



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Actualisatie **rekenmethode** omgevingsveiligheid windturbines

Actualisatie rekenmethode omgevingsveiligheid windturbines

RIVM-rapport 2024-0089

Colofon

© RIVM 2024

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

DOI 10.21945/RIVM-2024-0089

S. Versluis, MSc (auteur), RIVM

J.H.J. Wijten (auteur), RIVM

H.J. Manuel (auteur), RIVM

Contact:

Sylvia Versluis

Milieu en Veiligheid, Centrum Veiligheid

omgevingsveiligheid@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat in het kader van project I/123003/24/wt

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Actualisatie rekenmethode omgevingsveiligheid windturbines

Ongelukken met windturbines kunnen gevaarlijk zijn voor mensen in de omgeving. Bijvoorbeeld wanneer een windturbine omvalt of een blad afbreekt. De kans op een ongeval is klein. Uit voorzorg heeft Nederland beleid gemaakt om de risico's hiervan te beperken.

De risico's voor de omgeving worden met een rekenmethode ingeschat. Het RIVM heeft de rekenmethode opnieuw bekeken en aangepast, waardoor deze weer beter past bij de windturbines die nu worden geplaatst. Hiermee is Nederland voorbereid op de toekomst. Dat is extra belangrijk, omdat er vanwege de energietransitie steeds meer windturbines nodig zijn.

De aanpassingen zijn nodig omdat de oude rekenmethode niet meer goed aansloot bij de technische ontwikkelingen van de nieuwste windturbines. Ze zijn bijvoorbeeld groter geworden en hebben meer beveiligingssystemen om ongevallen te voorkomen. Hierdoor is de kans op een ongeval kleiner geworden, maar kunnen de gevolgen soms groter zijn. Bijvoorbeeld omdat een afgebroken blad nu groter is.

Het RIVM adviseert het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat de aangepaste rekenmethode te gebruiken in het beleid voor veilige plaatsing van windturbines en omgevingsveiligheid. De rekenmethode is relevant voor mensen die werken aan plannen voor de ruimtelijke ordening, zoals nieuwe woonwijken.

Voor dit onderzoek heeft het RIVM informatie verzameld en geanalyseerd over windturbines en welke ongevallen er zijn gebeurd. Op basis daarvan zijn kansen op een ongeval en de effecten daarvan bepaald.

Kernwoorden: windturbines, rekenmethode, externe veiligheid, omgevingsveiligheid

Synopsis

Update to calculation method for risks to surrounding area of wind turbines

Accidents with wind turbines can be dangerous for people in the surrounding area, for instance if a wind turbine falls over or a blade breaks off. The chance of an accident is small. As a precaution, the Netherlands has made policy to limit the risks of this.

The risks to the surrounding area are estimated using a calculation method. RIVM has re-examined the calculation method and updated it, so that it is better suitable for the wind turbines that are now being installed. This prepares the Netherlands for the future. This is particularly important because more and more wind turbines are needed for the energy transition.

The update was necessary because the calculation method no longer suited the technical developments of the latest wind turbines. For instance, they have become larger and have more safeguards to prevent accidents. This has reduced the chance of an accident. In some cases, however the potential consequences of an accident have become worse, for example because a broken-off blade is now larger.

RIVM advises the Ministry of Infrastructure and Water Management to use the updated calculation method to make policy for the safe placement of wind turbines and risks to the surrounding area. The calculation method is relevant for people working on spatial planning, such as plans for new residential areas.

For this study, RIVM collected and analysed information about wind turbines and the accidents that have occurred. Based on this, it determined the probability of an accident and its effects.

Keywords: wind turbines, calculation method, third party, risks to the surrounding area

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 13

- 1.1 Afbakening — 13
- 1.2 Leeswijzer — 14

2 Achtergrond actualisatie rekenmethode — 15

- 2.1 Windturbines in regelgeving — 15
- 2.2 Actualisatie faalscenario's en faalfrequenties — 16
- 2.3 Actualisatie methoden effectbepaling — 17

3 Aanpassingen rekenmethode windturbines — 19

- 3.1 Faalscenario's en faalfrequenties windturbines — 19
- 3.2 Berekenen van het plaatsgebonden risico per scenario — 20
 - 3.2.1 Definities parameters — 20
 - 3.2.2 Nominaal toerental — 20
 - 3.2.3 Bladbreuk — 20
 - 3.2.4 Bladbreuk in delen — 22
 - 3.2.5 Overtoeren — 23
 - 3.2.6 Mastbreuk — 23
 - 3.2.7 Rotorafworp en gondelafworp — 24
- 3.3 Berekenen van de effecten op objecten en buisleidingen — 25
- 3.4 Berekenen van de effecten op ondergrondse buisleidingen — 27

4 Consequenties, conclusies en aanbevelingen — 31

Referenties — 35

Bijlagen — 37

5 Bijlage 1 Actuele rekenmethode met toelichting — 39

Lijst gebruikte parameters en definities — 40

- 5.1 Inleiding — 43
 - 5.1.1 Welke risico's vormen windturbines voor hun omgeving? — 44
- 5.2 Plaatsgebonden risico bij windturbines — 44
- 5.3 Bladbreuk (geheel of in delen) — 45
 - 5.3.1 Inleiding — 45
 - 5.3.2 Bladbreuk scenario's — 45
 - 5.3.3 Methode bladafworp — 46
 - 5.3.4 Trefkansberekeningen bladbreuk — 49
- 5.4 Mastbreuk — 52
 - 5.4.1 Trefkansberekeningen mast — 52
- 5.5 Incidenten binnen de rotordiameter — 55
 - 5.5.1 Scenario's binnen rotordiameter — 55
- 5.6 Incidenten met ondergrondse buisleidingen — 57
 - 5.6.1 Raaktracé — 57
 - 5.6.2 Kritische strook — 59
- 5.7 Module IV - Toelichting — 60
 - 5.7.1 Inleiding — 60

- 5.7.2 Wijzigingen — 61
- 5.7.3 Achtergrondinformatie — 63
- 5.7.4 Inleiding Module IV (toelichting bij Module IV, paragraaf 5.1) — 64
- 5.7.5 Plaatsgebonden risico bij windturbines (toelichting bij Module IV, paragraaf 5.2) — 64
- 5.7.6 Bladbreek (geheel of in delen) (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.3) — 66
- 5.7.7 Mastbreek (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.4) — 73
- 5.7.8 Incidenten binnen de rotordiameter (toelichting bij Module IV, paragraaf 5.5) — 76
- 5.7.9 Incidenten met ondergrondse buisleidingen (toelichting bij Module IV, paragraaf 5.6) — 80
- 5.7.10 Generieke vuistregel PR 10^{-6} -contour — 83

6 Bijlage 2 Samenstelling begeleidingscommissie — 85

7 Bijlage 3 Beoordeling van de rekenmethode — 86

- 7.1 Beoordeling uitgangspunten — 86
 - 7.1.1 Definitie nominaal toerental — 86
 - 7.1.2 Definitie zwaartepunt — 88
 - 7.1.3 Actualisatie faalscenario's en -frequenties — 91
 - 7.1.4 Toevoegen scenario bladbreek in delen — 94
 - 7.1.5 Niet meenemen scenario overtoeren bij maatregelen om de kans op dit scenario te beperken — 96
 - 7.1.6 Aanpassen faalfrequentie overtoeren — 99
 - 7.1.7 Versimpeling kansverdelingsfunctie bladafworp — 101
 - 7.1.8 Uitsluitend rekenen zonder luchtkrachten — 103
 - 7.1.9 Aanpassing rekenmethode voor treffen personen — 105
 - 7.1.10 Bepalen oppervlak blad en bladdelen — 107
 - 7.1.11 Aanpassing rekenmethode voor treffen gebouwen en ruimtelijke objecten — 109
 - 7.1.12 Aanpassing rekenmethode voor treffen wegen en passanten — 112
 - 7.1.13 Toestaan beschermingsfactoren — 114
 - 7.1.14 Rekenmethode scenario mastfalen — 116
 - 7.1.15 Toevoegen tekst over gondel/rotor impact in gehele trefcirkel mastfalen — 118
 - 7.1.16 Rekenmethode trefkans mastfalen — 121
 - 7.1.17 Toevoegen scenario rotorafworp — 123
 - 7.1.18 Meenemen halve mastbreedte bij berekeningen risico's gondel- en rotorafworp — 125
 - 7.1.19 Kleine onderdelen kwalitatief blijven beschouwen — 128
 - 7.1.20 Ijsafworp en ijsval kwalitatief blijven beschouwen — 130
 - 7.1.21 Keuze verplaatsen bovengrondse buisleidingen naar 'ruimtelijke objecten' — 133
 - 7.1.22 Keuze kritische afstand en algemene aanpak ondergrondse buisleidingen gelijk houden — 135
 - 7.1.23 Toelaatbare stress op buisleiding gelijk houden — 138
 - 7.1.24 Massaverdeling over een rotorblad — 140
 - 7.1.25 Keuze toevoegen berekening kinetische energie fractie bij bladworp — 143
 - 7.1.26 Keuze kansverdelingsfunctie vervangen door trefkansbenadering — 145

Samenvatting

Windturbines kunnen een risico vormen voor mensen in de omgeving. Bijvoorbeeld doordat de mast van de windturbine faalt, de rotor of gondel valt, of blad(del)en afbreken. Om de gevolgen van een mogelijk incident met een windturbine te beperken, heeft Nederland beleid gemaakt. Er gelden grenswaarden voor het plaatsen van windturbines in de nabijheid van gebouwen en objecten.

De risico's van een windturbine voor de omgeving worden met een rekenmethode ingeschat. De huidige rekenmethode is beschreven in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV. Deze rekenmethode is in het verleden ontwikkeld op basis van de toen beschikbare informatie over ongevallen met windturbines. De laatste jaren zijn windturbines technisch verder ontwikkeld, met als belangrijke factoren dat er steeds grotere windturbines worden gerealiseerd en dat windturbines meer veiligheidssystemen hebben gekregen. De bestaande rekenmethode is daardoor niet meer representatief voor de huidige windturbines die gerealiseerd worden. Daarnaast komen er door de energietransitie steeds meer windturbines. Er is dan ook behoefte aan een geactualiseerde rekenmethode, gebaseerd op recente, representatieve ongevallen met windturbines.

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft het RIVM gevraagd de rekenmethode voor het bepalen van de omgevingsveiligheidsrisico's van windturbines te actualiseren. Om tot een actuele rekenmethode te komen, heeft het RIVM in 2022 een onderzoek uitgevoerd naar actuele faalscenario's en -frequenties. Daarnaast hebben de adviesbureaus Antea en Pondera een onderzoek uitgevoerd naar de effectmodellering van windturbines. Op basis van beide onderzoeken is gekomen tot een actueel Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV – Windturbines.

De volgende wijzigingen zijn aangebracht:

- Parameters in de rekenmethode zijn geüniformeerd door definities aan te scherpen. Het gaat over:
 - o nominaal toerental;
 - o nominaal vermogen;
 - o zwaartepunt windturbine onderdelen.
- De faalfrequenties zijn geactualiseerd aan de hand van meer jaren aan incidentenstatistiek.
- Het scenario bladbreuk is geactualiseerd door:
 - o Uitsluitend rekenen zonder luchtkrachten op te nemen, zodat de rekenmethode uniformer wordt.
 - o Het scenario bladbreuk in delen toe te voegen.
 - o De formules voor het bepalen van het zwaartepunt van het blad en het bladoppervlak aan te passen.
- De berekening van het passantennisico is aangepast, zodat deze aansluit bij de huidige rekenmethode. Daarnaast is de methode aangescherpt.
- Het scenario gondel-/rotorafworp is opgedeeld in gondelafworp (inclusief rotor) en rotorafworp (zonder gondel).

- De bepaling van trefkansen is geactualiseerd door treffen te beschrijven als direct en indirect treffen.
- De methode voor het berekenen van de impact van vallende onderdelen van windturbines op ondergrondse buisleidingen blijft grotendeels hetzelfde. Het is met name aangepast om dit te laten aansluiten op de actuele rekenmethode om de impact te bepalen.

De wijzigingen hebben consequenties voor de berekende omgevingsveiligheidsrisico's van windturbines. Over het geheel genomen zijn de consequenties als volgt:

- De 10^{-5} -turbine⁻¹-jaar⁻¹-plaatsgebonden risicocontour neemt aanzienlijk af door toepassing van de nieuwe, lagere faalfrequenties;
- De 10^{-6} -turbine⁻¹-jaar⁻¹-plaatsgebonden risicocontour neemt af, doordat door de aangepaste faalfrequenties de berekende PR10⁻⁶-contour eerder komt te liggen op de werpafstand bij nominaal toerental en minder vaak op een tiphogteafstand.
- De maximale effectafstanden nemen toe door het nieuwe scenario bladbreuk in delen. De effectafstand hiervan is groter dan de effectafstand van het scenario bladbreuk bij overtoeren, dat in het huidige rekenvoorschrift de maximale effectafstand geeft. Dit betekent dat er in een grotere radius om de windturbine gekeken moet worden naar potentiële domino-effecten met andere risicovolle objecten. Door deze domino-effecten kan de geactualiseerde rekenmethode in bepaalde situaties zorgen voor knelpunten rondom deze andere risicovolle objecten, die er met de huidige rekenmethode niet zijn.

De geactualiseerde rekenmethode is vergeleken met de kwaliteitscriteria die het RIVM heeft opgesteld voor nieuwe rekenmethoden. Uit de vergelijking blijkt dat de rekenmethode voldoet aan de kwaliteitscriteria. Alleen suggereert de rekenmethode een grotere nauwkeurigheid dan gerechtvaardigd is op basis van de onzekerheid. Dit komt voort uit de beperkte (openbare) data waarop de faalfrequenties en de effectmodellering zijn gebaseerd. Dit is echter inherent aan de rekeninstrumenten voor omgevingsveiligheid. Daarnaast is de toekomstbestendigheid van de rekenmethode een aandachtspunt, omdat windturbines technisch doorontwikkeld blijven worden.

Het onderzoek leidt tot de volgende aanbevelingen:

- Aanbevolen wordt om het actuele Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV aan te wijzen als te hanteren rekenmethode voor het berekenen van de omgevingsveiligheidsrisico's van windturbines.
- Daarnaast wordt aanbevolen om de actuele rekenmethode op te nemen in de rekensoftware Safeti-NL. Door de rekenmethode voor windturbines ook op te nemen in de rekensoftware waarmee de risico's van bedrijven waar risicovolle activiteiten plaatsvinden en ondergrondse buisleidingen berekend worden, kunnen eventuele domino-effecten gemakkelijker bepaald worden.
- Windturbines blijven technisch doorontwikkeld worden. Daarom wordt aanbevolen de scenario's en faalfrequenties regelmatig,

ongeveer eens in de tien jaar, te herzien om deze actueel te houden.

- Ook wordt aanbevolen om nader onderzoek te doen naar de methode voor het berekenen van de impact van vallende onderdelen van windturbines op ondergrondse buisleidingen. De huidige analyse van de rekenmethode om de impact op ondergrondse buisleidingen te bepalen, leverde onvoldoende valide, betrouwbare en toepasbare gegevens op om de rekenmethode te kunnen aanpassen.

1 Inleiding

Windturbines kunnen een risico vormen voor mensen in de omgeving. De huidige rekenmethode om de risico's van windturbines voor de omgeving te berekenen, is beschreven in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV (RIVM, 2020). Deze rekenmethode is in de beginjaren 2000 ontwikkeld, op basis van de toen beschikbare informatie over ongevallen met windturbines. De laatste jaren zijn windturbines technisch verder ontwikkeld, met als belangrijke factoren dat er steeds grotere windturbines worden gerealiseerd en dat windturbines meer veiligheidssystemen hebben gekregen. De bestaande rekenmethode is daardoor niet meer representatief voor de huidige windturbines die gerealiseerd worden. Ook bestaan er in het huidige rekenvoorschrift voor bepaalde scenario's meerdere methoden om de effecten te bepalen. Dit zorgt ervoor dat uitkomsten van risicoanalyses kunnen variëren op basis van de gemaakte keuzes. Daarom is er behoefte aan een geactualiseerde, uniforme rekenmethode, gebaseerd op recente, representatieve ongevallen met windturbines. Die behoefte komt ook voort uit de verwachting dat de komende jaren meer windturbines geplaatst zullen worden. Dit omdat windturbines een rol spelen om de opgave uit het klimaatakkoord van 2019 te halen. Het doel dat hierin is opgenomen, is om in 2030 35 TWh duurzame energie (wind en zon) op land beschikbaar te hebben, ten opzichte van de verwachte 17 TWh in 2030 zonder klimaatakkoord (Klimaatakkoord, 2019)[1].

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) heeft het RIVM gevraagd de rekenmethode voor het bepalen van de omgevingsveiligheidsrisico's van windturbines te actualiseren. Om te komen tot een actuele rekenmethode, heeft het RIVM in 2022 een onderzoek uitgevoerd naar actuele faalscenario's en -frequenties (RIVM, 2022)[2]. Daarnaast hebben de adviesbureaus Antea Group (verder Antea) en Pondera Consult (verder Pondera) een onderzoek uitgevoerd naar de effectmodellering van windturbines (Eskens & Vogelaar, 2024)[3]. In dit rapport worden beide onderzoeken en de daaruit voortvloeiende wijzigingen voor actualisatie van de rekenmethode besproken. Deze wijzigingen zijn ook besproken met een begeleidingscommissie (zie Bijlage 2 Samenstelling begeleidingscommissie) om zo de kennis van stakeholders en experts te kunnen benutten. Voorliggende rapport gaat dus specifiek in op de wijzigingen van de voorgestelde rekenmethode voor windturbines ten opzichte van de huidige rekenmethode. Dit rapport is geschreven voor gebruikers van module IV. Bij het schrijven van dit rapport is er dan ook vanuit gegaan dat lezers bekend zijn met de huidige rekenmethode.

1.1 Afbakening

Dit rapport focust op faalscenario's van windturbines die relevant zijn voor omgevingsveiligheid. Er is niet gekeken naar hinder en gezondheidsaspecten voor omwonenden door zaken als geluid, slagschaduw en horizonvervuiling/zichtlijnen. Tevens worden enkel windturbines in de exploitatiefase beschouwd en wordt niet gekeken

naar (arbeids)ongevallen tijdens de bouw of het onderhoud van windturbines of ongevallen tijdens het transport van windturbine onderdelen.

1.2 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd. In de inleiding (hoofdstuk 1) zijn de aanleiding en doelstelling van het onderzoek behandeld. In hoofdstuk 2 is de achtergrond beschreven van hoe tot de nieuwe rekenmethode voor windturbines is gekomen. In hoofdstuk 3 zijn vervolgens de concrete wijzigingen voor actualisatie van de rekenmethode weergegeven. Hoofdstuk 4 geeft een globale beschrijving van de consequenties van de wijzigingen. De conclusies en aanbevelingen zijn beschreven in hoofdstuk 5. In Bijlage 1 is de geactualiseerde rekenmethode, inclusief toelichting, opgenomen. In Bijlage 2 volgt een overzicht van de samenstelling van de begeleidingscommissie. In Bijlage 3 volgt ten slotte de beoordeling van de geactualiseerde rekenmethode.

2 Achtergrond actualisatie rekenmethode

Dit hoofdstuk beschrijft de achtergrond van hoe tot een actuele rekenmethode voor windturbines is gekomen. Allereerst gaat het hoofdstuk in op de regelgeving waarin windturbines zijn aangewezen als milieubelastende activiteit. Vervolgens wordt ingegaan op de uitgevoerde onderzoeken naar faalscenario's, -frequenties en de effectmodellering.

2.1 Windturbines in regelgeving

In het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal, artikel 3.11) en het Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl, Bijlage VII, onderdelen D.1 en E.1) zijn windturbines opgenomen als milieubelastende activiteit, waarvoor het risico voor de omgeving berekend moet worden. Het gaat hierbij om het plaatsgebonden risico (PR); de kans op het overlijden van een onbeschermd en continu aanwezig persoon buiten de begrenzing van de locatie waar een activiteit wordt verricht, als rechtstreeks gevolg van een ongewoon voorval, veroorzaakt door de windturbine (Bkl, 2024).

Om de risico's voor de omgeving te beperken, gelden op basis van het Bkl de volgende grenswaarden voor het plaatsen van windturbines in de nabijheid van gebouwen en objecten:

- Voor (zeer) kwetsbare gebouwen en kwetsbare locaties moet een grenswaarde voor het plaatsgebonden risico van windturbines in acht worden genomen van ten hoogste 1 op de 1.000.000 per jaar.
- Voor beperkt kwetsbare gebouwen en locaties geldt een grenswaarde voor het plaatsgebonden risico van windturbines van ten hoogste 1 op de 100.000 per jaar¹.

Naast het plaatsgebonden risico moet ook rekening gehouden worden met het risicoverhogend effect van windturbines op risicovolle objecten in de omgeving (domino-effecten). In het Bkl artikel 5.4, tweede lid, is opgenomen dat voor buisleidingen rekening moet worden gehouden met het risicoverhogend effect van een windturbine op het plaatsgebonden risico van de buisleiding (Bkl, 2024). Als door plaatsing van de windturbine de PR 10^{-6} -contour van de buisleiding over een (zeer) kwetsbaar gebouw of kwetsbare locatie komt te liggen, is plaatsing van de windturbine niet toegestaan².

Met het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV kan het plaatsgebonden risico van windturbines worden berekend. Het rekenvoorschrift geeft daarvoor enerzijds de manieren waarop een windturbine kan falen (faalscenario's) en hoe groot de kans daarop is (faalfrequenties). Anderzijds geeft het aan hoe berekend moet worden

¹ De genoemde grenswaarde voor beperkt kwetsbare gebouwen en locaties wordt in het Ontwerpbesluit windturbines leefomgeving vervangen door een standaardwaarde voor het plaatsgebonden risico van een activiteit van 1 op de 1.000.000 per jaar. Meer informatie over het Ontwerpbesluit is te vinden op www.platformparticipatie.nl/windturbinesleefomgeving/ontwerpbesluit-windturbines-leefomgeving/default.aspx

² In het Ontwerpbesluit windturbines leefomgeving is een vergelijkbare regeling opgenomen voor andere activiteiten met gevaarlijke stoffen, naast buisleidingen, zoals bedrijven waar risicovolle activiteiten plaatsvinden.

tot op welke afstand het falen van een windturbine invloed kan hebben op de veiligheid in de omgeving. Om het risicoverhogend effect van een windturbine te kunnen bepalen, zijn in het rekenvoorschrift daarnaast methoden opgenomen om de trefkansen van objecten te bepalen.

2.2 Actualisatie faalscenario's en faalfrequenties

De faalscenario's en -frequenties van windturbines uit het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV (voorheen Handboek Risicozonering Windturbines) zijn afgeleid in 2010 op basis van incidenten uit de tijdsperiode 2001 tot en met 2010. Sinds die tijd zijn windturbines groter geworden en hebben ze meer veiligheidssystemen gekregen, waardoor de faalfrequenties niet meer representatief zijn voor de huidige situatie. De faalfrequenties zijn daarom in 2022 geactualiseerd (RIVM, 2022)[2]. Hieronder staan de bevindingen uit het rapport samengevat.

Voor het actualiseren van faalfrequenties zijn twee type gegevens nodig. Allereerst moet het aantal incidenten van een bepaald scenario met windturbines verzameld worden. Daarnaast moet het aantal windturbines waarbij deze incidenten kunnen plaatsvinden, bekend zijn.

Om informatie over windturbine-incidenten te verkrijgen, is aan windturbinefabrikanten met windturbines in binnen- en buitenland gevraagd om data te delen. Ook is informatie uit het buitenland verzameld door contact op te nemen met zusterinstituten en overige contacten van het RIVM in Frankrijk, het Verenigd Koninkrijk en België. Daarnaast heeft het ministerie van IenW contact opgenomen met ambassades van Duitsland, Spanje, Italië, Zweden, Denemarken, Portugal, de Verenigde Staten en Canada. De ontvangen en gevonden gegevens waren echter verouderd of te summier om geactualiseerde scenario's en faalfrequenties vanaf te leiden. Uiteindelijk is het Caithness Windfarm Information Forum (nu de Scotland against Spin database)[4] gebruikt als bron voor windturbine-incidenten. Deze database is een van de weinige openbare databases met windturbine-incidenten wereldwijd. Voor de aantallen windturbines en ervaringsjaren is specifieke informatie per land opgezocht.

De scenario's en bijbehorende faalfrequenties zijn afgeleid op basis van gegevens uit Denemarken, Duitsland, Nederland, het Verenigd Koninkrijk en Zweden. Deze landen hebben vergelijkbare klimatologische omstandigheden als Nederland. Ook zijn de windturbines die in deze landen staan, technisch vergelijkbaar met de windturbines die in Nederland staan. De tijdsperiode die is beschouwd is 2001 t/m 2020. Hierbij zijn 234 incidenten gevonden en 665.853 ervaringsjaren.

De analyse van de incidenten uit de Caithness-database heeft geresulteerd in zes scenario's die relevant zijn voor omgevingsveiligheid. Het gaat hierbij om twee scenario's die al in het rekenvoorschrift waren beschreven (bladbreek en mastbreek) en vier nieuwe scenario's (bladbreek in delen, ijsafworp, gondelafworp (inclusief rotor) en rotorafworp (zonder gondel)). In het huidige rekenvoorschrift komt wel het gecombineerde scenario 'gondel-/rotorafworp' voor, maar nu kon er

onderscheid gemaakt worden tussen beide scenario's. Voor de genoemde scenario's zijn faalfrequenties afgeleid door het aantal incidenten te delen door het aantal windturbine-ervaringsjaren. Alleen de resulterende faalfrequentie voor het scenario ijsafworp werd, na verdere analyse, niet betrouwbaar geacht. Dit omdat ijsafworp vaak onopgemerkt blijft en dus naar verwachting vaker voorkomt dan in de database is weergegeven. De actuele faalfrequenties zijn weergegeven in Tabel 1, paragraaf 3.1.

2.3 Actualisatie methoden effectbepaling

Omdat er bij de actualisatie van de faalscenario's nieuwe scenario's zijn gevonden, moet ook de effectmodellering worden geactualiseerd. Zo kunnen ook de nieuw bepaalde scenario's (bladbreuk in delen, gondelafworp en rotorafworp) meegenomen worden in een risicoanalyse. Daarnaast bestaan er in het huidige rekenvoorschrift voor bepaalde scenario's meerdere methoden om de effecten te bepalen. Dit zorgt ervoor dat uitkomsten van risicoanalyses kunnen variëren op basis van de gemaakte keuzes. De actualisatie van de effectmodellering beoogd daarom tevens uniformering in de berekeningswijze aan te brengen.

Het RIVM heeft de opdracht voor het onderzoek naar de methoden om de effecten van het falen van windturbines te kunnen bepalen, uitbesteed aan een samenwerkingsverband tussen Antea en Pondera (Eskens & Vogelaar, 2024)[3].

Door Antea en Pondera is de bestaande rekenmethode voor de effectbepalingen (module IV) geanalyseerd en is geïnventariseerd of er andere rekenmethoden beschikbaar zijn voor de effectmodellering. Vervolgens hebben Antea en Pondera de gevonden methoden beoordeeld op de criteria ontvankelijkheid, validiteit, betrouwbaarheid en toepasbaarheid[5]. Het is namelijk belangrijk dat een rekenmethode representatieve en betrouwbare uitkomsten oplevert, maar de methode moet ook werkbaar zijn en daarom niet te complex zijn. Tevens hebben Antea en Pondera aanpassingen voorgesteld aan de rekenmethoden om tot een beter onderbouwde rekenmethode te komen.

Aan de hand van het onderzoek heeft het RIVM de methoden geselecteerd die het beste scores op de verschillende beoordelingscriteria. In hoofdstuk 3 zijn de methoden weergegeven die het RIVM heeft geselecteerd als actuele rekenmethode.

3 Aanpassingen rekenmethode windturbines

Dit hoofdstuk beschrijft de concrete wijzigingen aan het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV. Allereerst worden de actuele faalscenario's en faalfrequenties weergegeven (zie paragraaf 3.1). Omdat er bij de actualisatie van de faalscenario's nieuwe scenario's zijn gevonden, moet ook de effectmodellering worden geactualiseerd. Op basis van het onderzoek van Antea en Pondera (2024)[3] beschrijft paragraaf 3.2 de wijzigingen voor actualisatie van de methoden om het plaatsgebonden risico te bepalen. De wijzigingen voor actualisatie van de methoden om de trefkansen voor objecten en buisleidingen te bepalen, staan beschreven in paragraaf 3.3 en 3.4. Alle wijzigingen zijn opgenomen in het rekenvoorschrift in Bijlage 1. Dit rekenvoorschrift komt in het Handboek Omgevingsveiligheid³.

3.1 Faalscenario's en faalfrequenties windturbines

De actuele faalscenario's en bijbehorende faalfrequenties van een windturbine, zoals afgeleid in het RIVM-rapport 2021-0234[2], zijn weergegeven in Tabel 1. Hieronder staat een samenvatting van het rapport.

Tabel 1 Berekende faalfrequenties [$\text{turbine}^{-1}\text{jaar}^{-1}$]

Waarde*	Blad- breuk	Blad-breuk in delen	Mast- breuk	Rotor- afworp	Gondel- afworp
95% betrouwbaar- heidswaarde	1,4E-04	1,8E-04	6,1E-05	2,4E-05	7,1E-06

*Met de 95%-betrouwbaarheidswaarde is vastgesteld of de 'werkelijke' faalfrequentie gelijk is aan of kleiner is dan de statistisch berekende waarde. Er is gerekend met de 95%-betrouwbaarheidswaarde vanwege de verschillende onzekerheden met betrekking tot het afleiden van de faalfrequenties, zoals onzekerheden in aantallen incidenten en het vermogen van de windturbines.

Voor ijsafworp is ook een faalfrequentie afgeleid, maar na verdere analyse van de gebruikte data en in overleg met de begeleidingscommissie werden die gegevens niet betrouwbaar geacht. Dit komt doordat afgeworpen ijs vaak niet gezien en gerapporteerd wordt. Bijvoorbeeld doordat afgeworpen ijs niet opvalt in besneeuwde/ijzige gebieden, of omdat ijs kan smelten na afworp. Waarschijnlijk komt ijsafworp dus vaker voor dan in de gebruikte database voor incidenten is weergegeven. Door deze mogelijke onbetrouwbaarheid is ervoor gekozen de faalfrequentie voor ijsafworp te laten vervallen. Omdat in Nederland tussen de twee en zeven dagen per jaar weersomstandigheden voorkomen waarbij ijsafzetting op windturbines kan optreden[6], is dit wel een relevant scenario. Daarom moet het scenario ijsafworp kwalitatief beoordeeld blijven worden, net zoals onder het huidige rekenvoorschrift gebeurt[7].

³ De Rekenvoorschriften in het Handboek Omgevingsveiligheid zijn te vinden via: <https://www.rivm.nl/omgevingsveiligheid/handboek/stappenplannen/bepalen-afstanden-en-gebieden/rekenvoorschrift>

Het scenario afvallen van kleine onderdelen is ook bekeken. Dit scenario kwam echter slechts één keer als incident voor in de database, terwijl dit naar verwachting vaker voorkomt. Hiervoor is dan ook geen faalfrequentie afgeleid. De verwachting is dat kleine onderdelen die afvallen vaak direct rond de mast terechtkomen en daardoor een beperkt effect op de omgeving hebben. Ook dit scenario blijft kwalitatief beoordeeld worden, net zoals onder het huidige rekenvoorschrift gebeurt.

3.2 Berekenen van het plaatsgebonden risico per scenario

3.2.1 Definities parameters

In een risicoanalyse voor windturbines worden verschillende parameters gebruikt. Ter uniformering en om onduidelijkheden weg te nemen, worden in Module IV van drie parameters de definitie gegeven. Het gaat hierbij om:

- Nominaal toerental: Het door de fabrikant opgegeven toerental van de rotor (omwentelingsnelheid), waarbij het nominaal vermogen van de windturbine wordt geleverd.
- Nominaal vermogen: een door de fabrikant gespecificeerde maximale waarde voor het elektrisch vermogen dat de turbine langdurig aan het net kan leveren.
- Zwaartepuntbepaling bij rotorbladen: het zwaartepunt van een rotorblad is gelijk aan $1/6^e$ van de rotordiameter, tenzij de waarde bekend is bij de fabrikant. Dit moet de waarde zijn van het rotorblad in operatie (niet tijdens transport).

3.2.2 Nominaal toerental

Het optredende toerental bij een windturbine is afhankelijk van de aanwezige windsnelheid. Een windturbine stuurt het toerental zodanig dat windsnelheid optimaal wordt omgezet in energie. Op jaarbasis fluctueert de tijdsduur van een toerental binnen een bandbreedte. Het nominaal toerental is daarmee niet beperkt tot één specifieke waarde, maar kan een bereik hebben. In de huidige rekenmethode kan deze fluctuatie in toerental niet worden meegenomen. Antea en Pondera bevelen aan in de geactualiseerde rekenmethode gebruik te blijven maken van één nominaal toerental. Zie hiervoor paragraaf 5.2.4 in het Rapport Effectmodellering (Eskens & Vogelaar, 2024)[3]. Dit wordt aanbevolen, omdat de uitkomsten van de berekening van de risico's niet zodanig wijzigen dat het aannemen van één toerental een grote overschatting van de risico's inhoudt. Daarnaast is informatie over de fluctuatie in toerental vaak niet goed beschikbaar.

Op basis van het advies van Antea en Pondera wordt de aangescherpte definitie voor het nominaal toerental opgenomen in de rekenmethode. Met deze definitie is het nominaal toerental beperkt tot een specifieke waarde en kan dit geen bereik hebben.

3.2.3 Bladbreek

In het huidige rekenvoorschrift wordt voor het scenario bladbreek een methode gegeven die rekening houdt met luchtkrachten en een methode die hiermee geen rekening houdt. Ter uniformering van de rekenmethode bevelen Antea en Pondera aan het scenario bladbreek te berekenen zonder luchtkrachten. Zie hiervoor paragraaf 7.3.5 in het

Rapport Effectmodellering (Eskens & Vogelaar, 2024)[3]. Het lijkt reëel om luchtkrachten wel mee te nemen in een berekening, om zo rekening te houden met de effecten van de verschillende krachten die werken op een rotorblad tijdens de worp. Het rekening houden met luchtkrachten in de berekeningsmethodiek zorgt echter ervoor dat de rekenmethode afhankelijk wordt van meerdere variabelen en te kiezen uitgangspunten. De resultaten worden daardoor minder eenduidig en meer afhankelijk van de gemaakte keuzes over de uitgangspunten door de specialist die de berekening uitvoert. De reproduceerbaarheid en herleidbaar worden hierdoor minder. Van de drie rekenmethoden die Antea en Pondera hebben onderzocht voor bladbreuk (met luchtkrachten, zonder luchtkrachten en Degrees of Freedom-model) geeft de modellering zonder luchtkrachten de meest eenduidige, conservatieve en duidelijke uitkomsten. Deze scoort daarmee het hoogste op de beoordelingscriteria ontvankelijkheid (0), validiteit (0), betrouwbaarheid (+/0) en toepasbaarheid (0)⁴. De beschrijving van de scores staat in paragraaf 7.3.1 in het Rapport Effectmodellering (Eskens & Vogelaar, 2024)[3] en Bijlage 3.

Vanwege de hoogste scores op de beoordelingscriteria neemt het RIVM in het rekenvoorschrift voor het scenario bladbreuk alleen de mogelijkheid op om te rekenen zonder luchtkrachten.

Voor het berekenen van het plaatsgebonden risico moet rekening worden gehouden met het oppervlak van het afgebroken blad. De huidige methode voor het bepalen van het kritiek bladoppervlak⁵ leidt voor moderne windturbines tot overschatting van het daadwerkelijke oppervlak van een rotorblad. Antea en Pondera bevelen daarom aan om het werkelijke bladoppervlak te gebruiken in een berekening. Zie hiervoor paragraaf 5.1 in het Rapport Effectmodellering (Eskens & Vogelaar, 2024)[3]. Door te rekenen met het werkelijke oppervlak van een blad en uit te gaan van de trefkans van het zwaartepunt van het rotorblad per vierkante meter, zal (nog steeds) een overschatting gemaakt worden. Deze overschatting is echter minder dan wanneer er gerekend wordt met de huidige formule voor het kritiek bladoppervlak. Daarnaast wordt de overschatting gecompenseerd door geen schaduwfactor⁶ meer mee te nemen.

Op basis van het advies van Antea en Pondera neemt het RIVM voor het bepalen van het plaatsgebonden risico de voorgestelde vergelijking van Antea/Pondera op in het rekenvoorschrift. Daarbij wordt het werkelijke oppervlak van het rotorblad gebruikt, in plaats van het kritieke bladoppervlak:

$$p_p(x^*, y^*) = A_b \cdot p_{ZWPT}(x^*, y^*)$$

Met:

A_b = Oppervlak van het rotorblad (m²);

⁴ Zie het Rapport Effectmodellering (Eskens & Vogelaar, 2024)[3] voor uitleg over de scoringsmogelijkheden '+', '0' en '-'

⁵ Het kritiek bladoppervlak staat voor het oppervlak wat relevant is bij het treffen van een persoon.

