

Bosch & van Rijn

Franz-Lisztplantsoen 220
3533 JG Utrecht
030 – 677 6466

Auteurs

Hans Kerkvliet, MSc.
Martijn Maan, MSc.

Opdrachtgever

Pure Energie
Hengelsestraat 585
Postbus 3141
7500 DC Enschede



Externe veiligheid - windturbines knooppunt Buren



Externe veiligheid - windturbines knooppunt Buren

Datum
1 december 2020

Versie
4.0

Bosch & Van Rijn
Franz-Lisztplantsoen 220
3533 JG Utrecht

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

© Bosch & Van Rijn 2020

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

HOOFDSTUK 1	INLEIDING	3
1.1	<i>Achtergrond</i>	3
1.2	<i>Opstelling</i>	3
1.3	<i>Leeswijzer</i>	3
HOOFDSTUK 2	RISICO-INVENTARISATIE	4
2.1	<i>Faalscenario's</i>	4
2.2	<i>Werpafstanden en risicocontouren</i>	4
2.3	<i>Risico-inventarisatie</i>	5
HOOFDSTUK 3	BEOORDELINGSKADER	7
3.1	<i>(Beperkt) kwetsbare objecten</i>	7
3.2	<i>Buisleidingen voor gevaarlijke stoffen</i>	7
3.3	<i>Wegen</i>	8
HOOFDSTUK 4	RISICOANALYSE	10
4.1	<i>(Beperkt) Kwetsbare objecten</i>	10
4.2	<i>Buisleidingen</i>	13
4.3	<i>Wegen</i>	18
HOOFDSTUK 5	CONCLUSIE	21
5.1	<i>(Beperkt) Kwetsbare objecten</i>	21
5.2	<i>Buisleidingen</i>	21
5.3	<i>Wegen</i>	22
HOOFDSTUK 6	DISCUSSIE	23
BIJLAGE A	BEREKENING WERPAFSTAND	24
BIJLAGE B	RESULTATEN BEREKENING RISICOAFSTANDEN IN BLADETHROW	26
BIJLAGE C	(BEPERKT) KWETSBARE OBJECTEN	27
BIJLAGE D	REKENMETHODE BUISLEIDINGEN	28
D.1	<i>Trefkans buisleiding door bladbreuk</i>	28
D.2	<i>Trefkans buisleiding door mastbreuk</i>	29
D.3	<i>Totale trefkans</i>	29
BIJLAGE E	REKENMETHODE WEGEN	30
E.1	<i>Trefkans weg door wiekbreuk</i>	30
E.2	<i>Trefkans weg door mastbreuk</i>	30
E.3	<i>Trefkans weg door gondelafworp</i>	30
E.4	<i>Totale trefkans per passage</i>	31

Hoofdstuk 1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De initiatiefnemers van *Wind voor Buren* zijn voornemens twee windturbines te realiseren nabij knooppunt Buren. Hiertoe wensen de initiatiefnemers inzicht in de externe veiligheidsrisico's die de windturbines met zich mee zullen brengen. In voorliggend memo zijn de te verwachten effecten van windturbines voor het milieuthema 'Externe Veiligheid' berekend en is beoordeeld of de beoogde windturbines aan de wettelijke eisen voldoen.

1.2 Opstelling

Het initiatief bestaat uit twee windturbines waarvan de beoogde coördinaten in onderstaande tabel zijn weergegeven. De positie van de westelijke windturbine is nog niet bekend, waardoor in dit onderzoek twee mogelijke posities zijn onderzocht.

Tabel 1 Beoogde coördinaten (Rijksdriehoeksstelsel) van de windturbines

Windturbine	RDx	RDy
WTB Oost	247.266	478.281
WTB West, mogelijkheid 1 (noordelijke positie)	246.892	478.527
WTB West, mogelijkheid 2 (zuidelijke positie)	246.784	478.483

Met betrekking tot de afmetingen van de windturbines wordt de volgende bandbreedte voorzien:

- **Ashoogte:** minimaal 110 meter, maximaal 150 meter;
- **Rotordiameter:** minimaal 120 meter, maximaal 162 meter;
- **Tiphoogte:** minimaal 170 meter, maximaal 231 meter.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de externe veiligheidsrisico's van de windturbines beschreven. Verder zal in dit hoofdstuk worden ingegaan op de risico's in de omgeving en de relevante objecten in het risicogebied. Hoofdstuk 3 bevat het toetsingskader voor de beoordeling van de (toename) van de externe veiligheidsrisico's. Hierbij wordt alleen ingegaan op de relevante aspecten in het plangebied. In Hoofdstuk 4 worden de risico's van de windturbines op de relevante objecten geanalyseerd. Hoofdstuk 5 bevat de conclusies waarin de berekende waarden worden getoetst aan het in Hoofdstuk 3 beschreven beoordelingskader.

Hoofdstuk 2 Risico-inventarisatie

2.1 Faalscenario's

Risico's van een windturbine voor de omgeving bestaan uit drie typen falen:

1. *het afbreken van (een gedeelte van) een windturbineblad;*

De risico's van het afbreken van een windturbineblad vormen een risico binnen de straal van de maximale werpafstand. Hierbij worden twee scenario's onderscheiden:

- Maximale werpafstand bij nominaal toerental;
- Werpafstand bij overtoeren¹;

2. *het omvallen van een windturbine door mastbreuk;*

Als gevolg van mastbreuk kan een persoon of object getroffen worden door de mast of door de gondel met rotor die op de grond terecht komt. Het omvallen van een windturbine vormt een risico binnen de maximale valafstand (ashoogte + $1/2^{\text{de}}$ rotordiameter) van de windturbine.

3. *het naar beneden vallen van de gondel en/of rotor.*

Het risicogebied van het naar beneden vallen van de gondel en/of rotor is beperkt tot maximaal de wieklengte. Als gevolg van gondelafworp kan een persoon of object getroffen worden door de gondel die op de grond terecht komt.

2.2 Werpafstanden en risicocontouren

Om een representatief beeld van de mogelijke effecten binnen het milieuthema 'externe veiligheid' te geven worden in dit onderzoek de externe veiligheidsaspecten voor een windturbine type *Vestas V150* (rotordiameter 150 meter) op 150 meter ashoogte doorgerekend. Voor dit windturbinetype zijn op basis van generieke faalfrequenties (Handleiding Omgevingsveiligheid – Toelichting (oktober 2019), het kogelbaanmodel (Bijlage A, Bron: Handleiding Omgevingsveiligheid Versie oktober 2014) en specifieke parameters van de *Vestas V150* de werpafstanden en risicocontouren berekend (Bijlage B). De resultaten zijn in onderstaande tabel weergegeven.

¹ 'Bij nominaal toerental' betekent hier dat de rotor van de windturbine met normale snelheid draait op moment van afbreken van het blad. 'Bij overtoeren' betekent hier dat de rotor van de windturbine met abnormale snelheid draait op moment van afbreken van het blad, bijvoorbeeld door een defect in het remsysteem van de windturbine. In dit geval zouden (delen van) het windturbineblad verder geworpen kunnen worden dan wanneer de rotor met normale snelheid zou hebben gedraaid. Dat windturbines 'in overtoeren' raken is, zeker bij moderne windturbines, zeer zeldzaam.

Tabel 2 Risicocontouren en maximale werpafstand van de Vestas V150 op 150 meter ashoogte

WTB type	Ashoogte (m)	Risicocontouren (m)		Max. werpafstand (m)	
		10^{-5}	10^{-6}	Nominaal toerental	Overtoren
Vestas V150	150	75 ²	177	154	376

De Vestas V150 op 150 meter ashoogte is slechts één type windturbine die binnen de in Tabel 1 genoemde bandbreedte mogelijk is en is dan ook niet bedoeld om de grootste mogelijke (worst-case) veiligheidsrisico's in beeld te brengen. Binnen de bandbreedte zijn zowel windturbines met grotere afmetingen (en daarmee naar waarschijnlijkheid ook grotere veiligheidsrisico's) als windturbines met kleinere afmetingen (en daarmee naar waarschijnlijkheid ook kleinere veiligheidsrisico's) denkbaar.

