

Bijlage 6

Rapport externe veiligheid – LBP Sight

Windpark Goyerbrug
Onderzoek externe veiligheidsrisico's

Opdrachtgever
Windpark Goyerbrug BV
Contactpersoon
de heer R. Berendts
Kenmerk
R068362ab.18D56CH.cvg
Versie
05_001
Datum
11 januari 2019
Auteur
ir. J.J. (Judith) Strik
ing. P.A.G. (Paul) van der Vleuten

Afkortingen

Bevi:	Besluit externe veiligheid inrichtingen
Bevt:	Besluit externe veiligheid transportroutes
GR:	Groepsrisico
Handboek:	Handboek Risicozonering Windturbines (2014; eindversie 3.1)
HART:	Handleiding Risicoanalyse Transport (2017; versie 1.2)
IPR :	Individueel Passanten Risico
MR:	Maatschappelijk Risico
ow:	Oriëntatiewaarde voor groepsrisico
PR:	Plaatsgebonden risico
QRA:	Quantitative Risk Assessment (kwantitatieve risicoanalyse)

Inhoudsopgave

Afkortingen	1
1 Inleiding.....	3
2 Projectbeschrijving	5
3 Wettelijk kader	8
3.1 Algemeen	8
3.2 Definities	8
3.3 Toetsingscriteria.....	10
3.4 Normering samengevat.....	16
4 Beoordeling risicozonering.....	18
4.1 Werpafstanden en kansdichtheden	18
4.2 Invloedsgebied	20
4.3 Bebouwing	21
4.4 Wegen.....	23
4.5 Vaarwegen.....	27
4.6 Dijklichamen en waterkeringen	30
5 Conclusies	32

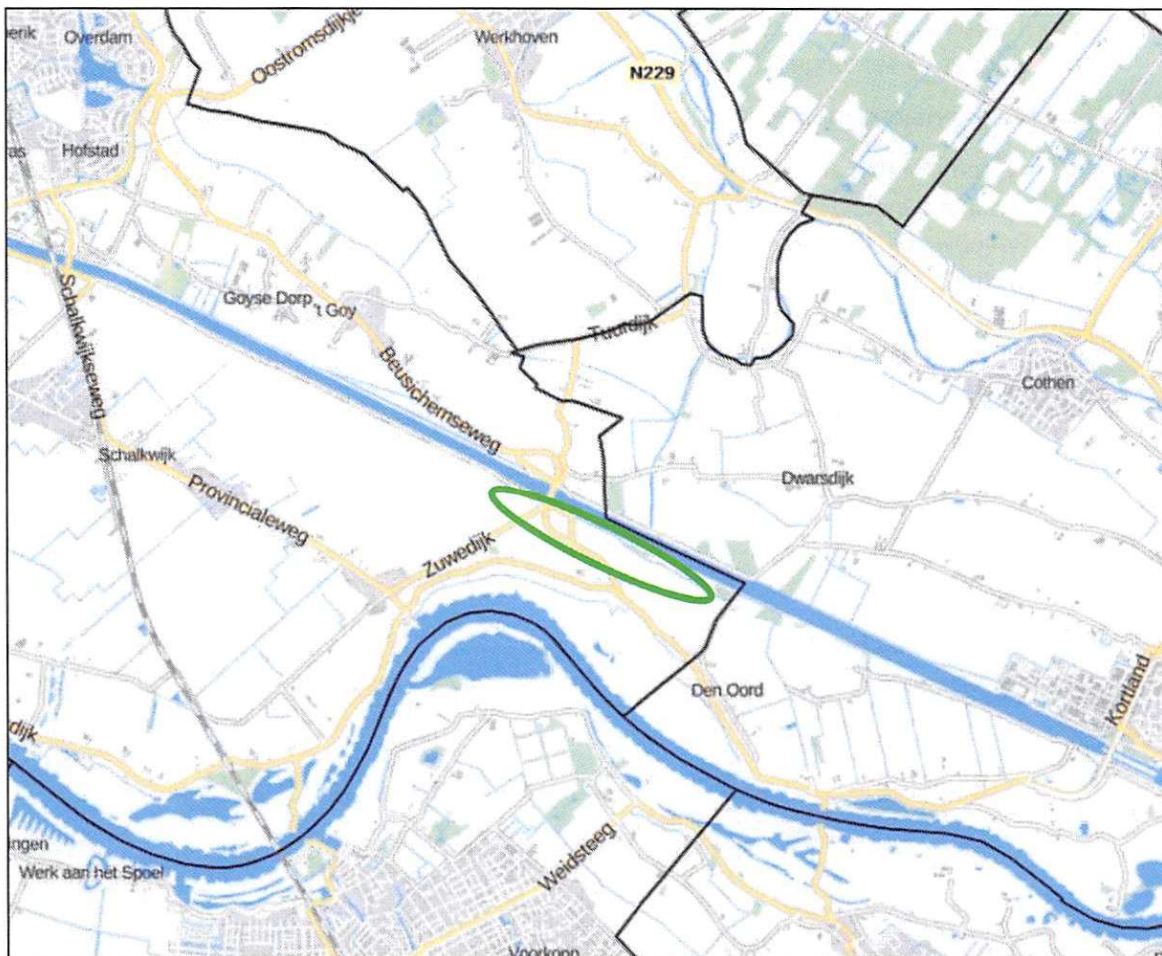
Bijlagen

Bijlage I Specificaties onderzochte windturbines

Bijlage II Berekening beoordeling risicozonering met nummering van de formules uit het Handboek

1 Inleiding

In opdracht van Windpark Goyerbrug BV, de heer R. Berendts, is een onderzoek uitgevoerd naar de externe veiligheidsrisico's vanwege het nieuw te bouwen Windpark Goyerbrug in gemeente Houten. Zie figuur 1.1. voor de ligging van Windpark Goyerbrug. Als onderdeel van de vergunningsaanvraag, heeft Windpark Goyerbrug LBP|SIGHT gevraagd de externe veiligheidsrisico's van het windpark voor de omgeving te kwantificeren en te toetsen aan de geldende normen en richtwaarden.



Figuur 1.1

Globale ligging van het voorgenomen windpark

Windturbines kunnen op meerdere manieren een risico vormen voor hun omgeving. Bij de omgevingsvergunningaanvraag voor een windturbine(park) moet worden getoetst aan normen op het gebied van externe veiligheid. Dat betekent dat risico's zoals afbrekende turbinebladen en mastbreuk onderzocht en getoetst moeten worden.

Het moet duidelijk zijn welke risico's windturbines voor hun omgeving opleveren, hoe deze risico's bepaald en gekwantificeerd zijn en aan welke criteria ze getoetst worden. Deze onderwerpen worden behandeld in het Activiteitenbesluit en het Handboek Risicozonering Windturbines (DNV-GL september 2014, verder: het Handboek). Daarnaast is ook het Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi) en Besluit externe veiligheid transportroutes (Bevt) van toepassing.

Er is een risicoanalyse uitgevoerd om te bepalen of de nieuw te plaatsen windturbines een significant risico voor nabijgelegen objecten en activiteiten vormen en zo ja, hoe zich dat dan verhoudt tot de normen. In deze rapportage is deze analyse opgenomen.

In hoofdstuk 2 is een beknopte projectomschrijving opgenomen. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op het wettelijk kader. Vervolgens worden in hoofdstuk 4 de te onderscheiden risiconiveaus bepaald en op een rij gezet. Tot slot worden de resultaten en conclusies samengevat in hoofdstuk 5.

2 Projectbeschrijving

Windpark Goyerbrug is van plan om vier windturbines te realiseren langs het Amsterdam-Rijnkanaal ter hoogte van de Goyerbrug. De lengte van de opstelling is circa 1.600 meter en ligt circa 105 tot 125 meter van de zuidelijke oevergrens van het Amsterdam-Rijnkanaal. Op figuur 2.1 is het locatiegebied voor de windturbines weergegeven.



Figuur 2.1

Uitsnede Provinciale Ruimtelijke Structuurvisie (PRS) waarop in blauw het zoekgebied is aangegeven en in groen de turbineposities van Windpark Goyerbrug

Om de effecten op de externe veiligheid te kunnen onderzoeken, zijn de coördinaten van de windturbines relevant. Deze zijn weergegeven in tabel 2.1.

Tabel 2.1

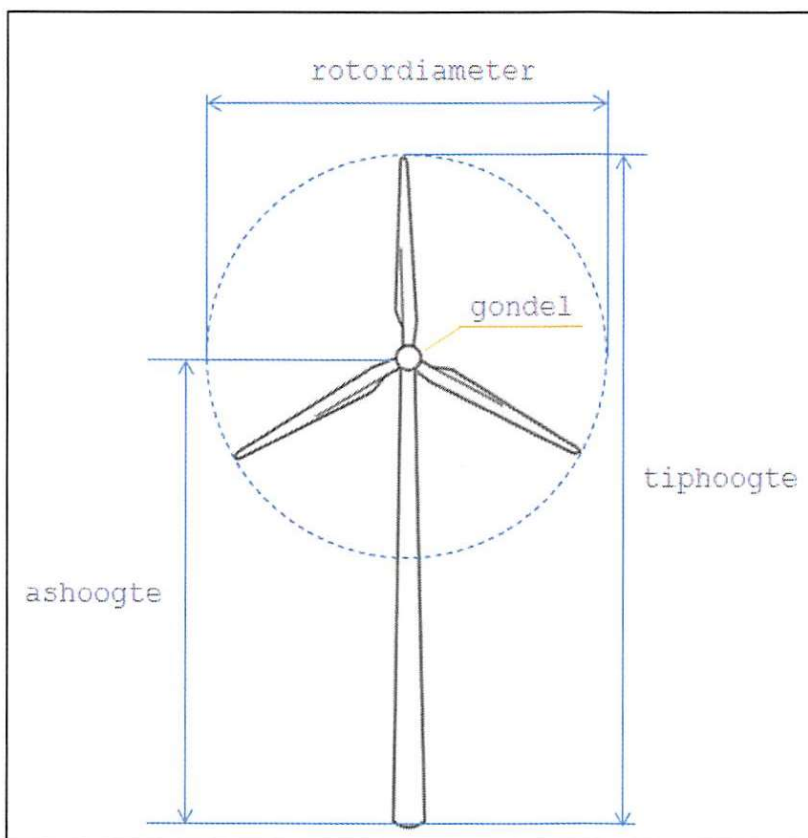
Coördinaten windturbines

Turbinenummer	Breedtegraad	Lengtegraad
1	51.987080 °	5.244340 °
2	51.985070 °	5.251150 °
3	51.982960 °	5.258203 °
4	51.980968 °	5.264899 °

Er is nog geen beslissing genomen over het type windturbine dat gerealiseerd gaat worden, maar het gaat in ieder geval om vier dezelfde windturbines met de volgende kenmerken:

- een ashoogte van minimaal 145 meter en maximaal 166 meter;
- een rotordiameter van maximaal 150 meter;
- het totale vermogen van het windpark wordt maximaal 22,4 MW.

Om de afmetingen van de windturbines uit te kunnen leggen, zijn in figuur 2.2. verschillende begrippen verduidelijkt. De tiphogte is het hoogste punt van de windturbine. De ashoogte is de hoogte waarop het centrale gedeelte van de generator zich bevindt. De generator bevindt zich in het machinehuis, ofwel gondel. De rotordiameter is de grootste afstand tussen de uiteinden van de bladen.



Figuur 2.2

Uitleg maatvoering van een windturbine

Voor de vergunningsaanvraag is een bandbreedte voor de afmetingen van de windturbines aangevraagd¹. Binnen deze bandbreedte zijn er bij de realisatie verschillende turbintypen van verschillende windturbinefabrikanten mogelijk. Voorbeelden van turbintypen zijn genoemd in tabel 2.2; in [bijlage I](#) zijn de specificaties en bronnen gegeven.

Tabel 2.2

Mogelijke turbintypen binnen de genoemde bandbreedte

Type	Vermogen	Rotordiameter	Ashoogte	Nominaal toerental
Vestas 136	3,6 MW	136 meter	149 meter	11,7 rpm
Vestas 150	4,0 - 4,2 MW	150 meter	166 meter	10,4 rpm
Nordex 131	3,9 MW	131 meter	145 meter	12,6 rpm
Nordex 149	4,0 - 4,5 MW	149 meter	164 meter	11,0 rpm
Senvion 140	3,7 MW	140 meter	160 meter	9,6 rpm
Senvion 148	4,2 M	148 meter	165 meter	10 rpm

¹ Zie ook: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Brochure Windenergie en flexibel vergunnen, april 2016.

3 Wettelijk kader

3.1 Algemeen

De risico's van windturbines worden gevormd door de volgende scenario's:

1. breuk van windturbineblad;
2. omvallen van een windturbine door mastbreuk;
3. naar beneden vallen van de gondel en/of rotor;
4. het naar beneden vallen van kleine onderdelen (bouten, blad- en tipdelen, ijs).

De plaatsing van een windturbine kan daardoor directe en indirecte risico's opleveren voor de omgeving. Onder directe risico's wordt verstaan de risico's die personen lopen om te overlijden, omdat zij worden geraakt door onderdelen van de windturbine. Onder indirecte risico's wordt verstaan de risico's die personen lopen om te overlijden door een domino-effect. Hierbij worden andere objecten geraakt, bijvoorbeeld een tankwagen of een bedrijf waar gevaarlijke stoffen worden opgeslagen. Het falen van een windturbine veroorzaakt een tweede incident met een eigen kans op overlijden. Mogelijk wordt er in een dergelijk scenario niet meer voldaan aan de normen voor externe veiligheid.

Om te bepalen of deze risico's significant zijn voor de nabijgelegen objecten en activiteiten is er een risicoanalyse uitgevoerd. Daartoe is getoetst aan de daarvoor geldende regels uit het Activiteitenbesluit en de normen uit het Handboek en is aansluiting gezocht bij het Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi) en het Besluit externe veiligheid transport (Bevt).

3.2 Definities

Bij de toetsingscriteria voor het aspect externe veiligheid zijn de volgende definities relevant.

Plaatsgebonden risico (PR) (zoals gedefinieerd in het Handboek: definities en afkortingen)

Het PR is een begrip dat uitdrukking geeft aan de mate van externe veiligheid van een locatie. Het PR wordt gedefinieerd als: "*Risico op een plaats buiten een inrichting, leiding met gevaarlijke stof of transportroute, uitgedrukt als een kans per jaar dat een persoon die onafgebroken en onbeschermd op die plaats zou verblijven, overlijdt als een rechtstreeks gevolg van een ongewoon voorval binnen die inrichting, leiding of route*".

Groepsrisico (GR) (zoals gedefinieerd in het Handboek: definities en afkortingen)

Naast het plaatsgebonden risico spreekt men ook over het groepsrisico (GR). Groepsrisico is gedefinieerd als: "*de cumulatieve kansen per jaar dat tenminste 10, 100 of 1.000 personen overlijden als rechtstreeks gevolg van hun aanwezigheid in het invloedsgebied van een inrichting en een ongewoon voorval binnen die inrichting waarbij een gevaarlijke stof of gevaarlijke afvalstof betrokken is*". De toetsingswaarde voor het groepsrisico is een oriëntatiewaarde: het heeft 'slechts' een signaalfunctie en kan worden beschouwd als een ijkpunt voor het groepsrisico. Voor het invullen van de verantwoordingsplicht wordt verwezen naar de "Handreiking verantwoordingsplicht groepsrisico".

Beperkt kwetsbaar object (zoals gedefinieerd in Bevi; artikel 1)

1. 1°. verspreid liggende woningen van derden met een dichtheid van maximaal twee woningen per hectare, en;
2°. dienst- en bedrijfswoningen van derden;
2. kantoorgebouwen;
3. hotels en restaurants;
4. winkels;
5. sporthallen, zwembaden en speeltuinen;
6. sport- en kampeerterrainen en terreinen bestemd voor recreatieve doeleinden;
7. bedrijfsgebouwen;
8. 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, voor zover die objecten geen kwetsbare objecten zijn, en;
9. objecten met een hoge infrastructurele waarde, zoals een telefoon- of elektriciteitscentrale of een gebouw met vluchtleidingsapparatuur, voor zover die objecten wegens de aard van de gevaarlijke stoffen die bij een ongeval kunnen vrijkomen, bescherming verdienen tegen de gevolgen van dat ongeval.

Kwetsbaar object (zoals gedefinieerd in Bevi in artikel 1)

1. woningen, niet zijnde woningen als bedoeld in onderdeel a, onder 'beperkt kwetsbaar object';
2. gebouwen bestemd voor het verblijf, al dan niet gedurende een gedeelte van de dag, van minderjarigen, ouderen, zieken of gehandicapten, zoals:
 - ziekenhuizen, bejaardenhuizen en verpleeghuizen;
 - scholen, of;
 - gebouwen of gedeelten daarvan, bestemd voor dagopvang van minderjarigen;
3. gebouwen waarin doorgaans grote aantallen personen gedurende een groot gedeelte van de dag aanwezig zijn, zoals:
 - kantoorgebouwen en hotels met een bruto vloeroppervlak van meer dan 1.500 m² per object, of;
 - complexen waarin meer dan vijf winkels zijn gevestigd en waarvan het gezamenlijk bruto vloeroppervlak meer dan 1.000 m² bedraagt en winkels met een totaal bruto vloeroppervlak van meer dan 2.000 m² per winkel, voor zover in die complexen of in die winkels een supermarkt, hypermarkt of warenhuis is gevestigd;
4. kampeer- en andere recreatieterrainen bestemd voor het verblijf van meer dan 50 personen gedurende meerdere aaneengesloten dagen.

Individueel Passanten Risico (IPR) (zoals gedefinieerd in het Handboek; definities en afkortingen)

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. Voor het IPR wordt een passant beschouwd die jaarlijks het meest in de nabijheid van de windturbine(s) verkeert (het worstcase scenario).

Maatschappelijk Risico (MR) (zoals gedefinieerd in het Handboek; definities en afkortingen)

Het maatschappelijk risico is een maat voor het verwachte aantal passanten dat dodelijk getroffen wordt per jaar. Het MR is een risicomaat voor de maatschappelijke beleving. Deze kans is afhankelijk van het IPR en de verkeersintensiteit op de betreffende weg. Voor het MR moet het verwachte aantal passanten worden bepaald dat jaarlijks door een windturbine(onderdeel) dodelijk getroffen kan worden.

Maximale werpafstand

De maximale afstand dat een turbineblad weggegooid kan worden wanneer dit afbreekt, wordt de maximale werpafstand genoemd.

