

RISICOANALYSE WINDTURBINE SALLAND OLIE ZUIDERZEEHAVEN

-Vertrouwelijk-

Ir. J. Dam
Dr. L.Folkerts

5 februari 2009
PWNDNL082707
Copyright Ecofys 2009

In opdracht van Grontmij

Samenvatting

In het noorden van de gemeente Kampen wordt het industrieterrein Zuiderzeehaven ontwikkeld. Dit sluit aan op het bestaande industrieterrein Haatlandhaven. De gemeente Kampen heeft aangegeven medewerking te willen verlenen aan de bouw van een windturbinepark in dit industriegebied. Het windpark bestaat uit een lijnopstelling van vier windturbines, waarvan er twee op het nieuwe industrieterrein Zuiderzeehaven zijn geprojecteerd. Het type windturbine ligt nog niet vast. Er wordt uitgegaan van een turbine in de klasse van 2,5 tot 3 MW met een ashoogte van circa 100 meter en rotordiameter van circa 90 meter. Als referentieturbine voor berekeningen in deze kwantitatieve risicoanalyse is uitgegaan van een Vestas V90-3MW turbine met een ashoogte van 105 meter en een rotordiameter van 90 meter. De uitkomsten mogen representatief worden geacht voor vergelijkbare windturbines in deze klasse in die zin dat de veiligheidsrisico's bij eventuele keuze van een andere turbine vergelijkbaar zullen zijn met hetgeen voor deze referentieturbine is berekend.

Salland Olie Zuiderzeehaven B.V. wil op het industrieterrein Zuiderzeehaven een overslagbedrijf voor olieproducten realiseren nabij één van de vier windturbines en daarbij onder andere ook een kantoor met een bruto vloeroppervlak van circa 1000 m² bouwen. In dit rapport zijn de veiligheidsrisico's van de windturbine uitgewerkt voor het personeel in het geplande kantoorgebouw van Salland Olie B.V. Ook zijn trefkansen berekend voor de opslagtanks op het terrein. Deze trefkansen beïnvloeden in principe de resultaten van de kwantitatieve risicoanalyse die door Salland Olie Zuiderzeehaven B.V. moet worden opgesteld voor de vergunningsaanvraag in het kader van de wet milieubeheer. Deze kwantitatieve risicoanalyse beperkt zich in deze fase van het project tot bovengenoemde aspecten. Overige risicoaspecten, bijvoorbeeld met betrekking tot personeel op het terrein, de tankauto's, ondergrondse opslagtanks, de opslagloods etc. worden in dit rapport niet behandeld. Deze elementen dienen bij het opstellen van een volledige kwantitatieve risicoanalyse wel te worden meegenomen.

De risico's zijn beschouwd volgens de methodiek van het Handboek Risicozonering Windturbines met toepassing van generieke faalgegevens uit het Handboek. Daarnaast is bepaald wat het effect op de beschouwde risico's is wanneer faalgegevens van windturbinefabrikant (Vestas) wordt gebruikt in plaats van de generieke faalgegevens uit het Handboek. De faalfrequenties van deze fabrikant zijn lager dan de in het Handboek gehanteerde waarden. Hieronder geven we de belangrijkste conclusies.

1. Er is geen wettelijke norm van kracht voor het directe risico voor personeel in een kantoor vanwege een mogelijk falen van een gecertificeerde windturbine in de

nabijheid van een kantoor. Een gecertificeerde windturbine biedt volgens de wet onder normale omstandigheden voldoende veiligheidsgarantie voor de omgeving. Het bevoegd gezag mag in beginsel eventueel wel aanvullende eisen stellen met betrekking tot de hoogte van veiligheidsrisico's. Dit rapport is bedoeld om het bevoegd gezag hierin te faciliteren.

2. De methodiek van het Handboek Risicozonering windturbines sluit aan bij het Besluit Externe Veiligheid Inrichtingen (BEVI) waarin normen zijn opgenomen voor veiligheidsrisico's van bedrijven met gevaarlijke stoffen. Volgens het BEVI mag een kantoor zich niet bevinden binnen de contour die aangeeft waar het plaatsgebonden risico (PR) 10^{-6} jr^{-1} bedraagt. De $PR=10^{-6} \text{ jr}^{-1}$ contour van de windturbine, berekend met faalgegevens uit het Handboek Risicozonering, ligt op 150 meter afstand van de windturbine. Het geplande kantoor van Salland Olie Zuiderzeehaven B.V. ligt met een afstand van circa 10 meter tot de windturbine binnen deze $PR=10^{-6} \text{ jr}^{-1}$ contour. Indien het bevoegd gezag ervoor kiest deze BEVI-norm voor plaatsgebonden risico ook van toepassing te laten zijn op windturbines, dan zou de minimale afstand van een kantoor tot een windturbine 150 meter moeten bedragen.
3. De $PR=10^{-6} \text{ jr}^{-1}$ contour, berekend met specifieke faalgegevens van Vestas, ligt op 46 meter afstand tot de windturbine. Het kantoor ligt met een afstand van circa 10 meter tot de windturbine ook in dit geval binnen deze $PR=10^{-6}$ contour. Indien het bevoegd gezag ervoor kiest deze BEVI-norm voor plaatsgebonden risico ook van toepassing te laten zijn op windturbines en tevens de berekeningswijze met specifieke faalgegevens accepteert, dan zou de minimale afstand van een kantoor tot de windturbine 46 meter moeten bedragen.
4. De berekende trefkans, dit is het product van plaatsgebonden risico en blootstellingstuur, voor een voltijds werknemer in het kantoor bedraagt circa $8.2 \cdot 10^{-5} \text{ jr}^{-1}$. Indien het bevoegd gezag dit individuele veiligheidsrisico van een persoon als toetsingscriterium voor externe veiligheid van de windturbine zou willen hanteren dan zou een kantoor zich op een afstand van minimaal 14 meter tot de turbine moeten bevinden om een trefkans van minder dan 10^{-5} jr^{-1} te realiseren. Om de trefkans van deze persoon terug te brengen tot 10^{-6} jr^{-1} zou een kantoor zich op een afstand van minimaal 46 meter tot de turbine moeten bevinden.
5. Er is geen wettelijke norm van kracht voor het directe risico voor grote groepen mensen vanwege een mogelijk falen van de gecertificeerde windturbine. In dit rapport vergelijken we een berekend groepsrisico met het groepsrisico zoals dat binnen het Besluit Externe Veiligheid Inrichtingen (BEVI) wordt gehanteerd voor bedrijven met gevaarlijke stoffen. Het BEVI acht het groepsrisico aanvaardbaar als een ongeval met tien of meer doden kleiner is dan één op de honderdduizend jaar (10^{-5} per jaar). Het berekende groepsrisico bedraagt $8.1 \cdot 10^{-5} \text{ jr}^{-1}$. Deze situatie zou dus niet voldoen aan de criteria voor groepsrisico volgens het BEVI. Om het groepsrisico terug te brengen tot onder het BEVI-criterium van 10^{-5} per jaar zou het kantoor zich op een afstand van minimaal 30 meter tot de turbine moeten bevinden.
6. De verbeterde faalfrequentie voor mastbreuk op basis van Vestasgegevens heeft vrijwel geen effect op het berekende groepsrisico omdat het groepsrisico bij deze afstand vooral wordt bepaald door het scenario waarin de gondel en de rotor op het

kantoor vallen. Om het groepsrisico terug te brengen tot onder het BEVI-criterium van 10^{-5} per jaar zou het kantoor zich minimaal op een afstand van 16 meter tot de turbine moeten bevinden.