2.3 Risico-inventarisatie

De windturbines kunnen een risicoverhogend effect hebben op nabijgelegen gebouwen, installaties en infrastructuur. Om voor het beoogde initiatief te bepalen welke onderwerpen relevant zijn wordt eerst het maximale gebied bepaald waarbinnen de windturbines veiligheidsrisico's kunnen veroorzaken (hierna de *invloedsfeer* genoemd) in kaart gebracht. De invloedsfeer van de windturbines is gelijk aan de maximale werpafstand bij overtoeren. In Figuur 1 en Figuur 2 is weergegeven welke onderwerpen binnen de invloedsfeer van de windturbines relevant zijn.

Figuur 1 Relevante onderwerpen binnen het milieuthema 'externe veiligheid' rondom de beoogde windturbines – opstellingsmogelijkheid 1



² Voor de 10^{-5} contour is de wielengte als worst-case waarde aangehouden

Figuur 2 Relevante onderwerpen binnen het milieuthema 'externe veiligheid' rondom de beoogde windturbines – opstellingsmogelijkheid 2



Uit bovenstaande figuur blijkt dat de volgende onderwerpen relevant³ zijn:

- ❖ (Beperkt) Kwetsbare objecten
- ❖ Buisleidingen voor gevaarlijke stoffen
- ❖ Infrastructuur (wegen)

³ Relevant houdt in dat deze onderwerpen zich bevinden binnen de invloedssfeer van de windturbines.

Hoofdstuk 3 Beoordelingskader

3.1 (Beperkt) kwetsbare objecten

(Beperkt) kwetsbare objecten omvatten gebouwen en terreinen waar personen verblijven alsmede objecten met een hoge infrastructurele waarde. Ter bescherming van deze objecten zijn in het Activiteitenbesluit Milieubeheer de volgende wettelijke eisen aan windturbines gesteld:

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 C voor de definities van 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. Op de 10^{-5} contour is deze kans één keer in de honderdduizend jaar

In dit rapport wordt getoond waar rondom de windturbines de 10^{-6} contour en 10^{-5} contour zijn gelegen. Zoals hierboven beschreven mogen zich geen buiten de inrichting gelegen kwetsbare objecten binnen de 10^{-6} contour bevinden. Binnen de 10^{-5} contour mogen zich geen buiten de inrichting gelegen beperkt kwetsbare objecten bevinden.

3.2 Buisleidingen voor gevaarlijke stoffen

Voor gasleidingen hanteert Gasunie N.V. een adviesafstand waarbuiten geen substantiële negatieve invloed van een windturbine is te verwachten. Voor ondergrondse infrastructuur wordt de grootste afstand geadviseerd van:

- Maximale werpafstand bij nominaal toerental
- Ashoogte + 1/2 rotordiameter

Voor bovengrondse buisleidingen adviseert Gasunie een afstand van:

- Maximale werpafstand bij overtoeren

Bij inachtneming van bovenstaande afstanden zal plaatsing van de windturbines niet leiden tot een (significante) verhoging van de faalkans van de gasinfrastructuur, waardoor ook het risico voor de omgeving door de aanwezigheid van de

gasinfrastructuur niet (significant) zal toenemen en de transport- en leveringszekerheid van het aardgas niet (significant) worden aangetast.

Als niet aan bovenstaande adviesafstanden kan worden voldaan dan is plaatsing van de windturbines voor Gasunie⁴ slechts acceptabel als:

- Er géén 10^{-6} per jaar contour ontstaat die bij transportleidingen in het kader van het Besluit externe veiligheid buisleidingen (Bevb) tot buiten de belemmeringenstrook reikt en bij Bevi-inrichtingen tot buiten het reikt als die 10^{-6} per jaar contour vóór plaatsing van de windturbines ook niet buiten de belemmeringstrook resp. het hekwerk reikte. Dat betekent dat voor situaties waar het PR niveau binnen de belemmeringstrook resp. het hekwerk lager is dan 10^{-6} per jaar, het PR wel mag toenemen tot maximaal 10^{-6} per jaar⁵;
- De PR 10^{-6} per jaar contour niet groter wordt als die vóór de plaatsing van de windturbines al wel buiten de belemmeringenstrook resp. het hekwerk reikte;

Het additioneel risico veroorzaakt door plaatsing van de windturbines wordt bepaald door de kans dat (delen van) de windturbine de leiding raken (de trefkans) te vergelijken met de gebruikelijke kans op falen (de faalfrequentie) van de buisleiding. Als uitgangspunt moet worden aangehouden dat 10% additioneel risico toelaatbaar is (Handleiding Risicoberekeningen Bevb). Echter geldt onder alle omstandigheden dat de buisleiding aan het Bevb dient te voldoen.

Door het plangebied loopt ook een defensieleiding waardoor vliegtuigbrandstoffen worden vervoerd. Voor dit soort leidingen is geen eigen beleid opgesteld, maar wordt in de praktijk doorgaans het beleid van Gasunie overgenomen. In dit memo zal de defensieleiding daarom aan dezelfde criteria als de Gasunieleidingen getoetst worden.

NB. Er bestaan ook niet-risicovolle buisleidingen, zoals bijvoorbeeld waterleidingen en persleidingen. Voor dergelijke leidingen gelden bovenstaande adviesafstanden niet.

3.3 Wegen

Voor Rijkswegen zijn generieke afstanden berekend waarbuiten er 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".

⁴ Bron: Het beleid van Gasunie Transport Services inzake het veilig plaatsen van windturbines bij haar gasinfrastructuur – 31-08-2015.

⁵ PR: plaatsgebonden risico.

Voor de overige openbare wegen bestaan geen genormeerde afstanden, waardoor kleinere afstanden mogelijk zijn. In de beleidsregel *“Windturbines langs auto-, spoor-, en vaarwegen – Beoordeling van veiligheidsrisico’s”* staan de richtlijnen gegeven (zie kaders):

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 op honderdzestig kilometer per uur. Een generiek IPR van 10^{-6} wordt aangehouden voor alle infrastructuur waarop de wettelijk toelaatbare snelheden de honderdzestig kilometer per uur niet overschrijden, en een generiek IPR van 10^{-7} op infrastructuur waarop wettelijk toelaatbare snelheden boven de honderdzestig kilometer per uur bestaan.

Maatschappelijk risico (MR)

Er zijn verschillenden maten te kiezen voor het maatschappelijk risico. Rijkswaterstaat en ProRail hanteren het criterium dat er jaarlijks niet meer dan $2 \cdot 10^{-3}$ passanten mogen overlijden. 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.

