



BOSCH & VAN RIJN

Experts in duurzame energie en ruimte

Windturbines Spinder

Kwantitatieve risicoanalyse alternatieven MER

Windturbines Spinder

Kwantitatieve Risicoanalyse alternatieven MER

november 2016

Auteur

Drs. Ing. Jeroen Dooper
Hans Kerkvliet MSc.

Bosch & Van Rijn
Groenmarktstraat 56
3521 AV Utrecht

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

© Bosch & Van Rijn 2016

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



Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
1.1	Achtergrond	3
1.2	Alternatieven	3
1.3	Leeswijzer	3
2	Risico's windturbines.....	4
3	Beoordelingskader	5
3.1	Gebouwen	5
3.2	Risicovolle installaties	5
3.3	Buisleidingen	6
3.4	Passanten	6
3.5	Hoogspanningsinfrastructuur	7
4	Risicoanalyse.....	8
4.1	Gebouwen	8
4.2	Risicovolle installaties	9
4.3	Buisleidingen	15
4.4	Trefkans passant	23
4.5	Hoogspanningsinfrastructuur	27
5	Conclusies	30
5.1	Kwetsbare objecten	30
5.2	Risicovolle inrichtingen (BEVI-inrichtingen)	30
5.3	Buisleidingen	30
5.4	Passanten	30
5.5	Hoogspanningsinfrastructuur	31
Bijlage 1:	Alternatieven MER	32
Bijlage 2:	Berekening werpafstand	35
Bijlage 3:	Werpafstanden turbinetypes.....	37
Bijlage 4:	(Beperkt) kwetsbare objecten	38
Bijlage 5:	Technische gegevens Buisleidingen.....	39



1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Bosch & Van Rijn heeft een kwantitatieve risicoanalyse uitgevoerd voor de nieuw te plaatsen windturbines op windlocatie Spinder. Dit document fungeert als bijlage bij het MER.

1.2 Alternatieven

In het MER worden twee alternatieven onderzocht welke ook als basis dienen voor dit onderzoek. Alternatief 1 bestaat uit vier windturbines van het type Lagerwey L100 en alternatief 2 bestaat uit drie windturbines van het type Enercon E126. In bijlage 1 staan afbeeldingen van beide alternatieven.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de risico's van windturbines beschreven. Hoofdstuk 3 bevat het beoordelingskader. In hoofdstuk 4 vindt de risicoanalyse plaats. Hoofdstuk 5 bevat de conclusies waarin de berekende waarden uit hoofdstuk 4 worden getoetst aan het in hoofdstuk 3 beschreven toetsingsbeoordelingskader.



2 Risico's windturbines

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

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

Het afbreken van een windturbineblad vormt een risico binnen de straal van de maximale werpafstand. Hier worden twee scenario's onderscheiden; werpafstand bij nominaal toerental en de werpafstand bij overtoeren. Het omvallen van een windturbine vormt een risico binnen een straal van de maximale valafstand van de windturbine (tiphoogte). Het naar beneden vallen van de gondel en/of rotor vormt een risico binnen een afstand van de wielengte.

Op basis van generieke faalfrequenties (bijlage A, HRW 2014), het kogelbaanmodel (zie bijlage 1. Bron: bijlage C, HRW 2014) en de parameters van de specifieke windturbintypes zijn de werpafstanden en risicocontouren berekend. In bijlage 2 staat de gehanteerde formules gegeven en bijlage 3 bevat per windturbintype een printscreen van de resultaten. Hieruit volgen de volgende afstanden:

Wtb type	Ashoogte (meter)	Risicocontouren		Max. werpafstand	
		10 ⁻⁵ (meter)	10 ⁻⁶ (meter)	Nom. toeren-tal (meter)	Overtoeren (meter)
L100-2,5	100	50	155	155	422
E126-4,2	135	67,5	168	168	430

De windturbines kunnen een risico verhogend effect hebben op nabijgelegen gebouwen, installaties en infrastructuur. Voor het plangebied Spinder zijn de volgende onderwerpen relevant:

- Gebouwen
- Risicovolle installaties
- Buisleidingen
- Passanten
- Hoogspanningsinfrastructuur



3 Beoordelingskader

3.1 Gebouwen

De normstelling omtrent windturbines en objecten waar personen verblijven volgt uit het Activiteitenbesluit:

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

Zie Bijlage 4 voor de definities beperkt kwetsbare en kwetsbare objecten.

Op de 10^{-6} contour heeft een persoon die onafgebroken en onbeschermd op die plaats zou verblijven, een kans op overlijden van één keer in de miljoen jaar als rechtstreeks gevolg van een falende windturbine. Op de 10^{-5} contour is deze kans één keer in de honderdduizend jaar.

3.2 Risicovolle installaties

Indien de windturbines niet substantieel bijdragen aan een hoger risico van de inrichting zullen de voor de inrichting geldende afstanden tot (beperkt) kwetsbare objecten ook na plaatsing van de windturbines van kracht blijven. Om dit te toetsen kan in eerste instantie naar de toename van de catastrofale faalfrequentie van risicovolle installaties behorende tot de inrichting gekeken worden. Indien deze toename een bepaalde richtwaarde niet overschrijdt dan is plaatsing van de windturbine uit oogpunt van risicoboordeling toegestaan. Als uitgangspunt voor deze richtwaarde wordt volgens het Handboek Risicozonering Windturbines¹ 10% gehanteerd. Indien de toename deze richtwaarde overschrijdt, is plaatsing niet direct uitgesloten, maar wordt door een uitgebreidere analyse bepaald of er na plaatsing nog steeds voldaan wordt aan de normen uit het BEVI:

- *De grenswaarde, bedoeld in artikel 4, eerste lid, voor kwetsbare objecten is 10^{-6} per jaar.*
- *De richtwaarde, bedoeld in artikel 4, tweede lid, voor beperkt kwetsbare objecten is 10^{-5} per jaar.*

¹ Handboek Risicozonering Windturbines, 2014.



3.3

Buisleidingen

Ook bij buisleidingen wordt getoetst aan de richtwaarde van 10% uit het Handboek Risicozonering Windturbines. Indien de toename deze richtwaarde overschrijdt, is plaatsing niet direct uitgesloten, maar wordt door een uitgebreidere analyse bepaald of er na plaatsing nog steeds voldaan wordt aan de normen uit het Bevb:

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

3.4

Passanten

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

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

Voor de overige openbare wegen bestaan geen genormeerde afstanden, waardoor kleinere afstanden mogelijk zijn. In de beleidsregel "*Windturbines langs auto-, spoor-, en vaarwegen – Beoordeling van veiligheidsrisico's*" staan de richtlijnen gegeven:

"Individuele passantenrisico (IPR)

Voor het risico voor de passant is een risicomaat gekozen die aansluit bij de individuele beleving van de passant, namelijk de overlijdenskans per passant per jaar. Hierbij wordt de passant gevolgd gedurende zijn bezigheden in de nabijheid van het windturbinepark.

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



Maatschappelijk risico

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

3.5 Hoogspanningsinfrastructuur

Er bestaat geen wettelijke kader voor de invloed van windturbines op hoogspanningslijnen. TenneT heeft in het Handboek Risicozonering (versie 3.1, 2014) een adviesafstand opgenomen voor het transportnetwerk van 110kV tot en met 380kV. Deze adviesafstand is gelijk aan de maximale werpafstand bij nominaal toerental.

Dit betreft echter geen wettelijke grenswaarde. Wanneer er niet wordt voldaan aan de afstandseis, vraagt TenneT om met hen in overleg te treden. TenneT zal op basis van het concrete geval bepalen welk risico voor de betreffende asset op dat moment kan worden aanvaard.

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

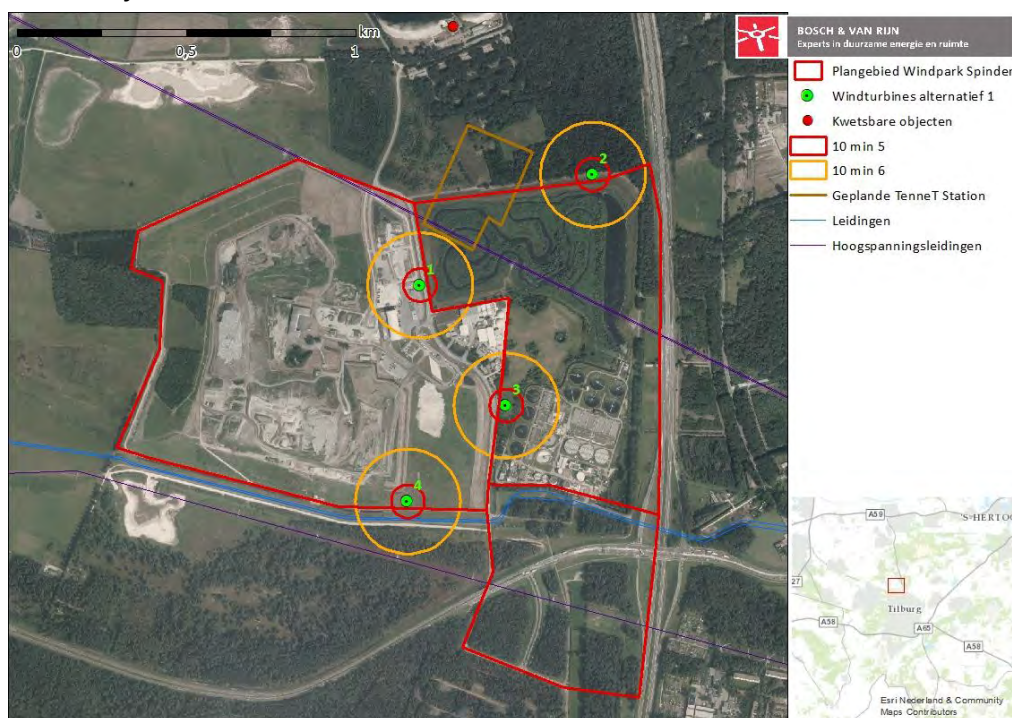


4 Risicoanalyse

4.1 Gebouwen

De berekende 10^{-5} en 10^{-6} contouren zijn weergegeven op kaart. Per locatie is nagegaan of kwetsbare of beperkt kwetsbare objecten aanwezig zijn. Voor de gebouwen binnen de 10^{-6} contour is nagegaan of sprake is van een kwetsbaar object waarbij risicokaart.nl als bron is gebruikt.

4.1.1 Alternatief 1



Figuur 1 – Risicocontouren rond de windturbines Alternatief 1

Op basis van de berekende risicocontouren en objecten kent het plangebied voor alternatief 1 geen aandachtspunten. Er bevinden zich geen beperkt kwetsbare of kwetsbare objecten binnen respectievelijk de 10^{-5} en 10^{-6} contour.



