

1 Inleiding

Dit is een geactualiseerde versie van het eerder uitgebrachte rapport “Risicoanalyse Windpark Koegorspolder, definitieve locaties”[1]. De in dit rapport berekende risico’s voor de beide ammoniakopslag tanks op het terrein van Hydro Agri hebben geleid tot een verplaatsing van een aantal turbines met het oogmerk deze risico’s terug te reduceren. De verplaatsing heeft geleid tot een herberekening van het risico van:

- Beide ammoniaktanks
- De salpeterzuurfabrieken 6 en 7
- Het opstel terrein voor ketelwagens

In de Koegorspolder is een windpark voorzien. In dit rapport zijn de risico’s berekend die mensen en objecten lopen door het bezwijken van bladen van de windturbines.

Als eerste stap is voor verschillende afstanden tot de turbine de kans bepaald dat een blad daar neerkomt. Hierbij is onder andere rekening gehouden met de hoogte waarop de rotoras is geplaatst, de lengte van de bladen, de overheersende windrichting en de kans op bezwijken van de bladen. Door de punten met een gelijke trefkans met elkaar te verbinden ontstaan contouren rondom de turbine met een gelijke kansdichtheid: de zogenaamde risicocontouren. Op basis van deze risicocontouren en de plaats van de verschillende turbines is de trefkans en het daarmee samenhangende risico bepaald voor:

- De wegen aan de rand van het windpark, te weten de Tractaatweg en de industrieweg
- De goederenspoorlijn
- Het gasontvangstation
- De leidingenstraat
- Door Hydro Agri aangegeven objecten:
 - Beide opslag tanks voor ammoniak
 - 2 fabrieken (Salpeterzuur 6 & 7)
 - Het opstel spoor voor ketelwagens

De resultaten zijn zo mogelijk vergeleken en getoetst aan bestaande normen of bekende risico’s.

2 Analysemodel

2.1 Basismodel

Het model dat gebruikt wordt, staat uitgebreid beschreven in [2]. De basis van het model wordt in het hierop volgende gedeelte kort toegelicht.

Een blad dat afbreekt wordt gelanceerd met een bepaalde snelheid. Deze snelheid is afhankelijk van het toerental op het moment van de breuk en de ligging van het zwaartepunt van het blad. De plaats waar het zwaartepunt van een afgebroken blad de grond treft is afhankelijk van vele parameters:

- De hoek waaronder het blad gelanceerd wordt;
- De tipsnelheid van het blad op het moment van breuk;
- De ligging van het zwaartepunt van het blad;
- De lengte van het blad;
- De hoogte van de turbine as boven het maaiveld;
- De stand van de rotoras t.o.v. de noord-zuid lijn op het moment van breuk.

Voor een model waarbij aërodynamische beïnvloeding verwaarloosd mag worden zijn bovenstaande gegevens nodig en voldoende om te berekenen waar een blad terecht zal komen. Voor een model met luchtweerstand zijn de volgende additionele gegevens nodig:

- C_D (drag coëfficiënt) en C_L (lift coëfficiënt).
Deze C_D en C_L zijn zelf weer (niet-lineair) afhankelijk van de:
 - dichtheid lucht (functie van de hoogte)
 - aanstroomhoek van het blad
 - relatieve snelheid van het blad t.o.v. de omringende lucht
- De windsnelheid en de windrichting (beide afhankelijk van de hoogte)
(Nodig om de relatieve snelheid van het blad t.o.v. de omringende lucht te bepalen)
- De hoek die de rotoras maakt t.o.v. de windrichting (gierhoek) op het moment van breuk.
Normaal staat de turbine as gericht in dezelfde richting als de windrichting; door hysteresis, wrijving en vertragingen in de regelmechanismen treden in de praktijk (kleine) verschillen op.
- De ruwheidslengte. Deze "lengte" is een maat voor de wrijving die de stromende lucht over het aardoppervlak ondervindt tengevolge versturende elementen in het landschap als bomen, gebouwen, bergen, etc. Hoe kleiner de ruwheidslengte, des te lager de wrijving.

Het model dat in dit rapport gebruikt is, is een model dat luchtweerstand in acht neemt, maar met enkele beperkingen teneinde het geheel berekenbaar te houden. Deze beperkingen zijn:

- De gierhoek is altijd gelijk aan 0;
- De dichtheid van de lucht, de windsnelheid en de windrichting zijn onafhankelijk van de hoogte waarop het afgeworpen blad zich bevindt. De normale specificaties van windsnelheid en windrichting worden gegeven voor 10 m hoogte. Deze getallen zijn getransformeerd naar de windsnelheid en windrichting ter hoogte van de turbine-as;
- Liftkrachten kunnen verwaarloosd worden. Door de chaotische rotatie van een afgeworpen blad zal de liftkracht voortdurend van richting veranderen. Gemiddeld over de "vlucht" kan deze liftkracht op 0 gesteld worden;
- De invloeden van windvlagen worden verwaarloosd.

2.2 Simulatie

Om de trefkans te bepalen is het bovenstaande model in een simulatieprogramma ondergebracht. Hiermee wordt voor een groot aantal combinaties van de invoerparameters de inslaglocatie van een blad bepaald. De variabelen "snelheid op moment van breuk", "lanceerhoek", "windsnelheid" en "windrichting" worden in de analyse als stochastische variabelen voorgesteld elk met een eigen verdeling:

- Lanceerhoek: homogeen verdeeld tussen 0 en 2π .
- Windsnelheid, gegeven een windrichting: Weibullverdeling met parameters alfa en bèta bepaald door de ruwheidslengte van het terrein, de hoogte van de turbine-as en de geografische lengte en breedte van de locatie van de turbine.
- Windrichting, ongeacht de windsnelheid: KNMI-verdeling
- Lanceersnelheid op moment van breuk. Deze verdeling is niet bekend. Aangenomen wordt dat er twee mechanismen bepalend zijn voor het optreden van breuken:
 - Sterktebreuken, omdat de rotor in overtoeren is geraakt.
 - Vermoeiingsbreuken, dit zijn breuken die ook bij nominaal toerental op kunnen treden.

Voor de eerste categorie wordt aangenomen dat deze breuken homogeen verdeeld op kunnen treden tussen het nominale toerental en het zogenaamde vrijlooptoerental. Dit laatste toerental wordt bereikt bij verlies van koppeling met het net indien het blad voordien al niet afbreekt. Het vrijlooptoerental is afhankelijk van de windsnelheid.

Bij de tweede categorie wordt verondersteld dat de breuk plaats vindt om en nabij het nominale toerental. Verondersteld wordt verder dat de kans op een breuk in de categorie 1 gelijk is aan de kans op een breuk in de categorie 2. De risicocontouren blijken weinig gevoelig voor de keuze van deze parameter.

3 INVOERPARAMETERS VOOR HET MODEL

3.1 Windturbinegegevens

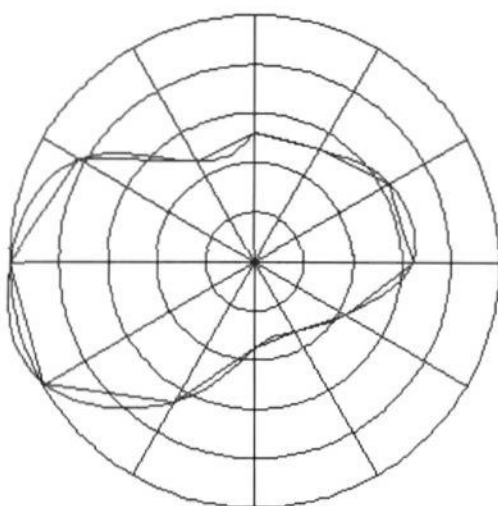
Toerental	19.2 omw/min
Aantal bladen	3
Cut in windsnelheid	3.5 m/s
Cut off windsnelheid	25 m/s
Lengte bladen	38.8 m
Straal rotomaaf	2.4 m
Zwaartepunt blad	1/3 vanaf naaf
Oppervlakte blad	85 m ²
Massa per blad	10 ton
Fractie van de tijd in bedrijf	75%
Hoogte as	85 m

3.2 Gegevens terrein en windgesteldheid

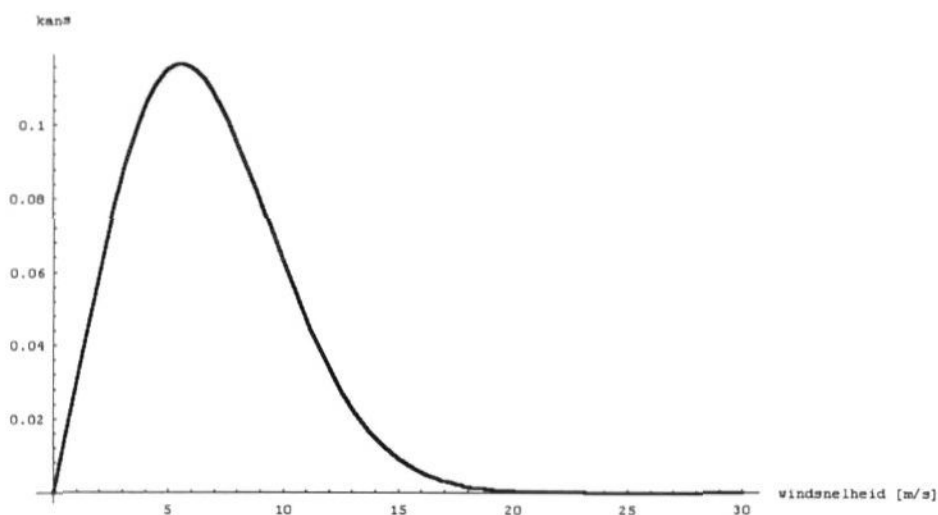
ruwheidslengte	0.03 m
windroos	zie figuur 1
windsnelheid	zie figuur 2

Gegevens voor de windroos en windsnelheden zijn ontleend aan de KNMI-gegevens van het weerstation Vlissingen. In figuur 1 is de berekende windroos opgenomen. De windsnelheden (die normaal op 10 m hoogte zijn betrokken) zijn gecorrigeerd voor de ashoogte van de windturbine. Er is rekening mee gehouden dat de windsnelheidsverdeling afhankelijk is van de windrichting. Per 30° zijn de windsnelheidsgegevens gefit op een Weibullverdeling met twee parameters. In totaal gebruikt het programma dus $360^\circ/30^\circ = 12$ verschillende Weibullverdelingen. Figuur 2 geeft de windsnelheidsverdeling in de richting waaruit de wind het meest frequent waait.

Relatieve windrichtingsverdeling



figuur 1 Windroos met relatieve windrichtingsverdeling; de meeste wind komt uit het zuidwesten tot westen



figuur 2 Windsnelheidsverdeling uit het zuidwesten

3.3 Bladbreekfrequentie

De bladbreekfrequentie bedraagt 0,00125 per jaar per turbine rekening houdend met een bedrijfsfractie van 75% [3]. Aangenomen is dat de turbine geen bladtips heeft en voorzien is van een bliksembeveiliging.

3.4 Locatie turbines

De turbinelocaties zijn aangegeven in figuur 3.

4 ANALYSES

De uitgevoerde analyses kunnen in drie groepen worden uitgesplitst:

- 1) Berekenen van de risicocontouren van de turbines;
- 2) Berekenen van de treffrequentie van een object;
- 3) Berekenen van verschillende risico's:
 - Individueel Risico (IR)
 - Persoonlijk Risico (PR)
 - Individueel Passanten Risico (IPR)
 - Groepsrisico (GR)
 - Maatschappelijk risico (EV)

De gehanteerde definities worden hieronder toegelicht.

4.1 Treffrequentie

De treffrequentie van een object is het verwachte aantal keren per jaar dat een object getroffen wordt door het blad van een turbine.

Voor een mens wordt verondersteld dat de effectieve oppervlakte die een mens beslaat 1 m² bedraagt. Voor objecten als gebouwen en opslag tanks wordt het geprojecteerde oppervlak gebruikt om de hoogte van het object te verdisconteren.

4.2 Individueel risico:

De definitie van VROM van het individueel risico, vertaald naar de context van dit rapport luidt:

Het individueel risico is gelijk aan de overlijdensfrequentie (als gevolg van een afgeworpen blad van een windturbine) van personen die zich 24 uur per etmaal zonder enige bescherming op een coördinaat (x,y) bevinden.

Uiteraard kan iemand maar één keer overlijden, maar in dit model wordt ervan uitgegaan dat een overleden persoon steeds vervangen wordt. M.a.w. het gaat om de vierentwintig-uurs aanwezigheid van niet persé dezelfde persoon. Bovendien wordt een persoon slechts aanwezig gedacht op

de coördinaten (x,y) en hoeft dus niet daadwerkelijk aanwezig te zijn. M.a.w. in een natuurgebied waar nooit iemand komt bestaat toch een individueel risico. De overheid (VROM) heeft een limietwaarde van $1 \cdot 10^{-6}$ /jaar vastgesteld voor het individuele risico, die voor alle gebied geldt, waar mensen een onvrijwillig risico lopen ("Buiten de hekken van de industriële activiteit").

