BOSCH & VAN RIJN
Experts in duurzame energie en ruimte

Windpark Hogezandse Polder

Veiligheidsanalyse alternatieven Combi-MER

Definitief

Opdrachtgever
De Wolff Windenergie BV

Windpark Hogezandse Polder

Veiligheidsanalyse alternatieven Combi-MER

Definitief 22 oktober 2014

Auteur
Drs. Ing. Jeroen Dooper

Bosch & Van Rijn
Prins Bernhardlaan 63
3555 AC Utrecht

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

© Bosch & Van Rijn 2014
Behoudens hetgeen met de opdrachtgever is overeengekomen, mag in dit rapport vervatte informatie niet aan derden worden bekendgemaakt. Bosch & Van Rijn BV is niet aansprakelijk voor schade door het gebruik van deze informatie.

Inhoudsopgave

1. Inleiding 3
1.1 Inleiding 3
1.2 Relevante objecten in de omgeving 4

2 Nationaal beleid en regelgeving 5
2.1 Risicovolle inrichtingen (Besluit externe veiligheid inrichtingen, Bevi). 5
2.2 Leidingstraat (Besluit externe veiligheid buisleidingen, Bevb) 5
2.3 Bebouwing (Activiteitenbesluit) 6
2.4 Interne veiligheid 6

3 Risico's van een windturbine 7
3.1 Inleiding 7
3.2 Risicovolle inrichtingen (Bevi-inrichtingen). 7
3.3 Leidingstraat 10
3.4 Bebouwing 15

4 Conclusies 16
4.1 Risicovolle inrichtingen (Bevi-inrichtingen). 16
4.2 Leidingstraat 16
4.3 Bebouwing 17
4.4 Interne veiligheid 17

Bijlage 1: (Beperkt) kwetsbare objecten 18
Bijlage 2: Berekening werpafstand 19
Bijlage 3: Windturbineparameters 21
Bijlage 4: 10^{-6} contouren per opstelling 22

1. Inleiding

1.1 Inleiding

In de Hogezandse polder wordt een windpark ontwikkeld. In dit document wordt het plan getoetst aan de wet- en regelgeving op het gebied van externe veiligheid. Deze informatie wordt mede gebruikt om uiteindelijk te bepalen welke opstelling gerealiseerd kan worden. Daarop wordt een MER en een bestemmingsplan vastgesteld. In het MER worden 6 verschillende alternatieven onderzocht. Er zijn 3 alternatieven met 6 turbines en 3 alternatieven met 9.

Figuur 1 - Inrichtingsalternatieven.

De zes inrichtingsalternatieven verschillen in aantal en locatie:

- 3 van de alternatieven bestaan uit 6 windturbines; 3 alternatieven bestaan uit 9 windturbines.
- Er zijn drie opstellingsvormen onderzocht: een lijn, een boog en een knik; dit geldt zowel voor de alternatieven met 6 als met 9 windturbines.

Voor de veiligheidsanalyse van windpark Hogezandse Polder is nationaal beleid en regelgeving van toepassing. Hierbij gaat het om de externe werking van windturbines in de Hogezandse polder op de omgeving.

1.2 Relevante objecten in de omgeving

Op onderstaande kaart zijn de mogelijke opstellingen gegeven inclusief relevante objecten in de directe nabijheid. Voor een kaart met meer detail verwijzen naar de verbeelding in het bestemmingsplan.

De volgende onderwerpen zijn van belang:

- *Risicovolle inrichtingen (Bevi-inrichtingen).*
- *Leidingstraat (Bevb)*
- *Bebouwing (Activiteitenbesluit).*
- *Interne veiligheid van de windturbines*

In het volgende hoofdstuk wordt het beleid en de regelgeving uitgelegd betreffende bovenstaande onderwerpen.

2 Nationaal beleid en regelgeving

2.1 Risicovolle inrichtingen (Besluit externe veiligheid inrichtingen, Bevi).

Windturbines kunnen mogelijk een effect hebben op nabijgelegen bedrijven (inrichtingen). Als bijvoorbeeld rotor af zou breken kan deze op de installaties terechtkomen en daardoor een veiligheidsrisico opleveren. Als de windturbines niet substantieel bijdragen aan een hoger risico van de inrichting zullen de voor de inrichting geldende afstanden tot (beperkt) kwetsbare objecten ook na plaatsing van de windturbines van kracht blijven. Om dit te toetsen wordt in eerste instantie naar de toename van de catastrofale faalfrequentie van risicovolle installaties gekeken. Indien deze toename een bepaalde richtwaarde niet overschrijdt dan is plaatsing van de windturbine uit oogpunt van risicobeoordeling toegestaan. Als uitgangspunt voor deze richtwaarde wordt op basis van het Handboek Risicozonering Windturbines[1] 10% gehanteerd. Indien de toename deze richtwaarde overschrijdt, is plaatsing niet direct uitgesloten, maar wordt door een uitgebreidere analyse bepaald of er na plaatsing nog steeds voldaan wordt aan de normen uit het Bevi:

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

2.2 Leidingstraat (Besluit externe veiligheid buisleidingen, Bevb)

Windturbines kunnen mogelijk een gevolg hebben op nabijgelegen buisleidingen waar gevaarlijke producten in getransporteerd worden. In Bevb is aangegeven aan welke regels voldaan moet worden. In de nabijheid van windpark Hogezandse Polder bevindt zich een buisleidingenstraat waarin onder meer een gasleiding van de Gasunie ligt. Hiervoor hanteert de Gasunie een adviesafstand waarbuiten geen substantiële negatieve invloed van een windturbine te verwachten is. Deze afstand is gelijk aan de maximale werpafstand bij nominaal toerental. Voor bovengrondse installaties hanteert de Gasunie een adviesafstand gelijk aan de maximale werpafstand bij overtoeren. Dit is echter geen harde belemmering. In overleg met Gasunie en afhankelijke van een locatie specifieke risicoanalyse zijn kleinere afstanden vergunbaar. In dat geval en voor overige leidingen wordt getoetst aan artikel 11 van het Besluit Externe Veiligheid Buisleidingen:

[1] Handboek Risicozonering Windturbines, 2013.

§ 3. Vaststelling van bestemmingsplannen

Artikel 11

1. *Bij de vaststelling van een bestemmingplan, op grond waarvan de aanleg van een buisleiding of de aanleg, bouw of vestiging van een kwetsbaar object bij een buisleiding wordt toegelaten, wordt een grenswaarde in acht genomen van 10^{-6} per jaar met betrekking tot het plaatsgebonden risico voor kwetsbare objecten.*
2. *Bij de vaststelling van een bestemmingsplan op grond waarvan de aanleg van een buisleiding of de aanleg, bouw of vestiging van een beperkt kwetsbaar object bij een buisleiding wordt toegelaten, wordt rekening gehouden met een richtwaarde van 10^{-6} per jaar met betrekking tot het plaatsgebonden risico voor beperkt kwetsbare objecten.*
3. *Met betrekking tot de vaststelling van een bestemmingsplan op grond waarvan de aanleg, bouw of vestiging van een risico verhogend object wordt toegelaten in de directe omgeving van de buisleiding zijn het eerste en tweede lid van overeenkomstige toepassing.*

2.3 Bebouwing (Activiteitenbesluit)

In het Activiteitenbesluit zijn normen opgenomen waaraan windturbines ten aanzien van nabijgelegen bebouwing moet voldoen:

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

2.4 Interne veiligheid

Buiten de eerdergenoemde eisen en richtlijnen omtrent externe veiligheid dienen windturbines ook te voldoen aan eisen omtrent interne veiligheid. Bij interne veiligheid gaat het om voorzieningen in en aan de windturbines zelf, die de kans op onveilige situaties (o.a. brand, elektrocutie, afwerpen van ijsafzetting) zo klein mogelijk maken. Dergelijke interne veiligheidsvoorzieningen gelden voor elk type turbine in elke willekeurige opstelling. Deze veiligheidsvoorzieningen zijn samengevat in een geobjectiveerd eisenpakket NVN 11400-0 “Windturbines, voorschriften voor typecertificatie, technische eisen” of haar opvolger IEC 61400-1 “Wind Turbine Safety and Design“. Alleen gecertificeerde windturbines voorzien van een geldig typecertificaat conform (een van) de hierboven genoemde normen komen in Nederland in aanmerking voor een omgevingsvergunning. Het spreekt voor zich dat de geplande windturbines in de Hogezandsepolder hieraan zullen voldoen.

3 Risico's van een windturbine

3.1 Inleiding

De veiligheidsrisico's van een windturbine worden gevormd door 3 typen falen:

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

Het afbreken van een windturbineblad vormt een risico binnen de straal van de maximale werpafstand bij nominaal toerental. Het omvallen van een windturbine vormt een risico binnen een straal van de maximale valafstand van de windturbine (tiphoogte). Het naar beneden vallen van de gondel en/of rotor vormt een risico binnen een afstand van de wieklengte.

Bij het bestuderen van de veiligheidsafstanden is gerekend met een windturbine-type met relatief grote afmetingen. Indien deze turbine aan de normen voldoet zal ook een lagere turbine met een kleinere rotordiameter voldoen. Er is gerekend met het type Nordex N117 (3 MW, rotordiameter 117m, masthoogte 120m). In bijlage 3 staan de werpafstanden van deze windturbines berekend volgens de methode uit het Handboek Risicozonering windturbines , 2013 (zie bijlage 2 voor de gehanteerde rekenmethodiek).