4.1.2

Alternatief 2



Figuur 2 – Risicocontouren rond de windturbines Alternatief 2

Op basis van de berekende risicocontouren en objecten kent het plangebied voor alternatief 2 geen aandachtspunten. Er bevinden zich geen beperkt kwetsbare of kwetsbare objecten binnen respectievelijk de 10^{-5} en 10^{-6} contour.

4.2

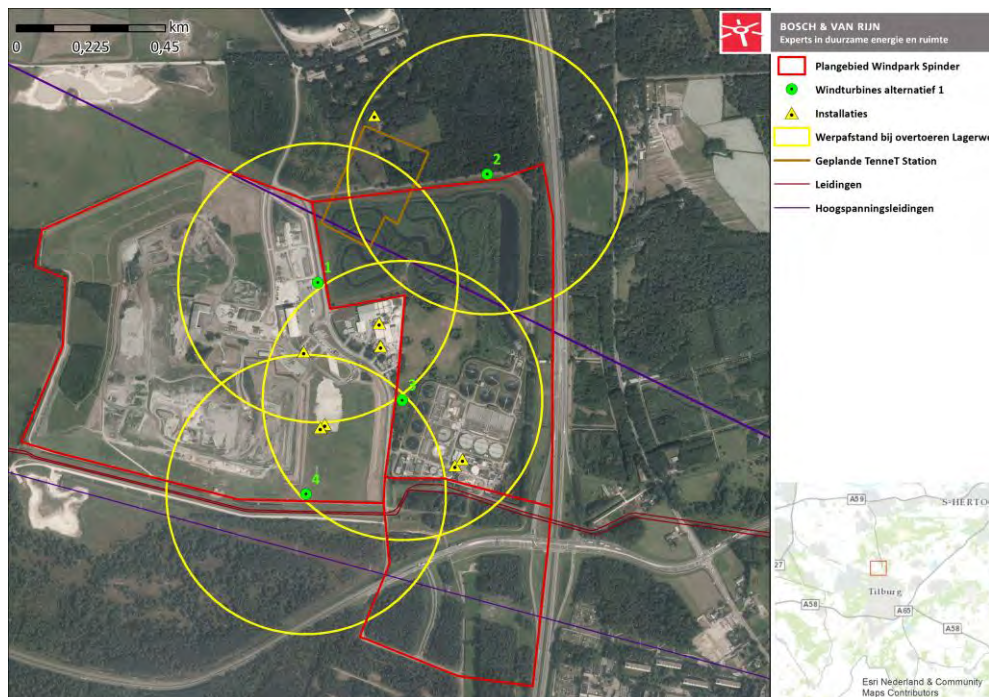
Risicovolle installaties

De berekende maximale werpafstanden (bij overtoeren) zijn ingetekend op de kaart en per locatie is nagegaan of er zich risicovolle installaties binnen deze maximale werpafstanden bevinden.



4.2.1

Alternatief 1



Figuur 3 - Maximale werpafstand bij overtoeren van de windturbines en risicovolle installaties (alternatief 1).

Op basis van de ingetekende werpafstanden, aangeleverde informatie door Attero en Waterschap De Dommel en risicokaart.nl zijn de risicovolle installaties bepaald welke zich binnen de maximale werpafstanden bevinden.

Tabel 1 – Risicovolle installaties binnen maximale werpafstand van geplande turbines van A1

Windturbine	Installatie	Inhoud ((m ³))	Afstand tot installatie (m)
Windturbine 3	Ballongashouder	650	255
Windturbine 3	Biogashouder	750	245
Windturbine 3	Bulkopslag methaan	40	175
Windturbine 1	Bulkopslag methaan	40	270
Windturbine 3	GFT-vergister	5000	230
Windturbine 1	GFT-vergister	5000	200
Windturbine 1	Propaantank	150	210
Windturbine 3	Propaantank	150	320
Windturbine 2	Propaantank	3	383
Windturbine 4	Vergister mest ²	12100	270
Windturbine 3	Vergister mest ²	12100	172
Windturbine 1	Vergister mest ²	12100	375

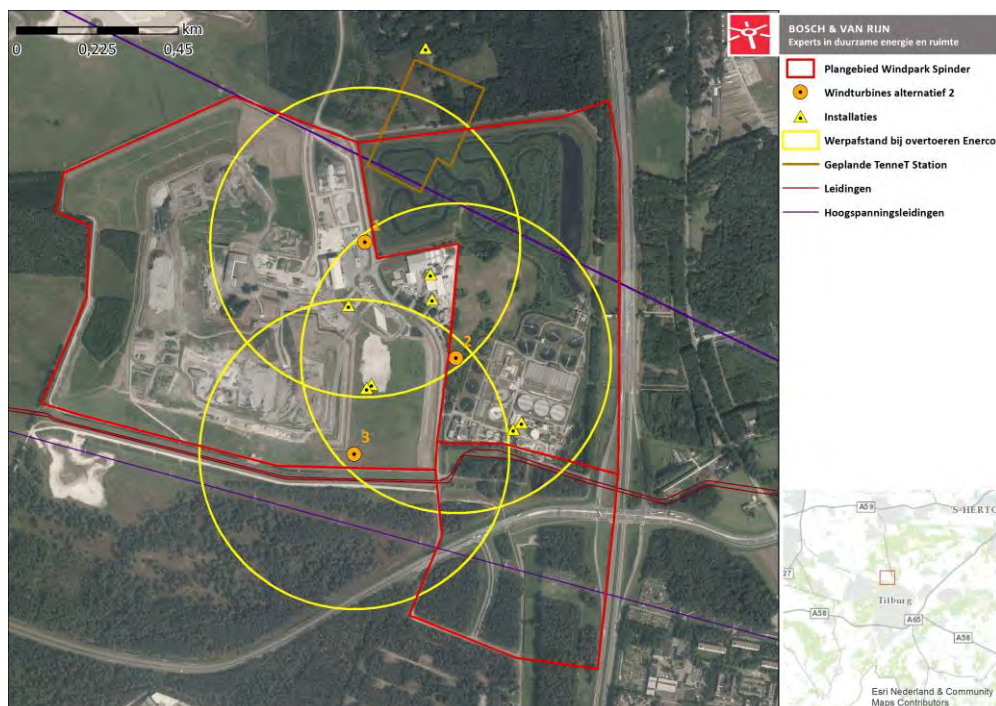
Doordat de afstanden groter zijn dan de tiphoogte is alleen het scenario wiekbreek van toepassing.

² Installatie is onderdeel van de toekomstige mestvergister op het terrein van Attero, waarbij de mestvergister, als onderdeel van de mestvergister, de hoogste additionele faalkansverhoging heeft als gevolg van de windturbines van alternatief 1.



4.2.2

Alternatief 2



Figuur 4 - Maximale werpafstand bij overtoeren van de windturbines en risicovolle installaties (alternatief 2).

Op basis van de ingetekende werpafstanden, aangeleverde informatie door Attero en Waterschap De Dommel en risicokaart.nl zijn de risicovolle installaties bepaald welke zich binnen de maximale werpafstanden bevinden. Tevens wordt er rekening gehouden met een toekomstige ontwikkeling van een mestvergister op het terrein van Attero.

Tabel 2 - Risicovolle installaties binnen maximale werpafstand van geplande turbines van A2

Windturbine	Installatie	Inhoud (m ³)	Afstand tot installatie (m)
Windturbine 2	Ballongashouder	650	255
Windturbine 2	Biogashouder	750	245
Windturbine 1	Propaantank	150	180
Windturbine 2	Propaantank	150	320
Windturbine 3	Propaantank	150	400
Windturbine 1	Bulkopslag methaan	40	233
Windturbine 2	Bulkopslag methaan	40	175
Windturbine 1	GFT-vergister	5000	183
Windturbine 2	GFT-vergister	5000	230
Windturbine 1	Naviger mest ³	11700	389
Windturbine 2	Naviger mest ³	11700	224
Windturbine 3	Naviger mest ³	11700	178

Doordat sommige van de afstanden (rood in tabel) kleiner zijn dan de tiphoogte heeft naast het scenario wiekbreek ook het scenario mastbreek een risico verhogend effect op de installaties.

³ Installatie is onderdeel van de toekomstige mestvergister op het terrein van Attero, waarbij de naviger, als onderdeel van de mestvergister, de hoogste additionele faalkans-verhoging heeft als gevolg van de windturbines van Alternatief 2



4.2.3

Trefkansberekeningen

Rekenmethode wiekbreuk (Handboek Risicozonering Windturbines)

Om de trefkans van een object met hoogte h , breedte b , en diepte d te berekenen wordt uitgegaan van een geprojecteerd grondoppervlak:

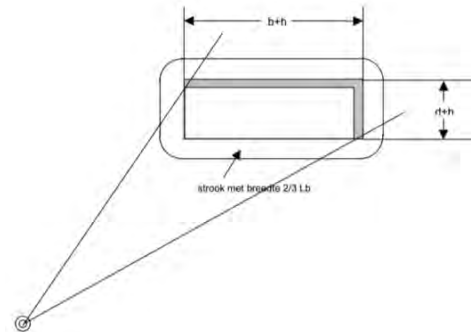
De kans dat het zwaartepunt van de wiek in het geprojecteerde oppervlak terecht komt is:

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

Waarin:

P_{zwpt} = trefkans van het zwaartepunt van het blad (berekend volgens HRW 2013).

$$A_{pt} = (b+h) \cdot (d+h)$$



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

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

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

Om de totale trefkans te berekenen dat een installatie wordt getroffen door een blad worden de twee bovenstaande parameters bij elkaar opgeteld:

$$P_o = P_{od} + P_{oi}$$

Rekenmethode mastbreuk

De trefkans van een object door mastbreuk van een windturbine is afhankelijk van verschillende parameters. Ten eerste van de generieke faalkans van de mast. Indien de mast niet verstevigd is, is dit standaard $1.3 \cdot 10^{-4}$. Ten tweede is de faalkans afhankelijk van de hoek waarbij de hoek wordt vastgesteld door de grenzen waarbij het rotoroppervlak het object net niet raakt.

