans op het optreden van het dijkfaalmechanisme na inslag.

Ad. 1. De totstandkoming van de trefkansen per faalincident is uitgewerkt in §4.4.

De resultaten van bovenstaande kanscombinaties zijn uitgewerkt in [6], en worden in §5.4 beschouwd.

Bijlage C Effect WTG's op buisleiding A-542-01



Bijlage D Effect WTG's op buisleiding A-659