⁶ De schaduwfactor bracht in rekening dat een persoon een zekere hoogte heeft en het rotorblad schuin naar beneden komt.

$p_p(x^*, y^*)$ = Plaatsgebonden risico per vierkante meter grondoppervlak ($m^{-2} \text{turbine}^{-1} \text{jaar}^{-1}$).

$p_{z_{WPT}}(x^*, y^*)$ = Trefkans zwaartepunt rotorblad per vierkante meter grondoppervlak ($m^{-2} \text{turbine}^{-1} \text{jaar}^{-1}$). Het berekenen hiervan is ongewijzigd (zie Bijlage 1).

Aangenomen wordt dat het oppervlak van een persoon 1 m^2 is. Het rotoroppervlak wordt hier nog door gedeeld, maar dit is niet getoond in de formule.

Het oppervlak van het rotorblad is vaak beschikbaar, of op te vragen bij windturbinefabrikanten. Oppervlakken van rotorbladen voor windturbintypes waarvan het oppervlak (nog) niet bekend is, kunnen bepaald worden met een nieuw afgeleide generieke en conservatieve formule (gebaseerd op een fit van 28 datapunten):

$$A_b = 1,6 \cdot D_{\text{rotor}}$$

Met:

A_b = Oppervlak van het rotorblad (m^2);

D_{rotor} = Rotordiameter (m).

Dit is een empirisch verband. In deze formule heeft de constante 1,6 de eenheid (m), zonder fysische betekenis.

De rekenmethode voor bladafworp wijzigt verder niet ten opzichte van de methode die is opgenomen in het huidige rekenvoorschrift voor bladafworp zonder luchtkrachten.

In het geactualiseerde rekenvoorschrift (Bijlage 1) wordt aangegeven hoe het bladoppervlak berekend moet worden voor gedeelten van de bladen voor de scenario's met bladbreuk in delen.

3.2.4

Bladbreuk in delen

Voor het scenario bladbreuk in delen bevelen Antea en Pondera aan om dit te modelleren door de faalfrequentie te verdelen over het afwerpen van $1/3^e$ deel van de bladlengte en $2/3^e$ deel van de bladlengte (respectievelijk blijven dan $2/3^e$ en $1/3^e$ deel van de bladlengte aan de turbine vast zitten). Zie hiervoor paragraaf 7.3.5 in het Rapport Effectmodellering (Eskens & Vogelaar, 2024)[3]. De verdeling in $1/3^e$ en $2/3^e$ delen is gebaseerd op fotobewijs van faalincidenten waarbij een deel van een rotorblad is afgebroken. Daarnaast komt dit overeen met het ontwerp van een rotorblad, waarbij het eerste deel van een rotorblad dikker en steviger is uitgevoerd en steeds dunner wordt richting de tip van het rotorblad. Op de overgang zit het zwakste punt van het blad. Aannemelijk is dat bij een incident het blad op dit punt faalt.

Berekening van de werpafstand is qua formules gelijk aan bladbreuk van een geheel blad. Alleen moet bij de berekening van het zwaartepunt rekening worden gehouden met de afmetingen van het afgebroken deel (zie Bijlage 1). Van de twee rekenmethoden die Antea en Pondera hebben onderzocht voor bladbreuk in delen (uitgaan van afgeworpen delen van 1 m of van $1/3^e$ en $2/3^e$ bladdeel) scoort de methode waarbij wordt uitgegaan van $1/3^e$ en $2/3^e$ afgeworpen bladdelen het hoogste op de beoordelingscriteria ontvankelijkheid (+), validiteit (0),

betrouwbaarheid (+/0) en toepasbaarheid (-). Het criterium 'toepasbaarheid' krijgt een negatieve beoordeling, omdat het toevoegen van dit scenario de onderzoekslast verhoogt. De onderzoekslast wordt met name verhoogd door de grotere radius, die beschouwd moet worden voor domino-effecten. Dit kan ondervangen worden door invoer van een geüniformeerd rekenpakket. De beschrijving van de scores is te vinden in paragraaf 7.3.4 in het Rapport Effectmodellering (Eskens & Vogelaar, 2024)[3] en Bijlage 3.

Vanwege de hoogste scores op de beoordelingscriteria neemt het RIVM voor het scenario bladbreuk in delen de methode op in het rekenvoorschrift, waarbij wordt gerekend met 1/3^e en 2/3^e bladdeel. Voor de berekening van het afwerpen van 1/3^e en 2/3^e bladdeel wordt gerekend zonder luchtkrachten. Dit is eenduidig met de afworp van een geheel blad. Het RIVM heeft hiervoor formules afgeleid om het zwaartepunt van het rotorbladdeel en het oppervlak van het rotorbladdeel te bepalen (Bijlage 1).

3.2.5 *Overtoeren*

In het huidige rekenvoorschrift is ook het scenario bladbreuk bij overtoeren opgenomen. Doordat windturbines steeds meer veiligheidssystemen hebben, bijvoorbeeld in de vorm van individueel pitchende rotorbladen, wordt de kans op dit scenario steeds kleiner. Daarom bevelen Antea en Pondera aan het scenario overtoeren niet meer mee te nemen bij risicoanalyses. Zie hiervoor paragraaf 7.3.5 in het Rapport Effectmodellering (Eskens & Vogelaar, 2024)[3].

In de huidige rekenmethode is reeds opgenomen dat als aangetoond kan worden dat er maatregelen zijn genomen om het scenario 'bladbreuk bij overtoeren' te voorkomen, dit scenario niet meegenomen hoeft te worden in de beoordeling. Wanneer dit niet aangetoond kan worden, of als er sprake is van een nieuw type windturbine waarbij overtoeren mogelijk is, kan de in de rekenmethode gegeven werkwijze gebruikt worden om dit scenario door te rekenen. Dit blijft behouden.

3.2.6 *Mastbreuk*

Voor het scenario mastbreuk bevelen Antea en Pondera aan om gebruik te blijven maken van de methode uit het huidige Rekenvoorschrift. Zie hiervoor paragraaf 7.1.3 in het Rapport Effectmodellering (Eskens & Vogelaar, 2024)[3]. Daarbij wijzen zij erop dat in de concept Technische specificaties van het International Electrotechnical Commission (IEC TS 61400-31) wordt aangegeven dat voor de bepaling van de risico's bij mastbreuk rekening gehouden dient te worden met het omvallen van de windturbine vanaf de voet van het fundament. Dit suggereert dat het fundament kan kantelen, waarmee de windturbine een halve fundamentsbreedte verder kan vallen. Windturbines worden in Nederland vrijwel altijd onderheid. Dit maakt de kans op kantelen van het fundament extreem klein. Toevoegen van een fundamentsbreedte wordt voor de Nederlandse situatie daardoor als onnodig conservatief beschouwd. Van de twee rekenmethoden die Antea en Pondera hebben onderzocht voor mastbreuk (Geometrische analyse uit de huidige rekenmethode en aangepaste Geometrische analyse met fundamentfalen) scoort de methode uit het huidige rekenvoorschrift, zonder toevoeging van de fundamentsbreedte, het hoogste op de

beoordelingscriteria ontvankelijkheid (+), validiteit (+), betrouwbaarheid (+/0) en toepasbaarheid (+). De beschrijving van de scores is te vinden in paragraaf 7.1.1 in het Rapport Effectmodellering (Eskens & Vogelaar, 2024)[3] en Bijlage 3.

De methode uit het huidige rekenvoorschrift is gebaseerd op stalen masten. Andere type masten, zoals betonnen masten die ook in Nederland voorkomen, kunnen andere wijze van falen hebben. Alle type masten hebben echter dezelfde eisen qua ontwerpsterkte. Daarnaast is het volledig omvallen van de mast, zoals met het huidige rekenvoorschrift berekend wordt, voor het scenario mastbreuk in alle gevallen de situatie met de verst reikende effecten (wanneer de mast volledig omvalt, komt deze verder dan wanneer de mast knikt). Daarbij komt dat er geen onderscheid gemaakt kan worden tussen de faalfrequenties voor stalen masten en andere typen masten. Antea en Pondera adviseren daarom de methodiek uit het huidige rekenvoorschrift te gebruiken voor masten van ieder constructiemateriaal. Zie hiervoor paragraaf 5.4.1 in het Rapport Effectmodellering (Eskens & Vogelaar, 2024)[3].

Vanwege de hoogste scores op de beoordelingscriteria houdt het RIVM de wijze van het berekenen van het plaatsgebonden risico voor het scenario mastbreuk gelijk aan het huidige Rekenvoorschrift Module IV. Fundamentfalen wordt hier niet aan toegevoegd. Voor het berekenen van de risico's van mastbreuk wordt gebruikgemaakt van solidity, de verhouding tussen het oppervlak van de rotorbladen en het totale oppervlak van de cirkel die de rotor maakt. De formule voor solidity wordt in het huidige rekenvoorschrift niet bij het scenario mastbreuk weergegeven. Voor de volledigheid wordt deze formule in de geactualiseerde rekenmethode wel bij het scenario mastbreuk genoemd. Dit is het oppervlak van de rotorbladen gedeeld door het rotoroppervlak:

$$s = \frac{3 \cdot A_b}{\pi \cdot (0,5 \cdot D_{\text{rotor}})^2}$$

Met:

s = solidity (-);

A_b = Oppervlak van het rotorblad (m²);

D_{rotor} = Rotordiameter (m).

3.2.7

Rotorafworp en gondelafworp

Voor de scenario's rotorafworp en gondelafworp bevelen Antea en Pondera aan om te rekenen op een wijze die grotendeels overeenkomt met het huidige rekenvoorschrift. Zie hiervoor paragraaf 7.2.4 in het Rapport Effectmodellering (Eskens & Vogelaar, 2024)[3]. Een wijziging die hierbij wordt geadviseerd, is om ervan uit te gaan dat de rotor of de gondel naast de mast valt, waarbij de maximale afstand de maximale grootte van de gondel is (bijvoorbeeld 25 m). Dit in tegenstelling tot het huidige rekenvoorschrift waar ervan uitgegaan wordt dat de gondel landt op een afstand van $x = 0$ m vanuit het hart van de windturbine, waarbij de gondel dus in de mast valt. Gezien de huidige afmetingen van rotor en/of gondel (tot bijvoorbeeld 25 m) is het meenemen van de afmetingen naast de mast een conservatievere benadering dan in het huidige rekenvoorschrift. Hiermee is tevens geen kansverdeling voor het

berekenen van de invloed op buisleidingen als genoemd in het huidige rekenvoorschrift meer nodig. Die kansverdeling voor buisleidingen was nodig vanwege de aanname van het landen van het centrum van de gondel op een afstand van $x = 0$ m. Door het meenemen van de afmetingen van de rotor en/of de gondel wordt nu duidelijk waar de verschillende onderdelen kunnen vallen en welke trefkans daarbij kan worden gehanteerd. Van de twee rekenmethoden die Antea en Pondera hebben onderzocht voor rotorafworp en gondelfalen (Geometrische analyse uit de huidige rekenmethode en Bivariate normale verdeling) scoort de methode uit het huidige rekenvoorschrift het hoogste op de beoordelingscriteria ontvankelijkheid (+), validiteit (0), betrouwbaarheid (+) en toepasbaarheid (+). De beschrijving van de scores is te vinden in paragraaf 7.2.3 in het Rapport Effectmodellering (Eskens & Vogelaar, 2024)[3] en Bijlage 3.

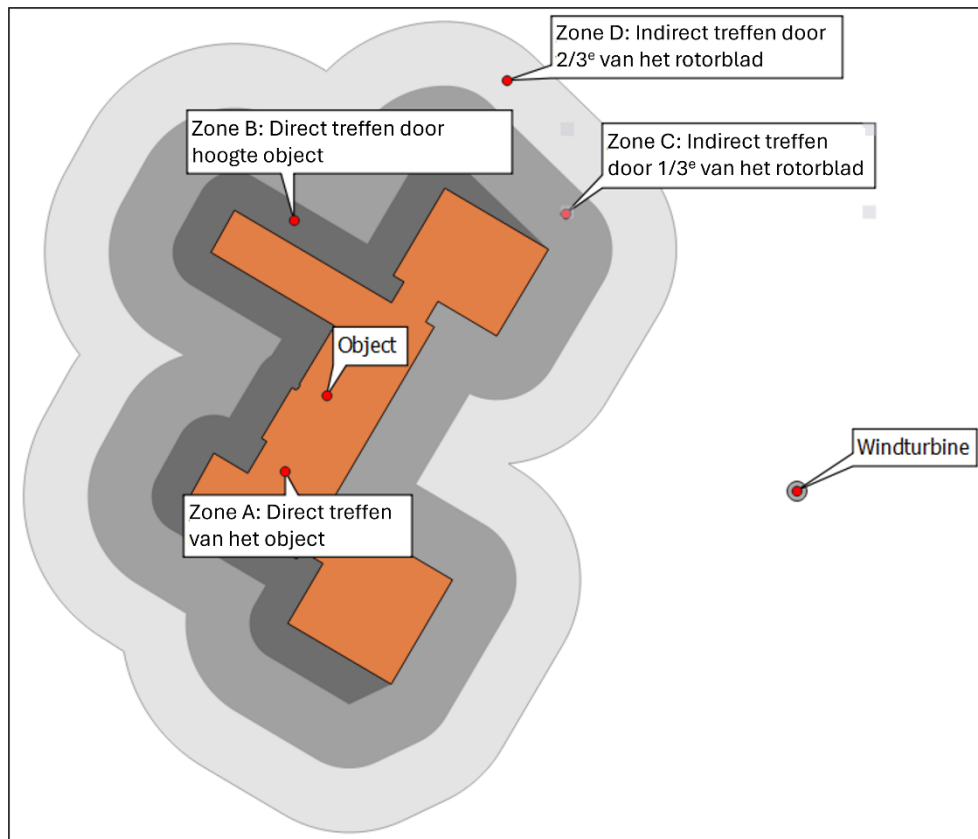
Vanwege de hoogste scores op de beoordelingscriteria neemt het RIVM voor het berekenen van het plaatsgebonden risico van rotorafworp en/of gondelafworp een gelijke methodiek op in het rekenvoorschrift als voor mastbreuk. Hierbij wordt rekening gehouden met het feit dat de gondel en rotor naast de mast vallen. Dit maakt de rekenmethode consistent over de verschillende scenario's.

3.3 Berekenen van de effecten op objecten en buisleidingen

Over het berekenen van de impact op objecten, waaronder buisleidingen adviseert Antea en Pondera geen wijzigingen. Er blijft uitgegaan worden van treffen = falen, en de optie om beschermingsfactoren mee te nemen blijft ook. Wel bevelen Antea en Pondera een nieuwe benadering van de trefkansen van objecten aan. Zie hiervoor paragraaf 8.3.1 in het Rapport Effectmodellering (Eskens & Vogelaar, 2024)[3]. Hierbij wordt aanbevolen uit te gaan van direct en indirect treffen. Direct treffen is hierbij getroffen worden van een object door het zwaartepunt van het windturbine-onderdeel. Indirect treffen is het treffen door bijvoorbeeld de uitstekende onderdelen, zoals de tip van een windturbineblad. Zie voor een grafische weergave van direct en indirect treffen Figuur 1. Om rekening te houden met de oriëntatie van een turbineblad is een kansverdelingsfunctie nodig. Een realistische beschrijving van de kansverdeling bij indirect treffen als functie van de afstand tot het object is wiskundig complex. Voor bladbreuk (geheel en in delen) wordt daarom een 2-stap-gemiddelde⁷ aanbevolen. Een 2-stap-gemiddelde benadert de realistische beschrijving goed en is uitvoerbaarder dan het gebruik van de realistische formule. Hierbij wordt gerekend met vaste raakkansen van 74 procent (van de trefkans per vierkante meter) voor de zone van 0 m vanaf het zwaartepunt tot $1/3^e$ van de afgebroken bladlengte en 22 procent⁸ (van de trefkans per vierkante meter) voor de zone van $1/3^e$ tot $2/3^e$ van de afgebroken bladlengte. Dit zijn de maximale lengtes van het blad ten opzichte van het zwaartepunt.

⁷ Het gemiddelde in twee stappen. Dit betekent dat voor elke vierkante meter rondom het gebouw de trefkans van die vierkante meter kan worden vastgesteld met behulp van een werpmodel. Daarna worden de trefkansen opgeteld en vermenigvuldigd met een vast percentage per zone als reductie die rekening houdt met de landoriëntatie van een rotorblad.

⁸ De percentages zijn een weergave van een fractie van de losse scenario's bladbreuk $2/3^e$ deel en bladbreuk $1/3^e$ deel. Deze houden geen verband met elkaar, en tellen daarom ook niet op tot 100%.



Figuur 1 Grafische weergave van direct en indirect treffen

Deze trefkansberekening kan voor omgevingsveiligheid gebruikt worden voor bovengrondse buisleidingen en risicovolle installaties. De methode kan desgewenst ook gebruikt worden om de trefkans van andere objecten te bepalen. De berekeningsmethode uit het huidige rekenvoorschrift maakte nog onderscheid naar specifieke objecten en infrastructuren. Nu wordt voorgesteld om geen onderscheid te maken tussen verschillende objecten en één trefkansberekeningsmethode te gebruiken. Antea en Pondera stellen daarbij voor om een stappenplan te volgen, waarbij uitgegaan kan worden van een GIS-systeem om de geometrie van het object weer te geven. Van de drie rekenmethoden die Antea en Pondera hebben onderzocht voor de trefkansbepaling (Raakfrequentie vereenvoudigde aanpak, Raakfrequentie algemene aanpak en Voorstel vereenvoudigde aanpak) scoort het voorstel voor de vereenvoudigde aanpak, zoals in deze paragraaf beschreven, het hoogste op de beoordelingscriteria ontvankelijkheid (0), validiteit (+), betrouwbaarheid (0) en toepasbaarheid (+). Zie figuren 8.4 t/m 8.13 uit het Rapport Effectmodellering (Eskens & Vogelaar, 2024)[3] voor een weergave van trefzones. De methode kan ook gebruikt worden voor passantenrisico door rekening te houden met de verblijfsduur.

Na treffen wordt aangenomen dat het getroffen bovengrondse object faalt. Tenzij gerekend kan worden met beschermingsfactoren als aangegeven in formule 2.46 uit het huidige rekenvoorschrift. De beschermingsfactoren moeten daarbij onderbouwd worden, bijvoorbeeld met sterkteberekeningen van constructies. Voor ondergrondse leidingen moet eerst nog een impactanalyse plaatsvinden, aangezien treffen hier

niet automatisch falen betreft, bijvoorbeeld door de diepteligging van leidingen, bescherming met afdekkingen en cetera. Hiervoor bevelen Antea en Pondera aan de formules (5.1 t/m 5.5) uit het huidige rekenvoorschrift te blijven gebruiken.

Antea en Pondera hebben het bepalen van de impact van vallende windturbineonderdelen op ondergrondse buisleidingen niet geanalyseerd. Zij geven hierover aan dat de huidige rekenmethode⁹ geen rekening houdt met doorsnijding van een buisleiding door een windturbine-onderdeel. Zij bevelen aan nader onderzoek te doen of de toepassing van de huidige formules geschikt zijn. Zie hiervoor paragraaf 10.2.1 in het Rapport Effectmodellering (Eskens & Vogelaar, 2024)[3].

Na overleg met Antea en Pondera wordt ook aanbevolen om in de rekenmethode op te nemen dat binnen de gehele trefcirkel van mastbreuk te rekenen met het gewicht van de gondel en rotor die neerkomen nabij een buisleiding. Dit omdat de mast, naast omvallen, ook kan knikken. Bij de berekeningen wordt ervan uitgegaan dat een mast nabij de grond knikt, omdat de effectafstand hierbij het grootst is. Dit zorgt voor pieken in het plaatsgebonden risico (zie Figuur 6.1 in het Rapport Effectmodellering (Eskens & Vogelaar, 2024)[3]). Het knikken kan echter ook hoger in de mast gebeuren, waarbij de gondel en rotor dichter bij de mast neerkomen dan de ashoogte. Voor ondergrondse buisleidingen wordt daarom aanbevolen dat in de gehele trefcirkel de impact van de gondel en rotor berekend wordt.

Op basis van het advies van Antea en Pondera, zoals hierboven beschreven, neemt het RIVM voor het berekenen van effecten op objecten en buisleidingen in het rekenvoorschrift dezelfde methode op als voorheen met een nieuwe benadering voor trefkansen. Hierbij wordt de kans op treffen bepaald door de nieuwe methode van direct en indirect treffen met een 2-stap-gemiddelde. Voor buisleidingen wordt opgenomen dat in de gehele trefcirkel van mastbreuk een impact door de gondel en rotor berekend wordt.

3.4 Berekenen van de effecten op ondergrondse buisleidingen

Op basis van het advies van Antea en Pondera heeft het RIVM onderzocht of gekomen kan worden tot een nieuwe methode voor het berekenen van de impact van vallende windturbineonderdelen op ondergrondse buisleidingen.

De aanleiding is dat de huidige methode mogelijk de effecten van de impact onderschat. Zie hiervoor paragraaf 10.2.1 in het Rapport Effectmodellering (Eskens & Vogelaar, 2024)[3]. Uit berekeningen met de huidige methode volgt dat enkele meters (circa 0-5 m, afhankelijk van verschillende parameters) gronddekking voldoende zou zijn om een buisleiding te beschermen tegen impact van vallende windturbine-onderdelen. Bij recente incidenten[8, 9] waarbij de gondel op de grond is terechtgekomen, worden daarentegen kraters geobserveerd die enkele meters diep zijn (circa 5 meter diep). Het is aannemelijk dat de

⁹ In de huidige rekenmethode worden de effecten van een incident met een windturbine op ondergrondse buisleidingen berekend met een methode die oorspronkelijk is ontwikkeld voor het berekenen van de gevolgen van een explosie in de buurt van ondergrondse buisleidingen.

schokgolf van de vallende onderdelen verder door de grond doorwerkt. Hierdoor zijn er mogelijk ook effecten te verwachten op buisleidingen met grotere diepteligging dan de 0-5 meter diep, die uit de huidige rekenmethode blijken.

De mogelijke onderschatting is een gevolg van de oorsprong van de huidige methode. Deze vindt zijn basis in de doorwerking van ondergrondse explosies op buisleidingen[10]. De kracht van een explosie verdeelt zich echter radiaal door de grond, terwijl de energie van vallende objecten met name een verticale component heeft. Daarom is de energie die de buisleiding bereikt in dit analogon mogelijk onderschat en daarmee de effecten ook.

Een kort literatuuronderzoek wijst uit dat er methoden beschikbaar zijn voor het berekenen van de impact op ondergrondse buisleidingen door vallende rotsblokken. Deze methoden zijn van belang in bergachtige gebieden. Een dergelijk scenario lijkt een beter analogon voor de situatie met windturbines dan de huidige methode.

De meeste gevonden literatuur maakt gebruik van de zogeheten '*finite element method*'. Dit is een algemene methode die wordt gebruikt in veel mathematische modellen, waaronder de botsingstheorie. Dit wordt bijvoorbeeld gebruikt in de auto-industrie. Dit is dus naar verwachting een goed uitgewerkte methode die hoog op betrouwbaarheid en validiteit scoort. Tijdens het korte literatuuronderzoek zijn echter alleen betaalde rekenpakketten gevonden en geen gedetailleerde, betrouwbare uitwerking van de achterliggende formules. Hierdoor scoort deze methode te laag op ontvankelijkheid en toepasbaarheid. Daarom kan deze methode niet worden opgenomen in deze actualisatie van het rekenvoorschrift.

In Liu 2014[11] wordt wel een rekenmethode mathematisch uitgewerkt. Deze publicatie is echter lastig navolgbaar, doordat een aantal parameters door elkaar gebruikt wordt en er mogelijk fouten zijn gemaakt in de afleiding. Wel is geprobeerd om op basis van deze bron een nieuwe rekenmethode op te stellen. De uitkomsten van deze methode zijn conservatiever dan de huidige methode. De methode is ook relatief simpel toe te passen. Deze methode is echter niet goed genoeg wetenschappelijk onderbouwd. De methodiek scoort daarom laag op validiteit en betrouwbaarheid.

Ten slotte is nog een methode gevonden van de American Society of Civil Engineers (ASCE 2001)[12]. De methode die hierin is beschreven, is relatief simpel en daarmee goed toepasbaar. De bronvermelding in deze methode is echter slecht navolgbaar, waardoor de oorsprong van de formules niet teruggevonden kon worden. Ook zijn de uitkomsten minder conservatief dan de huidige methode, waardoor de ASCE-methode mogelijk minder goed scoort op het criterium 'betrouwbaarheid' (zie Bijlage 3). In het huidige onderzoek zijn alleen de formules getoetst die de stress op de buisleiding uitrekenen ten gevolge van een impact. De berekening van de toelaatbare stress is voor alle getoetste methodes gelijk gehouden en niet geëvalueerd.

In dit onderzoek om het Rekenmethode Omgevingsveiligheid Module IV te actualiseren, scoort de huidige methode om de impact van vallende windturbine-onderdelen op ondergrondse buisleidingen te bepalen op basis van ondergrondse explosies het beste op de kwaliteitscriteria. De verwachting is wel dat deze methode de effecten onderschat. Een eerste literatuuronderzoek laat zien dat er mogelijk andere methoden beschikbaar zijn om de impact van vallende windturbine-onderdelen op ondergrondse buisleidingen te berekenen. Er is echter een uitgebreidere analyse van de methoden nodig om te bepalen of deze geschikt zijn om de huidige methode te vervangen. Het RIVM doet daarom de aanbeveling een nadere analyse hierop uit te voeren, waarin ook de praktijkervaring van stakeholders worden meegenomen.

4 Consequenties, conclusies en aanbevelingen

In dit onderzoek is gekomen tot een actualisatie van het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV – Windturbines en de bijbehorende toelichting (zie Bijlage 1).

De volgende wijzigingen zijn aangebracht:

- Parameters in de rekenmethode zijn geüniformeerd door definities aan te scherpen. Het gaat over:
 - o nominaal toerental;
 - o nominaal vermogen;
 - o Zwaartepunt windturbine onderdelen.
- De faalfrequenties zijn geactualiseerd aan de hand van meer jaren aan incidentenstatistiek.
- Het scenario bladbreuk is geactualiseerd door:
 - o Uitsluitend rekenen zonder luchtkrachten op te nemen, zodat de rekenmethode uniformer wordt.
 - o Het scenario bladbreuk in delen toe te voegen.
 - o De formules voor het bepalen van het zwaartepunt van het blad en het bladoppervlak aan te passen.
- De berekening van het passantennisico is aangepast, zodat deze aansluit bij de huidige rekenmethode. Daarnaast is de methode aangescherpt.
- Het scenario gondel-/rotorafworp is opgedeeld in gondelafworp (inclusief rotor) en rotorafworp (zonder gondel).
- De bepaling van trefkansen is geactualiseerd door treffen te beschrijven als direct en indirect treffen.
- De methode voor het berekenen van de impact van vallende onderdelen van windturbines op ondergrondse buisleidingen blijft grotendeels hetzelfde. Deze is met name aangepast om dit te laten aansluiten op de actuele rekenmethode om de impact te bepalen.

De wijzigingen aan de rekenmethode hebben consequenties voor de berekende omgevingsveiligheidsrisico's van windturbines. Hieronder wordt globaal inzicht gegeven in deze consequenties, zoals is weergegeven in het Rapport Effectmodellering (Eskens & Vogelaar, 2024)[3], hoofdstuk 9.

Allereerst worden de algemene consequenties weergegeven, waarbij de huidige rekenmethode wordt vergeleken met de geactualiseerde rekenmethode voor eenzelfde windturbine. Over het geheel genomen zijn de consequenties als volgt:

- De 10^{-5} -turbine⁻¹-jaar⁻¹-plaatsgebonden risicocontour neemt aanzienlijk af door de toepassing van de nieuwe, lagere faalfrequenties.
- De 10^{-6} -turbine⁻¹-jaar⁻¹-plaatsgebonden risicocontour neemt af doordat als gevolg van de aangepaste faalfrequenties de berekende PR 10^{-6} -contour bij meer typen windturbines komt te liggen op de werpafstand bij nominaal toerental en bij minder typen windturbines op een tifoogteafstand.

- De maximale effectafstanden nemen toe door het nieuwe scenario bladbreuk in delen. De effectafstand hiervan is groter dan de effectafstand van het scenario bladbreuk bij overtoeren dat in het huidige rekenvoorschrift de maximale effectafstand geeft. Dit betekent dat er in een grotere radius om de windturbine gekeken moet worden naar potentiële domino-effecten met andere risicovolle objecten. Door deze domino-effecten kan de geactualiseerde rekenmethode in bepaalde situaties zorgen voor knelpunten rondom deze andere risicovolle objecten die er met de huidige rekenmethode niet zijn.

Onderstaand worden de consequenties weergegeven per faalscenario van een windturbine:

- De berekening van het scenario bladbreuk wijzigt naar rekenen met de trefkans per vierkante meter. Dit is conservatiever dan voorheen, waarbij gerekend werd per oppervlak van een gemiddeld persoon. Hierbij worden geen schaduweffecten meer meegenomen. Dit is minder conservatief, omdat de hoogte van een persoon niet meer wordt meegenomen. Deze methode is hiermee simpeler dan de huidige methode.
- Het scenario bladbreuk in delen is toegevoegd. De effectafstanden van dit nieuwe scenario zijn groter dan die van het scenario overtoeren. Ook zullen bladdelen zich over een groter oppervlak verspreiden. Dit heeft naar verwachting geen effect op de PR 10^{-5} - en PR 10^{-6} -contour van de windturbine zelf. Wel wordt de onderzoekslast voor domino-effecten van windturbines groter.
- De berekening voor het scenario mastbreuk wijzigt niet. Wel is in de geactualiseerde methode aangegeven dat voor buisleidingen binnen de effectcontour van mastbreuk gerekend moet worden met de impact door de gondel met rotor.
- De berekeningen voor het scenario gondelafworp wijzigen beperkt, doordat ervan uit wordt gegaan dat de gondel naast de mast valt in plaats van in de mast, zoals in de huidige methode het geval is. De effectcontouren van dit scenario nemen daardoor met enkele meters toe. De invloed op de risicocontouren is nihil.
- Het scenario rotorafworp is toegevoegd. De berekening hiervan lijkt veel op het gondelafworp scenario.
- Het scenario ijsafworp blijft kwalitatief bepaald en heeft dus geen consequenties voor het PR.
- De rekenmethode wordt uniformer doordat:
 - o Er geen keuze meer gegeven wordt voor het wel of niet meenemen van luchtkrachten bij bladbreuk. In de geactualiseerde rekenmethode wordt zonder luchtkrachten gerekend.
 - o De definitie van enkele parameters zijn verduidelijkt.
- Het bepalen van trefkans wordt preciezer. Hiermee wordt maatwerk toegankelijker bij niet kubusvormige gebouwen. Daarnaast wordt beter rekening gehouden met de oriëntatie van het geworpen blad(deel). Hierdoor is de berekening nog steeds conservatief, maar de conservatieve overschatting neemt af.

De geactualiseerde rekenmethode is in Bijlage 3 vergeleken met de kwaliteitscriteria die het RIVM heeft opgesteld voor nieuwe

rekenmethoden (Boxman et al, 2022)[5]. Uit de vergelijking blijkt dat de voorgestelde rekenmethode voldoet aan de kwaliteitscriteria. Alleen suggereert de rekenmethode een grotere nauwkeurigheid dan gerechtvaardigd is op basis van de onzekerheid. Dit komt voort uit de beperkte (openbare) data waarop de faalfrequenties en de methoden voor het bepalen van de effecten van windturbine-incidenten zijn gebaseerd. Dit is echter inherent aan de rekeninstrumenten voor omgevingsveiligheid. Daarnaast is de toekomstbestendigheid van de rekenmethode een aandachtspunt. De laatste jaren zijn er veel ontwikkelingen geweest aan windturbines en de verwachting is dat deze ontwikkelingen blijven doorzetten. Wanneer er grote technische ontwikkelingen worden doorgevoerd, passen de nu afgeleide faalfrequenties en methoden voor het bepalen van de effecten van windturbine-incidenten mogelijk niet meer bij de nieuwe type windturbines.

Het onderzoek leidt tot de volgende aanbevelingen:

- Aanbevolen wordt om het actuele Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV aan te wijzen als te hanteren rekenmethode voor het berekenen van de omgevingsveiligheidsrisico's van windturbines.
- Daarnaast wordt aanbevolen om de actuele rekenmethode op te nemen in de rekensoftware Safeti-NL. Door de rekenmethode voor windturbines ook op te nemen in de rekensoftware waarmee de risico's van bedrijven waar risicovolle activiteiten plaatsvinden en ondergrondse buisleidingen berekend worden, kunnen eventuele domino-effecten gemakkelijker bepaald worden.¹⁰
- Windturbines blijven technisch doorontwikkeld worden. Daarom wordt aanbevolen de scenario's en faalfrequenties regelmatig, circa eens in de tien jaar, te herzien om deze actueel te houden.
- Ook wordt aanbevolen om nader onderzoek te doen naar de methode voor het berekenen van de impact van vallende onderdelen van windturbines op ondergrondse buisleidingen. De huidige analyse van de rekenmethode om de impact op ondergrondse buisleidingen te bepalen, leverde onvoldoende valide, betrouwbare en toepasbare gegevens op om de rekenmethode te kunnen aanpassen.

¹⁰ Het is bevorderend om alle berekeningen voor omgevingsveiligheid met één rekenprogramma te doen. Dit bevordert de betrouwbaarheid van en toepasbaarheid voor het berekenen van domino-effecten tussen meerdere milieubelastende activiteiten. Ook zorgt het voor een snelle doorwerking van nieuwe inzichten over het gehele Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid wanneer deze worden ingevoerd.

Referenties

1. J. van der Ree, et al., *Klimaatakkoord: effecten op veiligheid, gezondheid en natuur*, 2019.
2. RIVM, *Actualisatie faalfrequenties windturbines*, 2022.
3. J. Eskens en B. Vogelaar, *Effectmodellering windturbines*, 2024. Beschikbaar via <https://anteagroup.nl/diensten/veiligheid-gezondheid/omgevingsveiligheid>
4. *Scotland Against Spin Turbine Accident Statistics*. Beschikbaar via <https://scotlandagainstspin.org/turbine-accident-statistics/>. (Geraadpleegd december 2023).
5. G.S. A.M.C. Boxman, P.A.M. Uijt de Haag, A.A.C. van Vliet, *Advies aandachtsgebieden - Beschouwing van voorstel alternatieve benadering voor de berekening van aandachtsgebieden*, 2022-0012, 2022.
6. B. Tammelin, et al., *Wind energy production in cold climate*, 2000.
7. NWEA, *Veiligheidsprotocol Ijsafzetting Windturbines*, 2018.
8. *Grote ravage: Wind blaast windmolen in Zeewolde omver*, in *RTL Nieuws*. 2023.
9. A. Minh, *100-ton wind turbine blades fall to pieces in Vietnam*, in *VN Express International*. Maart 2024.
10. *Pipeline response to buried explosive detonations, volume I + II*, Southwest Research Institute, August 1981.
11. M. Liu en M. Yang, *Modeling the behavior of natural gas pipeline impacted by falling objects*. *Eng. Fail. Anal.*, 2014. **42**: p. 45-59.
12. ASCE, *Guidelines for the Design of Buried Steel Pipe*, 2001.
13. *Besluit kwaliteit leefomgeving. Geconsolideerde Staatsbladversie. Bijgewerkt 30-12-2021*. Beschikbaar via <https://iplo.nl/publish/pages/191119/besluit-kwaliteit-leefomgeving-stb-versie-30-12-2021.pdf> (Geraadpleegd 21-02-2022).
14. H. Braam, *Het risico van bladbreuk voor passanten van windturbines*, in *Nederlandse Duurzame Energie Conferentie*. 26 nov. 1999. p. 132 - 133.
15. *Module IV van het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid*, oktober 2020.
16. RIVM, *Actualisatie rekenmethode omgevingsveiligheid windturbines*, 2024.
17. *Handreiking windturbines*. Beschikbaar via <https://www.infomil.nl/onderwerpen/veiligheid/windturbines/>. (Geraadpleegd
18. Gooijer L., Laheij G.M.H., en W. A.G., *Protocol aanpassing rekenmethodieken Externe veiligheid*, RIVM-Rapport 620550009/2012, 2012.
19. K. M. en W. T. *Assessment of the ice throw and ice fall risks nearby wind energy installations*. Beschikbaar via https://windren.se/WW2015/WW2015_46_808_Kaposvari_TUV_S_UD_Ice_throw_risk_assessment.pdf. (Geraadpleegd 10-06-2024).
20. J. Renström, *Modelling of Ice Throws from Wind Turbines*, Uppsala Universitet, 2015.
21. FME-CWM, *Buigen - vormgeven van dunne metaalplaat*, 2010.

