



Titel **Externe veiligheid m.b.t. geplande windturbine IFF.**

Datum *25 juli 2012 (aangepast 19 december 2013)*

Auteurs: *Drs. Ing. Jeroen Dooper*

1 Inleiding

International Flavors & Fragrances Inc. (I.F.F.) is voornemens een windturbine te (laten) plaatsen op zijn terrein. Deze notitie dient als bijlage voor de ruimtelijke onderbouwing welke wordt opgesteld ten behoeve van de omgevingsvergunning inclusief vrijstelling op het bestemmingsplan. Hierin wordt de haalbaarheid van de plaatsing onderbouwt d.m.v. een analyse op alle relevante deelonderwerpen (bijv. geluid, slagschaduw, ecologie, etc).

Vanwege de ligging op een bedrijventerrein is externe veiligheid een belangrijk onderwerp. Deze notitie brengt de situatie in kaart en toetst deze aan nationaal en gemeentelijk beleid en regelgeving.

De analyse is uitgevoerd op basis van maximale afmetingen. Exacte afmetingen van de windturbines zijn nog niet bekend, maar zullen de volgende waarden niet overschreiden:

Tiphoogte: 150 meter

Wielengte: 61 meter

Vermogen: 3 MW

De verwachte positie van de windturbine is: $X = 131604.511$ $Y = 399738.725$

Vanwege verschillen in fundatieontwerp kan de exacte locatie nog maximaal 5 meter verschuiven.



2 Nationaal beleid en regelgeving

Vanwege de externe werking van windturbines zijn de volgende onderwerpen van belang:

- Risicovolle inrichtingen (BEVI-inrichtingen).
- Hogedruk gasleidingen.
- Bebouwing naastgelegen percelen.
- Openbare wegen.

Hieronder wordt het beleid en de regelgeving uitgelegd betreffende bovenstaande onderwerpen.

2.1 Risicovolle inrichtingen (BEVI-inrichtingen).

Indien 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 kan in eerste instantie naar de toename van de catastrofale faalfrequentie van risicovolle installaties behorende tot de inrichting gekeken worden. 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 volgens het Handboek Risicozonering Windturbines 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 Hogedruk gasleiding

Voor gasleidingen 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. Dit is echter geen harde belemmering. In overleg met Gasunie en afhankelijk van een locatiespecifieke risicoanalyse zijn kleinere afstanden vergunbaar. In dat geval wordt getoetst aan artikel 6 van het Besluit Externe Veiligheid Buisleidingen:

- *Het plaatsgebonden risico voor een kwetsbaar object, veroorzaakt door een buisleiding, mag niet hoger zijn dan 10^{-6} per jaar.*
- *De exploitant voert de aanleg of vervanging van een buisleiding zodanig uit dat het plaatsgebonden risico van de buisleiding op een afstand van vijf meter gemeten vanuit het hart van de buisleiding niet hoger is dan 10^{-6} per jaar.*
- *Bij regeling van Onze Minister kan voor een bepaalde categorie van buisleidingen een andere afstand tot de buisleiding worden vastgesteld waarbuiten het plaatsgebonden risico de norm van 10^{-6} niet mag overschrijden, of tijdelijk een hoger risico worden geaccepteerd.*

2.3 Bebouwing naastgelegen percelen

De normen omtrent windturbines en bebouwing staan gegeven in het Activiteitenbesluit welke eind 2010 is gewijzigd. De wijziging is op 1 januari 2011 in werking getreden. De norm is als volgt:

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**.

De windturbine zal worden geplaatst op het terrein van IFF en tot dezelfde inrichting behoren. De 'Beleidsvisie Externe Veiligheid' van gemeente Tilburg geeft een eigen invulling aan het begrip 'kwetsbaar object' (welke buiten de 10^{-6} -contour dienen te liggen):

"Een bedrijfsgebouw wordt beschouwd als een kwetsbaar object, indien zich meer dan 50 personen in dit gebouw bevinden en de personendichtheid gelijk of hoger is dan 1 persoon per 100 m². Een persoon telt daarbij als 1,0 persoon, indien deze persoon normaliter 40 uur per week aanwezig is (of aanwezig kan zijn). Als een persoon minder (of meer) tijd aanwezig is (of aanwezig kan zijn), wordt deze persoon naar rato meegeteld".

2.4 Openbare wegen

Voor Rijkswegen zijn generieke afstanden berekend waarbuiten geen ontoelaatbare risico's voor passanten plaatsvinden. Het document "*Beleidsregel voor het plaatsen van windturbines op, in of over Rijkswaterstaatwerken*" staan de minimale afstanden tot Rijkswegen gegeven:

"Langs rijkswegen wordt plaatsing van windturbines toegestaan bij een afstand van ten minste 30m uit de rand van de verharding of bij een rotordiameter groter dan 60m, ten minste de halve diameter".

Mocht niet voldaan kunnen worden aan bovenstaande minimale afstand (wiek lengte) dan dient getoetst te worden aan de richtlijnen uit de beleidsregel "*Windturbines langs auto-, spoor-, en vaarwegen – Beoordeling van veiligheidsrisico's*":

"Individuele passantenrisico (IPR)

Voor het risico voor de passant is een risicomaat gekozen 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 het windturbinepark.

De initiatiefnemer die een of meerdere windturbines wil plaatsen dient aan te tonen dat het maximale toelaatbare Individueel Passanten Risico IPR niet wordt overschreden op de infrastructuur in de nabijheid van de turbine. De grens is vastgesteld van honderdzig kilometer per uur. Een generiek IPR van 10^{-6} wordt aangehouden voor alle infrastructuur waarop de wettelijk toelaatbare snelheden de honderdzig kilometer per uur niet overschrijden, en een generiek IPR van 10^{-7} op infrastructuur waarop wettelijk toelaatbare snelheden boven de honderdzig kilometer per uur bestaan.