Vermogen (MW)	Rotordiameter (m)	Ashoogte (m)	Tiphoogte (m)	Max. werpafstand bij nom. toerental (m)	Max. werpafstand in overoteren (m)
3,0	117	120	178,5	**160**	**417**

3.2 Risicovolle inrichtingen (Bevi-inrichtingen).

Onderstaande kaart (risicokaart.nl) geeft de risicovolle inrichtingen in de nabijheid van de geplande windturbines.

Figuur 2: Risicovolle inrihctingen nabij het plangebied.

Het vlak waar de opslagtank zich bevindt is 2 x 4 meter (er wordt een hoogte van 1,5 meter aangenomen). In de berekeningen wordt ervan uitgegaan dat wanneer dit gedeelte wordt geraakt de propaantank zal falen. Alleen windturbines die op een kleinere afstand dan 417 meter (max. werpafstand) staan ingetekend hebben een risico verhogend effect. Onderstaande tabel geeft per opstelling de windturbine binnen deze afstand en de afstand tussen de opslagtank en de geplande windturbine. De opslagtank bevindt zich buiten de invloedsfeer van de overige windturbines.

Opstelling	Afstand (m.)
6 lijn	400
6 knik	400
6 boog	410
9 lijn	**350**
9 knik	400
9 boog	-

Tabel 1: Afstand tussen windturbine en opslagtank binnen maximale werpafstand

Rekenmethode wiekbreuk (Handboek Risicozonering Windturbines)
Om de trefkans van een object met hoogte h, breedte b, en diepte d te berekenen wordt uitgegaan van een geprojecteerd grondoppervlak:

De kans dat het zwaartepunt van de wiek in het geprojecteerde oppervlak terecht komt is:

$$P_{od} = P_{zwpt} \cdot A_{pt}$$

Waarin:

P_{zwpt} = trefkans per jaar van het zwaartepunt van het blad.
A_{pt} = (b+h)·(d+h)

6 lijn windturbine 1: $P_{od} = 6{,}92 \cdot 10^{-12} \cdot ((2+1{,}5) \cdot (4+1{,}5)) = 1{,}33 \cdot 10^{-10}$

6 knik windturbine 1: $P_{od} = 6{,}92 \cdot 10^{-12} \cdot ((2+1{,}5) \cdot (4+1{,}5)) = 1{,}33 \cdot 10^{-10}$

6 boog windturbine 1: $P_{od} = 1{,}01 \cdot 10^{-11} \cdot ((2+1{,}5) \cdot (4+1{,}5)) = 1{,}94 \cdot 10^{-10}$

9 lijn windturbine 4: $P_{od} = 4{,}36 \cdot 10^{-12} \cdot ((2+1{,}5) \cdot (4+1{,}5)) = 8{,}40 \cdot 10^{-11}$

9 knik windturbine 4: $P_{od} = 6{,}92 \cdot 10^{-12} \cdot ((2+1{,}5) \cdot (4+1{,}5)) = 1{,}33 \cdot 10^{-10}$

De opslag kan direct door het zwaartepunt worden getroffen, maar het is ook mogelijk dat het zwaartepunt van het blad binnen een afstand van 2/3 L_b (lengte afgebroken blad) inslaat. In dit geval kan de tank nog door het blad worden geraakt aangezien het zwaartepunt zich op ongeveer 1/3 van het blad bevindt. Deze kans loopt van 0,0 naar 1,0 van de buitenrand van de 2/3 L_b strook tot de gasflessenopslag.

De kans dat het zwaartepunt in de strook met breedte 2/3 L_b rondom de tank terechtkomt is:

$$P_{oi} = P_{zwpt}\left((2b + 2d) \cdot {}^{1}/_{3} \cdot L_b + \frac{\pi}{3} \cdot \left({}^{2}/_{3} \cdot L_b\right)^2\right)$$

6 lijn windturbine 1: $P_{oi} = 6{,}92 \cdot 10^{-12}\left((12) \cdot {}^{1}/_{3} \cdot 57{,}3 + \frac{\pi}{3} \cdot \left({}^{2}/_{3} \cdot 57{,}3\right)^2\right) = 1{,}22 \cdot 10^{-8}$

6 knik windturbine 1: $P_{oi} = 6{,}92 \cdot 10^{-12}\left((12) \cdot {}^{1}/_{3} \cdot 57{,}3 + \frac{\pi}{3} \cdot \left({}^{2}/_{3} \cdot 57{,}3\right)^2\right) = 1{,}22 \cdot 10^{-8}$

6 boog windturbine 1: $P_{oi} = 1{,}01 \cdot 10^{-11}\left((12) \cdot {}^{1}/_{3} \cdot 57{,}3 + \frac{\pi}{3} \cdot \left({}^{2}/_{3} \cdot 57{,}3\right)^2\right) = 1{,}77 \cdot 10^{-8}$