3.3 Toetsingscriteria

3.3.1 Activiteitenbesluit; grenswaarden plaatsgebonden risico

In het Activiteitenbesluit milieubeheer zijn de volgende normen opgenomen.

- 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.

3.3.2 Richtwaarden voor passanten, infrastructuur en indirecte risico's

Volgens de systematiek van het Handboek is bepaald welke objecten en activiteiten die zich in de nabijheid van de windturbines bevinden en tot welke afstand deze objecten beschouwd moeten worden bij de verdere uitwerking van de risicoanalyse. In principe worden alle ontvangers beschouwd, die mogelijk door een afbrekend rotorblad tijdens een overtoerensituatie getroffen kunnen worden. De kans dat een persoon die zich op de rand van het invloedgebied bevindt overlijdt door een afbrekend blad in een overtoerensituatie, is 1 op de 5 miljoen per jaar. Ter vergelijking: de kans om door de bliksem getroffen te worden is 1 op de 2 miljoen per jaar.

Naast de directe risico's voor (beperkt) kwetsbare bestemmingen in de omgeving waarvoor de wettelijke normen gelden uit het Activiteitenbesluit, zijn er directe risico's waarop richtwaarden van toepassing zijn. Bijvoorbeeld het risico voor passanten die kortdurend verblijven in het gebied. Ook kunnen er domino-effecten optreden die moeten worden beoordeeld. Als een passerende tank-wagen of tankschip of bedrijfslocatie met installaties wordt getroffen, dan kunnen gevaarlijke stoffen vrijkomen, die tot effecten in de omgeving leiden. Deze indirecte risico's zijn van belang: ze vergroten de risicocontour en het groepsrisico als gevolg van de betreffende risicobron.

Dit leidt ertoe dat indien de windturbine niet substantieel bijdraagt aan een hoger risico van de inrichting, zullen de voor de inrichting geldende afstanden tot beperkt kwetsbare en kwetsbare objecten ook na plaatsing van de windturbine 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 in de praktijk 10% als eerste criterium gehanteerd (het Handboek, paragraaf 2.1.7).

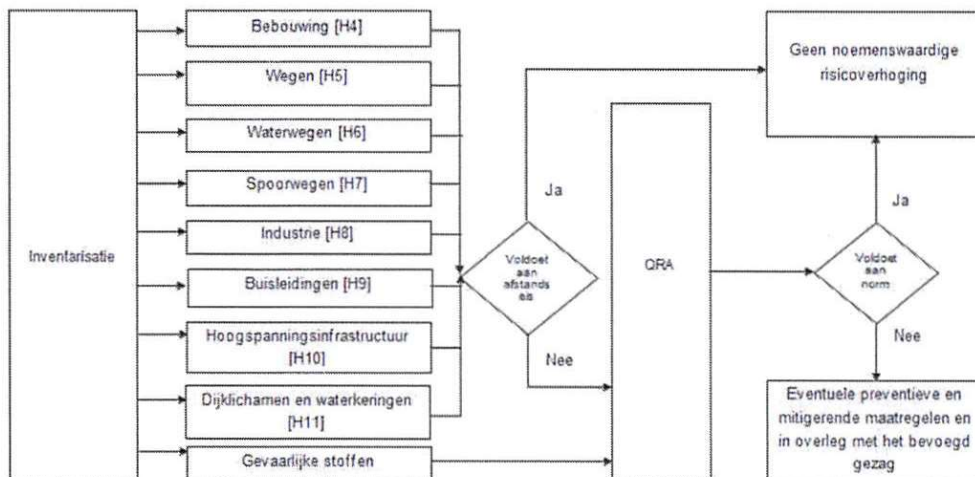
Indien de toename in de catastrofale faalfrequentie deze richtwaarde overschrijdt, is plaatsing van de windturbine niet uitgesloten, maar wel kan worden geëist dat door middel van een QRA wordt aangetoond dat de beschouwde installatie ook na plaatsing van de windturbine(s) nog voldoet aan de normen voor PR en GR.

Het Handboek stelt dat bij het uitvoeren van een risicoanalyse het nabijgelegen object in te delen is in één van de acht onderstaande hoofdcategorieën:

1. bebouwing;
2. wegen;
3. vaarwegen;
4. spoorwegen;
5. industrie;
6. buisleidingen;
7. hoogspanningsinfrastructuur;
8. dijklichamen en waterkeringen.

Voor inrichtingen, transportroutes en buisleidingen waar gevaarlijke stoffen een rol spelen, mogen nieuwe bestemmingen in de omgeving niet beperkend werken. Een windturbine mag niet substantieel bijdragen aan de (standaard) ongevalsfrequenties (risico's van ongevallen met gevaarlijke stoffen bij inrichtingen, routes en leidingen voor de omgeving). In het algemeen wordt een bijdrage van 10% aan toename van de faalfrequentie acceptabel gevonden (het Handboek, bijlage D, paragraaf 4.3). Omdat gevaarlijke stoffen bij de verschillende categorieën voorkomen, wordt dit onderwerp ook bij de verschillende hoofdcategorieën behandeld.

Het Handboek beschrijft de rekenmethodiek voor het risico van windturbines en de afstandscriteria met normen die volgen uit wet- en regelgeving en beleidsregels. De te volgen stappen zijn in figuur 3.1 schematisch weergegeven.



Figuur 3.1
Systematiek risicobeoordeling

Hieronder wordt de risicobeoordeling verder toegelicht.

3.3.3 Bebouwing

Voor bebouwing zijn de definities kwetsbaar object en beperkt kwetsbaar object van belang. Zie hierboven. In het Activiteitenbesluit milieubeheer zijn de normen opgenomen voor het plaatsgebonden risico voor gebouwen. Het plaatsgebonden risico (PR) 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. Het plaatsgebonden risico (PR) 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.

3.3.4 Wegen

Wegen waar turbines naast geplaatst worden, kunnen worden ingedeeld in rijkswegen, provinciale wegen, gemeentelijke wegen en private wegen. Voor ieder soort weg geldt een ander bevoegd gezag (Rijkswaterstaat, provincie, gemeente, waterschap of private eigenaar). Wegen worden niet gecategoriseerd als kwetsbare of beperkt kwetsbare objecten. Voor de risicoanalyses wordt in de hoofdcategorie 'wegen' onderscheid gemaakt in:

1. Personenvervoer. Hieronder vallen alle personen die zich verplaatsen over de weg zoals fietsers, voetgangers, auto's met inzittenden, touringcars en bestuurders van vrachtauto's.
2. Vervoer van gevaarlijke stoffen. Dit betreft bijvoorbeeld tankauto's met gevaarlijke stoffen.

Rijkswaterstaat verleent namens de Minister van Infrastructuur en Milieu een vergunning wanneer een windturbine op het gronden van Rijkswaterstaat wordt geplaatst. Rijkswaterstaat hanteert dan artikel 3 lid 1 van de *Beleidsregel voor het plaatsen van windturbines op, in of over rijkswaterstaatwerken* een afstandseis:

1. voor turbines met een rotordiameter van 60 meter of kleiner: ten minste 30 meter uit de rand van de verharding;
2. voor turbines met een rotordiameter groter dan 60 meter: ten minste een halve rotordiameter.

De normen voor het Individueel Passanten Risico en het Maatschappelijk Risico mogen na plaatsing van de windturbines niet worden overschreden. Als maximaal toelaatbare waarde hanteert Rijkswaterstaat een IPR van $1 \cdot 10^{-6}$ per jaar. Voor MR geldt dat niet meer dan $2 \cdot 10^{-3}$ passanten per jaar mogen overlijden.

3.3.5 Vaarwegen

Net als voor wegen geldt dat vaarwegen ingedeeld kunnen worden naar hun beheerder op rijksniveau, provinciaal niveau, gemeentelijk niveau of private beheerder. Voor de risicoanalyses wordt in de hoofdcategorie 'waterwegen' onderscheid gemaakt in:

1. Personenvervoer. Hieronder vallen alle personen die zich verplaatsen over de waterweg in bijvoorbeeld plezierboten, jachten, roeiboten en vrachtboten.
2. Vervoer van gevaarlijke stoffen. Dit betreft bijvoorbeeld tankers met gevaarlijke stoffen.

Rijkswaterstaat verleent namens de Minister van Infrastructuur en Milieu vergunning wanneer een windturbine op gronden van Rijkswaterstaat wordt geplaatst. Rijkswaterstaat hanteert dan artikel 4 lid 1 van de *Beleidsregel voor het plaatsen van windturbines op, in of over rijkswaterstaatwerken* de volgende regel.

1. Langs kanalen, rivieren en havens wordt plaatsing van windturbines toegestaan bij een afstand van ten minste 50 meter uit de rand van de vaarweg.

De normen voor het Individueel Passanten Risico en het Maatschappelijk Risico mogen na plaatsing van de windturbines niet worden overschreden. Als maximaal toelaatbare waarde hanteert Rijkswaterstaat een IPR van 10^{-6} per jaar. Voor MR geldt dat niet meer dan $2 \cdot 10^{-3}$ passanten per jaar mogen overlijden.

3.3.6 Spoorwegen

Alle hoofdspoorwegen in Nederland vallen onder de verantwoordelijkheid van ProRail. ProRail verleent namens de Minister van Infrastructuur en Milieu de vergunning. Dit geldt ook wanneer (delen van) de turbinebladen over de gebieden waarbinnen vergunningplicht geldt draaien. Daarbuiten adviseert ProRail contact met hen op te nemen wanneer windturbines in de nabijheid van het spoor worden geplaatst. Voor de risicoanalyses wordt de hoofdcategorie 'spoorwegen' onderverdeeld in:

1. Personenvervoer. Hieronder vallen alle personen die zich per trein verplaatsen: passagiers en personeel van personen- en goederentreinen.
2. Vervoer van gevaarlijke stoffen. Ook per trein worden gevaarlijke stoffen vervoerd, bijvoorbeeld in tankwagens.

In verband met de spoorwegveiligheid hanteert ProRail een afstandseis tussen windturbines en de spoorweg en moet het veiligheidsrisico voor personen en gevaarlijke stoffen worden bepaald. In het kader van de Ruimtelijke Ordening (bijvoorbeeld bij de vaststelling van bestemmingsplannen) geeft ProRail het volgende plaatsingsadvies.

De afstand tussen windturbines en het dichtstbijgelegen spoor moet minimaal 7,85 meter + halve rotordiameter zijn, gemeten vanuit het hart van het dichtstbijzijnde spoor, met een minimum van 30 meter.

De normen voor het Individueel Passanten Risico en het Maatschappelijk Risico mogen na plaatsing van de windturbines niet worden overschreden. Als maximaal toelaatbare waarde hanteert ProRail een IPR van 10^{-6} per jaar. Voor een infrastructuur waarop wettelijk toelaatbare snelheden boven de 160 km/h bestaan (bijvoorbeeld de Hoge Snelheidslijn) hanteert ProRail een toelaatbare IPR-waarde van 10^{-7} per jaar. ProRail hanteert het MR criterium dat er jaarlijks niet meer dan $2 \cdot 10^{-3}$ passanten mogen overlijden.

3.3.7 Industrie

Voor het verkrijgen van een vergunning voor windturbines is het noodzakelijk dat wordt voldaan aan de eisen die voor Bevi-inrichtingen gelden of op basis van het Activiteitenbesluit. Hiervoor gelden de volgende opties.

1. De windturbines zijn geen onderdeel van de Bevi-inrichting. De windturbines worden aan het Activiteitenbesluit getoetst en de risicoverhoging van de Bevi-inrichting ten gevolge van de windturbines wordt conform het Bevi getoetst.
2. De windturbines zijn onderdeel van de Bevi-inrichting. De Bevi-inrichting toetsen conform het Bevi.

Voor industriegebieden wordt onderscheid gemaakt in de volgende typen inrichtingen.

1. Niet-categoriale inrichtingen. Voor deze inrichtingen kan uitsluitend via een berekening worden bepaald welke afstand tot gevoelige objecten moet worden aangehouden om aan de geldende normen te voldoen.
2. Categoriale inrichtingen. Voor deze inrichtingen is een systematiek ontwikkeld waarbij per type inrichting uit een tabel kan worden afgelezen bij welke afstand wordt voldaan aan de norm (bijvoorbeeld LPG-tankstations). Plaatsing van windturbines kan echter betekenen dat de risicocontour van de categoriale inrichting groter wordt.

Daarnaast is er nog de categorie '*lichte industrie*' zoals werkplaatsen en kantoren, waar niet in continudienst gewerkt wordt en waar geen of slechts kleine hoeveelheden gevaarlijke stoffen worden gebruikt. Vanuit het oogpunt van risicoanalyses zijn objecten in deze categorie verder als 'beperkt kwetsbare objecten' te beschouwen en te behandelen volgens de richtlijnen in de paragraaf 'Bebouwing'.

Bevi-bedrijven worden niet gecategoriseerd als *kwetsbare* of *beperkt kwetsbare* objecten. Bevi-bedrijven zelf moeten voldoen aan het plaatsgebonden risico, PR, en het groepsrisico voor inrichtingen moet te verantwoorden zijn.

Bij *Niet-categoriale* bedrijven moet het Plaatsgebonden Risico (van de inrichtingen) berekend worden en bepaald of het nieuwe groepsrisiconiveau te verantwoorden is. Het PR is van toepassing op kwetsbare en beperkt kwetsbare objecten buiten de inrichting. Ook na plaatsing van de windturbines moet de nabijgelegen risicovolle inrichting aan de normen voor het plaatsgebonden risico voldoen.

3.3.8 Buisleidingen

Voor eigenaren van buisleidingen voor transport van brandbare of gevaarlijke stoffen, waaronder Gasunie, geldt dat het van groot belang is de veiligheid en leveringszekerheid te kunnen garanderen. Windturbines kunnen deze veiligheid en leveringszekerheid in gevaar brengen doordat er een kans bestaat dat een falende windturbine (of onderdelen daarvan) de buisleiding (deels) beschadigd.

Wanneer er gevaarlijke stoffen door de leiding worden getransporteerd, kunnen er bij beschadiging ook slachtoffers vallen.

Buisleidingen worden in het Handboek onderverdeeld in:

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

Voor leidingen waardoor minder risicovolle tot ongevaarlijke stoffen worden getransporteerd, bestaan geen risicocriteria. Deze hoeven in een risicoanalyse dan ook niet te worden beschouwd. De risicoanalyse heeft, volgens het Handboek, dus alleen betrekking op leidingen waardoor gevaarlijke stoffen worden getransporteerd en onder het Besluit externe veiligheid buisleidingen (Bevb) vallen.

Voor zowel bovengrondse als ondergrondse buisleidingen wordt geadviseerd een afstand aan te houden waarbuiten geen significant additioneel risico van een windturbine te verwachten is. Deze afstand hangt samen met de gevolgen voor de omgeving wanneer de windturbine omvalt of een blad afbreekt. Voor ondergrondse buisleidingen wordt geadviseerd de grootste afstand van:

1. maximale werpafstand bij nominaal toerental;
2. ashoogte + $\frac{1}{2}$ rotordiameter.

Voor bovengrondse buisleidingen, die per definitie minder bescherming hebben dan ondergrondse leidingen, wordt geadviseerd een afstand van:

- maximale werpafstand bij overtoeren.

Indien aan de afstandseis wordt voldaan, is geen kwantitatieve risicoanalyse nodig. Als buisleidingen wel binnen deze afstand liggen, is een kwantitatieve risicoanalyse vereist.

3.3.9 Hoogspanningsinfrastructuur

TenneT acht het risico van windturbines op hun infrastructuur aanvaardbaar wanneer wordt voldaan aan de volgende afstanden. Er moet een vrije ruimte aangehouden worden die minimaal gelijk of groter is dan de maximale werpafstand bij nominaal toerental, of indien deze groter is dan de ashoogte plus $\frac{1}{2}$ rotordiameter van de betreffende windturbine, zoals beschreven en aangeduid in tabel 2 van het Handboek (generieke waarden voor werpafstanden, zie ook handboek bijlage B).

Als eerste richtlijn kan gebruikt worden dat de windturbine(s) de kans op falen van de verbinding met 10% mag verhogen. Deze additionele faalkans wordt gerelateerd aan de al aanwezige faalkans van de verbinding tussen de aangrenzende verdeel- of transformatorstations. Omdat er geen standaard faalfrequentie van een hoogspanningsverbinding bestaat, moet in alle gevallen overleg en afstemming met TenneT plaatsvinden.

3.3.10 Dijklichamen en waterkeringen

Waterkeringen zijn in beheer bij Rijkswaterstaat of de waterschappen. Waterkeringen kunnen worden ingedeeld naar hun functie in:

1. primaire dijken (water-land);
2. secundaire dijken (land-land);
3. dammen (water-water).

Naast calamiteiten met de windturbine bestaan er nog vijf mogelijke faalmechanismen (lokale erosie, interne erosie, zetting, afschuiving, en zettingsvloeiing). Het belang van de verschillende veiligheidsaspecten is afhankelijk van de plaats van een windturbine in het dwarsprofiel. Deze worden in het Handboek verder niet behandeld. Wanneer de windturbines buiten het dwarsprofiel van de waterkering staan, is dit verder niet relevant.

Rijkswaterstaat verleent namens de Minister van Infrastructuur en Milieu vergunning wanneer een windturbine op gronden van Rijkswaterstaat wordt geplaatst. Dit geldt ook wanneer een blad(deel) over het eigendom van Rijkswaterstaat draait. Rijkswaterstaat hanteert dan artikel 7 van de 'Beleidsregel voor het plaatsen van windturbines op, in of over rijkswaterstaatwerken' de volgende eisen:

1. Plaatsing van windturbines wordt niet toegestaan in de kernzone van de primaire waterkering. Onder kernzone wordt verstaan het eigenlijke dijk-, duin- of damlichaam zijnde de primaire waterkering als bedoeld in de Wet op de waterkering.
2. Plaatsing van windturbines buiten de kernzone van de primaire waterkering, wordt slechts toegestaan mits dit geen negatieve gevolgen heeft voor de waterkerende functie van de primaire waterkering conform de veiligheidsnorm van de Waterwet.

Indien Rijkswaterstaat vergunningverlener is, wordt deze eis gesteld voor het verlenen van de vergunning.

3.4 Normering samengevat

In tabel 3.1 is een overzicht weergegeven van de geldende risicocriteria die de beheerders van infrastructurele werken hanteren. ProRail en Rijkswaterstaat (RWS) verlenen namens de Minister van Infrastructuur en Milieu een vergunning aan de windparkontwikkelaar wanneer een windturbine in het beheersgebied gepland is of met een tip over het beheersgebied draait. Deze beheerders hebben afstanden bepaald, waarbuiten de risico's die windturbines met zich meebrengen door de beheerders, bezien van hun belang, aanvaardbaar worden geacht.