Hoofdstuk 4 Risicoanalyse

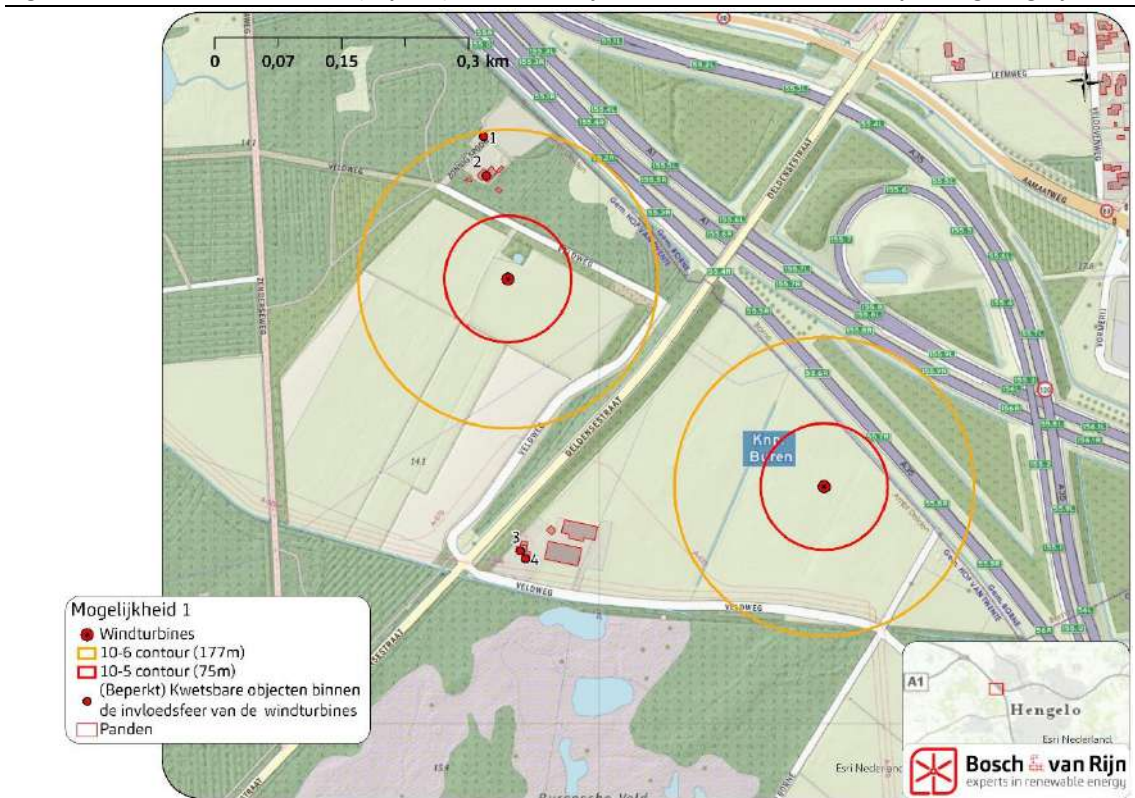
4.1 (Beperkt) Kwetsbare objecten

Binnen de invloedsfeer van de windturbines is nagagaan of er zich (geprojecteerde) kwetsbare of beperkt kwetsbare objecten bevinden. Hierbij is gebruik gemaakt van het BAG, de luchtfoto, ruimtelijke plannen en de risicokaart. Binnen de invloedsfeer van de windturbines bevinden zich vier (geprojecteerde) kwetsbare of beperkt kwetsbare objecten:

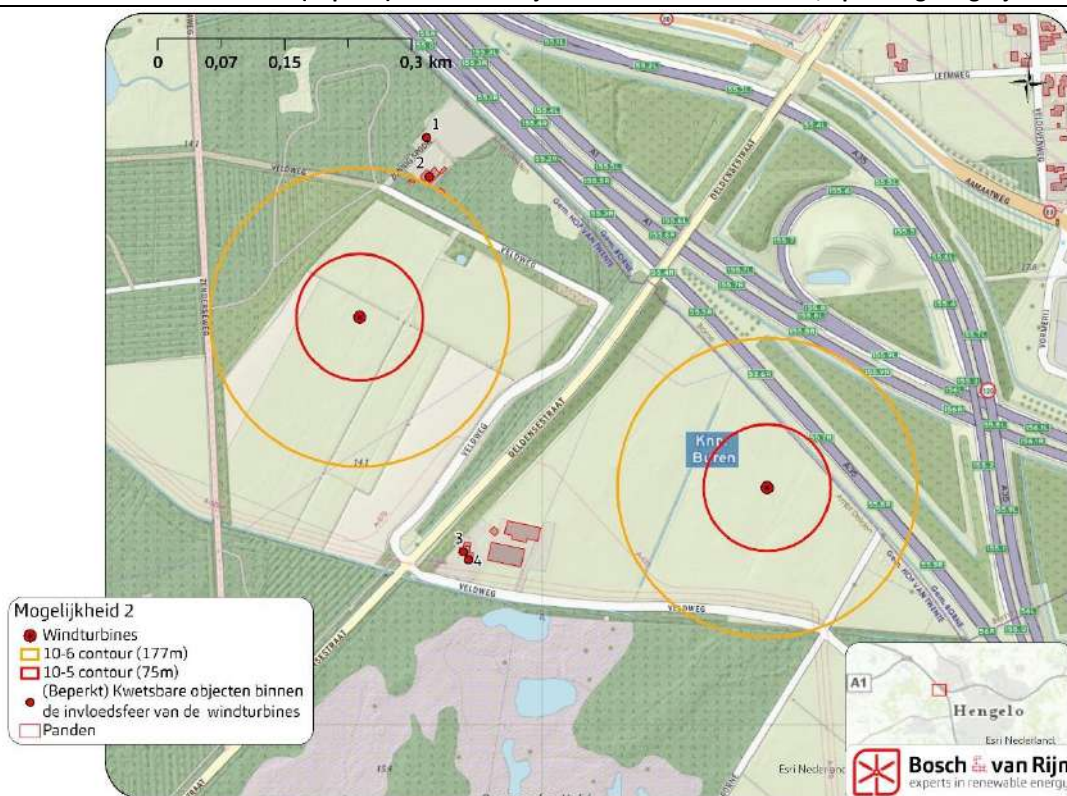
1. Sporthondenwerkgroep Hof van Twente
2. Scouting Twickel Borne
3. Een woning aan de Veldweg 5a
4. Een woning aan de Veldweg 5

De ligging van bovengenoemde objecten t.o.v. de 10^{-5} en 10^{-6} -contouren van de windturbines is in Figuur 3 en Figuur 4 weergegeven. De nummers in de figuur corresponderen met de hierboven bovengenoemde nummers.

Figuur 3 Risicocontouren en (beperkt) kwetsbare objecten rond de windturbines, opstellingsmogelijkheid 1



Figuur 4 Risicocontouren en (beperkt) kwetsbare objecten rond de windturbines, opstellingsmogelijkheid 2



Sporhondenwerkgroep Hof van Twente (object 1) bevindt zich in geval van opstellingsmogelijkheid 1 binnen de 10^{-6} contour maar buiten de 10^{-5} contour van de westelijke windturbine. In geval van opstellingsmogelijkheid 2 bevindt de sporthondenwerkgroep zich buiten de 10^{-6} contour van beide windturbines.

Scouting Twickel Borne (object 2) bevindt zich in geval van opstellingsmogelijkheid 1 binnen de 10^{-6} contour maar buiten de 10^{-5} contour van de westelijke windturbine. In geval van opstellingsmogelijkheid 2 bevindt het hoofdgebouw van de scouting zich net buiten de 10^{-6} contour van de westelijke windturbine. Het omliggende terrein en de bijgebouwen bevinden zich echter wel binnen de 10^{-6} contour van de westelijke windturbine.

De twee woningen (object 3 en 4) bevinden zich in geval van beide opstellingsmogelijkheden buiten de 10^{-6} contour van de windturbines.

Omdat object 1 en 2 zich in geval van ten minste één van de opstellingsmogelijkheden binnen de 10^{-6} contour van de windturbines bevinden is voor deze objecten nagegaan of deze als kwetsbaar of als beperkt kwetsbaar object moeten worden beschouwd.

Gezien de omvang van het gebouw van sporthondenwerkgroep Hof van Twente (object 1) en de aard van de activiteiten die in het gebouw verwacht mogen worden plaats te vinden mag gesteld worden dat de in Bijlage C genoemde beschrijvingen van kwetsbare objecten op dit object niet van toepassing zijn. Derhalve hoeft de sporthondenwerkgroep Hof van Twente niet als kwetsbaar object te worden

beschouwd en wordt in geval van beide plaatsingsmogelijkheden aan de eisen uit het Activiteitenbesluit voldaan.