9 lijn windturbine 4: $P_{oi} = 4{,}36 \cdot 10^{-12}\left((12) \cdot {}^{1}/_{3} \cdot 57{,}3 + \frac{\pi}{3} \cdot \left({}^{2}/_{3} \cdot 57{,}3\right)^2\right) = 7{,}66 \cdot 10^{-9}$

9 knik windturbine 4: $P_{oi} = 6{,}92 \cdot 10^{-12}\left((12) \cdot {}^{1}/_{3} \cdot 57{,}3 + \frac{\pi}{3} \cdot \left({}^{2}/_{3} \cdot 57{,}3\right)^2\right) = 1{,}22 \cdot 10^{-8}$

De totale kans dat de propaantank wordt geraakt door een afgebroken blad is nu;

6 lijn windturbine 1: $P_{oi} + P_{od} = P_o = 1{,}23 \cdot 10^{-8}$

6 knik windturbine 1: $P_{oi} + P_{od} = P_o = 1{,}23 \cdot 10^{-8}$

6 boog windturbine 1: $P_{oi} + P_{od} = P_o = 1{,}79 \cdot 10^{-8}$

9 lijn windturbine 4: $P_{oi} + P_{od} = P_o = 7{,}75 \cdot 10^{-9}$

9 knik windturbine 4: $P_{oi} + P_{od} = P_o = 1{,}23 \cdot 10^{-8}$

De scenario's en faalkansen van een propaantank zijn als volgt:

Scenario	Frequentie (per jaar)
Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud.	5×10^{-6}
Vrijkomen van de gehele inhoud in 10 min. in een continu en constante stroom.	5×10^{-6}
Continu vrijkomen uit een gat met een effectieve diameter van 10 mm.	1×10^{-4}
Totaal	**$1{,}1 \times 10^{-4}$**

Tabel 2: Scenario's voor bovengrondse opslagtanks (Handboek risicoberekeningen Bevi, tabel 17).

Dit resulteert in de volgende faalkansverhogingen door plaatsing van de windturbines:

Opstelling	Windturbine (v.l.n.r.)	Faalkansverhoging opslagtank
6 lijn	1	0,01%
6 knik	1	0,01%
6 boog	1	0,02%
9 lijn	4	0,01%
9 knik	4	0,01%

Tabel 3: Faalkanverhogingen van opslagtank

3.3 Leidingstraat

Onderstaand gebied (in rood) is het gebied met de bestemming “Overig - Buisleidingstraat”, hier is de ligging van leidingen mogelijk.

Onderstaande kaart geeft de ligging van de aanwezige leidingen.

Binnen de maximale werpafstand bij overtoeren liggen de volgende leidingen:

1. Hogedruk gasleiding (Gasunie)
2. Overige leidingen
   a. Buisleidingen airliquide (3x)
   b. Buisleiding DPO
   c. Buisleiding Total Vlissingen
   d. Buisleiding Shell Nederland

Om te bepalen of de windturbines geen onacceptabele risico's veroorzaken t.o.v. de huidige en toekomstige leidingen wordt de faalkansverhoging bepaald van de volgende leidingen:

- Leiding op kleinste afstand (Gasleiding).
- Overige leidingen;
  - Leiding op kleinste afstand
  - Leiding op grootste afstand

De leidingstraat bevindt zich buiten de valafstand en maximale werpafstand bij nominaal toerental van de windturbineopstellingen. Alleen het scenario wiekbreuk bij overtoeren van de meest oostelijke windturbine heeft een risico verhogend effect op de leidingstraat. Er zijn twee manieren waarop ondergrondse leidingen kunnen falen door impact van een zwaar voorwerp op de grond:

1. Het voorwerp vormt een krater en raakt de leiding daarbij rechtstreeks.
2. De leiding faalt doordat de grond bij een dergelijke grote impact over lange afstanden weggeduwd wordt, waardoor leidingen worden blootgesteld aan verschuivingen en door de ontstane spanning kunnen falen.

De maximale afstand waarbij de leiding nog faalt (de kritische afstand) volgt uit de hoeveelheid toelaatbare stress. Deze wordt berekend met (Handboek Risicozonering Windturbines, 2013):

$$R = 0{,}3048 * \left(\frac{4{,}44E}{\sigma toelaatbaar}\right)^{\frac{1}{k5k6}} * \left(\frac{2{,}03 \cdot 10^{-4} * k4 * E_{kinetisch}}{\sqrt{E * t}}\right)^{\frac{1}{k5}}$$

Waarbij:

R:	de kritische afstand [m]
E:	elasticiteit [Pa]
σtoelaatbaar:	toelaatbare extra stress voordat metaal gaat vloeien [Pa]
t :	wanddikte [mm]
$E_{kinetisch}$:	de energie van de bron (effectieve kinetische energie) [J] of voor de lijnbron de energiedichtheid per eenheidslengte [J/m]
k4, k5 en k6:	empirische coëfficiënten (Handboek Risicozonering Windturbines)