Deze limietwaarde voor het individueel risico ($1 \cdot 10^{-6}$ /jaar) van VROM, wordt in de context van een windturbinepark als zeer zwaar ervaren. Immers wordt voor de evaluatie van het individueel risico een 100% aanwezigheid van personen verondersteld in een gebied dat vrijwel leeg is. Het is om deze reden dat het meer reële PR en IPR geïntroduceerd zijn.

4.3 Persoonlijk risico (PR)

De zeer conservatieve aanname van de 24-uurs aanwezigheid en geen bescherming wordt verzacht in de definitie van het **persoonlijk risico**.

Het persoonlijk risico in de context van dit rapport is het individuele risico, gewogen met de fractie van de tijd (α) dat een persoon (*niet persé steeds dezelfde persoon*) op de coördinaten (x,y) aanwezig is. Door deze benadering worden de risicocontouren zoals bepaald voor het IR een factor $(1-\alpha)$ lager. De maximum waarde van α is 1, waarmee het PR gelijk wordt aan het IR. In het algemeen zal de $1 \cdot 10^{-6}$ contour dichterbij de turbine komen te liggen. De $1 \cdot 10^{-6}$ contour zal zelfs verdwijnen als het product van α en het maximale risico aan de voet van de turbine kleiner is dan $1 \cdot 10^{-6}$.

Voordeel van de benadering van het PR is dat deze direct aansluit bij de definities en presentatievorm van VROM.

Het maximaal toelaatbare PR wordt gesteld op $1 \cdot 10^{-6}$ / jaar

4.4 Individueel Passanten Risico (IPR)

Dit risico is gebaseerd op het rapport "Windturbines langs auto-, spoor- en vaarwegen" (beoordeling van veiligheidsrisico's) uitgebracht door de werkgroep Windenergie [6].

Het Individueel Passanten Risico is een risicomaat 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. IPR houdt dus rekening met de aanwezigheidsfractie van een passant; dit is de procentuele verblijfsduur in de 'gevaarlijke' omgeving gedurende een jaar. Het verschil met het persoonlijk risico is tweeledig:

- Bij het IPR gaat het om de tijdsfractie van één passant, terwijl het bij het persoonlijk risico het om de tijdsfractie van een willekeurig persoon gaat. Het PR gaat bij een weg bijvoorbeeld uit van alle auto's (passanten) die per uur passeren. Het IR beschouwt alleen het aantal maal per uur dat een specifiek persoon passeert.

- Bij het PR en het IR is het risico gekoppeld aan een coördinaat (x,y), wat in de praktijk neerkomt op 1 m². Het IPR bepaald het risico over de hele lengte van het traject langs de turbine.

Het maximaal toelaatbaar Individueel Passanten Risico wordt gesteld op $1 \cdot 10^{-6}$ /jaar.

4.5 Groepsrisico:

Dit is de overschrijdingsfrequentie (/jaar) dat een groep van 10, 100, 1000 personen tegelijkertijd overlijdt als gevolg van een industriële activiteit.

De bevolkingsdichtheid wordt hier in tegenstelling tot het individueel risico in rekening gebracht. Aanwezigheidspercentages en de mate van bescherming worden meegewogen op dezelfde wijze waarop dit bij de evaluatie van het persoonlijk risico werd toegepast.

Groepsrisico's zijn in tegenstelling tot het individueel- en het persoonlijk risico onafhankelijk van de coördinaten.

De overheid heeft normen gesteld aan het groepsrisico (VROM), welke niet mogen worden overschreden.

Deze normen luiden: de overschrijdingsfrequentie voor overlijden van een groep van 10 personen moet kleiner zijn dan $1 \cdot 10^{-5}$ /jaar, de overschrijdingsfrequentie voor overlijden van een groep van 100 personen moet kleiner zijn dan $1 \cdot 10^{-7}$ /jaar, etc.

4.6 Maatschappelijk risico (EV):

De verwachtingswaarde van het aantal doden per jaar. Dit is het product van het gemiddeld aantal doden per passage en het aantal passages per jaar

Feitelijk is het EV hetzelfde als het IPR alleen wordt nu met alle passages gerekend, in plaats van met het aantal passages van een enkel persoon. Het EV maakt dus van dezelfde frequentie gebruik als het PR. Maatschappelijk Risico (EV) = (IPR / Aantal passages per passant per jaar) x Aantal passages per jaar.

In [7] wordt afgeleid dat door VROM per industriële installatie een acceptabele risiconiveau wordt aangehouden van $2 \cdot 10^{-3}$ doden per jaar. Dus het maximaal toelaatbaar maatschappelijk risico van $2 \cdot 10^{-3}$ doden per jaar per industriële activiteit (=windturbinepark) sluit aan bij het externe veiligheidsbeleid bij VROM. Deze waarde wordt in dit rapport derhalve aangehouden ter toetsing.

4.7 De relatie tussen treffen en bezwijken

Voor de mens is het getroffen worden door een blad gelijk gesteld aan overlijden, ook wanneer de mens zich in een auto, trein, etc. bevindt.

Voor tanks, leidingen en gebouwen etc. geldt echter niet dat getroffen worden gelijk staat aan bezwijken.

4.7.1 *Ondergrondse leidingen*

Voor ondergrondse leidingen kan het volgende worden gesteld. Door de chaotische rotaties waar het blad tijdens zijn vlucht aan onderhevig is, is elke bladstand bij het neerkomen t.o.v. het maaiveld ongeveer even waarschijnlijk. Er moet (kwalitatief) aan drie voorwaarden worden voldaan om de leiding te doorboren, gegeven een treffer in de buurt van de leiding:

- De hoek die de baan van het zwaartepunt van het blad maakt met het maaiveld (ongeacht de oriëntatie van het blad) moet groter dan 20 graden zijn, anders gaat het blad glijden [2].
- De richting van de lengteas van het blad moet bij het neerkomen ongeveer gericht zijn op de middellijn van de leiding, anders schampt het blad langs de leiding.
- De energie bij het neerkomen gegeven de correcte oriëntatie moet voldoende zijn om zowel het gronddek als de leiding te doorboren.

Een realistisch kwantitatief model opstellen om de kans te bepalen dat aan bovenstaande voorwaarden wordt voldaan (en de leiding dus breekt), is niet voorhanden. Indien de kans op het optreden van elk van bovenstaande drie voorwaarden (conservatief) op 0,1 wordt gesteld, dan is een grove schatting voor de breukkans van een ondergrondse leiding, gegeven een treffer van het grondoppervlak gelijk aan 0,001.

4.7.2 *Ondergrondse kabels*

Ondergrondse kabels zijn kwetsbaarder dan leidingen. De eerste voorwaarde en deels de derde (doorboren gronddek) die gelden voor leidingen zijn ook van toepassing op kabels. Aangenomen wordt dat raken van de kabel betekent dat de kabel elektrisch gezien faalt. Een conservatieve schatting van de kans op falen gegeven het neerkomen van het blad op het tracé is 0,05.

4.7.3 *Opslagtanks*

De ammoniaktanks zijn voorzien van een betonmantel van 30 cm. De kans dat een betonmantel van 30 cm doorboord wordt door een volledig blad is zeer klein. Vervolgens moet de stalen wand van 20 mm nog door boord worden.

Neemt men bovendien mee dat het blad is gemaakt van kunststof, dat makkelijk versplintert bij inslag dan is een doorboringskans van de tank van 0,001 zeker conservatief.

Voor het onbeschermde dubbelwandige dak van 16 mm kan een kans van 0,1 aangehouden worden.

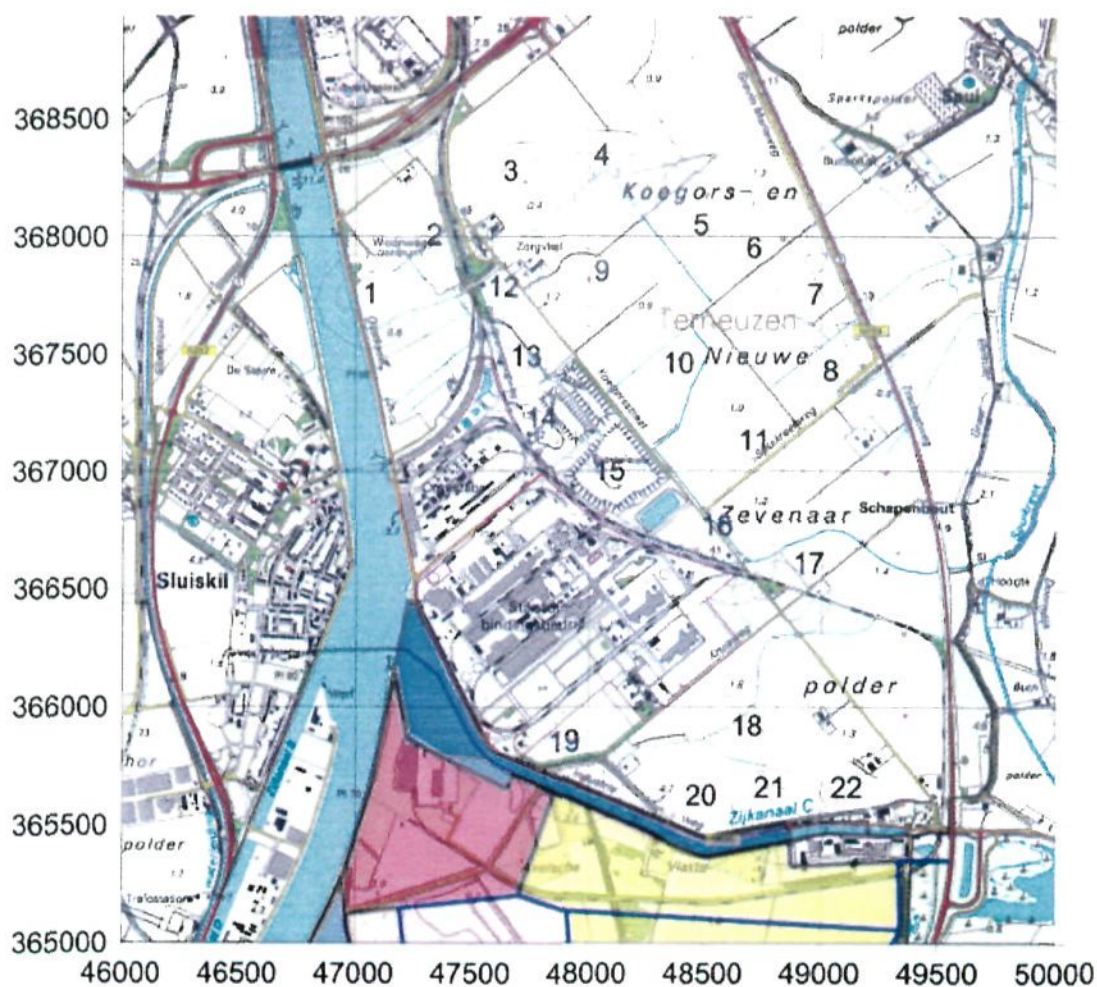
4.7.4 *Ketelwagens*

Ketelwagens voor het transport van gassen onder druk zijn gemaakt van 18 mm plaatstaal. Aan dit staal zijn speciale eisen gesteld ten aanzien van de maximale rekgrens en treksterkte en de

minimale rek bij breuk. Dit om te bevorderen dat bij een inslag op de ketel wel vervorming optreedt maar geen (explosieve) breuk. Zonder verdere analyse is echter moeilijk aan te geven of een ketelwagen een inslag zal kunnen weerstaan. Als conservatief uitgangspunt wordt aan genomen dat treffen gelijk staat aan bezwijken.

4.7.5 Fabrieken, gasontvangstation

Omdat een fabriek bestaat uit van alles en nog wat en deels beschermd wordt door het stalen statief is het moeilijk aan te geven wat de doorboringskans is. Als conservatief uitgangspunt wordt aan genomen dat treffen gelijk staat aan bezwijken.



figuur 3 Locaties van de turbines met hun trefkanscontouren (binnencontour: $1 \cdot 10^{-6}$ /jaar; buitencontour $1 \cdot 10^{-8}$ /jaar); kaartcoördinaten in meters

5 RESULTATEN EN BESPREKING

5.1 Risicocontouren

De individuele risico's die worden aangetroffen vormen een continuüm. Voor de risico-evaluatie wordt dit continuüm teruggebracht tot een tweetal discrete waarden: de $1 \cdot 10^{-6}$ /jaar contour, de grenswaarde voor het IR volgens VROM en de $1 \cdot 10^{-8}$ /jaar contour, de "verwaarlozingsgrens" van VROM.