De kans dat de windturbine richting het object (K_o) valt wanneer de mastbreuk zich voordoet is dan:

$$K_o = \left(\frac{\text{Hoek}}{360} \right)$$

De kans dat het scenario zich voordoet en dat een object geraakt wordt kan dan berekend worden via de onderstaande formule:

$$K_g = K_o \cdot \text{faalkans mast}$$



Totale faalkans

De totale trefkans van de windturbine op een object is de som van de bovenstaande scenario's. De totale trefkans (Ttk) op een object kan dan berekend worden via de volgende formule:

$$Ttk = Po + Kg$$

4.2.4 Resultaten trefkansen risicovolle installaties Alternatief 1

Via de bovenstaande methoden zijn de trefkansen berekend voor de risicovolle installaties van alternatief 1 waarbij de trefkans van de installatie de som is van de scenario's van falende windturbines. De resultaten worden weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3 – Trefkansen risicovolle installaties alternatief 1

Installatie	Totale trefkans
Ballongashouder	1,06E-8
Biogashouder	1,08E-8
Bulkopslag methaan	1,94E-8
GFT-vergister	4,13E-8
Propaantank	1,47E-8
Propaantank 3m3	5,30E-9
Mestvergister	7,78E-8

4.2.5 Resultaten trefkansen risicovolle installaties Alternatief 2

Via de bovenstaande methoden zijn de trefkansen berekend voor de objecten die binnen de maximale werpafstand liggen voor alternatief 2. Hierbij moet worden vermeld dat de trefkans van de installatie de som is van de scenario's van falende windturbines. De resultaten worden weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4 – Trefkansen risicovolle installaties alternatief 2

Installatie	Totale trefkans
Ballongashouder	1,54E-8
Biogashouder	1,63E-8
Bulkopslag methaan	1,14E-5
GFT-vergister	1,36E-5
Propaantank	1,14E-5
Mestvergister	2,54E-5



4.2.6

Faalkansverhoging

Alternatief 1

De berekende trefkans voor alternatief 1 wordt vergeleken met de intrinsieke faalkans van de risicovolle installaties (faalkansen van alle catastrofale scenario's bij elkaar opgeteld). De intrinsieke faalkansen onderbouwen we als volgt:

Tabel 5 – Onderbouwing intrinsieke faalkansen van risicovolle objecten.

Object	Faalkans scenario's (weergegeven tussen haakjes)
Opslagtanks gevaarlijke stoffen (Ballongashouder/biogashouder/opslag methaan/GFT-vergister en toekomstige vergister)	De mogelijke catastrofale scenario's zijn het vrijkomen van de gehele inhoud ($5 \cdot 10^{-6}$) en het vrijkomen van de gehele inhoud in 10 min. in een continue en constante stroom ($5 \cdot 10^{-6}$). Bron: Handleiding risicoberekeningen BEVI.
Opslag voor gevaarlijke stoffen in een druktank (propaantank)	De mogelijke catastrofale scenario's zijn het vrijkomen van de gehele inhoud ($5 \cdot 10^{-7}$) en het vrijkomen van de gehele inhoud in 10 min. in een continue en constante stroom ($5 \cdot 10^{-7}$). Bron: Handleiding risicoberekeningen BEVI.

Onderstaande tabel bevat de vergelijking van trefkans van de windturbines met de intrinsieke faalkans van de installaties.

Tabel 6 – Verhoging faalkans van risicovolle objecten.

Installatie	Intrinsieke faalkans	Trefkans	Verhoging faalkans
Ballongashouder	$1,0E-5$	$1,06E-8$	0,11%
Biogashouder	$1,0E-5$	$1,08E-8$	0,11%
Bulkopslag methaan	$1,0E-5$	$1,94E-8$	0,19%
GFT-vergister	$1,0E-5$	$4,13E-8$	0,41%
Propaantank	$1,0E-6$	$1,47E-8$	1,47%
Propaantank 3m3	$1,0E-6$	$5,30E-9$	0,53%
Mestvergister	$1,0E-5$	$7,78E-8$	0,78%

Alternatief 2

De berekende trefkans voor alternatief 2 wordt vergeleken met de intrinsieke faalkans van de risicovolle installaties.

Tabel 7 – Verhoging faalkans van risicovolle objecten.

Installatie	Intrinsieke faalkans	Trefkans	Verhoging faalkans
Ballongashouder	$1,0E-5$	$1,54E-8$	0,15%
Biogashouder	$1,0E-5$	$1,74E-8$	0,17%
Bulkopslag methaan	$1,0E-5$	$1,14E-5$	114,0%
GFT-vergister	$1,0E-5$	$1,36E-5$	136,0%
Propaantank	$1,0E-6$	$1,14E-5$	1140,00%
Mestvergister	$1,0E-5$	$4,96E-5$	496,00%

Zoals blijkt uit bovenstaande tabel wordt voor vier installaties de richtwaarde van 10% overschreden. Doordat de faalkans dusdanig verhoogd wordt is het toepassen van mastversteving ook geen optie om de faalkans onder de 10% te brengen. Hierdoor, indien de windturbines op deze posities komen, moet er een QRA worden uitgevoerd voor de verschillende installaties inclusief de trefkans zoals hierboven berekend. Uit deze QRA moet dan blijken dat na plaatsing van de windturbines nog steeds wordt voldaan aan de veiligheidseisen voor de betreffende installatie.

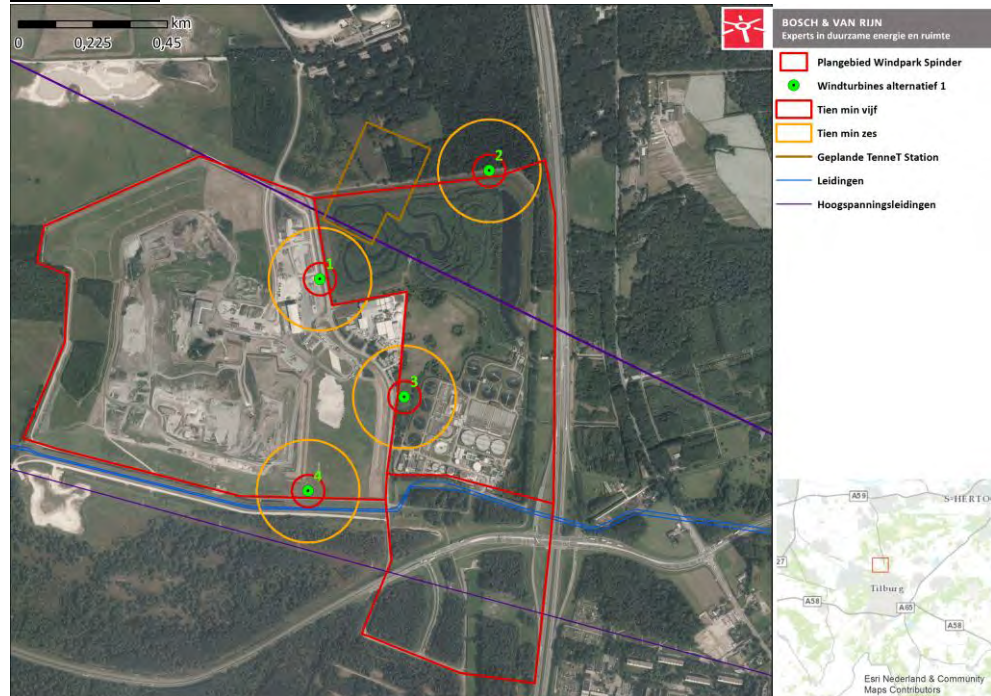


4.3

Buisleidingen

In deze paragraaf zijn de trefkansberekeningen uitgevoerd volgens het Handboek Risicozonering Windturbines, bijlage C, hoofdstuk 8. De risico's zijn gekwantificeerd voor windturbines die zich op een afstand kleiner dan de maximale werpafstand bij nominaal toerental bevinden. Het gaat dan om de volgende windturbines en buisleidingen:

Alternatief 1



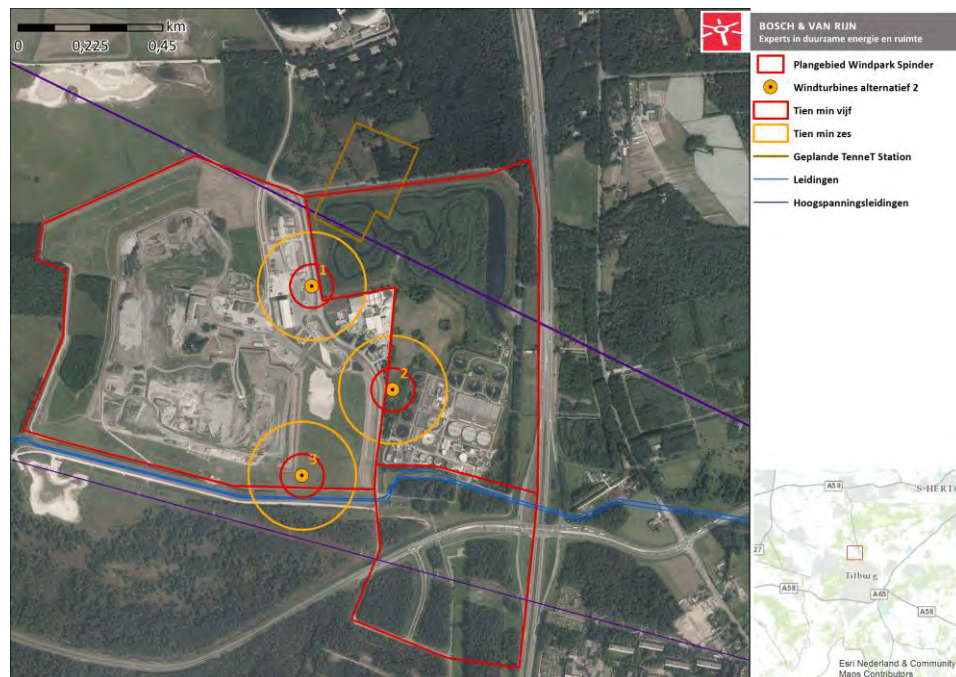
Figuur 5 - Maximale werpafstand bij nominaal toerental van de windturbines en buisleidingen (alternatief 1).

- Turbine 4 - 36" ruwe olie leiding van Rotterdam-Rijn pijpleiding maatschappij (10412)
- Turbine 4 - 24" productenleiding van Rotterdam-Rijn pijpleiding maatschappij (10400)
- Turbine 4 - PRB-leiding van PPS-Pipelines (10815)



Alternatief 2

Bij alternatief 2 gaat het om de volgende leidingen:



Figuur 6 - Maximale werpafstand bij nominaal toerental van de windturbines en buisleidingen (alternatief 2, plangebied west).