Maatschappelijk risico

Er zijn verschillende maten te kiezen voor het maatschappelijk risico. In het externe veiligheidsbeleid voor stationaire installaties of vervoersactiviteiten wordt uitgegaan van groepsrisicocurven of FN-curven. Groepsrisicocurves hebben alleen betekenis voor 'kleine-kans-groot-gevolg'-ongevallen met slachtofferaantallen groter dan 10 per ongeval. Uit studies ref. [2, 4, 5, 6] blijkt dat bij windturbineparken in de nabijheid van rijkswegen altijd ruimschoots aan de groepsrisiconorm wordt voldaan."



Vanwege het type risico van een windturbines (*fysieke impact van onderdeel; geen explosie of gaswolk*) is groepsrisico niet aan de orde. Daarom wordt alleen getoetst aan het IPR en MR.

2.5 Aanvullend gemeentelijk beleid.

Aanvullend op nationale regelgeving heeft gemeente Tilburg de 'Beleidsvisie Externe Veiligheid' opgesteld. Hierin is een onderscheidt gemaakt tussen verschillende gebieden; Intensieve gebieden, Gemengde gebieden, Transportasgebieden en Luwe gebieden. I.F.F. ligt in een gemengd gebied. Hierover zegt de 'Beleidsvisie Externe Veiligheid' het volgende:

"Bestemmingsomschrijving.

1) Bevi-inrichtingen zijn niet toegestaan.

Binnenplanse ontheffing.

Bevi-inrichtingen kunnen onder bepaalde voorwaarden wel toegestaan worden op gemengde gebieden. Dit kan door toepassing van een ontheffingsbevoegdheid.

2) Burgemeester en wethouders zijn bevoegd ontheffing te verlenen om in afwijking van het bepaalde in lid 1 een Bevi-inrichting toe te staan, met inachtneming van de volgende bepalingen:

a) De 10⁶-contour voor het plaatsgebonden risico of - indien van toepassing - de afstand zoals bedoeld in artikel 5 lid 3 van het Besluit externe veiligheid inrichtingen. Artikel 2 lid 1 van de Regeling externe veiligheid inrichtingen, dienen te zijn gelegen:

- Binnen het bouwperceel van de risicovolle inrichting, of;*
- Op gronden met de bestemming verkeer, groen en/of water*

b) Bij toepassing van de ontheffing dient een verantwoording te worden gegeven van het groepsrisico in het invloedsgebied van de inrichting.

Met het instrument van Nadere Eisen (Wro, art. 3.6 lid 1 onder d) kunnen er in een bestemmingsplan eisen gesteld worden aan kwetsbare en beperkt kwetsbare objecten."

"Mocht gekozen worden voor een overschrijding van de contour buiten de perceelsgrens en buiten gronden met de bestemming verkeer, groen en/of water, dan is dat slechts mogelijk via een nieuw bestemmingsplan (postzegelplan). Er dient dan een optimale ruimtelijke inpassing te zijn. Eventuele planschade wordt via een exploitatieplan of exploitatieovereenkomst in rekening gebracht bij de initiatiefnemer. In dat geval ontstaat een nieuw intensief gebied."

Het BEVI is niet van toepassing op windturbines. Dit betekent dat bovenstaande eis (2a) niet van toepassing is op de windturbine bij I.F.F.



3 Risico's van een windturbine

De risico'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. 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. Onderstaand figuur geeft het risico (PR) als functie van de afstand tot de windturbine.

De risicocontouren van mogelijke windturbines zijn geanalyseerd in de notitie '*Berekeningen van veiligheidsafstanden voor windturbine IFF Tilburg*', Ecofys, 19 november 2013. Onderstaande tabel geeft de risicocontouren zonder bronmaatregelen:

Berekende afstand	Nordex N100	Nordex N117 3MW	Nordex N117 2.4MW	Alstom Eco122
PR= 10^{-5} per jaar	33 m	48 m	49 m	43 m
PR= 10^{-6} per jaar	153 m	150 m	150 m	151 m
Maximale werpafstand bij nominaal toerental	152 m	146 m	134 m	147 m
Maximale werpafstand bij overtieren	409 m	395 m	355 m	404 m