In figuur 3 zijn deze risicocontouren voor alle beschouwde turbines met een risico van $1 \cdot 10^{-6}$ /jaar en $1 \cdot 10^{-8}$ /jaar ingetekend op de kaart van het gebied.

De individuele risicolimiet van $1 \cdot 10^{-6}$ /jaar wordt binnen een straal van ca. 130 m rond de turbinevoet van elk van de turbines overschreden (zie figuur 3). Het maximale individuele risico wordt aangetroffen aan de voet van de turbine en bedraagt $8,5 \cdot 10^{-6}$ /jaar.

De $1 \cdot 10^{-8}$ -contour heeft een straal van ongeveer 200 m.

De verste worp die in 100 000 simulaties is opgetreden bedraagt bijna 250 m. Hoewel een verder worp niet is uit te sluiten is de kans daarop erg klein.

De bevolkingsdichtheid in het gebied is vrijwel gelijk aan nul, daarmee is het groepsrisico (GR) verwaarloosbaar.

5.2 Trefkansen en risico's

Op basis van de ligging van de verschillende risicocontouren is bepaald welke turbines in de trefkansanalyse van de verschillende objecten betrokken moeten worden. Ten opzichte van de vorige analyse zijn de turbines 15 en 16 verplaatst. Ter vergelijking zijn de oorspronkelijke kansen tussen haakjes weergegeven.

tabel 1 Trefkans objecten op het terrein van Hydro Agri per afworp en per jaar; tussen haakjes staan de resultaten van vorige configuratie

Object	Turbine	Trefkans [%/afworp]	Trefkans [-/jaar]	Bezwijkkans [-/jaar]
Ammoniaktank 1, totaal	15	0 (0,80)	0 ($1,0 \cdot 10^{-5}$)	0 ($1 \cdot 10^{-8}$)
Idem, dak	15	0 (0,05)	0 ($6,3 \cdot 10^{-7}$)	0 ($6,3 \cdot 10^{-8}$)
Ammoniaktank 2, totaal	16	0 (0,50)	0 ($6,3 \cdot 10^{-6}$)	0 ($6,3 \cdot 10^{-9}$)
Idem dak	16	0 (0,03)	0 ($3,8 \cdot 10^{-7}$)	0 ($3,8 \cdot 10^{-8}$)
Opstelsporen ketelwagens	15	0,04 (4,2)	$5,0 \cdot 10^{-7}$ ($5,3 \cdot 10^{-5}$)	$5,0 \cdot 10^{-7}$ ($5,3 \cdot 10^{-5}$)
Fabriek Salpeterzuur 6	15	0 (0,1)	0 ($1,4 \cdot 10^{-6}$)	0 ($1,4 \cdot 10^{-6}$)
Fabriek Salpeterzuur 7	15	0,3 (0,1)	$3,8 \cdot 10^{-6}$ ($1,4 \cdot 10^{-6}$)	$3,8 \cdot 10^{-6}$ ($1,4 \cdot 10^{-6}$)
Gasontvangststation	17	1,0	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$

5.2.1 Terrein Hydro Agri

De objecten waarvan de trefkans en het risico's is bepaald staan in figuur 4. In tabel 1 wordt de trefkans aangegeven voor de verschillende objecten, gegeven een afworp van een blad van de aangegeven turbine. Daarnaast wordt de totale trefkans per jaar gegeven. Tabel 1 geeft ook de bezwijkkans. Deze is gebaseerd op de overwegingen in §4.7.

Uit de tabel blijkt dat het risico voor beide ammoniaktanks nihil is. Dit blijkt ook al uit figuur 4, waar duidelijk te zien dat de tanks ver buiten de 10^{-8} -contour liggen.



figuur 4 Locatie van de verschillende objecten op het terrein van Hydro Agri.

Bron [4] levert voor ketelwagens een bezwijkkans van $5 \cdot 10^{-7}$ /jaar. Op de opstelsporen staan gemiddeld 10 wagens zodat de kans op het bezwijken van willekeurige ketelwagen op het terrein $5 \cdot 10^{-6}$ /jaar is. Deze kans is een factor 10 hoger dan de additionele kans als gevolg van de geplaatste turbine.

Het additionele risico voor Salpeterzuurfabriek 6 is nihil. Salpeterzuurfabriek 7 heeft een trefkans van $3,8 \cdot 10^{-6}$ per jaar. Het gasontvangststation heeft een trefkans van $1,3 \cdot 10^{-5}$ /jaar. Of er vervolgens sprake is van een gevaarlijke situatie (bezwijken procesvat of van een gasstraat etc.) is niet geanalyseerd, maar zal ongetwijfeld nog weer een orde van grootte (of meer) lager liggen dan de trefkans.

5.2.2 Goederenspoorlijn

A TREFKANS SPOORLIJN EN TREIN

De spoorlijn kan worden geraakt door een afgeworpen blad van de turbines vermeld in tabel 2.

De trefkans is niet voor iedere molen afzonderlijk bepaald. De trefkans als gevolg van de turbines 2 en 12 tot en met 16 zijn gelijkgesteld aan de trefkans van turbine 16. Dit is gebaseerd op de grote mate van overeenstemming van de geometrie (de molens staan op vergelijkbare afstand van het spoor). De totale trefkans per jaar van de spoorlijn wordt nu de kans op treffen maal de kans van een afworp:

$$P_{\text{spoor}} = 202\% * (1/800) = 2,5 \cdot 10^{-3} / \text{jaar}$$

tabel 2 Trefkans per afworp voor de goederenspoorlijn

Turbine	Trefkans [-/afworp]
2	28%
12	28%
13	28%
14	28%
15	28%
16	28%
17	34%

Dit is de kans over het hele traject van ongeveer 3,5 km. Bij een treinlengte van 100 m wordt gemiddeld ongeveer 3% van het spoor bezet. Het aantal treinen bedraagt y per dag. Bij een trajectlengte van ongeveer 3,5 km en een gemiddelde snelheid van 10 km/uur is de aanwezigheidsduur van de trein op het traject 0,35 uur (21 minuten). De tijdsfractie dat een trein aanwezigheid is dus $(0,35 \cdot y) / (24) = y \cdot 0,015$. Hierin is y het aantal treinen dat per dag passeert. De kans dat een trein wordt geraakt bedraagt dus:

$$P_{\text{trein}} = 0,03 * y \cdot 0,015 * 2,5 \cdot 10^{-3} / \text{jaar} = y * 1,15 \cdot 10^{-6} / \text{jaar}.$$

B RISICO'S

Voor het treinpersoneel (machinist en rangeerder) zijn het IPR en het PR bepaald. Het IPR is een factor 100 kleiner dan de kans dat de trein geraakt wordt. Dit komt omdat het IPR uitgaat van een persoon (met een oppervlak van 1 bij 1 meter) in plaats van een 100m lange trein. Het maatschappelijk risico is tweemaal zo groot als het IPR omdat slecht twee personen per trein aanwezig zijn:

$$\text{IPR: } y * 1,15 \cdot 10^{-8} / \text{jaar}$$

$$\text{EV: } y \cdot 2 \cdot 1,15 \cdot 10^{-8} / \text{jaar}$$

Om aan het maximaal toelaatbare IPR van $1 \cdot 10^{-6}$ /jaar te voldoen moet het aantal treinen per dag (y) kleiner zijn dan 85. Dit is zeker het geval. De eis van $2 \cdot 10^{-3}$ voor het EV wordt pas overschreden bij is 85 000 treinen per dag, zodat hieraan altijd voldaan wordt.

Het PR is een risicocontour die een kleinere straal heeft dan de individuele risicocontour (IR) omdat de tijdsfractie dat een willekeurige persoon zich op een bepaalde plaats bevindt hierin verdisconteerd is.

Deze tijdsfractie α wordt als volgt bepaald. Indien iemand met een eenparige snelheid van v km/uur zich verplaatst dan zal die persoon zich $10^{-3}/v$ uur in een willekeurige vierkante meter bevinden, waarvan het IR bekend is. Wanneer er x passages per uur zijn dan is de tijdsfractie dat een persoon zich in een risicogebied bevindt $x \cdot 10^{-3}/v$. Bij y passages per dag wordt dit: $y \cdot 10^{-3}/v \cdot 24$. Bevinden de personen zich in een voertuig en neemt men aan dat het treffen van het voertuig gelijk staat aan overlijden dan moet er nog vermenigvuldigd worden met het oppervlak van het voertuig. Biedt het voertuig (enige) bescherming dan kan zonodig hiervoor gecorrigeerd worden door te vermenigvuldigen met een factor β , die een waarde heeft tussen 0 (totale bescherming) en 1 (geen bescherming).

Voor de machinist en rangeerder is deze fractie α per turbine, bij 10 km/uur, geen bescherming en een oppervlak van het machinistenhuis van 10 m^2 gelijk aan:

$$\alpha = \frac{2y \cdot 10}{24 \cdot 10000} = 8,4 \cdot 10^{-5} \cdot y$$

Omdat de maximale risicocontour van het IR aan de voet van de turbine een waarde heeft van $8,5 \cdot 10^{-6}$, is het maximale PR $y \cdot 8,4 \cdot 10^{-5} \cdot 8,5 \cdot 10^{-6} = 7,2 \cdot 10^{-10} \cdot y$. Pas bij ruim 1400 treinen per dag wordt niet meer voldaan aan de eis van $1 \cdot 10^{-6}$ /jaar vlak onder de voet van de turbinemast. Met andere woorden het PR is te verwaarlozen.

5.2.3 Wegen

A TREFKANS WEG

De wegen kunnen worden geraakt door een afgeworpen wiek van de turbines vermeld in tabellen 3 en 4.

De totale trefkans van de Tractaatweg wordt nu de kans op treffen maal de kans van een afworp:

$$P_{\text{Tractaatweg}} = 11,5\% \cdot (1/800) = 1,4 \cdot 10^{-4} / \text{jaar}$$

Voor de industrieweg bedraagt deze kans:

$$P_{\text{Industrieweg}} = 65,8\% \cdot (1/800) = 8,2 \cdot 10^{-4} / \text{jaar}$$

tabel 3 Trefkans per afworp Tractaatweg

Turbine	Trefkans [-/afworp]
7	4,4%
8	7,1%

tabel 4 Trefkans per afworp Industrierweg

Turbine	Trefkans [-/afworp]
19	25%
20	20%
21	13%
22	9,9%

B RISICO'S VOOR PERSONEN, IPR EN EV.

Het IPR en EV brengen de verblijfstijd in rekening. De trefkans van het traject is hierboven uitgerekend. Het EV is het quotiënt van deze trefkans en de gemiddelde snelheid (60 km/uur) vermenigvuldigd met het aantal personen dat passeert. Het aantal auto's dat per dag op beide wegen passeert is opgenomen in tabel 5. Het maatschappelijk risico is bepaald onder de aanname dat er gemiddeld 1,5 personen in een auto aanwezig zijn en dat de auto geen bescherming biedt. Met andere woorden treffen van de auto staat gelijk aan het overlijden van de inzittenden.

tabel 5 Maatschappelijk risico (EV) op de Tractaatweg en Industrierweg

Locatie	Trefkans [-/passage]	Aantal auto's [-/dag]	Aantal passanten [-/dag]	EV [-/jaar]
Tractaatweg	$2,7 \cdot 10^{-13}$	10400	15600	$1,5 \cdot 10^{-6}$
Industrierweg	$1,6 \cdot 10^{-12}$	3200	4800	$2,7 \cdot 10^{-6}$

Het EV voldoet in beide gevallen ruimschoots aan de eis van $2 \cdot 10^{-3}$ /jaar. Om aan het IPR te voldoen mag een individu maximaal 640 000 maal per jaar¹ over de Industrierweg gaan. Voor de Tractaatweg ligt dit aantal nog ruim een factor 5 hoger. De uitkomsten laten zien dat nog een ander aantal passages nog een lagere gemiddelde snelheid de conclusies zullen veranderen.

C RISICO'S VOOR PERSONEN, PR

De α -factor voor personenvervoer wordt op dezelfde manier berekend als die voor het PR van het treinpersoneel. De resultaten staan, uitgaande van een gemiddelde snelheid van 60 km/uur en een auto met een oppervlak van 8m^2 , in tabel 6.

¹ trefkans per passage gedeeld door 10^{-6} , het maximaal toegestane IPR

tabel 6 PR op de Tractaatweg en Industrierweg

Locatie	Aantal auto's [-/dag]	Aantal passanten [-/dag]	α -factor [-]	$PR^2_{\max}$
Tractaatweg	10400	15600	0,09	$3,1 \cdot 10^{-8}$
Industrierweg	3200	4800	0,03	$2,1 \cdot 10^{-8}$

Het maximale Persoonlijk Risico ligt voor beide wegen op een aanvaardbaar niveau vergeleken met de normwaarde van 10^{-6} per jaar.