3.3.1 *Gasleiding*

E:	$2{,}1*10^{11}$ (materiaal: L480MB)
$\sigma_{toelaatbaar}$:	$2{,}24*10^{8} = SMYS - \frac{P*D}{2*t}$
	SMYS: minimum vloeigrens: $4{,}8*10^{8}$ Pa
	P: de interne gasdruk: $7{,}99*10^{6}$
	D: diameter van de pijpleiding: 1219 mm
t :	19 mm
$E_{kinetisch}$:	$1{,}25*10^{7}$ = m*g*h+1/4*m*v^2
	v: (2ηϖ/60)*(l/3)
	m: massa van het object: 10.600 kg
	g: valversnelling: 9,81 m/s^2
	h: initiële hoogte van het vallend object: 120 m.
	ϖ: toerental van de windturbine: 12,6 rpm
	l: bladlengte: 57,3 m.

Hieruit resulteert R = 1,61 meter. De gasleiding ligt op een diepte van 1,56 meter (risicokaart.nl). Uitgaande van deze diepte wordt de maximale kritische strook dan 0,40 meter aan weerszijden van de leiding. De breedte van de leiding 1,22 meter (risicokaart.nl), waarmee de kritische strook 2,02 meter bedraagt. De kans dat deze strook getroffen wordt is kansdichtheidsverdeling (P_{zwpt}) * kritisch oppervlak. P_{zwpt} is berekend volgens de in bijlage 2 gegeven rekenmethode uit het Handboek Risicozonering Windturbines 2013. De generieke faalkansen van de leidingen zijn gegeven per meter, waarop de trefkans van het tracé is gedeeld door de lengte van het tracé binnen de maximale werpafstand.

Op-stelling	Afstand tot leiding (m)	P_{zwpt} (/jr.)	Kritisch oppervlak (m^2)	Lengte tracé binnen max werpafstand (m)	Trefkans Tracé (/jr.)	Trefkans (/m/jr)
6 lijn	160	9,50E-12	1.556	770,2	1,48E-08	1,92E-11
6 boog	166	9,08E-12	1.545	765,1	1,40E-08	1,83E-11
6 knik	160	9,50E-12	1.556	770,2	1,48E-08	1,92E-11
9 lijn	162	9,31E-12	1.552	768,5	1,44E-08	1,88E-11
9 boog	167	8,63E-12	1.544	764,2	1,33E-08	1,74E-11
9 knik	216	6,15E-12	1.441	713,4	8,87E-09	1,24E-11

Tabel 4: Trefkans leidingstrook per opstelling.

De scenario's en faalkansen van een leiding in een leidingstraat is als volgt:

Scenario	Frequentie (per meter per jaar)
Breuk van de leiding	7×10^{-9}
Lek met effectieve diameter van 20 mm	$6,3 \times 10^{-8}$
Totaal	**$7,0 \times 10^{-8}$**

Tabel 5: Scenario's voor leinding in leidingstraat (Handboek risicoberekeningen Bevi, tabel 28).

Dit resulteert in de volgende faalkansverhogingen op de dichtstbijzijnde leiding door plaatsing van de windturbines:

Opstelling	Faalkansverhoging leidingstrook
6 lijn	0,03%
6 knik	0,03%
6 boog	0,03%
9 lijn	0,03%
9 knik	0,02%
9 boog	0,02%

Tabel 6: Faalkanverhogingen van leidingstraat

3.3.2 *SNC (overige leiding op kleinste afstand)*

E: $1{,}70*10^{11}$ (materiaal: AISA TP304L)

$\sigma_{toelaatbaar}$: $4{,}67*10^{8} = SMYS - \frac{P*D}{2*t}$

SMYS: minimum vloeigrens: $4{,}85*10^{8}$ Pa

P: de interne gasdruk: $1{,}5*10^{6}$

D: diameter van de pijpleiding: 114 mm

t : 4,78 mm

$E_{kinetisch}$: $1{,}25*10^{7} = m*g*h+1/4*m*v^{2}$

v: $(2\eta\varpi/60)*(l/3)$

m: massa van het object: 10.600 kg

g: valversnelling: 9,81 m/s^{2}

h: initiële hoogte van het vallend object: 120 m.

ϖ: toerental van de windturbine: 12,6 rpm

l: bladlengte: 57,3 m.

Hieruit resulteert R = 1,35 meter. De gasleiding ligt op een diepte van 1,00 meter (risicokaart.nl). Uitgaande van deze diepte wordt de maximale kritische strook dan 0,91 meter aan weerszijden van de leiding. De breedte van de leiding is 0,114 meter (risicokaart.nl), waarmee de kritische strook 1,81 meter bedraagt.