7. De trefkansen van de opslagtanks, berekend op basis van faalfrequenties volgens het Handboek, zijn gegeven in onderstaande tabel. De berekende trefkansen per jaar door bladbreuk en mastbreuk zijn groter dan de intrinsieke faalfrequenties van de opslagtanks voor de ernstigste faalscenario's, te weten instantane uitstroming en continue uitstroming in 10 minuten. Deze trefkansen dienen daarom te worden meegenomen in een kwantitatieve risicoberekening van de bovengrondse opslagtanks.

opslagtank	trefkans bladbreuk	trefkans mastbreuk	trefkans bladbreuk plus mastbreuk
	kans per jaar	kans per jaar	kans per jaar
tank 1	1.3E-05	2.2E-05	3.5E-05
tank 2	1.6E-05	2.0E-05	3.7E-05
tank 3	1.8E-05	1.5E-05	3.4E-05
tank 4	7.4E-06	1.3E-05	2.0E-05
tank 5	2.7E-05	2.0E-05	4.7E-05
tank 6	1.8E-05	2.1E-05	3.9E-05
tank 7	1.8E-05	2.1E-05	3.9E-05

8. De totale trefkansen vanwege bladbreuk en mastbreuk, berekend op basis van faalfrequenties van Vestas zijn ruim een factor tien lager dan die berekend met faalfrequenties uit het Handboek, zie onderstaande tabel. De berekende trefkansen per jaar door bladbreuk en mastbreuk zijn van dezelfde orde van grootte als de intrinsieke faalfrequenties van de opslagtanks voor de ernstigste faalscenario's, te weten instantane uitstroming en continue uitstroming in 10 minuten. Deze trefkansen dienen daarom te worden meegenomen in een kwantitatieve risicoberekening van de bovengrondse opslagtanks.

opslagtank	trefkans bladbreuk p	trefkans mastbreuk	trefkans bladbreuk plus mastbreuk
	kans per jaar	kans per jaar	kans per jaar
tank 1	3.2E-07	2.3E-06	2.7E-06
tank 2	4.0E-07	2.2E-06	2.6E-06
tank 3	5.2E-07	1.6E-06	2.2E-06
tank 4	6.1E-08	1.4E-06	1.5E-06
tank 5	7.1E-07	2.1E-06	2.8E-06
tank 6	4.4E-07	2.3E-06	2.7E-06
tank 7	4.4E-07	2.3E-06	2.7E-06

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
2	Wettelijk kader veiligheidsrisico's windturbines	3
3	Afbakening voor risicoberekeningen	5
3.1	Kantoor	5
3.2	Opslagtanks	7
4	Risicoberekeningen en beoordeling	8
4.1	Kantoor (plaatsgebonden risico)	8
4.2	Kantoor (groepsrisico)	8
4.3	Trefkansen bovengrondse opslagtanks	9
5	Alternatieve risicoberekeningen	12
5.1	Kantoor (plaatsgebonden risico)	12
5.2	Kantoor (groepsrisico)	12
5.3	Trefkansen bovengrondse opslagtanks	12
6	Voorbeelden van windturbines op bedrijventerreinen	15
7	Conclusies	17
	Bijlage 1. Risicoafstanden op basis van faalfrequenties volgens het Handboek	20

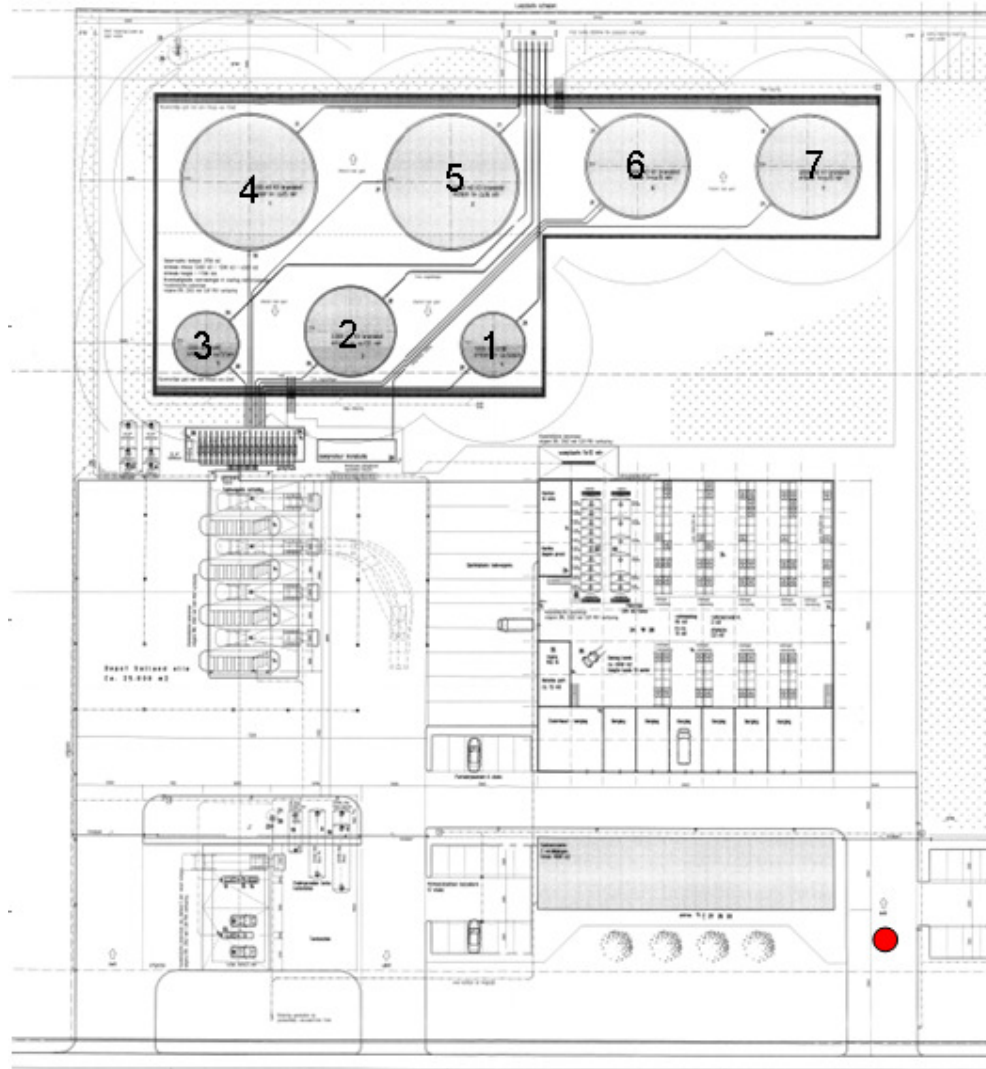
Bijlage 2. Risicoafstanden op basis van faalfrequenties van de fabrikant	24
Referenties	26

1 Inleiding

Ten noorden van de gemeente Kampen wordt het industrieterrein Zuiderzeehaven ontwikkeld. Dit sluit aan op het bestaande industrieterrein Haatlandhaven. De gemeente Kampen heeft aangegeven medewerking te willen verlenen aan de bouw van een windturbinepark in dit industriegebied. Het windpark bestaat uit een lijnopstelling van vier windturbines, waarvan er twee op het nieuwe industrieterrein Zuiderzeehaven zijn geprojecteerd. Het type windturbine ligt nog niet vast. Er wordt uitgegaan van een turbine in de klasse van 2,5 tot 3 MW met een ashoogte van circa 100 meter en rotordiameter van circa 90 meter. Als referentieturbine voor berekeningen in deze kwantitatieve risicoanalyse is uitgegaan van een Vestas V90-3MW turbine met een ashoogte van 105 meter en een rotordiameter van 90 meter. De uitkomsten mogen representatief worden geacht voor vergelijkbare windturbines in deze klasse in die zin dat de veiligheidsrisico's bij eventuele keuze van een andere turbine vergelijkbaar zullen zijn met hetgeen voor deze referentieturbine is berekend.

Salland Olie Zuiderzeehaven B.V. wil op het industrieterrein Zuiderzeehaven een overslagbedrijf voor olieproducten realiseren nabij één van de vier windturbines en daarbij onder andere ook een kantoor met een bruto vloeroppervlak van circa 1000 m² bouwen. In dit rapport zijn de veiligheidsrisico's van de windturbine uitgewerkt voor het personeel in het geplande kantoorgebouw van Salland Olie B.V. Ook zijn trefkansen berekend voor de opslagtanks op het terrein. Deze trefkansen beïnvloeden in principe de resultaten van de kwantitatieve risicoanalyse die door Salland Olie Zuiderzeehaven B.V. moet worden opgesteld voor de vergunningsaanvraag in het kader van de wet milieubeheer. Deze kwantitatieve risicoanalyse beperkt zich in deze fase van het project tot bovengenoemde aspecten. Overige risicoaspecten, bijvoorbeeld met betrekking tot personeel op het terrein, de tankauto's, ondergrondse opslagtanks, de opslagloods etc. worden in dit rapport niet behandeld.

Het terrein van Salland Olie Zuiderzeehaven met onder andere de geplande windturbine, het kantoor en de bovengrondse opslagtanks is afgebeeld in Figuur 1.



Figuur 1. Plattegrond van het geplande terrein van Salland Olie B.V te Kampen. De rode stip geeft de locatie van de geplande windturbine aan.

In deze notitie beschrijven we in hoofdstuk 2 allereerst het wettelijke kader voor veiligheidsrisico's van windturbines. In hoofdstuk 3 bepalen we welke risicocriteria gehanteerd dienen te worden met betrekking tot het kantoor. Vervolgens beschouwen we de veiligheidsrisico's in hoofdstuk 4 en beoordelen deze. Hierbij maken we gebruik van berekeningen in bijlage 1 waarin we volgens van het Handboek Risicozonering Windturbines [1] relevante risicoafstanden bepalen die horen bij de verschillende faalscenario's en risicodefinities. In hoofdstuk 5 berekenen we nogmaals de veiligheidsrisico's, maar nu op basis van door fabrikant Vestas opgegeven faalfrequenties voor de Vestas V90-3MW windturbine. In hoofdstuk 6 illustreren we aan de hand van enkele foto's dat het in Nederland zeer wel mogelijk is gebleken om windturbines op of nabij bedrijfsterreinen te plaatsen. Tot slot vatten we de conclusies samen.