5.2.4 Leidingentracé

Het leidingentracé loopt parallel aan zes in een boog staande turbines, zoals in figuur 3 te zien is. Het tracé binnen de risicocontouren van de turbines is ongeveer 2,8 km lang.

In het leidingentracé liggen een rioolpersleiding, een waterleiding en vier 50 kV grondkabels. De deklaag boven de leidingen en kabels is ongeveer 1 m. Zoals beargumenteerd in paragraaf 4.7 is de bezwijkkans van de leidingen gegeven een treffer van de grond erboven op 0,001 gesteld en van de kabels op 0,05.

tabel 7 Trefkans leidingentracé per afworp en per jaar

Turbine	Trefkans [%/afworp]	Trefkans tracé [-/jaar]	Bezwijkkans van een willekeurige leiding resp. kabel [-/km jaar]
3, 4, 5, 6, 7, 8	$6,8 + 6,3 + 8,6 + 25 + 41 + 25 = 113$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-8}$ (leiding) $2,5 \cdot 10^{-5}$ (kabel)

De overheid ([4]) geeft aanbevelingen t.a.v. toe te passen **breuk** frequenties van leidingen in veiligheidsanalyses. De breukfrequentie van een enkele ondergrondse leiding wordt in [4] gesteld op $1,5 \cdot 10^{-4}$ /km/jaar, terwijl de breukfrequentie voor een ondergrondse leiding in een buisleidingenstraat door [4] op $1,8 \cdot 10^{-5}$ /km/jaar wordt gesteld. De berekende breukfrequentie ligt hier ver onder zodat het additionele risico van de turbines te verwaarlozen is.

Voor grondkabels voor elektriciteitstransport kan een zelfde vergelijking gemaakt worden. In [5] wordt een faalfrequentie voor 50 kV kabels van $1,1 \cdot 10^{-6}$ /km/uur gegeven. Dit komt over een met $1 \cdot 10^{-2}$ /km/jaar. De bijdrage door windturbines is dus te verwaarlozen.

² Maximum IR per turbine is $8,5 \cdot 10^{-6}$

6 Conclusies

Personen

- 1) De VROM norm van $1 \cdot 10^{-6}$ /jaar van het IR wordt bij elke turbine binnen een straal van ongeveer 130 m overschreden.
- 2) Het maximale risico aan de voet van de turbine bedraagt $8,5 \cdot 10^{-6}$ /jaar
- 3) Gezien de bevolkingsdichtheid in het gebied is het groepsrisico (GR) niet aan de orde.
- 4) Bij een correctie op de risicocontouren voor niet 24 uren aanwezigheid van personen is er bij een verblijfsfractie kleiner dan 10% een aanvaardbaar risico
- 5) De risico's op de Tractaatweg, de Industrieweg en de goederenspoorlijn waarin rekening wordt gehouden met niet 24-uurs aanwezigheid (PR, IPR en EV) voldoen ruimschoots aan de gestelde eisen.

Objecten

- 5) De bijdrage van het windpark aan de bezwijkkans per jaar is
 - verwaarloosbaar voor de leidingen en kabels in het leidingentracé;
 - verwaarloosbaar voor salpeterzuurfabriek 6 van Hydro Agri
 - $3,8 \cdot 10^{-6}$ per jaar (eens per 260 000 jaar) voor salpeterzuurfabriek 7 van Hydro Agri
 - nihil voor beide ammoniaktanks op het terrein van Hydro Agri
 - een factor 10 lager dan de bezwijkkans voor ketelwagens

OPMERKING: Het additionele risico ontstaan door het treffen van de ketelwagens is te voorkomen door de ketelwagens elders op het terrein op te stellen.

 - $1,3 \cdot 10^{-5}$ per jaar (eens per 77 000 jaar) voor het gasontvangststation

Voor de fabrieken (Salpeterzuur 6 en 7) en het Gasontvangststation is geen vergelijking beschikbaar.

Literatuur

- [1] Brinkman, J.L., Van Wonderen E.L.M.J., Risicoanalyse Windpark Koegorspolder, definitieve locaties", 910558/01.54174/C, NRG, 2 november 2001
- [2] Van Zadel, A., Onderzoek betreffende de kwantificering van de risico's van windturbines, 40760-NUC 94-4350, KEMA, 1994
- [3] Failure of Danish Wind Turbines, Energy & Miljodata, 1998
- [4] Handleiding voor het opstellen en beoordelen van een Extern Veiligheidsrapport (EVR), IPO, 1994
- [5] Elektriciteitsdistributienetten, EnergieNed, 1996
- [6] De Joode, P.H., Onnink, S., Van den Horn, B.A., Windturbines langs auto-, spoor- en vaarwegen, VRWP-R-990004, RWS, 1999
- [7] Van Hengel, W., Windturbineparken, Veiligheidsfilosofie, WBR-R-97009, RWS, 1997

BIJLAGE XII : INRICHTINGSPLAN KOEGORSPOLDER, KEMA, JULI 2002

50261297-KPS/SEN 01-3037 revisie B

Inrichtingsplan windpark Koegorspolder

Arnhem, 12 juli 2002

Auteur G.J. van Mulekom
KEMA Power Generation & Sustainables

In opdracht van **WinWind**

WinWind B.V.
Scheldekade 21
4531 EG TERNEUZEN

Auteurs: G.J. van Mulekom	02-07-12	Beoordeeld : H.K. Hutting	02-07-12
B 45 blz. 5 bijl.	GJMu	Goedgekeurd : F.J. Verheij	02-07-12

© KEMA Nederland B.V., Amhem, Nederland. Alle rechten voorbehouden.

Dit document bevat vertrouwelijke informatie. Overdracht van de informatie aan derden zonder schriftelijke toestemming van of namens KEMA Nederland B.V. is verboden. Hetzelfde geldt voor het kopiëren van het document of een gedeelte daarvan.

KEMA Nederland B.V. en/of de met haar gelieerde maatschappijen zijn niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, toekomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken.

INHOUD

INLEIDING	5
1 De ontwikkeling van het windpark	6
1.1 Windenergie algemeen	6
1.2 Het ontwerpproces van het project Koegorspolder	7
1.3 Harde belemmeringen	7
1.4 Turbinekeuze	10
1.5 Akoestische ontwerpcriteria	10
1.6 Landschappelijke ontwerpcriteria	11
1.6.1 Regionale landschappelijke context	11
1.6.2 Plangebied	12
1.7 Parkopstelling	13
2 Akoestische beoordeling	13
2.1 Achtergrondgeluid	13
2.2 Geluidsterkte van de windturbines	14
2.3 Berekende geluidbelastingen	16
3 Landschappelijke beoordeling	17
3.1 Beoordelingswijze	17
3.2 Parkopstelling	18
4 Veiligheidsrisico's	19
4.1 Onderzoek	19
4.2 Conclusies en aanbevelingen	20
4.3 Risicoverminderende maatregelen	21
5 Slagschaduwonderzoek	21
5.1 Schaduwval	22
5.1.1 Gevolgen van lichtsterktewisseling	22
5.1.2 Kans op schaduwval	23
5.1.3 Schaduwscherpte	25
5.2 Richtlijnen	26
5.2.1 Inleiding	26
5.2.2 Passeerfrequenties	26
5.2.3 Schaduwduur	26
5.2.4 Lichtschittering	26
5.3 Turbinegegevens en positie	27

5.4	Berekende schaduwcontouren.....	27
6	Verstoring TV-ontvangst	29
7	Telecommunicatie en radar.....	31
8	Natuurwaarden	31
9	Visualisaties.....	32
10	Opbrengsten.....	35
11	Eindafweging	35
	Literatuurlijst.....	36
	Bijlage A Windpark opties met geluidscontouren	38
	Bijlage B Coördinaten van de windturbines.....	39
	Bijlage C Berekening achtergrondgeluid bureau Peutz	40
	Bijlage D Rapportage Royal Haskoning	42
	Bijlage E Rapportage NRG, Risicoanalyse Windpark Koegorspolder.....	43

INLEIDING

De toepassing van windenergie heeft de laatste twee decennia een grote ontwikkeling doorgemaakt. Wereldwijd is windenergie momenteel de meest aantrekkelijke duurzame energiebron en na waterkracht, degene die het meest bijdraagt aan het terugbrengen van broeikasgasemissies. De Nederlandse regering streefde naar de realisatie van 1000 MW in het jaar 2000. Deze doelstelling acht de regering met een vertraging van enkele jaren haalbaar. Als tussen doelstelling voor 2010 geldt 2000 MW en voor 2020 een doelstelling van 3000 MW. Het gedeelte van de doelstellingen boven 1500 MW wordt geacht op zee te worden gerealiseerd. Van de doelstellingen op land heeft de provincie Zeeland zich gecommitteerd om voor 205 MW planologisch ruimte te creëren.

Het project "Windpark Koegorspolder" betreft een windturbinepark in de gelijknamige polder binnen de gemeente Terneuzen. De locatie Koegorspolder beschikt over goede windcondities die de commerciële exploitatie van dit windturbinepark mogelijk moeten maken. De Koegorspolder is ook aangewezen in het provinciale streekplan als geschikt voor de toepassing van windenergie.

KEMA heeft in opdracht van de projectontwikkelaar WinWind het onderhavige inrichtingsplan ontwikkeld. Daarbij is onder meer van de diensten gebruik gemaakt van:

- NRG voor het uitvoeren van een risicoanalyse
- Royal Haskoning (voorheen Zandvoort Ordening en Advies) te Utrecht voor de landschappelijke inpassing
- Schoonderbeek en Partners Advies te Ede voor akoestische inpassing
- Adviesbureau Peutz & Associés voor de bepaling van het achtergrondgeluid.

Voorafgaand aan dit rapport zijn drie mogelijke parkopstellingen ontwikkeld, elk met eigen voor- en nadelen en beschreven in de rapportage "Inrichtingsplan windpark Koegorspolder", rapportnummer 50060526-KPS/SEN 01-3022. De geselecteerde parkopstelling, beschreven in dit rapport, is het resultaat van overleg tussen WinWind, gemeente Terneuzen, provincie, VROM en toetsing aan het Plan van Aanpak Kanaalzone Zeeuwsch-Vlaanderen [13]. Hieruit is gebleken dat wil het plan voldoen aan het gestelde in het Plan van Aanpak Kanaalzone Zeeuwsch-Vlaanderen, een grenswaarde van 37 dB(A) aan de zuidoostzijde van de Koegorspolder gehanteerd moet worden. Dit is tevens de grenswaarde die voortvloeit uit de beschouwing van de windturbines als een industriële zoneringsplichtige activiteit. Gebleken is dat de andere twee mogelijkheden hierdoor afvallen.

Het inrichtingsplan beschrijft de ontwikkeling van het ontwerp en de milieugevolgen daarvan. Deze rapportage is een revisie van het inrichtingsplan uitgebracht op 7 juli 2001 en 6 februari 2002. De risicoanalyse door NRG en de landschappelijke toetsing door Royal Haskoning zijn in de bijlagen toegevoegd.

1 DE ONTWIKKELING VAN HET WINDPARK

1.1 Windenergie algemeen

Een windturbine zet de bewegingsenergie van de wind om in elektrische energie. Deze stroom wordt ingevoed op het elektriciteitsnet via een nabijgelegen aansluitpunt en van hieruit verder getransporteerd naar de afnemers. Meerdere turbines tezamen worden een windturbinepark genoemd (kortweg: windpark).

Niet alle bewegingsenergie van de wind wordt opgenomen in een windturbine: uiteindelijk stroomt de lucht verder, zij het met een lagere snelheid. De verhouding tussen de door de rotor opgenomen energie en de totale energie in de wind wordt voornamelijk bepaald door de effectiviteit van de turbinerotor. Daarnaast treden energieverliezen op in de generator, de transmissie en elektrische conversiesystemen. De effectiviteit van de rotor hangt vooral af van het rotorontwerp en de kwaliteit van de bladen, maar ook van de regelmethode om op wisselingen in windsnelheid en windrichting te reageren.

Het locale windregime en het elektriciteitsnet leggen eisen op wat betreft de technische uitvoering van een windpark en de afzonderlijke turbines. Het windregime is van doorslaggevende invloed op de grootte van de energieproductie: het energie-aanbod in de wind neemt bij benadering toe met de derde macht van de gemiddelde windsnelheid op een gegeven locatie.

De capaciteit van het locale elektriciteitsnet kan beperkingen opleggen aan de maximale parkgrootte en de kwaliteit van de geleverde stroom. In overleg met Delta Nutsbedrijven is het huidige elektriciteitsnet bekeken. Het net kan economisch verantwoord worden aangepast op de eisen die het windturbinepark daaraan stelt.