Wat het hoofdgebouw en omliggende terrein van de scouting Twickel Borne (object 2) betreft geldt dat de in lid b en lid d genoemde beschrijvingen van kwetsbare objecten (Bijlage C) mogelijk van toepassing zijn. Dit zal afhangen van:

- De mate waarin het rondom het hoofdgebouw liggende terrein als kampeer- en recreatieterrein moet worden beschouwd, en de vraag of verwacht mag worden dat hier ten minste 50 personen gedurende meerdere aaneengesloten dagen zullen verblijven.
- De verblijfstijd van, en (in het kader van zelfredzaamheid) de leeftijd van personen in het hoofdgebouw van de scouting.

Voor de doorgerekende windturbineopstellingen en het doorgerekende windturbintype (Vestas V150 op 150 meter ashoogte) is dan ook niet op voorhand te zeggen of deze aan de eisen vanuit het Activiteitenbesluit voor kwetsbare objecten voldoen.

Aan de eisen vanuit het Activiteitenbesluit kan worden voldaan indien:

- Zou blijken dat het hoofdgebouw en omliggende terrein van de scouting Twickel Borne (object 2) niet als kwetsbaar maar slechts als beperkt kwetsbaar object moet worden beschouwd⁶. In dit geval zou voor beide opstellingsmogelijkheden met het doorgerekende windturbintype aan het Activiteitenbesluit worden voldaan.
- Wordt gekozen voor opstellingsmogelijkheid 2, waarnaast in plaats van het doorgerekende windturbintype wordt gekozen voor een windturbintype met een kleinere 10^{-6} contour. Indien de 10^{-6} contour dusdanig kleiner is dat de scouting Twickel Borne hierbuiten valt zal aan het Activiteitenbesluit worden voldaan, ook wanneer de scouting als kwetsbaar object moet worden beschouwd.
- Wordt gekozen voor zowel opstellingsmogelijkheid 2 als het doorgerekende windturbintype, maar de meest westelijke windturbine dusdanig naar het zuidwesten wordt verplaatst dat de 10^{-6} contour niet met de scouting Twickel Borne overlapt.
- Wordt gekozen voor zowel opstellingsmogelijkheid 2 als het doorgerekende windturbintype, maar de 10^{-6} contour middels *sectormanagement*⁷ dusdanig wordt verkleind dat deze niet met de scouting Twickel Borne overlapt.

⁶ Gesprekken met de gemeente en/of de scouting over de activiteiten op het terrein van de scouting Twickel Borne kunnen hier mogelijk duidelijkheid over geven.

⁷ *Sectormanagement* betekent globaal dat de windturbine stil wordt gezet op momenten dat deze ontoelaatbare veiligheidsrisico's zou veroorzaken, waardoor de veiligheidsrisico's afnemen.

4.2 Buisleidingen

Voor beide opstellingsmogelijkheden is nagegaan of de beoogde windturbines aan de adviesafstand van ashoogte + $\frac{1}{2}$ rotordiameter (oftewel de tiphoogte) tot de buisleidingen voldoen.

Figuur 5 Buisleidingen rondom en tiphoogte van de windturbines in geval van opstellingsmogelijkheid 1



Figuur 6 Buisleidingen rondom en tiphoogte van de windturbines in geval van opstellingsmogelijkheid 2



Uit Figuur 5 en Figuur 6 blijkt dat niet voldaan wordt aan de adviesafstand bij de volgende buisleidingen:

Tabel 3 Minimale afstand (in meters) tussen de buisleidingen en windturbines

Buisleiding	WTB Oost	WTB West 1	WTB West 2
Defensieleiding 4396 P21+1	144,55 Voldoet niet	110,75 Voldoet niet	133,83 Voldoet niet
Gasunieleiding 165085	124,25 Voldoet niet	185,81 Voldoet niet	181,70 Voldoet niet
Gasunieleiding 177101	139,20 Voldoet niet	337,52 Voldoet wel	267,36 Voldoet wel
Gasunieleiding 192698	132,26 Voldoet niet	338,55 Voldoet wel	274,02 Voldoet wel

Omdat niet aan de adviesafstand van Gasunie wordt voldaan is voor de buisleidingen welke binnen de tiphoogte van de windturbines vallen een trefkansberekening uitgevoerd volgens de methode in Bijlage D. In onderstaande tekst zijn de input en resultaten van deze berekening beschreven.

Trefkans door bladbreuk

Met betrekking tot de buisleidingen zijn onderstaande parameters als input gebruikt:

Tabel 4 Buisleiding specifieke parameters welke als input voor de trefkansberekening zijn gebruikt

Parameter	Defensie 4396 P21+1	Gasunie 165085	Gasunie 177101	Gasunie 192698
Diepte ligging (m)	0,6	2,07	1,66	2,83
SMYS	$2,45 * 10^8$	$4,80 * 10^8$	$3,86E * 10^8$	$4,15 * 10^8$
P (Pa)	$8,00 * 10^6$	$7,99 * 10^6$	$6,62 * 10^6$	$7,99 * 10^6$
D (mm)	219,08	762	457	610
t (mm)	7,04	10	6	11
E (Pa)	$2,41 * 10^{11}$	$2,41 * 10^{11}$	$2,41 * 10^{11}$	$2,41 * 10^{11}$

Met betrekking tot de Vestas V150 windturbine zijn de onderstaande parameters als input gebruikt:

- Gewicht blad: 23.887 kg
- Gewicht mast: 23.000 kg
- Gewicht gondel: 69.000 kg
- Ashoogte: 150 m
- Toerental: 10,13 rpm
- Rotordiameter: 150 m
- Lengte van het blad: 74,3 m

Hieruit volgen de volgende kritische strookbreedtes (m):

Tabel 5 Kritische strookbreedtes (m) per buisleiding bij een Vestas V150 windturbine op 150m ashoogte

Defensie 4396 P21+1	Gasunie 165085	Gasunie 177101	Gasunie 192698
8,46	5,08	7,66	2,30

De resulterende kritische strookbreedte (m) is in de eerste rij van onderstaande tabellen weergegeven. Vermenigvuldiging met de lengte van de buisleiding binnen de invloedsfeer van de windturbines en p_{zwpt} op de minimale afstand tot de buisleiding geeft een worst-case berekening van de trefkans per buisleiding:

Tabel 6 Resultaat trefkansberekening door bladbreuk in voor WTB Oost

Variabele	Defensie 4396 P21+1	Gasunie 165085	Gasunie 177101	Gasunie 192698
Kritische strookbreedte (m)	8,46	5,08	7,66	2,30
Lengte buisleiding (m), binnen max. werpafstand no- minaal toerental	106	160	119	145
Lengte buisleiding (m), buiten max. werpafstand no- minaal toerental	603	566	522	505
p_{zwpt} , nominaal (per m ² per jaar)	$9,73 * 10^{-9}$	$7,05 * 10^{-9}$	$8,14 * 10^{-9}$	$7,38 * 10^{-9}$
p_{zwpt} , overtoeren (per m ² per jaar)	$1,12 * 10^{-11}$	$1,12 * 10^{-11}$	$1,12 * 10^{-11}$	$1,12 * 10^{-11}$
Trefkans (per jaar)	$1,04 * 10^{-6}$	$1,13 * 10^{-6}$	$9,74 * 10^{-7}$	$1,08 * 10^{-6}$