2 Wettelijk kader veiligheidsrisico's windturbines

Windturbines die in Nederland worden geplaatst, moeten voldoen aan het 'Besluit algemene regels voor inrichtingen milieubeheer' (BARIM), ook wel het Activiteitenbesluit [2] genoemd. In het Activiteitenbesluit zijn tien AMvB's, het 'Besluit Voorzieningen en Installaties' en het 'Besluit opslaan in ondergrondse tanks' samengevoegd. Het besluit schrijft voor dat een windturbine moet voldoen aan de veiligheidseisen opgenomen in de Nederlandse voornorm NVN 11400-0 of aan de internationale norm IEC-61400-2. Een windturbine voldoet in elk geval aan deze norm indien voor deze voorziening een certificaat is afgegeven door een certificerende instantie waaruit blijkt dat de voorziening voldoet aan deze regels. De geplande windturbine op het terrein van Salland Olie Zuiderzeehaven B.V. zal een gecertificeerde windturbine zijn zodat aan de wettelijk vereiste veiligheidsgarantie wordt voldaan.

Door de eisen die aan een gecertificeerde windturbine zijn gesteld, worden de risicoaspecten die verband houden met de constructie van de turbine zoveel mogelijk beheerst. Het voldoen aan genoemde richtlijnen biedt daarom onder normale omstandigheden voldoende veiligheidsgarantie voor de omgeving.

De overige eisen met betrekking tot de veiligheid van de installatie hebben betrekking op de bedrijfsvoering van de installatie en zijn als volgt bepaald in artikel 3.14 van het Activiteitenbesluit:

<p>Artikel 3.14</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Een windturbine wordt ten minste eenmaal per kalenderjaar beoordeeld op de noodzakelijke beveiligingen, onderhoud en reparaties door een deskundige op het gebied van windturbines. 2. Indien wordt geconstateerd of indien het redelijk vermoeden bestaat dat een onderdeel of onderdelen van de windturbine een gebrek bezitten, waardoor de veiligheid voor de omgeving in het geding is, wordt de windturbine onmiddellijk buiten bedrijf gesteld en het bevoegd gezag daaromtrent geïnformeerd. De windturbine wordt eerst weer in bedrijfgenomen nadat alle gebreken zijn hersteld. 3. Indien een windturbine als gevolg van het in werking treden van een beveiliging buiten bedrijf is gesteld, wordt deze pas weer in werking gesteld nadat de oorzaak van het buiten werking stellen is opgeheven. 4. Bij de inwerking hebben van een windturbine worden ten behoeve van het voorkomen of beperken van slagschaduw en lichtschittering de bij ministeriële regeling te stellen maatregelen toegepast. 5. Een windturbine voldoet ten behoeve van het voorkomen van risico's voor de omgeving en ongewone voorvallen, dan wel voor zover dat niet mogelijk is het zoveel mogelijk beperken van de risico's voor de omgevingen de kans dat ongewone voorvallen zich voordoen en de gevolgen hiervan aan de bij ministeriële regeling te stellen eisen.
--

Er zijn geen nadere wettelijke risicocriteria waar windturbines aan moeten voldoen, maar in beginsel kan het bevoegd gezag aanvullende eisen stellen met betrekking tot de hoogte van het risico. Bijvoorbeeld in het geval de locatie van de windturbines nabij andere activiteiten of installaties bepalend zijn voor de omgevingsrisico's. Deze kunnen in concrete voorkomende gevallen worden geanalyseerd door middel van een kwantitatieve risicoanalyse (QRA, Quantitative Risk Assessment) waarin de methodiek van het Handboek Risicozonering Windturbines [1] wordt toegepast. Het Handboek sluit aan bij de methodiek van het Besluit Externe Veiligheid Inrichtingen (BEVI, 3) en refereert aan daarin opgenomen risiconormen hoewel windturbines niet onder het BEVI vallen. Windturbines zijn immers geen bedrijven met gevaarlijke stoffen. De QRA is bedoeld om het bevoegd gezag te faciliteren bij het vaststellen van eventuele aanvullende veiligheidseisen bij de vergunningverlening.

3 Afbakening voor risicoberekeningen

Buiten het in hoofdstuk 2 genoemde wettelijk kader zijn er geen nadere wettelijke risicocriteria waar windturbines aan moeten voldoen. Wel kan het bevoegd gezag aanvullende eisen stellen met betrekking tot de hoogte van het risico. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn als de locatie van de windturbines nabij andere activiteiten of installaties staat en daarmee medebepalend is voor de omgevingsrisico's. Het is aan het bevoegd gezag om hierover het uiteindelijke oordeel te geven. Deze kwantitatieve risicoanalyse is bedoeld om het bevoegd gezag hierin te faciliteren.

Deze kwantitatieve risicoanalyse beperkt zich in deze fase van het project tot de omgevingsrisico's voor het kantoor en de bovengrondse opslagtanks. Overige risicoaspecten, bijvoorbeeld met betrekking tot personeel op het terrein, de tankauto's, ondergrondse opslagtanks, de opslagloods etc. worden in dit rapport niet behandeld. Deze elementen dienen bij het opstellen van een volledige kwantitatieve risicoanalyse wel te worden meegenomen.

3.1 Kantoor

Voor het beoordelen van gebouwen toetsen we in eerste instantie op vergelijkbare wijze als in het "Besluit Externe Veiligheid Inrichtingen" (BEVI) [3]. Met het BEVI zijn de risiconormen voor externe veiligheid met betrekking tot bedrijven met gevaarlijke stoffen wettelijk vastgelegd. Kenmerk van het besluit is dat het risico dat optreedt in kwetsbare en beperkt kwetsbare bestemmingen¹ als gevolg van de risicobron, aan de risiconormen wordt getoetst. De hoogte van plaatsgebonden risico (PR) is hierbij het toetsingscriterium, evenals het groepsrisico (GR).

Plaatsgebonden Risico (PR)

Het plaatsgebonden risico is gedefinieerd als de kans (per jaar) dat een persoon komt te overlijden door een ongeval indien hij zich *permanent* en *onbeschermd* op een bepaalde plaats zou bevinden. Een groot kantoor, gedefinieerd als een kantoor met meer dan 1500 m² bruto vloeroppervlak, hoort bijvoorbeeld tot de categorie kwetsbare objecten, en dient volgens het BEVI buiten de PR=10⁻⁶ contour te liggen. Voor beperkt kwetsbare objecten geldt de PR=10⁻⁶ jr⁻¹ contour als richtwaarde.

Voor de duidelijkheid: een windturbine is geen bedrijf met gevaarlijke stoffen, en windturbines vallen daarom ook niet onder het BEVI. We hanteren hier de definitie van

¹ Onder kwetsbare objecten wordt verstaan o.a. woningen (boven een bepaalde dichtheid), ziekenhuizen, scholen, grote kantoorgebouwen (>1500m² bruto per object), grote winkels of winkelcomplexen. Onder beperkt kwetsbare objecten wordt verstaan o.a. verspreid liggende woningen, kantoorgebouwen, winkels, sporthallen of terreinen, bedrijfsgebouwen.

het plaatsgebonden risico volgens het BEVI, en gebruiken de $PR=10^{-6}$ contour als onderscheidend afstandscriterium voor nadere analyse.

Samenvattend, staat een gebouw binnen $PR=10^{-6} \text{ jr}^{-1}$ contour dan wordt de situatie nader geanalyseerd aan de hand van specifieke gegevens over aard en gebruik van het gebouw.

Groepsrisico (GR)

Behalve naar het plaatsgebonden risico, een maat voor het risico op een bepaalde plaats, kan ook gekeken worden naar het groepsrisico, een maat voor de kans dat er bij een ongeval 10 personen of meer komen te overlijden. Het BEVI [3] stelt dat nabij een bedrijf met gevaarlijke stoffen een ongeval met 10 doden of meer slechts met een kans van één op de honderdduizend jaar (10^{-5} per jaar) mag voorkomen en een ongeval met 100 of meer doden slechts met een kans van 10^{-7} per jaar.

Voor de directe risico's van een windturbine geldt er geen wettelijk risicocriterium voor groepsrisico. De vraag is of er bij de windturbine een faalscenario denkbaar is dat direct een ongeval met meer dan 10 doden tot gevolg heeft. Het is moeilijk voorstelbaar dat een dergelijk ongeluk zich zal voordoen bij het faalscenario bladbreuk. Wel is het voorstelbaar dat er meerdere slachtoffers vallen als de gondel valt en juist terecht komt op een plek waar veel personen dicht bijeen zijn. Daarnaast is het voorstelbaar dat meerdere slachtoffers vallen door mastbreuk waarbij de zware gondel en bladwortel terechtkomen op een plaats met hoge personendichtheid. De maximale valafstand bij dit faalscenario is gelijk aan de masthoogte plus de lengte van het rotorblad tot aan het zwaartepunt op circa een derde van de rotorstraal.