- Turbine 3 - 36" ruwe olie leiding van Rotterdam-Rijn pijpleiding maatschappij (10412)
- Turbine 3 - 24" productenleiding van Rotterdam-Rijn pijpleiding maatschappij (10400)
- Turbine 3 - PRB-leiding van PPS-Pipelines

4.3.1 Trefkansberekeningen

Bladbreuk

Er zijn twee manieren waarop ondergrondse leidingen kunnen falen door impact van een zwaar voorwerp op de grond:

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

De maximale afstand waarbij de leiding nog faalt (de kritische afstand) volgt uit de hoeveelheid toelaatbare stress. Deze wordt berekend met (HRW 2014):

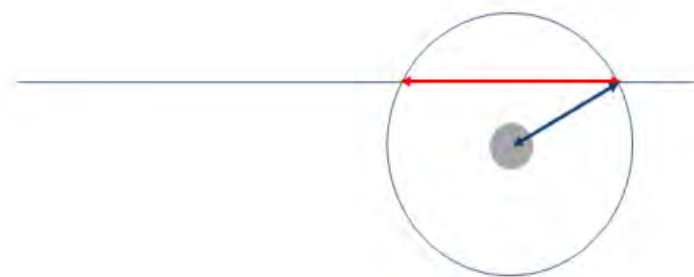
$$R = 0,3048 * \left(\frac{4,44E}{\sigma_{toelaatbaar}} \right)^{\frac{1}{k_5 k_6}} * \left(\frac{2,03 \cdot 10^{-4} * k_4 * E_{kinetisch}}{\sqrt{E} * t} \right)^{\frac{1}{k_5}}$$



Waarbij:

- R: de kritische afstand [m]
 E: elasticiteit [Pa] ($2,1 \cdot 10^{11}$)
 $\sigma_{\text{toelaatbaar}}$: toelaatbare extra stress voordat metaal gaat vloeien [Pa]:
 10412^4 : $1,06 \cdot 10^8$
 t : wanddikte
 10412 : 7,9 mm
 $E_{\text{kinetisch}}$: de energie van de bron (effectieve kinetische energie) [J] of voor de lijnbron de energiedichtheid per eenheidslengte [J/m]
 $7,80 \cdot 10^6$
 k4, k5 en k6: empirische coëfficiënten (Handboek Risicozonering Windturbines)

Hieruit resulteert $R = 2,33$. Uitgaande van een diepte van 0,90 meter wordt de maximale kritische breedte van de strook 4,31 meter.



Figuur 7: Verticale dwarsdoorsnede 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 kans dat deze strook getroffen wordt is kansdichtheidsverdeling * kritisch oppervlak. Het kritisch oppervlak is de totale oppervlakte van de strook binnen de maximale werpafstand van de windturbine. De kansdichtheidsverdeling is de kans dat het blad de afstand tot de strook weggeslingerd wordt.

Alternatief 1: De trefkans is per turbinelocatie als volgt:

10412

Scenario wiek-breuk	Kansdichtheids-verdeling (/jr.)	Kritisch oppervlak (m ²)	Trefkans (tracé per jaar)	Trefkans (per kilometer per jaar)
nominaal	$1,64 \cdot 10^{-8}$	1211	$1,99 \cdot 10^{-05}$	$6,95 \cdot 10^{-05}$
overtieren	$4,27 \cdot 10^{-12}$	2166	$9,25 \cdot 10^{-09}$	$1,81 \cdot 10^{-08}$

Tabel 8: Trefkans leidingstrook 14012 Alternatief 1

10400

Scenario wiek-breuk	Kansdichtheids-verdeling (/jr.)	Kritisch oppervlak (m ²)	Trefkans (tracé per jaar)	Trefkans (per kilometer per jaar)
nominaal	$1,61 \cdot 10^{-8}$	1161	$1,86 \cdot 10^{-05}$	$6,41 \cdot 10^{-05}$
overtieren	$4,11 \cdot 10^{-12}$	2129	$8,75 \cdot 10^{-09}$	$1,64 \cdot 10^{-08}$

Tabel 9: Trefkans leidingstrook 14000 Alternatief 1



10815

Scenario wiek-breuk	Kansdichtheids-verdeling (/jr.)	Kritisch oppervlak (m ²)	Trefkans (tracé per jaar)	Trefkans (per kilometer per jaar)
nominaal	$1,38 \cdot 10^{-8}$	986,4	$1,36 \cdot 10^{-05}$	$4,59 \cdot 10^{-05}$
overtieren	$4,11 \cdot 10^{-12}$	1754,6	$7,21 \cdot 10^{-09}$	$1,36 \cdot 10^{-08}$

Tabel 10: Trefkans leidingstrook 14000 Alternatief 1

Alternatief 2

De trefkans is per turbinelocatie als volgt:

10412

Scenario wiek-breuk	Kansdichtheids-verdeling (/jr.)	Kritisch oppervlak (m ²)	Trefkans (tracé per jaar)	Trefkans (per kilometer per jaar)
nominaal	$9,82 \cdot 10^{-9}$	1477	$1,49 \cdot 10^{-05}$	$4,92 \cdot 10^{-05}$
overtieren	$7,52 \cdot 10^{-12}$	2351	$1,77 \cdot 10^{-08}$	$3,66 \cdot 10^{-08}$

Tabel 11: Trefkans leidingstrook 14012 Alternatief 2

10400

Scenario wiek-breuk	Kansdichtheids-verdeling (/jr.)	Kritisch oppervlak (m ²)	Trefkans (tracé per jaar)	Trefkans (per kilometer per jaar)
nominaal	$9,38 \cdot 10^{-9}$	1453,3	$1,35 \cdot 10^{-05}$	$4,34 \cdot 10^{-05}$
overtieren	$7,58 \cdot 10^{-12}$	2245,6	$1,70 \cdot 10^{-08}$	$3,51 \cdot 10^{-8}$

Tabel 12: Trefkans leidingstrook 14000 Alternatief 2

10815

Scenario wiek-breuk	Kansdichtheids-verdeling (/jr.)	Kritisch oppervlak (m ²)	Trefkans (tracé per jaar)	Trefkans (per kilometer per jaar)
nominaal	$9,93 \cdot 10^{-9}$	1171,8	$1,05 \cdot 10^{-05}$	$3,47 \cdot 10^{-05}$
overtieren	$7,58 \cdot 10^{-12}$	2056,4	$1,56 \cdot 10^{-08}$	$2,94 \cdot 10^{-8}$

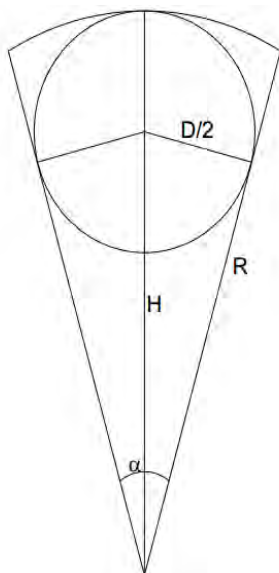
Tabel 13 – Trefkans leidingstrook 10815 Alternatief 2



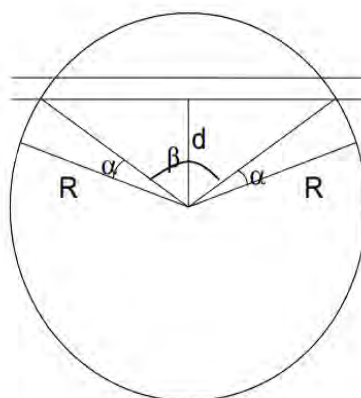
Mastbreuk

Voor mastbreuk geldt $R = 22,67$ meter. De kritische strook wordt dan 45,3 meter.

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



Windturbine gemodelleerd als cirkelsegment.



Turbine in aanraking met leidingstrook.

Alternatief 1

De trefkans is per turbinelocatie als volgt:

10412

Hoek ($\beta + \alpha$) graden	Mastbreuk frequentie (per jaar)	Trefkans (tracé per jaar)	Trefkans (per kilome- ter per jaar)
185	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$6,68 \cdot 10^{-05}$	$3,74 \cdot 10^{-04}$

Tabel 14: Trefkans leidingstrook 10412 Alternatief 1

10400

Hoek ($\beta + \alpha$) graden	Mastbreuk frequentie (per jaar)	Trefkans (tracé per jaar)	Trefkans (per kilome- ter per jaar)
182	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$6,57 \cdot 10^{-05}$	$3,69 \cdot 10^{-04}$

Tabel 15: Trefkans leidingstrook 10400 Alternatief 1

10815

Hoek ($\beta + \alpha$) graden	Mastbreuk frequentie (per jaar)	Trefkans (tracé per jaar)	Trefkans (per kilome- ter per jaar)
175	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$6,32 \cdot 10^{-05}$	$3,71 \cdot 10^{-04}$

Tabel 16: Trefkans leidingstrook 10400 Alternatief 1



Alternatief 2

10412

Hoek (A + β) graden	Mastbreuk frequentie (per jaar)	Trefkans (tracé per jaar)	Trefkans (per kilome- ter per jaar)
185	$1.3 \cdot 10^{-4}$	$6,68 \cdot 10^{-5}$	$2,82 \cdot 10^{-04}$

Tabel 17: Trefkans leidingstrook 10412 Alternatief 2

10400

Hoek (A + β) graden	Mastbreuk frequentie (per jaar)	Trefkans (tracé per jaar)	Trefkans (per kilome- ter per jaar)
175	$1.3 \cdot 10^{-4}$	$6,32 \cdot 10^{-5}$	$2,70 \cdot 10^{-04}$

Tabel 18: Trefkans leidingstrook 10400 Alternatief 2

10815

Hoek (A + β) graden	Mastbreuk frequentie (per jaar)	Trefkans (tracé per jaar)	Trefkans (per kilome- ter per jaar)
170	$1.3 \cdot 10^{-4}$	$6,14 \cdot 10^{-5}$	$2,70 \cdot 10^{-04}$

Tabel 19: Trefkans leidingstrook 10400 Alternatief 2

Gondelafwerp

Voor het berekenen van faalkans ten gevolgen van het afvallen van een gondel met rotor of alleen een rotor kan dezelfde aanpak worden gevolgd als mastbreuk. De masthoogte wordt voor deze berekening nul verondersteld. Het risicogebied blijft dan beperkt tot een gebied rondom de toren dat gelijk is aan de rotordiameter. Dit scenario komt voor beide alternatieven alleen voor bij buisleiding 10412.

Alternatief 1

10412

Hoek graden	Mastbreuk frequentie (per jaar)	Trefkans (tracé per jaar)	Trefkans (per kilome- ter per jaar)
37	$4.0 \cdot 10^{-5}$	$4,11 \cdot 10^{-6}$	$1,14 \cdot 10^{-04}$

Tabel 20: Trefkans leidingstrook 10412 Alternatief 1

10412

Hoek graden	Mastbreuk frequentie (per jaar)	Trefkans (tracé per jaar)	Trefkans (per kilome- ter per jaar)
41	$4.0 \cdot 10^{-5}$	$4,56 \cdot 10^{-6}$	$1,02 \cdot 10^{-04}$

Tabel 21: Trefkans leidingstrook 10412 Alternatief 2

Totale trefkans

Gebaseerd op de bovenstaande berekeningen is het mogelijk om de totale trefkans te berekenen. Dit is een sommatie van de trefkans door mastbreuk, wiekbreuk en gondelafwerp.