Tabel 7 Resultaat trefkansberekening door bladbreuk in voor WTB West 1

Variabele	Defensie 4396 P21+1	Gasunie 165085	Gasunie 177101	Gasunie 192698
Kritische strookbreedte (m)	8,46	5,08	7,66	2,30
Lengte buisleiding (m), binnen max. werpafstand no- minaal toerental	210	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Lengte buisleiding (m), buiten max. werpafstand no- minaal toerental	497	572	350	354
p_{zwpt} , nominaal (per m ² per jaar)	$6,94 * 10^{-9}$	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
p_{zwpt} , overtoeren (per m ² per jaar)	$1,12 * 10^{-11}$	$8,58 * 10^{-12}$	$6,48 * 10^{-12}$	$6,66 * 10^{-12}$
Trefkans (per jaar)	$1,46 * 10^{-6}$	$4,91 * 10^{-9}$	$2,27 * 10^{-9}$	$2,36 * 10^{-9}$

Tabel 8 Resultaat trefkansberekening door bladbreuk in voor WTB West 2

Variabele	Defensie 4396 P21+1	Gasunie 165085	Gasunie 177101	Gasunie 192698
Kritische strookbreedte (m)	8,46	5,08	7,66	2,30
Lengte buisleiding (m), binnen max. werpafstand no- minaal toerental	154	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Lengte buisleiding (m), buiten max. werpafstand no- minaal toerental	497	572	350	354
p_{zwpt} , nominaal (per m ² per jaar)	$7,50 * 10^{-9}$	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
p_{zwpt} , overtoeren (per m ² per jaar)	$1,12 * 10^{-11}$	$8,89 * 10^{-12}$	$5,89 * 10^{-12}$	$5,82 * 10^{-12}$
Trefkans (per jaar)	$1,16 * 10^{-6}$	$7,32 * 10^{-9}$	$3,80 * 10^{-9}$	$3,77 * 10^{-9}$

Trefkans door mastbreuk

Zoals beschreven in Bijlage D.2 volgt de trefkans door mastbreuk uit de kans dat het scenario faalkans zich voordoet en de valhoek waarbinnen de windturbine in geval van omvallen de buisleiding zou raken. De resulterende trefkans door mastbreuk is in Tabel 9 weergegeven:

Tabel 9 Resultierende trefkans door mastbreuk voor het tracé

Windturbine	Defensie 4396 P21+1	Gasunie 165085	Gasunie 177101	Gasunie 192698
WTB Oost (kans per jaar)	$4,44 * 10^{-5}$	$5,74 * 10^{-5}$	$4,59 * 10^{-5}$	$4,69 * 10^{-5}$
WTB West 1 (kans per jaar)	$6,07 * 10^{-5}$	$2,28 * 10^{-5}$	n.v.t.	n.v.t.
WTB West 2 (kans per jaar)	$5,38 * 10^{-5}$	$2,53 * 10^{-5}$	n.v.t.	n.v.t.

Totale trefkans

De totale trefkans per opstellingsmogelijkheid wordt berekend door de trefkans van de scenario's bladbreuk en mastbreuk voor de betreffende windturbines bij elkaar op te tellen.

Tabel 10 Totale trefkans voor het tracé per opstellingsmogelijkheid

Opstellingsmogelijkheid	Defensie 4396 P21+1	Gasunie 165085	Gasunie 177101	Gasunie 192698
Mogelijkheid 1	$1,08 * 10^{-04}$	$8,13 * 10^{-5}$	$4,68 * 10^{-5}$	$4,80 * 10^{-5}$
Mogelijkheid 2	$1,00 * 10^{-04}$	$8,38 * 10^{-5}$	$4,68 * 10^{-5}$	$4,80 * 10^{-5}$

Om te beoordelen of het additioneel risico als gevolg van plaatsing van de windturbines kleiner is dan 10%, en daarmee op voorhand als toelaatbaar mag worden beschouwd, wordt deze getoetst aan de catastrofale faalfrequentie van de buisleidingen met aardolieproducten zoals vermeld in de Handleiding risicoberekeningen Bevb. Hoewel de leidingen van Gasunie niet vallen onder deze categorie wordt hier aan getoetst, omdat de intrinsieke faalkansen van de Gasunie leidingen niet openbaar zijn. Wel is onze ervaring dat de intrinsieke faalkansen van de Gasunie-leidingen *lager* zijn dan de gehanteerde faalfrequentie, en dus de faalkanstoename *waarschijnlijk* groter.

De intrinsieke faalkans van een buisleiding met aardolieproducten is als volgt:

Tabel 1 Scenario voor buisleidingen met aardolieproducten.

Scenario	Faalfrequentie (km ⁻¹ jaar ⁻¹)
Breuk van de leiding	1,5 × 10 ⁻⁴

Hieruit blijken de volgende risicoverhogingen:

Tabel 11 Risicoverhoging per alternatief en per opstellingsmogelijkheid

Opstellingsmogelijkheid	Defensie 4396 P21+1	Gasunie 165085	Gasunie 177101	Gasunie 192698
Mogelijkheid 1	71,72%	54,20%	31,23%	32,02%
Mogelijkheid 2	66,95%	55,89%	31,23%	32,02%

Omdat de richtwaarde van 10% voor alle buisleidingen bij de twee alternatieven wordt overschreden is de risicoverhoging berekend voor twee andere windturbintypen binnen de bandbreedte zodat er een duidelijk beeld ontstaat van de mogelijke risicoverhoging. De gehanteerde windturbintypen zijn:

- Siemens Gamesa 3.4-132 op 120 meter ashoogte
- Enercon E126 op 110 meter ashoogte

Voor de gehanteerde windturbintypen is dezelfde aanpak gehanteerd als voor de Vestas V150. Dit heeft geleid tot de volgende faalkansverhogingen

Tabel 12 Risicoverhoging per alternatief en per opstellingsmogelijkheid Siemens Gamesa 3.4-132

Opstellingsmogelijkheid	Defensie 4396 P21+1	Gasunie 165085	Gasunie 177101	Gasunie 192698
Mogelijkheid 1	62,55%	38,77%	26,73%	27,45%
Mogelijkheid 2	56,34%	41,66%	26,73%	27,45%

Tabel 13 Risicoverhoging per alternatief en per opstellingsmogelijkheid Enercon E126

Opstellingsmogelijkheid	Defensie 4396 P21+1	Gasunie 165085	Gasunie 177101	Gasunie 192698
Mogelijkheid 1	59,62%	29,14%	25,52%	26,49%
Mogelijkheid 2	52,49%	29,86%	25,52%	26,49%

Uit bovenstaande vergelijking blijkt dat de richtwaarde van 10% bij de verschillende windturbintypes en alternatieven altijd wordt overschreden. Hierom dient er vervolgonderzoek plaats te vinden waarbij er een kwantitatieve risicoanalyse (QRA) wordt opgesteld voor de buisleidingen. Hieruit moet blijken dat de risico's (inclusief trefkans windturbines) naar de omgeving acceptabel zijn. Indien dit het geval is, is er geen belemmering voor de plaatsing van windturbines.

NB. Gezien de ligging van de buisleiding ten opzichte van de woningen aan de Veldweg 5 en 5a is het niet op voorbaat mogelijk om de conclusie te trekken dat de risico's acceptabel zijn. In Hoofdstuk 6 staat beschreven hoe alsnog aan de veiligheidseisen zou kunnen worden voldaan.

4.3 Wegen

Voor de windturbines volgens beide opstellingsmogelijkheden is nagegaan of deze boven wegen overdraaien. Figuur 7 en Figuur 8 laten zien dat alleen in geval van opstellingsmogelijkheid 1 overdraai boven openbare wegen plaatsvindt:

NB: binnen de bandbreedte van het initiatief zijn windturbines met een grotere rotordiameter (tot maximaal 162 meter) dan de nu doorgerekende Vestas V150 mogelijk. Onderstaande figuren laten dan ook niet de worst-case overdraai zien. Van belang voor Rijkswaterstaat is in elk geval dat de wieken van de windturbine niet over de rand van de verharding van de rijksweg zullen draaien.