Samenvattend, als meer dan 10 personen zich op een beperkte oppervlakte binnen de maximale valafstand kunnen bevinden dan wordt voor deze situatie een kwantitatieve analyse van het groepsrisico uitgevoerd.

3.2 Opslagtanks

Bij de beoordeling van een windturbine bij een installatie zoals een opslagtank is het een belangrijk gegeven als de installatie zelf een verhoogd extern veiligheidsrisico heeft en daarom zelf als mogelijke risicoveroorzaker aan veiligheidscriteria moet voldoen. De plaatsing van windturbines kan van invloed zijn op de risicoanalyse van de installatie omdat het een extra faalscenario toevoegt. Bladbreek of mastbreek bij de windturbine is in dit geval een indirect risico, vanwege de kans op een domino-effect. Het toetsen van de nieuwe situatie aan de risiconorm van de installatie valt buiten het bereik van deze risicoanalyse, omdat hiervoor, behalve de windturbines, voornamelijk de installatie zelf moet worden beschouwd.

In deze risicoanalyse beperken we ons daarom tot het berekenen van de trefkans van de installatie. Als uitgangspunt hanteren we voorts dat treffen van een opslagtank falen inhoudt. De maximale werpafstand van een afgebroken (deel van een) rotorblad bepaalt tot op welke afstand een installatie moet worden beschouwd.

Samenvattend, staat een installatie binnen de maximale werpafstand bij bladbreek dan wordt de trefkans van de installatie berekend.

4 Risicoberekeningen en beoordeling

In dit hoofdstuk beschouwen we kwantitatief de omgevingsrisico's op het terrein van Salland Olie. Basis voor de beschouwingen zijn de berekeningen van risicoafstanden en Plaatsgebonden Risico (PR) in bijlage I die zijn gebaseerd op generieke faalgegevens van windturbines volgens het Handboek Risicozonering Windturbines [1] en door de fabrikant van de windturbine geleverde specificaties van de windturbine zoals afmetingen en rotorsnelheid. We berekenen het plaatsgebonden risico en het groepsrisico voor personen in het kantoor en daarnaast de trefkansen voor de bovengrondse opslagtanks.

4.1 Kantoor (plaatsgebonden risico)

In paragraaf 3.1 is uiteengezet dat we voor gebouwen als onderscheidend afstandcriterium de $PR=10^{-6}$ contour hanteren. Staat een gebouw binnen deze afstand van een windturbine dan wordt de situatie nader geanalyseerd aan de hand van specifieke gegevens over aard en gebruik van het gebouw.

De $PR=10^{-6} \text{ jr}^{-1}$ contour ligt op 150 meter afstand van de windturbine, zie voor de berekening hiervan bijlage 1. Het kantoor ligt met een afstand van circa 10 meter tot de windturbine ruim binnen de $PR=10^{-6} \text{ jr}^{-1}$ contour. Deze situatie wordt hieronder nader geanalyseerd aan de hand van een fictief persoon met de grootste verblijftijd in het kantoor.

We nemen aan dat deze persoon een voltijds werknemer is die 40 uur per week (2000 uur per jaar) in het kantoor werkt in een kamer die het dichtst bij de windturbine is gelegen. Op deze afstand bedraagt het plaatsgebonden risico $3.6 \cdot 10^{-4} \text{ jr}^{-1}$. Verder nemen we aan dat het gebouw deze werknemer geen enkele bescherming biedt. De aldus berekende trefkans van deze persoon cumulatief voor alle faalscenario's van de windturbine bedraagt $8.2 \cdot 10^{-5} \text{ jr}^{-1}$. Om de trefkans van deze persoon terug te brengen tot 10^{-5} jr^{-1} zou het kantoor zich op een afstand van minimaal 14 meter tot de turbine moeten bevinden en om de trefkans van deze persoon terug te brengen tot 10^{-6} jr^{-1} zou het kantoor zich op een afstand van minimaal 46 meter tot de turbine moeten bevinden.

4.2 Kantoor (groepsrisico)

De maximale valafstand van de gondel en bladwortel bij het faalscenario mastbreuk is gelijk aan de masthoogte (105 meter) van de turbine plus de afstand van rotoras tot aan het zwaartepunt van het rotorblad (naar boven afgerond op 16 meter), ofwel totaal 121 meter.

Het kantoor bestaat uit twee verdiepingen en heeft in totaal een bruto vloeroppervlak van circa 1000 m². We gaan hier uit van een bezetting tijdens kantooruren van 40 tot 60

personen in het gebouw. We nemen hier aan dat het kantoor tijdens kantooruren zo druk bezet is dat bij het vallen van de gondel met bladwortel op het kantoor tenminste tien mensen geraakt zullen worden.

De kans dat gondel en rotor tijdens kantooruren op het kantoor valt bepalen we als volgt. We beschouwen allereerst het scenario waarbij gondel en rotor vallen, zonder mastbreuk. Het kantoor staat op een afstand van 10 meter. Het zware gedeelte van de rotor bevindt zich op een afstand van circa 16 meter tot de rotoras. Voor trefkansberekeningen wordt dit windturbineonderdeel volgens het Handboek gemodelleerd als een solide zwaar cirkelvormig element. We merken op dat de afmetingen van de gondel altijd binnen deze cirkel vallen waardoor gondelval niet apart beschouwd hoeft te worden. Het voorgaande betekent dat het kantoor altijd geraakt bij scenario van ‘vallen van de gondel en rotor’ waarvoor de faalkans volgens het Handboek $3.2 \cdot 10^{-4} \text{ jr}^{-1}$ bedraagt. De faalkans volgens dit scenario wordt gelijk aan nul indien de afstand tot het kantoor groter is dan 16 meter.

Vervolgens beschouwen we het scenario mastbreuk. Volgens het Handboek volgen we hier een conservatieve aanpak waarbij de turbine wordt beschouwd als een cirkelsegment met een straal van maximaal 121 meter en een hoek bepaald door een cirkel die het zware rotordeel representeert met een straal van 16 meter. De geometrische kans dat het kantoor bij mastbreuk geraakt wordt bedraagt 62% (224 graden / 366 graden). De faalkans voor het scenario mastbreuk bedraagt $1.3 \cdot 10^{-4} \text{ jr}^{-1}$. De kans op een ongeval met meer dan 10 personen vanwege mastbreuk komt hiermee op $8.1 \cdot 10^{-5} \text{ jr}^{-1}$.

De som van beide faalkansen, te weten die van het vallen van gondel en rotor en die van mastbreuk, bedraagt $4.0 \cdot 10^{-4} \text{ jr}^{-1}$. De verblijftijd van de medewerkers is circa 23% (gerekend is met 2000 uur per jaar). Het groepsrisico komt daarmee uit op circa $9.2 \cdot 10^{-5} \text{ jr}^{-1}$. Dat is hoger dan het BEVI-criterium van 10^{-5} per jaar (zie sectie 0). Deze situatie zou dus niet voldoen aan het criterium voor groepsrisico volgens het BEVI. Om het groepsrisico terug te brengen tot onder het BEVI-criterium van 10^{-5} per jaar zou het kantoor zich minimaal op een afstand van 30 meter tot de turbine moeten bevinden.

4.3 Trefkansen bovengrondse opslag tanks

De opslag tanks bevinden zich op een afstand van circa 100 tot 150 meter, zie Tabel 1. De in bijlage 1 berekende maximale werpafstand van de windturbine bedraagt 373 meter. Dit betekent dat alle opslag tanks de kans lopen om door een afgebroken rotorblad getroffen te worden. Zoals uiteengezet in paragraaf 3.2 berekenen we in dat geval de trefkansen van de installaties.

De berekende trefkansen voor bladbreuk worden weergegeven in Tabel 1. De afmetingen van de cilindrische tanks zijn benaderd met een omhullende rechthoekige vorm. Dit is een bewuste keuze waardoor trefkansen aan de hoge kant worden ingeschat. De berekening van de trefkansen in Tabel 1 maakt conform het Handboek gebruik van de afmetingen van de tanks.