Het certificeren van windturbines biedt garantie dat aan de eisen, wat betreft opbrengst, netinpassing en technische betrouwbaarheid, wordt voldaan.

De realisatie van een windpark in een omgeving is verder onderworpen aan richtlijnen en normen van milieutechnische en planologische aard, die onder andere de maximaal toelaatbare hinder voor derden bepalen.

1.2 Het ontwerpproces van het project Koegorspolder

Bij de ruimtelijke ontwikkeling van het windpark Koegorspolder is als volgt te werk gegaan. Allereerst is een inventarisatie gemaakt van de "harde" belemmeringen waarbinnen het ontwerp zich zal moeten afspelen. Deze belemmeringen worden in paragraaf 1.3 behandeld. De keuze van het type windturbine is ook bepalend voor het ontwerp: hoe groter de windturbine, hoe groter de benodigde onderlinge afstand. Deze keuze wordt gemotiveerd in paragraaf 1.4.

Voorts blijken de aspecten geluid en landschap essentieel voor de ontwikkeling van het ontwerp. Deze twee aspecten beïnvloeden elkaar wederzijds. De akoestische en landschappelijke ontwerpcriteria worden behandeld in de paragrafen 1.5 en 1.6. Het ontwerp wordt gemotiveerd in hoofdstuk 12.

1.3 Harde belemmeringen

Bij inpassing van het ontwerp van windpark Koegorspolder gelden een aantal harde belemmeringen waarbinnen geen ruimte is voor windturbines. Deze belemmeringen (uitsluitingen) worden gevormd door:

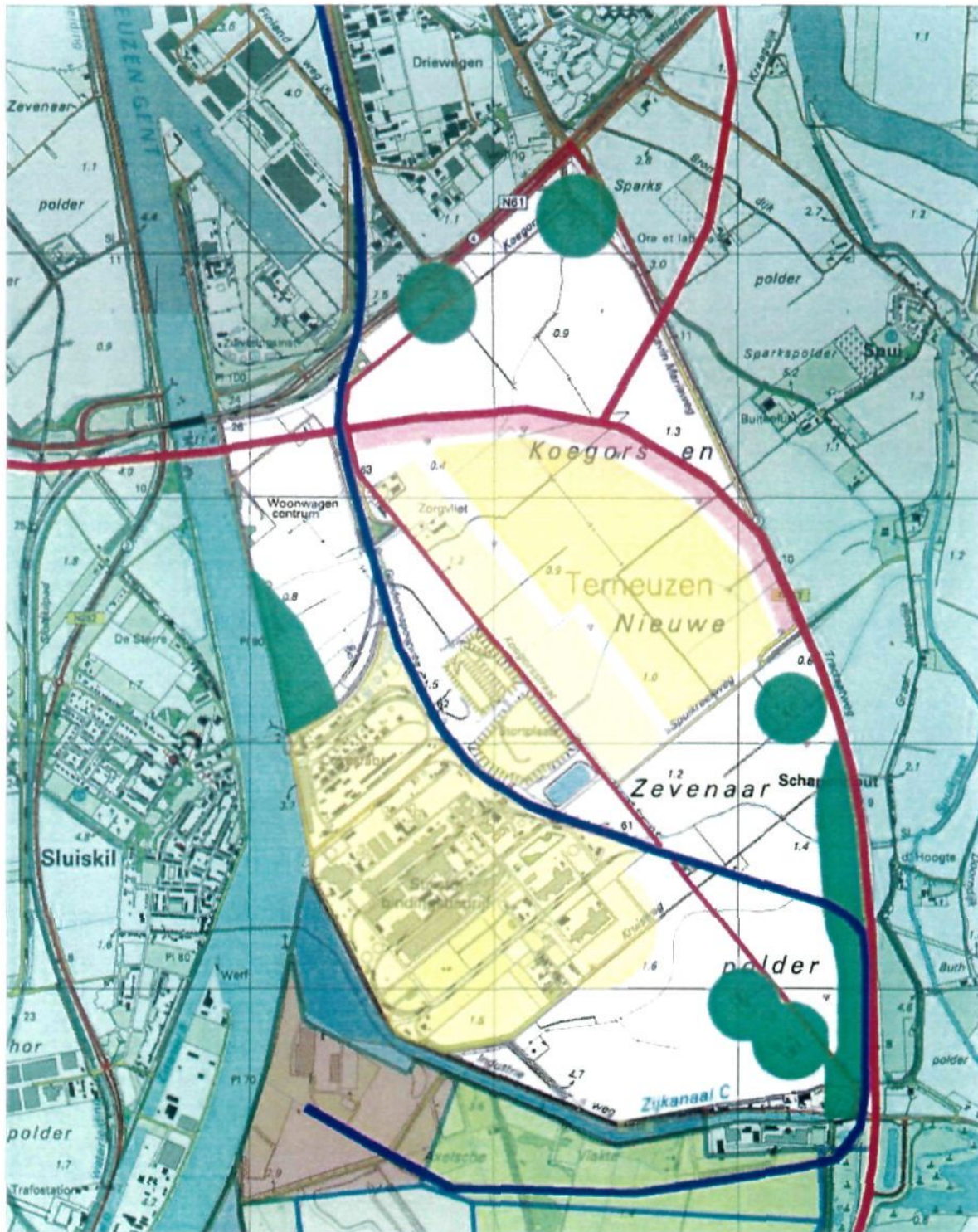
- het gebied buiten de polder
- het tracé huidige (N253) en nieuwe Tractaatweg (N61)
- het leidingtracé ten zuiden en parallel aan de nieuwe Tractaatweg (N61)
- een strook langs het kanaal met een breedte van 50 meter
- aanwezige spoorlijnen
- het slibdepot (behalve buitenzijde van de dijken met een minimum afstand van een halve fundatiediameter uit de voet van de dijk)
- het industriegebied langs de Koegorsstraat
- het leidingtracé langs de Koegorsstraat
- enkele grote separate (gas)leidingen
- de ammoniakopslag en de stikstofbindingfabriek van Hydro Agri met bijbehorende risicocontouren
- de geluidruimte voor woningen aan de Schapenbout ten oosten van de polder en in Sluiskil ten westen van de polder.

Voor de (nieuwe) Tractaatweg geldt dat windturbines niet met de bladen boven de weg mogen draaien. Bij de spoorlijnen geldt dat de fundatie van de windturbine de bepalende factor is. Minimum afstand is de halve fundatie diameter tot de verharding van de spoorweg of dijkvoet.

Aan de westzijde van Koegorspolder langs het kanaal ligt Sluiskil. De afstand tot Sluiskil is gering en de geluidruimte wordt volledig ingevuld door Hydro Agri. Om deze reden zijn windturbines aan deze zijde van de polder niet te plaatsen.

Ten noorden van de nieuwe Tractaatweg zal het terrein van de Koegorspolder worden ingevuld door een randstedelijke zone, een hoogwaardig bedrijfsterrein. Een combinatie met windturbines is niet mogelijk.

De genoemde belemmeringen zijn samengevat in een kaart (zie figuur 1.1). Daarbij is het witte gebied bruikbaar voor toepassing van windenergie. Het huidige en toekomstige industriegebied is met geel aangegeven, noodzakelijke geluidruimte met donkergroen. Door een grotere geluidruimte ten behoeve van industriële activiteiten in het zuidoosten van de Koegorspolder is de ruimte voor windturbines geringer dan aangegeven in figuur 1.1.



Figuur 1.1 Technische belemmeringen

1.4 **Turbinekeuze**

Geschikte locaties voor windenergie zijn schaars in Nederland door de veelheid aan planologische beperkingen. Het is dan ook zaak om de beschikbare locaties zo optimaal mogelijk te benutten en maximale energieopbrengsten en bijbehorende CO₂-reducties na te streven. Het toepassen van grotere turbines (2,0 tot 2,5 MW elk) dan tot dusverre in Nederland gebruikelijk, resulteert in een aanmerkelijk hogere energieopbrengst - en hiermee verbonden CO₂-besparing - per eenheid van grondoppervlak dan met kleinere windturbines (600 tot 900 kW).

Het gebruik van grotere windturbines wordt in een onlangs verschenen studie Frisse Wind door Nederland [14] van de stichting Natuur en Milieu en de provinciale milieufederaties ook aangevoerd als een van de voorwaarden om de overheidsdoelstellingen voor landlocaties te bereiken. Ook binnen deze studie is de Koegorspolder aangewezen als een locatie voor grootschalige windenergie.

De op dit moment op de markt gebrachte grote windturbines hebben een rotordiameter van 80 tot 100 meter, een ashoogte van 80 tot 100 meter en zijn voorzien van een variabele toerenregeling. Een definitieve merk- en typekeuze is nog niet gemaakt. Bij de uiteindelijke selectie zullen alleen gecertificeerde windturbines in aanmerking komen.

1.5 **Akoestische ontwerpcriteria**

Zoals uit hoofdstuk 2 zal blijken kunnen – afhankelijk van de uitgangspunten die men hanteert – verschillende geluidnormen voor het windpark aangehouden worden. De geluidnorm is essentieel voor de inrichting.

Wil het geselecteerde parkontwerp voldoen aan het gestelde in het Plan van Aanpak Kanaalzone Zeeuwsch-Vlaanderen dan zal een grenswaarde van 37 dB(A) aan de zuidoostzijde van de Koegorspolder gehanteerd moeten worden. Dit is tevens de grenswaarde die voortvloeit uit de beschouwing van de windturbines als een industriële zoneringsplichtige activiteit.

1.6 Landschappelijke ontwerpcriteria

Royal Haskoning (voorheen Bureau Zandvoort Ordening en Advies) heeft de locatie Koegorspolder beoordeeld op geschiktheid voor de plaatsing van windturbines. De bevindingen zijn opgemaakt in bijlage D.

De locatie is op twee schaalniveaus beoordeeld. De beoordelingscriteria zijn de volgende (ontleend aan ervaringen met vergelijkbaar onderzoek):

Regionale landschappelijke context:

- *Positie binnen regionale landschappelijke structuur*
- *Relatie met turbines en andere hoog opgaande elementen*

Lokaal schaalniveau:

- *Aard gebied* – is het plangebied in aard en functie geschikt?
- *Randvoorwaarden* – is er voldoende ruimte voor een windpark?
- *Ontwikkelingen* – vormt een windpark een bedreiging voor de ontwikkeling van het gebied?

1.6.1 Regionale landschappelijke context

Positie binnen regionale landschappelijke structuur

De Koegorspolder ligt in de Kanaalzone Zeeuws Vlaanderen: een grootschalige, verstedelijkte zone waar Terneuzen, Sluiskil, Sas van Gent en de daaromheen gelegen industriegebieden deel van uitmaken. Binnen de kanaalzone zijn de industriegebieden Koegorspolder en Boerengat de meest zware en milieubelastende. De kanaalzone wordt begrensd door infrastructuur (spoor en wegen). Aan weerszijden is het landschap van een heel andere aard en opbouw: kreken, dijken, akkerbouw, boomgaarden, kleinere dorpen en vrijstaande boerderijen bepalen er het beeld.

Vanwege haar schaal en functie is de kanaalzone geschikt voor het plaatsen van windturbines. Landschappelijk gezien bestaat in de kanaalzone vooral in/rondom de meest grootschalige industriegebieden en langs infrastructurele lijnen (N253, kanaal) aanleidingen voor het plaatsen van turbines. Langs het kanaal is dat echter, vanwege onder andere de nabijheid van bebouwing, maar beperkt mogelijk. Delen van de tracés van de N253 en de toekomstige N61 (verlegde Tractaatweg en de aansluiting op de Westerscheldetunnel) lijken beter geschikt.

Relatie met turbines en andere hoog opgaande elementen

In de directe omgeving van de Koegorspolder zijn geen windparken van formaat te vinden. De dichtstbijzijnde locaties zijn gelegen aan de Westerschelde, dichtbij Griete (2 turbines) en in Perkpolder (8 turbines).

In de Eendragtspolder is een windturbinepark in ontwikkeling. De afstand tussen de Koegorspolder en de Eendragtspolder is dermate groot dat landschappelijk van onderlinge beïnvloeding geen sprake is. De Eendragtspolder is ook een gebied dat in het provinciale streekplan windenergie is opgenomen.

De ontwikkeling van een windpark in de Koegorspolder zal geen onrust in het beeld, door nabijheid van andere windturbines, tot gevolg hebben. Wél zal in de planvorming rekening moeten worden gehouden met andere hoog opgaande elementen (fabriekspijpen, silo's) in en om het gebied.