Tabel 3.1

Bevoegd gezag en risicocriteria

Onderdeel	Beheerder	Afstandscriterium	Toetsing	Normering
Bebouwing		Beperkt kwetsbare objecten op $\frac{1}{2}$ rotordiameter. Kwetsbare objecten op masthoogte + $\frac{1}{2}$ rotordiameter of de maximale werpafstand bij nominaal toerental.	PR	PR 10^{-6} en PR 10^{-5} contour voor resp. kwetsbare en beperkt kwetsbare objecten.
Rijksweg	RWS	$\frac{1}{2}$ rotordiameter (RD) uit de rand van de verharding met een minimum van 30 m.	IPR MR	10^{-6} per jaar $2 * 10^{-3}$ per jaar
Waterweg	RWS	Een minimum van 50 m uit de rand van de vaarweg.	IPR MR	10^{-6} per jaar $2 * 10^{-3}$ per jaar
Spoorweg	Prorail	7,85 meter + $\frac{1}{2}$ RD uit het rand van het dichtstbijzijnde spoor minimum van 30 m.	IPR MR	10^{-6} per jaar $2 * 10^{-3}$ per jaar
Ondergrondse buisleidingen	Gasunie	Hoogste waarde van: maximale werpafstand bij nominaal toerental;	Additionele bezwijkkans	Max. 10% ¹ toevoegen aan oorspronkelijke breukkans buisleiding voor deel binnen invloedgebied windturbine.

Onderdeel	Beheerder	Afstandscriterium	Toetsing	Normering
		ashoogte + ½ rotordiameter.		
Bovengrondse buisleidingen	Gasunie	Maximale werpafstand bij overtoeren.	Additionele bezwijkkans	Max 10% ¹ toevoegen aan oorspronkelijke breukkans buisleiding voor deel binnen invloedgebied windturbine.
Hoogspannings-infrastructuur	TenneT	Hoogste waarde van: Maximale werpafstand bij nominaal toerental. Ashoogte + ½ rotordiameter.	Additionele bezwijkkans	Max. 10% ¹ toevoegen aan autonome faalfrequentie hoogspanningsverbinding. In overleg met TenneT.
Industrie	Beheerder	Afhankelijk van inrichting.	PR van inrichting GR van inrichting	PR 10 ⁻⁶ en PR 10 ⁻⁵ contour Geen norm maar oriëntatie-waarde.
Waterkering	Waterschap, RWS	Buiten kernzone	Binnen Kernzone	Geen negatieve gevolgen voor de waterkerende functie van de primaire waterkering.

¹ Eerste benadering

4 Beoordeling risicozonering

Zoals in het wettelijk kader beschreven, worden de risico's van windturbines gevormd door de volgende scenario's:

1. breuk van windturbineblad;
2. omvallen van een windturbine door mastbreuk;
3. naar beneden vallen van de gondel en/of rotor;
4. het naar beneden vallen van kleine onderdelen (bouten, blad- en tipdelen, ijs).

De risico's van scenario's 1 en 2 zijn in dit rapport nader onderzocht voor de in het gebied aanwezige te beschermen objecten en passanten.

Voor het naar beneden vallen van de gondel en/ of rotor (scenario 3) geldt dat incidenten alleen binnen een afstand van een bladlengte (enkele tientallen meters) vanaf de mast kunnen optreden. Aangezien binnen deze afstanden geen objecten en passanten voorkomen (en daarmee het risico per definitie is uitgesloten), blijft dit scenario in de berekeningen en beoordeling verder achterwege.

Voor kleine onderdelen en ijsafwerping is het risico in Nederland dermate klein dat het PR hiervan verwaarloosbaar is (Handboek; Bijlage C-38). De windturbines draaien niet over gebouwen en (vaar)wegen heen. Er zijn geen bijzondere omstandigheden aanwezig waardoor aanvullend onderzoek noodzakelijk wordt geacht. Bijzondere omstandigheden zijn bijvoorbeeld als het gebied onder de rotor vrij toegankelijk is voor passanten of als lokale weersomstandigheden significant afwijken van het gemiddelde Nederlandse klimaat. Daarom wordt ook ijsafwerping en vallen van kleine onderdelen niet verder onderzocht.

4.1 Werpafstanden en kansdichtheden

Om het invloedsgebied van de windturbines met betrekking tot externe veiligheid te bepalen, wordt de maximale werpafstand van een turbineblad berekend. De maximale werpafstand is de afstand dat een turbineblad weggegooid kan worden wanneer dit afbreekt. Deze afstand wordt berekend volgens de methodiek zoals aangegeven in bijlage C hoofdstuk 3 (ballistisch model zonder luchtkrachten) van het Handboek². De nummering tussen haakjes is de verwijzing naar de nummering in het Handboek en is weergegeven in [bijlage II](#). In tabel 4.1 is weergegeven wat de maximale werpafstanden van de onderzochte windturbines zijn. De maximale werpafstand is de berekende situatie bij overtoeren (gelijk aan tweemaal nominaal toerental).

² Omdat in werkelijkheid luchtkrachten/luchtweerstand wel degelijk een rol speelt bij de werpafstand van een blad, betekent dit dat een turbineblad minder ver kan worden weggegooid dan voorgesteld in tabel 4.1.

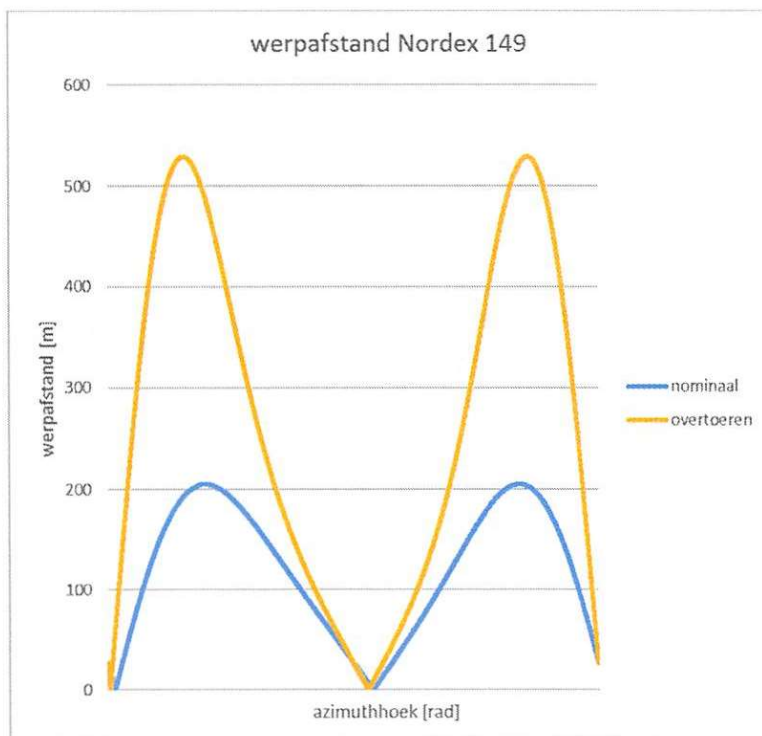
Tabel 4.1

Maximale werpafstanden (bij overtoeren) van de onderzochte windturbines

Turbine	Maximale werpafstand (overtoeren)
Vestas 136	494 meter
Vestas 150	492 meter
Nordex 131	520 meter
Nordex 149	529 meter
Senvion 140	391 meter
Senvion 148	454 meter

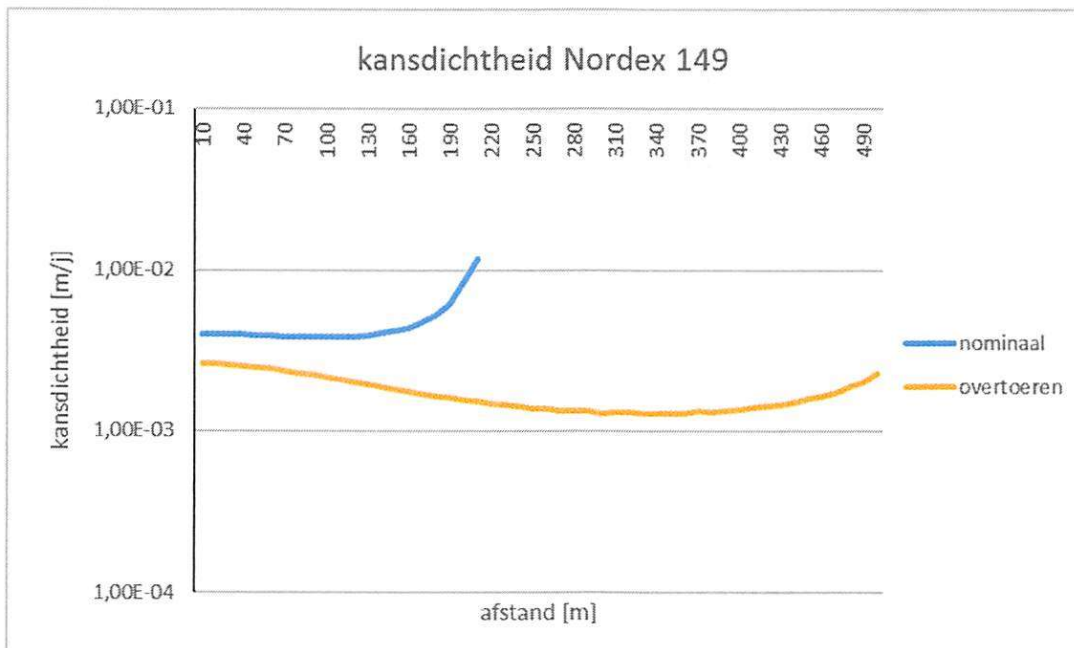
Uit de berekeningen blijkt dat de grootste werpafstand van alle onderzochte windturbines bij overtoerensituatie 529 meter bedraagt. Nordex 149 heeft de grootste maximale werpafstand en wordt daarmee bepalend/worstcase geacht voor het gebied waar effecten door bladbreuk kunnen worden verwacht. Voor de overige externe-veiligheidsaspecten wordt per keer bepaald welk windturbine type de worstcase benadering geeft.

Voor de Nordex 149 (met een vermogen van 4,0 – 4,5 MW en een ashoogte van 164 meter) leidt dit tot de volgende verdeling van de werpafstand en de kansdichtheden als functie van de afstand bij nominaal toerental en bij overtoeren (figuur 4.1 en 4.2). In [bijlage II](#) zijn de werpafstanden en kansdichtheden van de overige turbines uit tabel 4.1 weergegeven. De kansdichtheid wordt gebruikt in de berekening van de trefkans voor een object in de omgeving.



Figuur 4.1

Werpafstand als functie van de azimuthhoek (α , in rad.) en horizontale afstand (in meters) ten opzichte van de windturbine; voor nominaal toerental (in blauw) en overtoeren (in oranje)



Figuur 4.2

De verticale as geeft met log-as de kansdichtheden (per meter/jaar) weer, als functie van afstand (m) ten opzichte van de windturbine; voor nominaal toerental (in blauw) en overtoeren (in oranje)

4.2 Invloedsgebied

Nu de maximale werpafstand bepaald is (namelijk 529 meter), is daarmee ook het invloedsgebied van de windturbines inzake externe veiligheid gedefinieerd. Hoofdcategorieën zoals benoemd zijn in paragraaf 3.4.1, hoeven niet nader onderzocht te worden wanneer deze buiten het invloedsgebied van de windturbines liggen.

De volgende categorieën zijn niet nader onderzocht, omdat deze categorieën zich niet binnen de maximale werpafstand van de windturbines bevinden:

1. spoorwegen (op circa 3.325 meter afstand, in de Blokhovenpolder in Schalkwijk);
2. industrie (ammoniakoelinstallatie op circa 1.250 meter afstand, Tuurdijk 43 in 't Goy; géén Bevi-inrichting aanwezig binnen de maximale werpafstand);
3. buisleidingen (op circa 4.320 meter afstand, nabij Tunnelweg in Culemborg);
4. hoogspanningsinfrastructuur (op circa 7.550 meter afstand, nabij Rijnseweg in Bunnik).

De volgende categorieën zijn binnen het invloedsgebied gelegen en zijn daarom in dit rapport verder onderzocht:

1. bebouwing;
2. wegen;
3. vaarwegen;
4. dijklichamen en waterkeringen.

4.3 Bebouwing

In artikel 3.15a lid 1 en lid 2 van het Activiteitenbesluit is bepaald dat:

1. het plaatsgebonden risico voor een buiten de inrichting gelegen kwetsbaar object, veroorzaakt door een windturbine of een combinatie van windturbines, niet hoger is 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.

Op basis van de generieke gegevens gelden conform het Handboek de volgende afstandseisen voor bebouwing.

1. Beperkt kwetsbare objecten dienen minimaal een halve rotordiameter van de turbine af te liggen, dit is gelijk aan de PR 10^{-5} risicocontour.
2. Kwetsbare objecten zijn niet toegestaan binnen een afstand van het maximum van:
 - i. ashoogte plus een halve rotordiameter (de tiphoogte) of, indien een grotere afstand:
 - ii. de maximale werpafstand bij nominaal toerental.
Dit is gelijk aan de PR 10^{-6} risicocontour.

Voor Windpark Goyerbrug zijn de PR 10^{-5} -contour en PR 10^{-6} -contour berekend. De berekende waarden zijn opgenomen in tabel 4.2 en 4.3.

Tabel 4.2

Minimaal vereiste afstand tot beperkt kwetsbare objecten

Turbintype	Rotordiameter (m)	PR 10^{-5} -contour (m) (Minimaal vereiste afstand tot beperkt kwetsbare objecten)
Vestas 136	136	68
Vestas 150	150	75
Nordex 131	131	66
Nordex 149	149	75
Senvion 140	140	70
Senvion 148	148	74

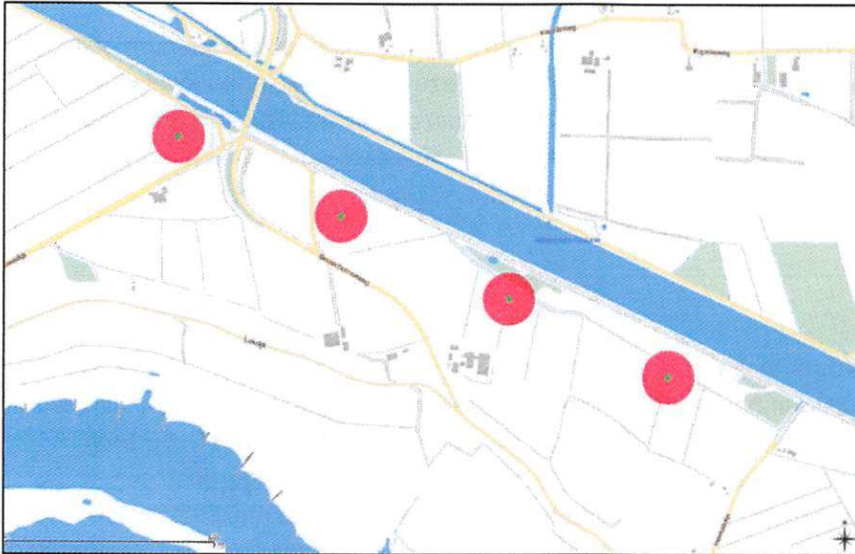
Tabel 4.3

Minimaal vereiste afstand tot kwetsbare objecten

Turbintype	Berekende maximale werpafstand (m) bij nominaal toerental, conform Handboek (ballistisch model zonder luchtkrachten)	Tiphoogte (m)	PR 10^{-6} -contour (m) (Minimaal vereiste afstand tot kwetsbare objecten) (Dit is de grootste van: 1) maximale werpafstand of 2) tiphoogte)
Vestas 136	191	217	217
Vestas 150	194	241	241
Nordex 131	197	211	211
Nordex 149	205	239	239
Senvion 140	161	230	230
Senvion 148	182	239	239

Beperkt kwetsbare objecten

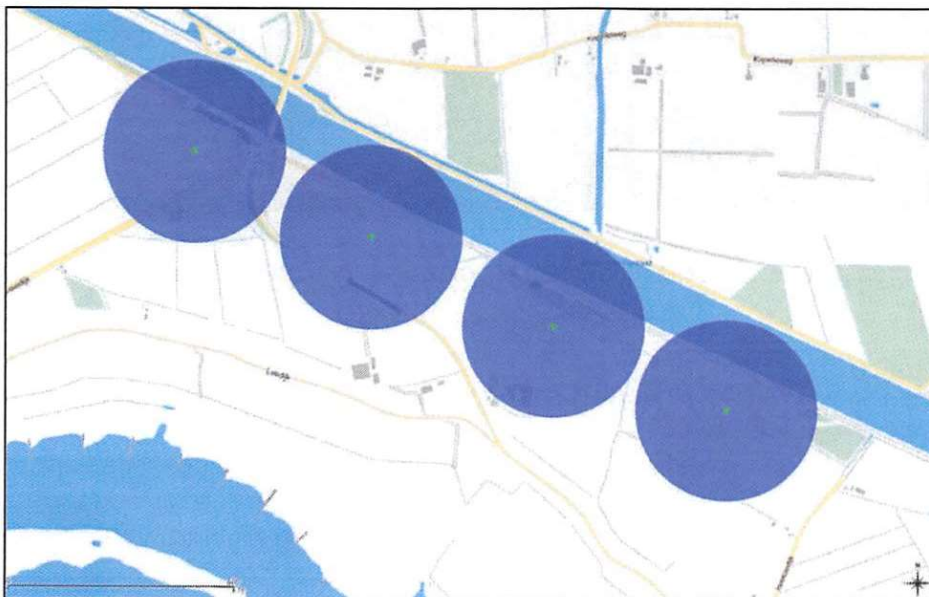
De PR 10^{-5} -contour ligt voor Windpark Goyerbrug in een worstcase scenario op 75 meter. Er bevinden zich geen *beperkt kwetsbare objecten* binnen de PR 10^{-5} -contour, zie figuur 4.3.



Figuur 4.3
PR 10⁻⁵-contour

Kwetsbare objecten

De PR 10⁻⁶-contour ligt voor Windpark Goyerbrug in een worstcase scenario op 241 meter. Er bevinden zich geen *kwetsbare objecten* binnen de PR 10⁻⁶-contour, zie figuur 4.4 De aanwezige bebouwing binnen de PR 10⁻⁶ contour, kwalificeert zich niet als *kwetsbaar object*, maar als *beperkt kwetsbaar object*. Het betreft hier de onroerende zaken aan de Beusichemseweg 146, 3938 NL te Schalkwijk en Zuwedijk 6, 3998 NA in Schalkwijk. Deze onroerende zaken vormen overigens een technische, organisatorische en functionele binding met Windpark Goyerbrug. In verband met deze binding met Windpark Goyerbrug, treden de betreffende onroerende zaken toe tot de inrichting. Ook daarom worden deze onroerende zaken niet verder beschouwd als object in het kader van het extern risico - PR 10⁻⁶ contour.