Tabel 1. Trefkansen vanwege bladbreuk, berekend op basis van faalkansen uit het Handboek Risicozonering Windturbines.

opslagtank	afstand tot turbine	trefkans bladbreuk	breedte	diepte	hoogte	trefkans
	meter	kans per m ² per jaar	meter	meter	meter	kans per jaar
tank 1	105	6.5E-09	10	10	14	1.3E-05
tank 2	118	6.7E-09	14	14	14	1.6E-05
tank 3	132	9.2E-09	10	10	14	1.8E-05
tank 4	142	2.2E-09	21	21	15	7.4E-06
tank 5	123	8.0E-09	21	21	15	2.7E-05
tank 6	116	6.4E-09	16	16	15	1.8E-05
tank 7	111	6.5E-09	16	16	15	1.8E-05

Bij mastbreuk kan de windturbine opslagtanks raken als deze binnen een afstand van masthoogte plus halve rotordiameter liggen. Voor het bepalen van deze trefkans modelleren we, conform het Handboek, de rotor als een cirkel. Indien de cirkel een opslagtank raakt dan nemen we aan dat deze faalt. De geometrische kans dat de opslagtank geraakt wordt, wordt bepaald door de afstand tot de windturbine en de diameter van de opslagtank. Tabel 2 toont de berekende trefkans vanwege mastbreuk.

Tabel 2. Trefkansen vanwege mastbreuk, berekend op basis van faalkansen uit het Handboek Risicozonering Windturbines

opslagtank	valhoek	mastbreuk	trefkans mastbreuk
	graden	kans per jaar	kans per jaar
tank 1	60	1.30E-04	2.2E-05
tank 2	56	1.30E-04	2.0E-05
tank 3	42	1.30E-04	1.5E-05
tank 4	36	1.30E-04	1.3E-05
tank 5	54	1.30E-04	2.0E-05
tank 6	58	1.30E-04	2.1E-05
tank 7	59	1.30E-04	2.1E-05

De som van de trefkans door bladbreuk en mastbreuk vormt de totale trefkans voor de opslagtanks, zie Tabel 3. Als vuistregel geldt dat als de trefkans kleiner is dan 10% van de intrinsieke faalkans van de installatie, de risicotoename kan worden verwaarloosd (Riedstra, [4]).

Tabel 3. Totale trefkansen berekend op basis van faalkansen uit het Handboek Risicozonering Windturbines

opslagtank	trefkans bladbreuk	trefkans mastbreuk	trefkans bladbreuk plus mastbreuk
	kans per jaar	kans per jaar	kans per jaar
tank 1	1.3E-05	2.2E-05	3.5E-05
tank 2	1.6E-05	2.0E-05	3.7E-05
tank 3	1.8E-05	1.5E-05	3.4E-05
tank 4	7.4E-06	1.3E-05	2.0E-05
tank 5	2.7E-05	2.0E-05	4.7E-05
tank 6	1.8E-05	2.1E-05	3.9E-05
tank 7	1.8E-05	2.1E-05	3.9E-05

In het document QRA Salland Olie Kwantitatieve risicoanalyse [5] worden in paragraaf 4.2 de volgende scenario's vermeld voor enkele van de opslagtanks waarvoor de genoemde QRA is opgesteld:

Tabel 4. Faalscenario's voor opslagtanks (bron: QRA Salland Olie Kwantitatieve Analyse [5])

Scenario	Beschrijving	Frequentie
G.1a	Instantane uitstroming	$5,0 \cdot 10^{-6} \text{ jr}^{-1}$
G.2a	Continue uitstroming in 10 minuten	$5,0 \cdot 10^{-6} \text{ jr}^{-1}$
G.3a	Lek, uitstroom uit gat van 10mm	$1,0 \cdot 10^{-4} \text{ jr}^{-1}$

De berekende trefkansen per jaar door bladbreuk en mastbreuk zijn groter dan de intrinsieke faalfrequenties van de opslagtanks voor de ernstigste faalscenario's, te weten instantane uitstroming en continue uitstroming in 10 minuten. Deze trefkansen dienen daarom te worden meegenomen in een kwantitative risicoberekening van de bovengrondse opslagtanks.

5 Alternatieve risicoberekeningen

In hoofdstuk 4 van dit rapport hebben wij de risicoanalyses uitgevoerd op basis van de aanbevolen rekenwaarden voor faalfrequenties uit het Handboek Risicozonering Windturbines. Voor het bepalen van deze faalfrequenties van bladen, torens of van andere onderdelen is bij het opstellen van het Handboek gebruik gemaakt van databasegegevens uit 2001 met faalgegevens uit voorgaande jaren. Het is aannemelijk dat deze faalgegevens niet meer representatief zijn voor de huidige generatie windturbines.

Vestas, een leverancier van windturbines, heeft faalfrequenties bepaald op basis van het turbineontwerp. Deze gegevens zijn niet door ons beoordeeld. In bijlage 2 hebben we het plaatsgebonden risico (PR) berekend op basis van deze door de fabrikant verstrekte faalfrequenties voor bladbreuk en mastbreuk. Hieronder gaan we na wat de belangrijkste consequenties zijn als we deze gegevens toepassen op het terrein van Salland Olie.

5.1 Kantoor (plaatsgebonden risico)

De $PR=10^{-6}$ contour ligt nu op 46 meter afstand van de windturbine, zie voor de berekening hiervan bijlage 2. Het kantoor ligt met een afstand van circa 10 meter tot de windturbine nog steeds ruim binnen deze $PR=10^{-6}$ contour.

We beschouwen analoog aan paragraaf 4.1 dezelfde persoon die werkt in de kamer die het dichtst bij de windturbine is gelegen. Het plaatsgebonden risico is vrijwel onveranderd ten opzichte van de in paragraaf 4.1 bepaalde waarde omdat op de faalgegevens voor het afvallen van gondel/rotor op deze afstand bepalend zijn en de faalfrequenties voor mastbreuk op deze afstand nog geen rol spelen. De berekende trefkans van deze persoon is daarom dezelfde als berekend in paragraaf 4.1.

5.2 Kantoor (groepsrisico)

Het berekende groepsrisico in de beschouwde situatie bedraagt $7.5 \cdot 10^{-5} \text{ jr}^{-1}$. Dit risico wordt vooral bepaald door het scenario 'vallen van gondel en rotor'. De verbeterde faalfrequentie voor mastbreuk heeft op deze afstand tot het kantoor vrijwel geen effect op het berekende groepsrisico. Om het groepsrisico terug te brengen tot onder het BEVI-criterium van 10^{-5} per jaar zou het kantoor zich minimaal op een afstand van 16 meter tot de turbine moeten bevinden.

5.3 Trefkansen bovengrondse opslagtanks

Analoog aan paragraaf 4.3 hebben we de trefkansberekeningen voor de opslagtanks uitgevoerd, maar nu op basis van de door de fabrikant verstrekte gegevens voor de faalfrequenties zoals beschreven in bijlage 2.

Onderstaande tabel laat zien dat de trefkansen vanwege bladbreuk maximaal $5.4 \cdot 10^{-7} \text{ jr}^{-1}$ bedragen. Dat is ruim een factor tien lager dan de trefkansen berekend op basis van faalgegevens uit het Handboek (zie Paragraaf 4.2).

Tabel 5. Trefkansen vanwege bladbreuk, berekend op basis van faalkansen verstrekt door Vestas.

opslagtank	afstand tot windturbine	trefkans bladbreuk	breedte	diepte	hoogte	trefkans bladbreuk
	meter	kans per m2 per jaar	meter	meter	meter	kans per jaar
tank 1	105	1.6E-10	10	10	14	3.2E-07
tank 2	118	1.7E-10	14	14	14	4.0E-07
tank 3	132	2.6E-10	10	10	14	5.2E-07
tank 4	142	1.8E-11	21	21	15	6.1E-08
tank 5	123	2.1E-10	21	21	15	7.1E-07
tank 6	116	1.6E-10	16	16	15	4.4E-07
tank 7	111	1.6E-10	16	16	15	4.4E-07

Onderstaande tabel laat zien dat de trefkansen vanwege mastbreuk maximaal $2.6 \cdot 10^{-6} \text{ jr}^{-1}$ bedragen. Dat is ruim een factor tien lager dan de trefkansen berekend op basis van faalgegevens uit het Handboek (zie Paragraaf 4.2).

Tabel 6. Trefkansen vanwege mastbreuk, berekend op basis van faalkansen verstrekt door Vestas.

opslagtank	valhoek	mastbreuk	trefkans mastbreuk
	graden	kans per jaar	kans per jaar
tank 1	60	1.40E-05	2.3E-06
tank 2	56	1.40E-05	2.2E-06
tank 3	42	1.40E-05	1.6E-06
tank 4	36	1.40E-05	1.4E-06
tank 5	54	1.40E-05	2.1E-06
tank 6	58	1.40E-05	2.3E-06
tank 7	59	1.40E-05	2.3E-06

Onderstaande tabel laat zien dat de totale trefkansen voor de opslagtanks maximaal $2.8 \cdot 10^{-6} \text{ jr}^{-1}$ bedragen. Dat is ruim een factor tien lager dan de trefkansen berekend op basis van faalgegevens uit het Handboek (zie Paragraaf 4.2).