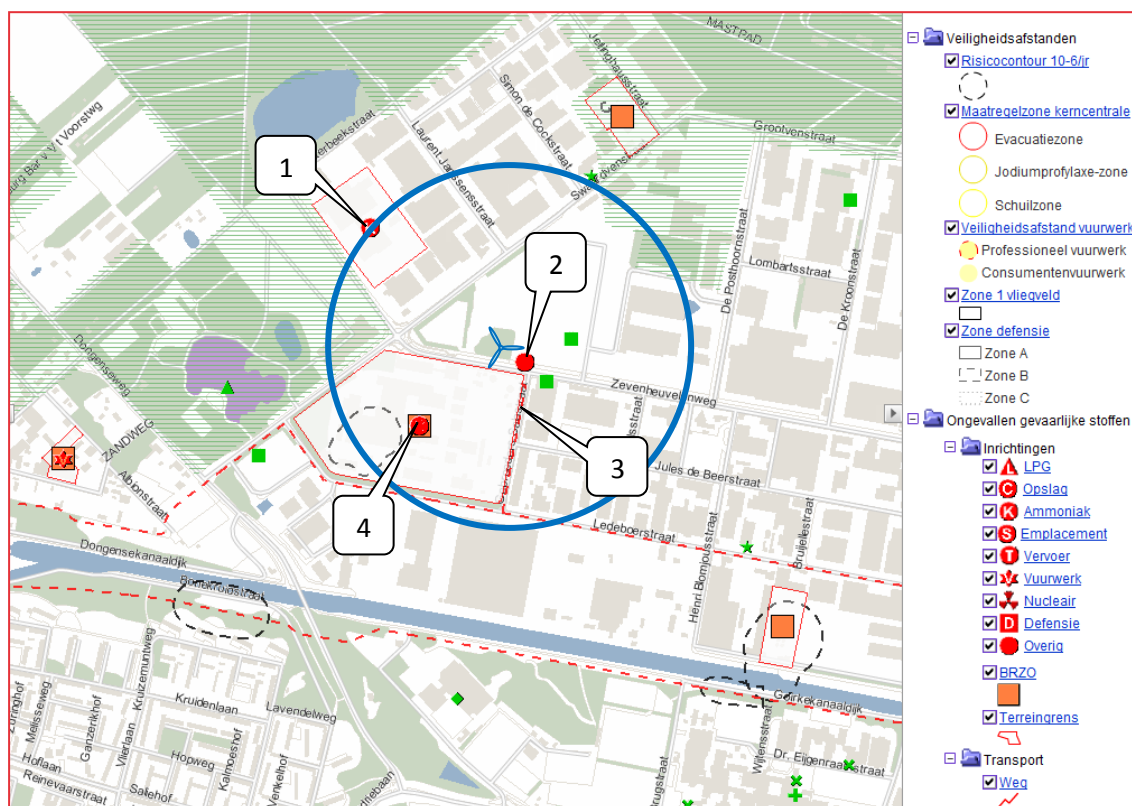
Bijlage 1 bevat de notitie van Ecofys. Bijlage 2 geeft een toelichting op de berekeningen.



4 Toetsing aan beleid en regelgeving

4.1 Risicovolle inrichtingen (BEVI-inrichtingen).

Onderstaande kaart (risicokaart.nl) geeft de risicovolle inrichtingen in de nabijheid van de geplande windturbine (—) en binnen de maximale werpafstand (—).



De windturbine heeft geen risicoverhogend effect op de installaties buiten de maximale werpafstand. We beschouwen de volgende risicovolle inrichtingen:

1. Delicia BV – ammoniakopslag – 1,32 ton in vat.
2. Gasdrukregel- en meetstation. **I.F.F. (behoort tot de inrichting).**
3. Hogedruk gasleiding.
4. Opslag licht ontvlambare stoffen **I.F.F. (behoort tot de inrichting).**

4.1.1 Delicia BV – ammoniakopslag

De scenario's en faalkansen van deze opslag zijn:

Scenario	Frequentie (per jaar)
Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud.	5×10^{-7}
Vrijkomen van de gehele inhoud in 10 min. in een continu en constante stroom.	5×10^{-7}
Continu vrijkomen uit een gat met een effectieve diameter van 10 mm.	1×10^{-5}
TOTAAL	$1,1 \times 10^{-5}$

Tabel: Scenario's voor bovengrondse opslagtanks onder druk (Handboek risicoberekeningen BEVI, tabel 13).

De geplande windturbine bevindt zich op een afstand van 350 meter. De faalkansverhoging door toedoen van de windturbine is daarmee $< 1,0 \times 10^{-9}$. De faalkans verhoging is **0,009%**. Dit blijft ver onder de richtwaarde van 10%; de bestaande risicocontouren zullen niet substantieel veranderen.



4.1.2 Gasdrukregel- en meetstation

Voor dit gasdrukregel- en meetstation gelden minimale afstanden tot beperkt kwetsbare (4 meter) en kwetsbare objecten (15 meter) (*Besluit algemene regels voor inrichtingen milieubeheer*). Deze afstanden blijven van kracht.

4.1.3 Hogedruk gasleidingen.

De hogedruk gasleiding ligt op een afstand van 160 meter tot de geplande windturbine. Aan de adviesafstand van de Gasunie (maximale werpafstand bij nominaal toerental) wordt voldaan.

4.1.4 Opslag lichtontvlambare stoffen

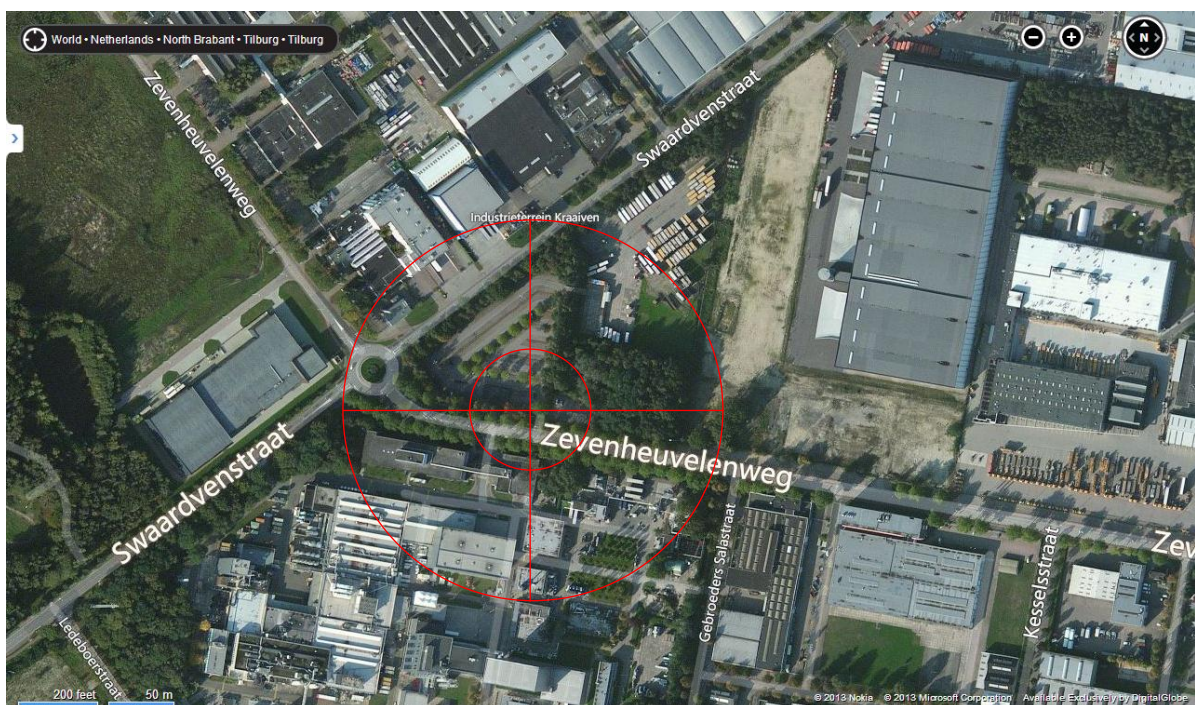
De geplande windturbine bevindt zich op een afstand van 270 meter. De faalkansverhoging door toedoen van de windturbine is daarmee $< 1,0 \times 10^{-9}$. Deze trefkans is verwaarloosbaar klein waardoor de de bestaande risicocontouren niet substantieel zullen veranderen.