Figuur 4.4
PR 10⁻⁶-contour

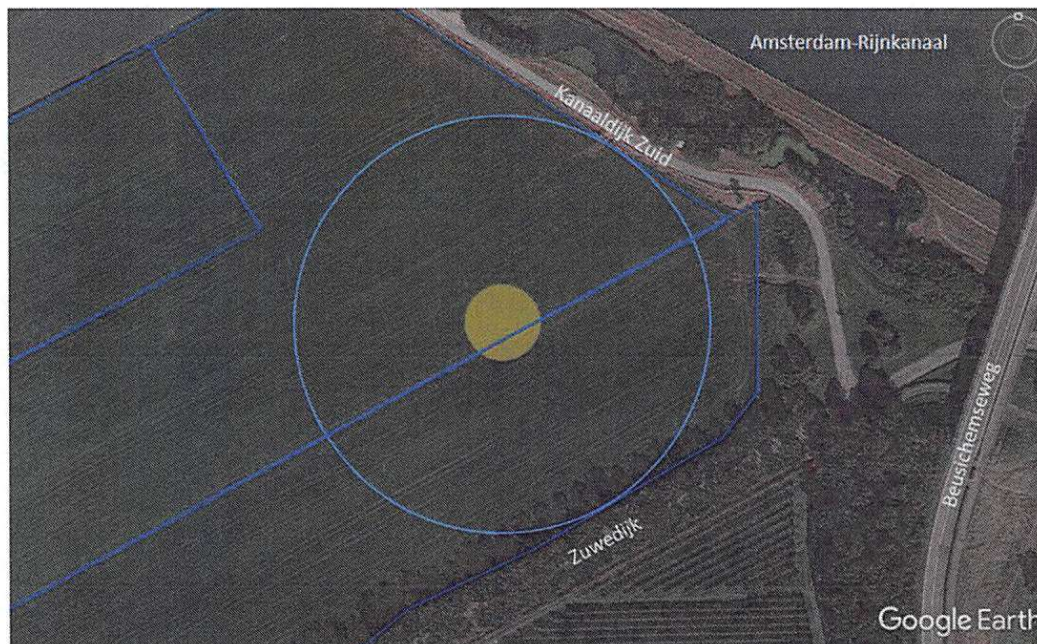
Conclusie bebouwing

De PR 10^{-5} contour ligt op 75 meter en binnen deze contour zijn geen beperkt kwetsbare objecten aanwezig. De PR 10^{-6} contour ligt op 241 meter en binnen deze contour zijn geen kwetsbare objecten aanwezig. Ter informatie, binnen de PR 10^{-6} contour (op 241 meter) zijn twee beperkt kwetsbare objecten aanwezig. Deze onroerende zaken zijn onderdeel van de inrichting van Windpark Goyerbrug en worden niet als object voor externe veiligheid meegenomen.

4.4 Wegen

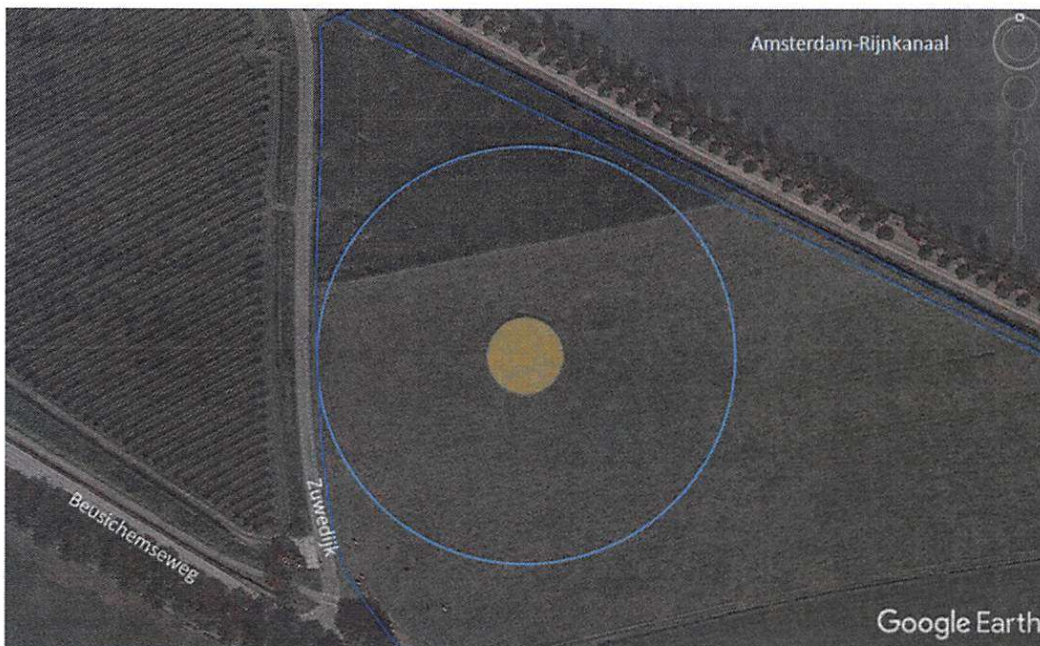
4.4.1 Verkeersveiligheid (overdraai)

Windturbines waarvan de bladen boven wegen draaien (overdraai-situatie) kunnen van invloed zijn op de verkeersveiligheid (beleidsregel Rijkswaterstaat). De bladen van Windpark Goyerbrug draaien niet over wegen. Dit is te zien in de figuren 4.5 tot en met 4.8. In de figuren is een maximale overdraaicontour van 152,3 meter aangehouden in plaats van de maximale rotordiameter van 150 meter. De overdraaicontour is groter dan de maximale rotordiameter, omdat de rotor excentrisch ten opzichte van het hart van de fundering en mast geplaatst is.



Figuur 4.5

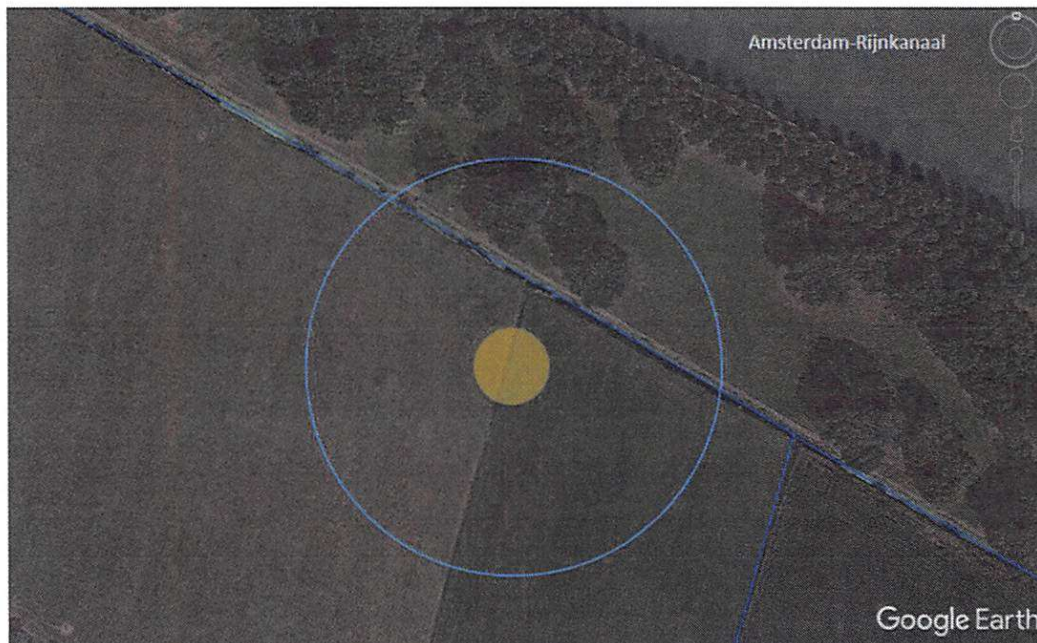
Situatietekening overdraai (inclusief locatie fundament en kadastrale grenzen) windturbine 1.



Figuur 4.6
Situatietekening overdraai (inclusief locatie fundament en kadastrale grenzen) windturbine 2.



Figuur 4.7
Situatietekening overdraai (inclusief locatie fundament en kadastrale grenzen) windturbine 3.



Figuur 4.8

Situatietekening overdraai (inclusief locatie fundament en kadastrale grenzen) windturbine 4.

Conclusie verkeersveiligheid

De windturbines draaien niet over wegen. De invloed op de verkeersveiligheid hoeft niet verder te worden onderzocht en wordt acceptabel geacht.

4.4.2 Personenvervoer

De dichtstbijzijnde wegen zijn de Zuwedijk en de Kanaaldijk Zuid, beide op minimaal 80 meter afstand gelegen. Voor de berekening van het IPR zijn naast eigenschappen van de turbine ook het aantal turbines, de afstand tot de weg (80 meter) en de snelheid op de weg (60 km/h) van belang. Er wordt berekend wat het risico is tijdens de volgende scenario's:

1. bladbreuk bij nominaal toerental;
2. bladbreuk tijdens overtoeren;
3. mastbreuk.

Deze risico's worden gesommeerd om tot het totale risico te komen.

Bladbreuk

De kans P_w dat een passant op een weg, met traject 's' en de kansdichtheid op een punt langs s met een kansdichtheid van P_{ZWPT} (per meter), wordt geraakt door een afgebroken blad is te berekenen volgens de formules in [bijlage II](#).

De gegeven faalfrequenties voor bladbreuk in het Handboek zijn $8,4 \cdot 10^{-4}$ en $5 \cdot 10^{-6}$ voor bladbreuk bij respectievelijk nominaal toerental en overtoeren. De kans dat een passant wordt getroffen door bladbreuk, wordt dan gegeven door $P_{w,totaal}$: dit is gelijk aan de som van $P_{w,nominaal}$ en $P_{w,overtoeren}$. De berekening en resultaten zijn gegeven in [bijlage II](#).

De maximale trefkans bij bladbreuk voor wegen is $2,07 \cdot 10^{-12}$ /jaar voor de Nordex 149. De worst case in dit geval wordt bepaald door de Nordex 149.

Mastbreuk

Bij een afstand van een route tot de windturbine kleiner dan ashoogte + halve rotordiameter, kan een mast bij passanten raken. De kans dat dit gebeurt wordt gegeven door P_r en wordt mede bepaald door de kans op mastbreuk P_{mb} , dat is gegeven in het Handboek en bedraagt $1,30 \cdot 10^{-4}$. De formules en resultaten van alle turbines zijn gegeven in [bijlage II](#).

Hieruit volgt dat de maximale kans dat nabijgelegen infrastructuur door een omvallende turbine wordt geraakt (P_r) $7,13 \cdot 10^{-5}$ /j is. Dit is in het geval van windturbine types Vestas 150 en Nordex 149.

Individueel Passanten Risico (IPR) en Maatschappelijk Risico (MR)

Het individueel passanten risico (IPR) is de som van de trefkans door bladbreuk ($P_{w,totaal}$) en de trefkans door mastbreuk (P_r). In [bijlage II](#) is het IPR voor alle windturbines gegeven, zowel per turbine als in totaal per vier turbines.

Daarnaast is het maatschappelijk risico (MR) berekend door het aantal autopassages te vermenigvuldigen met het IPR. Hierbij is ervan uitgegaan dat er 1.825.000 passages per jaar zijn, oftewel 5.000 passages per dag. Ook deze resultaten zijn weergegeven in [bijlage II](#).

Het maximale IPR bedraagt $8,45 \cdot 10^{-12}$ (/jaar) voor vier turbines van het type Nordex 149. Hiermee wordt ruimschoots voldaan aan de norm voor het IPR: $1 \cdot 10^{-6}$ (/jaar). Voor het MR is de intensiteit van de weg van belang. De exacte intensiteit is niet bekend, maar het is een erg rustige weg. Er wordt ruimschoots voldaan aan de norm voor de MR bij een aanname van 5.000 voertuigen per dag (wat voor een landweg met bestemmingsverkeer een extreme situatie is). Hiermee komt het MR op $1,54 \cdot 10^{-5}$. Hiermee wordt ruim voldaan aan de norm voor het MR van $2,0 \cdot 10^{-3}$.

Conclusie passantenrisico

Aan de richtwaarden voor IPR en MR wordt voldaan.

4.4.3 Vervoer gevaarlijke stoffen

De Zuwendijk is niet aangemerkt in het Basisnet wegen als route waar transport van gevaarlijke stoffen over plaatsvindt. Daarom is er geen sprake van risicotoename door plaatsing van de windturbines voor het transport van gevaarlijke stoffen over de weg.

4.4.4 Conclusie wegen

De invloed op de verkeersveiligheid hoeft niet verder te worden onderzocht, omdat de windturbines niet over wegen draaien. Zowel IPR als MR voor wegen voldoen ruim aan de normen ($8,45 \cdot 10^{-12}$ en $1,54 \cdot 10^{-5}$ respectievelijk). Over de Zuwendijk vindt geen transport van gevaarlijke stoffen plaats en daarom is er geen sprake van risicotoename door plaatsing van de windturbines.

4.5 Vaarwegen

4.5.1 Nautische veiligheid

Windturbines waarvan de bladen boven vaarwegen bewegen (overdraai-situatie) kunnen van invloed zijn op de nautische verkeersveiligheid (beleidsregel Rijkswaterstaat). Daarom is in beeld gebracht of dit moet worden onderzocht. Zie figuren 4.4 tot en met 4.8 voor de overdraaicirkels. Met de bladen van de windturbines wordt niet over vaarwegen gedraaid.

Conclusie nautische veiligheid

Voor vaarwegen geldt dat invloed op de nautische veiligheid niet verder hoeft te worden onderzocht en acceptabel wordt geacht omdat er geen overdraai over de vaarwegen plaatsvindt.

4.5.2 Personenvervoer

Voor vaarwegen geldt een minimale afstandseis van 50 meter uit de rand van de vaarweg. Voor de worstcase turbine (waarbij de rotor 150 meter bedraagt) is deze afstand minimaal 75 meter. Aangezien de kortste afstand tot het Amsterdam-Rijnkanaal 105 meter bedraagt (bij turbine nummer 2), wordt voldaan aan de eis. Op pagina 35 van het Handboek staat het volgende: *“Wanneer de windturbines niet voldoen aan de afstandseis, moet in een aanvullende risicoanalyse het individueel passanten risico (IPR) en het maatschappelijk risico (MR) worden berekend”*. Hoewel een initiatiefnemer volgens het Handboek niet verplicht is om een kwalitatieve analyse te geven met betrekking tot het personenvervoer via het Amsterdam-Rijnkanaal, is er toch een analyse opgesteld om een beeld te kunnen schetsen van het risico. In tabel 4.4 is het IPR en MR opgenomen voor passerende schepen.

Tabel 4.4

Individueel passanten risico en maatschappelijk risico

Uitgangspunten berekeningen		
Vaarpassages per jaar Amsterdam- Rijnkanaal (conservatief)	100.000	
Aantal turbines	4	
Minimum. snelheid	1,4 m/s	5 km/h
Afstand tot het Amsterdam-Rijnkanaal	105 m	
Berekening IPR		
	[jaar]	
IPR per turbine (type Nordex 149)	$1,69 \cdot 10^{-11}$	
IPR, vier turbines (type Nordex 149)	$6,77 \cdot 10^{-11}$	norm: $1 \cdot 10^{-06}$
Berekening MR		
	[jaar]	
MR, vier turbines (type Nordex 149)	$6,77 \cdot 10^{-5}$	norm: $2 \cdot 10^{-03}$

De risicomaten Individueel Passanten Risico en Maatschappelijk Risico zijn veel lager dan de norm en daarmee acceptabel.

Conclusie passantenrisico

Aan het afstandscriterium wordt door Windpark Goyerbrug voldaan. Voor vaarwegen geldt dat het passantenrisico voldoet aan de normen (IPR en MR) en dat daarmee het risico voor passanten acceptabel kan worden geacht.

4.5.3 Vervoer gevaarlijke stoffen

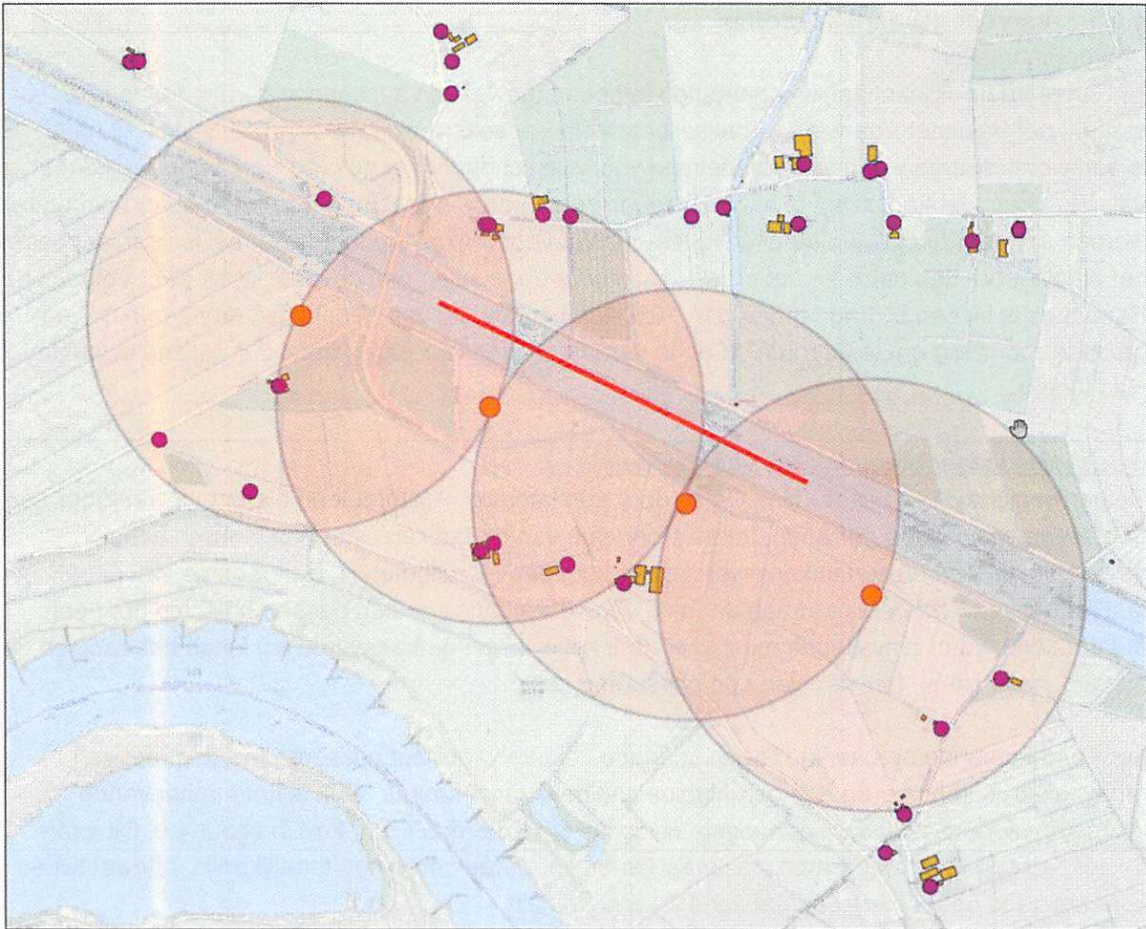
Vervoersaantallen

Het Amsterdam-Rijnkanaal is opgenomen in het aangewezen vaarwegennet voor gevaarlijke stoffen, het Basisnet Vaarwegen (bevaarbaarheidsklasse 6, maximale vaarsnelheid is 18 km/u). Er is een worstcase gemiddelde vaarsnelheid voor alle schepen met gevaarlijke stoffen aangehouden van 5 km/uur. Het kanaal ligt in het invloedgebied van de windturbines. Er moet daarom nagegaan worden dat de bijdrage aan de ongevalsfrequentie voor tankschepen acceptabel is voor wat betreft het plaatsgebonden risico en het groepsrisico door ongevallen met gevaarlijke stoffen. Volgens het Handboek is bij een bijdrage groter dan 10% een berekening van het plaatsgebonden risico en groepsrisico nodig om te beoordelen en te verantwoorden (zie paragraaf 4.2 in Bijlage D van het Handboek).