Bijlagen

5 Bijlage 1 Actuele rekenmethode met toelichting

Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid

Module IV – Windturbines

Versie juni 2024

Lijst gebruikte parameters en definities

Parameters

$A_{b,1/3e}$	Maximale oppervlak van het profiel van 1/3 ^e rotorbladdeel [m ²].
$A_{b,2/3e}$	Maximale oppervlak van het profiel van 2/3 ^e rotorbladdeel [m ²].
$A_{b,geheel}$	Maximale oppervlak van het profiel van het gehele rotorblad [m ²].
$A_{b,i}$	Maximale oppervlak van het profiel van het rotorblad(deel) i [m ²].
A_i	Oppervlak van de kritische strook bij scenario i [m ²]
C_i	Correctiefactor voor (indirect) treffen [-].
D_{mast}	Mastdiameter [m]
D_{buis}	Diameter van de buisleiding [m].
D_{rotor}	Rotordiameter [m]
$E_{schokgolf}$	Effectieve kinetische energie van de schokgolf [J]
$E_{kinetisch}$	Kinetische energie van een vallend windturbine-onderdeel [J] of de energiedichtheid per eenheidslengte voor de vallende mast [J m ⁻¹].
E_{buis}	Elasticiteit van een ondergrondse buisleiding [Pa]
$f_{b,d}$	Beschermingsfactor bij directe inslag van een rotorblad(deel).
f_R	Kans dat het zwaartepunt van het blad in een cirkelschijf met 1 m-breedte op een afstand r van de turbine terechtkomt. [m ⁻¹].
f_v	Fractie van de initiële kinetische energie, opgenomen door de bodem [-]
f_{ZWPT}	Kansverdelingsfunctie van de kans per m ² dat het zwaartepunt op een bepaalde positie terechtkomt [m ⁻²].
FF_{bd}	Faalfrequentie voor bladbreuk in delen [turbine ⁻¹ jaar ⁻¹].
FF_{bg}	Faalfrequentie voor bladbreuk van een geheel blad [turbine ⁻¹ jaar ⁻¹].
FF_{gf}	Faalfrequentie voor de gondelafworp met rotor [turbine ⁻¹ jaar ⁻¹].
FF_{ot}	Faalfrequentie voor overtoeren [turbine ⁻¹ jaar ⁻¹].
FF_{rf}	Faalfrequentie voor de rotorafworp [turbine ⁻¹ jaar ⁻¹].
FF_{mb}	Faalfrequentie voor mastbreuk [turbine ⁻¹ jaar ⁻¹].
FF_i	Faalfrequentie van scenario i [turbine ⁻¹ jaar ⁻¹].
g	Valversnelling (= 9,81 m s ⁻²).
H_{gondel}	Hoogte gondel [m]
H_{mast}	Hoogte rotoras ten opzichte van de grond [m].
k_1	Empirische coëfficiënt 1
k_2	Empirische coëfficiënt 2
k_3	Empirische coëfficiënt 3
$L_{max,gondel}$	De maximale dimensie van de hoogte, lengte en breedte van de gondel [m].
m_b	Massa van het blad(deel) [kg].
$m_{b,geheel}$	Massa van een geheel rotorblad [kg].
$m_{b,1/3}$	Massa van 1/3 ^e bladdeel [kg].
$m_{b,2/3}$	Massa van 2/3 ^e bladdeel [kg].

n_r	Het aantal berekeningen met een unieke a dat op afstand r uitkomt. Oftewel de 'bin' [m^{-1}].
n_{tot}	Het totaal aantal berekeningen met een unieke a [-].
$P_{a,breuk}$	Additionele faalkans van een ondergrondse buisleiding door het treffen door windturbine onderdelen [$turbine^{-1} jaar^{-1}$].
ρ_{blad}	Plaatsgebonden risico per vierkante meter bij het scenario bladbreuk [$turbine^{-1} jaar^{-1} m^{-2}$].
ρ_g	Trefkans van een object [$turbine^{-1} jaar^{-1}$].
ρ_{gon}	De cumulatieve kans dat een vierkante meter door een windturbine-onderdeel wordt getroffen bij gondelafworp [$turbine^{-1} jaar^{-1} m^{-2}$].
$\rho_{g,gon}$	De kans dat een vierkante meter door de gondel wordt getroffen bij gondelafworp [$turbine^{-1} jaar^{-1} m^{-2}$].
$\rho_{g,mast}$	De kans dat een vierkante meter door de gondel wordt getroffen bij mastbreuk [$turbine^{-1} jaar^{-1} m^{-2}$].
$\rho_i(x^*, y^*)$	Trefkans van een vierkante meter in de kritische strook bij scenario i [$turbine^{-1} jaar^{-1} m^{-2}$].
P_{buis}	Interne druk van de buisleiding [Pa].
ρ_{rotor}	De kans dat een vierkante meter door de rotor wordt getroffen bij rotorafworp [$turbine^{-1} jaar^{-1} m^{-2}$].
ρ_{kr}	De kritieke raakkans [$turbine^{-1} jaar^{-1}$].
ρ_{mast}	De cumulatieve kans dat een vierkante meter door een windturbine-onderdeel wordt getroffen bij mastbreuk [$turbine^{-1} jaar^{-1} m^{-2}$].
ρ_{mb}	De kans dat infrastructuur of objecten worden getroffen bij mastbreuk [$turbine^{-1} jaar^{-1}$].
$\rho_{mb,i}$	De kans dat infrastructuur of objecten indirect worden getroffen door rotorbladen bij mastbreuk [$turbine^{-1} jaar^{-1}$].
$\rho_{mb,b}$	De kans dat infrastructuur of objecten worden getroffen door het bladgewicht bij mastbreuk [$turbine^{-1} jaar^{-1}$].
$\rho_{mb,g}$	De kans dat infrastructuur of objecten worden getroffen door de gondel bij mastbreuk [$turbine^{-1} jaar^{-1}$].
$\rho_{mb,m}$	De kans dat infrastructuur of objecten worden getroffen door de mast bij mastbreuk [$turbine^{-1} jaar^{-1}$].
$\rho_{m,mast}$	De kans dat een vierkante meter op een afstand r ($r < H_{mast}$) van de turbine wordt getroffen door de mast bij mastbreuk [$turbine^{-1} jaar^{-1} m^{-2}$].
ρ_p	Plaatsgebonden risico per vierkante meter [$turbine^{-1} jaar^{-1} m^{-2}$].
$P_{r,gon}$	De kans dat een vierkante meter door de rotor wordt getroffen bij gondelafworp [$turbine^{-1} jaar^{-1} m^{-2}$].
$P_{r,mast}$	De kans dat een vierkante meter door de rotor wordt getroffen bij mastbreuk [$turbine^{-1} jaar^{-1} m^{-2}$].
ρ_{ZWPT}	De kans dat het zwaartepunt op een bepaalde positie terechtkomt [$turbine^{-1} jaar^{-1} m^{-2}$].
r	Werpafstand [m]
$r_{kritisch}$	De kritische afstand [m]
S	Solidity. De hoeveelheid solide materiaal. De verhouding tussen het oppervlak van de rotorbladen en het totale oppervlak van de cirkel die de rotor maakt [-].
t_i	Tijdstip waarop het zwaartepunt de grond raakt [s]
t_{buis}	Dikte van de wand van de buisleiding [m].
Z_{buis}	Diepteligging van de bovenkant van de buis [m].

$Z_{p,geheel}$	Afstand tot het rotor centrum van het zwaartepunt van een heel rotorblad [m].
$Z_{p,1/3e}$	Afstand tot het rotor centrum van het zwaartepunt van 1/3 ^e bladdeel [m].
$Z_{p,i}$	Afstand tot het rotor centrum van het zwaartepunt van het wegvliegende deel [m]. Hierbij is i -geheel, 2/3 ^e of 1/3 ^e .
α :	Azimuthhoek [rad]
$\sigma_{toelaatbaar}$	Toelaatbare stress op een ondergrondse buisleiding [Pa].
θ_H	Hoek van overlap in radialen op afstand ashoogte (H_{mast}) [rad].
Ω_{nom} :	Nominaal toerental van de rotor [rad s ⁻¹].
	Gedefinieerd als: 'Het door de fabrikant opgegeven toerental van de rotor waarop het nominaal vermogen van de windturbine kan worden bereikt'.

Definities

<i>Direct treffen</i>	Het direct treffen van een object door het zwaartepunt van een windturbine-onderdeel.
<i>Indirect treffen</i>	Het zwaartepunt van een windturbine-onderdeel landt naast het object maar een meevallend deel van het object raakt alsnog het object zelf.
<i>Nominaal vermogen</i>	Een door de fabrikant gespecificeerde maximale waarde voor het elektrisch vermogen dat de turbine langdurig aan het net kan leveren.
<i>Schaduwhoogte</i>	Extra zone achter een object gelijk aan de hoogte van het object waarbij er sprake kan zijn van het treffen van het object.
<i>SMYS</i>	Specified minimum yield stress, ofwel de gespecificeerde minimum vloeigrens van een buisleiding [Pa].
<i>Trefkans</i>	De numerieke kans dat een object, infrastructuur of oppervlak geraakt wordt.
<i>Trefzone</i>	Extra zone rondom een object waarbij er sprake kan zijn van het treffen van het object.

5.1 Inleiding

Deze module bevat rekenvoorschriften voor het opstellen van risico- en effectberekeningen voor de milieubelastende activiteit windturbines (onderdelen D.1 en E.1 uit Bijlage VII van het Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl))[13].

De voorschriften leggen de minimale eisen vast voor de berekeningen van het plaatsgebonden risico (PR) en de trefkansen van objecten, die aansluiten bij de reële en (in het omgevingsplan of de vergunning) geborgde situatie. Deze voorschriften moeten gevolgd worden, tenzij expliciet aangegeven wordt in dit document dat hiervan afgeweken mag worden.

Voor het berekenen van het plaatsgebonden risico en de trefkansen van objecten zijn verschillende gegevens nodig. De faalscenario's en bijbehorende faalfrequenties van een windturbine zijn beschreven in paragraaf 5.2. De afstanden waar verschillende onderdelen van een windturbine terecht kunnen komen, zijn beschreven in paragraaf 5.3 (bladbreuk geheel blad en bladbreuk in delen), paragraaf 5.4 (mastbreuk) en paragraaf 5.5 (afvallen gondel, rotor en overige scenario's). Met deze gegevens wordt vervolgens het totale risico van een windturbine berekend door de risico's van de verschillende scenario's op te tellen.

De methoden om de trefkansen van objecten te bepalen, zijn beschreven in de paragrafen van de betreffende scenario's. De berekeningen van trefkansen van objecten zijn van belang voor het bepalen van de invloed van windturbines, door domino-effecten, op omliggende milieubelastende activiteiten, zoals bedrijven waar risicovolle activiteiten plaatsvinden en bovengrondse buisleidingen. Zie hiervoor ook respectievelijk Module I of V. De trefkansen van de milieubelastende activiteit ondergrondse buisleidingen zijn beschreven in paragraaf 5.6. Zie hiervoor ook Module V.

Deze module beschrijft rekenvoorschriften toepasbaar op windturbines van 1 MW en groter. Bij kleinere windturbines kunnen in principe dezelfde rekenvoorschriften toegepast worden. Hierbij moet echter overwogen worden of de schade die onderdelen van de windturbine kunnen aanrichten nog relevant is voor omgevingsveiligheid.

Deze module is toegespitst op horizontale as-windturbines. Bij andere type windturbines moet beargumenteerd worden welke scenario's nog van toepassing zijn. Zo zal voor een bladloze 'turbine' die energie wint via vibratie alleen het scenario mastbreuk van toepassing zijn. Bij een verticale as-windturbine zal het scenario bladbreuk anders verlopen, omdat de bladen voornamelijk door centrifugale krachten verder van de mast zullen landen.

Voor prototype windturbines zullen de faalfrequenties naar verwachting hoger zijn dan de faalfrequenties weergegeven in paragraaf 5.2. Aangeraden wordt om, bij een gebrek aan faalfrequenties, te kijken naar effectafstanden.

Aanvullende informatie bij dit rekenvoorschrift staat in de Toelichting op het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid.

5.1.1 Welke risico's vormen windturbines voor hun omgeving?

Voor beoogde windturbine(s) wordt een inventarisatie gemaakt van de potentiële faalscenario's, waarbij deze module onderscheid maakt in:

- breuk van een windturbineblad geheel of in delen (paragraaf 5.3);
- omvallen van een windturbine door mastbreuk (paragraaf 5.4);
- vallen van een gondel en rotor of enkel de rotor (paragraaf 5.5);
- vallen van kleine onderdelen (paragraaf 5.5).

5.2 Plaatsgebonden risico bij windturbines

Het plaatsgebonden risico van een windturbine wordt uitgerekend volgens de methode in deze paragraaf. De faalscenario's voor windturbines bestaan uit bladbreuk (geheel en in delen), mastbreuk, rotorafworp en gondelafworp. Per faalscenario is de rekenmethodiek in detail beschreven in de paragrafen 5.3 t/m 5.5. De faalfrequenties behorende bij de scenario's zijn weergegeven in Tabel 2.1:

Tabel 2.1 Overzicht van scenario's en faalfrequenties (per turbine per jaar)

Scenario	Turbine ⁻¹ jaar ⁻¹
Bladbreuk (geheel), FF_{bg}	$1,4 \cdot 10^{-4}$
Bladbreuk (in delen) ¹	$(1,8 \cdot 10^{-4})$
Bladbreuk 1/3 ^e deel, FF_{bd}	$9 \cdot 10^{-5}$
Bladbreuk 2/3 ^e deel, FF_{bd}	$9 \cdot 10^{-5}$
Overtoeren, FF_{ot}	$3,2 \cdot 10^{-6}$
Mastbreuk, FF_{mb}	$6,1 \cdot 10^{-5}$
Rotorafworp, FF_{rf}	$2,4 \cdot 10^{-5}$
Gondelafworp met rotor, FF_{gf}	$7,1 \cdot 10^{-6}$

¹ De faalfrequentie wordt gelijk verdeeld over bladbreuk in 1/3^e deel en 2/3^e deel.

Het plaatsgebonden risico op een bepaalde vierkante meter, $p_p(x^*, y^*)$, wordt bepaald door de kansen dat een persoon dodelijk getroffen wordt door windturbine-onderdelen uit de verschillende scenario's bij elkaar op te tellen:

$$p_p(x^*, y^*) = p_{blad}(x^*, y^*) + p_{mast}(x^*, y^*) + p_{rotor}(x^*, y^*) + p_{gon}(x^*, y^*) \quad (2.1)$$

Waarbij:

- $p_{blad}(x^*, y^*)$ de kans [turbine⁻¹ jaar⁻¹ m⁻²] is dat een persoon getroffen wordt op een bepaalde vierkante meter door een rotorblad(deel) (paragraaf 5.3)
- $p_{mast}(x^*, y^*)$ de kans [turbine⁻¹ jaar⁻¹ m⁻²] is dat een persoon getroffen wordt op een bepaalde vierkante meter door een windturbine-onderdeel bij mastbreuk (paragraaf 5.4)
- $p_{rotor}(x^*, y^*)$ de kans [turbine⁻¹ jaar⁻¹ m⁻²] is dat een persoon getroffen wordt op een bepaalde vierkante meter door een windturbine-onderdeel bij rotorafworp (paragraaf 5.5.1.1)
- $p_{gon}(x^*, y^*)$ de kans [turbine⁻¹ jaar⁻¹ m⁻²] is dat een persoon getroffen wordt op een bepaalde vierkante meter door een

windturbine-onderdeel bij gondel- en rotorafworp (paragraaf 5.5.1.2)

Om de plaatsgebonden risicocontouren te bepalen, wordt formule (2.1) opgelost. Door de wijze van berekenen, vertoont bovenstaande formule een curve met pieken. Deze curve is het plaatsgebonden risico als functie van de afstand ten opzichte van de mastvoet. De pieken betekenen dat de curve meerdere punten kan vertonen met dezelfde kans op overlijden als uitkomst. In dergelijke gevallen geldt dat de grootste afstand tot de mastvoet de risicocontour bepaalt. Naast deze scenario's die worden meegenomen bij de risicoberekening, is er nog een aantal scenario's dat kwalitatief behandeld moet worden, namelijk ijsafworp, ijssval en het vallen van kleine onderdelen. Dit staat beschreven in paragraaf 5.5.

5.3 Bladbreek (geheel of in delen)

5.3.1

Inleiding

Deze paragraaf gaat nader in op de wijze waarop de trefkansen van personen en objecten door een blad(deel) moeten worden berekend. Eerst worden de scenario's bij bladbreek beschreven in paragraaf 5.3.2. Hierna wordt de kansverdeling per vierkante meter uitgerekend volgens paragraaf 5.3.3. Ten slotte wordt de trefkans van personen (paragraaf 5.3.4.1) en objecten (paragraaf 5.3.4.2) uitgerekend. De bijbehorende faalfrequenties voor bladbreek (geheel of in delen) zijn gegeven in paragraaf 5.2.

5.3.2

Bladbreek scenario's

Er zijn drie werpsenario's voor het bepalen van de trefkans door bladbreek. De drie scenario's zijn hieronder beschreven. Deze resulteren in verschillende werpafstanden.

1. Bladbreek geheel: hierbij wordt aangenomen dat het volledige blad (bij nominaal toerental) afbreekt.
2. Bladbreek op 1/3^e bladlengte (bij nominaal toerental), waarbij 2/3^e deel afvliegt: hierbij wordt aangenomen dat het blad afbreekt op 1/3^e van de bladlengte, gezien vanaf de rotoras.
3. Bladbreek op 2/3^e bladlengte (bij nominaal toerental), waarbij 1/3^e deel afvliegt: hierbij wordt aangenomen dat het blad afbreekt op 2/3^e van de bladlengte, gezien vanaf de rotoras.

Bij alle drie de scenario's wordt uitgegaan van een ballistisch model zonder luchtkrachten [14]. Met dit model wordt de plek berekend waar het zwaartepunt van het blad terechtkomt. Deze plek wordt mede bepaald door:

- windturbine-specifieke parameters, zoals hoogte van de rotoras, de rotordiameter en het nominaal toerental;
- de azimuthhoek waarbij het blad afbreekt (α), die stochastisch van aard is (zie ook Figuur 3.1).

De kansverdelingsfunctie f_{ZWPT} geeft de kans per m² dat het zwaartepunt van een blad(deel) op een bepaalde positie (x , y) terechtkomt, gegeven de bladbreek. Deze functie wordt uitgewerkt in paragraaf 5.3.3.

Om de kans, $p_{ZWPT}(x, y)$, dat het zwaartepunt op positie (x, y) terecht komt te berekenen, worden de faalfrequenties voor bladbreuk in delen (FF_{bd}) en bladbreuk (geheel) (FF_{bg}) gebruikt.

De kans, $p_{ZWPT}(x, y)$, is dan de som van de drie scenario's:

$$p_{ZWPT}(x, y) = \sum_{i=1}^3 f_{ZWPT}(x_i, y_i) \cdot FF_i \quad (3.1)$$

5.3.3 Methode bladafworp

Deze paragraaf gaat nader in op het ballistische model zonder luchtkrachten. De volgende formules moeten worden gebruikt voor het bepalen van de daarbij behorende kansverdelingsfunctie, f_{ZWPT} .

5.3.3.1 Bewegingsvergelijking

De relevante parameters voor dit ballistisch model zijn (zie Figuur 3.1):

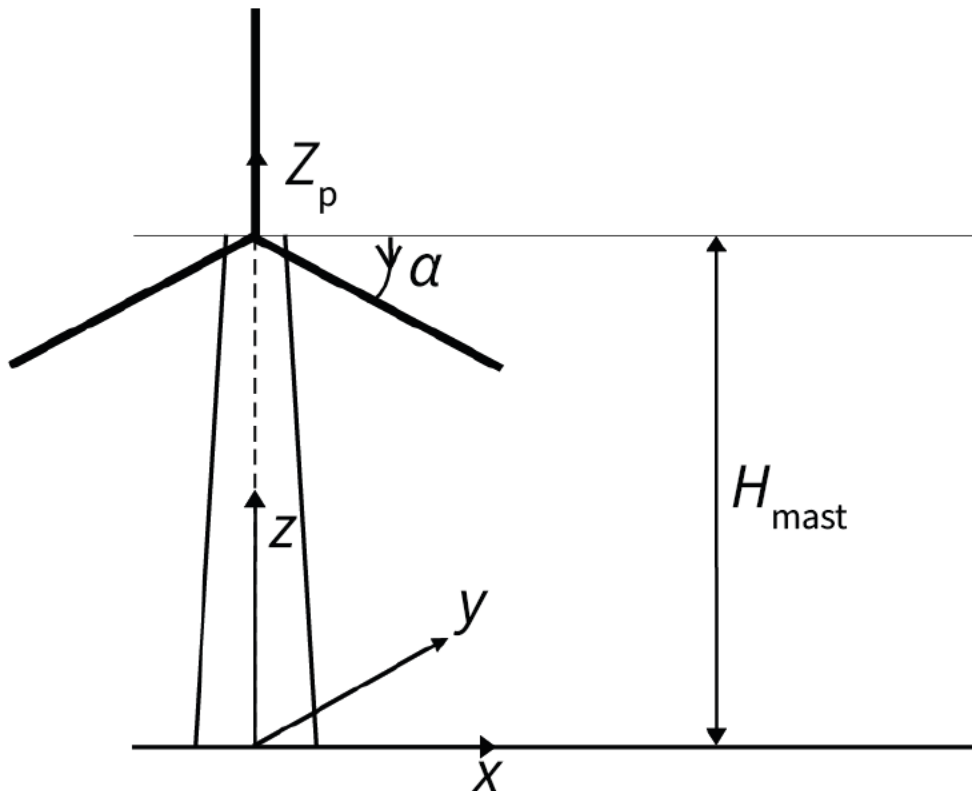
H_{mast} : hoogte rotoras [m];

Ω_{nom} : nominaal toerental van de rotor [rad/s];

$Z_{p,i}$: afstand tot het rotorcentrum van het zwaartepunt van wegvliegende deel [m]. Hierbij is i geheel blad, $2/3^e$ of $1/3^e$ bladdeel;

α : azimuthhoek [rad];

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



Figuur 3.1 Schematische weergave van de parameters van een windturbine.

Bij bladafworp vliegt het blad(deel) een bepaalde tijd tot het landt. Het tijdstip waarop het zwaartepunt de grond raakt, wordt gegeven door:

$$t_i = -\frac{\Omega_{\text{nom}} \cdot Z_{p,i} \cdot \cos \alpha}{g} + \sqrt{\frac{2}{g} \cdot \left(H_{\text{mast}} - Z_{p,i} \cdot \sin \alpha + \frac{\Omega_{\text{nom}}^2 \cdot Z_{p,i}^2 \cdot \cos^2 \alpha}{2 \cdot g} \right)} \quad (3.2)$$

De afgelegde afstand, r , als functie van de azimuthhoek ten tijde van bladbreuk, ofwel:

$$r = Z_{p,i} \cdot \cos \alpha - \Omega_{\text{nom}} \cdot Z_{p,i} \cdot t_i \cdot \sin \alpha \quad (3.3)$$

De werpafstand r moet voor een zeer groot (≥ 10.000 punten) aantal azimuthhoeken van het rotorvlak (equidistant verdeeld) worden berekend. Vervolgens wordt het aantal gebeurtenissen opgeteld, waarbij het zwaartepunt binnen dezelfde eenheid van een meter afstand van de windturbine terechtkomt, bijvoorbeeld tussen 50 en 51 meter, het zogenaamde 'binnen'. Verder wordt de windrichtingsverdeling en stand van de rotor ten opzichte van de grond uniform verdeeld geacht. Door vervolgens het aantal gebeurtenissen van bladbreuk in een 'bin' van één meter te delen door het oppervlak van de bin, wordt de trefkans per m^2 bepaald.

5.3.3.2 Verdelingsfuncties

De kansverdelingsfunctie f_{ZWPT} geeft de kans per m^2 dat het zwaartepunt daar terechtkomt gegeven de bladbreuk (geheel of in delen).

De kans (f_R) dat het zwaartepunt van het blad in een cirkelschijf met een breedte van 1 m op een afstand r van de turbine terechtkomt, is gegeven door:

$$f_R(r) = \frac{n_r}{n_{\text{tot}}} \quad (3.4)$$

Met:

- n_r : Het aantal berekeningen met een unieke α dat op afstand r uitkomt. Oftewel de 'bin' [m^{-1}];
- n_{tot} : Het totaal aantal berekeningen met een unieke α [-].

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

$$f_{\text{ZWPT}}(x, y) = f_{\text{ZWPT}}(r) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r} f_R(r) \quad (3.5)$$

5.3.3.3 Zwaartepunt bepaling

5.3.3.3.1 Bladbreuk geheel

Om de risico's van bladafworp te bepalen, is het zwaartepunt van het blad nodig. Als de afstand tot het zwaartepunt van het blad bekend is (vanaf het rotorcentrum), bijvoorbeeld uit fabrikantgegevens, dan moet deze gebruikt worden. Dit betreft dan het zwaartepunt tijdens operatie, niet tijdens transport. Als deze niet bekend is, dan geldt voor de berekening bij bladbreuk geheel voor de afstand van de rotoras tot het zwaartepunt:

$$Z_{p,\text{geheel}} = \frac{1}{6} \cdot D_{\text{rotor}} \quad (3.6)$$

Waarbij D_{rotor} de rotordiameter in m is.

5.3.3.3.2 Bladbreek in delen

Bij bladbreek in delen wordt ervan uitgegaan dat het blad kan breken op $1/3^{\text{e}}$ van de bladlengte en op $2/3^{\text{e}}$ van de bladlengte. De kansverdelingsfunctie van de positie waar het zwaartepunt van het blad zal inslaan, moet voor beide gevallen worden berekend.

Als de afstand tot het zwaartepunt van bladdelen bekend is (vanaf het rotorcentrum), bijvoorbeeld uit fabrikantgegevens, dan moet deze gebruikt worden. Dit betreft dan het zwaartepunt tijdens operatie, niet tijdens transport. Als deze niet bekend is, moet onderstaande aangehouden worden.

Als het blad breekt zodat $2/3^{\text{e}}$ bladdeel wegvliegt, en dus breekt op $1/3^{\text{e}}$ van de bladlengte vanaf de as gezien, dan is de afstand van de rotoras tot het zwaartepunt:

$$Z_{p,2/3e} = \frac{5}{18} \cdot D_{\text{rotor}} \quad (3.7)$$

Als het blad breekt zodat $1/3^{\text{e}}$ bladdeel wegvliegt, en dus breekt op $2/3^{\text{e}}$ van de bladlengte vanaf de as gezien, dan is de afstand van de rotoras tot het zwaartepunt:

$$Z_{p,1/3e} = \frac{7}{18} \cdot D_{\text{rotor}} \quad (3.8)$$

5.3.3.4 Overtoeren

De omstandigheden waaronder een blad faalt, zijn van invloed op het risico. Zo kan een blad afbreken bij nominaal toerental, maar ook tijdens een situatie van overtoeren. Tegenwoordig zijn veel windturbines uitgerust met meerdere, elkaar aanvullende, veiligheidssystemen om de kans dat overtoeren optreedt te verkleinen. Als aangetoond kan worden dat er maatregelen zijn getroffen om de kans op het scenario bladbreek bij overtoeren bij een windturbine te verkleinen, dan hoeft dit scenario niet meegenomen te worden in de risicoberekening.

Om het scenario overtoeren uit te mogen sluiten, moet de uiteindelijke faalfrequentie van overtoeren $1 \cdot 10^{-9}$ turbine⁻¹jaar⁻¹ of lager zijn. Oftewel, er moet dan aangetoond worden dat de maatregelen die de kans op overtoeren verkleinen een faalfrequentie van $3,1 \cdot 10^{-4}$ turbine⁻¹jaar⁻¹ of lager hebben. Er moet rekening gehouden worden met het mogelijk falen van centrale besturingssystemen, die bijvoorbeeld meerdere remmen aansturen.

Wanneer niet aangetoond kan worden dat er maatregelen zijn getroffen om de kans op het scenario bladbreek bij overtoeren te verkleinen of wanneer er sprake is van een nieuw type windturbine waarbij overtoeren mogelijk is, dan moet de werkwijze uit deze paragraaf gebruikt worden om dit scenario door te rekenen. Dit is dan aanvullend op de andere scenario's uit deze paragraaf. In dit geval worden de scenario's bladbreek en bladbreek in delen nogmaals doorlopen. Hierbij

wordt dan het nominaal toerental (Ω_{nom}) vervangen door 1,2 maal het nominale toerental ($1,2 \cdot \Omega_{\text{nom}}$).

Voor elk van de bladbreuksscenario's (bladbreuk geheel, bladbreuk 1/3^e deel en bladbreuk 2/3^e deel) wordt de faalfrequentie van overtoeren (FF_{ot}) van $3,2 \cdot 10^{-6}$ turbine⁻¹jaar⁻¹ gebruikt. Verdeeld over de scenario's wordt dit $1,4 \cdot 10^{-6}$ turbine⁻¹jaar⁻¹ voor bladbreuk en $1,8 \cdot 10^{-6}$ turbine⁻¹jaar⁻¹ voor bladbreuk in delen. Voor de twee subscenario's van bladbreuk in delen wordt de faalfrequentie dan $9 \cdot 10^{-7}$ turbine⁻¹jaar⁻¹.

5.3.4 Trefkansberekeningen bladbreuk

Als de kans dat het zwaartepunt op een bepaalde plek terechtkomt $p_{\text{ZWPT}}(x, y)$, bekend is, dan moet vervolgens het aanwezige risico dat een afgebroken blad van een windturbine voor zijn omgeving vormt, worden berekend. Het optredende risico voor een persoon of object is een combinatie van de kans dat de persoon of het object wordt getroffen en de gevolgen van deze treffer. Hier wordt uiteengezet op welke wijze de trefkans wordt berekend voor:

- personen;
- gebouwen, bovengrondse buisleidingen (ondergrondse buisleidingen worden besproken in paragraaf 5.6) en andere ruimtelijke objecten.

5.3.4.1 Personen (Plaatsgebonden risico)

Wat de gevolgen betreft, wordt voor personen verondersteld dat treffen door een blad(deel) fataal is. De trefkans van een persoon die permanent aanwezig is op positie (x^*, y^*) wordt gegeven door onderstaande formule. Hierbij wordt verondersteld dat f_{ZWPT} constant is in het gebied rondom de persoon.

$$p_{\text{blad}}(x^*, y^*) = \sum_{i=1}^3 A_{b,i} \cdot f_{\text{ZWPT},i}(x^*, y^*) \cdot FF_i \quad (3.9)$$

- Met: $A_{b,i}$ = Maximale oppervlak van het profiel van het rotorblad(deel);
- $p_{\text{blad}}(x^*, y^*)$ = Plaatsgebonden risico per vierkante meter, per wind turbine, per jaar bij bladbreuk;
- $f_{\text{ZWPT},i}(x^*, y^*)$ = Trefkans zwaartepunt rotorblad(deel) per vierkante meter.

Hierbij bestaat i uit de drie subscenario's: bladbreuk (geheel) en beide bladbreuk (in delen) scenario's.

Als het maximale oppervlak van het profiel van het rotorblad(deel) bekend is, bijvoorbeeld uit fabrikantgegevens, dan moet deze gebruikt worden. Als alleen het oppervlak van het gehele rotorblad bekend is, geldt voor 2/3^e bladdeel dat dit 44 procent van het gehele oppervlak is. Voor 1/3^e bladdeel geldt dat het 11 procent is. Als er geen oppervlak bekend is, dan moet deze volgens onderstaande berekend worden.

De oppervlakken worden als volgt berekend:

$$A_{b,geheel} = 1,6 \cdot D_{rotor} \quad (3.10)$$

$$A_{b,2/3e} = 0,71 \cdot D_{rotor} \quad (3.11)$$

$$A_{b,1/3e} = 0,18 \cdot D_{rotor} \quad (3.12)$$

Met D_{rotor} in m en $A_{b,i}$ in m^2 . De constanten hebben de eenheid m zonder fysische betekenis.

5.3.4.2 Ruimtelijke objecten

In het vervolg worden ruimtelijke objecten aangeduid als 'objecten', zoals opslagtanks, bovengrondse buisleidingen en andere bouwwerken. Voor objecten wordt aangenomen dat deze catastrofaal falen bij treffen door een blad of bladdeel, tenzij onderbouwd kan worden met behulp van beschermingsfactoren (zie paragraaf 5.3.4.2.1) dat hiervan afgeweken kan worden.

Een milieubelastende activiteit mag naar inzicht van de opsteller van de risicoanalyse onderverdeeld worden in onderdelen. Zo mag een bovengrondse buisleiding in segmenten verdeeld worden om de berekening uit te voeren. Hierbij geldt dat de volledige overlap tussen het effectgebied van de windturbine en de milieubelastende activiteit beschouwd moet worden.

Karakteristiek voor een object is dat het een zekere niet te verwaarlozen hoogte heeft. Er moet rekening worden gehouden met het feit dat een blad de gevel of het dak kan raken. Dit wordt de schaduwhoogte genoemd, analoog aan de schaduw die ontstaat door licht dat een voorwerp onder een hoek raakt. Verder wordt onderscheid gemaakt in 'direct treffen' en 'indirect treffen'.

Bij direct treffen wordt de trefkans van het zwaartepunt van het geworpen bladdeel voor het oppervlak van het object zelf, plus de zone van de schaduwhoogte berekend.

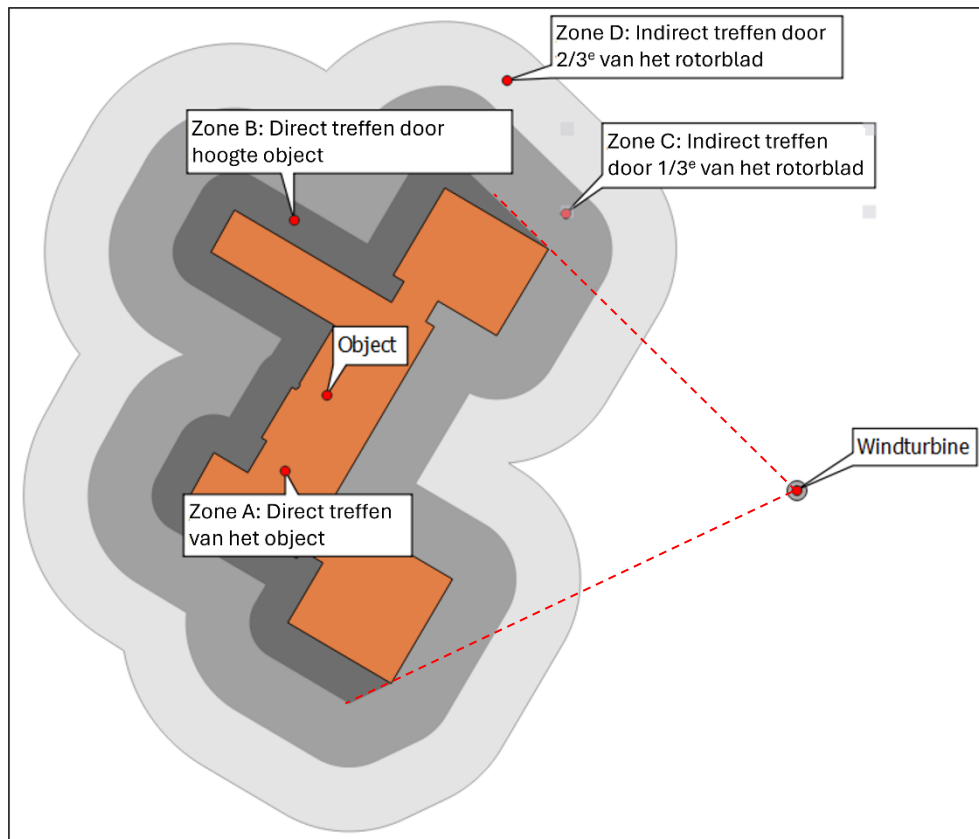
Bij indirect treffen wordt het object vergroot met een afstand gelijk aan de hoogte van het object, georiënteerd vanaf de windturbine (schaduwhoogte). Vervolgens wordt rondom deze nieuwe zone een afstand van een derde lengte van het blad(deel) en twee derde lengte van het blad(deel) getrokken om de trefzones te bepalen. De trefkansen van bladbreuk (P_{zwpt}) binnen deze zones mogen worden vermenigvuldigd met een correctiefactor van 100 procent voor het oppervlak van het object zelf (zone A) en de schaduwhoogte zone (zone B), 74 procent voor de zone van 1/3^e lengte van het blad(deel) (zone C) en 22 procent voor de zone van 2/3^e lengte van het blad(deel) (zone D). De totale trefkansen wordt gevonden door de waarden van alle zones op te tellen.

In Figuur 3.2 is grafisch weergegeven wat berekend dient te worden.

De trefkans van een object (p_g) wordt dan:

$$p_g = \sum_{i=1}^4 p_{ZWPT}(x_i, y_i) \cdot c_i \quad (3.13)$$

- c_i = de correctiefactor voor de zone;
- $p_{ZWPT}(x_i, y_i)$ = de cumulatieve trefkans van het oppervlak per windturbine, per jaar van de zone;
- i = zones A, B, C, D. Hierbij geldt dat:
 - $c_A = 1$
 - $c_B = 1$
 - $c_C = 0,74$
 - $c_D = 0,22$



Figuur 3.2 Grafische weergave van de zones A, B, C en D rondom een object.