1.6.2 Plangebied

Aard gebied

Het grondgebruik in de Koegorspolder is deels industrieel, deels landbouwkundig. Langs het kanaal bevinden zich een voormalige cokes- (nu HEROS) en een stikstofbindingsfabriek (Hydro Agri Sluiskil). Langs de Koegorsstraat ligt een stortplaats en tussen de Koegorsstraat en de Tractaatweg zijn akkerbouwbedrijven aanwezig. De ruimtelijke opzet is grootschalig: een rationele verkaveling met percelen van formaat, fabrieksgebouwen die hoog zijn en/of enorme maten hebben.

In de toekomst zal het gebied steeds sterker een industrieel karakter krijgen, met de planning van onder andere een baggerspeciedepot, recyclingfuncties en een (toekomstige) grote warmte-kracht-centrale. Het ruimtelijk beeld zal nog sterker van een rationele opzet en grootschaligheid getuigen. Ook de milieubelasting (geluid, geur) blijft aanwezig en zal wellicht nog enigszins toenemen. De grote windturbines sluiten in schaal en functie aan bij dat grootschalige, industriële karakter. Bij plaatsing van windturbines moeten de in het gebied aanwezige hoog opgaande elementen in ogenschouw worden genomen.

Randvoorwaarden

De belemmeringen voor het plaatsen van windturbines in de Koegorspolder zijn beschreven in paragraaf 1.2. Deze vloeien voort uit aanwezige elementen, maar tevens uit reeds vastgelegde toekomstige bestemmingen. Royal Haskoning heeft getracht om verschillende samenhangende lijn- en parkopstellingen binnen de randvoorwaarden te ontwikkelen. Deze dienen als handreiking voor het ontwerp van Windpark Koegorspolder.

1.7 Parkopstelling

Door rekening te houden met de harde belemmeringen, de geluidnorm en landschappelijk zo veel mogelijk samenhang te creëren, is een parkopstelling ontwikkeld, die past binnen de geluidzonering van het industrieterrein Koegorspolder.

Vanaf het kanaal van Gent naar Terneuzen is ten zuiden van de nieuw aan te leggen Tractaatweg een rij windturbines gepland. Deze rij loopt naar het zuiden door tot aan de Spuikreekweg. Vanaf het noorden van de Koegorspolder loopt een goederenspoorlijn naar het zuidoosten van de polder. Ten noorden van deze spoorlijn wordt een rij turbines gepland. Een uitzondering daarop is de turbine nabij de Kruisweg. Deze windturbine staat langs de zuidzijde van de spoorbaan op een klein perceel. Hierdoor wordt het landbouwperceel aan de andere zijde van de spoorbaan ontzien wat betreft obstakels voor de bewerking van het land. Op het terrein van het slibdepot is voldoende ruimte voor het plaatsen van een drietal windturbines aan de west rand van het terrein. Tevens kunnen vier windturbines geplaatst worden langs het zijkanaal C.

Deze opstelling is in kaart gebracht in bijlage A. Het te plaatsen aantal windturbines bedraagt maximaal 22.

2 AKOESTISCHE BEOORDELING

Vanwege de grote invloed van de geluidsnorm voor woningen buiten het plangebied op het inrichtingsplan is voor de woningen gelegen aan de Graaf Jansdijk ter hoogte van Schapenbout een plan met in achtname van de geluidsnorm conform het gestelde in het Plan van Aanpak Kanaalzone Zeeuwsch-Vlaanderen. Hierin is een grenswaarde van 37 dB(A) aan de zuidoostzijde van de Koegorspolder gesteld.

2.1 Achtergrondgeluid

Uit berekeningen van de geluidbelasting vanwege het industrieterrein zoals uitgevoerd door adviesbureau Schoonderbeek en Partners op de omgeving blijkt dat buiten de polder de woningen nabij de Schapenbout maatgevend zijn voor de geluidbelasting van de windturbines. Adviesbureau Peutz heeft daarom ten behoeve van deze woningen onderzoek uitgevoerd naar het achtergrondgeluidniveau ter plekke. Hieruit blijkt dat in de toekomst de

geluidbelasting vanwege de Traktaatweg (N61) maatgevend zal zijn voor het achtergrond geluidniveau. De uitgangspunten bij de berekeningen zijn weergegeven in bijlage C. De resultaten staan vermeld in tabel 2.1

Tabel 2.1 Geluidbelastingen in dB(A) anno 2010 vanwege de Tractaatweg op verschillende afstanden.

Afstand	Dagperiode		Nachtperiode	
	L_{eq}	L_{eq-10}	L_{eq}	L_{eq-10}
25 m	64,0	54,0	57,0	47,0
50 m	60,0	50,0	52,5	42,5
150 m	52,5	42,5	45,5	35,5
350 m	47,0	37,0	39,5	29,5

De afstand tussen de Tractaatweg en de maatgevende woningen bedraagt circa 125 meter. Dit betekent dat gedurende de maatgevende nachtperiode het achtergrond niveau circa 47 dB(A) bedraagt. Dit betekent een etmaalwaarde van 57 dB(A), terwijl het zogenaamde referentieniveau (L_{eq-10}) 37 dB(A) is. Vanuit de zoneringsplichtige industrie is de toegestane geluidbelasting vastgesteld op 55 dB(A) etmaalwaarde, derhalve op een L_{eq} van 45 dB(A) 's nachts. De toekomstige geluidbelasting zal derhalve bij de maatgevende woningen zowel door het industrielawaai als door het verkeerslawaaï worden bepaald. Gezien de grote variatie in het geluidniveau zal de hinderlijkheid van het verkeerslawaaï dominant zijn.

2.2 Geluidsterkte van de windturbines

Windpark Koegorspolder zal bestaan uit windturbines met een variabel toerental. Met behulp van het variabele toerentalprincipe kan het toerental van de turbine zodanig worden bijgesteld, dat de geluidproductie (bronsterkte) bij een bepaalde windsnelheid lager wordt. In het projectontwerp is bewust gebruik gemaakt van deze regelstrategie, waardoor in de polder enkele turbines méér geplaatst kunnen worden dan bij een niet-geregeld bedrijf. Het bronvermogen van elke windturbine zal 101 dB(A) bedragen bij een windsnelheid van 8 m/s.

Tabel 2.2 geeft een overzicht van de bronsterkte van twee mogelijke windturbines conform de norm IEC 61400-11 standard: Wind turbine generator systems-Part II: Acoustic noise measurement techniques (DIS-1998-01). Volgens deze norm wordt gemeten bij een windsnelheid van 8 m/s en op een hoogte van 10 meter.

Tabel 2.2 Bronsterkte van de geplande windturbine

Turbine	Vestas V80	Nordex N80
Rotordiameter [m]	80	80
Ashoogte [m]	85	80
Vermogen [kW]	2000	2500
Bronsterkte dB(A)	101	101

Met de in tabel 2.1 genoemde waarden van de bronsterkte als uitgangspunt zijn berekeningen uitgevoerd. De berekeningen zijn uitgevoerd conform "Handreiking Industrie-lawaai en vergunningsverlening van oktober 1998".

In het gebruikte rekenmodel wordt aangenomen dat de windturbines puntbronnen zijn. Deze bronnen zijn rondom vrij uitstralend. De hoogte van de bron is gelijk aan de ashoogte van de windturbine. Het rekenmodel is gevoed met gegevens over de A-gewogen verdeling van het geluidsvermogen per octaafband. Tabel 2.3 geeft een overzicht van het geluidsvermogeniveau (L_w) van de geplande windturbines.

Tabel 2.3 Geluidsvermogeniveau als functie van de frequentie (A-gewogen verdeling van het geluidsniveau per octaafband)

Frequentieband	L_w volgens Nordex N80 [dB(A)]
L_w (A-gewogen)	101,0
63 Hz	85,0
125 Hz	88,8
250 Hz	91,0
500 Hz	94,2
1.000 Hz	96,6
2.000 Hz	93,4
4.000 Hz	89,1
8.000 Hz	82,9

Elk van deze puntbronnen heeft een geluidsoverdracht naar een bepaald immissiepunt. In geval van meerdere windturbines zullen immissies worden opgeteld. Immissiepunten van gelijke waarde vormen gezamenlijk een gesloten lijn rondom de windturbinelocatie. Deze lijn wordt een geluidscontour genoemd.

Naast een 40 dB(A) contour is het 45 dB(A) contour ingetekend op de plattegrond van het windpark. Beide contouren vormen de resultaten van de geschetste geluidsberekeningen. Wanneer windturbines worden ingezet met een grotere ashoogte dan 80 meter, dan zullen de geschetste geluidscontouren enkele meters dichter bij de voet van de windturbines liggen.

2.3 Berekenende geluidbelastingen

De oostzijde van het industrieterrein Koegorspolder heeft een geluidszone met een maximale belasting van 55 dB(A) op de gevels van de woningen aan de Graaf Jansdijk ter hoogte van Schapenbout. Deze geluidszone wordt ingevuld door aanwezige en geplande activiteiten op het industrieterrein. In opdracht van de gemeente Terneuzen hebben geluidskundigen van het bureau Schoonderbeek en Partners Advies BV onderzoek gedaan naar de invulling van de toekomstige geluidsruimte. De conclusies uit dit onderzoek geven aan dat het onderhavige plan binnen de beschikbare geluidsruimte realiseerbaar is.

Beschouwing

Tabel 2.5 geeft een overzicht van de geluidbelastingen die met het parkontwerp worden gerealiseerd. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen de geluidbelastingen ten gevolge van het windpark en van de overige bronnen volgens de opgave van bureau Schoonderbeek en partners.

Tabel 2.5 Geluidbelasting (etmaalwaarden in dB(A)) bij woningen Schapenbout ten gevolge van het windpark, andere geluidbronnen en het totaal.

	Windpark	Bestaande industrie	Uitbreiding industrie	Totaal Industrie	Wegverkeer	TOTAAL
Geluidbelasting	47	51	52	55	57	59,2

In de betreffende woningen wordt waarschijnlijk de grootste hinder ondervonden van het vrachtverkeer in de vroege ochtenduren. Het geluid van de windturbines zal zelden waarneembaar, laat staan hinderlijk zijn.

3 LANDSCHAPPELIJKE BEOORDELING

3.1 Beoordelingswijze

In dit hoofdstuk wordt de door KEMA – in samenspraak met Royal Haskoning - ontwikkelde opstelling toegelicht en beoordeeld.

Royal Haskoning (voormalig bureau Zandvoort) heeft in een eerdere studie [11] onderzoek verricht naar een aantal opstellingen. Daarbij draaide het in eerste instantie om het vinden van een opstelling met, naast de lijn langs de Tractaatweg, een tweede lijn (bijv. langs Koegorsstraat) of cluster. Echter, vanwege de vele beperkende randvoorwaarden in de Koegorspolder, zijn dergelijke alternatieven niet realiseerbaar gebleken. Het onderhavige ontwerp is beschouwd in een recent onderzoek. De volledige rapportage van dit onderzoek is opgenomen onder bijlage D.

De beoordelingscriteria waaraan wordt getoetst zijn ontleend aan ervaringen opgedaan bij vergelijkbare landschappelijke toetsingen. In dit specifieke geval zijn onderstaande criteria relevant:

Gevolgen voor de landschappelijke opbouw

Windturbines hebben, zeker wanneer ze in groot aantal geplaatst worden, een grote invloed op de beleving van het landschap. Die invloed is niet altijd positief, echter de landschappelijke karakteristieken en kwaliteiten kunnen ook met windturbines worden benadrukt. De keuze om óf een geheel nieuwe (heldere) structuur toe te voegen óf met de plaatsing van turbines aanwezige structuren (infrastructuur, kavelrichting), te begeleiden en daarmee benadrukken, is in dit kader van belang.

Kwaliteit van de opstelling

De kwaliteit van de opstelling wordt bepaald door onder andere:

- voldoende afstand tussen diverse (deel)opstellingen
- strakke lijnvoering
- ontbreken van hiaten in een opstelling en gelijke tussenafstand
- kleurstellingen die specifiek zijn aangepast aan de opstelling en de landschappelijke context
- gelijkheid in type turbine (hoogte, rotordiameter, draairichting en aantal turbinebladen)

In deze fase van de planvorming, waarin het gaat om het beoordelen van een parkopstelling waarvoor kleur nog niet is bepaald, maar waarvoor wel vaststaat dat 1 type zal worden gebruikt, zijn vooral de eerste vier punten van belang.

3.2 Parkopstelling

Omschrijving

De opstelling bestaat uit een viertal lijnen en een solitaire turbine:

- Een gebogen lijn van 8 turbines ten zuiden van de Tractaatweg
- Een lijn van 3 turbines langs de westrand van het (toekomstig) slibdepot
- Een gebogen lijn van 6 turbines te noorden van het goederenspoor
- Een lijn van vier turbines ten noorden van het Zijkanaal C
- Een solitaire turbine ten oosten van de Kruisweg

In het onderhavige ontwerp van het windpark volgt de gebogen lijn van 8 windturbines de Tractaatweg, zoals beschreven in de rapportage van Royal Haskoning. Door vernieuwde gegevens (verkregen bij Rijkswaterstaat, juni 2002) over de ligging van de tunnel onder het Kanaal Terneuzen Gent zijn de windturbines 1 en 2 iets zuidelijker gepositioneerd dan in de gegevens van Haskoning is opgenomen. Dit heeft echter geen gevolgen voor de beoordeling van de opstelling.