Tabel 7. Totale trefkansen, berekend op basis van faalkansen verstrekt door Vestas.

opslagtank	trefkans bladbreuk	trefkans mastbreuk	trefkans bladbreuk plus mastbreuk
	kans per jaar	kans per jaar	kans per jaar
tank 1	3.2E-07	2.3E-06	2.7E-06
tank 2	4.0E-07	2.2E-06	2.6E-06
tank 3	5.2E-07	1.6E-06	2.2E-06
tank 4	6.1E-08	1.4E-06	1.5E-06
tank 5	7.1E-07	2.1E-06	2.8E-06
tank 6	4.4E-07	2.3E-06	2.7E-06
tank 7	4.4E-07	2.3E-06	2.7E-06

De berekende trefkansen per jaar door bladbreuk en mastbreuk zijn van dezelfde orde van grootte als de intrinsieke faalfrequenties van de opslagtanks voor de ernstigste faalscenario's, te weten instantane uitstroming en continue uitstroming in 10 minuten. Deze trefkansen dienen daarom te worden meegenomen in een kwantitatieve risicoberekening van de bovengrondse opslagtanks.

6 Voorbeelden van windturbines op bedrijventerreinen

Onderstaande foto's illustreren dat het in de praktijk in Nederland in tal van situaties mogelijk is gebleken om windturbines op bedrijventerreinen te plaatsen.



Figuur 2: Windturbine naast kantoorpand op bedrijventerrein Leehove, De Lier



Figuur 3: Windturbines tussen bedrijfsgebouwen, kantoren en distributieloozen op het industrieterrein Moerdijk



Figuur 4: Windpark Nerefco, 6^e petroleumhaven Europoort.

7 Conclusies

In dit rapport zijn de veiligheidsrisico's van een geplande windturbine op het terrein van Salland Olie B.V. te Kampen uitgewerkt voor personen in een op het terrein te bouwen kantoorgebouw nabij de windturbine. Ook zijn trefkansen berekend voor de opslagtanks op het terrein. Overige risicoaspecten, bijvoorbeeld met betrekking tot personeel op het terrein, de tankauto's, ondergrondse opslagtanks, de opslagloods etc. worden in dit rapport niet behandeld.

De risico's zijn allereerst beschouwd volgens de methodiek van het Handboek Risicozonering Windturbines. Daarnaast is bepaald wat het effect op de beschouwde risico's is wanneer faalgegevens van windturbinefabrikant (Vestas) wordt gebruikt in plaats van de faalgegevens uit het Handboek. Deze faalfrequenties van de fabrikant zijn lager dan de in het Handboek gehanteerde waarden. Hieronder geven we de belangrijkste conclusies.

1. Er is geen wettelijke norm van kracht voor het directe risico voor personeel in een kantoor vanwege een mogelijk falen van een gecertificeerde windturbine in de nabijheid van een kantoor. Een gecertificeerde windturbine biedt volgens de wet onder normale omstandigheden voldoende veiligheidsgarantie voor de omgeving. Het bevoegd gezag mag in beginsel eventueel wel aanvullende eisen stellen met betrekking tot de hoogte van veiligheidsrisico's. Dit rapport is bedoeld om het bevoegd gezag hierin te faciliteren.
2. De methodiek van het Handboek Risicozonering windturbines sluit aan bij het Besluit Externe Veiligheid Inrichtingen (BEVI) waarin normen zijn opgenomen voor veiligheidsrisico's van bedrijven met gevaarlijke stoffen. Volgens het BEVI mag een kantoor zich niet bevinden binnen de contour die aangeeft waar het plaatsgebonden risico (PR) 10^{-6} jr^{-1} bedraagt. De $PR=10^{-6} \text{ jr}^{-1}$ contour van de windturbine, berekend met faalgegevens uit het Handboek Risicozonering, ligt op 150 meter afstand van de windturbine. Het geplande kantoor van Salland Olie Zuiderzeehaven B.V. ligt met een afstand van circa 10 meter tot de windturbine binnen deze $PR=10^{-6} \text{ jr}^{-1}$ contour. Indien het bevoegd gezag ervoor kiest deze BEVI-norm voor plaatsgebonden risico ook van toepassing te laten zijn op windturbines, dan zou de minimale afstand van een kantoor tot een windturbine 150 meter moeten bedragen.
3. De $PR=10^{-6} \text{ jr}^{-1}$ contour, berekend met specifieke faalgegevens van Vestas, ligt op 46 meter afstand tot de windturbine. Het kantoor ligt met een afstand van circa 10 meter tot de windturbine ook in dit geval binnen deze $PR=10^{-6}$ contour. Indien het bevoegd gezag ervoor kiest deze BEVI-norm voor plaatsgebonden risico ook van toepassing te laten zijn op windturbines en tevens de berekeningswijze met specifieke faalgegevens

accepteert, dan zou de minimale afstand van een kantoor tot de windturbine 46 meter moeten bedragen.

4. De berekende trefkans, dit is het product van plaatsgebonden risico en blootstellingsduur, voor een voltijds werknemer in het kantoor bedraagt circa $8.2 \cdot 10^{-5} \text{ jr}^{-1}$. Indien het bevoegd gezag dit individuele veiligheidsrisico van een persoon als toetsingscriterium voor externe veiligheid van de windturbine zou willen hanteren dan zou een kantoor zich op een afstand van minimaal 14 meter tot de turbine moeten bevinden om een trefkans van minder dan 10^{-5} jr^{-1} te realiseren. Om de trefkans van deze persoon terug te brengen tot 10^{-6} jr^{-1} zou een kantoor zich op een afstand van minimaal 46 meter tot de turbine moeten bevinden.
5. Er is geen wettelijke norm van kracht voor het directe risico voor grote groepen mensen vanwege een mogelijk falen van de gecertificeerde windturbine. In dit rapport vergelijken we een berekend groepsrisico met het groepsrisico zoals dat binnen het Besluit Externe Veiligheid Inrichtingen (BEVI) wordt gehanteerd voor bedrijven met gevaarlijke stoffen. Het BEVI acht het groepsrisico aanvaardbaar als een ongeval met tien of meer doden kleiner is dan één op de honderdduizend jaar (10^{-5} per jaar). Het berekende groepsrisico bedraagt $8.1 \cdot 10^{-5} \text{ jr}^{-1}$. Deze situatie zou dus niet voldoen aan de criteria voor groepsrisico volgens het BEVI. Om het groepsrisico terug te brengen tot onder het BEVI-criterium van 10^{-5} per jaar zou het kantoor zich op een afstand van minimaal 30 meter tot de turbine moeten bevinden.
6. De verbeterde faalfrequentie voor mastbreuk op basis van Vestasgegevens heeft vrijwel geen effect op het berekende groepsrisico omdat het groepsrisico vooral wordt bepaald door het scenario waarin de gondel en rotor op het kantoor vallen. Om het groepsrisico terug te brengen tot onder het BEVI-criterium van 10^{-5} per jaar zou het kantoor zich minimaal op een afstand van 16 meter tot de turbine moeten bevinden.
7. De trefkansen van de opslagtanks, berekend op basis van faalfrequenties volgens het Handboek, zijn gegeven in onderstaande tabel. De berekende trefkansen per jaar door bladbreuk en mastbreuk zijn groter dan de intrinsieke faalfrequenties van de opslagtanks voor de ernstigste faalscenario's, te weten instantane uitstroming en continue uitstroming in 10 minuten. Deze trefkansen dienen daarom te worden meegenomen in een kwantitatieve risicoberekening van de bovengrondse opslagtanks.

opslagtank	trefkans bladbreuk	trefkans mastbreuk	trefkans bladbreuk plus mastbreuk
	kans per jaar	kans per jaar	kans per jaar
tank 1	1.3E-05	2.2E-05	3.5E-05
tank 2	1.6E-05	2.0E-05	3.7E-05
tank 3	1.8E-05	1.5E-05	3.4E-05
tank 4	7.4E-06	1.3E-05	2.0E-05
tank 5	2.7E-05	2.0E-05	4.7E-05
tank 6	1.8E-05	2.1E-05	3.9E-05
tank 7	1.8E-05	2.1E-05	3.9E-05

8. De totale trefkansen vanwege bladbreuk en mastbreuk, berekend op basis van faalfrequenties van Vestas zijn ruim een factor tien lager dan die berekend met

faalfrequenties uit het Handboek, zie onderstaande tabel. Deze tabel toont in welke mate veiligheidsrisico's verkleind kunnen worden door technische aanpassingen aan de windturbine. De berekende trefkansen per jaar door bladbreuk en mastbreuk zijn van dezelfde orde van grootte als de intrinsieke faalfrequenties van de opslagtanks voor de ernstigste faalscenario's, te weten instantane uitstroming en continue uitstroming in 10 minuten. Deze trefkansen dienen daarom te worden meegenomen in een kwantitatieve risicoberekening van de bovengrondse opslagtanks.

opslagtank	trefkans bladbreuk	trefkans mastbreuk	trefkans bladbreuk plus mastbreuk
	kans per jaar	kans per jaar	kans per jaar
tank 1	3.2E-07	2.3E-06	2.7E-06
tank 2	4.0E-07	2.2E-06	2.6E-06
tank 3	5.2E-07	1.6E-06	2.2E-06
tank 4	6.1E-08	1.4E-06	1.5E-06
tank 5	7.1E-07	2.1E-06	2.8E-06
tank 6	4.4E-07	2.3E-06	2.7E-06
tank 7	4.4E-07	2.3E-06	2.7E-06

Bijlage 1. Risicoafstanden op basis van faalfrequenties volgens het Handboek

Risicoberekeningen worden uitgevoerd volgens de methodiek van het Handboek Risicozonering Windturbines [1].