5.3.4.2.1 Kritieke raakkans

Vergelijking (3.13) geeft de kans dat een ruimtelijk object wordt geraakt door een afgebroken blad(deel). Voor de beoordeling van de risico's is echter de kritieke raakkans van belang. Dit is de kans dat een object geraakt wordt op een manier dat dit object beschadigd wordt. Deze moet als volgt worden berekend:

$$p_{kr} = (1 - f_{b,d}) \cdot \sum_{i=1}^2 (p_{ZWPT}(x_i, y_i) \cdot c_i) + \quad (3.14)$$

$$(1 - f_{b,i}) \cdot \sum_{j=1}^2 (p_{ZWPT}(x_j, y_j) \cdot c_j)$$

Met $f_{b,d}$ en $f_{b,i}$ respectievelijk de beschermingsfactoren bij directe en bij indirecte inslag van het blad, i -zones A en B en j -zones C en D. De grootte van deze beschermingsfactoren wordt bepaald door de aard en de constructie van het object en zodoende kunnen hiervoor geen generieke waarden worden gegeven. De opsteller van de risicoanalyse moet in overleg met het bevoegd gezag waarden vaststellen. Als het niet mogelijk is een redelijke inschatting te maken van de beschermingsfactoren dient een conservatieve aanpak te worden gehanteerd, waarbij de beschermingsfactoren gelijk aan nul worden gesteld.

De uitkomst p_{kr} is de faalkans voor het falen van het object ten gevolge van het scenario bladafworp. In de modules I en V staat voor de desbetreffende objecten beschreven hoe hiermee rekening gehouden moet worden.

5.4 Mastbreuk

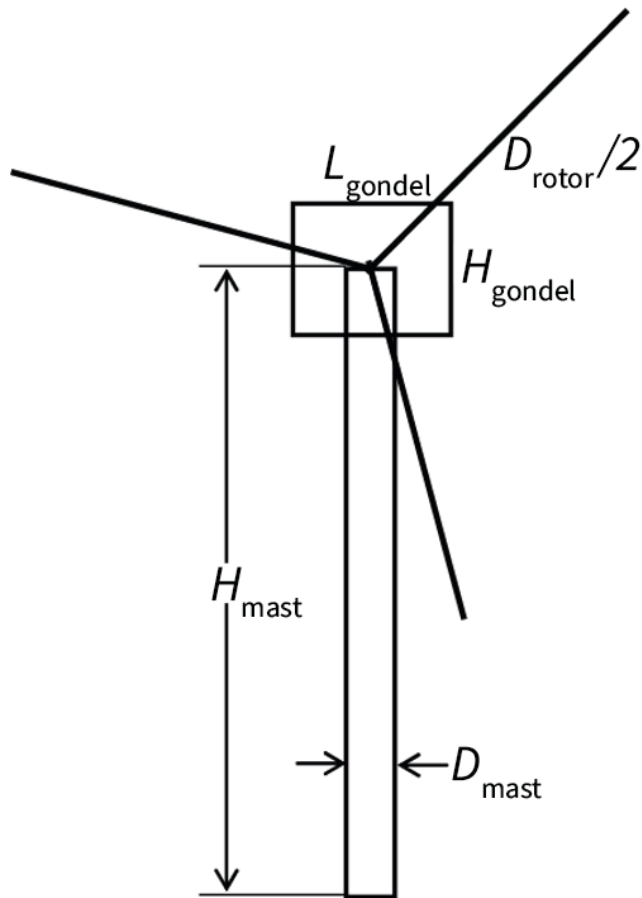
Deze paragraaf beschrijft hoe de trefkans door mastbreuk moet worden bepaald. Door een mastbreuk kan een persoon of object getroffen worden door de mast of door de gondel met rotor. Het risico van dit scenario wordt berekend door de trefkans te vermenigvuldigen met de betreffende faalfrequentie voor deze scenario's. De faalfrequenties zijn te vinden in paragraaf 5.2.

5.4.1 Trefkansberekeningen mast

Deze paragraaf beschrijft hoe de trefkans voor mastbreuk berekend wordt voor personen (plaatsgebonden risico) en objecten. De berekeningen worden uitgevoerd met de aanname dat de mast van de windturbine in zijn geheel valt.

Om de trefkans van een vierkante meter op een bepaalde plaats te berekenen, moet onderscheid worden gemaakt tussen drie gebieden:

1. Een cirkelvormig gebied met straal H_{mast} rondom de turbine, waar de mast terecht kan komen.
2. Een cirkelschijf met binnenstraal $H_{mast} - H_{gondel}/2$ en buitenstraal $H_{mast} + H_{gondel}/2$, waar de gondel terecht kan komen.
3. Een cirkelschijf met binnenstraal $H_{mast} - D_{rotor}/2$ en buitenstraal $H_{mast} + D_{rotor}/2$, waar de rotor terecht kan komen.



Figuur 4.1 Afmetingen windturbine

Deze gebieden kunnen elkaar overlappen. Op die locaties is de grootste trefkans bepalend voor het risico.

Bij onderstaande uitwerking is verondersteld dat de mast zal breken ter plaatse van de voetflens en dat de faalfrequentie van de mast FF_{mb} per jaar is.

1. De kans dat een persoon op een afstand r ($r < H_{\text{mast}}$) van de turbine wordt getroffen door de mast, is:

$$p_{\text{m,mast}} = FF_{\text{mb}} \cdot \frac{D_{\text{mast}}}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad (4.1)$$

2. De kans dat een persoon in het gebied met $H_{\text{mast}} - H_{\text{gondel}}/2 < r < H_{\text{mast}} + H_{\text{gondel}}/2$ door de gondel wordt getroffen is:

$$p_{\text{g,mast}} = FF_{\text{mb}} \cdot \frac{L_{\text{max,gondel}}}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad (4.2)$$

met $L_{\text{max,gondel}}$ de maximale waarde van de lengte en breedte van de gondel.

3. De kans dat een persoon in het gebied met $H_{\text{mast}} - D_{\text{rotor}}/2 < r < H_{\text{mast}} + D_{\text{rotor}}/2$, door een blad wordt getroffen, wordt benaderd door:

$$p_{r,\text{mast}} = FF_{\text{mb}} \cdot \frac{D_{\text{rotor}}}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot s \quad (4.3)$$

waarbij s de solidity aangeeft, ofwel de verhouding tussen het totale bladoppervlak en het oppervlak van de rotor. De solidity van een windturbine met drie bladen wordt bepaald door:

$$s = \frac{3 \cdot A_b}{\pi \cdot (0,5 \cdot D_{\text{rotor}})^2} \quad (4.4)$$

De trefkans van een persoon (het plaatsgebonden risico) op afstand r is dan de som van $p_{m,\text{mast}}$, $p_{g,\text{mast}}$ en $p_{r,\text{mast}}$:

$$p_{\text{mast}} = p_{m,\text{mast}} + p_{g,\text{mast}} + p_{r,\text{mast}} \quad (4.5)$$

5.4.1.1 Ruimtelijke objecten

Voor de bepaling van de trefkans bij mastbreuk wordt een trefzone aangebracht rondom de randen van het object (zoals vastgesteld in paragraaf 5.3.4.2). Dit komt neer op:

- Trefzone indirect treffen rotorblad = $0,5 \cdot D_{\text{rotor}}$.
- Trefzone direct treffen bladgewicht = Zwaartepuntafstand rotorblad (paragraaf 5.3.3.3.1) of $1/6 \cdot D_{\text{rotor}}$.
- Trefzone direct treffen gondel en/of mast = 0 m.

Om de trefkans te bepalen, wordt een schijf als cirkel met een ashoogte afstand (H_{mast}) getrokken rondom de windturbine (Figuur 4.2). De hoek in radialen tussen de cirkel en het geprojecteerde oppervlak van het object is θ_H . De trefkans bij mastbreuk wordt dan:

$$p_{\text{mb}} = FF_{\text{mb}} \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \theta_H \quad (4.6)$$

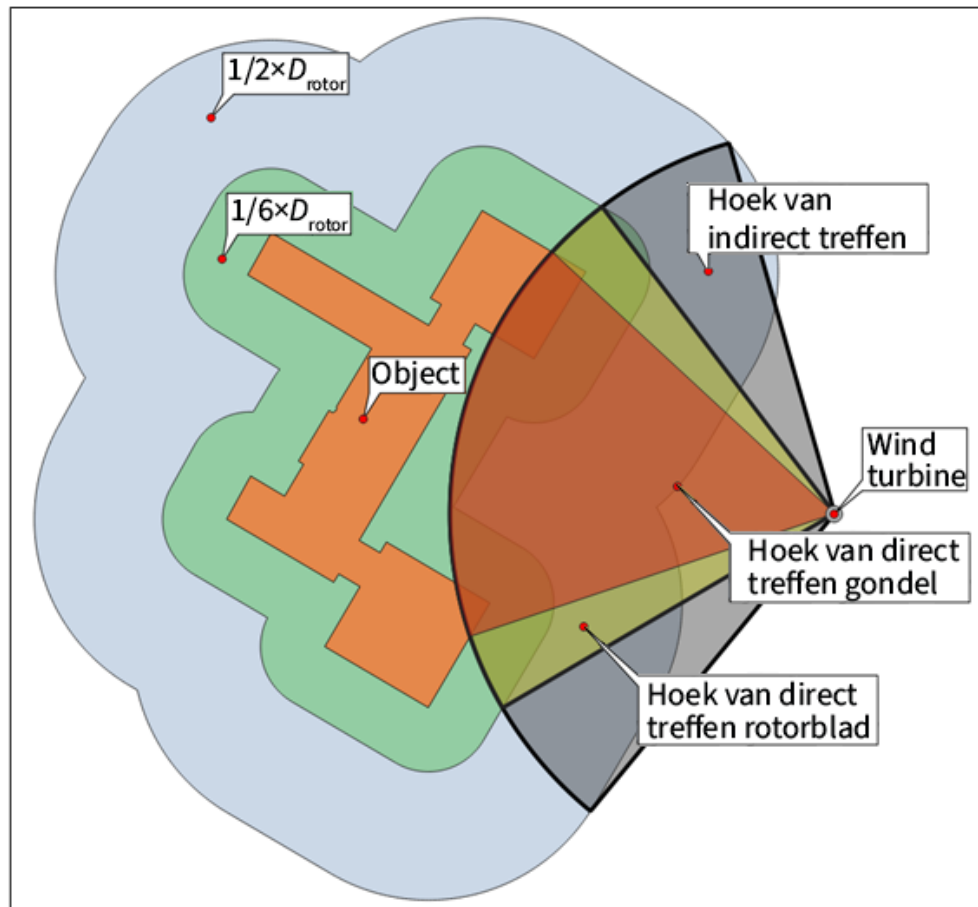
Met:

- p_{mb} = Trefkans bij mastbreuk;
- FF_{mb} = faalfrequentie mastbreuk;
- θ_H = hoek van overlap in radialen op afstand ashoogte (H_{mast}).

p_{mb} wordt berekend voor zowel:

- indirect treffen $p_{\text{mb},i}$;
- direct treffen door een rotorblad $p_{\text{mb},b}$;
- direct treffen door de gondel $p_{\text{mb},g}$;
- of de mast $p_{\text{mb},m}$.

Deze onderdelen moeten gesommeerd worden. Aangenomen wordt dat de impact door mastbreuk met dusdanig hoge krachten gepaard gaat, dat treffen altijd falen is. Hierbij is aangenomen dat de richting waarin de turbine valt uniform verdeeld is.



Figuur 4.2 Weergave trefzones bij mastbreuk

5.5 Incidenten binnen de rotordiameter

5.5.1 Scenario's binnen rotordiameter

Naast de risico's door mastbreuk en bladbreuk (geheel en in delen) dient ook rekening te worden gehouden met het vallen van turbineonderdelen of ijs. Dit zijn incidenten die risico's vormen voor het gebied onder de rotor. Het risicovolle gebied rondom de mast heeft een diameter die gelijk is aan de rotordiameter. De volgende incidenten dienen beschouwd te worden voor de berekening van het plaatsgebonden risico:

1. afvallen van de rotor;
2. afvallen van de gehele gondel met de rotor.

Met rotor wordt hier de hub met de aanhangende rotorbladen bedoeld.

De volgende incidenten moeten kwalitatief worden beschouwd in de risicoanalyse:

1. het vallen van kleine windturbine-onderdelen;
2. het vallen van bladdelen, nadat het tegen de mast is geslagen;
3. het vallen en afwerpen van brokken ijs.

Deze incidenten vormen voornamelijk een risico voor het gebied binnen de rotordiameter. Het bevoegd gezag moet beoordelen of er voldoende rekening is gehouden met deze scenario's.

Het afvallen van de rotor wordt uitgewerkt in paragraaf 5.5.1.1. Het afvallen van de gondel met de rotor wordt uitgewerkt in paragraaf 5.5.1.2.

5.5.1.1 Afvallen van rotor

De maximale valafstand (r_{\max}) is gelijk aan een halve rotordiameter plus een halve gondellengte ($L_{\max,gondel}$). Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de rotor recht naar beneden valt. Binnen deze valafstand kan een vierkante meter geraakt worden door de aanwezigheid van de drie vallende rotorbladen.

Voor $(\frac{1}{2} \cdot D_{\text{mast}}) < r \leq (\frac{1}{2} \cdot D_{\text{rotor}} + \frac{1}{2} \cdot L_{\max,gondel})$

$$p_{\text{rotor}} = FF_{\text{rf}} \cdot \frac{D_{\text{rotor}}}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot s \quad (5.1)$$

En voor $r = 0$ tot $\frac{1}{2} \cdot D_{\text{mast}}$ is de trefkans gelijk aan FF_{rf} .

Met: FF_{rf} = faalfrequentie rotorfalen, D_{rotor} = rotordiameter en s = solidity (paragraaf 5.4.1).

5.5.1.2 Afvallen van gondel met rotor

In deze zone is het treffen afhankelijk van de kans op treffen door de gondel met rotor die naast de masttoeren valt. Het treffen door de gondel of de rotor worden los benaderd. Deze gebieden kunnen elkaar overlappen. Op die locaties is de grootste trefkans bepalend voor het risico.

Het treffen door de gondel wordt benaderd door:

Voor $(\frac{1}{2} \cdot D_{\text{mast}}) < r \leq (\frac{1}{2} \cdot D_{\text{mast}} + L_{\max,gondel})$

$$p_{\text{g,gon}} = FF_{\text{gf}} \cdot \frac{L_{\max,gondel}}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad (5.2)$$

De maximale valafstand (r_{\max}) van een rotorblad bij gondelfalen is gelijk aan een halve rotordiameter plus een halve gondellengte ($L_{\max,gondel}$) plus een halve mastbreedte (D_{mast}). Binnen deze valafstand kan een vierkante meter ook geraakt worden door de aanwezigheid van de drie vallende rotorbladen.

Voor $(\frac{1}{2} \cdot D_{\text{mast}}) < r \leq (\frac{1}{2} \cdot D_{\text{rotor}} + L_{\max,gondel} + \frac{1}{2} \cdot D_{\text{mast}})$

$$p_{\text{r,gon}} = FF_{\text{gf}} \cdot \frac{D_{\text{rotor}}}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot s \quad (5.3)$$

Het totale risico van gondelfalen is dan:

$$p_{\text{gon}} = p_{\text{g,gon}} + p_{\text{r,gon}} \quad (5.4)$$

En voor $r = 0$ tot $\frac{1}{2} \cdot D_{\text{mast}}$ is de trefkans gelijk aan FF_{gf} .

5.6 Incidenten met ondergrondse buisleidingen

In deze paragraaf zijn specifieke voorschriften opgenomen om de invloed van windturbines op ondergrondse buisleidingen te bepalen (voor bovengrondse leidingen zie paragrafen 5.3, 5.4 & 5.5). Ondergrondse leidingen kunnen falen door de impact van een zwaar voorwerp, zoals een windturbineblad, op de grond. Of een leiding faalt door de impact van een windturbine hangt ook af van de eigenschappen van de buisleiding. Daarom worden ondergrondse buisleidingen hier apart behandeld.

5.6.1 Raaktracé

Voor een ondergrondse buisleiding wordt een kritische afstand tussen waar een vallend onderdeel landt en de buisleiding uitgerekend. Binnen deze afstand raakt de buisleiding beschadigd, omdat de toelaatbare stress op de buisleiding overschreden wordt:

$$r_{\text{kritisch}} = 0,3048 \cdot \left(\frac{4,44 \cdot E_{\text{buis}}}{\sigma_{\text{toelaatbaar}}} \right)^{\frac{1}{k_2 \cdot k_3}} \cdot \left(\frac{2,03 \cdot 10^{-4} \cdot k_1 \cdot E_{\text{kinetisch}}}{\sqrt{E_{\text{buis}} \cdot t_{\text{buis}}}} \right)^{\frac{1}{k_2}} \quad (6.1)$$

Waarbij:

- r_{kritisch} : de kritische afstand [m];
- E_{buis} : elasticiteit van de buisleiding [Pa];
- $\sigma_{\text{toelaatbaar}}$: toelaatbare extra stress voordat metaal gaat vloeien [Pa]
- t_{buis} : wanddikte [mm];
- $E_{\text{kinetisch}}$: de energie van de bron (effectieve kinetische energie) [J] of voor de lijnbron de energiedichtheid per eenheidslengte [J/m];
- k_1, k_2 en k_3 : empirische coëfficiënten, zoals in onderstaande Tabel 6.1 gedefinieerd.

Tabel 6.1 Empirische coëfficiënten. De empirische coëfficiënten k_1, k_2 en k_3 hebben een fysische eenheid ook al zijn het constanten. De eenheid van de empirische coëfficiënten is verschillend voor puntbron en lijnbron.

	Puntbron	Lijnbron
k_1	1,0	0,43
k_2	2,5	1,5
k_3	0,77	0,77

De coëfficiënten voor een puntbron worden gebruikt bij het treffen van een leiding door de gondel, rotor of turbineblad(deel). De coëfficiënten voor de lijnbron worden gebruikt voor het treffen van de leiding door de mast bij mastbreuk.

Voor een buisleiding is de nog toelaatbare extra stress, voordat vervorming optreedt gelijk aan de SMYS minus de hoopstress:

$$\sigma_{\text{toelaatbaar}} = SMYS - \frac{P_{\text{buis}} \cdot D_{\text{buis}}}{2 \cdot t_{\text{buis}}} \quad (6.2)$$

- $\sigma_{\text{toelaatbaar}}$: toelaatbare extra stress door de schokgolf [Pa];
- SMYS: Specified minimum yield stress, oftewel de gespecificeerde minimumvloei grens [Pa];

P_{buis} : de interne gasdruk in de buisleiding [Pa];
 D_{buis} : de diameter van de buisleiding [mm];
 t_{buis} : wanddikte [mm].

De SMYS (specified minimum yield stress) is een materiaaleigenschap en wordt bij het ontwerp van de leidingen opgegeven als minimumeis. Veel voorkomende waarden zijn $241 \cdot 10^6$ Pa (Grade B staal), $414 \cdot 10^6$ Pa (X60 staal) en $483 \cdot 10^6$ Pa (X70 staal).

Voor elk van de vallende onderdelen kan de energie worden berekend die het onderdeel heeft, wanneer het de bodem treft. De hoeveelheid energie bestaat voor de rotor, gondel en mast uit de potentiële energie ($m \cdot g \cdot H_{\text{mast}}$). De energie van het vallen van de rotor, gondel en mast zal vrijwel geheel verticaal zijn gericht en aangenomen wordt dat er geen energieverlies optreedt. Hierbij moet worden meegenomen dat in het scenario mastbreuk de gondel en rotor in het gehele effectgebied kunnen neerkomen door breuk/knikken van de mast op een hoger punt in de mast. Voor het scenario mastbreuk geldt dan dat de massa de som van de massa van gondel en rotor is. De massa van de mast wordt verwaarloosd.

Voor de turbinebladen en -bladdelen is er naast de potentiële energie sprake van initiële kinetische energie (de bewegingsenergie van het ronddraaiende turbineblad(deel)) in het scenario bladafworp. Turbinebladen en -bladdelen kunnen ver weggeslingerd worden. De inslag van een blad(deel) met de grond zal onder een hoek zijn, in plaats van volledig verticaal. De energie die de grond opneemt, is hierdoor slechts een deel van de kinetische energie. De resterende energie betreft de kinetische energie behorende bij de horizontale richting, waarmee het turbineblad(deel) doorglijdt (of stuitert) over het grondoppervlak. Dit draagt niet bij aan de schokgolf. Aanbevolen wordt om de fractie van de totale energie, behorende bij de verticale snelheidscomponent (f_v), voor elk scenario te berekenen en hier toe te passen (formule (6.6)).

De potentiële energie van het turbineblad(deel) ($m_b \cdot g \cdot H_{\text{mast}}$) wordt, op enige wrijving na, volledig omgezet in kinetische energie. Het bepalen van de verticale snelheidscomponent geldt daarom alleen voor de initiële bewegingsenergie van het turbineblad(deel). De totale kinetische energie is dan:

$$E_{\text{schokgolf}} = m_b \cdot g \cdot H_{\text{mast}} + \frac{1}{2} \cdot f_v \cdot m_b \cdot (\Omega_{\text{nom}} \cdot Z_{p,i})^2 \quad (6.3)$$

$E_{\text{schokgolf}}$: de energie van de bron (effectieve kinetische energie van de schokgolf) [J];
 m_b : massa van het blad(deel) [kg];
 f_v : fractie (verticale component) van de initiële kinetische energie opgenomen door de bodem (≤ 1 , zie hieronder);
 g : valversnelling ($9,81 \text{ m/s}^2$);
 H_{mast} : ashoogte [m];
 Ω_{nom} : nominaal toerental van de windturbine [rad/s];
 $Z_{p,i}$: zwaartepunt van het blad(deel) i [m].

Als de massa van de bladdelen bekend is, bijvoorbeeld uit fabrikantsgegevens, dan moeten deze gebruikt worden. Anders geldt voor de massa van de bladdelen:

$$m_{b,2/3} = 0,5 \cdot m_{b,geheel} \quad (6.4)$$

$$m_{b,1/3} = 0,188 \cdot m_{b,geheel} \quad (6.5)$$

$m_{b,geheel}$: massa van een geheel blad [kg];
 $m_{b,2/3}$: massa van 2/3^e bladdeel [kg];
 $m_{b,1/3}$: massa van 1/3^e bladdeel [kg].

De fractie van de energie die verticaal wordt doorgegeven aan de grond tijdens bladafwerp, is geometrisch op te lossen:

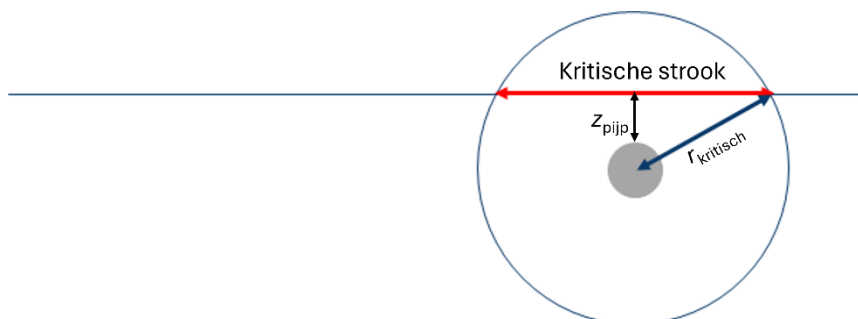
$$f_v = \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{H_{mast}}{r}\right)\right) \quad (6.6)$$

r : De werpafstand van het blad(deel) ten opzichte van de mast [m].

Voor de hoogte van het vallend object wordt voor zowel de gondel, de rotor als het turbineblad(deel) de masthoogte gehanteerd. De hoogte van het massamiddelpunt van de gondel, ofwel het turbineblad(deel) ten opzichte van deze masthoogte, wordt hierbij verwaarloosd.

5.6.2 Kritische strook

Met bovenstaande formules wordt aan de hand van de windturbine- en leidingparameters een kritische afstand gevonden (paragraaf 6.1). Deze kritische afstand is een denkbeeldige cilinder rondom de leiding, zoals is weergegeven in Figuur 6.1. Het grondoppervlak binnen deze denkbeeldige cilinder (het in het rood aangegeven deel) is de kritische strook. Valt hierbinnen het massamiddelpunt van het desbetreffende voorwerp, dan is de afstand tot de leiding kleiner dan de kritische afstand en leidt dit rekenkundig tot schade aan de leiding. Elk windturbinedeel heeft een eigen energiehoeveelheid en dus wordt voor elk onderdeel een eigen kritische afstand berekend.



Figuur 6.1 Verticale dwarsdoorsnede van de lucht/aarde, loodrecht op de leiding (grijs), waarmee de kritische breedte van de strook(rood) als functie van de kritische afstand (blauw) en diepteligging wordt bepaald.

De breedte van de kritische strook wordt berekend met de volgende formule:

$$\text{Breedte kritische strook} \begin{cases} \text{als } 0 < z_{\text{buis}} < r_{\text{kritisch}}: 2 \cdot \sqrt{r_{\text{kritisch}}^2 - (z_{\text{buis}} + \frac{1}{2} \cdot D_{\text{pijp}})^2} \\ \text{als } z_{\text{buis}} \geq r_{\text{kritisch}}: 0 \end{cases} \quad (6.7)$$

r_{kritisch} : kritische afstand [m]

z_{buis} : diepteligging van de bovenkant van de buisleiding (de "gronddekking") [m]

Bij $z_{\text{buis}} = 0$ wordt de buisleiding gezien als een bovengrondse buisleiding en wordt deze behandeld als 'ruimtelijk object' (zie paragrafen 5.3, 5.4 & 5.5)

Voor elk onderdeel van de windturbine (blad(deel), rotor, gondel en mast) wordt op deze manier een kritische afstand bepaald voor een leiding. Hiermee volgt uit de diepteligging van de leiding de ligging van de kritische strook.

Voor elk scenario is nu een kritische strook bekend en een trefkans per vierkante meter in dit gebied (paragrafen 5.3, 5.4 & 5.5). Hieruit wordt de trefkans van de kritische strook berekend per scenario. De opsteller van de risicoanalyse kiest of dit gedaan wordt voor de gehele ondergrondse buisleiding of bijvoorbeeld per segment. De opsteller van de risicoanalyse mag de nauwkeurigheid van de berekening en dus de segmentlengte bepalen. Dit wordt vervolgens gesommeerd.

$$p_{\text{a,breuk}} = \sum_{i=1}^6 \int_{\text{kritische strook}} p_i(x^*, y^*) dA_i \quad (6.8)$$

Met:

$p_{\text{a,breuk}}$: De toename in faalfrequentie van de leiding in de kritische strook [/jaar].

$p_i(x^*, y^*)$: De trefkans van een vierkante meter van het scenario i [/jaar].

i : De verschillende scenario's: bladbreuk (geheel), bladbreuk (in delen; 1/3^e en 2/3^e bladdeel), mastbreuk, gondelafworp en rotorafworp.

A_i : Oppervlak van de kritische strook voor het desbetreffende scenario i [m²].

Deze kans $p_{\text{a,breuk}}$ is een toename in de faalfrequentie voor het scenario breuk van de leiding (Module V).

5.7 Module IV - Toelichting

5.7.1 Inleiding

Deze paragraaf bevat de toelichting op Module IV – Windturbines. De rekenmethode in Module IV beschrijft hoe het risico voor personen en de trefkans van objecten door windturbines bepaald moeten worden.

Als eerste indicatie voor de risico's van windturbines voor personen kunnen vuistregels (zie paragraaf 5.7.10) worden gebruikt. Deze vuistregels zijn zeer conservatief ten opzichte van de uitkomsten van berekeningen en zijn bedoeld als een eerste inschatting voor plaatsingsmogelijkheden van windturbines. De plaatsgebonden risicocontouren moeten berekend worden, zoals beschreven in paragraaf 5.2 van Module IV.

5.7.2

Wijzigingen

In Tabel 7.1 staan de belangrijkste wijzigingen in Module IV en de Toelichting ten opzichte van Module IV, versie oktober 2020[15]. De keuzes voor deze wijzigingen en de invloed hiervan op de uitkomsten van berekeningen zijn nader toegelicht in het RIVM-rapport 2024-0089[16].

Tabel 7.1 Wijzigingen in Module IV ten opzichte van Module IV, versie oktober 2020.

Onderwerp	Korte samenvatting wijziging	Toelichting
Definities aangescherpt	De definities van veelgebruikte parameters in de rekenmethode zijn weergegeven.	In de voorgaande module waren parameters opgenomen, die in de praktijk op verschillende wijzen werden geïnterpreteerd. Om dit te voorkomen, zijn definities opgenomen.
Faalfrequenties aangepast	De faalfrequenties zijn geactualiseerd aan de hand van meer jaren aan incidentenstatistiek.	De faalfrequenties zijn geactualiseerd aan de hand van incidentdata van het Caithness Windfarm Information Forum (nu de Scotland against Spin database)[4]. De beschouwde tijdsperiode is 2001 t/m 2020 (RIVM-rapport 2021-0234)[2].
Modelering met luchtkrachten verwijderd	Voorheen kon gekozen worden om met of zonder luchtkrachten de trefkansen van bladen te berekenen. In het kader van eenduidigheid is gekozen om nog maar één methode	De modelering met luchtkrachten is afhankelijk van veel factoren (weersomstandigheden, aerodynamische vorm van het blad, oriëntatie van het blad, et cetera). Om alle mogelijkheden mee te nemen, zou de modelering zeer complex worden. Een

Onderwerp	Korte samenvatting wijziging	Toelichting
	te hanteren (zonder luchtkrachten).	versimpelde versie van modellering met luchtkrachten zou leiden tot schijnnaauwkeurigheid.
Zwaartepuntbepaling blad aangepast	Een algemene bepaling van het zwaartepunt van het blad is nu duidelijker opgenomen in Module IV.	In de voorgaande module was genoemd dat het zwaartepunt op ongeveer 1/3 ^e van het blad lag. De module was echter geschreven met de aanname dat het zwaartepunt van een blad bekend is. Dit blijkt vaak niet het geval. Daarom zijn algemene formules toegevoegd om deze te kunnen bepalen.
Bladoppervlak berekening aangepast	De formule voor het bladoppervlak is geactualiseerd aan de hand van extra datapunten.	De formule voor het bladoppervlak is geactualiseerd. Hiervoor is het aantal datapunten uitgebreid en zijn deze vervolgens conservatief gefit. Dit is gedaan, omdat de oude formule bij grotere windturbines het bladoppervlak significant overschatte.
Scenario bladbreuk in delen toegevoegd	Het scenario bladbreuk in delen is toegevoegd. Hierbij wordt voor 1/3 ^e en 2/3 ^e bladdeel uitgerekend wat de trefkans is.	Bij het scenario bladbreuk wordt vaak gezien dat het blad in delen of voor een deel wordt afgeworpen (RIVM-rapport 2021-0234)[2]. Door toevoeging van dit scenario wordt bij het bepalen van de risico's rekening hiermee gehouden.
Berekening passantenrisico aangepast	De berekening van het passantenrisico is aangepast, zodat deze aansluit bij de huidige rekenmethode. Daarnaast is de	De berekening van het passantenrisico sluit nu aan bij de huidige trefkansbenadering[3]. Daarnaast is vastgelegd hoe de remweg uitgerekend moet worden om tot een

Onderwerp	Korte samenvatting wijziging	Toelichting
	methode aangescherpt	uniformere berekeningswijze te komen.
Scheiden scenario's gondelafworp en rotorafworp	De scenario's gondelafworp (inclusief rotor) en rotorafworp worden als losse scenario's benaderd.	In de voorgaande module werd ervan uitgegaan dat de gondel altijd meevalt als de rotor faalt. Bij afleiding van de nieuwe faalfrequenties was voldoende casuïstiek om deze scenario's los van elkaar te kunnen benaderen.
Trefkansberekeningen aangepast	De manier van trefkans berekenen van personen en objecten is aangepast.	De berekeningen uit de voorgaande module waren complex en stonden geen objecten anders dan kubusvormig toe. Met de nieuwe methode is het mogelijk de trefkans van anders gevormde objecten te berekenen. Dit gebeurt op basis van een GIS-benadering.
Impact op ondergrondse buisleidingen	De methode voor het berekenen van de impact van vallende onderdelen van windturbines op ondergrondse buisleidingen is beperkt aangepast.	De methode is aangepast naar een sommering van trefkansen van verschillende onderdelen die een ondergrondse buisleiding kunnen beschadigen, om dit te laten aansluiten op de geactualiseerde rekenmethode om trefkansen te bepalen. Hierdoor is de kansverdelingsfunctie niet meer nodig.

5.7.3

Achtergrondinformatie

In 2024 heeft het samenwerkingsverband Antea – Pondera op verzoek van het RIVM een onderzoek uitgevoerd naar de effectmodellering voor windturbines (Eskens & Vogelaar, 2024)[3]. In dat onderzoek is de op dat moment geldende rekenmethode voor de effectbepalingen (Module IV, versie oktober 2020)[15] geanalyseerd. Daarnaast is geïnventariseerd of er andere rekenmethoden beschikbaar zijn voor de

effectmodellering. Vervolgens hebben Antea en Pondera de gevonden methoden beoordeeld op de kwaliteitscriteria die het RIVM heeft opgesteld voor nieuwe rekenmethoden (Boxman et al, 2022)[5]. Ook hebben Antea en Pondera, waar nodig en mogelijk, aanpassingen voorgesteld om tot een beter onderbouwde rekenmethode te komen. Bij dit proces is ook een begeleidingscommissie betrokken geweest, om de kennis van stakeholders en experts te kunnen benutten. De begeleidingscommissie bestond uit Arcadis, DCMR Milieudienst Rijnmond, Omgevingsdienst Noord-Holland Noord, NRG en Royal HaskoningDHV.

Het RIVM heeft aan de hand van het onderzoek van Antea – Pondera de methoden geselecteerd die het best scoren op de verschillende kwaliteitscriteria. Het is namelijk belangrijk dat een rekenmethode representatieve en betrouwbare uitkomsten oplevert, maar de methode moet ook werkbaar zijn en daarom niet te complex zijn. Voor achtergrondinformatie over de gemaakte keuzes in de rekenmethoden wordt verwezen naar het RIVM-rapport 2024-0089[16].

5.7.4 *Inleiding Module IV (toelichting bij Module IV, paragraaf 5.1)*

5.7.4.1 Handreiking Risicozonering windturbines (toelichting bij Module IV, paragraaf 5.1)

Naast het Rekenvoorschrift Module IV en de toelichting daarop, is er ook de Handreiking Risicozonering windturbines[17]. Deze handreiking biedt een overzicht van de aspecten, breder dan alleen externe veiligheid, waarmee bij de plaatsing van windturbines rekening gehouden moet worden. Vergunningverleners, ontwikkelaars en eigenaren van infrastructurele werken kunnen de handreiking gebruiken om de verandering van de risico's voor personen en objecten te bepalen, na plaatsing van windturbines in hun nabijheid.

5.7.5 *Plaatsgebonden risico bij windturbines (toelichting bij Module IV, paragraaf 5.2)*

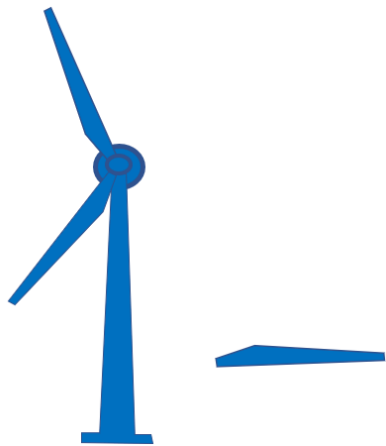
5.7.5.1 Faalfrequenties windturbines (toelichting bij Module IV, paragraaf 5.2)

In 2022 heeft het RIVM de faalscenario's en bijbehorende faalfrequenties voor windturbines geactualiseerd. Voor meer informatie over de achtergrond van de faalscenario's en faalfrequenties en de wijze van afleiding wordt verwezen naar het RIVM-rapport 2021-0234[2].

5.7.5.2 Faalscenario's windturbines (toelichting bij Module IV, paragraaf 5.2)

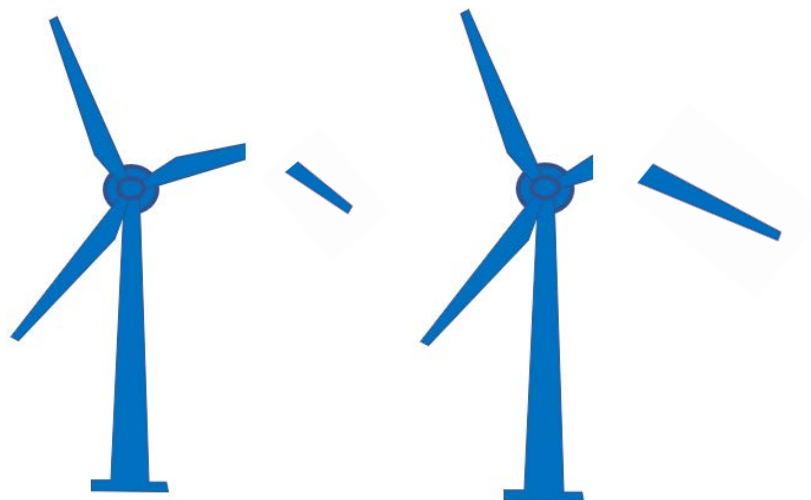
Bij het falen van een windturbine zijn vijf faalscenario's te onderscheiden: bladbreuk geheel, bladbreuk in delen, mastbreuk, rotorafworp en gondelafworp. Hieronder staat een verdere toelichting van de scenario's.