Beoordeling locatie

Het gebied Koegorspolder is zowel in functioneel als in ruimtelijk opzicht geschikt als windturbinelocatie:

- windturbines passen bij het industrieel karakter van het gebied
- windturbines passen bij de grootschaligheid van het gebied.

Beoordeling opstelling

In de Koegorspolder is gekozen voor een optimale benutting van de beschikbare ruimte en daardoor een relatief groot aantal turbines. Dat leidt ertoe dat:

- de parkopstelling geen heldere grenzen kent
- de voorgestelde lay-out het midden houdt tussen één of twee groepen turbines

Voor de twee "vrijstaande" turbines aan weerszijden van spoor en Koegorsstraat en het hiaat dat vanwege technische belemmeringen ontstaat ter hoogte van Hydro-Agri dragen bij aan onrust in het beeld en aan onduidelijkheid in de begrenzing van de (deel)opstellingen.

Beoordeling kwaliteit van de opstelling

Vanwege de vele belemmeringen die in de Koegorspolder aanwezig zijn zal het totaalbeeld van de parkopstelling nogal rommelig zijn. Hiermee wordt aangesloten op het schijnbaar chaotisch patroon van andere hoog opgaande elementen in het gebied.

Royal Haskoning heeft in haar rapportage enkele aanbevelingen gedaan ten aanzien van opstellingsvarianten die de landschappelijke kwaliteit van het windpark zouden kunnen verhogen. Randvoorwaarden ten aanzien van risico en geluid sluiten realisatie van deze varianten echter uit.

Zoals in de eerdere rapportage van Royal Haskoning [11] genoemd is de landschappelijke kwaliteit van het gebied door de aanwezigheid van de industrie gering. De aanleg van het windpark kan daardoor de landschappelijke kwaliteit slechts in beperkte mate beïnvloeden.

4 VEILIGHEIDSRISICO'S

Door NRG is onderzoek uitgevoerd naar risico's van de plaatsing van windturbines in de Koegorspolder. Dit onderzoek is volledig opgenomen in bijlage E. Een beknopte samenvatting volgt in dit hoofdstuk.

4.1 Onderzoek

Een aantal windturbines is gesitueerd op een korte afstand van de huidige spoorlijn. Deze spoorlijn wordt alleen ingezet voor goederenvervoer en is niet voorzien van een bovenleiding. De werkgroep Windenergie van NS Railinfrastructuur heeft onderzoek gedaan naar risico's van windturbines nabij spoorwegen [3]. Resultaat van dit onderzoek is een positieve beoordeling van windturbines, waarvan bladen over de spoorweg draaien. Randvoorwaarde is dat het een spoorlijn betreft waarbij geen bovenleiding aanwezig is. Binnen de Koegorspolder wordt aan deze randvoorwaarde voldaan, zodat geen belemmeringen ten aanzien van plaatsing op korte afstand van het goederenspoor aanwezig zijn.

In het ontwerp staan windturbines op een korte afstand tot het toekomstig leidingtracé en een gasontvangstation. Het op korte afstand gevestigde bedrijf Hydro Agri heeft opslag van gevaarlijke stoffen (ammoniak, salpeterzuur, reforming-E) op haar terrein. Om inzicht te krijgen in de risico's van plaatsing van windturbines op korte afstand van de genoemde

objecten is door NRG een risicoanalyse [8 en bijlage E] uitgevoerd. Getoetst is aan de normen voor individueel risico en groepsrisico voor mensen, zoals opgesteld door het ministerie van VROM. Daarnaast is de bijdrage van het windpark aan de storingskans van objecten berekend.

4.2 Conclusies en aanbevelingen

NRG komt tot de volgende conclusies:

Personen

- De VROM norm voor individueel risico (de kans dat een persoon overlijdt als deze zich 24 uur per etmaal zonder bescherming op dezelfde positie bevindt), te weten 10^{-6} /jaar, wordt bij elke windturbine binnen een straal van 130 meter vanaf het hart van de mast overschreden.
- Het maximale risico aan de voet van elke windturbine bedraagt $8,5 \cdot 10^{-6}$ /jaar.
- Gezien de geringe bevolkingsdichtheid in het gebied is het groepsrisico (de kans dat 10 of meer personen op korte termijn overlijden) niet aan de orde.
- Risicocontouren zijn gebaseerd op 24 uren aanwezigheid. Op elke locatie nabij de windturbines zijn de risico's voor personen met een verblijfsfractie kleiner dan 10 % aanvaardbaar.
- De risico's op de (nieuwe) Tractaatweg, de Industrieweg en de goederenspoorlijn waarin rekening wordt gehouden met 24-uurs aanwezigheid, voldoen ruimschoots aan de door VROM gestelde eisen.

Objecten

- De bijdrage van het windpark aan de bezwijkkans van objecten is:
 - verwaarloosbaar voor de leidingen en kabels in het leidingentracé
 - Verwaarloosbaar voor salpeterzuurfabriek 6 van Hydro Agri
 - $3,8 \cdot 10^{-6}$ per jaar (eens per 260.0000 jaar) voor salpeterzuurfabriek 7 van Hydro Agri
 - nihil voor beide ammoniaktanks op het terrein van Hydro Agri
 - een factor 10 lager dan de bezwijkkans voor ketelwagens (eens per 2 miljoen jaar).
- Voor de fabricage van salpeterzuur en het gasontvangststation is geen vergelijking beschikbaar. De trefkans varieert tussen eens per 77.000 jaar (gasontvangststation) en eens per 260.000 jaar (salpeterzuur). De bezwijkkans van een kritisch onderdeel is niet onderzocht, maar zeker een orde van grootte lager dan de trefkans. Bovendien betreft het stoffen die na bezwijken van een kritisch onderdeel slechts in geringe mate in het milieu terecht kunnen komen.

4.3 Risicoverminderende maatregelen

Op een aantal locaties zal de toevoeging van windturbines in de omgeving een risicoverhoging van reeds aanwezige installaties tot gevolg hebben. De risicoverhoging is door NRG vastgesteld. Deze risicoverhoging leidt niet tot een overschrijding van de aanvaardbare risico's zoals deze worden gesteld door VROM.

TNO heeft beoordeeld [12] voor welke installaties een toename in bezwijkkans aanwezig is. Deze rapportage is gebaseerd op het ontwerp volgens het eerste inrichtingsplan van 13 april 2001. Ten opzichte van dit ontwerp zijn de windturbines ten gunste van de nabij gelegen ammoniaktanks verplaatst.

NRG heeft in haar onderzoek een aanbeveling gedaan ten aanzien van de opstelplaats van ketelwagens. Wanneer de ketelwagens binnen het terrein van Hydro Agri Sluiskil op een andere plaats kunnen worden opgesteld, is de toename in bezwijkkans naar nul teruggebracht.

KEMA heeft op verzoek van WinWind de eerder gekozen posities van de windturbines langs het spoor herzien, zodat geen van de turbines binnen een straal van 250 meter van de ammoniaktanks staan. NRG noemt in haar rapportage 250 meter als de grootste werpafstand van een geheel rotorblad. Risico voor bezwijken van de ammoniaktanks ten gevolge van een inslag is hiermee tot nul gereduceerd.

De faalkans van windturbines is vastgesteld uit continu onderzoek en datainzameling van bestaande windturbines. De nieuwe generatie windturbines is uitgerust met een additionele stilstandbeveiliging. Naast een te hoge windsnelheid of een te hoog toerental van de rotor zal de windturbine ook worden stilgezet bij een naderend onweer. De faalkans van windturbines wordt verlaagd door toepassing van deze stilstandbeveiliging bij naderende bliksem.

5 SLAGSCHADUWONDERZOEK

Het karakteristieke kenmerk van de schaduw van een draaiende windturbine is een roterende beweging. Door mensen die zich in de openlucht of binnenshuis bevinden, kan deze schaduw als hinderlijk worden ervaren. KEMA heeft voor het "Windpark Koegorspolder" onderzocht welk gebied wordt beschaduwd door de draaiende windturbines.

Voor het windparkontwerp worden twee contouren weergegeven. De ene contour omvat het gebied waarbinnen alle gecumuleerde schaduwbanen zich zullen bevinden. Een tweede contour betreft het gebied waarbinnen de slagschaduw zich boven de richtlijn bevindt, zoals omschreven in de Algemene Maatregel van Bestuur Voorzieningen en Installaties milieubeheer; deel Windturbines (AMvB) [4]. Deze richtlijn is in deze alleen van toepassing op woonhuizen, niet op bedrijfspanden. Bij beide contouren wordt rekening gehouden met aspecten als schaduwval en -scherpte.

5.1 Schaduwval

5.1.1 Gevolgen van lichtsterktewisseling

Wanneer er periodieke veranderingen optreden in de belichting of belichtingsintensiteit van het gezichtsveld dan spreken wij van lichtsterktewisseling (schaduwhinder door windturbines). Het effect van lichtsterktewisselingen is voornamelijk afhankelijk van de frequentie. Bij frequenties lager dan 1 Hz wordt iedere verandering in lichtintensiteit als zodanig ervaren.

Boven een bepaalde frequentie worden zogenaamde flikkeringen niet meer afzonderlijk waargenomen. Deze grens wordt de flikkerfusiefrequentie genoemd en ligt in de regel bij 50-80 Hz. Bij de televisie en film maakt men dankbaar gebruik van dit effect om de kijker de illusie van vloeiende beelden te geven.

Flikkerfrequenties die dicht bij de fusiefrequentie liggen kunnen als hinderlijk worden ervaren. Dit is onder meer te vergelijken met een te traag lopende film. Een ander voorbeeld is een knipperende TL-buis. Uit verschillende experimenten is gebleken dat frequenties in het gebied tussen de 1 Hz en de flikkerfusiefrequentie problemen kunnen geven. Onder meer bij experimenten ten behoeve van het plaatsen van verlichting in verkeerstunnels kwam men tot de conclusie dat de meeste (proef)personen flikkerfrequenties van 5-10 Hz als hinderlijk ervaren. Ook uit andere onderzoeken blijkt dat de mens een maximale gevoeligheid heeft voor flikkeringen tussen de 8 en 10 Hz. Onder de 2,5 Hz en boven de 14 Hz treedt nagenoeg geen hinder op.

Behalve de frequentie van lichtflikkeringen zijn ook factoren als de kleur en de intensiteit van de lichtbron, het verschil in intensiteit tussen licht en donker (contrast) en de blootstellingduur van belang voor de uiteindelijke uitwerking van lichtflikkeringen. De invloed van deze factoren kan slechts kwalitatief worden beschreven, omdat deze sterk afhangt van de omstandigheden waaronder mensen worden blootgesteld aan lichtflikkeringen. Bovendien zijn deze factoren minder systematisch onderzocht dan de flikkerfrequentie. Dit wordt vooral veroorzaakt door het feit dat hun uitwerking op proefpersonen die gevoelig zijn voor lichtflikkeringen, nogal grote verschillen vertoonde.

Wat betreft mogelijke hinder door slagschaduw van windturbines zijn met name de intensiteit, het contrast en de blootstellingduur van belang. In het algemeen kan worden gesteld dat, hoe groter de intensiteit en het contrast en hoe langer de blootstellingduur, des te groter de kans op hinder.

Bij periodieke veranderingen in de lichtintensiteit wordt in de literatuur vaak het begrip modulatie diepte gehanteerd. Dit is de maat voor de afwijking van de maximale en minimale lichtsterkte ten opzichte van het gemiddelde lichtniveau. In het kader van dit onderzoek is de beschouwing van de modulatie diepte te specifiek.

Deze is onder andere afhankelijk van de afstand van de waarnemer tot de turbine, de wiekbreedte, de heersende lichtintensiteit en de passeerfrequentie van de wieken. Daarnaast bestaat er ook voor de modulatie diepte geen eenduidig verband met lichthinder en eventuele effecten op de mens.

Uit het voorafgaande kan worden geconcludeerd dat lichtflikkeringen met frequenties tussen 2,5 en 14 Hz vermeden dienen te worden.

5.1.2 Kans op schaduwval

Een slagschaduw ontstaat wanneer de zon voldoende schijnt. Tabel 5.1 geeft een overzicht van het aantal uren zon per maand. Gemiddeld staat gedurende ongeveer 51% van de tijd in een jaar de zon hoger dan 5 graden aan de horizon. Wanneer de zon lager dan 5 graden staat, is de schaduw die ontstaat verwaarloosbaar. Met inachtneming van de gemiddelde bewolgingsgraad kan gesteld worden dat voor 33% van de tijd dat de zon hoger dan 5 graden aan de horizon staat, er ook daadwerkelijk sprake is van direct zonlicht en dus schaduwval. Dit is aangegeven in de volgende tabel.