Berekening toename van faalkans bij schepen

De aanwezigheid van windturbines leidt, door een kans op mastbreuk en bladbreuk waardoor een passerend schip wordt getroffen, tot een toename van de faalkans van een tankschip met gevaarlijke stoffen (deze faalkans wordt uitgedrukt per vaarkilometer). De toename van deze faalfrequentie wordt berekend aan de hand van de trefkans van een passerend schip door een afgebroken blad of omvallende mast, die afhankelijk is van de kansverdeling langs het tracé en de afstand, snelheid en remweg van een passerend schip.

Voor onderstaande berekening is een scenario gekozen voor het passerende schip met een remweg van 500 meter en een gemiddelde snelheid van 5 km/uur. Ook is het maatgevende kilometervak bepaald waar het hoogste risico bestaat: de rode lijn (1 km) in figuur 4.9. Dit vaartraject van een kilometer omvat maximaal twee overtoeren contouren tegelijkertijd, oftewel twee keer het tracé op de bepalende afstand tot de turbines.



Figuur 4.9

Risicocontouren van de windturbines voor overtoeren (529 meter). De rode lijn geeft het maatgevende kilometervak aan.

Bladbreek

De kans P_w dat een passerend schip, met traject 's' en de kansdichtheid van P_{ZWPT} (per meter) langs dit traject, wordt geraakt door een afgebroken blad is te berekenen volgens de formules gegeven in [bijlage II](#).

Mastbreek

Bij een afstand van een route tot de windturbine kleiner dan ashoogte + halve rotordiameter, kan een mast passanten raken. De kans dat dit gebeurt wordt bepaald zoals beschreven in [bijlage II](#).

Totale toename faalfrequentie

De totale toename van de faalkans door bladbreek en mastbreek voor een windturbine is maximaal voor het type Nordex 149. De toename bedraagt over het tracé voor bladbreek (353 meter) resp. mastbreek (428 meter) bedraagt per kilometer:

1. Toename faalfrequentie door bladbreek bedraagt $3,41 \cdot 10^{-9}$ per passage km per jaar.
2. Toename faalfrequentie door mastbreek bedraagt $4,08 \cdot 10^{-10}$ per passage km per jaar.
3. De totale toename (per windturbine) bedraagt $3,41 \cdot 10^{-9} + 4,08 \cdot 10^{-10} = 3,81 \cdot 10^{-9}$ per passage km per jaar.

Omdat de maatgevende kilometer langs maximaal twee windturbines in het park ligt, wordt de bijdrage aan de faalfrequentie van het schip $2 \times 3,81 \cdot 10^{-9} = 7,63 \cdot 10^{-9}$ per passage km per jaar.

Volgens de 'Handleiding Risicoanalyse Transport – Bijlagen', versie 1,2, 11 januari 2017 (Bijlage tabel 5-2, nr. 2, traject ARK_2) is de initiële faalfrequentie voor schepen op dit tracé $2,8 \cdot 10^{-7}$. De berekende procentuele bijdrage van de windturbine op de faalkans van ongevallen met schepen is dan $7,63 \cdot 10^{-9} / 2,8 \cdot 10^{-7} = 2,72 \%$.

De faalfrequentie neemt met minder dan 10% toe en voldoet daarmee aan de norm van het Handboek³.

Conclusie risico's tankschepen met gevaarlijke stoffen

De bijdrage van windturbines aan de ongevallenfrequenties op het Amsterdam-Rijnkanaal is minder dan 10%. De toename van het plaatsgebonden risico en het groepsrisico door de situatie met windturbines vormt geen belemmering.

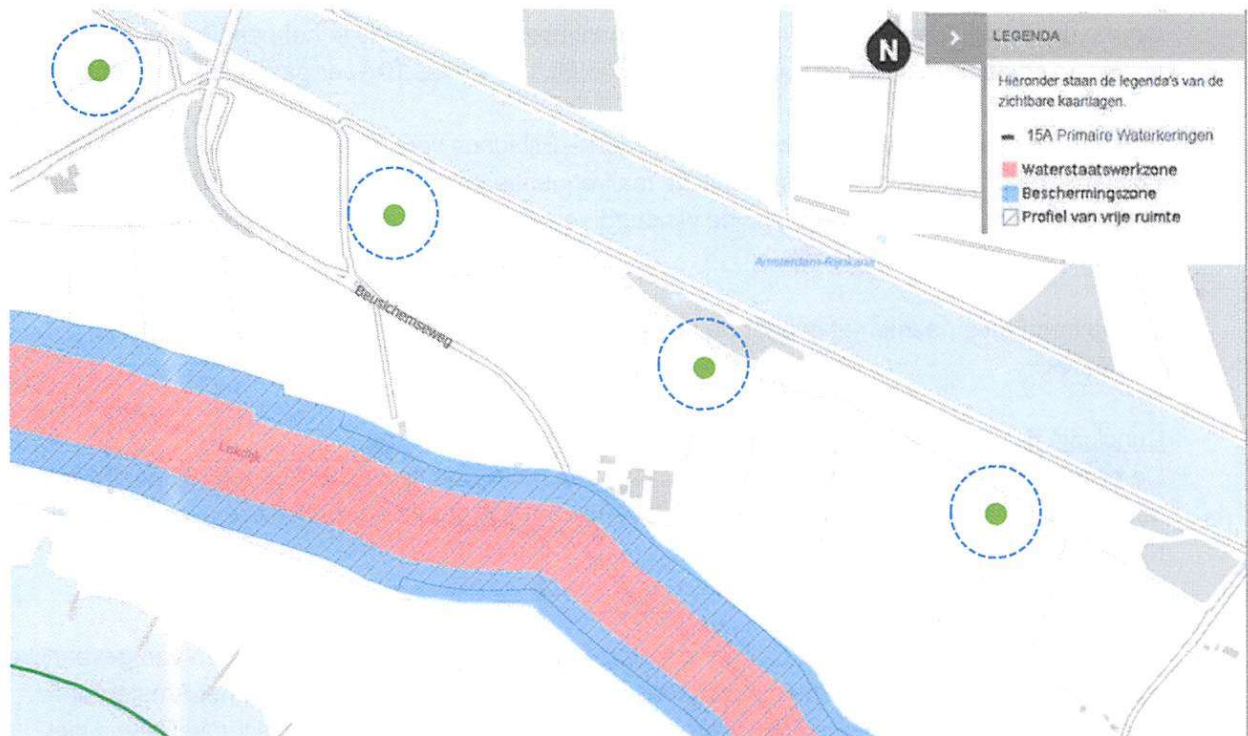
4.5.4 Conclusie vaarwegen

Er wordt aan het afstandscriterium door Windpark Goyerbrug voldaan. Ten aanzien van gevaarlijke stoffen geldt dat de bijdrage van windturbines aan de ongevallenfrequenties op het Amsterdam-Rijnkanaal minder dan 10% is. Voor vaarwegen geldt dat invloed op de nautische veiligheid niet verder hoeft te worden onderzocht en acceptabel wordt geacht. Voor vaarwegen geldt verder dat het passantenrisico voldoet aan de normen (IPR en MR) en dat daarmee het risico voor passanten acceptabel kan worden geacht.

4.6 Dijklichamen en waterkeringen

Voor waterkeringen geldt dat er geen windturbines in de kernzone en de beschermingszone van primaire waterkeringen mogen worden geplaatst. Primaire waterkeringen zijn dijken die beschermen tegen het buitenwater (zeeën en de grote rivieren). De dijk langs de Lek is een primaire waterkering volgens de legger van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden. Plaatsing binnen de kern- en beschermingszone van de waterkering is alleen mogelijk als dit geen negatieve gevolgen heeft voor de waterkerende functie van de waterkering. Alle turbines bevinden zich buiten de kern- en beschermingszone van de waterkering. De turbines draaien ook niet over een dijklichaam of waterweg. Dit is op te maken uit de figuren 4.5 t/m 4.8. De plaatsing van de windturbines heeft geen negatieve gevolgen voor de waterkerende functie van de primaire waterkering en er zijn daarom geen belemmeringen.

³ Daardoor hoeft niet te worden aangetoond door middel van een berekening dat aan de norm voor het plaatsgebonden risico ter plaatse van (beperkt) kwetsbare objecten wordt voldaan. Ook hoeft de toename het groepsrisico niet nagegaan te worden.



Figuur 4.10

Primaire waterkering en beschermingszone inclusief windturbines (in groen) en overdraai (in blauw)

Conclusie dijklichamen en waterkeringen

De windturbines zijn niet geplaatst in de primaire waterkering of in de beschermingszone. De turbines draaien ook niet over een dijklichaam of waterweg. Daarom zijn er geen negatieve gevolgen voor de waterkerende functie van de primaire waterkering.

5 Conclusies

Bladbreek en mastbreek

De categorieën spoorwegen, industrie, buisleidingen en hoogspanningsinfrastructuur bevinden zich niet binnen de maximale werpafstand (bij overtoeren), zodat deze categorieën niet verder hoeven te worden beoordeeld.

De categorieën bebouwing, wegen, vaarwegen, dijklichamen en waterkeringen liggen wel in het invloedsgebied en hiervoor is aanvullend onderzoek verricht. De criteria en beoordeling van deze te beschermen objecten zijn hieronder opgenomen:

Onderdeel	Afstandscriterium	Toetsing	Normering	Conclusie
Bebouwing	Beperkt kwetsbare objecten op $\frac{1}{2}$ rotordiameter. Kwetsbare objecten op masthoogte + $\frac{1}{2}$ rotordiameter of de maximale werpafstand bij nominaal toerental.	PR	PR 10^{-6} contour voor kwetsbare objecten PR 10^{-5} contour voor beperkt kwetsbare objecten.	PR 10^{-5} contour ligt op 75 meter: geen beperkt kwetsbare objecten aanwezig PR 10^{-6} contour ligt op 241 meter: geen kwetsbare objecten aanwezig (NB: binnen de PR 10^{-6} contour liggen twee objecten die onderdeel van de inrichting uitmaken en derhalve niet kwalificeren als kwetsbaar object.)
Wegen	$\frac{1}{2}$ rotordiameter (RD) uit de rand van de verharding met een minimum van 30 m.	IPR MR	10^{-6} per jaar $2 * 10^{-3}$ per jaar	IPR voldoet met $8,45 \cdot 10^{-12}$ ruim aan de norm MR voldoet met $1,54 \cdot 10^{-5}$ ruim aan de norm
Vaarwegen	Een minimum van 50 m uit de rand van de vaarweg.	IPR MR	10^{-6} per jaar $2 * 10^{-3}$ per jaar	IPR voldoet met $6,77 \cdot 10^{-11}$ ruim aan de norm MR voldoet met $6,77 \cdot 10^{-6}$ ruim aan de norm
Dijklichamen en Waterkeringen	Buiten kernzone	Binnen Kernzone	Geen negatieve gevolgen voor de waterkerende functie van de primaire waterkering.	Niet opgesteld binnen de kernzone, derhalve geaccepteerd risiconiveau

Ongevallen bij vervoer van gevaarlijke stoffen

De bijdrage van windturbines aan de ongevallenfrequenties op het Amsterdam-Rijnkanaal is met 2,72%, minder dan 10%. De toename van het groepsrisico en het plaatsgebonden risico door windturbines vormt daarom geen belemmering.

Vallen van gondel en/of rotor

Voor het naar beneden vallen van de gondel en/ of rotor geldt dat incidenten alleen binnen een afstand van een bladlengte vanaf de mast kunnen optreden. Aangezien binnen deze afstanden geen objecten en passanten voorkomen, is dit risico niet aanwezig.

Ijsafwerping en vallen van kleine onderdelen

Voor kleine onderdelen en ijsafwerping is het risico in Nederland dermate klein dat algemeen wordt aangenomen dat het PR hiervan verwaarloosbaar is. Er zijn geen bijzondere omstandigheden aanwezig waardoor aanvullend onderzoek noodzakelijk wordt geacht. Het risico van ijsafwerking en het risico van het vallen van kleine onderdelen is acceptabel.

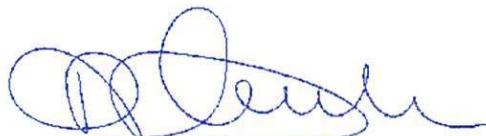
Algehele conclusie

De algehele conclusie van dit onderzoek is dat wordt voldaan aan de wettelijke normen en de overige richtwaarden voor externe veiligheid. Er zijn uit het oogpunt van externe veiligheid geen belemmeringen voor de te plaatsen windturbines.

LBP|SIGHT BV



ir. J.J. (Judith) Strik



ing. P.A.G. (Paul) van der Vleuten

Bijlage I

Specificaties onderzochte windturbines

Type	Vermogen	Rotordiameter	Ashoogte	Nominaal toerental ¹	Bladlengte	Tiphoogte (m)
Vestas 136	3,6 MW	136 meter	149 meter	11,7 rpm	66,7 meter	217
Vestas 150	4,0 - 4,2 MW	150 meter	166 meter	10,4 rpm	73,7 meter	241
Nordex 131	3,9 MW	131 meter	145 meter	12,6 rpm	64,4 meter	211
Nordex 149	4,0 - 4,5 MW	149 meter	164 meter	11,0 rpm ²	72,4 meter	239
Senvion 140	3,7 MW	140 meter	160 meter	9,6 rpm ²	68,5 meter	230
Senvion 148	4,2 M	148 meter	165 meter	10 rpm	72,4 meter	239

Geraadpleegde bronnen zijn hieronder weergegeven.

¹ Nominaal toerental is gelijk aan 'rated rotational speed'.

² Hierbij is voor de hoogste waarde gekozen van de reeks voor nominaal toerental

Restricted
Document no.: 0053-3707 V02
2016-01-22

General Description

3MW Platform



The wind turbine family utilises the OptiTip[®] concept and a power system based on an induction generator and full-scale converter. With these features, the wind turbine is able to operate the rotor at variable speed and thereby maintain the power output at or near rated power even in high wind speed. At low wind speed, the OptiTip[®] concept and the power system work together to maximise the power output by operating at the optimal rotor speed and pitch angle.

Operating the wind turbine in the 3.6 MW Power Optimized Mode (PO1) is achieved by applying an extended derate strategy and reduced reactive power capability compared with 3.45 MW operation.

3 Mechanical Design

3.1 Rotor

The wind turbine is equipped with a rotor consisting of three blades and a hub. The blades are controlled by the microprocessor pitch control system OptiTip[®]. Based on the prevailing wind conditions, the blades are continuously positioned to optimise the pitch angle.

Rotor	V105	V112	V117	V126	V136
Diameter	105 m	112 m	117 m	126 m	136 m
Swept Area	8659 m ²	9852 m ²	10751 m ²	12469 m ²	14527 m ²
Speed, Dynamic Operation Range	8.3-17.6	8.1-17.6	6.7-17.5	5.9-16.3 (6.2-16.3)	5.6-15.3
Rotational Direction	Clockwise (front view)				
Orientation	Upwind				
Tilt	6°				
Hub Coning	4°				
No. of Blades	3				
Aerodynamic Brakes	Full feathering				

Table 3-1: Rotor data

3.2 Blades

The blades are made of carbon and fibreglass and consist of two airfoil shells bonded to a supporting beam.