Het Handboek Risicozonering Windturbines onderscheidt de volgende ongevalsscenario's bij een windturbine:

1. het afbreken van (een deel van) een rotorblad (bladbreuk). Voor het rekenmodel worden drie oorzaken van bladbreuk onderscheiden:
 - a. bladbreuk tijdens normaal bedrijf
 - b. bladbreuk tijdens remactie
 - c. bladbreuk tijdens overtoeren
2. het omvallen van de mast inclusief gondel en rotor (mastbreuk)
3. het afvallen van gondel en/of rotor.

Als faalfrequenties voor de verschillende ongevalsscenario's worden de aanbevolen rekenwaarden uit het Handboek Risicozonering Windturbines gebruikt. Deze zijn gegeven in Tabel 8.

Tabel 8: Scenario's en faalfrequenties voor generieke turbines.

Ongevalscenario	Aanbevolen rekenwaarde
Bladbreuk	$8,4 \cdot 10^{-4} \text{ jr}^{-1}$
<i>normaal bedrijf</i>	$4,2 \cdot 10^{-4} \text{ jr}^{-1}$
<i>tijdens remactie</i>	$4,2 \cdot 10^{-4} \text{ jr}^{-1}$
<i>tijdens overtoeren</i>	$5,0 \cdot 10^{-6} \text{ jr}^{-1}$
Mastbreuk	$1,3 \cdot 10^{-4} \text{ jr}^{-1}$
Afvallen van gondel en/of rotor	$3,2 \cdot 10^{-4} \text{ jr}^{-1}$

Als werpmodel bij bladbreuk wordt het ballistisch model zonder luchtkrachten gehanteerd.

In de berekeningen gaan we uit van gegevens die zijn gebaseerd op de productsheet van de Vestas V90-3MW windturbine, zie Tabel 9.

Tabel 9. Gegevens van de Vestas V90-3MW windturbine (gebaseerd op de productsheet van de fabrikant)

Nominaal vermogen *	3	MW*
Masthoogte *	105	meter
Diameter mast *	4.15	meter*
Rotordiameter *	90	meter*
Lengte blad **	44	meter**
Bladoppervlak **	99.1	m ^{2**}
Nominaal toerental	16.1	omw. per min.*
Afstand zwaartepunt t.o.v. rotor-as**	15.6	meter**
Maten gondel (lengte x breedte x hoogte) *	13.25 x 4 x 4	meter**

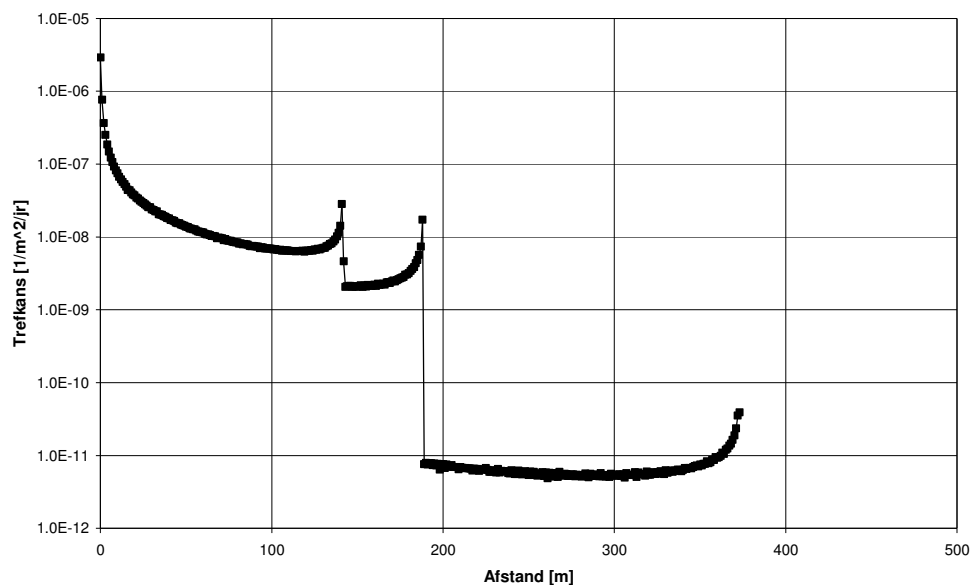
* Volgens specificaties fabrikant

** Bepaald volgens Handboek Risicozonering Windturbines, Bijlage B

Bladbreek

Berekening volgens Handboek Risicozonering Windturbines, bijlage B, hoofdstuk 3.

Voor het bepalen van de trefkans van een object moet eerst de kans worden berekend dat het zwaartepunt van het afgebroken blad op een bepaalde afstand tot de (mastvoet van de) turbine terechtkomt. Op basis van de gegevens in Tabel 8 en het ballistisch model zonder luchtkrachten is deze kans berekend. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5: Trefkans van het zwaartepunt van het rotorblad als functie van de afstand tot de windturbine.

Zoals in de figuren is te zien treden scherpe pieken op bij maximale werpafstanden voor de gebeurtenissen 'bladbreek bij normaal bedrijf', 'bladbreek tijdens remactie' en 'bladbreek tijdens overtoeren'. Deze pieken zijn een gevolg van het gebruikte rekenmodel. Bij de kogelbaanberekeningen wordt er van uitgegaan dat het toerental voor elk van de

faalscenario's constant is. Omdat dit in de praktijk niet het geval is, zijn de pieken in werkelijkheid beduidend minder scherp. De berekende maximale werpafstanden bij de verschillende faalscenario's zijn gegeven in Tabel 10.

Tabel 10: ·Maximale werpafstand bij de verschillende faalscenario's voor het afbreken van een rotorblad – Vestas V90.

Scenario bladbreuk	Maximale werpafstand
Normaal bedrijf (nominaal toerental)	142 meter
Mechanisch remmen (1,25 keer nominaal)	188 meter
Overtoeren (2 keer nominaal toerental)	373 meter

Mastbreuk

Het afbreken van de mast (of toren) betekent meestal een risico in de nabijheid van de turbine. De hele windturbine heeft een grote massa en kan dus grote schade aanrichten aan objecten dicht bij de turbine. De afstand is maximaal als de mast onderaan bij de mastvoet breekt.

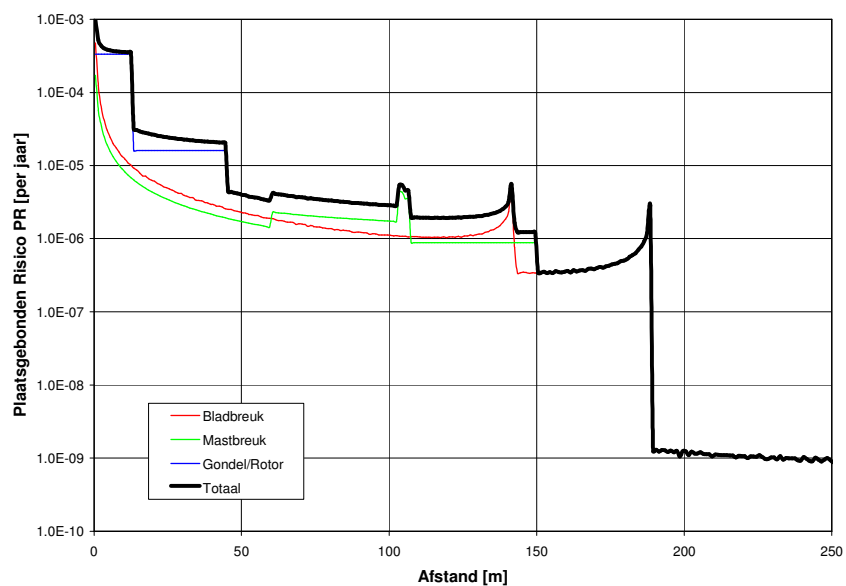
Gezien het gewicht van de gondel zal het neerkomen van de gondel de grootste inslagbelasting tot gevolg hebben. De maximale valafstand van de gondel bij dit faalscenario is gelijk aan de masthoogte (zie Tabel 9) plus de hoogte van de gondel en bedraagt 150 meter. Deze maximale valafstand van de gondel is relevant voor het groepsrisico.