Opstelling	Afstand tot leiding (m)	P_{zwpt} (/jr.)	Kritisch oppervlak (m^2)	Lengte tracé binnen max werpafstand (m)	Trefkans Tracé (/jr.)	Trefkans (/m/jr)
6 lijn	241	5,33E-12	1.232	680,6	6,57E-09	9,65E-12
6 boog	247	5,20E-12	1.216	672,0	6,33E-09	9,41E-12
6 knik	241	5,33E-12	1.232	680,6	6,57E-09	9,65E-12
9 lijn	243	5,29E-12	1.227	677,8	6,49E-09	9,57E-12
9 boog	248	5,27E-12	1.214	670,5	6,39E-09	9,54E-12
9 knik	297	4,32E-12	1.060	585,4	4,58E-09	7,83E-12

Tabel 7: Trefkans leidingstrook per opstelling.

De scenario's en faalkansen van een leiding in een leidingstraat is als volgt:

Scenario	Frequentie (per meter per jaar)
Breuk van de leiding	7×10^{-9}
Lek met effectieve diameter van 20 mm	$6{,}3 \times 10^{-8}$
Totaal	**$7{,}0 \times 10^{-8}$**

Tabel 8: Scenario's voor leinding in leidingstraat (Handboek risicoberekeningen Bevi, tabel 28).

Dit resulteert in de volgende faalkansverhogingen op de dichtstbijzijnde leiding door plaatsing van de windturbines:

Opstelling	Faalkansverhoging leidingstrook
6 lijn	0,01%
6 knik	0,01%
6 boog	0,01%
9 lijn	0,01%
9 knik	0,01%
9 boog	0,01%

Tabel 9: Faalkanverhogingen van leidingstraat

3.3.3 *Air Liquide (overige leiding op grootste afstand)*

E: $2{,}07*10^{11}$ (materiaal: API 5L x42)

$\sigma_{toelaatbaar}$: $7{,}32*10^{7} = SMYS - \frac{P*D}{2*t}$

SMYS: minimum vloeigrens: $2{,}90*10^{8}$ Pa

P: de interne gasdruk: $6{,}4*10^{6}$

D: diameter van de pijpleiding: 323,8 mm

t : 4,78 mm

$E_{kinetisch}$: $1{,}25*10^{7} = m*g*h+1/4*m*v^{2}$

v: $(2\eta\varpi/60)*(l/3)$

m: massa van het object: 10.600 kg

g: valversnelling: 9,81 m/s^{2}

h: initiële hoogte van het vallend object: 120 m.

ϖ: toerental van de windturbine: 12,6 rpm

l: bladlengte: 57,3 m.

Hieruit resulteert R = 3,77 meter. We gaan uit van een diepte van 1,00 meter (risicokaart.nl bevat geen informatie). Hiervan uitgaande wordt de maximale kritische strook dan 3,63 meter aan weerszijden van de leiding. De breedte van de leiding is 0,324 meter (risicokaart.nl), waarmee de kritische strook 3,96 meter bedraagt.

Opstelling	Afstand tot leiding (m)	P_{zwpt} (/jr.)	Kritisch oppervlak (m^2)	Lengte tracé binnen max werpafstand (m)	Trefkans Tracé (/jr.)	Trefkans (/m/jr)
6 lijn	255	4,95E-12	2.613	659,9	1,29E-08	1,96E-11
6 boog	261	4,92E-12	2.576	650,4	1,27E-08	1,95E-11
6 knik	255	4,95E-12	2.613	659,9	1,29E-08	1,96E-11
9 lijn	257	4,91E-12	2.601	656,8	1,28E-08	1,95E-11
9 boog	262	4,90E-12	2.569	648,8	1,26E-08	1,94E-11
9 knik	311	4,34E-12	2.200	555,6	9,55E-09	1,72E-11

Tabel 10: Trefkans leidingstrook per opstelling.

De scenario's en faalkansen van een leiding in een leidingstraat is als volgt:

Scenario	Frequentie (per meter per jaar)
Breuk van de leiding	7×10^{-9}
Lek met effectieve diameter van 20 mm	$6{,}3 \times 10^{-8}$
Totaal	**$7{,}0 \times 10^{-8}$**

Tabel 11: Scenario's voor leinding in leidingstraat (Handboek risicoberekeningen Bevi, tabel 28).

Dit resulteert in de volgende faalkansverhogingen op de dichtstbijzijnde leiding door plaatsing van de windturbines:

Opstelling	Faalkansverhoging leidingstrook
6 lijn	0,03%
6 knik	0,03%
6 boog	0,03%
9 lijn	0,03%
9 knik	0,03%
9 boog	0,02%

Tabel 12: Faalkanverhogingen van leidingstraat

3.4 Bebouwing

Voor beperkt kwetsbare en kwetsbare objecten gelden verschillende afstanden:

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

Zie bijlage 1 voor kwetsbare en beperkt kwetsbare objecten.