Blades	V105	V112	V117	V126	V136
Type Description	Airfoil shells bonded to supporting beam			Infused structural airfoil shell	
Blade Length	51.15 m	54.65 m	57.15 m	61.66 m	66.66 m
Material	Fibreglass reinforced epoxy, carbon fibres and Solid Metal Tip (SMT)				

T05

VestasDOCUMENT:
[0056-6108] VER 01DESCRIPTION:
3MW RPM curves

RESTRICTED

Original Instruction: T05 0056-6108 VER 01

3MW RPM curves

V105 – 3.45/3.6MW

V112 – 3.45/3.6MW

V117 – 3.45/3.6MW

V126 – 3.45MW Low Torque

V126 – 3.45/3.6MW High Torque

V136 – 3.45/3.6MW



		T05
DOCUMENT: [0056-6108] VER 01	DESCRIPTION: 3MW RPM curves	PAGE 4/10
RESTRICTED		

2. Average rotor speed vs. wind speed

	V105	V105	V112	V112	V117	V117	V126	V126	V126	V136	V136
	3.45MW	3.6MW	3.45MW	3.6MW	3.45MW	3.6MW	3.45MW	3.45MW	3.6MW	3.45MW	3.6MW
							Low Torque	High Torque	High Torque		
Wind Speed [m/s]	Speed [RPM]	Speed [RPM]	Speed [RPM]	Speed [RPM]	Speed [RPM]	Speed [RPM]	Speed [RPM]	Speed [RPM]	Speed [RPM]	Speed [RPM]	Speed [RPM]
3.0	7.77	7.77	8.02	8.02	6.69	6.69	6.18	5.93	5.93	5.56	5.56
3.5	8.33	8.33	8.05	8.05	6.69	6.69	6.18	5.93	5.93	5.56	5.56
4.0	8.33	8.33	8.05	8.05	6.69	6.69	6.18	5.93	5.93	5.57	5.57
4.5	8.33	8.33	8.05	8.05	6.91	6.91	6.28	6.18	6.18	5.97	5.97
5.0	8.34	8.34	8.13	8.13	7.62	7.62	6.84	6.83	6.83	6.61	6.61
5.5	8.68	8.68	8.68	8.68	8.38	8.38	7.50	7.49	7.49	7.25	7.25
6.0	9.38	9.38	9.44	9.44	9.12	9.12	8.17	8.17	8.17	7.91	7.91
6.5	10.14	10.14	10.22	10.22	9.89	9.89	8.85	8.84	8.84	8.56	8.56
7.0	10.94	10.94	11.01	11.01	10.66	10.68	9.51	9.49	9.49	9.21	9.21
7.5	11.72	11.72	11.80	11.80	11.38	11.38	10.13	10.13	10.13	9.87	9.87
8.0	12.49	12.49	12.57	12.57	12.16	12.16	10.86	10.84	10.84	10.51	10.51
8.5	13.22	13.25	13.28	13.31	12.90	12.90	11.52	11.43	11.49	11.12	11.12
9.0	13.66	13.77	13.70	13.81	13.49	13.55	12.16	11.73	11.94	11.52	11.52
9.5	13.83	14.00	13.84	14.01	13.79	13.94	12.75	11.83	12.12	11.65	11.65
10.0	13.85	14.04	13.85	14.04	13.84	14.02	13.18	11.82	12.13	11.65	11.65
10.5	13.84	14.03	13.84	14.02	13.83	14.02	13.37	11.82	12.13	11.67	11.66
11.0	13.83	14.01	13.83	14.01	13.84	14.02	13.41	11.83	12.13	11.67	11.67
11.5	13.82	14.01	13.84	14.01	13.84	14.02	13.42	11.83	12.14	11.67	11.67
12.0	13.85	14.02	13.84	14.02	13.85	14.04	13.42	11.83	12.14	11.67	11.67
12.5	13.85	14.04	13.85	14.03	13.85	14.04	13.42	11.83	12.15	11.67	11.67
13.0	13.86	14.04	13.85	14.04	13.85	14.04	13.42	11.83	12.15	11.67	11.67
13.5	13.86	14.04	13.85	14.04	13.85	14.04	13.42	11.83	12.14	11.67	11.67
14.0	13.85	14.05	13.85	14.04	13.85	14.04	13.42	11.83	12.14	11.67	11.67
14.5	13.85	14.05	13.85	14.04	13.85	14.04	13.42	11.83	12.14	11.67	11.67
15.0	13.85	14.04	13.85	14.04	13.85	14.04	13.42	11.83	12.14	11.67	11.67
15.5	13.85	14.04	13.85	14.04	13.85	14.04	13.42	11.83	12.14	11.67	11.67
16.0	13.85	14.04	13.85	14.04	13.85	14.04	13.42	11.83	12.14	11.67	11.67
16.5	13.85	14.04	13.85	14.04	13.85	14.04	13.42	11.83	12.14	11.67	11.67
17.0	13.85	14.04	13.85	14.04	13.85	14.04	13.42	11.83	12.14	11.67	11.67
17.5	13.85	14.04	13.85	14.04	13.85	14.04	13.42	11.83	12.14	11.67	11.67
18.0	13.85	14.04	13.85	14.04	13.85	14.04	13.42	11.83	12.14	11.67	11.67
18.5	13.85	14.04	13.85	14.04	13.85	14.04	13.42	11.83	12.14	11.67	11.67
19.0	13.85	14.04	13.85	14.04	13.85	14.04	13.42	11.83	12.14	11.67	11.67
19.5	13.85	14.04	13.85	14.04	13.85	14.04	13.42	11.83	12.15	11.67	11.67
20.0	13.85	14.04	13.85	14.04	13.85	14.04	13.42	11.83	12.15	11.67	11.67
20.5	13.85	14.04	13.85	14.04	13.85	14.04	13.42	11.83	12.15	11.67	11.67
21.0	13.85	14.04	13.85	14.04	13.85	14.04	13.42	11.83	12.15	11.67	11.67
21.5	13.85	14.04	13.85	14.04	13.85	14.04	13.42	11.83	12.14	11.67	11.67
22.0	13.85	14.04	13.85	14.04	13.85	14.04	13.42	11.83	12.14	11.67	11.67
22.5	13.85	14.04	13.85	14.04	13.85	14.04	13.42	11.83	12.14	11.67	11.67
23.0	13.86	14.05	13.85	14.04	13.86	14.05	-	11.83	12.15	-	-
23.5	13.86	14.05	13.85	14.04	13.86	14.05	-	11.83	12.15	-	-
24.0	13.86	14.04	13.86	14.04	13.86	14.05	-	11.83	12.15	-	-
24.5	13.86	14.04	13.86	14.04	13.86	14.05	-	11.83	12.15	-	-
25.0	13.86	14.04	13.86	14.04	13.86	14.05	-	11.83	12.15	-	-

Original Instruction: T05
T05 0056-6108 Ver 01 - Approved - Exported from DMS: 2018-02-07 by JURFR

Restricted
Document no.: 0067-7060 V01
2017-12-01

General Description

4MW Platform



Operating the wind turbine in 4.2 MW Power Optimized Mode (PO1) is achieved by applying an extended ambient temperature derate strategy and reduced reactive power capability compared with 4.0 MW Mode 0 operation.

3 Mechanical Design

3.1 Rotor

The wind turbine is equipped with a rotor consisting of three blades and a hub. The blades are controlled by the microprocessor pitch control system OptiTip®. Based on the prevailing wind conditions, the blades are continuously positioned to optimise the pitch angle.

Rotor	V117	V136	V150
Diameter	117 m	136 m	150 m
Swept Area	10751 m ²	14527 m ²	17671 m ²
Speed, Dynamic Operation Range	6.7-17.5	5.6-14.0	4.9-12.0
Rotational Direction	Clockwise (front view)		
Orientation	Upwind		
Tilt	6°		
Hub Coning	4°	4°	5.5°
No. of Blades	3		
Aerodynamic Brakes	Full feathering		

Table 3-1: Rotor data

3.2 Blades

The blades are made of carbon and fibreglass and consist of two airfoil shells bonded to a supporting beam or with embedded structure.

Blades	V117	V136	V150
Type Description	Airfoil shells bonded to supporting beam	Prepreg or infused structural airfoil shell	Prepreg or infused structural airfoil shell
Blade Length	57.15 m	66.66 m	73.66 m
Material	Fibreglass reinforced epoxy, carbon fibres and Solid Metal Tip (SMT)		
Blade Connection	Steel roots inserted		
Airfoils	High-lift profile		
Maximum Chord	4.0 m	4.1 m	4.2 m
Chord at 90% blade radius	1.1 m	1.2 m	1.4 m

Table 3-2: Blades data

T05



DOCUMENT:
[0068-0935] VER 00

DESCRIPTION:
4MW RPM curves

RESTRICTED

Original Instruction: T05 0068-0935 VER 00

4MW RPM curves

V117 – 4.0/4.2MW

V136 – 4.0/4.2MW

V150 – 4.0/4.2MW



DMS 00091 VER 00

T05 0068-0935 Ver 00 - Approved - Exported from DMS: 2017-08-01 by MHEIT

2. Average rotor speed vs. wind speed

	V117	V136	V150
	4.0/4.2MW	4.0/4.2MW	4.0/4.2MW
Wind Speed [m/s]	Speed [RPM]	Speed [RPM]	Speed [RPM]
3.0	6.17	5.09	4.89
3.5	6.17	5.09	4.89
4.0	6.28	5.31	5.03
4.5	6.81	5.95	5.60
5.0	7.59	6.60	6.21
5.5	8.34	7.25	6.83
6.0	9.08	7.91	7.44
6.5	9.84	8.57	8.09
7.0	10.61	9.22	8.68
7.5	11.36	9.88	9.29
8.0	12.11	10.44	9.87
8.5	12.84	10.73	10.25
9.0	13.34	10.79	10.36
9.5	13.55	10.80	10.37
10.0	13.58	10.80	10.37
10.5	13.58	10.80	10.37
11.0	13.58	10.80	10.37
11.5	13.58	10.80	10.37
12.0	13.58	10.80	10.37
12.5	13.58	10.80	10.37
13.0	13.58	10.80	10.37
13.5	13.58	10.80	10.37
14.0	13.58	10.80	10.37
14.5	13.58	10.80	10.37
15.0	13.58	10.80	10.37
15.5	13.58	10.80	10.37
16.0	13.58	10.80	10.37
16.5	13.58	10.80	10.37
17.0	13.58	10.80	10.37
17.5	13.58	10.80	10.37
18.0	13.58	10.80	10.37
18.5	13.58	10.80	10.37
19.0	13.58	10.80	10.37
19.5	13.58	10.80	10.37
20.0	13.58	10.80	10.37
20.5	13.58	10.80	10.37
21.0	13.58	10.80	10.37
21.5	13.58	10.80	10.37
22.0	13.58	10.80	10.37
22.5	13.58	10.80	10.37
23.0	13.58	10.80	
23.5	13.58	10.80	
24.0	13.58	10.80	
24.5	13.58	10.80	
25.0	13.58	10.80	

3. Average generator speed vs. wind speed

	V117	V136	V150
	4.0/4.2MW	4.0/4.2MW	4.0/4.2MW



DELTA GENERATION

**PROVEN TECHNOLOGY –
AT A NEW STAGE OF EVOLUTION**



N100/3300 N131/3600
N117/3600 N131/3900
N131/3300

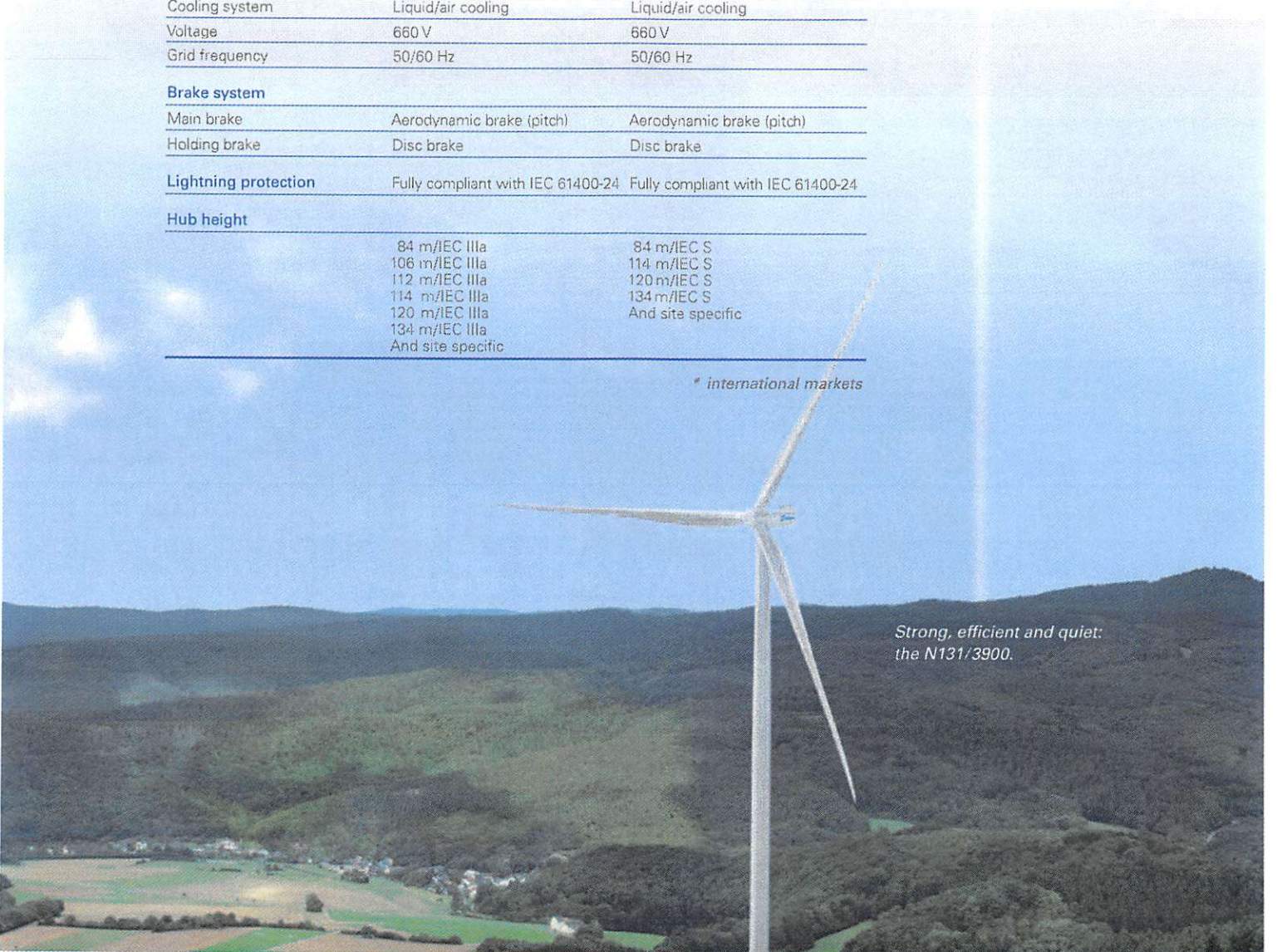


TECHNICAL DATA

	*N131/3300 IEC	N131/3900
Operating data		
Rated power	3,300 kW	3,900 kW
Cut-in wind speed	3.0 m/s	3.0 m/s
Cut-out wind speed	25 m/s	25 m/s
Rotor		
Diameter	131.0 m	131.0 m
Swept area	13,478 m ²	13,478 m ²
Operating range rotational speed	7.5–13.6 rpm	7.9–14.4 rpm
Rated rotational speed	11.2 rpm	12.6 rpm
Tip speed	76.9 m/s	86.2 m/s
Speed control	Variable via microprocessor	Variable via microprocessor
Overspeed control	Pitch angle	Pitch angle
Gearbox		
Type	3-stage gearbox (planetary-planetary-spur gear)	3-stage gearbox (planetary-planetary-spur gear)
Generator		
Construction	Doubly fed asynchronous generator	Doubly fed asynchronous generator
Cooling system	Liquid/air cooling	Liquid/air cooling
Voltage	660 V	660 V
Grid frequency	50/60 Hz	50/60 Hz
Brake system		
Main brake	Aerodynamic brake (pitch)	Aerodynamic brake (pitch)
Holding brake	Disc brake	Disc brake
Lightning protection		
	Fully compliant with IEC 61400-24	Fully compliant with IEC 61400-24
Hub height		
	84 m/IEC IIIa 106 m/IEC IIIa 112 m/IEC IIIa 114 m/IEC IIIa 120 m/IEC IIIa 134 m/IEC IIIa And site specific	84 m/IEC S 114 m/IEC S 120 m/IEC S 134 m/IEC S And site specific

* international markets

Strong, efficient and quiet:
the N131/3900.



The **POWER PACKAGE**
for successful projects



NORDEX

DELTA4000

**MAXIMUM FLEXIBILITY.
MAXIMUM OUTPUT.**



N149/4.0-4.5
N133/4.8



NORDEX



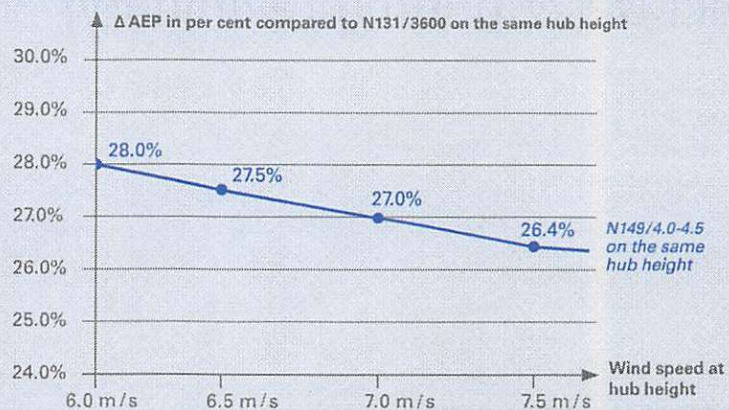
acciona
Windpower

TECHNICAL DATA

N149 / 4.0-4.5	
Operating data	
Rated power	4,000–4,500 kW
Cut-in wind speed	3 m/s
Cut-out wind speed	20 m/s (26 m/s)*
Rotor	
Diameter	149.1 m
Swept area	17,460 m ²
Operating range rotational speed	6.4–12.3 rpm
Rated rotational speed	9.8–11.0 rpm
Tip speed	76.5–86.0 m/s
Speed control	Variable via microprocessor
Overspeed control	Pitch angle
Gearbox	
Type	3-stage gearbox (planetary-planetary-spur gear)
Generator	
Construction	Doubly fed asynchronous generator
Cooling system	Liquid/air cooling
Voltage	660 V
Grid frequency	50/60 Hz
Brake system	
Main brake	Aerodynamic brake (pitch)
Holding brake	Disc brake
Lightning protection	Fully compliant with IEC 61400-24
Hub height	
	105 m/IEC S, DIBt S 125 m/IEC S, DIBt S 164 m/IEC S, DIBt S And site specific

* optional site-specific adjustment up to 26 m/s

Compared to the N131 / 3600, the N149 / 4.0-4.5 generates additional annual yields of up to 28 per cent.



Calculation of AEP based on air density of 1.225 kg/m³, wind shear of 0.2 and Weibull shape parameter of $k = 2.0$



Senvion 3.7M140 EBC

[50Hz]

Product Description (preliminary)

2 Mechanical System

2.1 Rotor

The rotor consists of three rotor blades that are flange-mounted on the cast hub via a pivoted double row four-point contact bearing. The rotor blades can thus be adjusted along their linear axis via electrical pitch drives that rotate with the blades. The electrical blade pitch is used to limit the rotational speed of the rotor and the power output. Furthermore, the pitch system is the main brake of the WTG. In order to ensure the continued operation of the blade adjustment in the event of a power failure or malfunction, each blade has its own, independent storage battery set that rotates with the blade.