Alternatief 1

10412

Trefkans wiekbreuk (per kilometer per jaar)	Trefkans mastbreuk (per kilometer per jaar)	Trefkans gondel- afworp (per kilo- meter per jaar)	Totale trefkans (per kilometer per jaar)
$6,95 \cdot 10^{-05}$	$3,74 \cdot 10^{-4}$	$1,14 \cdot 10^{-4}$	$5,58 \cdot 10^{-04}$

10400

Trefkans wiekbreuk (per kilometer per jaar)	Trefkans mastbreuk (per kilometer per jaar)	Trefkans gondel- afworp (per kilo- meter per jaar)	Totale trefkans (per kilometer per jaar)
$6,41 \cdot 10^{-05}$	$3,69 \cdot 10^{-4}$	-	$4,33 \cdot 10^{-04}$

10815

Trefkans wiekbreuk (per kilometer per jaar)	Trefkans mastbreuk (per kilometer per jaar)	Trefkans gondel- afworp (per kilo- meter per jaar)	Totale trefkans (per kilometer per jaar)
$4,59 \cdot 10^{-05}$	$3,71 \cdot 10^{-4}$	-	$4,17 \cdot 10^{-04}$

Alternatief 2

10412

Trefkans wiekbreuk (per kilometer per jaar)	Trefkans mastbreuk (per kilometer per jaar)	Trefkans gondel- afworp (per kilo- meter per jaar)	Totale trefkans (per kilometer per jaar)
$4,92 \cdot 10^{-05}$	$2,82 \cdot 10^{-4}$	$1,02 \cdot 10^{-4}$	$4,33 \cdot 10^{-04}$

10400

Trefkans wiekbreuk (per kilometer per jaar)	Trefkans mastbreuk (per kilometer per jaar)	Trefkans gondel- afworp (per kilo- meter per jaar)	Totale trefkans (per kilometer per jaar)
$4,34 \cdot 10^{-05}$	$2,70 \cdot 10^{-4}$	-	$3,13 \cdot 10^{-04}$

10815

Trefkans wiekbreuk (per kilometer per jaar)	Trefkans mastbreuk (per kilometer per jaar)	Trefkans gondel- afworp (per kilo- meter per jaar)	Totale trefkans (per kilometer per jaar)
$3,47 \cdot 10^{-05}$	$2,70 \cdot 10^{-4}$	-	$3,05 \cdot 10^{-04}$

4.3.2

Faalkansverhoging

De intrinsieke faalkans van een buisleiding met aardolieproducten is als volgt (Handleiding risicoberekeningen Bevb):

Tabel 1 Scenario voor buisleidingen met aardolieproducten.

Scenario	Faalfrequentie ($\text{km}^{-1} \text{jaar}^{-1}$)
Breuk van de leiding	$1,5 \times 10^{-4}$



Hieruit blijken de volgende risicoverhogingen:

Alternatief 1:

Buisleiding 10412 – 372%

Buisleiding 10400 – 289%

Buisleiding 10815 – 278%

Alternatief 2:

Buisleiding 10412 – 289%

Buisleiding 10400 – 209%

Buisleiding 10815 – 203%

4.3.3

Structuurvisie Buisleidingen

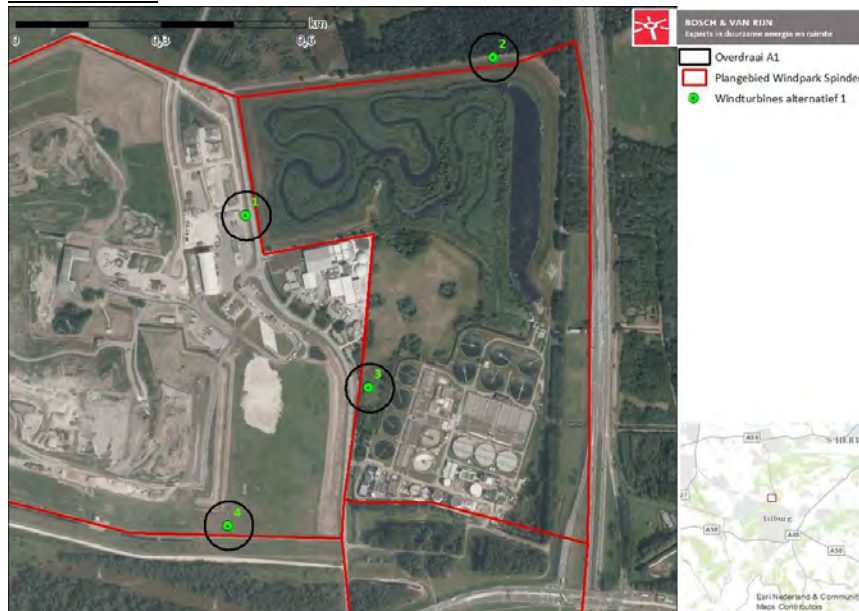
Voor de reserveringstrook geldt dat deze aangewezen zijn voor de aanleg van toekomstige buisleidingen voor vervoer van gevaarlijke stoffen. Binnen deze buisleidingstrook zijn conform het Barro geen objecten zoals windturbines toegestaan. Het Barro doet verder geen uitspraak over het berekenen van risico's voor buisleidingstroken waarin meerdere leidingen aanwezig zijn. Voor het rekenen aan buisleidingen wordt derhalve de Handleiding risicoberekening Bevb voor afzonderlijke leidingen toegepast". In het geval van De Spinder geldt dat de windturbines buiten de gereserveerde leidingstrook worden geplaatst en derhalve de reserveringstrook niet relevant is voor de windturbines. Voor toekomstige leidingen in de leidingstrook schrijft het Bevb voor dat elke afzonderlijke leiding die aangelegd wordt in de leidingstrook moet voldoen aan de normen van het Bevb. Dit houdt onder andere in dat elke leiding die nieuw aangelegd wordt een maximale 10^{-6} /jaar contour heeft die niet groter is dan 5 meter uit het hart van de leiding. De invloed van de windturbine moet daarin reeds meegenomen zijn. Dit kan er toe leiden dat de leidingexploitant of leidingeigenaar extra maatregelen moet treffen om aan deze norm te voldoen.



4.4 Trefkans passant

Voor beide alternatieven is er nagegaan of een windturbine over een openbare weg draait. Wanneer dit het geval is zal de kans berekend worden dat een persoon wordt geraakt door een afgebroken wiek, mast en/of gondel.

Alternatief 1



Figuur 8 – Alternatief 1 waarbij de wielengte is weergegeven in het zwart.

Uit bovenstaande figuur blijkt dat er bij twee wegen overdraai plaatsvindt door een of meerdere turbines. Windturbines 1 en 3 draaien over op de Vloeveldweg terwijl Windturbine 2 overdraait op het Spinderpad.

Alternatief 2



Figuur 9 – Alternatief 2 waarbij de wielengte is weergegeven in het zwart.

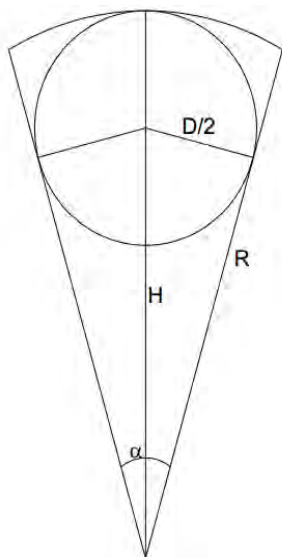


Uit Figuur 9 blijkt dat er bij één weg overdraai plaatsvindt door twee turbines. De weg waarop overdraai plaatsvindt is de Vloeiveldweg.

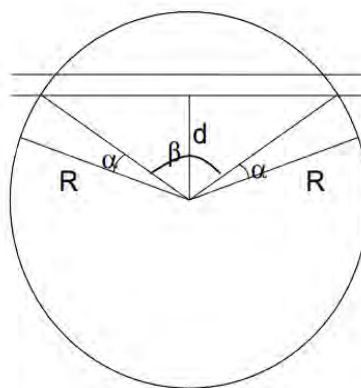
4.4.1 Trefkansberekening

Rekenmethode mastbreuk

De kans dat de weg wordt getroffen door een onderdeel van een omvallende windturbine wordt gelijk verondersteld aan de kans dat een gedeelte van onderstaand cirkelsegment (figuur 4) in aanraking komt met leidingstrook, hetgeen is geïllustreerd in figuur 5 (HRW 2014).



Figuur 10: Windturbine als cirkelsegment.



Figuur 5: Turbine in aanraking met weg.

Alternatief 1

De trefkans is per turbinelocatie als volgt:

Weg	Afstand tot weg (m)	Hoek (β) graden	Mastbreuk frequentie (per jaar)	Trefkans weg
Vloeiveldweg	9	225	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$8,13 \cdot 10^{-5}$
Spinderspad	3,5	256	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$9,24 \cdot 10^{-5}$

De kans dat een passant wordt getroffen kan worden berekend door de trefkans te vermenigvuldigen met de verblijfsfactor:

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

$$v_o = \text{snellheid van de passant (m/s)}$$

Ten behoeve van deze berekening gaan we uit van de worst case scenario, wat inhoudt dat de passant met de laagste snelheid de langste verblijftijd heeft. Een voetganger gaat gemiddeld 5 km/uur (1,4 meter per seconde).



Afstand tot weg (m)	Hoek (β) graden	Mastbreuk frequentie (per jaar)	Trefkans weg	Verblijfstijd passant	Trefkans per passage
9	225	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$8,13 \cdot 10^{-05}$	$6,79 \cdot 10^{-09}$	$5,52 \cdot 10^{-13}$
3,5	256	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$9,24 \cdot 10^{-05}$	$6,79 \cdot 10^{-09}$	$6,28 \cdot 10^{-13}$

Trefkans passant is:
 Vloeiveldweg: $5,52 \cdot 10^{-13}$ per passage.
 Spinderspad: $6,28 \cdot 10^{-13}$ per passage

Alternatief 2

De trefkans is per turbinelocatie als volgt:

Afstand tot weg (m)	Hoek (β) graden	Mastbreuk frequentie (per jaar)	Trefkans weg
11	233	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$8,41 \cdot 10^{-05}$

De kans dat een passant wordt getroffen kan worden berekend door de trefkans te vermenigvuldigen met de verblijfsfactor:

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

v_o = snelheid van de passant(m/s)

Ten behoeve van deze berekening gaan we uit van de worst case scenario, wat inhoudt dat de passant met de laagste snelheid de langste verblijfstijd heeft. Een voetganger gaat gemiddeld 5 km/uur (1,4 meter per seconde).

Afstand tot weg (m)	Hoek (β) graden	Mastbreuk frequentie (per jaar)	Trefkans weg	Verblijfstijd passant	Trefkans per passage
11	233	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$8,41 \cdot 10^{-05}$	$6,79 \cdot 10^{-09}$	$5,71 \cdot 10^{-13}$

Trefkans passant is: $5,71 \cdot 10^{-13}$ per passage.