Figuur 7 Overdraai boven wegen in geval van opstellingsmogelijkheid 1



Figuur 8 Overdraai boven wegen in geval van opstellingsmogelijkheid 2



In geval van opstellingsmogelijkheid 1 zal de westelijke windturbine boven de Veldweg (in beheer van de gemeente) overdraaien. Daarom is voor deze weg een kwantitatieve risicoanalyse uitgevoerd volgens de methode zoals deze in Bijlage E is beschreven. De Veldweg kan door de westelijke windturbine getroffen worden in geval van de faalscenario's mastbreuk, wiekbreuk en gondelafwerp. De Veldweg kan door de oostelijke windturbine geraakt worden in geval van het faalscenario wiekbreuk.

De hoekfractie waarbij de westelijke windturbine in geval van mastbreuk de Veldweg zou treffen is 0,733. Vermenigvuldiging met de generieke faalkans voor mastbreuk ($1,3 \cdot 10^{-4}$ per jaar) geeft een trefkans door mastbreuk van $9,53 \cdot 10^{-5}$ per jaar.

De kortste afstand tussen de westelijke windturbine en de Veldweg is 60,21 meter. Op deze afstand geeft BladeThrow voor de Vestas V150 op 150 meter ashoogte een p_{zwpt} van $1,13 \cdot 10^{-8}$ per jaar. Het door de windturbinefabrikant opgegeven kritiek bladoppervlak (A_c) is 277,02 m². Hieruit volgt een trefkans door wiekbreuk van $4,68 \cdot 10^{-6}$ per jaar.

De kortste afstand tussen de oostelijke windturbine en de Veldweg is 281,59 meter. Op deze afstand geeft BladeThrow voor de Vestas V150 op 150 meter ashoogte een p_{zwpt} van $5,73 \cdot 10^{-12}$ per jaar. Hieruit volgt een trefkans door wiekbreuk van $2,38 \cdot 10^{-9}$ per jaar.

De trefkans door gondelafwerp bij de westelijke windturbine is gelijk aan de kans dat het scenario zich voordoet; $4,0 * 10^{-5}$ per jaar.

Opsomming van bovengenoemde trefkansen geeft de totale kans dat onderdelen van de windturbines volgens opstellingsmogelijkheid 1 de Veldweg treffen: $1,40 * 10^{-4}$ per jaar. Vermenigvuldiging met de verblijfsfactor ($6,79 * 10^{-9}$) geeft de trefkans per passage: **$9,51 * 10^{-13}$** .



Hoofdstuk 5 Conclusie

5.1 (Beperkt) Kwetsbare objecten

In geval van opstellingsmogelijkheid 1 (met de westelijke windturbine op de noordelijke positie) bevinden de sporthondenwerkgroep Hof van Twente en de scouting Twickel Borne zich binnen de 10^{-6} contour, maar buiten de 10^{-5} contour van de westelijke windturbine. Omdat de sporthondenwerkgroep niet als kwetsbaar object moet worden beschouwd wordt voor dit object aan de eisen uit het Activiteitenbesluit voldaan. Voor de scouting Twickel Borne is nog onduidelijk of deze als kwetsbaar of als beperkt kwetsbaar object moet worden beschouwd. Indien de scouting als kwetsbaar object moet worden beschouwd voldoen de windturbines van opstellingsmogelijkheid 1 niet aan de eisen van het Activiteitenbesluit en zal deze niet gerealiseerd kunnen worden.

In geval van opstellingsmogelijkheid 2 (met de westelijke windturbine op de zuidelijke positie) bevinden alleen het omliggende terrein en enkele bijgebouwen van de scouting Twickel Borne zich binnen de 10^{-6} contour, maar buiten de 10^{-5} contour van de westelijke windturbine. Het hoofdgebouw bevindt zich wel buiten de 10^{-6} contour van de windturbines. Indien het terrein rondom het hoofdgebouw en de bijgebouwen als beperkt kwetsbaar object mogen worden beschouwd wordt in geval van opstellingsmogelijkheid 2 dus voldaan aan de eisen van het activiteitenbesluit. Indien het terrein rondom het hoofdgebouw en de bijgebouwen als kwetsbaar object moeten worden beschouwd zal opstellingsmogelijkheid 2 niet aan de eisen vanuit het activiteitenbesluit voldoen en zal deze niet gerealiseerd kunnen worden.

Overleg tussen opdrachtgever en de gemeente en/of scouting zal moeten uitwijzen of het hoofdgebouw en het omliggende terrein van de scouting als kwetsbaar of als beperkt kwetsbaar object moet worden beschouwd.

Een verdere zuidwaartse verschuiving van de westelijke windturbine of keuze voor een windturbintype met een kleinere 10^{-6} contour zouden er tevens toe kunnen leiden dat aan de eisen vanuit het Activiteitenbesluit t.a.v. kwetsbare objecten wordt voldaan, ook als mocht blijken dat de scouting als kwetsbaar object moet worden beschouwd.

5.2 Buisleidingen

Op basis van de trefkansberekeningen blijkt dat voor alle verschillende alternatieven en windturbintypes, de windturbines een faalkansverhoging op de verschillende leidingen tot gevolg hebben. De faalkansverhoging overschrijdt altijd de richtwaarde van 10%. Hierom dient er een QRA te worden opgesteld waarin de veiligheidsrisico's in de omgeving van de buisleiding door verhoging van de faalkans door plaatsing van de windturbines inzichtelijk worden gemaakt.

5.3 Wegen

Voor opstellingsmogelijkheid 1 geldt dat overdraai plaatsvindt boven een openbare weg (de Veldweg). Hoewel dit een gemeentelijke weg is en de *“beleidsregel voor het plaatsen van windturbines op, in of over rijkswaterstaatwerken”* op deze weg dus niet van toepassing is, is getoetst of plaatsing van de windturbines t.a.v. de Veldweg aan deze beleidsregel zou voldoen. Dit is niet het geval. Daarom is voor deze opstelling de trefkans berekend. Deze is:

$9,51 * 10^{-13}$ per passage

Bij opstellingsmogelijkheid 1 zal aan het IPR (10^{-6}) worden voldaan zolang één passant niet meer dan 1.051.849 keer per jaar de windturbines passeert. Dit komt overeen met 2882 passages per dag, gedurende een heel jaar, door een en dezelfde persoon. Tevens wordt aan het MR ($2 * 10^{-3}$) voldaan zolang niet meer dan 1.051.849.114 passanten per jaar de windturbines passeren.

Gelet op de aard van de weg is het niet realistisch dat het IPR of MR zal worden overschreden.

Hoofdstuk 6 Discussie

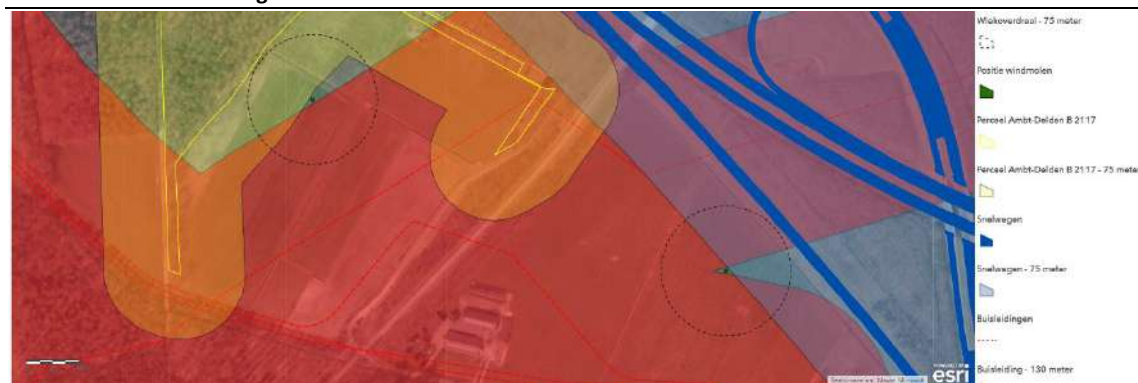
In het voorliggende onderzoek zijn de externe veiligheidseffecten van twee mogelijke windturbineopstellingen nabij knooppunt Buren doorgerekend. Uit de analyse is gebleken dat niet op voorhand kan worden gezegd dat aan alle veiligheidseisen voor windturbines kan worden voldaan. Echter betekent dit niet dat windturbines op deze locatie uit veiligheidsoverwegingen niet toegestaan zijn.