4.2 Bebouwing naastgelegen percelen.

Aanvullend op de nationale regegeving heeft gemeente Tilburg een eigen definitie van een kwetsbaar object:

“Een bedrijfsgebouw wordt beschouwd als een kwetsbaar object, indien zich meer dan 50 personen in dit gebouw bevinden en de personendichtheid gelijk of hoger is dan 1 persoon per 100 m². Een persoon telt daarbij als 1,0 persoon, indien deze persoon normaliter 40 uur per week aanwezig is (of aanwezig kan zijn). Als een persoon minder (of meer) tijd aanwezig is (of aanwezig kan zijn), wordt deze persoon naar rato meegeteld”.

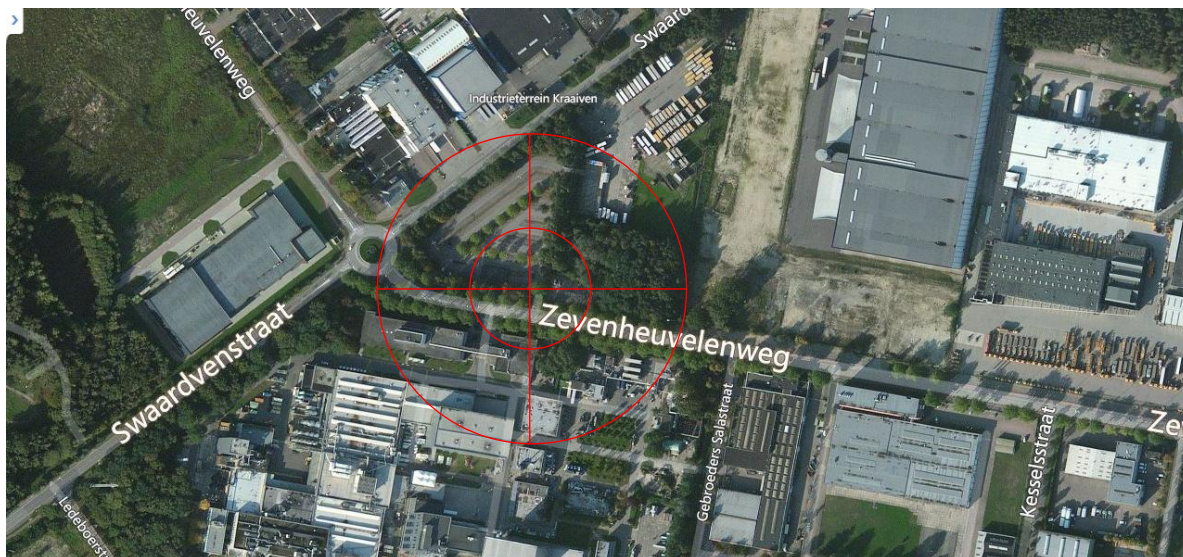
Onderstaand figuur geeft de maximale 10^{-5} contour (48 m.) en 10^{-6} contour (153 m.) uit hoofdstuk 3.





De 10^{-6} contour valt over een aantal percelen van derden. Om mogelijke belemmeringen op deze terreinen tegen te gaan zijn maatregelen aan de windturbine mogelijk die de 10^{-6} contour verkleinen. Zie hiervoor de notitie 'Berekeningen van veiligheidsafstanden voor windturbine IFF Tilburg', Ecofys, 19 november 2013.

Door het toepassen van mastversteving en toerentreductie is een 10^{-6} contour mogelijk van 117 meter, waarbij de contour niet over percelen van derden valt:



De toerental reductie is echter niet voor alle windrichtingen noodzakelijk omdat de initiële 10^{-6} contour (153 meter) in zuidelijke en noordoostelijke richting niet over percelen van derden viel. Om te voorkomen dat de 10^{-6} -contour over een aantal percelen van derden valt kiest IFF ervoor om bronmaatregelen te nemen om mogelijke belemmeringen op deze percelen te vermijden. De 10^{-6} -contour is na de bronmaatregelen gelijk aan het gele vlak in onderstaand figuur. De bronmaatregelen en het effect op de 10^{-6} contour staan gegeven de notitie 'Berekeningen van veiligheidsafstanden voor windturbine IFF Tilburg, Ecofys, 19 november 2013. Deze notitie is te vinden in de bijlage achter deze notitie.