In the partial load range, i.e. when the WTG is operated below the rated power, the turbine works at a constant blade pitch and variable speed to exploit the optimum rotor aerodynamics. Within the nominal load area, i.e. when the WTG has reached its maximum rotor speed, it operates with a constant nominal torque which is given by the generator. Changes of the wind speed are controlled by the blade pitch. Wind energy from strong gusts can be stored by an acceleration of the rotor and only then converted into damped electrical energy via the blade pitch and fed into the grid.

The use of the "tilted-cone" concept with a 4° tilted blade connection on the hub and pre-bent rotor blades in conjunction with a 5° incline of the whole drive train allow an extremely short overhang of the nacelle between the rotor and the tower. This provides a good weight balance of the whole nacelle and a safe load transfer into the tower top without transmitting a high flux of force over a long distance via the main frame.

In case of a major component replacement near the drive train the rotor may remain in the wind turbine (see also chapter Suspension Concept [► Page 9]).

To assist with maintenance work at the rotor hub it is accessible directly from the nacelle through openings between the blade root connections.

Technical Data Rotor	
Rotor diameter	140 m
Swept area	15,394 m ²
Speed range	6.3 to 9.55 (+25%) min ⁻¹
Rotor axis inclination	5°
Rotor cone angle	4°
Sense of rotation	clockwise (right)
Rotor position	upwind

2.1.1 Rotor Blades

The blade design of the Senvion 3.7M140 EBC combines a rigid structure, capable of even withstanding strong gusts, with a lightweight construction to minimize the transfer of forces onto the nacelle. This is made possible by using a sandwich construction from glass-fiber reinforced plastic (GRP) with the necessary material properties.

The rotor blades of the Senvion 3.7M140 EBC have been adjusted with a view to improved aerodynamic efficiency and a further reduction in noise emissions. To ensure aerodynamic performance and stability, as well as the noise emissions of the Senvion 3.7M140 EBC, vortex generators and additional sound reducing components are used.

A special blade coating protects them against the negative effects of UV radiation and moisture. To prevent erosion the blade leading edges are further protected by additional measures (e.g., anti-erosion film etc.).

The rotor blades are in the blade color light gray (RAL 7035), a bright standard color for the tower and the nacelle also. This reduces the effects of reflections without affecting the power characteristic of the Senvion 3.7M140 EBC. The rotor blade can optionally have rotor blade markings applied.

Senvion GmbH reserves the right to select and modify, at its sole discretion, the manufacturer or type of blades without consulting the customer.

Technical Data Rotor Blade	
Number of rotor blades	3
Rotor blade length	68.5 m
Rotor blade material	Glass-fiber reinforced plastic (GFRP) in sandwich construction
Rotor blade color	light grey (RAL 7035)

2.1.2 Blade Pitch System

The rotor blades are connected to the rotor hub via the blade bearings in a pivotable manner and can be adjusted individually around the longitudinal axis using the pitch system. For this purpose each rotor blade has its own pitch system. The co-rotating blade pitch drives are designed as DC motors and act via the planetary gearbox and pinion on the external gearing of the bearing.

A quickly operating synchronizing controller is used to synchronize the individual pitch systems. To ensure safe operation also during grid failure or a fault, each rotor blade has its own co-rotating battery set.

Technical Data Blade Pitch System	
Principle	Electrical pitch system for each rotor blade
Power control	Pitch angle and speed control
Pitch drives	DC motors, battery bufferd, synchronized

2.2 Nacelle

To meet the demand for an innovative wind turbine, the nacelle of the Senvion 3.7M140 EBC has – as with all current Senvion wind turbines – been designed by a renowned designer. The result is an aerodynamically adapted design that, based on existing experience, offers improvements for service and maintenance. Maintenance can be performed with the nacelle closed, but it can also be partially opened for major component replacements.

The entry from the tower into the nacelle can be obtained via one hatch in the main frame. An additional maintenance platform has been installed to reach the components below the main frame.

All systems can be operated via the control system from the nacelle. An emergency stop push-button has been installed for safety. All rotating/moving parts within the nacelle are generally protected by covers to prevent the risk of injury.

Glass-fibre reinforced plastic (GRP) has been chosen as material for the nacelle enclosure, as it offers a reliable protection and is lightweight. The nacelle enclosure also has the additional functions of noise insulation and maintaining the operating temperature.

The 4.2M148 EBC. Optimized for low wind locations.



The Senvion 3.XM and 4.XM series

The 3.XM and 4.XM series combine all the best features of our onshore portfolio. With a modular technology concept, a wide range of turbine types, rotor diameters and project-specific hub heights, they ensure the best match for every project and optimized yield at every location. Our continuous, evolutionary development based on proven, robust designs results in highly reliable turbines delivering high yields at a low LCOE. The Eco Blade Control models within the 3.XM and 4.XM series are specifically designed for higher yields at low-wind sites, have a longer operating life and feature low sound-power levels.

SENVION
We make wind perform.

Technical data

Design Data

Nominal power (kW)	4,200
Cut-in wind speed (m/s)	3.0
Cut-out wind speed (m/s)	22.0
Operating temperature range (°C)	-20 to +45*

Certification

Hub height (m)	Wind class	DIBt wind zone	Transformer
project specific	IEC S (based on IIIB)	–	ITS

Rotor

Diameter (m)	148.0
Rotor area (m ²)	17,203
Power control	Electrical pitch system

Rotor Blade

Length (m)	72.5
Type	GRP

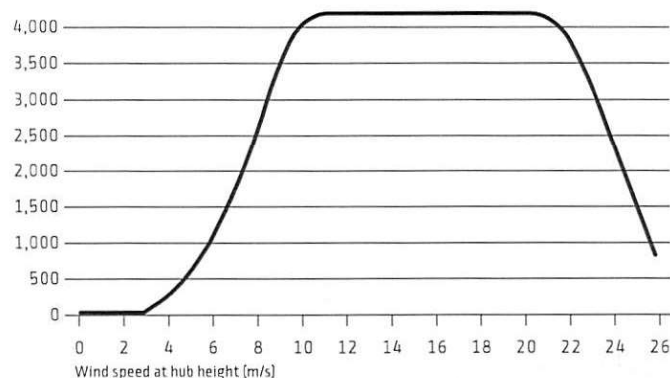
Electrical System

Nominal Frequency (Hz)	50/60
Converter type	Full converter with DC intermediate circuit
Generator	Squirrel cage induction generator
Generator protection class	IP 54

Sound Power Level

Max. sound power level (dB (A))	105.0
Sound management	various

Power Curve



* de-rating above 35 °C possible

Senvion GmbH

Überseering 10
22297 Hamburg
Germany
T +49 40 5555 090-0
F +49 40 5555 090-3999
info@senvion.com
www.senvion.com



Published by and copyright © 2018 Senvion GmbH. All rights reserved.

Any reproduction, either partial or in total, is prohibited without the prior written consent of the copy right holder. This non-binding document is intended for information and advertising purposes only and does not constitute, nor does it form part of any offer or invitation to conclude an agreement. All information contained herein is subject to change without prior notice. Publisher assumes no liability for any consequences arising from the use of the abovementioned information. The publications of this information shall neither convey nor imply any patent license or any other intellectual property rights.

Provisional Product Specification

4.2M148 EBC/50Hz

Further we have the following information regarding the rotational speed of the 4.2M148 turbine:

2 Technical Specifications

Rotor	Value	Unit
Diameter	148	m
Swept rotor area	17,203	m ²
Nominal speed	approx. 10	rpm
Rotor axis inclination	5	°
Rotor cone angle	4	°
Direction of rotation	clockwise (right)	
Rotor position	upwind	

Please don't hesitate to contact me when you have further questions.

Provisional

Bijlage II

Berekening beoordeling risicozonering met nummering van de formules uit het Handboek

4.1 Werpafstanden en kansdichtheden

a. Formules

Ballistisch model zonder luchtkrachten – bijlage C

$$(2.1.3) \quad \begin{aligned} x(t) &= |R_z \cos \alpha - \Omega R_z t \sin \alpha| \\ \text{locatie zwaartepunt op tijd } t \quad z(t) &= H + R_z \sin \alpha + \Omega R_z t \cos \alpha - \frac{gt^2}{2} \end{aligned}$$

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

tijdstip grond raken

Waarin:

$x(t)$: horizontale afstand ten opzichte van de windturbine op tijdstip t [m]

Ω : toerental van de rotor [rad/s]

R_z : afstand zwaartepunt van bladdeel tot centrum [m]

α : azimuthhoek [rad]

$z(t)$: locatie zwaartepunt ten opzichte van het maaiveld op tijdstip t [m]

t : tijdstip [s]

H : hoogte rotoras boven het maaiveld [m]

g : gravitatieconstante (9,81 m/s²)

t_i : tijdstip waarop zwaartepunt de grond raakt ($z(t_i) = 0$)

In bijlage B van het Handboek is gegeven:

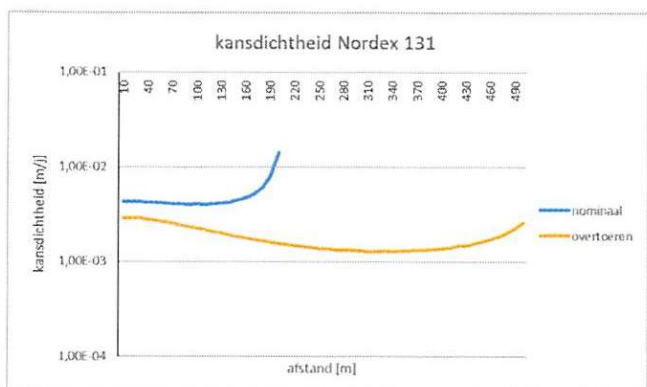
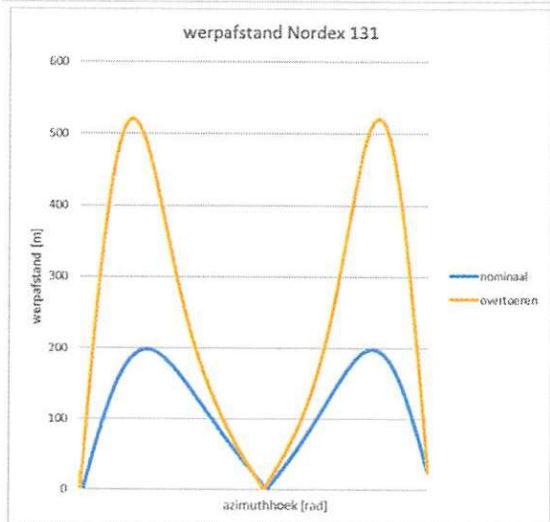
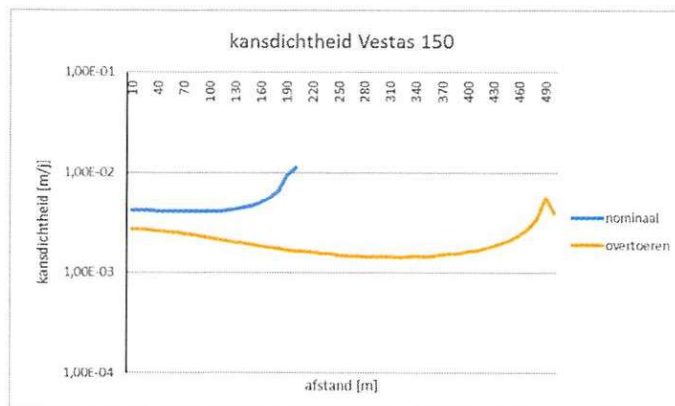
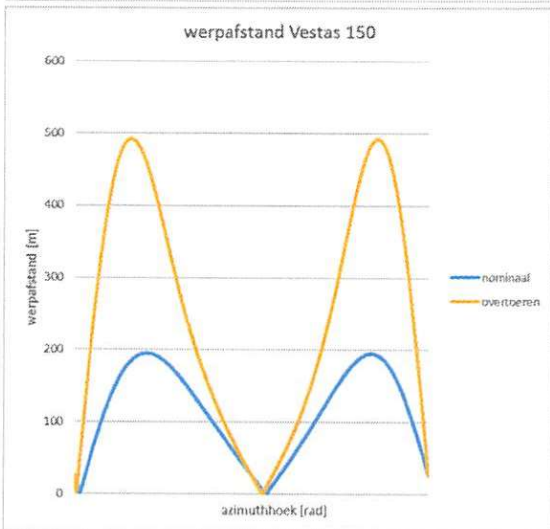
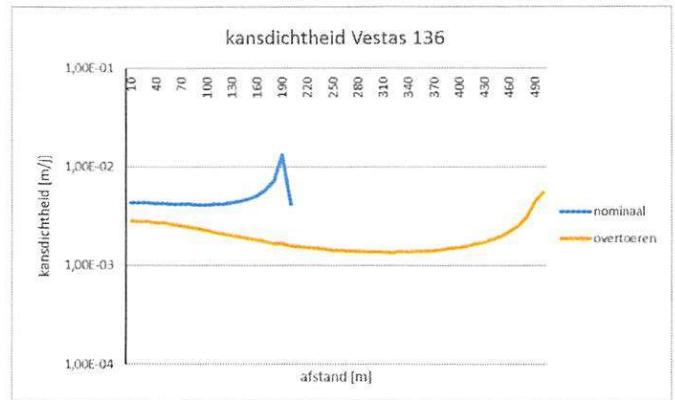
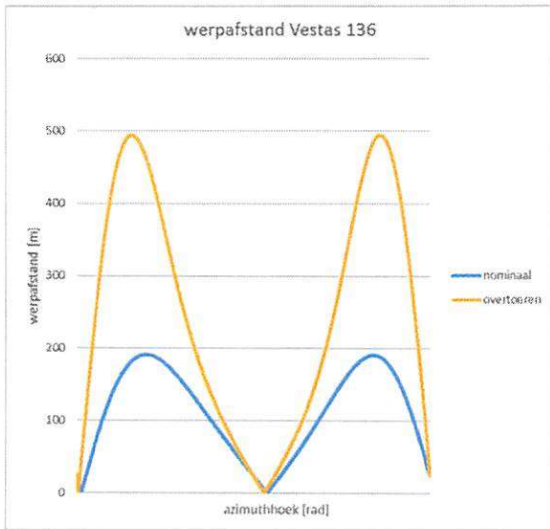
$$R_z = c_4 \cdot D$$

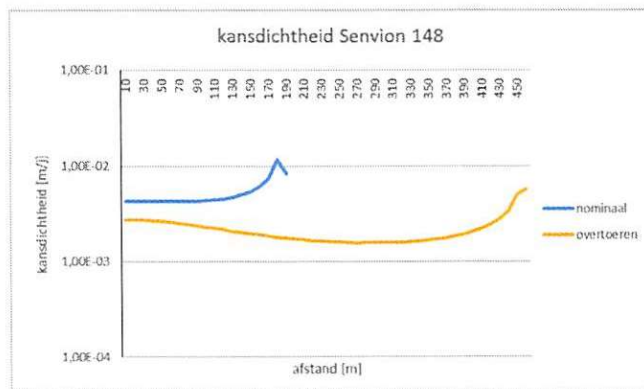
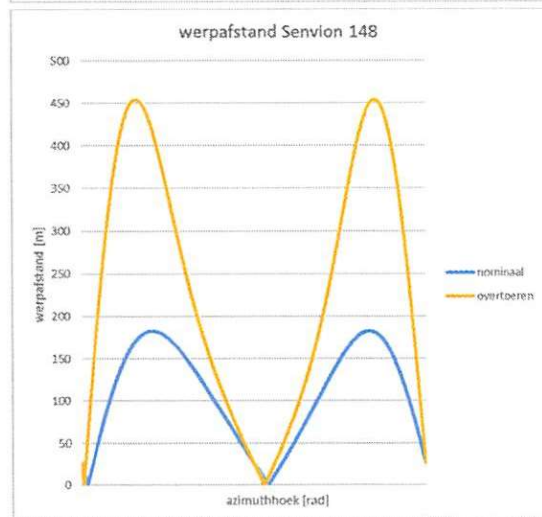
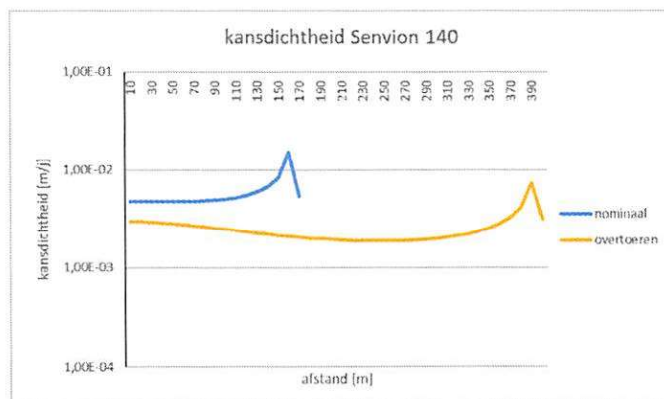
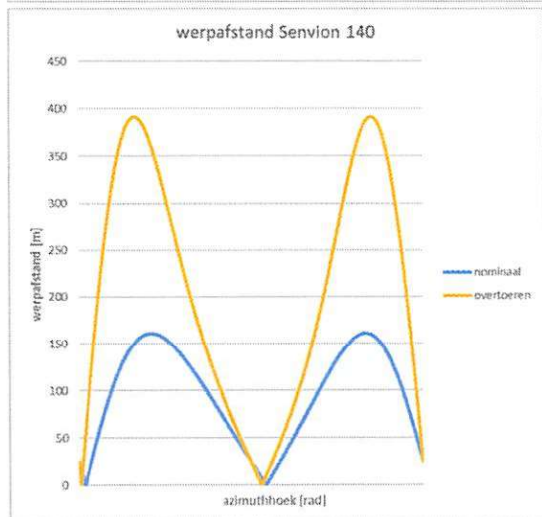
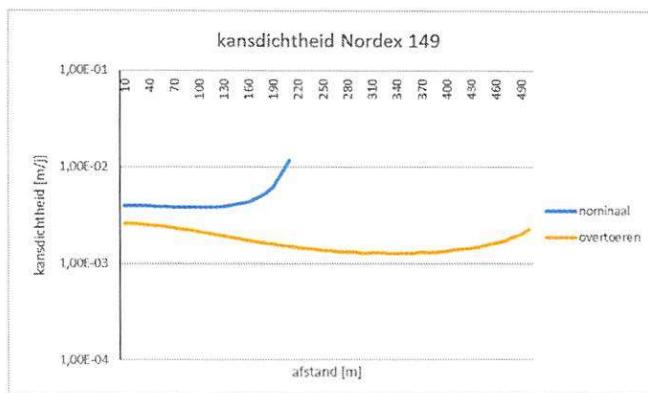
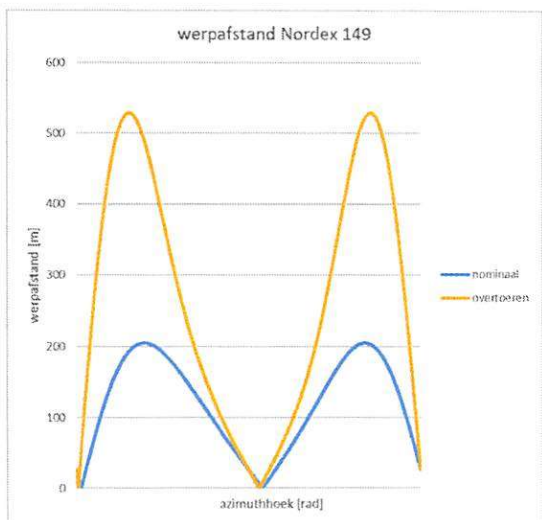
Met c_4 (constante voor IEC-1 klasse): 0,18 [-] en D (rotordiameter) gegeven in Tabel II.1 [m].