Rekenmethode wiekbreuk

De kans dat een persoon wordt geraakt als gevolg van een afgebroken wiek wordt als volgt berekend:

Alternatief 1

$$P = 1,5 \cdot A_c \cdot p_{zwpt}$$

$$\begin{aligned} A_c &= \text{kritiek oppervlakte wiek} &= 133 \text{ m}^2 \\ p_{zwpt-vloeiveldweg} &= \text{trefkans zwaartepunt wiek} &= 9,17 \cdot 10^{-08} \\ p_{zwpt-Spinderspad} &= \text{trefkans zwaartepunt wiek} &= 2,24 \cdot 10^{-07} \end{aligned}$$

$$P - \text{vloeiveldweg} = 1,83 \cdot 10^{-05}$$



$$P - \text{spinderspad} = 4,47 \cdot 10^{-05}$$

De kans dat een passant wordt getroffen kan worden berekend door de trefkans te vermenigvuldigen met de verblijfsfactor:

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

Trefkans passant op vloeiveldweg is: $4,14 \cdot 10^{-13}$ per passage.

Trefkans passant op spinderspad is: $1,01 \cdot 10^{-12}$ per passage

Alternatief 2

$$P = 1,5 \cdot A_c \cdot p_{zwpt}$$

$$\begin{aligned} A_c = \text{kritiek oppervlakte wiek} &= 205 \text{m}^2 \\ p_{zwpt} = \text{trefkans zwaatrepunt wiek} &= 6,25 \cdot 10^{-08} \end{aligned}$$

$$P = 1,92 \cdot 10^{-05}$$

De kans dat een passant wordt getroffen kan worden berekend door de trefkans te vermenigvuldigen met de verblijfsfactor:

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

Trefkans passant is: $4,35 \cdot 10^{-13}$ per passage.

Rekenmethode gondelafworp

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

Hierdoor is de kans dat een passant getroffen wordt hetzelfde voor alternatief 1 en 2 en kan berekend worden op de onderstaande manier.

De kans dat een passant wordt getroffen kan worden berekend door de trefkans te vermenigvuldigen met de verblijfsfactor:

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

Trefkans passant is: $2,72 \cdot 10^{-13}$ per passage.



Conclusie passantenrisico

Alternatief 1

De totale raakkans per passage voor de dichtstbijzijnde turbine is dan

Vloeiveldweg

Mastbreuk: $5,52 \cdot 10^{-13}$ per passage.

Wiekbreuk: $4,14 \cdot 10^{-13}$ per passage.

Gondelafworp: $2,72 \cdot 10^{-13}$ per passage.

Totaal: $1,24 \cdot 10^{-12}$ per passage.

Echter is hier alleen raakkans van de dichtstbijzijnde turbine berekend, maar zoals reeds vermeld draaien er twee turbines over. Om conservatief te zijn wordt voor de andere turbine dezelfde trefkans per passage aangehouden.

Dit leidt tot een totale trefkans van: $2,48 \cdot 10^{-12}$

Spinderspad

Mastbreuk: $6,28 \cdot 10^{-13}$ per passage.

Wiekbreuk: $1,01 \cdot 10^{-12}$ per passage.

Gondelafworp: $2,72 \cdot 10^{-13}$ per passage.

Totaal: $1,92 \cdot 10^{-12}$ per passage.

Alternatief 2

Mastbreuk: $5,71 \cdot 10^{-13}$ per passage.

Wiekbreuk: $4,35 \cdot 10^{-13}$ per passage.

Gondelafworp: $2,72 \cdot 10^{-13}$ per passage.

Totaal: $1,28 \cdot 10^{-12}$ per passage.

Echter is hier alleen raakkans van de dichtstbijzijnde turbine berekend, maar zoals reeds vermeld draaien er twee turbines over. Om conservatief te zijn wordt voor de andere turbine dezelfde trefkans per passage aangehouden.

Dit leidt tot een totale trefkans van: $2,56 \cdot 10^{-12}$

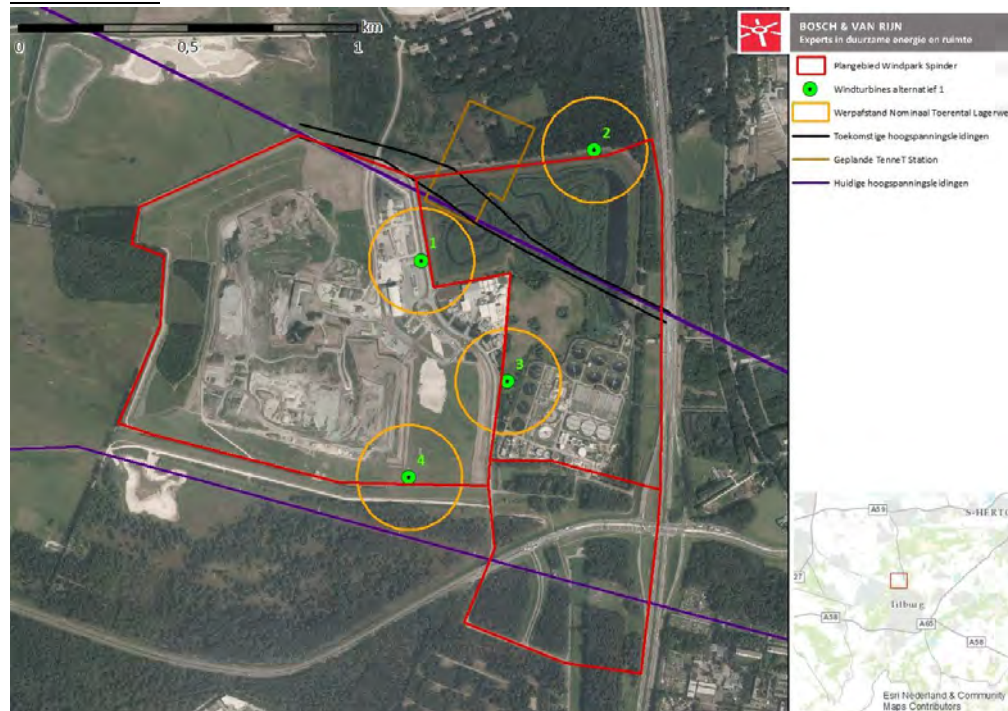
4.5

Hoogspanningsinfrastructuur

In het plangebied zijn plannen voor de ontwikkeling van een 380kV transformatorstation. Om rekening te houden met deze autonome ontwikkeling is onderzocht of de geplande locaties van de windturbines voldoen aan de afstandseis van Tennet. Indien dit niet het geval is wordt de faalkansverhoging van de turbines onderzocht. Voor het onderzoek wordt gebruik gemaakt van de gegevens zoals deze op dit moment (21-03-2016) bij de auteurs bekend zijn.



Alternatief 1



Figuur 11 – Werpfafstand bij nominaal toerental van de windturbines en hoogspanningsinfrastructuur

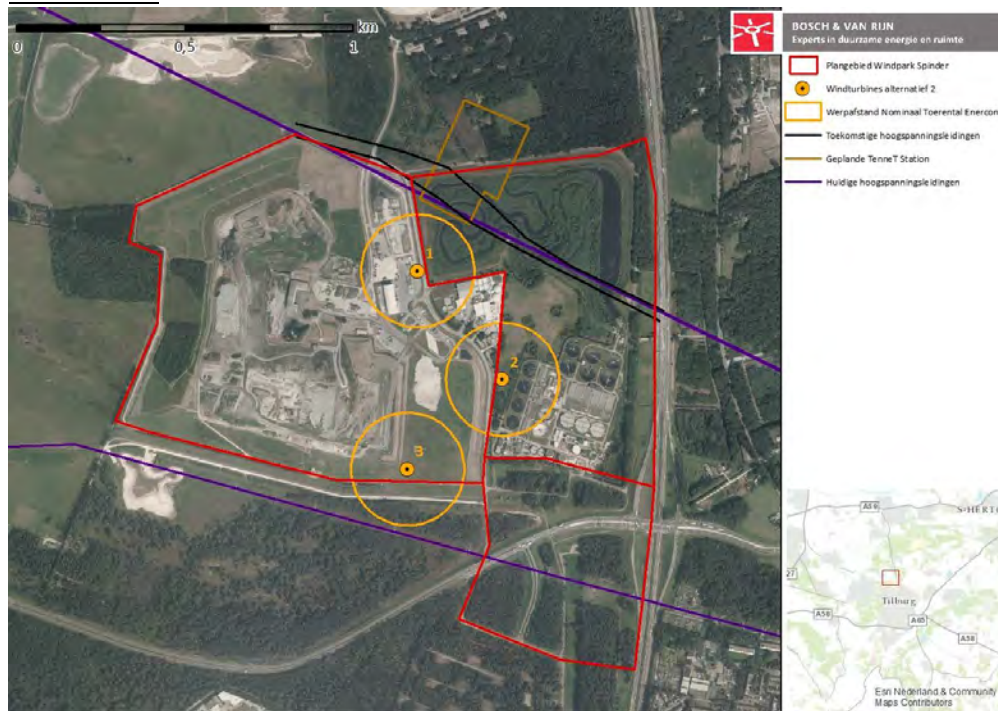
Zoals te zien in bovenstaande figuur is geen hoogspanningsinfrastructuur gelegen binnen de maximale werpfafstand bij nominaal toerental. Er zijn derhalve geen aandachtspunten. Om dit te verduidelijken worden in de onderstaande tabel, de werpfafstand, de afstand tot de dichtstbijzijnde hoogspanningsinfrastructuur en het verschil weergegeven.

Tabel 22 –Verschil tussen de werpfafstand bij nominaal toerental en infrastructuur Alternatief 1

Windturbine	Hoogspannings infrastructuur	Werpfafstand	Afstand tot infrastructuur	Verschil tussen werp- afstand en infrastructuur
1	TenneT station	155 m	165,5 m	10,5 m
2	TenneT station	155 m	189,6 m	34,6 m
3	Noordelijke leiding	155 m	365,2 m	210,3 m
4	Zuidelijke leiding	155 m	171,4 m	16,4 m



Alternatief 2



Figuur 12 – Werpafstand bij nominaal toerental van de windturbines en hoogspanningsinfrastructuur

Zoals te zien in bovenstaande figuur is geen hoogspanningsinfrastructuur gelegen binnen de maximale werpafstand bij nominaal toerental. Er zijn derhalve geen aandachtspunten. Om dit te verduidelijken worden in de onderstaande tabel, de werpafstand, de afstand tot de dichtstbijzijnde hoogspanningsinfrastructuur en het verschil weergegeven.

Tabel 23 – Verschil tussen de werpafstand bij nominaal toerental en infrastructuur Alternatief 2

Windturbine	Hoogspannings infrastructuur	Werpafstand	Afstand tot infrastructuur	Verschil tussen werp- afstand en infrastructuur
1	TenneT station	168 m	194,0 m	26,0 m
2	Noordelijke leiding	168 m	365,2 m	197,2 m
3	Zuidelijke leiding	168 m	190,1 m	22,1 m



5 Conclusies

5.1 Kwetsbare objecten

Er bevinden zich geen (beperkt) kwetsbare objecten binnen de 10^{-5} en 10^{-6} contouren. Hiermee wordt er voldaan aan de veiligheidseisen uit het Activiteitenbesluit.