4.3 Openbare wegen.

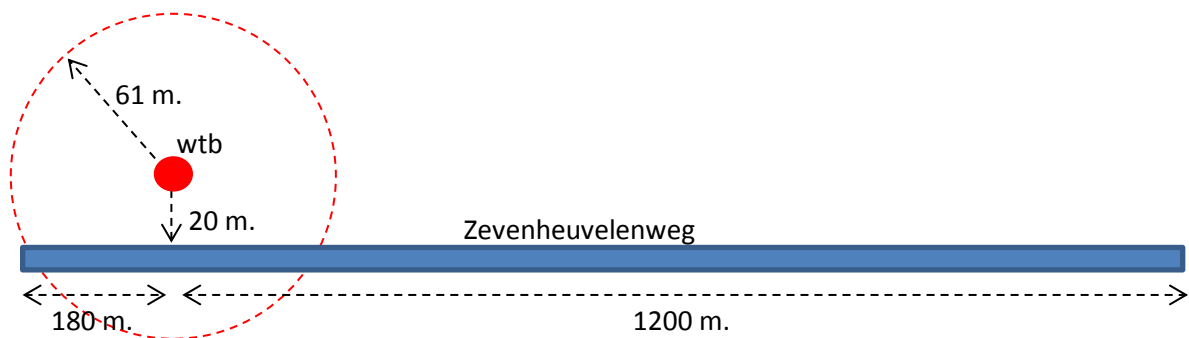
Vervoer gevaarlijke stoffen

We beschouwen in deze analyse het transport van gevaarlijke stoffen over de Zevenheuvelenweg. Het gedeelte van de Swaardvenstraat waar vervoer van gevaarlijke stoffen plaatsvindt, ligt op een grotere afstand tot de geplande windturbine en kent minder transportbewegingen.

Wanneer de windturbine faalt, kan dit een risicoverhogend effect opleveren voor passerend vervoer gevaarlijke stoffen. De volgende twee typen falen hebben een risicoverhogend effect op de weg:

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

De situatie is hieronder grafisch weergegeven (niet op schaal):



Op basis van Bijlage B paragraaf 4: Generieke gegevens van het Handboek Risicozonering Windturbines is de totale trefkans van vervoer van gevaarlijke stoffen berekend. Er wordt uitgegaan van een vrachtwagen van 15 bij 2,5 meter. Hij rijdt hierbij gemiddeld 30 km/u. De totale trefkans van een passerend object bedraagt:

$$P_{w,t} = N_T \cdot \left\{ P_{w,b}^* \frac{F_{a,b}}{L_b} + P_{w,m}^* F_{a,m} \right\}$$

waarin

N_T : aantal turbines = 1

$P_{w,b}$: genormaliseerde trefkans per passage dat een passerend object wordt getroffen door een afgebroken blad van een 3,0 MW-turbine: $4 \cdot 10^{-4}$ per passage.

L_b : Lengte van blad = 61 m.

$P_{w,m}$: genormaliseerde trefkans per passage dat een passerend object wordt getroffen door een omvallende 3,0 MW-turbine: $9 \cdot 10^{-5}$

$F_{a,m}$: factor die de verblijfstijd van het passerend object in rekening brengt: $1,3 \cdot 10^{-7}$

$F_{a,b}$: factor die de verblijfstijd van het passerend object in rekening brengt: $5,25 \cdot 10^{-6}$

$$F_{a,m} = \frac{L_o}{v_o} \frac{1}{365 \cdot 24 \cdot 3600}$$



$$F_{a,b} = \frac{L_o}{v_o} \frac{1}{365 \cdot 24 \cdot 3600} \left\{ 1,5 \cdot b_o + \frac{2}{3} L_b \right\}$$

Waarin:

- L_o : lengte van het passerend object + remweg = 15 m + 20 m = 35 m.
 v_o : snelheid van het passerend object in 8,33 m/s
 b_o : breedte van passerend object = 2,5 m

De trefkans van een passerend voertuig is nu: **$5,13 \cdot 10^{-11}$ per passage**

Conservatief wordt aangenomen dat er altijd relevante uitstroming plaatsvindt als een vrachtwagen wordt getroffen door een windturbine(deel). De trefkans per passage is echter niet uitgedrukt in 1/vtg.km. Om dit om te kunnen rekenen is achterhaald op welke afstand het afgebroken blad de vrachtauto nog kan raken en wat vervolgens de lengte van de passage is. Voor de maximale afstand waarop het afgebroken blad de vrachtauto kan raken wordt 190 m aangehouden, conform figuur 4.1 uit bijlage B van het handboek risicozonering windturbines. De raakkans buiten deze 190 m is meer dan een factor 100 lager dan binnen deze 190 m, vandaar dat de grens getrokken wordt bij 190 m. Binnen deze afstand vanaf de windturbine ligt 335 m weg.

Trefkans per passage door windturbine	Generieke kans op falen (/vtg.km)	Generieke faalkans per passage	Gesommeerde faalkans per passage	Percentage gesommeerde kans t.o.v. kans zonder windturbine
$5,13 \cdot 10^{-11}$	$5,90 \cdot 10^{-7}$	$1,98 \cdot 10^{-8}$	$1,98 \cdot 10^{-8}$	100,26%

De faalkansverhoging van 0,26% is verwaarloosbaar klein.

Passanten

Het Individueel Passanten Risico is een risicomaat die aansluit bij de individuele beleving van de passant. Hierbij wordt de passant gevolgd gedurende zijn bezigheden in de nabijheid van het windturbinepark. De risico's die de passant loopt is dus de som van de passeertijd. Voor de berekeningen hanteren we de volgende uitgangspunten:

- De gemiddelde snelheid op de weg is 15 km per uur.
- Een passant (werknemer in de buurt) persoon passeert de weg 10 keer per dag (3.650 passages per jaar).