- a. Bladbreuk (geheel): Het blad breekt aan de wortel af en wordt in zijn geheel weggegooid (zie Figuur 7.1).



Figuur 7.1 Scenario bladbreuk geheel

- b. Bladbreuk (in delen): Het blad breekt op $1/3^e$ of $2/3^e$ van de bladlengte af. Het afgebroken deel wordt hierbij afgeworpen en het resterende deel blijft aan de as vastzitten (zie Figuur 7.2).



Figuur 7.2 Scenario bladbreuk in delen

- c. Mastbreuk: Mastbreuk vindt plaats doordat de mast bij de voetflens afbreekt, of doordat de mast knikt op een hoger gedeelte. In Module IV is geen onderscheid gemaakt tussen deze situaties. Het afbreken van de mast bij de voetflens geeft de maximale effectafstand voor dit scenario (zie Figuur 7.3).



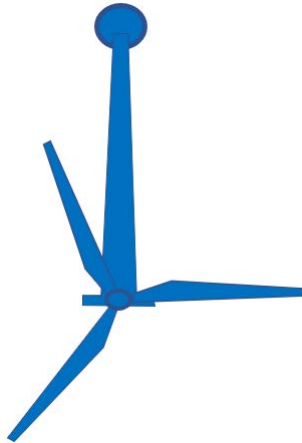
Figuur 7.3 Scenario mastbreuk

- d. Gondelafwerp: De gondel komt als geheel, samen met de rotor, naar beneden. De mast blijft staan (zie Figuur 7.4).



Figuur 7.4 Scenario gondelafwerp

- e. Rotorafwerp: De rotor komt los van de gondel en valt naar beneden. De mast en gondel blijven staan (zie Figuur 7.5).



Figuur 7.5 Scenario rotorafwerp

5.7.6 *Bladbreek (geheel of in delen) (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.3)*

5.7.6.1 *Bladbreukscenario's (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.3.2)*

Voor het scenario bladbreek in delen wordt ervan uitgegaan dat $1/3^e$ of $2/3^e$ deel van de bladlengte afbreekt[3]. De verdeling in $1/3^e$ en $2/3^e$ delen is gebaseerd op fotobewijs van faalincidenten, waarbij een deel van een rotorblad is afgebroken. Daarnaast komt dit overeen met het ontwerp van een rotorblad, waarbij het eerste deel van een rotorblad dikker en steviger is uitgevoerd en steeds dunner wordt richting de tip van het rotorblad. Op de overgang zit het zwakste punt van het blad. Aannemelijk is dat bij een incident het blad op dit punt faalt.

De mogelijke oorzaken voor bladbreek (in delen) zijn onder andere storm (overschrijden van de maximale belasting), vermoeiing en fabricagefouten.

5.7.6.2 *Werpafstand (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.3.2)*

De afstand die door een afbrekend bladdeel overbrugd kan worden, wordt de werpafstand genoemd. De werpafstand is afhankelijk van het

type turbine en wordt onder andere bepaald door de diameter van de turbine, het rotortoerental en de ashoogte.

- 5.7.6.3 Ballistisch model zonder luchtkrachten (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.3.2)
 Bij alle drie de scenario's voor bladbreuk wordt uitgegaan van een ballistisch model zonder luchtkrachten. Dit is in wezen het klassieke kogelbaanmodel. Doordat de luchtkrachten niet worden meegenomen, blijven alleen het toerental en de azimuthoek als stochastische grootheden over. Ook geldt dat de kans dat het zwaartepunt van een blad(deel) op een bepaalde positie terechtkomt, alleen afhankelijk is van de afstand tot de windturbine en niet van luchtkrachten.

- 5.7.6.4 Windturbines die op een verhoging staan (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.3.3)
 De rekenmodule houdt geen rekening met het type ondergrond waar de windturbine staat. Als deze op een verhoging staat, zoals een dijk of waterkering, dan kan dat van invloed zijn op de berekende uitkomsten. Aangenomen wordt dat de verhoging door de dijk relatief klein is (<10%) ten opzichte van de hoogte van de turbine.

Indien gewenst, kan de hoogte van de ondergrond meegenomen worden door de ashoogte te nemen ten opzichte van grond in de omgeving. Dat zal dan bij benadering de som van de ashoogte en de hoogte van de ondergrond zijn.

Deze gecombineerde hoogte kan dan gebruikt worden voor het scenario bladafworp. Geadviseerd wordt deze niet te gebruiken voor het scenario mastbreuk, omdat naar verwachting de mast niet met ondergrond en al zal kantelen. Voor de domino-effecten met ondergrondse buisleiding kan deze extra hoogte ook meegenomen worden, gezien de extra potentiële energie van het vallende object die door de hoogte ontstaat.

- 5.7.6.5 Bewegingsvergelijking (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.3.3.1)
 Voor bladafworp wordt ervan uitgegaan dat de vlucht van het blad enkel over de x-richting gaat met hoogte z. Er wordt aangenomen dat er op de y-richting geen beweging plaatsvindt. Omdat gerekend wordt met cirkelschijven om de windturbine heen, zijn de treflocaties in essentie polair van aard. Echter wordt aangenomen dat voor de grootteorde van 1 m² een treflocatie op afstand x de trefkans ook beschreven kan worden met een cartesisch raster. Het gehanteerde assenstelsel en de draairichting staat in Figuur 7.6.

Wanneer (3.2) in (1.3) wordt gesubstitueerd volgt:

$$r(\alpha) = \sqrt{x^2 + y^2} = x(\alpha)$$

Met:

$$x(\alpha) = Z_p \cdot \cos \alpha - \Omega_{\text{nom}} \cdot Z_p \cdot t_i \cdot \sin \alpha \quad (7.5)$$

Let hierbij op het verschil tussen t en t_i en het feit dat x nu een functie van α is.

- 5.7.6.6 Verdelingsfuncties (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.3.3.2)
De kans (f_R) dat het zwaartepunt van het blad in een cirkelschijf met breedte 1 m op een afstand r van de turbine terecht komt (R_{zwpt}), is gegeven door:

$$f_R(r) = p\{r - 0,5 \leq R_{\text{zwpt}} < r + 0,5 \dots\} \quad (7.6)$$

Hierbij is R_{zwpt} de afstand in gehele getallen: de ondergrens hoort dus wel bij het interval en de bovengrens niet. De kans f_R kan benaderd worden door het aantal berekende punten in een 'bin' te delen door het totaal aantal berekende punten. Het aantal punten dat berekend moet worden, is ten minste 10.000. Met dit aantal is deze benadering voldoende om de kans te beschrijven binnen de onzekerheid van de rekenmethode. Met deze benadering kan de formule (7.6) als volgt herschreven worden:

$$f_R(r) = \frac{n_r}{n_{\text{tot}}} \quad (7.7)$$

Met:

- n_r : Het aantal berekeningen met een unieke α dat op afstand r uitkomt. Oftewel de 'bin' [m^{-1}].
- n_{tot} : Het totaal aantal berekeningen met een unieke α [-].

f_R is de kans dat een cirkelschijf geraakt wordt. Om vervolgens de trefkans van één m^2 (f_{ZWPT}) te bepalen, wordt gedeeld door de omtrek van de cirkel, oftewel $2 \cdot \pi \cdot r$. Dit resulteert in een partiele cirkelschijf. Door de afstanden waarmee meestal wordt gerekend ($>50\text{m}$), wordt aangenomen dat dit beschreven kan worden als een vierkant van 1 m^2 . Deze benadering is dicht bij de turbine een grovere benadering, maar nog steeds bruikbaar.

- 5.7.6.7 Zwaartepunt blad (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.3.3.3.1)
Om de risico's van bladafworp te bepalen, is het zwaartepunt van het blad nodig. Er is hierbij een verschil tussen het zwaartepunt van het blad tijdens operatie en tijdens transport. Voor de berekening is het zwaartepunt tot aan het ascentrum van de windturbine nodig. Dit is de zwaartepuntafstand na installatie, dus tijdens operatie.

Als de eigenlijke ligging van het zwaartepunt niet bekend is, wordt aangenomen dat het zwaartepunt op $1/3^{\text{e}}$ van het blad ligt, oftewel op $1/6^{\text{e}}$ van de rotordiameter[3].

5.7.6.8 Zwaartepunt bladdelen (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.3.3.3.2)
Bij het bepalen van het zwaartepunt van bladdelen wordt ervan uitgegaan dat de opbouw van een blad uniform is[3]. De aanname dat het zwaartepunt van een blad op 1/3^e bladlengte ligt, wordt daarmee ook gedaan voor bladdelen.

5.7.6.9 Berekeningswijze overtoeren (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.3.3.4)
De faalfrequentie van overtoeren is in het verleden afgeleid als $5 \cdot 10^{-6}$ turbine⁻¹jaar⁻¹[15]. Dit was ongeveer honderd keer kleiner dan de faalfrequentie bladafworp zonder overtoeren in dezelfde tijdperiode. Bij de meest recente update van faalfrequenties is de faalfrequentie van overtoeren niet opnieuw afgeleid[2]. Voor de nieuwe faalfrequentie voor overtoeren is de aanname gedaan dat deze nog steeds honderd keer kleiner is dan de faalfrequentie van bladafworp zonder overtoeren.

De afkapgrens van 10^{-9} turbine⁻¹jaar⁻¹ is de afkapgrens die over het algemeen in omgevingsveiligheid wordt gehanteerd om te bepalen of een scenario relevant is[18].

In het verleden is overtoeren gedefinieerd als $\Omega > 1,2 \cdot \Omega_{\text{nom}}$. Het scenario overtoeren werd vervolgens uitgerekend met de aanname $\Omega = 2 \cdot \Omega_{\text{nom}}$. De oorsprong van deze getallen is niet bekend. In de update van Module IV 2024[16] is beschreven dat overtoeren bijna niet voorkomt en als het voorkomt dat dit kortstondig is. Daarom is gekozen om de ondergrens van de overtoeren definitie aan te houden, oftewel: $\Omega = 1,2 \cdot \Omega_{\text{nom}}$.

5.7.6.10 Trefkansberekeningen bladbreuk (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.3.4)

5.7.6.10.1 Plaatsgebonden risico (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.3.4.1)
Voor de berekening van het plaatsgebonden risico wordt aangenomen dat een persoon die permanent aanwezig is, dodelijk wordt getroffen als het zwaartepunt van het blad precies op hem terechtkomt. Komt het zwaartepunt van het blad in de buurt van de persoon terecht, dan is er nog steeds een kans dat deze persoon wordt getroffen. Een en ander is afhankelijk van de oriëntatie van het blad bij inslag. Deze trefkans neemt af naarmate het blad verder van de persoon terechtkomt. Bij de huidige kunststofbladen ligt het zwaartepunt op ongeveer 1/3^e van de bladlengte, gemeten vanaf de bladwortel, zodat de kans nul wordt als het zwaartepunt verder dan 2/3^e keer de bladlengte van de persoon terechtkomt.

Voor het bepalen van het oppervlak van bladdelen wordt het blad als een perfecte driehoek benaderd en wordt ervan uitgegaan dat het bladdeel recht afbreekt. Dat betekent dat de verhouding tussen de lengte en de breedte van het blad constant is en dat voor 2/3^e bladdeel zowel de lengte als de breedte 2/3^e van de originele waarden zijn. Dat betekent dat het originele oppervlak twee keer met 2/3^e vermenigvuldigd wordt, oftewel met 4/9^e. De factor 1,6 is vermenigvuldigd met 4/9^e (=44%) om tot 0,71 te komen.

Voor 1/3^e bladdeel geldt dezelfde benadering, waarbij dan met 1/9^e (=11%) vermenigvuldigd wordt om tot de factor 0,18 te komen.

De bepaling van de bladoppervlakken, wanneer deze niet bekend zijn, wordt gedaan via een causaal afgeleid verband tussen de rotordiameter en het bladoppervlak[3]. In dit geval hebben de factoren 1,6, 0,71 en 0,18 dus effectief de eenheid [m]. Dit heeft echter geen fysische betekenis.

In formule 3.9 wordt ook nog gedeeld door het oppervlak van een persoon. Deze is aangenomen als 1 m^2 . Voor de overzichtelijkheid is dit weggelaten uit de formule. Dit speelt echter wel een rol in de totstandkoming van de eenheden.

Een gemiddelde persoon heeft van boven gezien een kleiner oppervlak dan 1 m^2 (ca. $0,3 \text{ m}^2$). Dit is dus een overschatting. Een persoon heeft echter ook een hoogte (gemiddeld 1,8m). Deze hoogte wordt niet meegenomen in de berekening als schaduwhoogte, zoals wel gebeurt voor objecten. Dit is dus een onderschatting. Het is getoetst of deze principes voldoende elkaar opheffen, zodat deze versimpeling gemaakt kan worden[3].

Er wordt aangenomen in de berekening dat de trefkans van een rotorblad rondom de vierkante meter waar het plaatsgebonden risico bepaald wordt eenzelfde waarde zal hebben. De afwijking is beperkt, omdat de trefkans met name verschilt met de afstand ten opzichte van de windturbine. De regio die radiaal op dezelfde afstand ligt, zal inderdaad een vergelijkbare trefkans hebben. De afname van de trefkans als functie van de afstand tot de windturbine loopt relatief lineair op de lengteschaal van een blad. In de meeste gevallen zal de trefkans van het gedeelte dat dichterbij de turbine landt uitmiddelen met de trefkans van het gedeelte dat verder van de turbine landt. Uiteindelijk wordt de contour op punten in de curve bepaald waarbij dit geldt, of de f_{zwpt} een piek vertoont. In dat laatste geval is de aanname dat de trefkans overal gelijk is meteen ook een conservatieve aanname.

5.7.6.10.2 Indirect treffen en correctiefactoren (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.3.4.2)

In de gebieden voor indirect treffen (zones C & D) kan het zwaartepunt van een turbineblad(deel) dusdanig terechtkomen, dat de uitstekende gedeeltes (vanaf het zwaartepunt gezien) het gebouw nog raakt. De tip of de flens van het blad kan het gebouw dan nog treffen. Dit komt omdat het turbineblad(deel) groter is dan de 1 m^2 waarvoor de treflocatie van het zwaartepunt wordt uitgerekend.

Er is echter in dit geval een kansverdeling nodig om te beschrijven of het blad(deel) ook in de oriëntatie is, waarbij deze het gebouw kan raken. Deze kansverdeling is versimpeld naar de correctiefactoren. De voorgeschreven correctiefactoren zijn afgeleid via het toepassen van een twee-stapsgemiddelde op de realistische trefkansverdeling van een uitstekend rotorbladdeel op een object. Dit is in meer detail uitgewerkt in Eskens en Vogelaar 2024[3].

5.7.6.10.3 Trefkans ruimtelijke objecten (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.3.4.2)

De trefkansberekening kan voor omgevingsveiligheid gebruikt worden voor bovengrondse buisleidingen en risicovolle installaties. De methode

kan desgewenst ook gebruikt worden om de trefkans van andere objecten te bepalen.

De onderstaande trefkansberekeningen zijn niet opgenomen in Module IV, omdat deze berekeningen niet van toepassing zijn op het bepalen van het plaatsgebonden risico. Deze berekeningen zijn in het verleden geconsolideerd naar de toelichting, omdat deze een rol spelen in de algehele risicoanalyse van een windturbine.

5.7.6.10.3.1 Wegen en passanten

Voor de berekening van de kans dat een weg geraakt wordt, wordt dezelfde beredenering gevolgd als voor personen (zie paragraaf 5.3.4.1 uit Module IV). Er wordt van uitgegaan dat als een deel van het geworpen blad(deel) op de weg terechtkomt, dit een risico vormt.

Met de veronderstelling dat p_{ZWPT} constant is in het gebied rondom de weg, is de trefkans van een weg gegeven door:

$$p_{w,blad} = A_b \cdot \int_{A_w} p_{ZWPT}(x, y) \cdot dA_w \quad (7.8)$$

Met:

- A_b = het oppervlak van het rotorblad [m²];
- $p_{w,blad}$ = de kans dat de weg geraakt wordt [turbine⁻¹ jaar⁻¹];
- A_w = het oppervlak van de weg [m²].

Omdat rondom de rijbaan waar een passant zich bevindt al extra breedte als trefzone wordt aangehouden, hoeft er geen extra hoogte (schaduwhoogte) aan de analyse te worden toegevoegd. De hoogte van passanten valt daarmee reeds binnen het totale te raken oppervlak van de rijbaan. De verblijfstijd van een object kan vervolgens bepaald worden door de gehele infrastructuur binnen de effectafstand plus een remweg behorende bij de snelheid van het object te bepalen. De tijd die het een object kost om door deze zone te rijden, is de verblijfstijd van een enkele passage. De kans dat een passant ($p_{pas,blad}$) wordt geraakt, is dan:

$$p_{pas,blad} = p_{w,blad} \cdot \frac{A_{pas}}{A_w} \quad (7.9)$$

Waarbij A_{pas} het effectieve oppervlak van passanten is, uit te rekenen met:

$$A_{pas} = \sum_{i=1}^N \left(\frac{v_{pas,i}}{a_{pas,i}} \cdot \frac{v_{pas,i}}{2} \cdot b_{pas,i} + L_{pas,i} \cdot b_{pas,i} \right) \quad (7.10)$$

Met

N : jaargemiddeld aantal passanten aanwezig op de weg op enig moment
 i : passanten;

$L_{pas,i}$: lengte van de passant (m);

$b_{pas,i}$: breedte van de passant (m);

$v_{pas,i}$: snelheid van de passant (m/s);

$a_{pas,i}$: de remsnelheid van de passant (m/s²).

Als $a_{pas,i}$ niet bepaald kan worden, dient conservatief aangenomen te worden dat dit $\frac{1}{4} \cdot v_{pas,i}$ is.

Voor personen wordt aangenomen dat $L_{pas,i} = 1$ m, $b_{pas,i} = 1$ m en $v_{pas,i} = 1,2$ m/s en een $a_{pas,i} = 1,2$ m/s². Voor voertuigen wordt uitgegaan van de maximaal toelaatbare snelheid van de weg.

5.7.6.10.3.2 Gebieden

Ten aanzien van een gebied is, in het algemeen, alleen de kans dat het zwaartepunt in het gebied terechtkomt van belang, ofwel:

$$p_A = \int_A p_{ZWPT}(x,y) \cdot dA \quad (7.11)$$

5.7.6.11 Kritieke raakkans en beschermingsfactor (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.3.4.2.1)

De kritieke raakkans is gedefinieerd als de kans op een ernstige calamiteit met het object (domino-effect) door een mogelijke inslag van een deel van een windturbine.

De constructie van een opslagtank waarin gevaarlijke stoffen onder druk worden opgeslagen, is zodanig dat deze in zekere mate bestand is tegen externe impactbelastingen. Indien dus een opslagtank wordt getroffen door een afgebroken blad, hoeft dit niet in alle gevallen tot lekkage te leiden. Op basis van ontwerp-specificaties van de te beoordelen opslagtank kunnen eventueel beschermingsfactoren worden bepaald. Een andere en additionele vorm van bescherming kan aanwezig zijn, als bijvoorbeeld een installatie met gevaarlijke stoffen zich in een gebouw bevindt.

5.7.7 Mastbreuk (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.4)

5.7.7.1 Trefkansberekeningen mast (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.4.1)

Bij de berekening van de trefkans door mastbreuk wordt aangenomen dat de mast in zijn geheel valt. Er moet echter rekening mee gehouden worden dat de mast kan knikken en dat de gondel en rotor binnen de gehele trefcirkel van het scenario mastbreuk kunnen neerkomen. De straal van de cirkel is hierbij de ashoogte plus halve hoogte van de gondel. Kwalitatief moet beschouwd worden dat personen en objecten binnen deze trefcirkel het risico lopen getroffen te worden door de gondel en rotor.

5.7.7.2 Afleiding formules mastbreuk (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.4.1)

De formules 4.1 tot en met 4.3 uit Module IV zijn als volgt opgebouwd: De kans dat een onderdeel neerkomt op een bepaalde vierkante meter is het product van de faalfrequentie en de kans dat het onderdeel daar neerkomt. De kans dat het onderdeel neerkomt op een bepaalde vierkante meter, wordt bepaald door het formaat van dat onderdeel (D_{mast} , $L_{max,gondel}$ of $D_{rotor} \cdot s$). De mast kan echter meerdere kanten opvallen in een cirkel. Er wordt aangenomen dat de richting waarop de mast valt, uniform verdeeld is. Daarom wordt nog gedeeld door $2 \cdot \pi \cdot r$.

5.7.7.3 Solidity (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.4.1)

De solidity is een fractie die beschrijft hoeveel van het totale rotoroppervlak daadwerkelijk materiaal (turbinebladen) bevat. Dit wordt uitgerekend door het oppervlak van de (drie) turbinebladen te delen door het totale oppervlak van de rotor. Door het gebruik van deze fractie wordt aangenomen dat het materiaal gelijk over de rotordiameter verdeeld is. Dit is een versimpeling: immers is dicht bij de rotoras de hoeveelheid materiaal ten opzichte van de loze ruimte groter dan ver van de as.

Binnen de afstand $H_{\text{mast}} + H_{\text{gondel}}/2$ zal deze aanname niet van invloed zijn, omdat de onderschatting van dicht bij de as uitmiddelt met de overschatting van ver van de as. Beide gebieden kunnen namelijk een vierkante meter in dit gebied raken.

Het gebied $H_{\text{mast}} + H_{\text{gondel}}/2 < r < H_{\text{mast}} + D_{\text{rotor}}/2$ kan enkel door de rotor getroffen worden tijdens het scenario mastbreuk. In dit gebied zal met name een overschatting plaatsvinden in het trefgebied verder van de rotoras af. Daarmee is deze versimpeling iets conservatief.

Bij de fractie solidity wordt ook ervan uitgegaan dat de rotor niet langer draait wanneer deze neerkomt. De draaiing zou voor een grotere trefkans kunnen zorgen. Dit is echter lastig mathematisch in te schatten. Daarbij komt dat gedurende een incident er een grote kans is op beschadigingen tijdens de val, die in de meeste gevallen voor een kleiner trefoppervlak zullen zorgen. Ook wordt al conservatief aangenomen dat de rotor altijd vlak landt en daarmee het maximale trefoppervlak heeft van een statische rotor. Hiermee worden voldoende conservatieve aannames gedaan om deze niet-conservatieve versimpeling toe te staan.

5.7.7.3.1 Hoek van treffen θ_H (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.4.1.1)

De hoek θ_H dient tijdens de risicoanalyse afgeleid te worden. Deze is afhankelijk van de vorm van het gebouw en de afstand tussen de windturbine en het gebouw. Deze moet bepaald worden voor de verschillende subscenario's:

- indirect treffen $p_{\text{mb},i}$;
- direct treffen door bladgewicht $p_{\text{mb},b}$;
- direct treffen door gondelgewicht $p_{\text{mb},g}$;
- of mastgewicht $p_{\text{mb},m}$.

In Figuur 4.2 staan meerdere hoeken aangeduid voor deze subscenario's. Dit is de hoek θ_H die bepaald moet worden per scenario.

5.7.7.3.2 Trefkans ruimtelijke objecten (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.4.1.1)

De trefkansberekening kan voor omgevingsveiligheid gebruikt worden voor bovengrondse buisleidingen en risicovolle installaties. De methode kan desgewenst ook gebruikt worden om de trefkans van andere objecten te bepalen.

De volgende trefkansberekeningen zijn niet opgenomen in Module IV, omdat deze berekeningen niet van toepassing zijn op het bepalen van

het plaatsgebonden risico. Deze berekeningen zijn in het verleden geconsolideerd naar de toelichting, omdat deze een rol spelen in de algehele risicoanalyse van een windturbine.

5.7.7.3.2.1 Wegen en passanten

Voor de kans dat mastbreuk een risico vormt voor een weg ($p_{w,mast}$), kan de volgende formule benut worden:

$$p_{w,mast}(x,y) = \int_{A_w} p_{mast} \cdot dA_w \quad (7.12)$$

Waarbij p_{mast} de cumulatieve kans is dat een vierkante meter geraakt wordt door een windturbine-onderdeel bij mastbreuk (paragraaf 5.4.1 in Module IV).

De verblijfstijd van een object kan vervolgens bepaald worden door de gehele infrastructuur binnen de effectafstand plus een remweg behorende bij de snelheid van het object te bepalen. De tijd die het een object kost om door deze zone te rijden, is de verblijfstijd van een enkele passage. De kans dat een passant (p_{pas}) wordt geraakt is dan:

$$p_{pas} = p_{w,mast} \cdot \frac{A_{pas}}{A_w} \quad (7.13)$$

Waarbij A_{pas} het effectieve oppervlak van passanten is, uit te rekenen met:

$$A_{pas} = \sum_{i=1}^N \left(\frac{v_{pas,i}}{a_{pas,i}} \cdot \frac{v_{pas,i}}{2} \cdot b_{pas,i} + L_{pas,i} \cdot b_{pas,i} \right) \quad (7.14)$$

Met

N : jaargemiddeld aantal passanten aanwezig op de weg op enig moment

i : passanten;

$L_{pas,i}$: lengte van de passant (m);

$b_{pas,i}$: breedte van de passant (m);

$v_{pas,i}$: snelheid van de passant ($m \cdot s^{-1}$);

$a_{pas,i}$: de remsnelheid van de passant ($m \cdot s^{-2}$).

Als $a_{pas,i}$ ($m \cdot s^{-2}$) niet bepaald kan worden, dient conservatief aangenomen te worden dat dit $\frac{1}{4} (s^{-1}) \cdot v_{pas,i}$ ($m \cdot s^{-1}$) is.

Voor personen wordt aangenomen dat $L_{pas,i} = 1$ m, $b_{pas,i} = 1$ m en $v_{pas,i} = 1,2$ m/s en een $a_{pas,i} = 1,2$ m/s². Voor voertuigen wordt uitgegaan van de maximaal toelaatbare snelheid van de weg.

5.7.7.3.2.2 Gebieden

Ten aanzien van een gebied is, in het algemeen, alleen de kans dat het zwaartepunt in het gebied terechtkomt van belang, ofwel:

$$p_A = \int_A p_{mast} \cdot dA \quad (7.15)$$

5.7.8 *Incidenten binnen de rotordiameter (toelichting bij Module IV, paragraaf 5.5)*

De risico's van het vallen van kleine onderdelen (bouten, neuskegels, windmeters, tipdelen en ijs) dienen niet kwantitatief, maar kwalitatief te worden bepaald. Deze gebeurtenissen vormen voornamelijk een risico voor het gebied onder de rotor.

5.7.8.1 Vallen van kleine windturbine-onderdelen (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.5.1)

Kleine onderdelen, zoals bouten, een windmeter of een beschermingskap van de gondel of de naaf, vallen meestal rechtstandig naar beneden. Hun omvang en gewicht zijn daarbij meestal beperkt. Ze zullen nauwelijks schade aanrichten wanneer ze bijvoorbeeld een gebouw of een object treffen. Wanneer echter een onbeschermd persoon wordt getroffen door een naar beneden vallende bout, kan dit aanzienlijk letsel veroorzaken.

5.7.8.2 Vallen van delen van een blad na botsing met de mast (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.5.1)

Nadat een turbine bijvoorbeeld in onbalans is geraakt, of nadat een blad beschadigd is door blikseminslag, kan het voorkomen dat een blad tegen de mast slaat en dat er delen van het blad naar beneden vallen. Het betreft dan relatief kleine onderdelen met een beperkt gewicht die weinig schade aan gebouwen kunnen aanrichten. Meestal gebeuren dit soort incidenten bij zeer slecht weer (bliksem) of bij zware stormen. De kans dat er zich op dat moment personen onbeschermd onder de turbine bevinden, is dan ook klein.

5.7.8.3 Vallen en afwerpen van brokken ijs (Toelichting bij Module IV, paragraaf 5.5.1)

Bij weersomstandigheden waarbij lage temperaturen in combinatie met hoge luchtvochtigheid voorkomen, kan er ijsvorming optreden op windturbines. Deze ijsvorming kan zich uiten als rijp, sneeuw of ijzel.

Rijp kan zich vormen bij een hoge luchtvochtigheid en een temperatuur rond 0°C. Wanneer de turbinebladen draaien, wordt rijpvorming versneld. De roterende beweging drukt de rijp samen en vormt ijsfragmenten, die potentieel kunnen worden weggeslingerd.

Sneeuw kan aan de turbine blijven kleven. Wanneer dit valt, vormt het slechts een beperkt risico voor mensen en objecten op de grond, omdat sneeuw licht is. Wanneer de sneeuw aan de turbine blijft kleven tot het smelt, of bij natte sneeuw, bestaat er de kans dat het opvriest tot ijspegels of ijsbrokken. Wanneer de ijspegels of ijsbrokken vallen, kan dit gevaar vormen voor mensen en objecten op de grond.

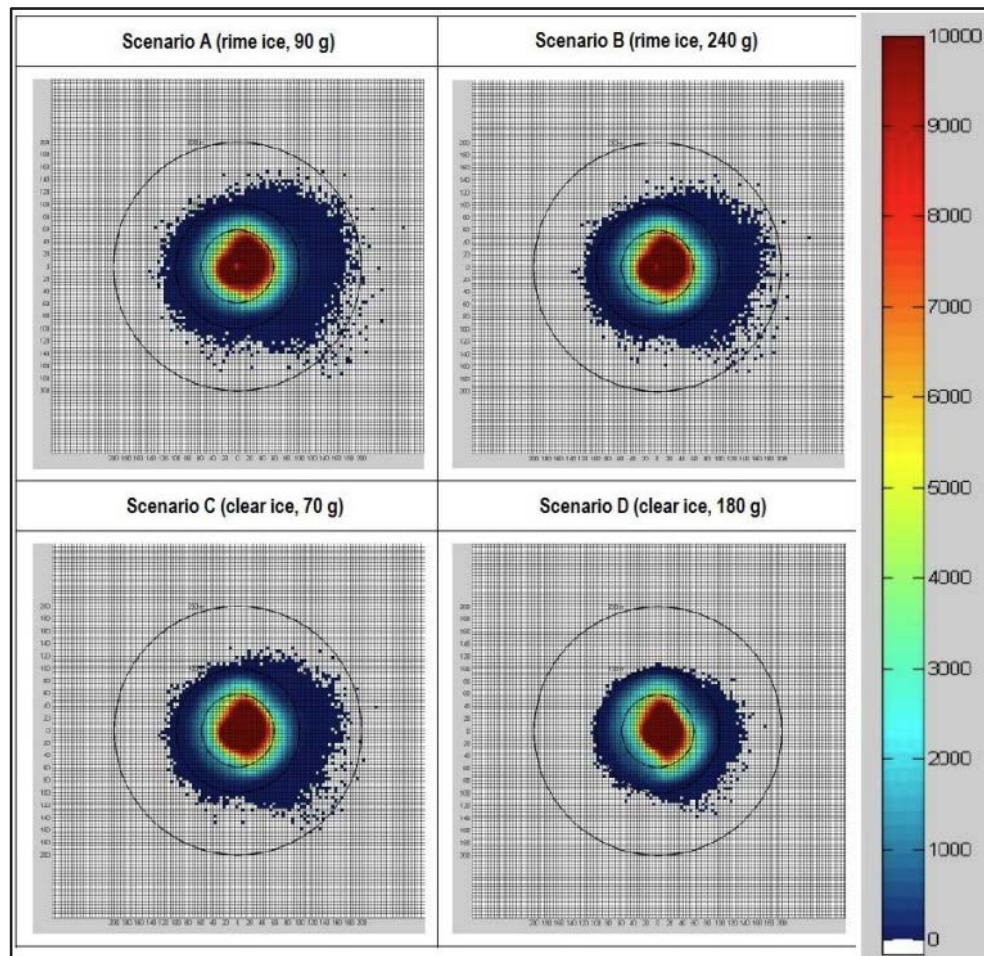
Ijzel op een windturbine kan een risico vormen wanneer dit van de turbine afsmelt, waarbij het resterende ijs op de grond valt.

Volgens NedZero (voorheen NWEA) komen in Nederland gemiddeld tussen de twee en zeven dagen per jaar weersomstandigheden voor, waarbij ijsafzetting op windturbines kan optreden [6, 7]. Het ijs dat gevormd wordt op een windturbine, kan op twee manieren naar beneden vallen en daarbij een risico vormen voor mensen op de grond:

- afworp van het ijs door de rotatiekracht van draaiende bladen;
- afglijden van het ijs van stilstaande bladen.

Het voorkomen van ijssval en ijsafworp wordt niet voldoende gedocumenteerd om een faalfrequentie af te kunnen leiden [2]. Deze risico's kunnen daardoor niet kwantitatief bepaald worden, maar moeten kwalitatief beschouwd worden. Ijssval en ijsafworp moeten in een risicobeoordeling worden meegenomen als de gebieden die hierdoor getroffen kunnen worden vrij toegankelijk zijn.

Het grootste deel van ijssval zal plaatsvinden binnen de zone waar de windturbine overheen kan draaien. Door wind zou er nog iets van verwaaiing kunnen plaatsvinden. TÜV Süd heeft simulaties met ijssval gedaan. Die laten zien dat de kans op het vallen van een ijsbrok binnen een zone van circa een halve rotordiameter + een verwaaiafstand meer dan tienmaal zo groot is als het neerkomen buiten de halve rotordiameter + verwaaiafstand [19]. De verwaaiafstand kan enkele meters tot een tiental meters groot zijn. Zie ook Figuur 7.7.



Figuur 7.7 Simulatie uitkomsten met de trefkans door vallend ijs, uitgerekend door TÜV Süd. De kleuren geven het aantal keer weer dat een gridpunt geraakt wordt, waarbij $5 \cdot 10^6$ simulaties zijn gedaan. De cirkels representeren de afstand tot de turbine waarbij de buitenste cirkel 200m is.

De kansen in de figuur zijn gebaseerd op bergachtig gebied (Duitsland). Dit is niet direct representatief voor Nederland, gezien de verschillen in weersomstandigheden.

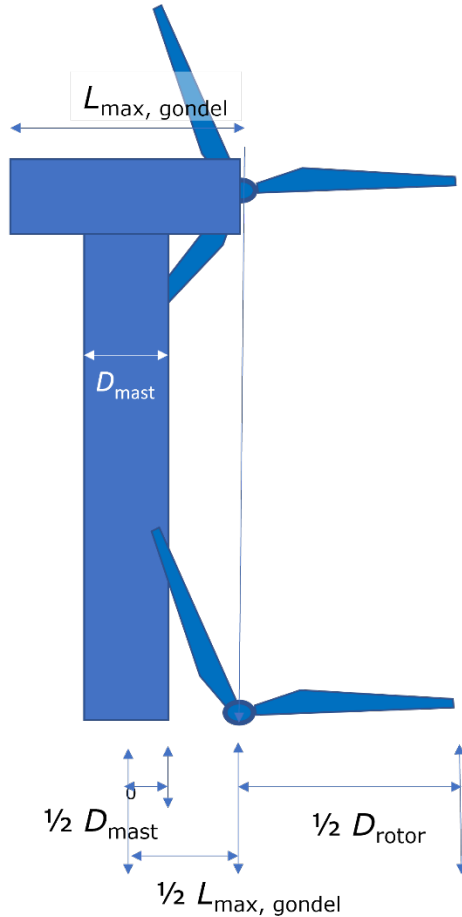
Om kwalitatief rekening te houden met ijsval, wordt in het gebied tot de halve rotordiameter + $0,23 \cdot H_{\text{mast}}^{11}$ van de windturbine(mast) af bepaald of er activiteiten of objecten aanwezig kunnen zijn waarvoor ijsval een risico kan vormen.

Ijsafworp vanaf een draaiende turbine rijkt verder. Uit modelberekeningen die gehanteerd worden in Duitsland volgt een maximale effectafstand van de (rotordiameter + ashoogte) 1,5[19]. Uit een onderzoek van de Uppsala Universiteit blijkt dat de kans op de verste worp dusdanig klein is dat het effectgebied dat kwalitatief bekeken moet worden, beperkt blijft tot een afstand gelijk aan de tiphoogte van de windturbine[20].

In het Besluit activiteiten leefomgeving (art 4.428) is opgenomen dat windturbines buiten gebruik gesteld moeten worden na constatering of vermoeden van een gebrek waardoor de veiligheid in het geding is. Hieronder valt ook ijsafzetting. Bij ijsafzetting wordt een windturbine teruggeregeld tot een toerental van minder dan 1 rpm, zodat het ijs niet langer geworpen kan worden. Bij windturbines kan daarnaast een Ice Prevention System (IPS) aanwezig zijn, die actief de windturbine uit bedrijf neemt bij ijsvorming. Hiermee wordt het risico voor de omgeving beperkt. Verder kan het ijsprotocol van NedZero (voorheen NWEA) gebruikt worden om de risico's te minimaliseren [7]. Voorbeelden van maatregelen die hierin genoemd worden, zijn waarschuwingsborden, extra monitoring tijdens winterse weersomstandigheden, het afzetten van het gebied en/of veilige positionering van de turbinebladen. Extra aandacht is vooral nodig wanneer veel mensen zich in het effectgebied bevinden, bijvoorbeeld bij openluchtevenementen.