b. Resultaten

Tabel II.2 Berekende maximale werpafstanden (nominaal en overtoeren)

Turbine	Maximale werpafstand (nominaal)	Maximale werpafstand (overtoeren)
Vestas 136	191 meter	494 meter
Vestas 150	194 meter	492 meter
Nordex 131	197 meter	520 meter
Nordex 149	205 meter	529 meter
Senvion 140	161 meter	391 meter
Senvion 148	182 meter	454 meter





4.4 Wegen

a. Formules bladbreuk wegen

De trefkans P_w dat een passant op een weg wordt geraakt door een afgebroken blad wordt gegeven door:

$$(3.2.1) \quad P_w = F_a \int P_{zwpt}(s) ds \text{ oftewel } P_w = F_a * f * P_{zwpt} * s$$

$$(3.2.4) \quad F_a = \frac{1}{v_0} \frac{1}{365 \cdot 24 \cdot 3600} 1,5 \cdot A_c$$

Waarin:

P_w : kans dat weg wordt getroffen [/jaar]

F_a : factor die de snelheid van een passant en de hoogte van een object in relatie tot de hoek waaronder een bladdeel met kritisch oppervlak A_c naar beneden komt [m]

P_{zwpt} : kans dat zwaartepunt blad terechtkomt [/m²/jaar]

f : algemene faalfrequentie bladbreuk uit het Handboek [/jaar]; $8,40 \cdot 10^{-4}$ (nominaal) en $5,00 \cdot 10^{-6}$ (overtoeeren) /jaar.

s : weglengte binnen maximale werpafstand [m]

A_c : kritisch oppervlak [m²]

v_0 : snelheid passant [m/s]; 60 km/uur; 16,67 m/s

D : rotordiameter [meter]; gegeven in Tabel II.1

In bijlage B van het Handboek is gegeven:

$$A_c = 1,1 \cdot C_5 \cdot D^{C_6}$$

Met C_5 (constante voor IEC-1 klasse): 0,029 [-]

C_6 (constante voor IEC-1 klasse): 1,81 [-]

b. Resultaten bladbreuk wegen

De kansdichtheid P_{zwpt} (per m/jaar) van het neerkomen van een afgebroken bladdeel wordt berekend voor 75 m afstand t.o.v. de windturbine. Omdat de minimale afstand tot de weg 80 meter is, wordt 75 m aangehouden (met een marge van ± 5 meter) als *worst case* minimale afstand waar het bladdeel terecht kan komen.

Voor het segment van de cirkel op een afstand (straal) van 75 m levert dit een kans op bij respectievelijk nominaal toerental en overtoeren van (voorbeeld van Vestas136):

Nominaal toerental: $P_{zwpt} = \frac{1}{2 * \pi * 75} * 4,17 \cdot 10^{-3} = 8,85 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2\text{/jaar]}$

Overtoeeren: $P_{zwpt} = \frac{1}{2 * \pi * 75} * 2,44 \cdot 10^{-3} = 5,18 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2\text{/jaar]}$

Tabel II.3 Berekende waarden van kritisch oppervlak, factor F_a en kansdichtheid op 75 meter (nominaal en toerental)

Turbintype	Ac: Kritisch oppervlak [m]	F_a , weg [m]	P_{zwpl} : kansdichtheid dat zwaartepunt blad terechtkomt op 75 meter, bij nominaal toerental [$m^2/jaar$]	P_{zwpl} : kansdichtheid dat zwaartepunt blad terechtkomt op 75 meter, bij overtoeren toerental [$m^2/jaar$]
Vestas 136	232	$6,62 \cdot 10^{-7}$	$8,85 \cdot 10^{-6}$	$5,18 \cdot 10^{-6}$
Vestas 150	277	$7,91 \cdot 10^{-7}$	$8,55 \cdot 10^{-6}$	$4,99 \cdot 10^{-6}$
Nordex 131	217	$6,19 \cdot 10^{-7}$	$8,62 \cdot 10^{-6}$	$5,14 \cdot 10^{-6}$
Nordex 149	274	$7,82 \cdot 10^{-7}$	$8,19 \cdot 10^{-6}$	$4,86 \cdot 10^{-6}$
Senvion 140	245	$6,98 \cdot 10^{-7}$	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$5,56 \cdot 10^{-6}$
Senvion 148	270	$7,72 \cdot 10^{-7}$	$9,10 \cdot 10^{-6}$	$5,16 \cdot 10^{-6}$

Bij de gekozen afstand van 75 m tot de weg (PR10⁻⁵ contour), is de weglengte s binnen de maximale werpafstand (integraal van S) gegeven door (voorbeeld van Vestas136):

$$S, \text{ weglengte nominaal} = 2 * (191^2 - 75^2)^{0,5} = 350 \text{ [m]}$$

$$S, \text{ weglengte overtoeren} = 2 * (494^2 - 75^2)^{0,5} = 977 \text{ [m]}$$

Dit levert een trefkans P_w op voor zowel het nominale als overtoeren toerental ($P_{w\text{nominaal}}$ en $P_{w\text{overtoeren}}$). De $P_{w\text{totaal}}$ is dan de som van $P_{w\text{nominaal}}$ en $P_{w\text{overtoeren}}$: zie tabel III.3.

Tabel II.3 Berekende waarden van trefkans bladbreuk bij wegen

Turbintype	Integraal S_{nominaal}	Integraal $S_{\text{overtoeren}}$	$P_{w\text{nominaal}}$: trefkans, bij nominaal toerental [$/jaar$]	$P_{w\text{overtoeren}}$: trefkans, bij overtoeren toerental [$/jaar$]	$P_{w\text{totaal}}$: trefkans totaal [$/jaar$]
Vestas 136	350	977	$1,72 \cdot 10^{-12}$	$1,68 \cdot 10^{-14}$	$1,74 \cdot 10^{-12}$
Vestas 150	359	973	$2,04 \cdot 10^{-12}$	$1,92 \cdot 10^{-14}$	$2,06 \cdot 10^{-12}$
Nordex 131	365	1030	$1,63 \cdot 10^{-12}$	$1,64 \cdot 10^{-14}$	$1,65 \cdot 10^{-12}$
Nordex 149	382	1047	$2,05 \cdot 10^{-12}$	$1,99 \cdot 10^{-14}$	$2,07 \cdot 10^{-12}$
Senvion 140	284	767	$1,71 \cdot 10^{-12}$	$1,49 \cdot 10^{-14}$	$1,72 \cdot 10^{-12}$
Senvion 148	332	896	$1,96 \cdot 10^{-12}$	$1,78 \cdot 10^{-14}$	$1,98 \cdot 10^{-12}$

c. Formules mastbreuk wegen

De kans dat een passant wordt geraakt door een gebroken mast, wordt gegeven door P_r .

$$(5.2.3) \quad P_r = P_{mb} \cdot \frac{1}{2\pi} \left[\beta + 2 \frac{\alpha}{2} \right]$$

$$P_r = P_{mb} \cdot \frac{1}{2\pi} \left[2 \cdot \cos^{-1} \left(\frac{d}{H + D/2} \right) + 2 \cdot \sin^{-1} \left(\frac{D}{2H} \right) \right]$$

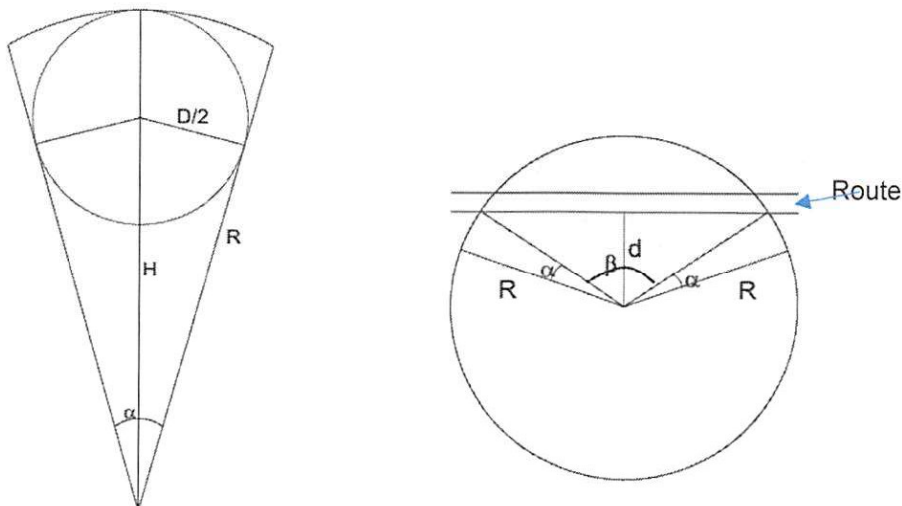
Waarin:

P_r : kans dat nabijgelegen infrastructuur getroffen wordt door omvallende turbine [/jaar]

d : afstand tussen turbine en de infrastructuur [m];

P_{mb} : kans op mastbreuk (1/jaar); $1,30 \cdot 10^{-4}$ /jaar (gegeven in het Handboek).

En de volgende maten (D , R , α , β en H) worden gebruikt zoals weergegeven in de figuur hieronder:



Maatvoering in vooraanzicht (links) en bovenaanzicht (rechts) van turbine en route

$$(5.2.5) \quad \tau = \frac{0,3}{v_0} \frac{1}{365 \cdot 24 \cdot 3600}$$

Waarin:

τ : verblijfsfactor

L_0 : lengte van het passerende object [m]; voor passanten geldt 0,3 m.

v_0 : snelheid van het passerende object [m/s]; $60 \text{ km/u} = 17 \text{ m/s}$.

d. Resultaten mastbreuk wegen

Bij een afstand van een route tot de windturbine kleiner dan ashoogte + halve rotordiameter, kan een mast bij passanten raken. De kans dat dit gebeurt wordt gegeven door P_r (formules weergegeven in 0).

De kans op mastbreuk P_{mb} bedraagt $1,30 \cdot 10^{-4}$. De kans dat een passant op de weg wordt getroffen door een mastbreuk wordt beschreven door P_r , en gegeven voor alle windturbines in tabel II.4.

Tabel II.4 Berekende waarden van trefkans mastbreuk bij wegen

Turbinetype	Pr (/jaar)
Vestas 136	$7,00 \cdot 10^{-5}$
Vestas 150	$7,13 \cdot 10^{-5}$
Nordex 131	$6,93 \cdot 10^{-5}$
Nordex 149	$7,13 \cdot 10^{-5}$
Senvion 140	$7,00 \cdot 10^{-5}$
Senvion 148	$7,10 \cdot 10^{-5}$

e. Formules IPR en MR wegen

$$\text{IPR} = P_{w,\text{totaal}} + P_r$$

$$\text{MR} = \text{IPR} \cdot \text{aantal autopassage}$$

Daarnaast is het maatschappelijk risico (MR) berekend door het aantal autopassages te vermenigvuldigen met het IPR. Hierbij is ervanuit gegaan dat er 5.000 passages per dag. Oftewel 1.8250.000 passages per jaar zijn.

f. Resultaten IPR en MR wegen

Tabel II.5 Individueel passanten risico en maatschappelijk risico

Berekening MR	IPR per turbine [/j]	IPR, vier turbines [/j]	MR, vier turbines
Vestas 136	$1,78 \cdot 10^{-12}$	$7,13 \cdot 10^{-12}$	$1,30 \cdot 10^{-5}$
Vestas 150	$2,10 \cdot 10^{-12}$	$8,38 \cdot 10^{-12}$	$1,53 \cdot 10^{-5}$
Nordex 131	$1,69 \cdot 10^{-12}$	$6,76 \cdot 10^{-12}$	$1,23 \cdot 10^{-5}$
Nordex 149	$2,11 \cdot 10^{-12}$	$8,45 \cdot 10^{-12}$	$1,54 \cdot 10^{-5}$
Senvion 140	$1,76 \cdot 10^{-12}$	$7,05 \cdot 10^{-12}$	$1,29 \cdot 10^{-5}$
Senvion 148	$2,02 \cdot 10^{-12}$	$8,07 \cdot 10^{-12}$	$1,47 \cdot 10^{-5}$

4.5 Vaarwegen

a. Formules bladbreuk vaarwegen

Hiervoor gelden dezelfde formules als 4.4 A) Formules bladbreuk wegen, namelijk:

$$(3.2.1) \quad P_w = F_a * f * P_{zwpt} * S$$

$$(3.2.3) \quad F_a = \frac{L_0}{v_0} \frac{1}{365 \cdot 24 \cdot 3600} (1,5 \cdot b_0 + \frac{2}{3} L_b)$$

Waarin:

f: initiële faalfrequentie volgens Handleiding Risicoanalyse Transport (HART) voor Amsterdam-Rijnkanaal, tracé 2 (ARK_2); $2,81 \cdot 10^{-7}$ / voertuigkm

L₀: de lengte van een schip plus de remweg (135 m resp. 500 m); 635m

v₀: de minimale snelheid van de schepen; 5 km/h = 1,4 m/s

b₀: de breedte van het schip; 17 m

L_b: bladlengte; zoals gegeven per turbine in Bijlage I.

b. Resultaten bladbreuk vaarwegen

De weglengte of segment (S) wordt bij vaarwegen gegeven, door:

S, vaarweg segment bladbreuk = $2 * (\text{maximale werpafstand blad bij nominaal toerental}^2 - \text{minimale afstand windturbine tot vaarweg}^2)^{0,5}$

S, vaarweg segment mastbreuk = $2 * ((H+D/2)^2 - \text{minimale afstand windturbine tot vaarweg}^2)^{0,5} = 380$ [m]

De minimale afstand van de windturbine tot de vaarweg is 105 m.

Tabel II.6 Berekende waarden van trefkans bladbreuk bij vaarwegen

Turbinetype	F _a , vaarwegen [m]	S, vaarweg segment bladbreuk [m]	S, vaarweg segment mastbreuk [m]	P _{zwpt} ; kans dat zwaartepunt blad terechtkomt op 105 meter, bij nominaal toerental [1/m ² /jaar]	P _{zwpt} ; kans dat zwaartepunt blad terechtkomt op 105 meter, bij overtoeren toerental [1/m ² /jaar]	P _{zwpt} , constant langs vaartracé: de totale kans dat zwaartepunt blad terechtkomt op 105 meter [1/m ² /jaar]	P _{w,t} : trefkans bladbreuk [1/passage. km/ jaar]
Vestas 136	1,01.10 ⁻³	318	380	6,32.10 ⁻⁶	3,30.10 ⁻⁶	9,63.10 ⁻⁶	3,11.10 ⁻⁹
Vestas 150	1,08.10 ⁻³	327	434	6,20.10 ⁻⁶	3,23.10 ⁻⁶	9,43.10 ⁻⁶	3,34.10 ⁻⁹
Nordex 131	9,92.10 ⁻⁴	334	365	6,08.10 ⁻⁶	3,26.10 ⁻⁶	9,34.10 ⁻⁶	3,09.10 ⁻⁹
Nordex 149	1,07.10 ⁻³	353	428	5,88.10 ⁻⁶	3,15.10 ⁻⁶	9,03.10 ⁻⁶	3,41.10⁻⁹
Senvion 140	1,03.10 ⁻³	244	409	7,91.10 ⁻⁶	3,67.10 ⁻⁶	1,16.10 ⁻⁵	2,91.10 ⁻⁹
Senvion 148	1,07.10 ⁻³	298	429	6,68.10 ⁻⁶	3,38.10 ⁻⁶	1,01.10 ⁻⁵	3,20.10 ⁻⁹

⁴ Zie ook formule 5.2.3: mast straal R = H + D/2

c. Formules mastbreuk vaarwegen

P_s is de kans dat een passerend schip wordt getroffen door een falende turbine. De formule komt overeen met formule 5.2.3 uit bijlage II 4.4. Formules mastbreuk wegen: P_s is gelijk aan P_r .

d. Resultaten mastbreuk vaarwegen

Tabel II.7 Berekende waarden van trefkans mastbreuk bij vaarwegen

Turbintype	$P_{w,m}$: trefkans mastbreuk [/passage. km/ jaar]
Vestas 136	$3,51 \cdot 10^{-10}$
Vestas 150	$4,14 \cdot 10^{-10}$
Nordex 131	$3,32 \cdot 10^{-10}$
Nordex 149	$4,08 \cdot 10^{-10}$
Senvion 140	$3,80 \cdot 10^{-10}$
Senvion 148	$4,07 \cdot 10^{-10}$

e. Totale toename faalfrequentie resultaten

Tabel II.8 Berekende waarden van trefkans totaal bij vaarwegen

Turbintype	$P_{w,totaal}$: trefkans totaal [/jaar]	$P_{w,totaal}$: trefkans totaal, per 2 windturbines binnen maatgevende kilometer [/jaar]	Percentuele bijdrage aan toename faalfrequentie [%]
Vestas 136	$3,46 \cdot 10^{-9}$	$6,91 \cdot 10^{-9}$	2,47
Vestas 150	$3,75 \cdot 10^{-9}$	$7,50 \cdot 10^{-9}$	2,68
Nordex 131	$3,43 \cdot 10^{-9}$	$6,85 \cdot 10^{-9}$	2,45
Nordex 149	$3,81 \cdot 10^{-9}$	$7,63 \cdot 10^{-9}$	2,72
Senvion 140	$3,29 \cdot 10^{-9}$	$6,58 \cdot 10^{-9}$	2,35
Senvion 148	$3,61 \cdot 10^{-9}$	$7,22 \cdot 10^{-9}$	2,58