Op basis van Bijlage B paragraaf 4: Generieke gegevens van het Handboek Risicozonering Windturbines is de totale trefkans van een passant berekend. De totale trefkans van een passerend object bedraagt:

$$P_{w,t} = N_T \cdot \left\{ P_{w,b}^* \frac{F_{a,b}}{L_b} + P_{w,m}^* F_{a,m} \right\}$$



waarin

NT: aantal turbines = 1

$P_{w,b}$: genormaliseerde trefkans per passage dat een passerend object wordt getroffen door een afgebroken blad van een 3,0 MW-turbine: $4 * 10^{-4}$ per passage.

L_b : Lengte van blad = 61 m.

$P_{w,m}$: genormaliseerde trefkans per passage dat een passerend object wordt getroffen door een omvallende 3,0 MW-turbine: $9 * 10^{-5}$

$F_{a,m}$: factor die de verblijfstijd van het passerend object in rekening brengt: $1,3 * 10^{-7}$

$F_{a,b}$: factor die de verblijfstijd van het passerend object in rekening brengt: $5,25 * 10^{-6}$

$$F_{a,m} = \frac{L_o}{v_o} \frac{1}{365 \cdot 24 \cdot 3600}$$

$$F_{a,b} = \frac{L_o}{v_o} \frac{1}{365 \cdot 24 \cdot 3600} \left\{ 1,5 \cdot b_o + \frac{2}{3} L_b \right\}$$

Waarin:

L_o : lengte van het passerend object = 1 meter

v_o : snelheid van het passerend object in 4.17 m/s

b_o : breedte van passerend object = 1 m

De trefkans van een passant is nu $2,79 * 10^{-12}$ per passage

Uitgaande van 10 passages per dag is het IPR = $1,02 * 10^{-8}$ per jaar.



5 Conclusies

Risicovolle inrichtingen (BEVI-inrichtingen).

De geplande windturbine heeft een verwaarloosbare risicoverhoging tot gevolg op een ammoniakopslag van Delicia BV. Vanwege de afstand tot de mogelijke windturbinelocaties (350 meter) is de bijdrage $< 1,0 \times 10^{-9}$. De faalkans verhoging is **0,009%**. Dit blijft ver onder de richtwaarde van 10%; de bestaande risicocontouren zullen niet substantieel veranderen.

Installaties op het terrein van IFF

Gasdrukmeet- en regelstation – Voor deze installatie gelden generieke minimale afstanden tot (beperkt) kwetsbare objecten. Deze blijven in stand.

Opslag licht ontvlambare stoffen - De geplande windturbine heeft een verwaarloosbare risicoverhoging tot gevolg op de opslag van IFF. Vanwege de afstand tot de mogelijke windturbinelocaties is de bijdrage $< 1,0 \times 10^{-9}$. De bestaande risicocontouren zullen niet substantieel veranderen.

Hogedruk gasleidingen.

De geplande windturbine ligt buiten de advies afstand van de Gasunie. Aanvullend kwantitatief onderzoek is niet vereist.

Bebouwing naastgelegeven percelen.

De 10^{-6} -contour van de geplande windturbine valt niet over een gebouw die volgens het externe veiligheidsbeleid van gemeente Tilburg dient te worden aangemerkt als kwetsbaar object.

Openbare wegen.

De windturbine resulteert in een verwaarloosbare faalkans verhoging van 0,26% van transport gevaarlijke stoffen.

De windturbines resulteert in een IPR van $1,02 \times 10^{-8}$ per jaar. Dit ligt ver onder de norm van $1,0 \times 10^{-6}$ per jaar. De norm wordt pas overschreden bij 980 passages per dag door één persoon.



Bijlage 1 Berekeningen van veiligheidsafstanden

MEMO

Vertrouwelijk

Prepared: Valentijn van Gastel 18.11.2013
Reviewed: Jan Dam 19.11.2013
Filename: 20131118_MEM_IFF_Veiligheidsrisico's Windturbine_v3
Pages: 4

Onderwerp: Berekeningen van veiligheidsafstanden voor windturbine IFF Tilburg

Aan: Peter Dikkerboom (IFF)

Cc: Marc van der Pluym (Renewable Factory) , Ger Maasen (IFF)

Inleiding

IFF wil een bestemmingsplanprocedure herstarten voor plaatsing van een windturbine op eigen terrein in Tilburg. IFF heeft Ecofys gevraagd veiligheidsafstanden uit te rekenen en te bepalen in welke mate de bronmaatregelen toerentalverlaging en mastverzwaring kunnen leiden tot een verkleining van de $PR=10^{-6}$ contour. De berekeningen dienen te worden uitgevoerd voor de windturbines in onderstaande tabel.

Windturbine (type)	Vermogen (MW)	Ashoogte (m)	Rotordiameter (m)	Tiphoogte (m)
Nordex N100	2.5	100	100	150
Nordex N117 3MW	3.0	91	117	149.5
Nordex N117 2.4MW	2.4	91	117	149.5
Alstom Eco122	2.7	89	122	150

Tabel 1. Windturbines waarvoor de berekeningen zijn uitgevoerd

Berekeningsmethoden

In de berekeningen gebruikt Ecofys het ballistisch model zonder luchtkrachten, zoals beschreven in Bijlage C 2.1 van het Handboek Risicozonering Windturbines, 3^e geactualiseerde versie uit mei 2013 (HRW 2013). De windturbineparameters die we daarin gebruiken staan vermeld in Bijlage 1.