5.2 Risicovolle inrichtingen (BEVI-inrichtingen).

Indien de windturbines niet substantieel bijdragen aan een hoger risico van de inrichting zullen de voor de inrichting geldende afstanden tot (beperkt) kwetsbare objecten en de Groepsrisico ook na plaatsing van de windturbines van kracht blijven. Om dit te toetsen kan in eerste instantie naar de toename van de catastrofale faalfrequentie van risicovolle installaties behorende tot de inrichting gekeken worden. Indien deze toename een bepaalde richtwaarde niet overschrijdt dan is plaatsing van de windturbine uit oogpunt van risicobeoordeling toegestaan. Als uitgangspunt voor deze richtwaarde wordt volgens het Handboek Risicozonering Windturbines⁵ 10% gehanteerd.

Paragraaf 4.1.6 bevat de vergelijking van trefkans van de windturbines met de intrinsieke faalkans van de installaties. De resultaten laten zien dat bij alternatief 1 geen sprake is van overschrijding van de richtwaarde van 10%. Bij alternatief 2 is hier sprake van bij 4 installaties.

Om de windturbines van alternatief 2 te realiseren moeten QRA's uitgevoerd worden voor de installaties waar de richtwaarde wordt overschreden. Hieruit zal moeten blijken dat de faalkansverhoging niet tot onacceptabele risico's voor de omgeving resulteert.

5.3 Buisleidingen

Op basis van de trefkansberekeningen uit paragraaf 4.2 blijkt dat in beide alternatieven één windturbine resulteert in een faalkansverhoging van alle drie de leidingen. De faalkansverhoging (van alle drie de leidingen) overschrijdt voor beide alternatieven de richtwaarde van 10%. Er dient een QRA worden opgesteld voor de buisleidingen. Wanneer hieruit blijkt dat de risico's (inclusief trefkans windturbine) naar omgeving acceptabel zijn dan is er geen belemmering voor de plaatsing van de windturbines.

5.4 Passanten

De trefkans als gevolg van een falende windturbine is:

- Alternatief 1: Vloeiveldweg: $2,48 \cdot 10^{-12}$ per passage
Spinderpad: $1,92 \cdot 10^{-12}$ per passage
- Alternatief 2: $2,56 \cdot 10^{-12}$ per passage

⁵ Handboek Risicozonering Windturbines, 2013.



Aan het IPR wordt bij alternatief 1 voldaan zolang één passant op de vloeiveldweg niet meer dan 403.225 keer per jaar de turbine passeert. Dit komt overeen met 1.104 passages per dag, gedurende een heel jaar, door een en dezelfde persoon. Terwijl voor de spindersweg geldt dat één passant niet meer dan 781.250 keer per jaar de turbine mag passeren. Dit komt overeen met 2.140 passages per jaar gedurende een heel jaar, door een en dezelfde person.

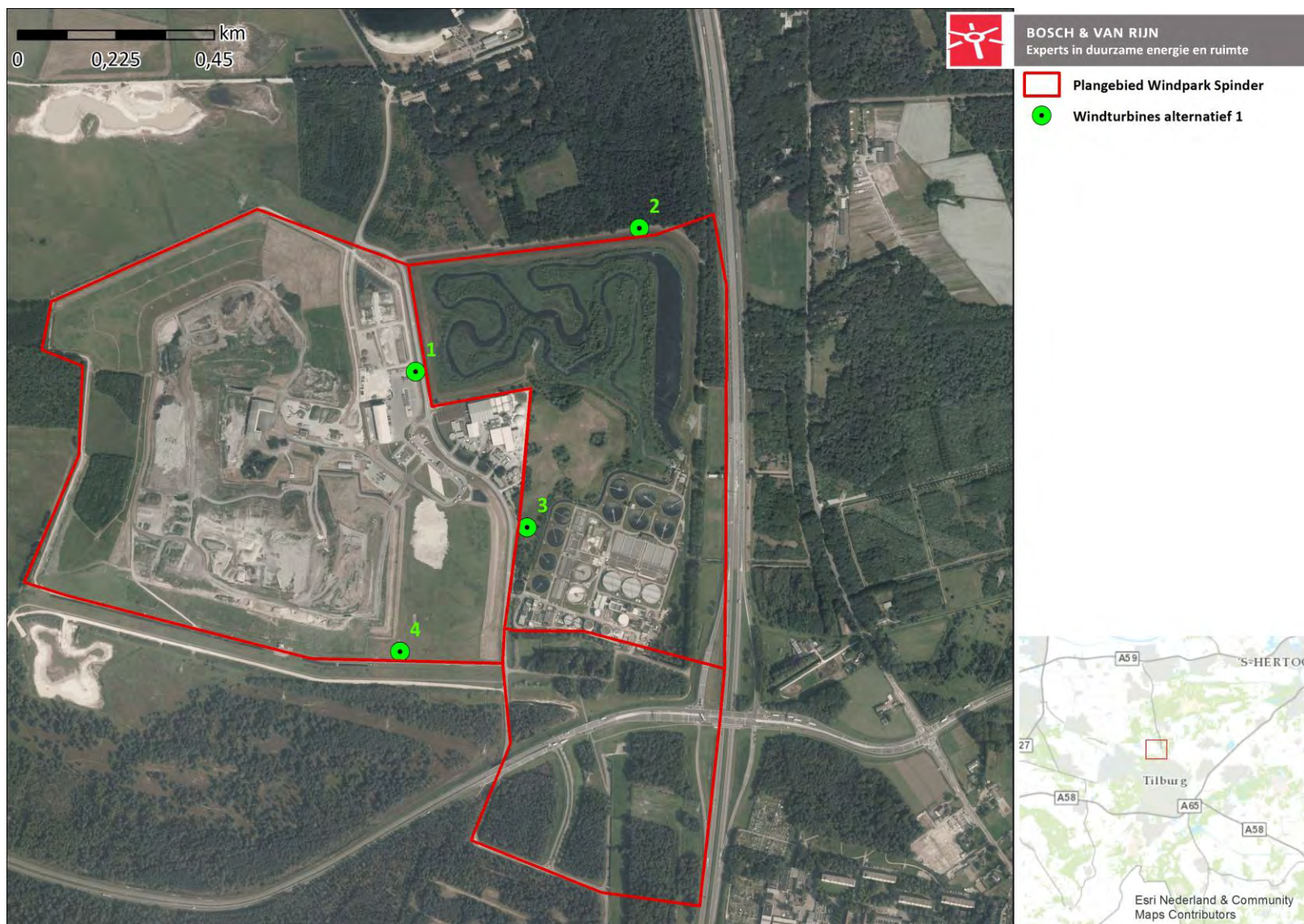
Voor alternatief 2 geldt dat er wordt voldaan aan het IPR zolang één passant niet meer dan 390.625 keer per jaar de turbine passeert wat overeenkomt met 1.070 passages per dag, gedurende een heel jaar, door een en dezelfde persoon. Gezien de aard van de weg is het niet aannemelijk dat één passant 1.070 keer per jaar de windturbine lopend passeert. Hiermee wordt voldaan aan de richtlijnen voor het IPR.

5.5 Hoogspanningsinfrastructuur

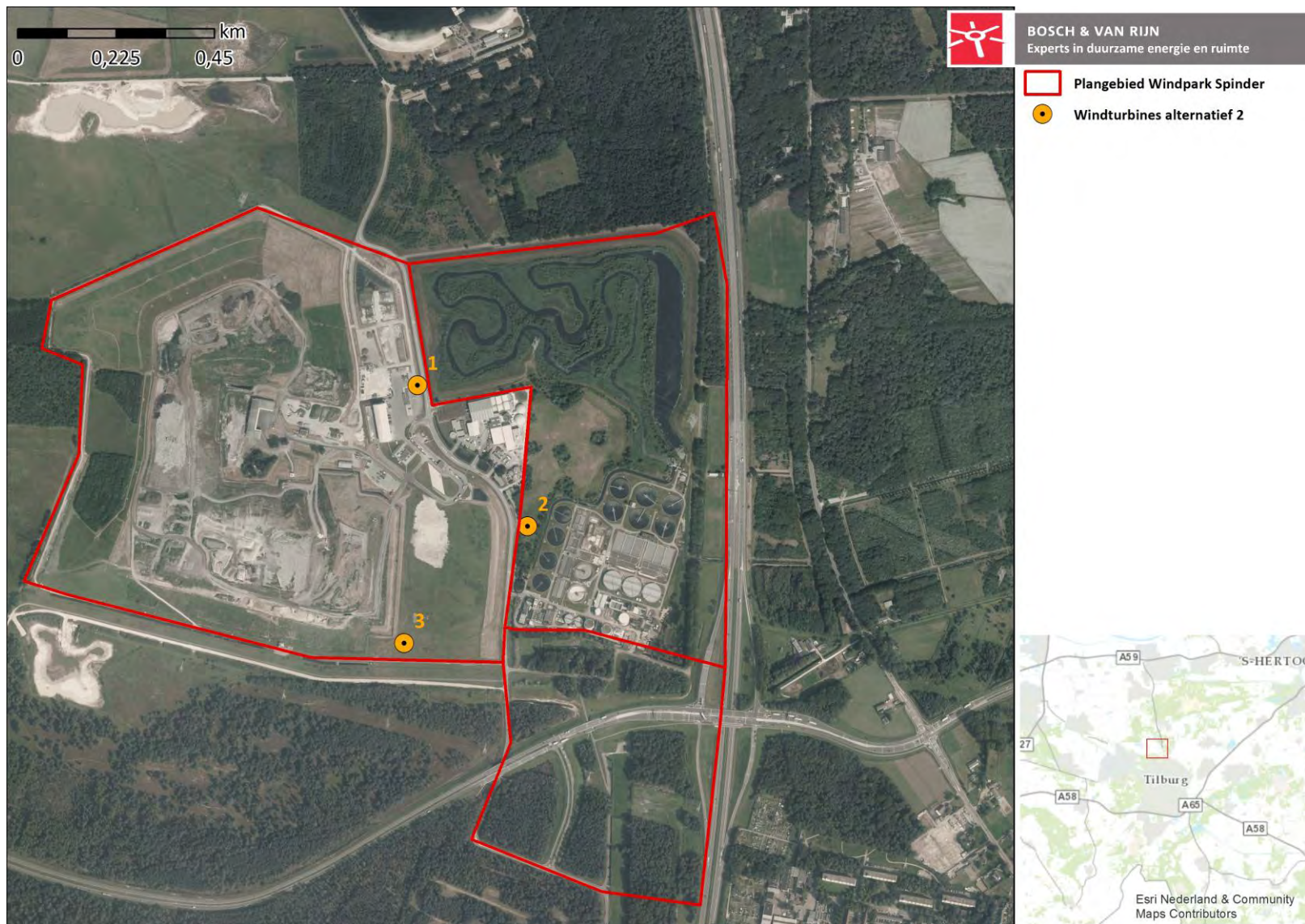
De hoogspanningsinfrastructuur van TenneT bevindt zich buiten de werpafstand bij nominaal toerental van de beoogde windturbines. Hiermee wordt voldaan aan de adviesafstand van TenneT.