Op de 10^{-6} contour heeft een persoon die onafgebroken en onbeschermd op die plaats zou verblijven, een kans op overlijden van één keer in de miljoen jaar als rechtstreeks gevolg van een falende windturbine (bladbreuk, mastbreuk, neerkomen van delen). Op de 10^{-5} contour is deze kans één keer in de honderdduizend jaar. De risicocontouren bevinden zich op de volgende afstanden (Handboek Risicozonering Windturbines, 2013):

- De PR = 10^{-6} contour is gelijk aan het maximum van ashoogte plus halve rotordiameter en maximale werpafstand bij nominaal toerental.
- De PR = 10^{-5} contour is gelijk aan de halve rotordiameter.

Voor de voorgestelde windturbines komt dit neer op de volgende afstanden:

- De 10^{-6} contour = 178,5 m. (ashoogte + halve rotordiameter)
- De 10^{-5} contour = 58,5 m. (halve rotordiameter)

Binnen bovengenoemde contouren bevinden zich bij alle alternatieven geen gebouwen, zie bijlage 4 voor de ingetekende 10^{-6} contouren.

4 Conclusies

4.1 Risicovolle inrichtingen (Bevi-inrichtingen).

De realisatie van de alternatieven resulteert in de volgende faalkansverhogingen van een nabij gelegen opslagtank:

Opstelling	Faalkansverhoging opslagtank
6 lijn	0,01%
6 knik	0,01%
6 boog	0,02%
9 lijn	0,01%
9 knik	0,01%
9 boog	-

Tabel 13: Faalkanverhogingen van opslagtank

Deze risicoverhogingen blijven ruim onder de richtwaarde van 10% (Handboek Risicozonering Windturbines, 2013) en kunnen daarom zonder beperkingen gerealiseerd worden. Hiermee zullen de voor de inrichting geldende afstanden tot (beperkt) kwetsbare objecten ook na plaatsing van de windturbines van kracht blijven.

4.2 Leidingstraat

Om te bepalen of de windturbines geen onacceptabele risico's veroorzaken t.o.v. de huidige en toekomstige leidingen is de faalkansverhoging bepaald van de volgende leidingen:

- Leiding op kleinste afstand (Gasleiding).
- Overige leidingen;
  - Leiding op kleinste afstand (SNC)
  - Leiding op grootste afstand (Air Liquide)

Opstelling	Gasleiding	SNC	Air Liquide
6 lijn	0,03%	0,01%	0,03%
6 knik	0,03%	0,01%	0,03%
6 boog	0,03%	0,01%	0,03%
9 lijn	0,03%	0,01%	0,03%
9 knik	0,02%	0,01%	0,03%
9 boog	0,02%	0,01%	0,02%

Tabel 14: Faalkanverhogingen van leidingstraat

Deze risicoverhogingen blijven ruim onder de richtwaarde van 10% (Handboek Risicozonering Windturbines, 2013). Hiermee zullen de voor de inrichting geldende afstanden tot (beperkt) kwetsbare objecten ook na plaatsing van de windturbines van kracht blijven. De aanleg van toekomstige leidingen wordt niet beperkt door de plaatsing van de windturbines, vanwege de verwaarloosbare faalkansverhoging.

4.3 Bebouwing

Binnen de risicocontouren van de windturbines van alle alternatieven bevinden zich geen gebouwen. Hiermee wordt voldaan aan de veiligheidseisen uit het Activiteitenbesluit.

4.4 Interne veiligheid

De windturbines in de Hogezandsepolder zullen voldoen aan de veiligheidsvoorzieningen NVN 11400-0 “Windturbines, voorschriften voor typecertificatie, technische eisen” of haar opvolger IEC 61400-1 “Wind Turbine Safety and Design“.

Bijlage 1: (Beperkt) kwetsbare objecten

Kwetsbare objecten

a) woningen, woonschepen en woonwagens, niet zijnde woningen, woonschepen of woonwagens als bedoeld in onderdeel b, onder a;

b) gebouwen bestemd voor het verblijf, al dan niet gedurende een gedeelte van de dag, van minderjarigen, ouderen, zieken of gehandicapten, zoals:
   1. ziekenhuizen, bejaardenhuizen en verpleeghuizen;
   2. scholen, of
   3. gebouwen of gedeelten daarvan, bestemd voor dagopvang van minderjarigen;

c) gebouwen waarin doorgaans grote aantallen personen gedurende een groot gedeelte van de dag aanwezig zijn, waartoe in ieder geval behoren:
   1. kantoorgebouwen en hotels met een bruto vloeroppervlak van meer dan 1500 m^2 per object, of
   2. complexen waarin meer dan 5 winkels zijn gevestigd en waarvan het gezamenlijk bruto vloeroppervlak meer dan 1000 m^2 bedraagt en winkels met een totaal bruto vloeroppervlak van meer dan 2000 m^2 per winkel, voorzover in die complexen of in die winkels een supermarkt, hypermarkt of warenhuis is gevestigd, en

d) kampeer- en andere recreatieterreinen bestemd voor het verblijf van meer dan 50 personen gedurende meerdere aaneengesloten dagen;