In dit memo beschouwen we twee bronmaatregelen die kunnen leiden tot verkleining van de $PR=10^{-6}$ jr^{-1} contour. Toerentalverlaging heeft als resultaat dat de werpafstand van de rotorbladen van een windturbine afneemt. Het gebruik van deze maatregel staat beschreven in Paragraaf 13.1.2 van het HRW 2013.

Bij mastversteving wordt uitgegaan van het 'overdimensioneren' van een windturbine voor een specifieke locatie. De IEC klasse van de windturbine neemt toe, waardoor de faalfrequentie van de

windturbine volgens paragraaf 13.1.4 van het HRW 2013 met een factor 1.6 afneemt. Bij de berekeningen zijn we ervan uitgegaan dat mastverzwaring mogelijk is bij de beschouwde windturbines.

Berekeningsresultaten

Tabel 2 geeft de PR-contouren en maximale werpafstanden voor de windturbinetypes.

Berekende afstand	Nordex N100	Nordex N117 3MW	Nordex N117 2.4MW	Alstom Eco122
PR=10⁻⁵ per jaar	33 m	48 m	49 m	43 m
PR=10⁻⁶ per jaar	153 m	150 m	150 m	151 m
Maximale werpafstand bij nominaal toerental	152 m	146 m	134 m	147 m
Maximale werpafstand bij overtoeren	409 m	395 m	355 m	404 m

Tabel 2. Berekende afstanden voor Nordex N100, Nordex N117 en Alstom Eco122

Tabel 3 geeft de waarde van de PR=10⁻⁶ contour bij toepassing van mastversteviging. Uit het resultaat blijkt dat de bronmaatregel mastverzwaring niet leidt tot een PR=10⁻⁶ contour van maximaal 124 meter.

Berekende afstand	Nordex N100	Nordex N117 3MW	Nordex N117 2.4MW	Alstom Eco122
PR=10⁻⁶ per jaar	153 m	147 m	135 m	148 m

Tabel 3. PR=10⁻⁶-contour bij toepassing van mastverzwaring

Tabel 4 geeft de waarde van de PR=10⁻⁶ contour bij reductie van het nominaal toerental in stappen van 0.5 toeren per minuut (RPM). Uit het resultaat blijkt dat de bronmaatregel toerentalverlaging niet leidt tot een PR=10⁻⁶ contour van maximaal 124 meter.

Toerentalverlaging	Nordex N100	Nordex N117 3MW	Nordex N117 2.4MW	Alstom Eco122
-0.5 RPM	153 m	150 m	150 m	151 m
-1.0 RPM	151 m	150 m	150 m	151 m
-1.5 RPM	151 m	150 m	150 m	151 m
-2.0 RPM	151 m	150 m	150 m	151 m
-2.5 RPM	151 m	150 m	150 m	151 m
-3.0 RPM	151 m	150 m	150 m	151 m

Tabel 4. Berekende afstand tot de PR=10⁻⁶-contour bij verlaging van het nominaal toerental

Tabel 5 geeft de waarde van de PR=10⁻⁶ contour bij combinatie van de bronmaatregel mastversteviging en reductie van het nominaal toerental, in stappen van 0.5 toeren per minuut. De combinatie van beide is nodig om het effect van nominaal toerental reductie in de PR=10⁻⁶ contour terug te zien.

Mastversteving + toeren- talverlaging	Nordex N100	Nordex N117 3MW	Nordex N117 2.4MW	Alstom Eco122
-0.5 RPM	147 m	139 m	128 m	141 m
-1.0 RPM	140 m	132 m	121 m	133 m
-1.5 RPM	134 m	125 m	115 m	126 m
-2.0 RPM	128 m	119 m	108 m	119 m
-2.5 RPM	122 m	112 m	102 m	113 m
-3.0 RPM	117 m	106 m	96 m	106 m

Tabel 5. Berekende afstand tot de $PR=10^{-6}$ -contour bij mastversteving en verlaging van het nominaal toerental

Uit interpolatie van de afstanden in tabel 5 leiden we af welke toerentalverlaging in combinatie met mastversteving nodig is om de $PR=10^{-6}$ contour te reduceren tot de door IFF gewenste waarde van 124 meter, zie onderstaande tabel.

Benodigde toerenverlaging	Nordex N100	Nordex N117 3MW	Nordex N117 2.4MW	Alstom Eco122
Toerentalreductie	-2.4 rpm	-1.6 rpm	-0.8 rpm	-1.7 rpm

Tabel 6. Berekende toerentalreductie om $PR=10^{-6}$ contour van 124 meter te bereiken

Conclusie

Berekeningen werden uitgevoerd met het kogelbaanmodel volgens het Handboek Risicozonering Windturbines 2013.

De voor de windturbines berekende PR-contouren zijn:

Berekende afstand	Nordex N100	Nordex N117 3MW	Nordex N117 2.4MW	Alstom Eco122
$PR=10^{-5}$ per jaar	33 m	48 m	49 m	43 m
$PR=10^{-6}$ per jaar	153 m	150 m	150 m	151 m

Met één van de bronmaatregelen mastverzwaring of toerentalreductie kan de $PR=10^{-6}$ -contour niet worden verlaagd tot 124 meter. Door een combinatie van beide bronmaatregelen kan de $PR=10^{-6}$ contour wel worden verlaagd tot 124 meter. De hiervoor benodigde vermindering van het toerental is:

Benodigde toerenverlaging	Nordex N100	Nordex N117 3MW	Nordex N117 2.4MW	Alstom Eco122
toerentalreductie	-2.4 rpm	-1.6 rpm	-0.8 rpm	-1.7 rpm