Bijlage 1: Alternatieven MER



Figuur 13 - Stippenkaart Alternatief 1. Voor de windturbines is in dit rapport uitgegaan van de Lagerwey L100 met een ashoogte van 100m.



Figuur 14 - Stippenkaart Alternatief 2. Voor de windturbines is in dit rapport uitgegaan van de Enercon E126 met een ashoogte van 135m.



Bijlage 2: Berekening werpafstand

2.1 Ballistisch model zonder luchtkrachten

2.1.1 Bewegingsvergelijking

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

H : hoogte rotoras [m]

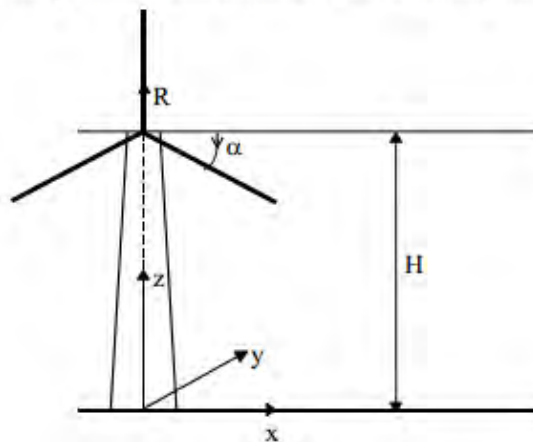
Ω : toerental van de rotor [rad/s]

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

α : azimuthhoek [rad]

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

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



Figuur 1: Overzicht parameters in ballistisch model

De bewegingsvergelijking voor het zwaartepunt is nu

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

Met de beginvoorwaarden

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

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

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



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

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

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

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

2.1.2 Verdelingsfuncties

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

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

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

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

geldt nu

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

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

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

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

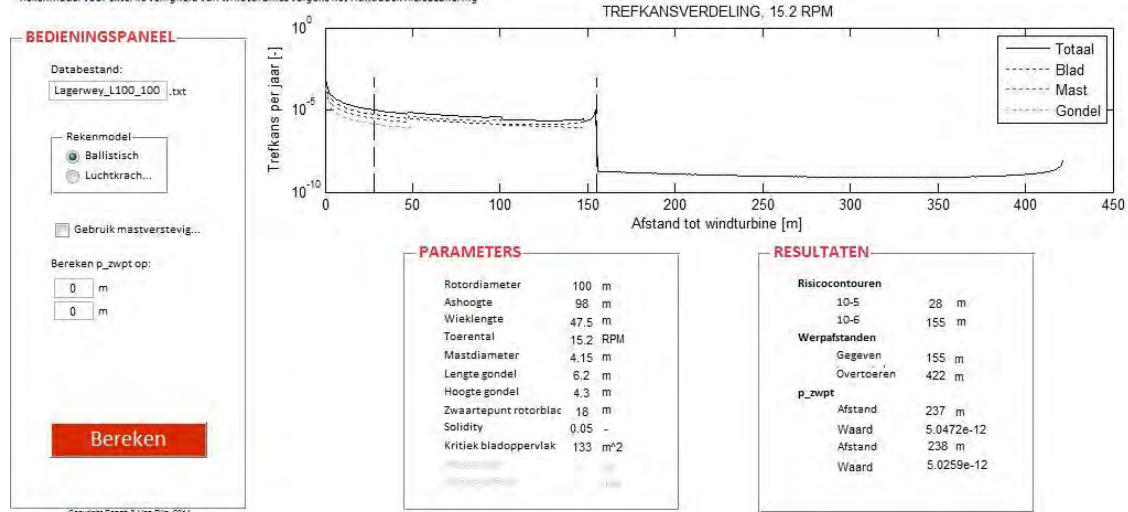


Bijlage 3: Werpafstanden turbinetypes

Lagerwey L100-2.5MW op 98 meter ashoogte.

BladeThro

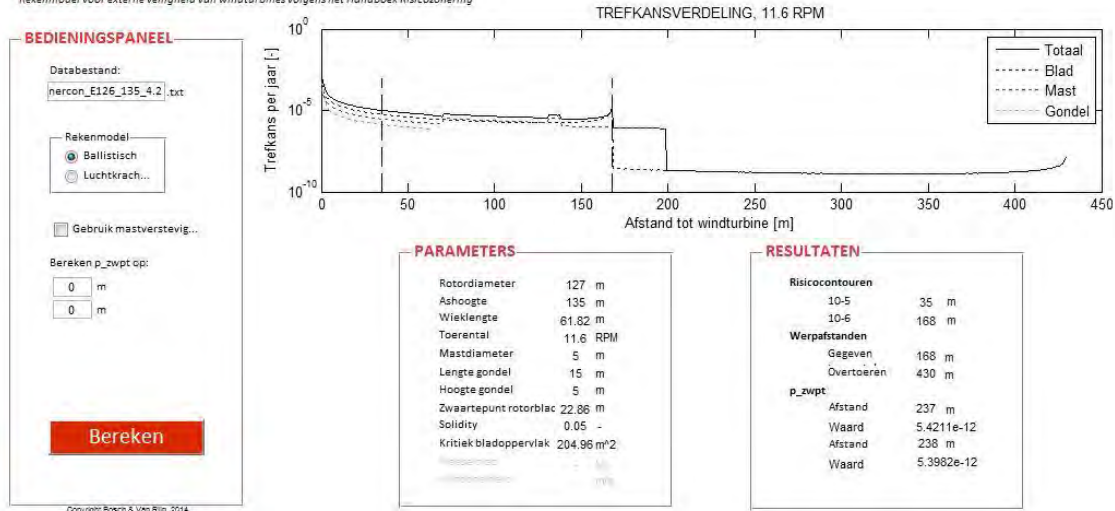
Rekenmodel voor externe veiligheid van windturbines volgens het Handboek Risicozoner



Enercon E126-4,2MW op 135 meter ashoogte.

BladeThro

Rekenmodel voor externe veiligheid van windturbines volgens het Handboek Risicozoner





Bijlage 4: (Beperkt) kwetsbare objecten

Kwetsbare objecten

- a) woningen, woonschepen en woonwagens, niet zijnde woningen, woonschepen of woonwagens als bedoeld in onderdeel b, onder a;
- b) gebouwen bestemd voor het verblijf, al dan niet gedurende een gedeelte van de dag, van minderjarigen, ouderen, zieken of gehandicapten, zoals:
 - 1. ziekenhuizen, bejaardenhuizen en verpleeghuizen;
 - 2. scholen, of
 - 3. gebouwen of gedeelten daarvan, bestemd voor dagopvang van minderjarigen;
- c) gebouwen waarin doorgaans grote aantallen personen gedurende een groot gedeelte van de dag aanwezig zijn, waartoe in ieder geval behoren:
 - 1. kantoorgebouwen en hotels met een bruto vloeroppervlak van meer dan 1500 m² per object, of
 - 2. complexen waarin meer dan 5 winkels zijn gevestigd en waarvan het gezamenlijk bruto vloeroppervlak meer dan 1000 m² bedraagt en winkels met een totaal bruto vloeroppervlak van meer dan 2000 m² per winkel, voorzover in die complexen of in die winkels een supermarkt, hypermarkt of warenhuis is gevestigd, en
- d) kampeer- en andere recreatieterreinen bestemd voor het verblijf van meer dan 50 personen gedurende meerdere aaneengesloten dagen;

Beperkt kwetsbare objecten

- a) 1°.verspreid liggende woningen, woonschepen en woonwagens van derden met een dichtheid van maximaal twee woningen, woonschepen of woonwagens per hectare, en
2°.dienst- en bedrijfswoningen van derden;
- b) kantoorgebouwen, voorzover zij niet onder kwetsbare objecten, onder c, vallen;
- c) hotels en restaurants, voorzover zij niet kwetsbare objecten, onder c, vallen;
- d) winkels, voorzover zij niet onder kwetsbare objecten, onder c, vallen;
- e) sporthallen, sportterreinen, zwembaden en speeltuinen;
- f) kampeerterrains en andere terreinen bestemd voor recreatieve doeleinden, voorzover zij niet onder kwetsbare objecten, onder d, vallen;
- g) bedrijfsgebouwen, voorzover zij niet onder kwetsbare objecten, onder c, vallen;
- h) objecten die met de onder a tot en met e en g genoemde gelijkgesteld kunnen worden uit hoofde van de gemiddelde tijd per dag gedurende welke personen daar verblijven, het aantal personen dat daarin doorgaans aanwezig is en de mogelijkheden voor zelfredzaamheid bij een ongeval, voorzover die objecten geen kwetsbare objecten zijn, en;
- i) objecten met een hoge infrastructurele waarde, zoals een telefoon- of elektriciteitscentrale of een gebouw met vluchtleiding apparatuur, voorzover die objecten wegens de aard van de gevaarlijke stoffen die bij een ongeval kunnen vrijkomen, bescherming verdienen tegen de gevolgen van dat ongeval;



Bijlage 5: Technische gegevens Buisleidingen

In onderstaande tabellen is het mogelijk om de gebruikte parameters voor de verschillende buisleidingen te vinden.

Buisleiding - 10412

Parameter	Eenheid	Grootheid
De gespecificeerde minimum vloeigrens (SMYS)	Pa	$3,55 \cdot 10^{-8}$
De interne gasdruk inde pijpleiding (P)	Pa	4300000
De diameter van de pijpleiding (D)	mm	914,4
Wanddikte (t)	mm	7,9
Diepteligging	m	1,0

Buisleiding - 10400

Parameter	Eenheid	Grootheid
De gespecificeerde minimum vloeigrens (SMYS)	Pa	$3,55 \cdot 10^{-8}$
De interne gasdruk inde pijpleiding (P)	Pa	6200000
De diameter van de pijpleiding (D)	mm	609,6
Wanddikte (t)	mm	7,9
Diepteligging	m	0,6

Buisleiding - 10815

Parameter	Eenheid	Grootheid
De gespecificeerde minimum vloeigrens (SMYS)	Pa	$1,85 \cdot 10^{-8}$
De interne gasdruk inde pijpleiding (P)	Pa	3550000
De diameter van de pijpleiding (D)	Mm	203,2
Wanddikte (t)	mm	4,78
Diepteligging	m	0,6