Uitgaande van de in dit onderzoek aangehouden windturbineposities zou een verdergaande kwantitatieve risicoanalyse omtrent de buisleidingen kunnen uitwijzen dat de risicoverhoging door windturbines op buisleidingen toch toelaatbaar is. Dit onderzoek wordt momenteel uitgevoerd door adviesbureau DNV-GL.

Voor wat betreft de veiligheidsrisico's t.a.v. (beperkt) kwetsbare objecten geldt dat deze voor beide opstellingsmogelijkheden wel toelaatbaar zullen zijn indien blijkt dat het scoutingsgebouw Twickel Borne toch niet kwalificeert als kwetsbaar object.

Een andere mogelijkheid om aan de veiligheidseisen te voldoen is om toch andere windturbineposities te overwegen dan in dit rapport zijn onderzocht. Ter illustratie hiervan is door Pure Energie de onderstaande figuur opgesteld. Hierop is te zien dat windturbineposities mogelijk zijn waarbij de windturbines op een afstand van meer dan 130 meter van buisleidingen geplaatst zullen worden zonder dat overdraai boven wegen of het buurperceel plaats zal vinden. Op een afstand van 130 meter zal niet aan de initiële adviesafstand van een tiphoogte tot buisleidingen worden voldaan. Echter mag op deze afstand voor enkele windturbintypen (aan de onderkant van de mogelijke bandbreedte) worden verwacht dat de veiligheidseffecten op de buisleidingen zodanig klein zullen zijn dat Gasunie en Defensie hier zonder verdergaande kwantitatieve risicoberekening mee akkoord zullen gaan.

Figuur 9 **Indicatieve mogelijkheden voor twee windturbines op een afstand groter dan 130 meter van de buisleidingen**



Bijlage A 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]

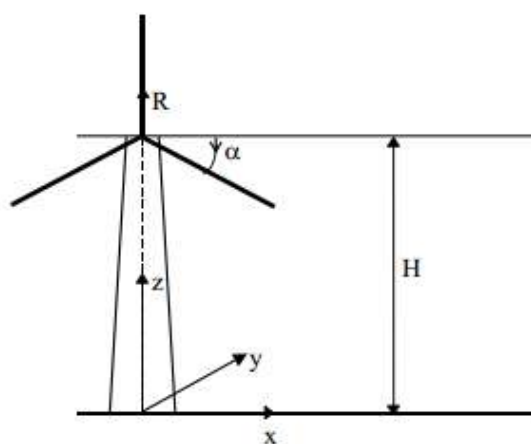
Ω : toerental van de rotor [rad/s]

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

α : azimuthhoek [rad]

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

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

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

geldt nu

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

Opm: Om de gevolgte 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

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

Bijlage B Resultaten berekening risicoafstanden in BladeThrow

BladeThro

Rekenmodel voor externe veiligheid van windturbines volgens het Handboek Risicozonering

BEDIENINGSPANEEL

Databestand:

_150_gegevensvestas .txt

Rekenmodel

☒ Ballistisch

☐ Luchtkrach...

☐ Gebruik mastverstevig...

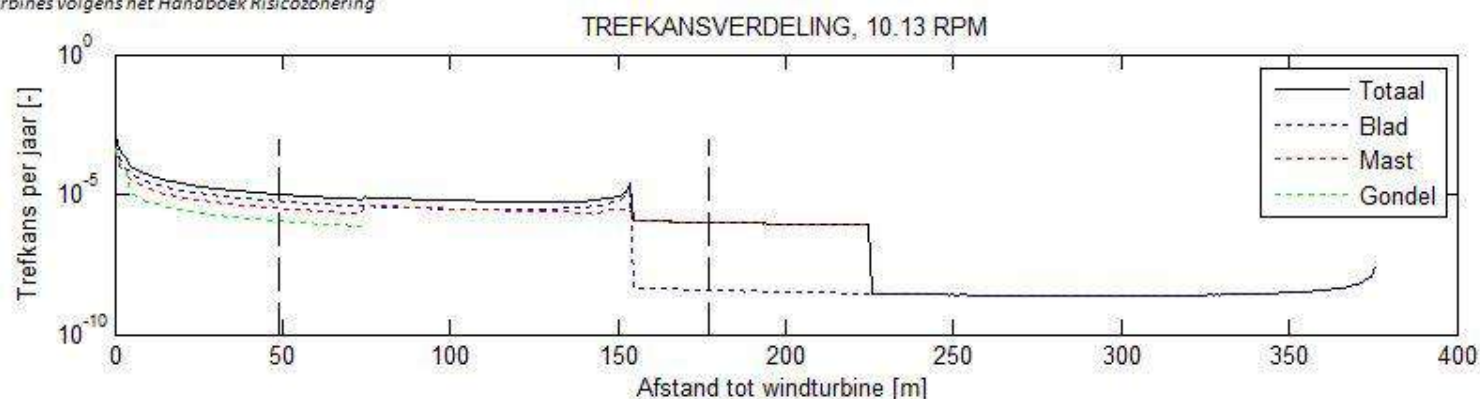
Bereken p_{zwpt} op:

0 m

0 m

Bereken

Copyright Bosch & Van Rijn, 2014



PARAMETERS

Rotordiameter	150 m
Ashoogte	150 m
Wielengte	74.3 m
Toerental	10.13 RPM
Mastdiameter	7.5 m
Lengte gondel	12.8 m
Hoogte gondel	6.8 m
Zwaartepunt rotorblad	23.5 m
Solidity	0.05 -
Kritiek bladoppervlak	277.02 m ²
Massa blad	kg
Windsnelheid	m/s

RESULTATEN

Risicocontouren

10-5	49 m
10-6	177 m

Werpafstanden

Gegeven	154 m
Overtoeren	376 m

p_{zwpt}

Afstand	237 m
Waard	6.6361e-12
Afstand	238 m
Waard	6.422e-12

Bijlage C (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 m² per object, of
 - 2. complexen waarin meer dan 5 winkels zijn gevestigd en waarvan het gezamenlijk bruto vloeroppervlak meer dan 1000 m² bedraagt en winkels met een totaal bruto vloeroppervlak van meer dan 2000 m² 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) kampeertreinen 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 D Rekenmethode buisleidingen

D.1 Trefkans buisleiding door bladbreuk

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 weggeduwd wordt, waardoor leidingen worden blootgesteld aan verschuivingen en door de ontstane spanningen kunnen falen.

De maximale afstand waarbij de leiding nog faalt (de kritische afstand) volgt uit de hoeveelheid toelaatbare stress. Deze wordt berekend met (Handleiding omgevingsveiligheid 2019):

$$R = 0,3048 * \left(\frac{4,44E}{\sigma_{toelaatbaar}} \right)^{\frac{1}{k_5 k_6}} * \left(\frac{2,03 \cdot 10^{-4} * k_4 * E_{kinetisch}}{\sqrt{E} * t} \right)^{\frac{1}{k_5}}$$

Waarbij:

R: de kritische afstand [m]

E: elasticiteit [Pa]

$\sigma_{toelaatbaar}$: toelaatbare extra stress voordat metaal gaat vloeien [Pa]:

t: wanddikte

$E_{kinetisch}$: de energie van de bron (effectieve kinetische energie) [J] of voor de lijnbron de energiedichtheid per eenheidslengte [J/m]

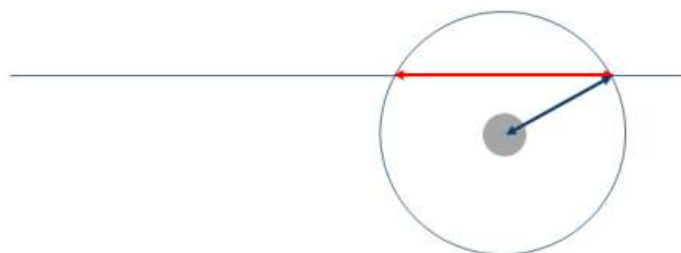
k_4 , k_5 en k_6 : empirische coëfficiënten (Handleiding Omgevingsveiligheid, 2019)

$\sigma_{toelaatbaar}$ is een functie van de voor de buisleiding specifieke parameters 'gespecificeerde minimum vloeigrens' SMYS, 'interne gasdruk' P, 'diameter van de pijpleiding' D en 'wanddikte van de pijpleiding' t.