Beperkt kwetsbare objecten

a) 1°.verspreid liggende woningen, woonschepen en woonwagens van derden met een dichtheid van maximaal twee woningen, woonschepen of woonwagens per hectare, en
   2°.dienst- en bedrijfswoningen van derden;

b) kantoorgebouwen, voorzover zij niet onder kwetsbare objecten, onder c, vallen;

c) hotels en restaurants, voorzover zij niet kwetsbare objecten, onder c, vallen;

d) winkels, voorzover zij niet onder kwetsbare objecten, onder c, vallen;

e) sporthallen, sportterreinen, zwembaden en speeltuinen;

f) kampeerterreinen en andere terreinen bestemd voor recreatieve doeleinden, voorzover zij niet onder kwetsbare objecten, onder d, vallen;

g) bedrijfsgebouwen, voorzover zij niet onder kwetsbare objecten, onder c, vallen;

h) objecten die met de onder a tot en met e en g genoemde gelijkgesteld kunnen worden uit hoofde van de gemiddelde tijd per dag gedurende welke personen daar verblijven, het aantal personen dat daarin doorgaans aanwezig is en de mogelijkheden voor zelfredzaamheid bij een ongeval, voorzover die objecten geen kwetsbare objecten zijn, en;

i) objecten met een hoge infrastructurele waarde, zoals een telefoon- of elektriciteitscentrale of een gebouw met vluchtleiding apparatuur, voorzover die objecten wegens de aard van de gevaarlijke stoffen die bij een ongeval kunnen vrijkomen, bescherming verdienen tegen de gevolgen van dat ongeval;

Bijlage 2: Berekening werpafstand

2.1 Ballistisch model zonder luchtkrachten

2.1.1 Bewegingsvergelijking

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

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

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

Figuur 1: Overzicht parameters in ballistisch model

De bewegingsvergelijking voor het zwaartepunt is nu

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

Met de beginvoorwaarden

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

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

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

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

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

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

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

2.1.2 Verdelingsfuncties

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

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

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

$$f_A(r) = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\alpha} F_A(\alpha) = \frac{1}{2\pi}, \qquad 0 \le \alpha < 2\pi \tag{2.1.7}$$

geldt nu

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

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

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

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

Bijlage 3: Windturbineparameters

Parameter	Nordex N117
Vermogen [MW]	3.0 [a]
Ashoogte [m]	120 [a]
Rotatiesnelheid (nominaal) [rpm]	12,6 [a]
Mastdiameter (max) [m]	5 [#]
Lengte gondel [m]	15 [#]
Hoogte gondel [m]	5 [#]
Solidity [-]	0,05 [*]
Lengte rotorblad [m]	57,3 [a]
Oppervlakte rotorblad	160,1 [*]
Zwaartepunt rotorblad [m]	21,0 [*]

[a] Nordex K0801_041798_EN_R01_Sales_document_Tech_description_K08d_N117
[*] Gebaseerd op de berekeningsmethodiek uit HRW 2013 Bijlage B2.
[#] Gebaseerd op generieke gegevens uit HRW 2013.

Bijlage 4: 10^{-6} contouren per opstelling

6 lijn risicocontour 178,5m
Panden
Windturbines 6 lijn
Woning op de dijk
Woningen van participanten
omniplan
BOSCH & VAN RIJN
km
0
0,5
1
2

9 boog risicocontour 178,5m
Panden
Windturbines 9 boog
Woning op de dijk
Woningen van participanten
omniplan
BOSCH & VAN RIJN
km
0
0,5
1
2
Microsoft

9 knik risicocontour 178,5m
Panden
Windturbines 9 knik
Woning op de dijk
Woningen van participanten
omniplan
BOSCH & VAN RIJN
km
0
0,5
1
2
Microsoft

9 lijn risicocontour 178,5m
Windturbines 9 lijn
Panden
Woning op de dijk
Woningen van participanten
omniplan
BOSCH & VAN RIJN
km
0
0,5
1
2
Microsoft

Bosch & Van Rijn
Prins Bernhardlaan 63
3555 AC Utrecht

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

© Bosch & Van Rijn 2014
Behoudens hetgeen met de opdrachtgever is overeengekomen, mag in dit rapport vervatte informatie niet aan derden worden bekendgemaakt. Bosch & Van Rijn BV is niet aansprakelijk voor schade door het gebruik van deze informatie.