¹¹ Bekend is dat voor een mast van 65m hoog de verwaaiafstand ongeveer 15m is. Aangenomen wordt dat de verwaaiafstand lineair verband houdt met de masthoogte. Dan is de verhouding tussen verwaaiafstand en masthoogte 0,23. Hierbij wordt aangenomen dat de luchtkrachten die op het ijs werken, niet afhangen van de hoogte.

5.7.8.4 Afvallen van rotor (toelichting bij Module IV, paragraaf 5.5.1.1)

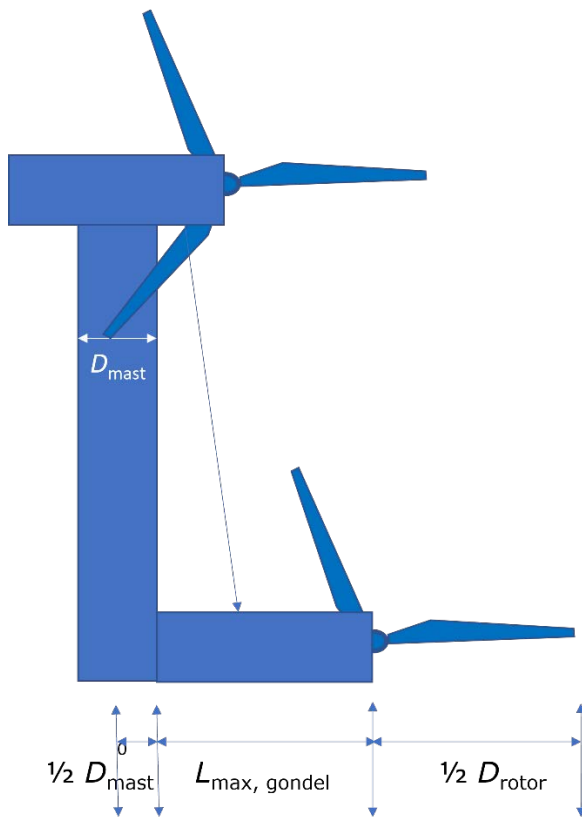


Figuur 7.8 Schematische weergave van rotorafworp

In Figuur 7.8 is het scenario rotorafworp schematisch weergegeven. Hierin valt te zien dat de rotor op de helft van de maximale gondellengte afvalt. Wanneer de rotor landt, kan deze maximaal een halve rotordiameter uitsteken. Er wordt aangenomen dat er geen verwaaiafstand is. Mogelijk zou de rotor tegen de mast kunnen aanbotsen, waardoor de rotor iets verder wegvalt. Het is echter gezien de krachten die bij een dergelijke beweging komen kijken waarschijnlijker dat een rotorblad in die gevallen breekt of buigt. Daarom wordt er gerekend voor rotorafworp tot: $\frac{1}{2} \cdot D_{\text{rotor}} + \frac{1}{2} \cdot L_{\text{max,gondel}}$.

De formules voor de val zijn afgeleid op dezelfde manier als in paragraaf 5.7.7.2.

5.7.8.5 Afvallen van de gondel met rotor (toelichting bij Module IV, paragraaf 5.5.1.2)



Figuur 7.9 Schematische weergave van gondelafworp

In Figuur 7.9 is het scenario gondelafworp schematisch weergegeven. Hierin valt te zien dat de gondel met rotor naast de mast valt. De rotor kan maximaal een halve rotordiameter uitsteken na landen. Er wordt aangenomen dat er geen verwaaiafstand is. Mogelijk zou de gondel tegen de mast kunnen aanbotsen, waardoor de gondel iets verder wegvalt. Het is echter al conservatief om aan te nemen dat de gondel dusdanig valt dat deze in zijn volle lengte van de mast wegsteekt.

Daarom wordt er gerekend voor gondelafworp tot: $\frac{1}{2} \cdot D_{\text{rotor}} + L_{\text{max,gondel}} + \frac{1}{2} \cdot D_{\text{mast}}$.

De formules voor de val zijn afgeleid op dezelfde manier als in paragraaf 5.7.7.2.

5.7.9 *Incidenten met ondergrondse buisleidingen (toelichting bij Module IV, paragraaf 5.6)*

5.7.9.1 Oorsprong formule kritische afstand (toelichting bij Module IV, paragraaf 5.6.1)

De methodiek die gebruikt wordt om de raakkans te berekenen, is afgeleid uit onderzoek naar de uitwerking van explosieven op ondergrondse buisleidingen [10].

In dit onderzoek is een formule afgeleid om de stress in de buisleiding uit te rekenen als gevolg van de impact. Voor toepassing bij windturbines is deze formule zodanig herschreven, dat de maximale afstand, waarbij de leiding nog faalt (de kritische afstand) volgt uit de hoeveelheid toelaatbare stress. Dit is formule 6.1 uit Module IV. Door

herschrijving naar gebruikelijke eenheden, volgen in de formule aanvullend de factoren van $2,03 \cdot 10^{-4}$ en 0,3048.

5.7.9.2 Oorsprong factor 0,43 bij lijnbron (toelichting bij Module IV, paragraaf 5.6.1)

De factor 0,43 wordt gevormd door de originele waarde van 1,4 vermenigvuldigd met 0,3048 m/feet. De formule gebruikt een energiedichtheid per voet. Door te corrigeren met deze factor wordt in de formule met dezelfde energiedichtheid gerekend.

5.7.9.3 Impact bladbreuk (geheel of in delen) (toelichting bij Module IV, paragraaf 5.6.1)

Turbinebladen en -bladdelen kunnen ver weggeslingerd worden. De inslag van een blad(deel) met de grond zal onder een hoek zijn, in plaats van volledig verticaal. De energie die de grond opneemt, is hierdoor slechts een deel van de kinetische energie. De resterende energie betreft de kinetische energie behorend bij de horizontale richting, waarmee het turbineblad doorglijdt (of stuitert) over het grondoppervlak. Dit draagt niet bij aan de schokgolf. Daarnaast krijgt het blad(deel) extra energie mee, doordat deze draait.

Voor de energie van een turbine blad geldt dat deze dus als volgt is:

$$E_{b,impact} = E_g + E_k \quad (7.16)$$

Waarbij E_g de val energie is, oftewel:

$$E_g = m_b \cdot g \cdot H_{mast} \quad (7.17)$$

En E_k de kinetische energie door de draaiing, oftewel:

$$E_k = 0,5 \cdot m_b \cdot v_b^2 \quad (7.18)$$

Waarbij de snelheid v_b van het blad bepaald wordt door het toerental en het zwaartepuntsafstand:

$$v_b = \Omega_{nom} \cdot Z_p \quad (7.19)$$

De kinetische energie van een bladdeel is niet volledig in de verticale richting gericht. In Figuur 7.10 is geïllustreerd hoe de fractie van de kinetische energie die de grond ingaat (f_v), bepaald kan worden. Hierbij wordt uitgegaan dat het blad geworpen wordt in een lijn. In realiteit zal een blad ook met een boog geslingerd kunnen worden. De verwachting is dat de boog die gemaakt wordt door het blad flauw is, omdat de verticale kinetische energie snel verloren zal gaan door het gewicht van het blad. Deze aanname is niet conservatief, maar zal doordat er gerekend wordt zonder luchtkrachten, naar verwachting niet leiden tot een onderschatting.

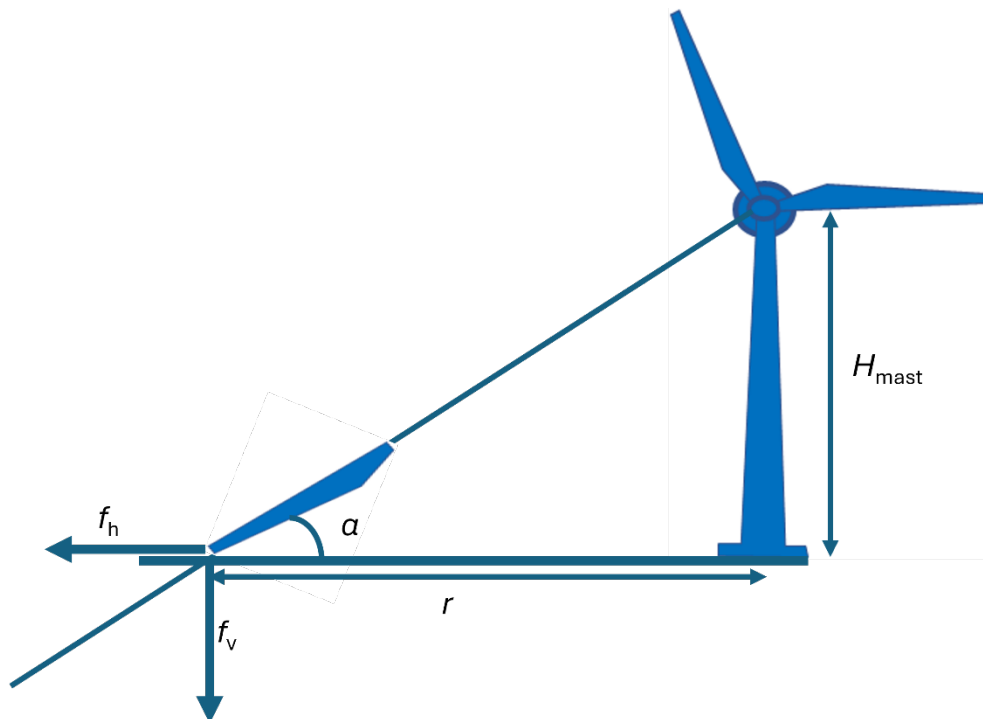
De hoek waaronder het blad dan landt, kan geometrisch opgelost worden:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{H_{mast}}{r}\right) \quad (7.20)$$

De fractie f_v van de kinetische energie die dan de grond ingaat, is deze hoek ten opzichte van een rechte hoek loodrecht op de grond, waarbij uitgegaan wordt van vlakke grond.

$$f_v = \sin(\alpha) \quad (7.21)$$

Met hoek α in radialen (zie Figuur 7.10). Het blad wordt als puntvorm beschouwd. Echter, gezien de onzekerheden en de toepasbaarheid van het schokgolfmodel, wordt niet meegenomen in de berekeningen dat het blad als een speer in de grond terecht kan komen. Dit valt binnen de onzekerheden.



Figuur 7.10 Schematische weergave van een landend blad op een afstand r van de windturbine.

De massa van de bladdelen is als volgt vastgesteld. Van het zwaartepunt van een geheel rotorblad is aangenomen dat deze op $1/3^e$ van de bladlengte ligt. Wanneer een blad op dat punt breekt, vliegt $2/3^e$ bladdeel af. Omdat de breuk dan plaatsvindt op het zwaartepunt betekent dit dat de helft van de massa wordt afgeworpen.

Met de aanname dat op $2/3^e$ bladdeel het zwaartepunt wederom op $1/3^e$ bladdeel ligt, oftewel $5/9^e$ van de bladlengte. Als het op dat punt zou breken, zou er dus 25 procent van het bladgewicht afbreken. Deze massa komt dus overeen met de buitenste $4/9^e$ bladdeel. Voor het einde van het blad is conservatief aangenomen dat het gewicht verdeeld is alsof het een balk is. Oftewel, het gewicht van $1/3^e$ bladdeel is dan 75 procent van $4/9^e$ bladdeel. Dat is dan 18,8 procent van het volledige bladgewicht.

5.7.9.4 Impact mastbreuk (toelichting bij Module IV, paragraaf 5.6.1)
 Voor het berekenen van de impact van mastbreuk op een ondergrondse leiding wordt ervan uitgegaan dat de mast altijd zo knikt, dat de gondel en rotor boven de buisleiding neerslaan. Dit is een conservatieve aanname. Omdat niet voldoende informatie bekend is hoe vaak de mast op bepaalde hoogtes knikt, kan hierover geen verdeling gemaakt worden.

Bij het inslaan van de gondel en rotor door mastbreuk wordt de massa van de mast niet meegenomen. Dit is een versimpeling, die gedaan wordt op basis van twee principes die tegen elkaar inwerken:

De massa van de mast die een rol speelt in de impact is afhankelijk van de hoogte waarop de knik plaatsvindt. Hoe lager de knik, hoe meer massa van de mast meekomt in de val. Maar ook zal de vervorming van de mast energie van de val opnemen. Aangenomen wordt dat deze twee principes elkaar dusdanig tegenwerken, dat ze elkaar opheffen.

De energie van vervorming kan benaderd worden met de formule voor het uitrekenen van de buigingsenergie, die nodig is voor het verbuigen van plaatmateriaal[21]:

$$F_B = \frac{K_b \cdot D_{\text{mast}} \cdot \sigma_t \cdot t_{\text{mast}}^2}{r_c} \quad (7.22)$$

Met:

- F_B = Buigingsenergie [$\text{J} \cdot \text{m}^{-1}$];
- K_b = Buigingsconstante ('*Bending die constant*') [-];
- D_{mast} = Diameter mast (analogon voor lengte plaat) [m];
- σ_t = Treksterkte [Pa];
- t_{mast} = Dikte mastmateriaal (analogon voor dikte plaat) [m];
- r_c = Afstand tussen contactpunten [m].

Als we hiervoor een typische buigingsconstante staal (0,5) nemen, een mastdiameter van 10 m, een typische treksterkte van staal (400 MPa), een mastdikte van 0,03 m en een afstand tussen contactpunten van 0,03 m, dan volgt: $F_B = 6 \cdot 10^7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-1}$. Dit is de energie als je één mastplaat van 10 m dik buigt. Omdat we een cilinder hebben, kan je het benaderen als twee platen en krijg je dus een F_B van $1,2 \cdot 10^8 \text{ J} \cdot \text{m}^{-1}$.

Een typische mast weegt 150.000 kg en kan 100 m hoog zijn. De potentiële energie van een val, als deze laag in de mast knikt, is dan $1,47 \cdot 10^8 \text{ J}$. Deze energiewaardes bevinden zich in dezelfde grootteorde als we een knik van 1 meter diameter aannemen. Daarmee kan dus aangenomen worden dat de massa van de mast niet meegenomen hoeft te worden.

5.7.10 Generieke vuistregel PR 10^{-6} -contour

Het komt vaak voor dat een projectontwikkelaar in de beginfase van een project nog geen definitief besluit heeft genomen over het type turbine dat hij/zij wil toepassen. Om een eerste inschatting te kunnen maken van de uitdagingen die spelen bij de plaatsing van de windturbine kan de volgende vuistregel gebruikt worden:

- De PR 10^{-6} -contour is gelijk aan de hoogste waarde van of de ashoogte plus een halve rotordiameter, of de maximale werpafstand van een geheel rotorblad bij nominaal rotortoerental.

Deze vuistregel geeft geen inschatting van de risico's van domino-effecten.

Voor een windturbine moet altijd specifiek gerekend worden wanneer de technische gegevens bekend zijn. Wanneer de specifieke berekening is gedaan, is de vuistregel niet langer van toepassing.

6 Bijlage 2 Samenstelling begeleidingscommissie

De volgende personen hebben deelgenomen aan de begeleidingscommissie:

Naam	Organisatie
Cees Smit	Arcadis
Luuk Duisings	NRG
Julien Leroy	DCMR Milieudienst Rijnmond
Peter Winkelman	Royal HaskoningDHV
Louis Jansen	Omgevingsdienst Noord-Holland Noord
Jeroen Eskens	Antea Group
Wiro Gruijters	Antea Group
Bouke Vogelaar	Pondera Consult
Stefan Flanderijn	Pondera Consult

7 Bijlage 3 Beoordeling van de rekenmethode

De geactualiseerde rekenmethode voor windturbines is in deze bijlage vergeleken met de kwaliteitscriteria ontvankelijkheid, validiteit, betrouwbaarheid en toepasbaarheid die het RIVM heeft opgesteld voor nieuwe rekenmethoden (Boxman et al, 2022)[5]. Elke tabel bevat de beoordeling van een uitgangspunt van de rekenmethode.

Uit de vergelijking blijkt dat de voorgestelde rekenmethode voldoet aan de kwaliteitscriteria. Alleen suggereert de rekenmethode een grotere nauwkeurigheid dan gerechtvaardigd is op basis van de onzekerheid. Dit komt voort uit de beperkte (openbare) data waarop de faalfrequenties en de methoden voor het bepalen van de effecten van windturbine-incidenten zijn gebaseerd. Dit is echter inherent aan de rekeninstrumenten voor omgevingsveiligheid. Daarnaast is de toekomstbestendigheid van de rekenmethode een aandachtspunt. De laatste jaren zijn er veel ontwikkelingen geweest aan windturbines en de verwachting is dat deze ontwikkelingen blijven doorzetten. Wanneer er grote technische ontwikkelingen worden doorgevoerd, passen de nu afgeleide faalfrequenties en methoden voor het bepalen van de effecten van windturbine-incidenten mogelijk niet meer bij de nieuwe typen windturbines. De aandachtspunten van de geactualiseerde rekenmethode zijn in de oranje cellen weergegeven.

7.1 Beoordeling uitgangspunten

7.1.1 Definitie nominaal toerental

Ontvankelijkheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Definitie nominaal toerental Lijst gebruikte parameters en definities
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) dat op verzoek van het RIVM door Antea Group en Pondera is opgesteld, is de definitie voor nominaal toerental beschreven. Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) is in paragraaf 5.2 beschreven welke variabiliteit er mogelijk was in de definitie van het nominaal toerental in het rekenvoorschrift, versie oktober 2020. Ook is hier eenduidig en volledig beschreven welke definitie wordt aangeraden om de onduidelijkheid weg te nemen.

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Definitie nominaal toerental Lijst gebruikte parameters en definities
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) is aan de hand van datapunten het verschil weergegeven tussen het gebruik van één nominaal toerental of een jaarverdeling. Hieruit blijkt dat gebruikmaken van één toerental de rekenmethode vereenvoudigt en niet zorgt voor een grote overschatting van de risico's.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	De aanpassing zorgt ervoor dat onduidelijkheden over welke waarde er in de berekening voor het nominaal toerental genomen moet worden, worden weggenomen. Hiermee worden de risico's van windturbines uniformer bepaald.

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Definitie nominaal toerental Lijst gebruikte parameters en definities
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	De aanpassing is onderbouwd in het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) aan de hand van weergegeven datapunten. De oorsprong van de datapunten en de gebruikte windturbine parameters zijn niet openbaar beschikbaar.*
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	De aanpassing zorgt ervoor dat onduidelijkheden over welke waarde er in de berekening voor het nominaal toerental genomen moet worden, worden weggenomen. Hiermee worden de risico's van windturbines uniformer bepaald en daarmee worden de resultaten meer reproduceerbaar.
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	Het nominaal toerental is het maximale toerental tijdens gebruik. Hierbij worden de grootste, en dus conservatiefste, contouren gevonden.
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	Door de definitie voor het te gebruiken nominaal toerental vast te leggen, wordt in alle risicoanalyses hiervoor van een vergelijkbare waarde uitgegaan. Daarmee worden de risico's van windturbines op een vergelijkbare wijze benaderd.

* Dit is een oranje cel (De aandachtspunten van de geactualiseerde rekenmethode zijn in de oranje cellen weergegeven).

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Definitie nominaal toerental Lijst gebruikte parameters en definities
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	De definitie voor het nominaal toerental is conservatief en uniform. Daarnaast vergemakkelijkt het de berekening door een verdeling te vervangen met één waarde. Hierdoor kunnen de relevante risico's meegenomen worden bij de ruimtelijke inpassing van windturbines.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	Door de definitie voor het te gebruiken nominaal toerental vast te leggen, wordt in alle risicoanalyses hiervoor van een vergelijkbare waarde uitgegaan. Daarmee worden de risico's van windturbines op uniforme wijze benaderd. Hierdoor komt bruikbare informatie beschikbaar voor het bestuurlijke afwegingsproces.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	Voor horizontale as windturbines is de verwachting dat de basis van de technologie niet zal veranderen op een manier dat het nominaal toerental niet langer bestaat. Voor nieuwe type windturbines (e.g. verticale as) kan de rekenmethode niet direct toegepast worden.
Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de aanpassingen zijn verwerkt?	De definitie voor het nominaal toerental wordt opgenomen in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV. Het benodigde tijdpad en het budget zijn helder.
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	Door het vastleggen van de definitie voor nominaal toerental worden onduidelijkheden weggenomen over welk toerental in een berekening gehanteerd moet worden. Hiermee wordt dit beter uitvoerbaar en uitlegbaar.

7.1.2

*Definitie zwaartepunt***Ontvankelijkheid**

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Definitie zwaartepunt Lijst gebruikte parameters en definities
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) dat op verzoek van het RIVM door Antea Group en Pondera is opgesteld, is de definitie voor het zwaartepunt beschreven. Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Definitie zwaartepunt Lijst gebruikte parameters en definities
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) is in paragraaf 5.3 beschreven welke formule gebruikt kan worden voor het bepalen van het zwaartepunt van een rotorblad ($1/6 \times$ Rotordiameter).

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Definitie zwaartepunt Lijst gebruikte parameters en definities
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) is aan de hand van datapunten de formule voor het bepalen van het zwaartepunt afgeleid. Hierbij is eenzelfde benadering gehanteerd als in het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020, behalve dat er meer datapunten zijn gebruikt. Hiermee is de methode wetenschappelijk beter onderbouwd.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	Het aantal datapunten waarop de formule voor het bepalen van het zwaartepunt is gebaseerd, is verviervoudigd in vergelijking met de formule uit het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020. Dit zorgt voor een statistisch relevante afname in onzekerheid.

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Definitie zwaartepunt Lijst gebruikte parameters en definities
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	De formule is gebaseerd op datapunten van meer windturbines dan in het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020. De datapunten zijn echter niet direct te herleiden, doordat de gehanteerde database niet openbaar is. *
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	Uit de grafiek in het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) is de formule voor het zwaartepunt van het blad duidelijk te reproduceren. De gekozen formule ligt iets boven de datapunten (conservatieve benadering). Hierdoor is deze minder gevoelig voor kleine veranderingen in de ligging van de datapunten.
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	De gefitte lijn uit de grafiek ligt boven alle datapunten. Dit is een conservatieve benadering.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Definitie zwaartepunt
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	Lijst gebruikte parameters en definities Voor het bepalen van de formule is dezelfde aanpak gehanteerd als in het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020. Ook is het een eenvoudige lineaire fit van een aantal datapunten.

* Dit is een oranje cel (De aandachtspunten van de geactualiseerde rekenmethode zijn in de oranje cellen weergegeven).

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Definitie zwaartepunt
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	De aanpassing scherpt de formule voor het zwaartepunt aan met behulp van meer datapunten. Hiermee is deze nog steeds conservatief, maar minder conservatief dan voorheen. Dit maakt de formule meer passend bij de windturbines die nu geplaatst worden, zodat de relevante risico's meegenomen kunnen worden bij de ruimtelijke inpassing van windturbines.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	Doordat de formule voor het bepalen van het zwaartepunt meer passend is bij de windturbines die nu geplaatst worden, komt bruikbare informatie beschikbaar voor het bestuurlijke afwegingsproces.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	Uit grafiek 5.4 (uit het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0)) is te zien dat het zwaartepunt gedeeld door de rotordiameter lagere waarden geeft. Het is te verwachten dat bij toekomstige, grotere windturbines de voorgestelde formule van $1/6^*$ -rotordiameter conservatiever is dan bij de huidige windturbines. Op termijn moet dit weer een keer bekeken worden. *
Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de aanpassingen zijn verwerkt?	De formule voor het bepalen van het zwaartepunt van een rotorblad wordt opgenomen in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV. Het benodigde tijdpad en budget is helder.
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	De nieuw afgeleide formule voor het bepalen van het zwaartepunt is een actualisatie van de bestaande formule uit het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020 en is daarmee even bruikbaar en uitlegbaar als deze formule.

* Dit is een oranje cel (De aandachtspunten van de geactualiseerde rekenmethode zijn in de oranje cellen weergegeven).

7.1.3

Actualisatie faalscenario's en -frequenties

Ontvankelijkheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Actualisatie faalscenario's en -frequenties H2
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	Het RIVM heeft het voorstel voor actualisatie van de faalscenario's en faalfrequenties (RIVM-rapport 2021-0234) opgesteld op verzoek van het ministerie van IenW. Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	In het RIVM-rapport (2021-0234) is beschreven welke data (Caithness Windfarm Information Forum) gebruikt zijn om de faalscenario's en faalfrequenties te actualiseren en welke keuzes daarbij zijn gemaakt (tijdsperioden en landen). Daarmee is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven.

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Actualisatie faalscenario's en -frequenties H2
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	Het RIVM heeft bij het actualiseren van de faalscenario's en faalfrequenties gebruikgemaakt van het Caithness Windfarm Information Forum. Hier wordt een database bijgehouden van windturbine-incidenten. Dit doen tegenstanders van windturbines. De database bevat enkel incidenten die in de media zijn geweest, waardoor mogelijk een onderschatting van het aantal incidenten wordt gegeven. De validiteit van deze database is hiermee beperkt. Aangezien dit een van de weinige openbare databases is met windturbine-incidenten wereldwijd en andere wijze van informatie verzamelen (buitenlanddata en data van windturbinefabrikanten) onvoldoende data opleverde, is gebruikgemaakt van deze database. Voor het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020 is ook uitgegaan van deze database. *
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	Ondanks de onzekerheden in de gebruikte data, levert het onderzoek een statistisch onderbouwde update van de faalfrequenties. Door een uitgebreide analyse te maken van de database is een aantal aandachtspunten (verkeerde classificering incidenten en dubbel voorkomende incidenten) weggenomen. Verder zijn voor de scenario's waarvoor de data in de database niet betrouwbaar werden geacht (ijsafwerp en vallen kleine onderdelen) geen faalfrequenties afgeleid.

* Dit is een oranje cel (De aandachtspunten van de geactualiseerde rekenmethode zijn in de oranje cellen weergegeven).

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Actualisatie faalscenario's en -frequenties H2
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	De geactualiseerde faalscenario's en faalfrequenties zijn gebaseerd op openbare data, zoals beschreven in het RIVM-rapport (2021-0234). Hiermee voldoet het aan de FAIR-principes.
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	De faalfrequenties zijn afgeleid op basis van tientallen jaren aan incidentstatistiek en zijn daarmee robuust. Verandering in de faalfrequenties of afleiding daarvan is significant, omdat deze een grote rol spelen in de uitkomsten van de risicoberekeningen.
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	Bij het bepalen van de faalfrequenties is een veilige benadering gekozen door uit te gaan van de 95-percentielwaarde.
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	Het actualiseren van de faalscenario's en faalfrequenties is uitgevoerd volgens het Protocol aanpassing rekenmethodieken externe veiligheid van het RIVM (RIVM-rapport 620550009/2012). Hiermee worden vergelijkbare situaties op dezelfde wijze benaderd.

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Actualisatie faalscenario's en -frequenties H2
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	De faalfrequenties worden gebruikt om de risico's van windturbines voor de omgeving te kunnen berekenen. Sinds de laatste afleiding van de faalfrequenties hebben windturbines belangrijke technische ontwikkelingen doorgemaakt (ze worden steeds groter en krijgen meer veiligheidssystemen). Met de actualisatie zijn de faalfrequenties weer passend gemaakt bij de windturbines die nu geplaatst worden, zodat de relevante risico's meegenomen kunnen worden bij de ruimtelijke inpassing van windturbines.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	De actualisatie van de faalscenario's en faalfrequenties is zeer relevant, omdat deze van grote invloed zijn op de ligging van de plaatsgebonden risicocontouren. Met de actualisatie komt dan ook specifieke informatie beschikbaar voor het bestuurlijke afwegingsproces.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Actualisatie faalscenario's en -frequenties H2
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	De laatste jaren zijn er veel ontwikkelingen geweest aan windturbines. Wanneer er grote technische ontwikkelingen worden doorgevoerd, passen de nu afgeleide faalfrequenties mogelijk niet meer bij de nieuwe type windturbines. Dit was nu ook de reden voor actualisatie. Daarom is het ministerie van IenW aangeraden eens in de ongeveer 10 jaar de faalfrequenties te actualiseren. *
Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de aanpassingen zijn verwerkt?	De geactualiseerde faalscenario's en faalfrequenties worden opgenomen in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV. Het benodigde tijdpad en budget is helder.
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	De nieuw afgeleide faalfrequenties zijn een actualisatie van de bestaande faalfrequenties uit het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020, en zijn daarmee even bruikbaar en uitlegbaar als deze faalfrequenties.

* Dit is een oranje cel (De aandachtspunten van de geactualiseerde rekenmethode zijn in de oranje cellen weergegeven).

7.1.4 *Toevoegen scenario bladbreuk in delen***Ontvankelijkheid**

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toevoegen scenario bladbreuk in delen H3.2
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	Het RIVM heeft op basis van de actualisatie van de faalscenario's (RIVM-rapport 2021-0234) het voorstel gedaan om het nieuwe scenario bladbreuk in delen mee te gaan nemen in risicoberekeningen. Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0), dat op verzoek van het RIVM door Antea Group en Pondera is opgesteld, is de voorgestelde rekenmethode voor het bepalen van de risico's van bladbreuk in delen beschreven.

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toevoegen scenario bladbreuk in delen H3.2
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	De incidentenanalyse (RIVM-rapport 2021-0234) laat zien dat bladen regelmatig in stukken breken. De opdeling in derden is uitlegbaar door zowel bestudering van de casuïstiek als het feit dat een windturbineblad op ongeveer 1/3e het zwakst is (vormovergang van hoekig naar rond). Daarmee is de wijze van berekenen van de risico's van bladafwerp in delen onderbouwd met actuele, representatieve data.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	In het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020, is het scenario bladbreuk in delen niet meegenomen. Uit casuïstiek en gesprekken met experts is gebleken dat dit scenario zich regelmatig voordoet. Met toevoeging van dit scenario worden de risico's van een windturbine voor de omgeving dan ook vollediger beoordeeld. Er is voldoende statistische onderbouwing voor het toevoegen van dit scenario's.

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toevoegen scenario bladbreuk in delen H3.2
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	Het faalscenario's bladbreuk in delen, de bijbehorende faalfrequenties en de rekenmethode voor het bepalen van de effecten zijn gebaseerd op openbare data zoals beschreven in het RIVM-rapport 2021-0234 en het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0). Hiermee voldoet het aan de FAIR-principes.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toevoegen scenario bladbreuk in delen H3.2
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) is ook bekeken of bij het scenario bladbreuk in delen gerekend kan worden met bladdelen van 1m. Dit is van invloed op de resultaten. Omdat het opdelen van bladen in 1/3 ^e delen overeenkomt met casuïstiek en de opbouw van een blad en dit ervoor zorgt dat de rekenlast beperkt blijft, is gekozen om het aantal scenario's van bladbreuk in delen te beperken. *
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	De keuze voor kleinere bladdelen zou het conservatiefst zijn. Dan is echter niet meer te stellen dat treffen=falen. Ook wijkt de conservatieve benadering 'zonder luchtkrachten' sterker af van de realiteit naarmate de bladdelen kleiner worden. De benadering van 1/3 ^e bladdelen is voldoende conservatief in combinatie met de rest van de rekenmethode.
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	De rekenmethode voor bladbreuk in delen is vergelijkbaar met de rekenmethode voor bladbreuk van een geheel blad, met enkel een aanpassing in de ligging van het zwaartepunt.

* Dit is een oranje cel (De aandachtspunten van de geactualiseerde rekenmethode zijn in de oranje cellen weergegeven).

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toevoegen scenario bladbreuk in delen H3.2
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	In het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020 is het scenario bladbreuk in delen niet meegenomen. Uit casuïstiek en gesprekken met experts is gebleken dat dit scenario zich regelmatig voordoet. Met toevoeging van dit scenario worden de risico's van een windturbine voor de omgeving dan ook vollediger beoordeeld. Hierdoor kunnen de relevante risico's worden meegenomen bij de ruimtelijke inpassing van windturbines.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	De afstanden die uit dit scenario volgen, lijken weinig toe te voegen aan de plaatsgebonden risicocontouren. Het is echter relevant voor het berekenen van domino-effecten (effectafstanden). Met het toevoegen van dit scenario komt dan ook specifieke informatie beschikbaar voor het bestuurlijke afwegingsproces.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	Met de krachten die op steeds groter wordende windturbinebladen staan, is het aannemelijk dat breken van bladen in delen relevant blijft.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de aanpassingen zijn verwerkt?	Toevoegen scenario bladbreuk in delen H3.2 Het scenario bladbreuk in delen wordt opgenomen in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV. Het benodigde tijdpad en budget is helder.
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	Het scenario bladbreuk in delen is een toevoeging op het scenario bladbreuk geheel blad. Door uit te gaan van 1/3 ^e bladdelen wordt een realistisch scenario toegevoegd, zonder dat de rekenlast zo groot wordt, dat het onuitvoerbaar wordt.

7.1.5

Niet meenemen scenario overtoeren bij maatregelen om de kans op dit scenario te beperken

Ontvankelijkheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Niet meenemen scenario overtoeren bij maatregelen om de kans op dit scenario te beperken H3.3
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) dat op verzoek van het RIVM door Antea Group en Pondera is opgesteld, is het voorstel voor het verwijderen van overtoeren beschreven. Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	Het scenario overtoeren is, net als in het huidige rekenvoorschrift, niet van toepassing wanneer voldoende maatregelen bij de windturbine zijn genomen om de kans op dit scenario te beperken. Wanneer deze maatregelen niet genomen zijn, of wanneer er sprake is van een nieuw type windturbine waarbij overtoeren mogelijk is, blijft de methode om de effecten van overtoeren te berekenen uit het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020, bestaan. Nu is ook toegelicht wanneer maatregelen voldoende zijn. Hiermee is dit eenduidig en volledig beschreven.

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Niet meenemen scenario overtoeren bij maatregelen om de kans op dit scenario te beperken H3.3
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	Tegenwoordig zijn veel windturbines uitgerust met meerdere, elkaar aanvullende, veiligheidssystemen om de kans op overtoeren te beperken. Dit is geverifieerd met de experts in de begeleidingscommissie. De kans dat overtoeren optreedt, wordt hierdoor verkleind. Als aangetoond kan worden dat er bij de windturbine maatregelen zijn getroffen om de kans op het scenario bladbreuk bij overtoeren te beperken, dan hoeft dit scenario niet meegenomen te worden in de risicoberekening.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	Tegenwoordig zijn veel windturbines uitgerust met meerdere, elkaar aanvullende, veiligheidssystemen. De kans dat overtoeren optreedt, wordt hierdoor dusdanig verkleind dat dit scenario niet meer meegenomen hoeft te worden bij een risicoberekening. Daarentegen zal nooit volledig uitgesloten kunnen worden dat overtoeren optreedt.

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Niet meenemen scenario overtoeren bij maatregelen om de kans op dit scenario te beperken H3.3
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	De methode om overtoeren mee te nemen als scenario blijft beschikbaar in het voorgestelde rekenvoorschrift.
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	Door overtoeren niet meer als scenario mee te nemen, vallen de bijbehorende effectafstanden weg. Door toevoeging van het scenario bladbreuk in delen worden grotere maximale effectafstanden toegevoegd dan voor het scenario overtoeren werden berekend.
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	Conservativiteit wordt gedekt door de voorwaarde dat er voldoende preventieve systemen aanwezig moeten zijn om de kans op overtoeren te beperken. Wanneer dit niet het geval is, moet overtoeren nog steeds als scenario worden meegenomen in de risicobeoordeling. De methode hiervoor blijft bestaan het rekenvoorschrift.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Niet meenemen scenario overtoeren bij maatregelen om de kans op dit scenario te beperken H3.3
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	Wanneer aangetoond kan worden dat maatregelen zijn genomen bij een windturbine om de kans op het scenario overtoeren te beperken, hoeft dit scenario in de risicoberekening niet meegenomen te worden. Met deze onderbouwing kunnen alle vergelijkbare type windturbines op een vergelijkbare wijze benaderd worden.

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Niet meenemen scenario overtoeren bij maatregelen om de kans op dit scenario te beperken H3.3
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	Door het scenario bladbreuk bij overtoeren alleen mee te nemen in een risicoberekening wanneer er geen maatregelen zijn genomen bij de windturbine om de kans op overtoeren te beperken, worden de relevante risico's van een windturbine voor de omgeving beoordeeld en meegenomen bij de ruimtelijke inpassing van windturbines.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	De uitkomsten van dit scenario vallen weg in het scenario bladbreuk in delen. Verwijderen heeft daardoor minimale impact op de wettelijke doorwerking.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	De verwachting is dat veiligheidssystemen geïnstalleerd blijven worden, alleen al uit economische overwegingen. Hierdoor blijft het toekomstbestendig om dit scenario niet standaard mee te nemen.
Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de aanpassingen zijn verwerkt?	Het scenario overtoeren blijft opgenomen in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV. Ook het uitgangspunt dat overtoeren niet meegenomen hoeft te worden wanneer maatregelen zijn genomen om de kans op dit scenario te beperken, blijft gelijk.
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) is opgenomen waarom het scenario overtoeren bij huidige windturbines niet standaard van toepassing is. Het niet-standaard meenemen van dit scenario in een risicoberekening is daarmee uitlegbaar.