Plaatsgebonden risico

Het plaatsgebonden risico (PR) is de kans (per jaar) dat een persoon komt te overlijden door een ongeval indien hij zich permanent en onbeschermd op een bepaalde plaats zou bevinden.

Voor het ongevalsscenario bladbreuk wordt het PR berekend uit de trefkansen van het zwaartepunt van het rotorblad als functie van de afstand, zoals gegeven in Figuur 5. Verder volgens Handboek Risicozonering Windturbines, bijlage C.1, sectie 3.1. Voor de ongevalsscenario's mastbreuk en afvallen van gondel en rotor hanteren we de methodiek volgens Handboek Risicozonering Windturbines, bijlagen C.2 en C.3.

De resultaten zijn weergegeven in Figuur 6. In deze figuur is het PR gegeven voor de drie ongevalsscenario's afzonderlijk, de vette lijn geeft het totale PR. De resulterende contourafstanden zijn gegeven in Tabel 11.



Figuur 6: Plaatsgebonden risico (PR) als functie van de afstand tot de windturbine.

Tabel 11: Afstanden van de verschillende PR contouren – Vestas V90.

Contour	Afstand van de contour
PR = 10^{-5} per jaar	45 meter
PR = 10^{-6} per jaar	150 meter
PR = 10^{-8} per jaar	189 meter

Bijlage 2. Risicoafstanden op basis van faalfrequenties van de fabrikant

Risicoanalyses voor windturbines worden in het algemeen uitgevoerd op basis van de aanbevolen rekenwaarden voor faalfrequenties uit het Handboek Risicozonering Windturbines. Voor het bepalen van deze faalfrequenties van bladen, torens of van andere onderdelen is bij het opstellen van het Handboek gebruik gemaakt van databasegegevens uit 2001 met faalgegevens uit voorgaande jaren². Het is aannemelijk dat deze faalgegevens niet meer representatief zijn voor de huidige generatie windturbines.

Vestas, een leverancier van windturbines, heeft faalfrequenties bepaald op basis van het turbineontwerp. Deze gegevens zijn niet door ons beoordeeld. In deze bijlage berekenen we het plaatsgebonden risico (PR) op basis van de door de fabrikant verstrekte faalfrequenties voor bladbreuk en mastbreuk. Vervolgens gaan we na wat de belangrijkste consequenties zijn als we alleen de fabrikantgegevens voor mastbreuk in de berekeningen gebruiken.

PR-contour met fabrikantgegevens voor bladbreuk en mastbreuk

De door de fabrikant beschouwde faalscenario's verschillen van die in het Handboek. De verschillen in scenario benoemen we hieronder.

De fabrikant verstrekt faalfrequenties voor bladbreuk voor de volgende twee scenario's, te weten:

- Extreme turbulentie tijdens normaal bedrijf ($1,4 \cdot 10^5 \text{ jr}^{-1}$)
- Noodstop na uitval van het elektriciteitsnet ($1,5 \cdot 10^6 \text{ jr}^{-1}$)

Het Handboek geeft faalfrequenties voor bladbreuk voor de volgende drie scenario's, te weten:

- Normaal bedrijf ($4,2 \cdot 10^4 \text{ jr}^{-1}$)
- Tijdens remactie ($4,2 \cdot 10^4 \text{ jr}^{-1}$)
- Tijdens overtoeren ($5,0 \cdot 10^6 \text{ jr}^{-1}$)

We berekenen de PR-contour onder de aanname dat we de door de fabrikant opgegeven faalfrequenties mogen vertalen naar Handboek-faalfrequenties zoals weergegeven in onderstaande tabel. Verder nemen we aan dat de faalfrequentie voor het scenario 'Bladbreuk tijdens overtoeren' ongewijzigd blijft. Tevens gebruiken we de faalfrequentie voor mastbreuk volgens de opgave van de fabrikant.

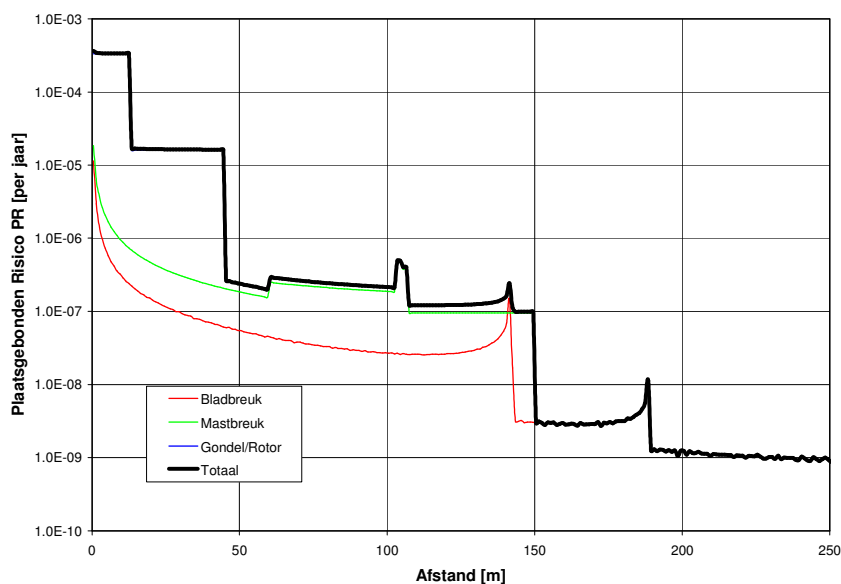
² De gegevens werden ontleend aan databases van het Institut für Solare Energiesystemen (ISET) in Duitsland en Energie- og Miljødata (EMD) in Denemarken.

tabel 12. In de risicoberekeningen toegepaste faalfrequenties volgens fabrikant en Handboek

Ongevalscenario	Faalfrequenties volgens opgave turbinefabrikant	Aanbevolen rekenwaarde Handboek
Bladbreuk	$1,9 \cdot 10^{-5} \text{ jr}^{-1}$	$8,4 \cdot 10^{-4} \text{ jr}^{-1}$
<i>normaal bedrijf</i>	$1,4 \cdot 10^{-5} \text{ jr}^{-1}$	$4,2 \cdot 10^{-4} \text{ jr}^{-1}$
<i>tijdens remactie</i>	$1,5 \cdot 10^{-6} \text{ jr}^{-1}$	$4,2 \cdot 10^{-4} \text{ jr}^{-1}$
<i>tijdens overtoeren*</i>	$5,0 \cdot 10^{-6} \text{ jr}^{-1}$	$5,0 \cdot 10^{-6} \text{ jr}^{-1}$
Mastbreuk	$1,4 \cdot 10^{-5} \text{ jr}^{-1}$	$1,3 \cdot 10^{-4} \text{ jr}^{-1}$
Afvallen van gondel en/of rotor*	$3,2 \cdot 10^{-4} \text{ jr}^{-1}$	$3,2 \cdot 10^{-4} \text{ jr}^{-1}$

* Gegevens uit het Handboek

De resultaten zijn weergegeven in figuur 7. In deze figuur is het PR gegeven voor de drie ongevalsscenario's afzonderlijk, de vette lijn geeft het totale PR. De resulterende contourafstanden zijn gegeven in tabel 10.



figuur 7. Plaatsgebonden risico (PR) als functie van de afstand tot de windturbine, bepaald met faalfrequenties op basis van het turbineontwerp (fabrikantgegevens).

tabel 13: Afstanden van de verschillende PR contouren berekend op basis van fabrikantgegevens

Contour	Afstand
PR = 10^{-6} per jaar	46 meter
PR = 10^{-8} per jaar	144 meter

Referenties

- [1] Handboek Risicozonering Windturbines - 2e, geactualiseerde versie januari 2005, opgesteld door ECN i.s.m. KEMA.
- [2] Besluit van 19 oktober 2007, nr. 07.001133, houdende algemene regels voor inrichtingen (Besluit algemene regels voor inrichtingen milieubeheer).
- [3] Besluit van 27 mei 2004, houdende milieukwaliteitseisen voor externe veiligheid van inrichtingen milieubeheer (Besluit Externe Veiligheid Inrichtingen), Staatsblad 2004, 250.
- [4] Windturbines op veilige afstand? Artikel door ir. D. Riedstra (RIVM), Milieu Magazine, jaargang 16, nr. 8, oktober 2005.
- [5] QRA Salland Olie Kwantitatieve Risicoanalyse, Save, projectnummer 178515 080152-HA14, revisie 03, 12 februari 2008