De effectieve kinetische energie is een functie van de windturbine specifieke parameters ashoogte, gewicht blad en toerental.

Uit bovenstaande formule volgt de kritische afstand. Op basis van de diepte kan hieruit de maximale kritische strook worden berekend.

Figuur 10 Verticale dwarsdoorsnede loodrecht op de leiding (grijs)



De kans dat deze strook getroffen wordt volgt uit de vermenigvuldiging *kansdichtheidsverdeling* * *kritisch oppervlak*.

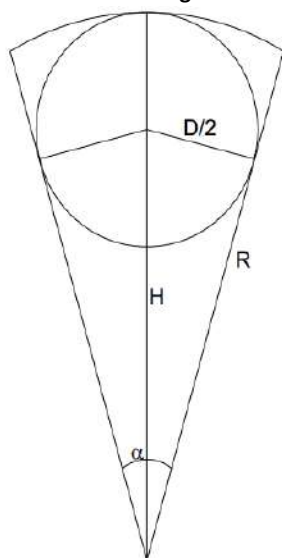
Het kritisch oppervlak is de totale oppervlakte van de strook binnen de maximale werpafstand van de windturbine, waarbij onderscheid gemaakt wordt tussen het oppervlakte binnen de maximale werpafstand bij nominaal toerental en de maximale werpafstand bij overtoeren.

De kansdichtheidsverdeling is de kans dat het blad de afstand tot de strook weggeslingerd wordt. Deze volgt uit een berekening op basis van het kogelbaanmodel (Zie paragraaf 3.2.1 van de Handleiding Omgevingsveiligheid 2019 – specifieke rekenvoorschriften voor activiteiten D.1 en E.1.). Bij wijze van worst-case benadering worden binnen de kansdichtheidsverdeling in dit onderzoek enkel de maximale trefkans bij nominaal toerental $p_{\text{zwpt, nominaal}}$ en de maximale trefkans bij overtoeren $p_{\text{zwpt, overtoeren}}$ onderscheiden.

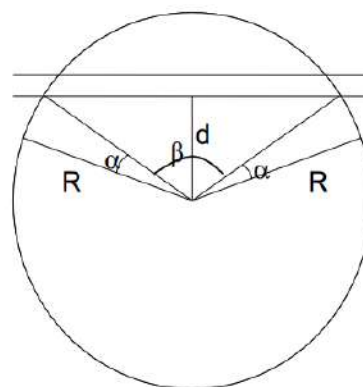
D.2 Trefkans buisleiding door mastbreuk

De kans dat de buisleiding wordt getroffen door een onderdeel van een omvallende windturbine wordt gelijk verondersteld aan de kans dat een gedeelte van onderstaande cirkelsegment (linker figuur) in aanraking komt met de leidingstrook, hetgeen is geïllustreerd in het rechter figuur (Handleiding omgevingsveiligheid 2019):

Figuur 11 Windturbine als cirkelsegment



Figuur 12 Turbine in aanraking met weg



D.3 Totale trefkans

De totale trefkans van de buisleiding volgt uit een sommatie van de trefkans door mastbreuk en wiekbreuk.

Bijlage E Rekenmethode wegen

E.1 Trefkans weg door wiekbreuk

De kans dat een weg wordt geraakt als gevolg van een afgebroken wiek wordt als volgt berekend.

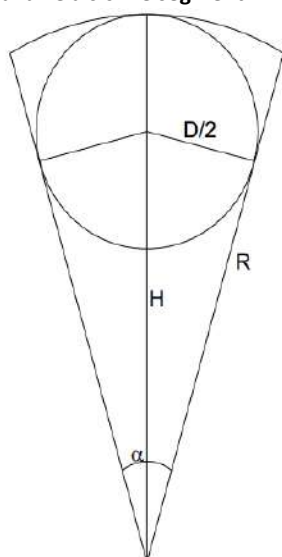
$$P = 1,5 \cdot A_c \text{ (Kritiek oppervlakte wiek)} \\ \cdot p_{zwpt} \text{ (Trefkans zwaartepunt wiek)}$$

Ter bepaling van p_{zwpt} wordt bij wijze van worst-case benadering uitgegaan van de kortste afstand tussen de windturbine en de weg, omdat op deze afstand doorgaans de grootste trefkans door wiekbreuk kan worden verwacht.

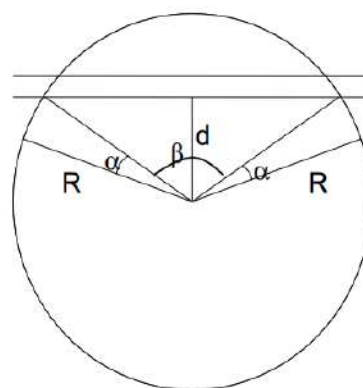
E.2 Trefkans weg door mastbreuk

De kans dat de weg wordt getroffen door een onderdeel van een omvallende windturbine wordt gelijk verondersteld aan de kans dat een gedeelte van een onderstaand cirkelsegment (Figuur 13) in aanraking komt met de wegstrook, hetgeen is geïllustreerd in Figuur 14 (Handleiding omgevingsveiligheid 2019).

Figuur 13 Windturbine als cirkelsegment



Figuur 14 Turbine in aanraking met weg



E.3 Trefkans weg door gondelafworp

Voor het berekenen van de trefkans van de weg ten gevolge van het afvallen van een gondel met rotor of alleen een rotor kan dezelfde aanpak worden gevolgd als bij mastbreuk. De masthoogte wordt voor deze berekening nul verondersteld. Het risicogebied blijft dan beperkt tot een gebied rondom de toren dat gelijk is aan de rotordiameter. Daarmee is de trefkans van de weg door gondelafworp gelijk aan de kans dat het scenario zich voordoet: $4,0 \cdot 10^{-5}$ per jaar.

E.4 Totale trefkans per passage

De totale trefkans van de weg kan gevonden worden door de trefkansen als gevolg van de drie scenario's (mastbreuk, wiekbreuk en gondelafworp) bij elkaar op te tellen.

Vervolgens kan de kans dat een passant op de weg door (onderdelen van) de windturbine wordt getroffen worden berekend door de totale trefkans te vermenigvuldigen met de verblijfsfactor τ :

$$\tau = \frac{0,3}{v_o} \frac{1}{365 \cdot 24 \cdot 3600}$$

Waarbij:

v_o = *snelheid van de passant* (m/s)

Ten behoeve van deze berekening gaan we uit van een worst-case scenario, wat inhoudt dat de passant met de laagste snelheid de langste verblijftijd heeft. Dit houdt in dat we uitgaan van een voetganger, met een gemiddelde snelheid van 5 km/uur (1,4 meter per seconde). Hieruit volgt een verblijfsfactor van $6,79 \cdot 10^{-9}$.



Franz-Lisztplantsoen 200
3533 JG Utrecht
www.boschenvanrijn.nl