7.1.6

*Aanpassen faalfrequentie overtoeren***Ontvankelijkheid**

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Aanpassen faalfrequentie overtoeren H3.3
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	Het RIVM heeft op basis van de actualisatie van de faalscenario's (RIVM-rapport 2021-0234) de faalfrequentie van het scenario overtoeren niet geactualiseerd. Het scenario overtoeren was ongeveer 1 procent van de faalfrequenties voor actualisatie. Dezelfde verhouding is aangenomen voor de huidige faalfrequenties. Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	De aanpassing van de faalfrequentie is beschreven in de aangepaste toelichting, die voorgesteld is in het RIVM-rapport 2024-0089.

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Aanpassen faalfrequentie overtoeren H3.3
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	De faalfrequentie van het scenario overtoeren is niet meegenomen in de meest recente actualisatie (RIVM-Rapport 2021-0234). Voor de aanpassing is de verhouding tussen de faalfrequentie bladafwerp en overtoeren in het Rekenvoorschrift omgevingsveiligheid 2020 gebruikt als analogon.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	De aanpassing van de faalfrequentie heeft direct invloed op de kansen die als uitkomst komen uit de berekeningen. Daarmee is het relevant voor de berekeningen.

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Aanpassen faalfrequentie overtoeren H3.3
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	De aanpassing is volledig beschreven en onderbouwd in de voorgestelde Module IV en toelichting die gegeven zijn bij het RIVM-rapport 2024-0089.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Aanpassen faalfrequentie overtoeren H3.3
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	Het aandeel van het scenario overtoeren in het totale risico is relatief klein. Daarmee zijn de resultaten ongevoelig voor kleine wijzigingen in de uitgangspunten.
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	Door de beveiligingssystemen die de meeste windturbines tegenwoordig hebben, is het scenario overtoeren meestal uit te sluiten. Ook wanneer het niet uitgesloten kan worden, is het aannemelijk dat het relatieve voorkomen van overtoeren is afgenomen ten opzichte van het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV versie, oktober 2020. Daarmee is het gebruik van dit rekenvoorschrift als analogon conservatief.
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	Het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV, versie oktober 2020, is als analogon gebruikt. Het gebruik van analoga wordt vaker toegepast bij gebrek aan informatie.

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Aanpassen faalfrequentie overtoeren H3.3
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	Het onveranderd laten van de faalfrequentie voor overtoeren zou tot te conservatieve uitkomsten leiden. Deze update brengt het meer in lijn met de rest van het rekenvoorschrift.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	De faalfrequentie heeft direct invloed op de uitkomsten van de berekeningen. Het risico is relevant voor de wettelijke doorwerking en daarmee de faalfrequentie ook.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	De laatste jaren zijn er veel ontwikkelingen geweest aan windturbines. Wanneer er grote technische ontwikkelingen worden doorgevoerd, passen de nu afgeleide faalfrequenties mogelijk niet meer bij de nieuwe type windturbines. Dit was nu ook de reden voor actualisatie. Daarom is aan het ministerie van IenW aangeraden eens in de ongeveer 10 jaar de faalfrequenties te actualiseren. *
Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de	De faalfrequentie van overtoeren wordt opgenomen in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV. Het benodigde tijdpad en budget is helder.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel aanpassingen zijn verwerkt?	Aanpassen faalfrequentie overtoeren H3.3
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	Het gebruik van het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020 als analogon is helder en beschreven in de voorgestelde toelichting bij het RIVM-rapport 2024-0089.

* Dit is een oranje cel (De aandachtspunten van de geactualiseerde rekenmethode zijn in de oranje cellen weergegeven.).

7.1.7

*Versimpeling kansverdelingsfunctie bladafworp***Ontvankelijkheid**

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Versimpeling kansverdelingsfunctie bladafworp H3.3
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	Het RIVM heeft op basis van de actualisatie van het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV (RIVM-rapport 2024-0089) de berekening van de kansverdelingsfunctie voor bladafworp versimpeld. Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	De aanpassing van de faalfrequentie is beschreven in de aangepaste toelichting, die voorgesteld is in het RIVM-rapport 2024-0089.

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Versimpeling kansverdelingsfunctie bladafworp H3.3
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	De wetenschappelijke basis van de kansverdelingsfunctie blijft onveranderd. De aanpassing versimpelt de notatie door de onderbouwde aanname dat er genoeg berekeningspunten zijn om het zo te kunnen benaderen. Het minimumaantal berekeningspunten wordt ook vastgelegd.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	Het effect van de aanpassing zal kleiner zijn dan de wetenschappelijke onzekerheid door het groot aantal berekeningspunten dat gedaan wordt.

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Versimpeling kansverdelingsfunctie bladafworp H3.3
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	De aanpassing is volledig beschreven en onderbouwd in de voorgestelde Module IV en toelichting die gegeven zijn bij het RIVM-rapport 2024-0089.
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	De aanpassing dient ter verduidelijking en uniformering van het rekenvoorschrift. Daarmee wordt de methodiek minder gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten.
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	De uitkomsten veranderen dusdanig weinig door deze aanpassing dat dit binnen de onzekerheid valt. Het blijft daarmee even conservatief.
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	Deze manier van het oplossen van de rekenmethode werd ook al gebruikt in de achterliggende programmering van de website Save-W die gebruikt kon worden bij het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV, versie oktober 2020.

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Versimpeling kansverdelingsfunctie bladafworp H3.3
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	De aanpassing heeft als doel om de methode beter volgbaar te maken. Daardoor worden de uitkomsten naar verwachting meer uniform.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	De aanpassing heeft geen merkbare invloed op de uitkomsten van de berekeningen.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Versimpeling kansverdelingsfunctie bladafworp H3.3
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	De aanpassing zorgt ervoor dat de rekenmethode makkelijker te volgen is. Inhoudelijk is het een simpele benadering door het tellen van het aantal punten met een bepaalde waarde in de hele populatie van berekeningen. Dit is naar verwachting toekomstbestendig.
Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de aanpassingen zijn verwerkt?	De versimpeling van de kansverdelingsfunctie bladafworp wordt opgenomen in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV. Het benodigde tijdpad en budget is helder.
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	De versimpeling dient om de uitvoerbaarheid van de rekenmethode te verbeteren ten opzichte van de voorgaande methodiek.

7.1.8

*Uitsluitend rekenen zonder luchtkrachten***Ontvankelijkheid**

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Uitsluitend rekenen zonder luchtkrachten H3.3
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) dat op verzoek van het RIVM door Antea Group en Pondera is opgesteld, is het voorstel voor het rekenen zonder luchtkrachten beschreven. Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	De mogelijkheid om te rekenen met luchtkrachten wordt uit het rekenvoorschrift verwijderd om uniformiteit in de risicoberekeningen te bewerkstelligen. Daarnaast was het model met luchtkrachten niet voldoende uitgewerkt en leidde dit tot schijnprecisie. De onderbouwing is beschreven in het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0, paragraaf 7.3)

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Uitsluitend rekenen zonder luchtkrachten H3.3
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	De berekening met luchtkrachten was niet voldoende uitgewerkt en leidde tot mogelijke schijnprecisie. Rekenen zonder luchtkrachten is een vereenvoudigd rekenmodel, waardoor gebruikgemaakt wordt van meerdere aannames. Dit leidt tot een conservatieve benadering van het scenario bladbreuk.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Uitsluitend rekenen zonder luchtkrachten H3.3
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	Het model met schijnprecisie is nu verwijderd.

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Uitsluitend rekenen zonder luchtkrachten H3.3
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	De onderbouwing voor het verwijderen van het model met luchtkrachten is beschreven in het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0, paragraaf 7.3). Het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020, blijft beschikbaar.
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	Doordat in de voorgestelde rekenmethode wordt uitgegaan van een model zonder luchtkrachten, met één toerental en een duidelijke definitie van het zwaartepunt, leidt dit tot betere reproduceerbaarheid van de berekende risico's van een windturbine.
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	Zonder luchtkrachten rekenen, is conservatiever dan met luchtkrachten. Doordat het rekenmodel geen rekening houdt met de afremmende werking van de luchtweerstand tijdens de worp van een rotorblad, zal het rekenmodel de werpafstanden en de energie bij impact overschatten.
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	Het negeren van wrijving/luchtkrachten is wat in natuurkundige modelering vaker voorkomt wanneer iets conservatief benaderd wordt.

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Uitsluitend rekenen zonder luchtkrachten H3.3
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	Door niet meer de mogelijkheid te geven met luchtkrachten te rekenen, worden de risicoberekeningen voor windturbines geüniformeerd. De risico's van alle windturbines worden hierdoor op eenzelfde wijze beoordeeld en op eenzelfde wijze meegenomen bij de ruimtelijke inpassing van windturbines.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Uitsluitend rekenen zonder luchtkrachten H3.3
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	Doordat door verwijdering van luchtkrachten de risico's van alle windturbines op eenzelfde wijze worden beoordeeld, komt uniforme informatie beschikbaar voor het bestuurlijke afwegingsproces.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	Wanneer de modellen met luchtkrachten voldoende ontwikkeld zijn en zijn getoetst aan bestaande incidenten, kan overwogen worden deze weer in te voeren om tot een reëlere benadering van de risico's te komen. De uitvoerbaarheid hiervan zou ook vergroot worden door integratie met een aangewezen rekenprogramma.
Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de aanpassingen zijn verwerkt?	De methode om te rekenen met luchtkrachten wordt verwijderd uit het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV. Het benodigde tijdpad en budget is helder.
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) is opgenomen waarom wordt aangeraden uitsluitend de mogelijkheid te geven om zonder luchtkrachten te rekenen. Het verwijderen van de rekenmethode met luchtkrachten is daarmee uitlegbaar.

7.1.9

*Aanpassing rekenmethode voor treffen personen***Ontvankelijkheid**

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Aanpassing rekenmethode voor treffen personen H3.4
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) dat op verzoek van het RIVM door Antea Group en Pondera is opgesteld, is het voorstel voor de aanpassing van de methode om het treffen van personen te berekenen, beschreven. Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	Treffen door ieder deel van het blad wordt gezien als letaal. Om het plaatsgebonden risico te bepalen van bladbreuk wordt de trefkans per vierkante meter vermenigvuldigd met de totale oppervlakte van het rotorblad. Dit is omschreven in het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) paragraaf 8.6.4.

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Aanpassing rekenmethode voor treffen personen H3.4
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	Door de rekenmethode te vereenvoudigen, wordt deze meer overeenkomstig de praktijk gemaakt.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	Voorheen werd met de schaduwhoogte en oppervlakte van een persoon gerekend. Hiervoor was het 'kritieke bladoppervlak' nodig. Dit was lastig te bepalen. Deze benadering is vereenvoudigd, waardoor de uitkomsten meer reproduceerbaar worden.

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Aanpassing rekenmethode voor treffen personen H3.4
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	De onderbouwing voor het aanpassen van de methode om het treffen van personen door bladdelen te berekenen, is beschreven in het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0, paragraaf 8.6.4). Hiermee voldoet het aan de FAIR-principes.
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	De resulterende rekenmethode voor de bepaling van het plaatsgebonden risico bij bladworp is beter uitvoerbaar, meer geschikt voor automatisering, beter controleerbaar en beter herleidbaar tot de ingevoerde parameters. Dit maakt de berekeningen meer reproduceerbaar.
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	De rekenmethode is conservatief, omdat één persoon wordt beschreven als een vlak van één vierkante meter. De schaduwhoogte wordt niet meer meegenomen, omdat de methode zonder schaduwhoogte al voldoende conservatief is.
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	Met de rekenmethode worden de risico's van personen door bladbreuk bij een windturbine op vergelijkbare wijze benaderd.

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Aanpassing rekenmethode voor treffen personen H3.4
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	Door aanpassing van de rekenmethode voor de bepaling van het plaatsgebonden risico bij bladworp, worden de risicoberekeningen voor windturbines geüniformeerd en conservatief. De risico's van alle windturbines worden hierdoor op eenzelfde wijze beoordeeld en op eenzelfde wijze meegenomen bij de ruimtelijke inpassing van windturbines.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	De uitkomsten van de risicoberekeningen blijven na aanpassing vergelijkbaar met de uitkomsten volgens de methode uit het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	De aanpassing zorgt voor toekomstbestendigheid door een eenvoudigere beschrijving te geven van de kans dat een geometrisch gevormd object op een vierkante meter terecht komt.
Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de aanpassingen zijn verwerkt?	De methode om het plaatsgebonden risico bij bladworp te bepalen, wordt opgenomen in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV. Het benodigde tijdpad en budget is helder.
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) is opgenomen waarom wordt aangeraden de methode aan te passen om het plaatsgebonden risico bij bladworp te bepalen.

7.1.10

*Bepalen oppervlak blad en bladdelen***Ontvankelijkheid**

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Bepalen oppervlak blad en bladdelen H3.4
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) dat op verzoek van het RIVM door Antea Group en Pondera is opgesteld, is het voorstel voor de aanpassing van de methode om het oppervlak van het blad te berekenen beschreven. Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) is in paragraaf 5.1 beschreven welke formule gebruikt kan worden voor het bepalen van het oppervlak van een rotorblad (1,6 x RD).

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Bepalen oppervlak blad en bladdelen H3.4
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) is aan de hand van datapunten de formule voor het bepalen van het bladoppervlak afgeleid. Hierbij is eenzelfde benadering gehanteerd als in het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020, behalve dat er meer datapunten zijn gebruikt. Hiermee is de methode wetenschappelijk beter onderbouwd.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	Het aantal datapunten waarop de formule is gebaseerd, is verviervoudigd in vergelijking met de formule uit het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020. Dit zorgt voor een statistisch relevante afname in onzekerheid.

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Bepalen oppervlak blad en bladdelen H3.4
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	De formule is gebaseerd op datapunten van meer windturbines dan in het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020. De datapunten zijn echter niet direct te herleiden, doordat de gehanteerde database niet openbaar is. *
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	Uit de grafiek in het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) is de formule voor het oppervlak van het blad duidelijk te reproduceren. De gekozen formule ligt over het algemeen iets boven de datapunten (conservatieve benadering), waardoor het ook minder gevoelig is voor kleine veranderingen van de ligging van de punten.
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	Het aantal datapunten waarop de formule is gebaseerd, is verviervoudigd in vergelijking met de formule uit het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020. De formule is daarmee meer geschikt om het bladoppervlak te bepalen, dan de formule uit het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020.
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	Voor het bepalen van de formule is dezelfde aanpak gehanteerd als in het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020. Tevens is het een eenvoudige lineaire fit van een aantal datapunten.

* Dit is een oranje cel (De aandachtspunten van de geactualiseerde rekenmethode zijn in de oranje cellen weergegeven).

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Bepalen oppervlak blad en bladdelen H3.4
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	De aanpassing scherpt de formule voor het bladoppervlak aan met behulp van meer datapunten. Hiermee is deze beter passend bij de huidige windturbines, zodat de relevante risico's meegenomen kunnen worden bij de ruimtelijke inpassing van windturbines.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	Doordat de formule voor het bepalen van het bladoppervlak meer passend is bij de windturbines die nu geplaatst worden, komt bruikbare informatie beschikbaar voor het bestuurlijke afwegingsproces.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	De laatste jaren zijn er veel ontwikkelingen geweest aan windturbines. Wanneer er grote technische ontwikkelingen worden doorgevoerd, past de nu afgeleide formule voor het bepalen van het bladoppervlak mogelijk niet meer bij de nieuwe type windturbines. *
Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de aanpassingen zijn verwerkt?	De formule voor het bepalen van het bladoppervlak wordt opgenomen in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV. Het benodigde tijdpad en budget is helder.
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	De nieuw afgeleide formule voor het bepalen van het bladoppervlak is een actualisatie van de bestaande formule uit het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020, en is daarmee even bruikbaar en uitlegbaar als deze formule.

* Dit is een oranje cel (De aandachtspunten van de geactualiseerde rekenmethode zijn in de oranje cellen weergegeven).

7.1.11 *Aanpassing rekenmethode voor treffen gebouwen en ruimtelijke objecten*

Ontvankelijkheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Aanpassing rekenmethode voor treffen gebouwen en ruimtelijke objecten H3.4
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) dat op verzoek van het RIVM door Antea Group en Pondera is opgesteld, is het voorstel voor de aanpassing van de methode beschreven om het treffen van objecten te berekenen. Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Aanpassing rekenmethode voor treffen gebouwen en ruimtelijke objecten H3.4
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) is in paragraaf 8.5.3 de methode beschreven voor het bepalen van de trefkansen van objecten. Hierbij wordt rekening gehouden met direct en indirect treffen. Daarmee is de methode eenduidig en volledig beschreven.

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Aanpassing rekenmethode voor treffen gebouwen en ruimtelijke objecten H3.4
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	De methode om de trefkansen van objecten te bepalen, is een verbeterde methode die duidelijker omschrijft hoe omgegaan moet worden met complex gevormde objecten. De methode is ook sterk vereenvoudigd door de geometrie van het te raken object niet te omschrijven in algemene formules, er ontstaat daarmee geen schijnnaauwkeurigheid.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	De voorgestelde aanpassing is relevant, omdat hierdoor ook rekening gehouden kan worden met complex gevormde objecten in plaats van alleen kubusvormige objecten.

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Aanpassing rekenmethode voor treffen gebouwen en ruimtelijke objecten H3.4
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	De onderbouwing voor het aanpassen van de methode om het treffen van objecten te berekenen, is beschreven in het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0, paragraaf 8.5.3). Hiermee voldoet het aan de FAIR-principes.
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	De methode lijkt robuust te zijn en alle uitgangspunten zijn duidelijk beschreven in het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0). Bij gebruik van een gelijke trefkansverdeling voor bladworp is het niet mogelijk om tot andere uitkomsten te komen, zonder fouten te maken ten opzichte van het voorgestelde stappenplan.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Aanpassing rekenmethode voor treffen gebouwen en ruimtelijke objecten H3.4
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	Daar waar complexe zaken vereenvoudigd zijn, is gekozen voor een conservatieve aanpak. Zo wordt de schaduwhoogte bepaald op een vaste afstand en kan de trefkansverdeling specifiek per vierkante meter gebruikt worden.
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	Door aanpassing van de methode wordt deze uniform gemaakt voor alle ruimtelijke objecten en dus niet alleen voor kubusvormige objecten.

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Aanpassing rekenmethode voor treffen gebouwen en ruimtelijke objecten H3.4
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	Door aanpassing van de rekenmethode voor het bepalen van trefkansen van objecten worden de risicoberekeningen voor windturbines en omliggende objecten geüniformeerd. De risico's van windturbines voor alle omliggende (bovengrondse) objecten worden hierdoor op eenzelfde wijze beoordeeld en op eenzelfde wijze meegenomen bij de ruimtelijke inpassing van windturbines.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	Doordat nu ook de risico's voor complex gevormde objecten specifiek berekend kunnen worden, komt bruikbare informatie beschikbaar voor het bestuurlijke afwegingsproces.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	In essentie is de voorgestelde methode om de trefkansen voor objecten te bepalen een eenvoudige geometrische benadering en daarmee toekomstbestendig. Daarbij komt dat deze methode implementeerbaar lijkt in bijvoorbeeld het rekenpakket Safeti-NL. De verwachting is dat de rekenmethode voor windturbines in Safeti-NL ingebouwd gaat worden.
Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de aanpassingen zijn verwerkt?	De methode om het treffen van objecten te bepalen, wordt opgenomen in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV. Het benodigde tijdpad en budget is helder.
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	De uitvoerbaarheid van het bepalen van de trefkans van objecten wordt iets minder dan voorheen, omdat

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Aanpassing rekenmethode voor treffen gebouwen en ruimtelijke objecten H3.4
	toegang tot een GIS-programma een pre is. Met integratie in Safeti-NL kan dit opgevangen worden.

7.1.12 *Aanpassing rekenmethode voor treffen wegen en passanten*

Ontvankelijkheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Aanpassing rekenmethode voor treffen wegen en passanten H3.4
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) dat op verzoek van het RIVM door Antea Group en Pondera is opgesteld, is de methode voor het berekenen van de trefkans voor wegen en passanten beschreven. Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) is in paragraaf 8.6.3 de methode beschreven voor het bepalen van de trefkansen voor wegen en passanten. Daarmee is de methode eenduidig en volledig beschreven.

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Aanpassing rekenmethode voor treffen wegen en passanten H3.4
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	De nieuwe methode voor het bepalen van de trefkansen van wegen en passanten uniformeert de rekenmethode met de methode om de trefkansen voor objecten te bepalen. Daarnaast is de aangepaste methode een verbetering ten opzichte van het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020, waarin een fout zat. Deze kwam namelijk uit op $m^{-1} \cdot turbine^{-1} \cdot jaar^{-2}$. Bij de kans dat een passant geraakt wordt, verwacht je echter de eenheid $turbine^{-1} \cdot jaar^{-1}$.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	De voorgestelde aanpassing is relevant, omdat hierdoor de methoden om de trefkansen voor wegen en passanten te bepalen uniform gemaakt wordt met de methode om de trefkansen voor objecten te bepalen. Daarnaast wordt hiermee een fout gecorrigeerd.

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Aanpassing rekenmethode voor treffen wegen en passanten H3.4
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	De methode voor het berekenen van de trefkansen van wegen en passanten is beschreven in het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0). Hiermee voldoet het aan de FAIR-principes.
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	De rekenmethode voor het bepalen van de trefkansen voor wegen en passanten is ongevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten. De berekeningen zijn daarmee reproduceerbaar.
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	De methode gebruikt enkele parameters. Daar waar er weinig informatie aanwezig is, worden conservatieve waarden aangegeven.
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	De methode om de trefkansen voor wegen en passanten te berekenen, was al opgenomen in de toelichting op het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020. Met de voorgestelde wijziging worden de trefkansberekeningen uniformer gemaakt en wordt een correctie uitgevoerd.

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Aanpassing rekenmethode voor treffen wegen en passanten H3.4
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	De berekening is correcter. Het aanwezig zijn van de formules is ten gunste van Rijkswaterstaat en maakt geen onderdeel uit van het wettelijke doel van de rekenmethode.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	De berekening is correcter. Het aanwezig zijn van de formules is ten gunste van Rijkswaterstaat en maakt geen onderdeel uit van het wettelijke doel van de rekenmethode.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Aanpassing rekenmethode voor treffen wegen en passanten H3.4
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	De rekenmethode is een relatief eenvoudige natuurkundige benadering. Daarmee is dit redelijk robuust.
Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de aanpassingen zijn verwerkt?	De methode om trefkansen voor wegen en passanten te berekenen, wordt opgenomen in de toelichting op het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV. Het benodigde tijdpad en budget is helder.
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) is opgenomen waarom wordt aangeraden de methode om de trefkansen voor wegen en passanten te bepalen te uniformeren met de trefkansberekeningen voor objecten.

7.1.13 Toestaan beschermingsfactoren

Ontvankelijkheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toestaan beschermingsfactoren H3.4
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	In het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020, is het toestaan van beschermingsfactoren al beschreven. Dit wordt behouden in de voorgestelde rekenmethode. Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	In het Rekenvoorschrift is de methode beschreven hoe met beschermingsfactoren omgegaan kan worden. Daarmee is de methode eenduidig en volledig beschreven.

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toestaan beschermingsfactoren H3.4
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	Om beschermingsfactoren te mogen toepassen, moeten de verhoudingen en reductie van de kans op schade door experts worden ingeschat op basis van de eigenschappen van de installatie en de windturbineonderdelen.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toestaan beschermingsfactoren H3.4
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	De toepassing van beschermingsfactoren geeft ruimte om met bescherming rekening te houden. Dit maakt de rekenmethode toepasbaarder voor de praktijk en maakt het mogelijk maatwerk toe te passen.

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toestaan beschermingsfactoren H3.4
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	De methode voor het toepassen van beschermingsfactoren is beschreven in de Toelichting op het Rekenvoorschrift. Hiermee voldoet het aan de FAIR-principes.
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	De resultaten van het toepassen van beschermingsfactoren zijn zeer gevoelig voor kleine veranderingen. Het toestaan van beschermingsfactoren stelt opstellers van risicobeoordelingen in staat om naar eigen inzicht, in overleg met bevoegd gezag, van 'treffen=falen' af te stappen.
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	Het toepassen van beschermingsfactoren maakt de risicoberekeningen minder conservatief. Daarentegen benadert het beter de praktijk, omdat rekening gehouden wordt met preventieve maatregelen.
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	De mogelijkheid om met beschermingsfactoren te rekenen, was al opgenomen in het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020.

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toestaan beschermingsfactoren H3.4
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	Het rekenen met beschermingsfactoren staat maatwerk toe. Hierdoor wordt de werkelijke situatie zoveel mogelijk benaderd in de rekenmethode en daarmee meegenomen bij de ruimtelijke inpassing van windturbines.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toestaan beschermingsfactoren H3.4
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	Doordat nu maatwerk meegenomen kan worden, komt bruikbare informatie beschikbaar voor het bestuurlijke afwegingsproces.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	Het toestaan van de beschermingsfactoren is toekomstbestendig. De verwachting is dat alleen al uit economische overwegingen preventieve maatregelen genomen zullen blijven worden.
Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de aanpassingen zijn verwerkt?	De methode om beschermingsfactoren te kunnen meenemen, wordt opgenomen in de toelichting op het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV. Het benodigde tijdpad en het budget zijn helder.
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	De uitvoerbaarheid is afhankelijk van goed overleg tussen de betrokkenen bij een vergunningsaanvraag en het opstellen van een risicoberekening. Keuzes moeten in dit proces altijd uitgelegd worden.

7.1.14

*Rekenmethode scenario mastfalen***Ontvankelijkheid**

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Rekenmethode scenario mastfalen H4
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) dat op verzoek van het RIVM door Antea Group en Pondera is opgesteld, is de methode voor het berekenen van de risico's van het scenario mastfalen beschreven. Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) is in paragraaf 6.1.1 de methode beschreven voor het berekenen van de risico's van het scenario mastfalen. Daarmee is de methode eenduidig en volledig beschreven.

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Rekenmethode scenario mastfalen H4
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	De methode is gebaseerd op geometrie en vormt daarmee een valide methode om de gevolgen van mastfalen te beschouwen. Er zijn geen data of wetenschappelijk bewijs beschikbaar die aangeven dat uniforme verdelingen van de valrichting niet geschikt zijn als uitgangspunt.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	Voorgesteld wordt om de methode uit het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020, te behouden. Er worden daarmee geen aanpassingen voorgesteld.

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Rekenmethode scenario mastfalen H4
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	De methode voor het berekenen van de risico's van het scenario mastfalen is beschreven in het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0). Hiermee voldoet het aan de FAIR-principes.
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	De rekenmethode is reproduceerbaar en ongevoelig voor kleine wijzigingen.
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	De rekenmethode gaat ervan uit dat de mast faalt aan de voet van de masttoeren en valt tot op een maximale afstand gelijk aan een tiphoogte afstand, waarmee het kantelpunt in de masttoeren op $x=0m$ wordt gelegd. Het breekpunt wordt enkel onderaan de mast geplaatst en het knikken van de mast wordt beschouwd als het volledig omvallen vanaf de voet. Hierdoor kan de methode gezien worden als een conservatieve benadering ten opzichte van situaties waarbij de mast ook partieel kan falen (afbreken halverwege de mast) of in het geheel de grond niet zal raken.
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	De methode om de risico's van het scenario mastfalen te berekenen, was reeds opgenomen in het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020.

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Rekenmethode scenario mastfalen H4
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	Er worden geen aanpassingen voorgesteld aan de methode om de risico's van het scenario mastfalen te berekenen. Door het scenario mastfalen mee te nemen, worden de relevante risico's meegenomen bij de ruimtelijke inpassing van windturbines.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	Er worden geen aanpassingen voorgesteld aan de methode om de risico's van het scenario mastfalen te berekenen. Door het scenario mastfalen mee te nemen, komt specifieke informatie beschikbaar voor het bestuurlijke afwegingsproces.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	De rekenmethode is toekomstbestendig, gezien het redelijk robuuste en eenvoudige natuurkunde en geometrie betreft. Een mogelijke verandering in de toekomst is wanneer er onderscheid gemaakt kan worden in de faalfrequentie van het volledig omvallen van een mast en mastbreuk.
Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de aanpassingen zijn verwerkt?	De methode om de risico's van het scenario mastfalen te kunnen berekenen, blijft opgenomen in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV.
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	Er worden geen aanpassingen voorgesteld aan de methode om de risico's van het scenario mastfalen te berekenen. De uitvoerbaarheid en uitlegbaarheid blijven daarmee gelijk aan de methode in het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020.

7.1.15

*Toevoegen tekst over gondel/rotor impact in gehele trefcirkel mastfalen***Ontvankelijkheid**

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toevoegen tekst over gondel/rotor impact in gehele trefcirkel mastfalen H4
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	Het voorstel om in de toelichting op het rekenvoorschrift een tekst op te nemen over dat de impact van een gondel/rotor in de gehele trefcirkel van mastfalen kan voorkomen, komt bij het RIVM vandaan. Dit na overleggen met experts uit de begeleidingscommissie. Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toevoegen tekst over gondel/rotor impact in gehele trefcirkel mastfalen H4
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	In paragraaf 1.8.1 van de toelichting op het rekenvoorschrift staat waarom in de gehele trefcirkel van mastfalen rekening gehouden moet worden met het knikken van de mast en daarmee met het gewicht van de gondel/rotor die op de grond kan vallen.

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toevoegen tekst over gondel/rotor impact in gehele trefcirkel mastfalen H4
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	De aanpassing voegt toe dat er rekening mee gehouden moeten worden dat bij de berekening van mastfalen een vereenvoudigende stap is toegepast die de mast alleen laat omvallen en niet laat knikken. Er moet echter rekening mee gehouden worden dat de mast kan knikken en het gewicht van de gondel en rotor binnen de gehele trefcirkel van mastbreuk op de grond en daarmee nabij een buisleiding kan komen.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	Voor het bepalen van de maximale effectafstanden is het conservatief om uit te gaan van het volledig omvallen van de mast. Door toevoeging van de voorgestelde tekst worden ruimtelijke ontwikkelaars ook gewezen op het feit dat de mast kan knikken en daardoor dicht bij de mast ook effecten mogelijk zijn.

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toevoegen tekst over gondel/rotor impact in gehele trefcirkel mastfalen H4
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	In paragraaf 1.8.1 van de toelichting op het rekenvoorschrift staat waarom in de gehele trefcirkel van mastfalen rekening gehouden moet worden met het knikken van de mast en daarmee met het gewicht van de gondel/rotor die op de grond kan vallen. Hiermee voldoet het aan de FAIR-principes.
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	De toegevoegde tekst is reproduceerbaar en ongevoelig voor kleine wijzigingen.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toevoegen tekst over gondel/rotor impact in gehele trefcirkel mastfalen H4
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	De aanpassing is conservatief, omdat bij één mastfaalscenario uitgegaan moet worden dat de gondel en rotor in de gehele radius van de trefcirkel van mastfalen kunnen neerkomen.
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	Door aanpassing van de methode worden alle relevante scenario's meegenomen in een risicobeoordeling.

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toevoegen tekst over gondel/rotor impact in gehele trefcirkel mastfalen H4
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	De aanpassing is essentieel voor de wettelijk beoogde functie van de rekenmethode. Voorheen werd bijvoorbeeld een ondergrondse buisleiding in de trefcirkel van mastfalen minder beschermd dan op de rand ervan. Het risico op de impact van de gondel/rotor leek namelijk op de rand hoger. Door toevoeging van de tekst worden de relevante risico's meegenomen bij de ruimtelijke inpassing van windturbines.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	De aanpassing is essentieel voor de wettelijk beoogde functie van de rekenmethode. Voorheen werd bijvoorbeeld een ondergrondse buisleiding in de trefcirkel van mastfalen minder beschermd dan op de rand ervan. Het risico op de impact van de gondel/rotor leek namelijk op de rand hoger. Door toevoeging van de tekst komt specifieke informatie beschikbaar voor het bestuurlijke afwegingsproces.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	De aanpassing is toekomstbestendig gezien het redelijk robuuste en eenvoudige natuurkunde en geometrie betreft. Een verandering die in de toekomst mogelijk is, is wanneer er onderscheid gemaakt kan worden in de faalkans van volledig omvallen van een mast en van mastbreuk.
Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de aanpassingen zijn verwerkt?	De voorgestelde tekst wordt opgenomen in de toelichting op het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV. Het benodigde tijdspad en het budget zijn helder.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toevoegen tekst over gondel/rotor impact in gehele trefcirkel mastfalen H4
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	Er zijn voldoende incidenten bekend om te laten zien dat de mast ook kan knikken en niet enkel omvalt. Dit maakt toevoeging van de tekst uitlegbaar.

7.1.16

*Rekenmethode trefkans mastfalen***Ontvankelijkheid**

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Rekenmethode trefkans mastfalen H4
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) dat op verzoek van het RIVM door Antea Group en Pondera is opgesteld, is de methode voor het bepalen van de trefkansen voor mastbreuk beschreven. Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) is in paragraaf 8.5.3 de methode beschreven voor het bepalen van de trefkansen van mastfalen. Daarmee is de methode eenduidig en volledig beschreven.

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Rekenmethode trefkans mastfalen H4
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	De methode om de trefkansen van objecten door mastfalen te bepalen, is een verbeterde methode die duidelijker omschrijft hoe omgegaan moet worden met complex gevormde objecten. De methode is ook sterk vereenvoudigd door de geometrie van het te raken object niet te omschrijven in algemene formules. Er ontstaat daarmee geen schijnnaauwkeurigheid.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	De voorgestelde aanpassing is relevant, omdat hierdoor ook rekening gehouden kan worden met complex gevormde objecten in plaats van alleen kubusvormige objecten.

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Rekenmethode trefkans mastfalen H4
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	De onderbouwing voor het aanpassen van de methode om het treffen van objecten door mastfalen te berekenen, is beschreven in het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0, paragraaf 8.5.3). Hiermee voldoet het aan de FAIR-principes.
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	De methode lijkt robuust te zijn en alle uitgangspunten zijn duidelijk beschreven in het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0).
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	Daar waar complexe zaken vereenvoudigd zijn, is gekozen voor een conservatieve aanpak. Daarnaast is de aanpak conservatief, omdat uitgegaan wordt van treffen=falen.
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	De methode om de trefkansen voor mastfalen te berekenen, zijn vergelijkbaar met de rest van de trefkansberekeningen in de rekenmethode.

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Rekenmethode trefkans mastfalen H4
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	Door aanpassing van de rekenmethode voor het bepalen van de trefkansen van objecten door mastfalen worden de risicoberekeningen voor windturbines en omliggende objecten geuniformeerd. De risico's van alle windturbines voor omliggende objecten worden hierdoor op eenzelfde wijze beoordeeld en op eenzelfde wijze meegenomen bij de ruimtelijke inpassing van windturbines.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	Doordat nu ook de risico's voor complex gevormde objecten specifiek berekend kunnen worden, komt bruikbare informatie beschikbaar voor het bestuurlijke afwegingsproces.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	In essentie is de voorgestelde methode om de trefkansen voor objecten door mastfalen te bepalen een eenvoudige geometrische benadering en daarmee toekomstbestendig. Daarbij komt dat deze methode implementeerbaar lijkt in bijvoorbeeld het rekenpakket Safeti-NL.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Rekenmethode trefkans mastfalen H4
Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de aanpassingen zijn verwerkt?	De methode om het treffen van objecten te bepalen wordt opgenomen in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV. Het benodigde tijdpad en het budget zijn helder.
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	De uitvoerbaarheid van het bepalen van de trefkans van objecten door mastfalen wordt iets minder dan voorheen, omdat toegang tot een GIS-programma een pre is. Met integratie in Safeti-NL kan dit opgevangen worden.

7.1.17 Toevoegen scenario rotorafworp

Ontvankelijkheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toevoegen scenario rotorafworp H5
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	Het RIVM heeft op basis van de actualisatie van de faalscenario's (RIVM-rapport 2021-0234) het voorstel gedaan om het gecombineerde scenario gondel/rotorafworp op te splitsen in twee losse scenario's. Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) dat op verzoek van het RIVM door Antea Group en Pondera is opgesteld, is de voorgestelde rekenmethode voor het bepalen van de risico's van het scenario rotorafworp beschreven (zie paragraaf 6.2.3).

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toevoegen scenario rotorafworp H5
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	De incidentendata op basis waarvan de faalfrequenties zijn afgeleid, bood voldoende data om onderscheid te kunnen maken in een faalfrequenties voor de scenario's gondelafworp en rotorafworp (RIVM-rapport 2021-0234).
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	Het is relevant om onderscheid te maken in de scenario's gondelafworp en rotorafworp, omdat er aanzienlijk verschil in gewicht is tussen de verschillende vallende onderdelen. Dit heeft met name invloed op de doorwerking op ondergrondse buisleidingen dicht bij de mast.

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toevoegen scenario rotorafworp H5
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	Het faalscenario rotorafworp, de bijbehorende faalfrequenties en de rekenmethode voor het bepalen van de effecten zijn gebaseerd op openbare data, zoals beschreven in het RIVM-rapport 2021-0234. Hiermee voldoet het aan de FAIR-principes.
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	De aangepaste methode is naar verwachting robuust en ongevoelig voor kleine veranderingen.
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	De opsplitsing in scenario's is minder conservatief dan rotorafworp onderdeel laten van gondelafworp. Er is echter voldoende incidentencasuïstiek om dit onderscheid te maken.
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	Het actualiseren van de faalscenario's en het afleiden van de faalfrequentie is uitgevoerd volgens het Protocol aanpassing rekenmethodieken externe veiligheid van het RIVM (RIVM-rapport 620550009/2012). Hiermee worden vergelijkbare situaties op dezelfde wijze benaderd.