Bijlage 1: Windturbine parameters

Parameter	Nordex N100	Nordex N117 3MW	Nordex N117 2.4MW	Alstom Eco122
Vermogen [MW]	2.5	3.0	3.0	2.7
Ashoogte [m]	100	91	91	89
Rotatiesnelheid (nominaal) [rpm]	14.9 ^x	12.6 ^y	11.8 ^{yy}	12.25 ^z
Mastdiameter (max), d [m]	5.0 *	5.0 *	5.0 *	4.5 ^z
Lengte gondel, l [m]	12.5 *	15.0 *	15.0 *	14.6 ^z
Hoogte gondel h [m]	4.5 *	5.0 *	5.0 *	4.6 ^z
Solidity, s [-]	0.05 *	0.05 *	0.05 *	0.05 *
Lengte rotorblad, Lb [m]	48.6 *	57.3 ^y	57.3 ^y	59.3 ^z
Oppervlakte rotorblad, Ab [m ²]	120.5 *	160.1 *	160.1 *	143.0 ^z
Zwaartepunt rotorblad, Rz [m]	18.0 *	21.0 *	21.0 *	22.0 *

* Gebaseerd op de berekeningsmethodiek uit HRW 2013 Bijlage B 2

^z Gebaseerd op DST-0484_R08 ECO 122 General Description

^y Gebaseerd op K0801_041798_EN_R01_Sales_document_Tech_description_K08d_N117

^{yy} Gebaseerd op WICO_016NV111-01_NV-FGW_EMV-Abschaetznng_N117-2400

^x Gebaseerd op http://www.nordex-online.com/fileadmin/MEDIA/Gamma/Nordex_Gamma_en.pdf



Bijlage 2 Toelichting op berekeningen van veiligheidsafstanden

10⁻⁶ contour

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 (bladbreek, mastbreek, neerkomen van delen).

Het risico mastbreek voor de omgeving beperkt zich tot een afstand die gelijk is aan de ashoogte plus de halve rotordiameter. Voor het na beneden vallen van de gondel of rotor is deze afstand gelijk aan de halve diameter.

Op basis van generieke faalfrequenties (bijlage A HRW 2013) en het kogelbaanmodel (bijlage C, HRW 2013) is de PR berekend als functie van de afstand tot de windturbine. Beschouwd zijn het falen van de bladen, de mast en de gondel en rotor afzonderlijk en het totale PR van deze drie faalmechanismen gezamenlijk.

Kogelbaanmodel

De baan die een afgebroken blad zal afleggen is berekend met het ballistisch model zonder luchtkrachten. Dit is in wezen het klassieke kogelbaanmodel. De bewegingsvergelijking en verdelingsfuncties staan gegeven in bijlage C1, paragraaf 2.1 van het Handboek Risicozonering Windturbines 2013 (zie volgende pagina). De relevante parameters voor dit ballistisch model zijn:

- Hoogte rotoras (m)
- Toerental van de rotor (rad/s)
- Afstand tot rotor centrum van het zwaartepunt van wegvliegende deel (m)
- Azimuthhoek (rad) (hoek van wiek tijdens breek)
- Valversnelling

Toerentalverlaging

Toerentalverlaging heeft als resultaat dat de afworpafstand van de rotorbladen afneemt. Toerentalverlaging heeft een verlaging van het nominaal vermogen tot gevolg. Als vuistregel kan gehanteerd worden dat de afname in nominaal vermogen evenredig is met de toerentalverlaging.

Met behulp van de formules voor kogelbaanberekeningen is voor het verlaagde toerental opnieuw de afworpafstanden van het rotorblad berekend. Het totale PR van de drie faalmechanismen gezamenlijk komt hierdoor dichterbij de turbine te liggen.

Door toerentalverlaging neemt naar alle waarschijnlijkheid ook de faalfrequentie van de windturbine af voor een deel van de scenario's. Dit kan echter niet gekwantificeerd worden en is om deze reden niet meegenomen in de berekeningen.



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]

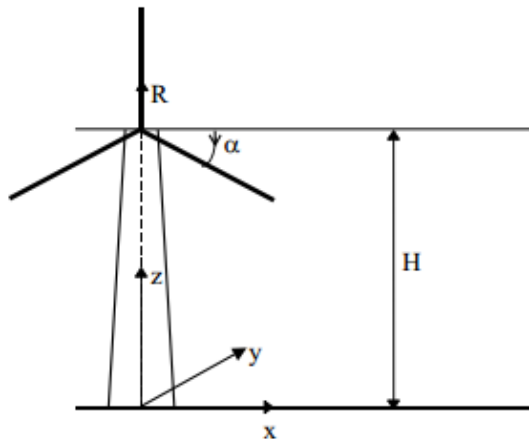
Ω : toerental van de rotor [rad/s]

R_z : afstand tot het rotor centrum van het zwaartepunt van wegvliegende deel [m]

α : azimuthhoek [rad]

g : valversnelling ($\approx 9,81 \text{ m/s}^2$).

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

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

Met de beginvoorwaarden

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

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

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



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

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

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

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

2.1.2 Verdelingsfuncties

De kansverdelingsfunctie f_{ZWP} geeft de kans per m^2 dat het zwaartepunt op een bepaalde plek terecht komt gegeven bladbreuk. Bij het onderhavige model worden de luchtkrachten niet meegenomen, zodat alleen het toerental en de azimuthhoek als stochastische grootheden overblijven. Tevens geldt dat f_{ZWP} 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 terecht komt, is gegeven door

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

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

$$f_A(\alpha) = \frac{d}{d\alpha} F_A(\alpha) = \frac{1}{2\pi}, \quad 0 \leq \alpha < 2\pi \quad (2.1.7)$$

geldt nu

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

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 azimuthhoeken 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

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