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toevoegen scenario rotorafworp H5
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	Het scenario rotorafworp is reëel en daarmee een geldige toevoeging aan de rekenmethode. Met toevoeging van dit scenario worden de risico's van een windturbine voor de omgeving vollediger beoordeeld. Hierdoor worden de relevante risico's meegenomen bij de ruimtelijke inpassing van windturbines.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	De toevoeging van het scenario rotorafworp is met name relevant voor het bepalen van de domino-effecten door het verschil in gewicht met het scenario gondelafworp. Door splitsing van de scenario's komt bruikbare informatie beschikbaar voor het bestuurlijke afwegingsproces.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toevoegen scenario rotorafworp H5
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	De laatste jaren zijn er veel ontwikkelingen geweest aan windturbines. Wanneer er grote technische ontwikkelingen worden doorgevoerd, past de nu afgeleide faalfrequentie voor het scenario rotorafworp mogelijk niet meer bij de nieuwe type windturbines. *
Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de aanpassingen zijn verwerkt?	Het scenario rotorafworp wordt opgenomen in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV. Het benodigde tijdpad en budget is helder.
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	Het scenario rotorafworp is een opsplitsing van het scenario gondel/rotorafworp uit het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020. De berekening gebruikt dezelfde formules als gondelafworp, minus het treffen door de gondel en is daarmee uitvoerbaar en uitlegbaar.

* Dit is een oranje cel (De aandachtspunten van de geactualiseerde rekenmethode zijn in de oranje cellen weergegeven).

7.1.18 *Meenemen halve mastbreedte bij berekeningen risico's gondel- en rotorafworp*

Ontvankelijkheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Meenemen halve mastbreedte (gondel valt naast mast in plaats van erin) bij berekeningen risico's gondel- en rotorafworp H5
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) dat op verzoek van het RIVM door Antea Group en Pondera is opgesteld, is de methode voor het bepalen van de risico's door gondel- en rotorafworp beschreven. Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) is in paragraaf 6.2.3 de methode beschreven voor het bepalen van de effecten van de scenario's gondel- en rotorafworp. Daarmee is de methode eenduidig en volledig beschreven.

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Meenemen halve mastbreedte (gondel valt naast mast in plaats van erin) bij berekeningen risico's gondel- en rotorafworp H5
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	De aanpassing vormt een kleine verbetering ten opzichte van het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020, waarbij de aanname was dat de gondel en rotor bij afvallen in de mast vallen ($x=0$). Nu wordt ervan uitgegaan dat de gondel en rotor bij afvallen naast de mast vallen. Dit sluit beter aan bij de werkelijke situatie.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	De aanpassing om de halve mastbreedte mee te nemen bij de scenario's gondel- en rotorafworp is relevant, omdat dit beter aansluit bij de werkelijke situatie. Door deze aanpassing worden enkele meters aan de effectafstand van de scenario's gondel- en rotorafworp toegevoegd.

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Meenemen halve mastbreedte (gondel valt naast mast in plaats van erin) bij berekeningen risico's gondel- en rotorafworp H5
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	De methode is gebaseerd op geometrie en een uniforme verdeling van valrichtingen. De uitgangspunten zijn daarmee herleidbaar tot basisprincipes.
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	De rekenmethode is reproduceerbaar. Deze geeft een betere duiding aan zowel de trefkans van een onderdeel als de specifieke vallocaties van de gondel en rotor die kunnen plaatsvinden, dan de methode uit het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020.
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	In de Rekenmethode, versie oktober 2020, wordt aangenomen dat de gondel en rotor als geheel vallen en neerkomen. Dit is al conservatief. De aangepaste benadering is conservatiever dan voorheen, omdat de gondel en rotor naast de mast landen, in plaats van erin. Dit voegt de halve mastdiameter toe aan de contour.
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	De methoden om de effecten van de scenario's gondel- en rotorafworp te berekenen, zijn vergelijkbaar met de methode uit het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020. Alleen wordt de halve mastdiameter toegevoegd aan de vallocatie,

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Meenemen halve mastbreedte (gondel valt naast mast in plaats van erin) bij berekeningen risico's gondel- en rotorafworp H5
	waardoor de gondel en rotor niet in, maar naast de mast vallen. Dit vormt een betere benadering van de werkelijkheid.

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Meenemen halve mastbreedte (gondel valt naast mast in plaats van erin) bij berekeningen risico's gondel- en rotorafworp H5
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	Door aanpassing van de rekenmethode voor het bepalen van de effecten van de scenario's gondel- en rotorafworp wordt beter aangesloten bij de werkelijkheid en worden de aannames conservatiever. Hierdoor kunnen de relevante risico's worden meegenomen bij de ruimtelijke inpassing van windturbines.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	De effecten van de scenario's gondel- en rotorafworp nemen met een halve mastdiameter toe. Hierdoor komt bruikbare informatie beschikbaar voor het bestuurlijke afwegingsproces.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	De aanpassing sluit beter aan bij de werkelijke effecten van de scenario's gondel- en rotorafworp. Doordat windturbines steeds groter worden, wordt het ook steeds relevanter om de halve mastdiameter en daarmee de realistischere locatie waar de gondel en rotor kunnen neervallen, mee te nemen. Dit maakt de voorgestelde rekenmethode toekomstbestendiger.
Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de aanpassingen zijn verwerkt?	De methode om de effecten van de scenario's gondel- en rotorafworp te bepalen, worden opgenomen in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV. Het benodigde tijdpad en het budget zijn helder.
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) is opgenomen waarom wordt aangeraden rekening te houden met de mastbreedte bij het bepalen van de effecten van de scenario's gondel- en rotorafworp. Dit sluit beter aan bij de werkelijke effecten van deze scenario's. Daarmee is de aanpassing uitlegbaar.

7.1.19 *Kleine onderdelen kwalitatief blijven beschouwen***Ontvankelijkheid**

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Kleine onderdelen kwalitatief blijven beschouwen H5
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	Het RIVM heeft op basis van de actualisatie van de faalscenario's (RIVM-rapport 2021-0234) het voorstel gedaan om het scenario afworp van kleine onderdelen kwalitatief te blijven beschouwen. Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	In het RIVM-rapport (2021-0234) is beschreven dat in de gebruikte incidentdatabase slechts één incident van het afvallen van kleine onderdelen was opgenomen. Naar verwachting komt dit scenario echter vaker voor. Er is daarmee onvoldoende data vindbaar over dit scenario om een faalfrequentie vanaf te kunnen leiden.

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Kleine onderdelen kwalitatief blijven beschouwen H5
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	Er is een gebrek aan wetenschappelijk onderbouwde gegevens om een faalfrequentie te kunnen afleiden voor het afvallen van kleine onderdelen. Daarmee is een kwantitatieve benadering van dit scenario niet mogelijk en wordt voorgesteld dit scenario kwalitatief te blijven beschouwen, net als in het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020, wordt gedaan.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	Voorgesteld wordt om de methode te behouden uit het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020. Er worden daarmee geen aanpassingen voorgesteld.

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Kleine onderdelen kwalitatief blijven beschouwen H5
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	In het RIVM-rapport (2021-0234) is duidelijk beschreven waar incidentencasusistiek over het scenario afvallen van kleine onderdelen gezocht is (buitenlanddata, data van fabrikanten en het Caithness Windfarm Information Forum (nu: Scotland Against Spin)). Er is echter onvoldoende data gevonden om een betrouwbare faalfrequentie voor het scenario afvallen van kleine onderdelen af te leiden.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Kleine onderdelen kwalitatief blijven beschouwen H5
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	Naar verwachting heeft het kwantitatief toevoegen van het scenario afworp van kleine onderdelen weinig invloed op de uitkomsten. Dit soort onderdelen zullen dicht bij de mast vallen. In dit gebied is al een significant risico te vinden door rotorafworp en gondelafworp.
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	Het scenario afvallen van kleine onderdelen moet nog steeds kwalitatief beschouwd worden en is daarmee een conservatieve benadering.
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	De kwalitatieve benadering van het scenario afvallen van kleine onderdelen was al opgenomen in het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020.

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Kleine onderdelen kwalitatief blijven beschouwen H5
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	Wettelijk gezien moeten alle scenario's waarvan de faalfrequentie hoog genoeg is in een risicoberekening meegenomen worden. Het is aannemelijk dat het scenario afvallen van kleine onderdelen ook daaronder valt. Door dit scenario kwalitatief te beschouwen, worden de risico's hiervan ook meegenomen bij de ruimtelijke inpassing van windturbines.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	Er worden geen aanpassingen voorgesteld aan de manier om de risico's van het scenario afvallen van kleine onderdelen mee te nemen in de beoordeling. Door dit scenario kwalitatief te beschouwen, komt specifieke informatie beschikbaar voor het bestuurlijke afwegingsproces.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	De verwachting is dat de beschikbaarheid van openbare incidentendatabases beperkt blijft en dan met name de beschikbaarheid van data over incidenten van het afvallen van kleine onderdelen. Ook voor de toekomst is daardoor de verwachting dat dit scenario kwalitatief beschouwd moet blijven worden.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Kleine onderdelen kwalitatief blijven beschouwen H5
Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de aanpassingen zijn verwerkt?	De manier om de risico's van het scenario afvallen van kleine onderdelen te kunnen meenemen in een risicobeoordeling, blijft opgenomen in de toelichting op het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV.
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	Er worden geen aanpassingen voorgesteld aan de methode om de risico's van het scenario afvallen van kleine onderdelen mee te nemen in een risicobeoordeling. De uitvoerbaarheid en uitlegbaarheid blijven daarmee gelijk aan de methode in het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020.

7.1.20 *IJsafworp en ijsval kwalitatief blijven beschouwen*

Ontvankelijkheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	IJsafworp en ijsval kwalitatief blijven beschouwen H5
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	Het RIVM heeft op basis van de actualisatie van de faalscenario's (RIVM-rapport 2021-0234) het voorstel gedaan om de scenario's ijsafworp en ijsval kwalitatief te blijven beschouwen. Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	Er bestaat discussie over de scenario's ijsafworp en ijsval, omdat het bekend is dat deze scenario's kunnen plaatsvinden en het uitlegbaar is dat de effecten significant kunnen zijn. In het RIVM-rapport (2021-0234) is uitgelegd dat de faalfrequenties voor ijsafworp en ijsval uit dit rapport niet wetenschappelijk onderbouwd en daarmee niet betrouwbaar zijn. De reden hiervoor is dat ijsafworp en ijsval naar verwachting vaker voorkomen dan uit de incidentdatabase blijkt. Er is daarmee onvoldoende data vindbaar over deze scenario's om betrouwbare faalfrequenties te kunnen afleiden. Daarmee moeten deze scenario's kwalitatief beschouwd blijven worden bij een risicobeoordeling.

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	IJsafworp en ijsval kwalitatief blijven beschouwen H5
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	Er is gebrek aan wetenschappelijk onderbouwde gegevens om faalfrequenties te kunnen afleiden voor ijsafworp en ijsval. Daarmee is een kwantitatieve benadering van deze scenario's niet mogelijk en wordt voorgesteld deze scenario's kwalitatief te blijven beschouwen, net als wordt gedaan in het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	Voorgesteld wordt om de methode te behouden uit het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020. Er worden daarmee geen aanpassingen voorgesteld. Wel wordt in de toelichting op het rekenvoorschrift een uitgebreidere beschrijving opgenomen van de scenario's ijsafworp en ijsval. Hiermee wordt men beter geholpen om een kwalitatieve beschouwing van deze scenario's te maken.

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	IJsafworp en ijsval kwalitatief blijven beschouwen H5
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	In het RIVM-rapport (2021-0234) is duidelijk beschreven waar incidentencasuïstiek over de scenario's ijsafworp en ijsval gezocht is (buitenlanddata, data van fabrikanten en het Caithness Windfarm Information Forum). Er is echter onvoldoende data gevonden om betrouwbare faalfrequenties voor deze scenario's af te leiden.
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	Volgens NedZero (voorheen NWEA) komen in Nederland gemiddeld tussen de twee en zeven dagen per jaar weersomstandigheden voor waarbij ijsafzetting op windturbines kan optreden. In het Besluit activiteiten leefomgeving (art 4.428) is opgenomen dat windturbines buiten gebruik gesteld moeten worden na constatering of vermoeden van een gebrek waardoor de veiligheid in het geding is. Hieronder valt ook ijsafzetting. Hiermee wordt het risico op ijsafworp beperkt. Ijsval zal voornamelijk plaatsvinden binnen de zone waaroverheen de windturbine kan draaien. Binnen deze zone zijn meerdere maatregelen te treffen om de gevolgen van ijsval te beperken. Hiermee worden de risico's van deze scenario's beperkt.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	IJsafworp en ijsval kwalitatief blijven beschouwen H5
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	De scenario's ijsafworp en ijsval moeten nog steeds kwalitatief beschouwd worden. Daarmee worden deze scenario's conservatief benaderd.
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	De kwalitatieve benadering van de scenario's ijsafworp en ijsval was reeds opgenomen in het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020.

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	IJsafworp en ijsval kwalitatief blijven beschouwen H5
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	Wettelijk gezien moeten alle scenario's waarvan de faalfrequentie hoog genoeg is in een risicoberekening meegenomen worden. Het is aannemelijk dat de scenario's ijsafworp en ijsval ook daaronder vallen. Door deze scenario's kwalitatief te beschouwen, worden de risico's hiervan ook meegenomen bij de ruimtelijke inpassing van windturbines.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	Er worden geen aanpassingen voorgesteld aan de manier om de risico's van de scenario's ijsafworp en ijsval mee te nemen in de beoordeling. Door deze scenario's kwalitatief te beschouwen, komt specifieke informatie beschikbaar voor het bestuurlijke afwegingsproces.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	De verwachting is dat de beschikbaarheid van openbare incidentendatabases beperkt blijft en dan met name de beschikbaarheid van data over incidenten van ijsafworp en ijsval. Ook voor de toekomst is daardoor de verwachting dat deze scenario's kwalitatief beschouwd moeten blijven worden.
Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de aanpassingen zijn verwerkt?	De manier om de risico's van de scenario's ijsafworp en ijsval te kunnen meenemen in een risicobeoordeling, blijft opgenomen in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV.
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	Er worden geen aanpassingen voorgesteld aan de methode om de risico's van de scenario's ijsworp en ijsval mee te nemen in een risicobeoordeling. De

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	IJsafworp en ijsval kwalitatief blijven beschouwen H5
	uitvoerbaarheid en uitlegbaarheid blijven daarmee gelijk aan de methode in het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020.

7.1.21 *Keuze verplaatsen bovengrondse buisleidingen naar 'ruimtelijke objecten'*

Ontvankelijkheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Keuze verplaatsen bovengrondse buisleidingen naar 'ruimtelijke objecten' H6
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) dat op verzoek van het RIVM door Antea Group en Pondera is opgesteld, is het voorstel voor de aanpassing van de methode om het treffen van bovengrondse buisleidingen te berekenen beschreven. Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) is in paragraaf 8.6.1 beschreven dat de methode om de trefkans voor ruimtelijke objecten te bepalen (uit paragraaf 8.5.3) ook toegepast kan worden voor bovengrondse buisleidingen. Hierbij wordt rekening gehouden met direct en indirect treffen. Daarmee is de methode eenduidig en volledig beschreven.

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Keuze verplaatsen bovengrondse buisleidingen naar 'ruimtelijke objecten' H6
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	Er is geen wezenlijk verschil in de wijze waarop een bovengrondse buisleiding of een ander bovengronds object getroffen kan worden door vallende onderdelen van een windturbine. Door voor alle bovengrondse objecten een gelijke rekenmethode te hanteren, wordt voor een eenduidige methode gezorgd.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	De voorgestelde aanpassing is relevant, omdat hierdoor de risico's voor alle bovengrondse objecten op eenzelfde wijze worden bepaald.

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Keuze verplaatsen bovengrondse buisleidingen naar 'ruimtelijke objecten' H6
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	De onderbouwing voor het aanpassen van de methode om het treffen van objecten te berekenen, is beschreven in het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0, paragraaf 8.5.3). Het voorstel om dit ook voor bovengrondse buisleidingen te laten gelden, is ook beschreven (rapport Effectmodellering windturbines 722176 v2.0, paragraaf 8.6.1). Hiermee voldoet het aan de FAIR-principes.
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	De methode lijkt robuust te zijn en alle uitgangspunten zijn duidelijk beschreven in het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0). Bij gebruik van een gelijke trefkansverdeling voor bladworp is het niet mogelijk om tot andere uitkomsten te komen, zonder fouten te maken ten opzichte van het voorgestelde stappenplan.
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	De methode is conservatief, omdat in essentie uitgegaan wordt van treffen=falen.
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	De voorgestelde aanpassing zorgt ervoor dat de risico's voor alle bovengrondse objecten op eenzelfde wijze worden bepaald.

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Keuze verplaatsen bovengrondse buisleidingen naar 'ruimtelijke objecten' H6
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	De voorgestelde aanpassing zorgt ervoor dat de risico's voor alle bovengrondse objecten op eenzelfde wijze worden bepaald. De risico's van windturbines voor alle bovengrondse objecten worden hierdoor op eenzelfde wijze beoordeeld en op eenzelfde wijze meegenomen bij de ruimtelijke inpassing van windturbines.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	Doordat nu alle bovengrondse objecten op eenzelfde wijze worden meegenomen bij een risicobeoordeling van windturbines, komt bruikbare informatie beschikbaar voor het bestuurlijke afwegingsproces.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Keuze verplaatsen bovengrondse buisleidingen naar 'ruimtelijke objecten' H6
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	In essentie is de voorgestelde methode om de trefkansen voor bovengrondse objecten te bepalen een eenvoudige geometrische benadering en is de methode daarmee toekomstbestendig. Daarbij komt dat deze methode implementeerbaar lijkt in bijvoorbeeld het rekenpakket Safeti-NL.
Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de aanpassingen zijn verwerkt?	De methode om het treffen van bovengrondse buisleidingen te bepalen, wordt opgenomen in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV. Het benodigde tijdpad en budget is helder.
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	De uitvoerbaarheid van het bepalen van de trefkans van bovengrondse buisleidingen wordt iets minder dan voorheen, omdat toegang tot een GIS-programma een pre is. Met integratie in Safeti-NL kan dit opgevangen worden.

7.1.22 *Keuze kritische afstand en algemene aanpak ondergrondse buisleidingen gelijk houden*

Ontvankelijkheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Keuze kritische afstand en algemene aanpak ondergrondse buisleidingen gelijk houden H6
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	In het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0) dat op verzoek van het RIVM door Antea Group en Pondera is opgesteld, wordt aanbevolen nader onderzoek te doen naar de toepassing van de formules uit het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020, op ondergrondse buisleidingen. Het RIVM heeft een literatuuronderzoek uitgevoerd en twee alternatieve methoden bekeken (zie aanbevelingen in het RIVM-rapport 2024-0089). Deze scores slechter op de kwaliteitscriteria dan de huidige methode. Het RIVM doet ook de aanbeveling meer onderzoek te doen naar alternatieven voor de berekening van vallende objecten op ondergrondse buisleidingen. Bij de actualisatie van de rekenmethode scoort de huidige methode het beste op de criteria. Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Keuze kritische afstand en algemene aanpak ondergrondse buisleidingen gelijk houden H6
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	De aanpassingen die zijn gedaan, naast het gelijk trekken van de benaming van parameters, worden in losse kolommen beschreven in deze Excel-sheet. Daarmee is de methode eenduidig en volledig beschreven.

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Keuze kritische afstand en algemene aanpak ondergrondse buisleidingen gelijk houden H6
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	De huidige methode is gebaseerd op ondergrondse explosies en hoe deze doorwerken op ondergrondse buisleidingen. Bij een explosie wordt de energie echter radiaal verdeeld door de grond, terwijl bij een vallend object de energie met name verticaal gericht zal zijn (zie bijvoorbeeld Liu 2014). De uitkomsten van de huidige methode suggereren dat een buisleiding over het algemeen veilig ligt met enkele meters gronddekking. In recente incidenten (Zeewolde, Vietnam) worden kraters geobserveerd van enkele meters diep. Mogelijk is de doorwerking in de grond dus onderschat als wordt aangenomen dat er nog een schokgolf door de grond gaat na de kratervorming. *
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	Voorgesteld wordt om de methode uit het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020, grotendeels te behouden. Specifieke aanpassingen worden in de kolommen hierna afzonderlijk behandeld.

* Dit is een oranje cel (De aandachtspunten van de geactualiseerde rekenmethode zijn in de oranje cellen weergegeven).

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Keuze kritische afstand en algemene aanpak ondergrondse buisleidingen gelijk houden H6
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	De oorspronkelijke bron van deze methode is openbaar vindbaar en duidelijk beschreven wat betreft de methode. Hiermee voldoet het aan de FAIR-principes.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Keuze kritische afstand en algemene aanpak ondergrondse buisleidingen gelijk houden H6
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	De methode om de kritische afstand te bepalen, is naar verwachting robuust.
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	De methode gaat uit van ondergrondse explosies, waarbij de energie radiaal van het punt van oorsprong verdeeld wordt. Bij een vallend onderdeel is de energie echter verticaal gericht en is de radiale verdeling van de schok beperkter. Hiermee is deze aanpak mogelijk niet conservatief. *
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	De voorgestelde aanpak komt grotendeels overeen met de vorige versie van Module IV.

* Dit is een oranje cel (De aandachtspunten van de geactualiseerde rekenmethode zijn in de oranje cellen weergegeven).

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Keuze kritische afstand en algemene aanpak ondergrondse buisleidingen gelijk houden H6
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	De methodiek is op een oude bron gebaseerd en niet meer de best beschikbare techniek. Er is literatuur beschikbaar, met name gericht op de doorwerking van vallende rotsblokken op ondergrondse buisleidingen, opgesteld voor bergachtige gebieden. Bij deze actualisatie van de rekenmethode is echter geen methode gevonden die beter scoort op de beoordelingscriteria. *
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	Voorgesteld wordt om de methode uit het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020, grotendeels te behouden. Specifieke aanpassingen worden in de kolommen hierna afzonderlijk behandeld.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	Het RIVM beveelt aan de methodiek van de doorwerking op ondergrondse buisleidingen grondig te evalueren in een apart onderzoek. *

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Keuze kritische afstand en algemene aanpak ondergrondse buisleidingen gelijk houden H6
Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de aanpassingen zijn verwerkt?	De kritische afstand en de algemene aanpak blijven opgenomen in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV.
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	In deze actualisatie blijft de huidige methodiek het hoogst scoren. Het is echter zeer waarschijnlijk dat er betere methoden beschikbaar zijn. In de actualisatie is de huidige methodiek helderder omschreven om de uitvoerbaarheid te verbeteren. *

* Dit is een oranje cel (De aandachtspunten van de geactualiseerde rekenmethode zijn in de oranje cellen weergegeven).

7.1.23 Toelaatbare stress op buisleiding gelijk houden

Ontvankelijkheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toelaatbare stress op buisleiding gelijk houden H6
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	Het RIVM heeft op basis van literatuuronderzoek naar alternatieve methoden voor het bepalen van de impact van vallende windturbine-onderdelen op ondergrondse buisleidingen (RIVM-rapport 2024-0089) het voorstel gedaan om de methode gelijk te houden aan de rekenmethode uit het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020. Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	In de aangepaste rekenmethode en de toelichting daarop is de methode beschreven voor het bepalen van de toelaatbare stress op buisleidingen. Daarmee is de methode eenduidig en volledig beschreven.

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toelaatbare stress op buisleiding gelijk houden H6
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	De methode is goed uit te leggen: meer interne druk, een dünnere wand of grotere diameter van de buisleiding leiden tot een lagere toelaatbare stress. Er is ook geen signaal bij het RIVM bekend dat dit niet meer representatief is. Deze formule is niet grondig getoetst aan de literatuur door het RIVM of in het rapport Effectmodellering windturbines (rapport 722176 v2.0). *

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toelaatbare stress op buisleiding gelijk houden H6
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	Voorgesteld wordt om de methode uit het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020, te behouden. Er worden daarmee geen aanpassingen voorgesteld.

* Dit is een oranje cel (De aandachtspunten van de geactualiseerde rekenmethode zijn in de oranje cellen weergegeven).

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toelaatbare stress op buisleiding gelijk houden H6
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	De bron waarop de toelaatbare stress op buisleidingen is gebaseerd, is openbaar beschikbaar. Hiermee wordt voldaan aan de FAIR-principes.
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	De methode om de toelaatbare stress op buisleidingen te bepalen, is naar verwachting robuust.
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	De methode gaat ervan uit dat de buisleiding altijd onder maximale druk staat. Dit is conservatief. Daarentegen worden de aanwezige druk door de grond of afname in toelaatbare stress door veroudering niet meegenomen. Dit is niet conservatief. *
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	Het gebruik van de formules voor de toelaatbare stress op ondergrondse buisleidingen is niet grondig getest. *

* Dit is een oranje cel (De aandachtspunten van de geactualiseerde rekenmethode zijn in de oranje cellen weergegeven).

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Toelaatbare stress op buisleiding gelijk houden H6
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	Doordat bij het berekenen van de effecten van vallende windturbineonderdelen op ondergrondse buisleidingen rekening wordt gehouden met de toelaatbare stress op een buisleiding, worden de relevante risico's meegenomen bij de ruimtelijke inpassing van windturbines.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	Er worden geen aanpassingen voorgesteld aan de methode om de toelaatbare stress op buisleidingen te bepalen. Doordat de toelaatbare stress wordt meegenomen in het bepalen van de effecten van vallende objecten van windturbines op buisleidingen, komt specifieke informatie beschikbaar voor het bestuurlijke afwegingsproces.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	Het gebruik van de formule voor de toelaatbare stress op ondergrondse buisleidingen en daarbij de toekomstbestendigheid is niet grondig getest. *
Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de aanpassingen zijn verwerkt?	De formule voor het bepalen van de toelaatbare stress op ondergrondse buisleidingen blijft opgenomen in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV.
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	Er worden geen aanpassingen voorgesteld aan de formule voor het bepalen van de toelaatbare stress op ondergrondse buisleidingen. De uitvoerbaarheid en uitlegbaarheid blijven daarmee gelijk aan de methode in het Rekenvoorschrift, versie oktober 2020.

* Dit is een oranje cel (De aandachtspunten van de geactualiseerde rekenmethode zijn in de oranje cellen weergegeven).

7.1.24 *Massaverdeling over een rotorblad***Ontvankelijkheid**

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Massaverdeling over een rotorblad H6
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	Het RIVM heeft op basis van de zwaartepuntligging een methode opgesteld om de massa van bladdelen te bepalen (RIVM-rapport 2024-0089). Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Massaverdeling over een rotorblad H6
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	In de aangepaste rekenmethode en de toelichting daarop is de methode beschreven en is uitgelegd hoe de formules tot stand zijn gekomen. Daarmee is de methode eenduidig en volledig beschreven.

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Massaverdeling over een rotorblad H6
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	Het zwaartepunt is per definitie het middelpunt van de massa van een voorwerp. Dit principe is gebruikt om tot de voorgestelde methode te komen. Hiermee is dit wetenschappelijk onderbouwd.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	In het RIVM-rapport 2021-0234 is het scenario bladbreuk in delen voorgesteld als nieuw scenario. Door de toevoeging van dit scenario is het nodig om de massa van bladdelen te kunnen bepalen.

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Massaverdeling over een rotorblad H6
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	Deze aanpassing is volledig beschreven in de voorgestelde rekenmethode en toelichting. Deze zijn beide openbaar beschikbaar. Hiermee wordt voldaan aan de FAIR-principes.
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	Deze methode is gegrond in welbekende wetenschappelijke principes. Daarmee is de methode naar verwachting robuust.
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	De ligging van het zwaartepunt is conservatief opgesteld (ten opzichte van de bladwortel). Hierdoor is de bepaling van de massa ook conservatief, omdat dit aanneemt dat er zich meer massa bevindt verder in het blad dan uit de gevonden data blijkt.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Massaverdeling over een rotorblad H6
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	Deze methode is gegrond op de definitie van het zwaartepunt. Dit principe is welbekend en wordt gebruikt.

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Massaverdeling over een rotorblad H6
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	Dit is een noodzakelijk aspect voor het implementeren van het scenario bladbreuk in delen. Doordat het scenario bladbreuk in delen wordt toegevoegd, worden de relevante risico's meegenomen bij de ruimtelijke inpassing van windturbines.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	Dit is een noodzakelijk aspect voor het implementeren van het scenario bladbreuk in delen. Doordat het scenario bladbreuk in delen wordt toegevoegd, komt specifieke informatie beschikbaar voor het bestuurlijke afwegingsproces.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	Deze aanpassing is toekomstbestendig. Bij de huidige of een eventueel nieuwe methode voor de effecten op ondergrondse buisleidingen zal de massa van het trekkende onderdeel een rol spelen. Dit is immers een bepalende parameter voor het uitrekenen van de energie die dat onderdeel heeft bij impact.
Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de aanpassingen zijn verwerkt?	De berekening van de massa van rotorbladdelen wordt opgenomen in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV. Het benodigde tijdspad en het budget zijn helder.
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	De berekening van de massa van rotorbladdelen bestaat uit factorvermenigvuldigingen en is daarmee uitvoerbaar. De methode is volledig uitgelegd in de toelichting op het rekenvoorschrift.

7.1.25 *Keuze toevoegen berekening kinetische energie fractie bij bladworp***Ontvankelijkheid**

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Keuze toevoegen berekening kinetische energie fractie bij bladworp H6
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	Het RIVM heeft op basis van een geometrische benadering een methode opgesteld om de fractie verticaal gerichte kinetische energie te berekenen (RIVM-rapport 2024-0089). Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	In de aangepaste rekenmethode en de toelichting daarop is de methode beschreven en is uitgelegd hoe de formules tot stand zijn gekomen. Daarmee is de methode eenduidig en volledig beschreven.

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Keuze toevoegen berekening kinetische energie fractie bij bladworp H6
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	Welbekende geometrische principes zijn gebruikt om tot de voorgestelde methode te komen. Hiermee is dit wetenschappelijk onderbouwd.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	Voorheen werd het bepalen van de energiefractie aan de rekenaar overgelaten. Dit leidt mogelijk tot uiteenlopende resultaten, doordat verschillende methodes gevolgd worden. Door deze methode op te nemen in het rekenvoorschrift worden de uitkomsten geüniformeerd.

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Keuze toevoegen berekening kinetische energie fractie bij bladworp H6
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	De voorgestelde aanpassing is volledig beschreven in de voorgestelde rekenmethode en toelichting. Deze zijn beide openbaar beschikbaar. Hiermee wordt voldaan aan de FAIR-principes.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Keuze toevoegen berekening kinetische energie fractie bij bladworp H6
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	Deze methode is gegrond in welbekende wetenschappelijke principes. Daarmee is de methode naar verwachting robuust.
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	De aanname dat een blad in een rechte lijn van de turbine wordt geworpen, is niet conservatief. Als een bladdeel bovenlangs met een boog geworpen wordt, zal deze met een grotere verticale component landen dan nu wordt uitgerekend. Vertragende luchtkrachten in een dergelijke worp spelen echter een grotere rol door de langere vluchttijd. Het niet meenemen van deze krachten is naar verwachting voldoende conservatief om deze niet-conservatieve aanname te verantwoorden.
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	Deze methode is gegrond in welbekende wetenschappelijke principes (geometrie en bewegingsmechanica).

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Keuze toevoegen berekening kinetische energie fractie bij bladworp H6
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	Deze aanpassing uniformeert de uitkomsten van de rekenmethode en reduceert discussie in de aanpak.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	Deze aanpassing uniformeert de uitkomsten van de rekenmethode en reduceert discussie in de aanpak.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	Deze aanpassing is toekomstbestendig. Bij de huidige of een eventueel nieuwe methode voor de effecten op ondergrondse buisleidingen moet de energie/kracht die verticaal de grond ingaat, uitgerekend worden. Dit zal namelijk bepalend zijn voor de impact.
Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de	De berekening van de fractie van verticaal gerichte kinetische energie wordt opgenomen in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV. Het benodigde tijdpad en het budget zijn helder.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Keuze toevoegen berekening kinetische energie fractie bij bladworp H6
aanpassingen zijn verwerkt?	
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	De berekening van de fractie is een inverse tangens vergelijking en daarmee goed uitvoerbaar, bijvoorbeeld in een programma als Excel. Het is van belang dat het goede gradensysteem gebruikt wordt, hetgeen tekstueel is vermeld in de rekenmethode. De methode is volledig uitgelegd in de toelichting.

7.1.26 *Keuze kansverdelingsfunctie vervangen door trefkansbenadering*
Ontvankelijkheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Keuze kansverdelingsfunctie vervangen door trefkansbenadering H6
Is duidelijk van welke partij het voorstel afkomstig is en wie contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen?	Het RIVM heeft op basis van de nieuwe trefkansberekeningen (RIVM-rapport 2024-0089) de aanpak rondom ondergrondse buisleidingen aangepast. Vragen of verzoeken om verduidelijkingen kunnen aan de helpdesk omgevingsveiligheid@rivm.nl van het RIVM gericht worden.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing eenduidig en volledig beschreven zodat deze toetsbaar is?	In de aangepaste rekenmethode en de toelichting daarop is de methode beschreven. Ook is uitgelegd hoe de formules tot stand zijn gekomen. Daarmee is de methode eenduidig en volledig beschreven.

Validiteit

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Keuze kansverdelingsfunctie vervangen door trefkansbenadering H6
In hoeverre bieden de beschikbare gegevens een actuele, representatieve wetenschappelijke onderbouwing van de voorgestelde aanpassing?	Deze aanpassing volgt uit de nieuwe trefkansbenadering. De methode om de trefkansen van objecten te bepalen is een verbeterde methode, die duidelijker omschrijft hoe omgegaan moet worden met complex gevormde objecten.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wetenschappelijke onzekerheid?	Deze aanpassing is relevant, omdat de kansverdeling van het treffen door onderdelen nu op een andere manier bepaald wordt. Daardoor is de kansverdelingsfunctie niet langer nodig.

Betrouwbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Keuze kansverdelingsfunctie vervangen door trefkansbenadering H6
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing FAIR (Findable, Accessible, Interoperable en Reusable)?	Deze aanpassing is volledig beschreven in de voorgestelde rekenmethode en toelichting. Deze zijn beide openbaar beschikbaar. Hiermee wordt voldaan aan de FAIR-principes.
In hoeverre zijn de resultaten reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters?	Deze methode is de sommering van trefkansen van verschillende onderdelen die een ondergrondse buisleiding kunnen beschadigen. Dit is naar verwachting een robuuste benadering.
In hoeverre is een veilige benadering (ook wel conservatief genoemd) gekozen in geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak?	De kansverdelingsfunctie reduceerde de kans dat de gondel en rotor op een bepaalde plek konden neerkomen. Nu wordt ervoor gekozen om aan te nemen dat bij mastbreuk de mast zo knikt dat de gondel en rotor neerkomen rondom de buisleiding. Deze keuze is gemaakt, omdat er onvoldoende data zijn om uit te werken hoe vaak de mast op bepaalde hoogtes knikt. Dit is een conservatieve keuze.
Worden vergelijkbare situaties op een vergelijkbare wijze benaderd?	Deze methode sluit aan bij de trefkansberekeningen uit de rest van de voorgestelde rekenmethode.

Toepasbaarheid

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Keuze kansverdelingsfunctie vervangen door trefkansbenadering H6
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten van het model-instrumentarium?	Deze aanpassing is een gevolg van de nieuw voorgestelde trefkansberekeningen. Door aanpassing van de rekenmethode voor het bepalen van trefkansen van objecten, worden de risicoberekeningen voor windturbines en omliggende objecten geüniformeerd. De risico's van windturbines voor alle omliggende (bovengrondse) objecten worden hierdoor op eenzelfde wijze beoordeeld en op eenzelfde wijze meegenomen bij de ruimtelijke inpassing van windturbines.
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing relevant gezien de wettelijke doorwerking?	Deze aanpassing is relevant, omdat de uitkomsten van deze methode conservatiever zijn. Het beoogt te voorkomen dat het risico van schadegevoelige buisleidingen in de trefcirkel bij mastbreuk onderschat wordt.

Keuze/aanpassing Tekstonderdeel	Keuze kansverdelingsfunctie vervangen door trefkansbenadering H6
In hoeverre is de voorgestelde aanpassing toekomstbestendig?	Deze aanpassing hangt samen met de trefkansberekening. Wanneer de trefkansberekeningen aangepast worden, zal ook dit aangepast moeten worden.
Wat zijn de kosten en de tijd nodig voor het beschikbaar stellen van een rekeninstrument waarin de aanpassingen zijn verwerkt?	De trefkansbenadering wordt opgenomen in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid Module IV. Het benodigde tijdpad en het budget zijn helder.
Is het voorstel uitvoerbaar en uitlegbaar?	Deze aanpassing versimpelt de berekening en verbeterd daarmee de uitvoerbaarheid. Het is een logisch gevolg van de aanpassing van de trefkansbenadering.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

www.rivm.nl

juli 2024

De zorg voor morgen
begint vandaag