Tabel 5.1 Aantal uren zon per maand

Maand	Tijd tussen zonsopkomst en Zonsondergang in uren	uren zon	kans op zon (mits boven de horizon)
Januari	255	54	0,212
Februari	280	68	0,243
Maart	364	115	0,316
April	420	163	0,388
Mei	488	210	0,430
Juni	498	215	0,432
Juli	500	195	0,390
Augustus	453	180	0,397
September	376	138	0,367
Oktober	333	96	0,288
November	262	50	0,191
December	240	38	0,158
Totaal	4.469	1.522	0,34

Een stilstaande rotor kan geen lichtsterktewisseling veroorzaken, waardoor geen schaduw hinder optreedt. Aangenomen wordt dat een windturbine pas vanaf een windsnelheid van 4 m/s effectief wordt ingezet, dit is circa 75% van de tijd in een jaar. De kans op schaduw hinder bedraagt dus ongeveer $0,33 \cdot 0,75$ is 0,25. Oftewel, gedurende 25% van de tijd dat de zon hoger dan 5 graden boven de horizon staat, kan er schaduw hinder optreden.

Tabel 5.2 geeft aan hoe groot de kans is dat de wind (> 4 m/s) uit een bepaalde richting komt. Deze waarden gelden voor meetstation De Bilt, maar zijn voldoende representatief voor de locatie Terneuzen.

Tabel 5.2 Weegfactoren voor alle windrichtingen (meetstation De Bilt)

Windrichting	Weegfactor	Aantal bedrijfsuren
Noord	5,82%	382
Noordnoordoost	5,87%	386
Oostnoordoost	7,45%	489
Oost	8,11%	533
Oostzuidoost	4,50%	296
Zuidzuidoost	5,45%	358
Zuid	8,17%	537
Zuidzuidwest	13,16%	865
Westzuidwest	14,10%	926
West	11,67%	767
Westnoordwest	8,30%	545
Noordnoordwest	7,40%	486
Totaal	100,00%	6.570

5.1.3 Schaduwscherpte

De scherppte van de schaduw is mede bepalend voor de hinder die wordt ondervonden. De scherppte is afhankelijk van de afstand tot de turbine en de intensiteit van het zonlicht.

Wanneer de wiek breed genoeg is om de volledige zon te bedekken is de scherppte het grootst; alle zonlicht wordt immers tegengehouden. Op een grotere afstand zal de wiek de zon niet volledig meer kunnen bedekken, waardoor een gedeelte van het zonlicht toch de waarnemer bereikt; de scherppte van de schaduw wordt minder. Wanneer de schaduw minder wordt, neemt de intensiteit van de flikkering af.

Bij lage zonnestanden is de scherppte van de schaduw gemiddeld minder dan bij een hogere stand van de zon. Nevel en sluierbewolking temperen de laagstaande zon relatief vaak. Bij een zonnestand lager dan 5 graden (ongeveer 40 minuten voor zonsondergang en 40 minuten na zonsopkomst) zal geen hinder worden veroorzaakt. Bij deze lage zonnestand is het denkbaar dat het zonlicht reeds wordt weggenomen door bomen of gebouwen aan de horizon. Dit aspect houdt in dat windturbines met een ashoogte van 85 meter vanaf het maaiveld en een rotordiameter van 80 meter, die met hun voet ongeveer 1.430 meter van een gevel staan, hierop geen schaduw zullen veroorzaken.

5.2 Richtlijnen

5.2.1 Inleiding

Er bestaan geen formele normen ten aanzien van schaduwhinder. In de AMvB zijn wel richtlijnen geplaatst met betrekking tot het bedienen van een windturbine installatie. Het betreft hierbij onder andere de passeerfrequentie en de schaduwduur van de slagschaduw. In de volgende paragrafen worden deze onderwerpen nader belicht.

5.2.2 Passeerfrequenties

In de betreffende AMvB wordt aangegeven dat het optreden van slagschaduw met passeerfrequenties tussen 2,5 en 14 Hz ter plaatse van woningen of andere gevoelige bestemmingen moet worden voorkomen. Een windturbine wordt door middel van een stilstandvoorziening stilgezet indien de passeerfrequentie hoger is dan 2,5 Hz.

5.2.3 Schaduwduur

Zoals de AMvB aangeeft blijkt uit jurisprudentie ten aanzien van de hinderduur dat geen absolute afwezigheid van hinder als uitgangspunt genomen hoeft te worden. Dit afgezien van de beperkingen ten aanzien van passeerfrequentie (niet tussen 2,5 - 14 Hz). Zo is een hinderduur van maximaal 64 (en gemiddeld 17) dagen per jaar met een maximum van 20 minuten per dag als aanvaardbaar te beschouwen. Omgerekend is de maximale hinderduur per jaar ongeveer 21 uren, hetgeen betekent dat de gemiddelde hinderduur ongeveer 5 uren per jaar (ongeveer 25% van de maximale hinderduur, zie paragraaf 5.2.2) zal bedragen, gezien het veelvuldig afschermen van de zon door bewolking of een te lage windsnelheid.

5.2.4 Lichtschittering

Lichtschitteringen worden zoveel mogelijk voorkomen of beperkt door toepassing van lichtabsorberende materialen of coatinglagen. Het meten van reflectiewaarden vindt plaats volgens de internationale richtlijn ISO 2813, tweede editie 1978 "Paints and varnishes measurement of specular gloss of non metallic paint films at 20°, 60° and 85°".

Bij selectie van de definitieve turbinekeuze zal bij de fabrikant worden aangedrongen op een zoveel mogelijk voorkomen van lichtschitteringen. Hiermee zullen de windturbines voldoen aan de in de AMvB gestelde voorwaarden.

5.3 Turbinegegevens en positie

Voor het windpark Koegorspolder is een ontwerp gemaakt waarbij de windturbines voorzien zijn van een rotor met 3 bladen. De rotor draait met een toerental van 8 tot 22 omwentelingen per minuut. Dit geeft een frequentie van wisseling van lichtsterkte van 0,4 Hz tot 1,1 Hz (wisselingen per seconde). De frequentie van de bewegende slagschaduw ligt dus ruimschoots onder de 2,5 Hz, de in de AMvB vermelde limiet.

5.4 Berekende schaduwcontouren

Met de in paragraaf 5.1.2 genoemde statistieken zijn de schaduwbanen bepaald die worden veroorzaakt door het geplande windpark.

Om een duidelijk beeld te geven van plaatsen waar de schaduwbanen zullen lopen zijn deze banen gecumuleerd in kaart gebracht. Hierdoor ontstaat rondom het windpark een contour van het gebied waarbinnen de schaduwbanen zich bevinden en kan een contour worden aangegeven waarbinnen slagschaduw een aantal uren per jaar aanwezig zal zijn. De norm genoemd in de beschreven AMvB bedraagt 21 uren maximale slagschaduw. In de praktijk is dit gemiddeld 5 uren, zodat een "5-uren" contour is geconstrueerd.

Figuur 5.1 toont de 0 uur contour (groen) van het gebied waarbinnen alle schaduwbanen van het geplande windpark zich bevinden. De afstand van de voet van de mast aan de rand van het windpark tot de uiterste 0 uur contour is ongeveer 700 meter. In figuur 5.1 is ook de "5-uren" contour (rood) ingetekend waarbinnen de slagschaduw boven de normen komt, gesteld in de AMvB. De afstand van de voet van een mast aan de rand van het windpark tot de uiterste 5 uren contour is ongeveer 1.100 meter.

Hinder door slagschaduw blijft beperkt tot enkele uren per jaar. De mate waarin dit optreedt kan met goede nauwkeurigheid berekend worden uit de stand van de zon over het jaar en de locatie van de turbines ten opzichte van een hindergevoelig object. Enige hinder kan optreden ten oosten van de polder, bij de woningen aan de Graaf Jansdijk, tijdens de zomer in de late avond en in Sluiskil bij de woningen rondom De Sterre nabij windturbine 1. Indien nodig, kunnen één of meer turbines worden stilgezet op tijdstippen wanneer zich hinder zou kunnen

[illegible]

Figuur 5.1 Slagschaduwcontouren (het "0-uren" contour is groen, het "5-uren" contour rood)

6 VERSTORING TV-ONTVANGST

De woningen in Terneuzen en in de wijde omgeving ontvangen het tv-signaal van de zender in Goes, ongeveer 20 km ten noorden van het windpark. Bij de ontvangstantenne van een tv-signaal wordt het directe signaal samengevoegd met vertraagde en verstoorde signalen afkomstig van weerkaatsingen door het windpark. De verstoring van de ontvangst is merkbaar als helderheidsvariaties van het beeld, iedere keer dat de "schaduw" van een blad op de ontvangstantenne valt. Uit laboratoriumproeven is gebleken, dat dynamische verstoringen veroorzaakt door bewegende bladen veel belangrijker zijn dan de statische verstoring door het vaste deel van de turbinemast. De dynamische verstoring is zichtbaar aanwezig in de vorm van helderheidsfluctuaties bij een bepaalde verhouding van signaalsterkte en verstoringsterkte. Andere componenten van het signaal, zoals kleur, geluid en teletekst blijken minder gevoelig voor verstoring. Metingen in het veld hebben aangetoond dat de verstoring zeer lokaal is.

Het verstoringniveau is rechtevenredig met het kwadraat van de rotordiameter (80 m) en de hoogte (85 m). Het beïnvloedingsgebied van het windpark Koegorspolder in het tv-signaal van de zender in Goes is in figuur 6.1 weergegeven.

Het is mogelijk eventuele verstoring van tv-signaal in de omgeving technisch op te lossen. De technische oplossingen die noodzakelijk zijn voor het voorkomen van verstoring van het TV-signaal komen ten laste van de eigenaar van het windpark, WinWind.



Figuur 6.1 Het beïnvloedingsgebied van het windpark Koegorspolder in het tv-signaal van de zender in Goes.

7 TELECOMMUNICATIE EN RADAR

In Terneuzen staat op de coördinaten (46.640, 372.780) een zendmast voor straalverbindingen ten behoeve van telecommunicatie. De straalpaden lopen vanuit deze mast naar het westen (270°), het noorden (12°) en oosten (110°). Er lopen geen straalpaden naar het zuiden.

Door het windpark Koegorspolder lopen geen straalverbindingen van KPN.

Op de brug over het Kanaal Terneuzen-Gent ten noorden van de Koegorspolder zijn een vijftal radarantennes geplaatst op de coördinaten (X= 46.816m,Y=368.306m). Deze radar is een onderdeel van de observatiepost voor de scheepvaart op het Kanaal Terneuzen-Gent. Geen van de geplande windturbinemasten staan tussen de radarantenne en het te observeren gebied. De windturbines zullen de werking van de radar dan ook niet verstoren.

8 NATUURWAARDEN

Door zijn aanwezigheid kan een windpark de bestaande natuurwaarden verstoren. Het gaat dan om kenmerken zoals flora en fauna, verstoring van vogels en biotoopverlies van vogels en andere diersoorten. Als criteria kunnen gehanteerd worden: oppervlakte natuurterrein, betekenis van het gebied voor vogels en vogelhinder.

Nadelige effecten op vogels ten gevolge van windturbines betreffen slachtoffers door botsingen met de turbines, verstoring van broedvogels en verstoring van pleisterende of foeragerende vogels.

Weidevogels

Het landgebruik in de Koegors- en Nieuwe Zevenaarpolder betreft, naast industrie en bewoning, voornamelijk gebruik als akkerland en behoort tot het landschapstype 'nieuwlandgebied'. Deze polders hebben geen waarde als weidevogelgebied en verstoring van broedvogels zal niet van enige omvang zijn.

Ganzen

Foerageergebieden en pleisterplaatsen voor ganzen liggen op afstanden van meer dan 1 km van het geplande windpark Koegorspolder. Verstoring van foeragerende of verblijvende ganzen door het windpark is daarom niet te verwachten. Destijds foerageerden regelmatig

rietganzen en kolganzen op akkers ten zuiden van het zijkanaal, maar door de toenemende industrialisatie langs het kanaal Gent-Terneuzen en in het bijzonder de ontwikkeling van het industrieterrein Axelse Vlake zijn de ganzen hier verdwenen. Verstoring van pleisterende of foeragerende vogels in de Koegors- en Nieuwe Zevenaarpolder ten gevolge van het windpark zal nauwelijks optreden.

Vogeltrek

Over of langs het gebied komen tijdens de vogeltrek geen stuwbanen voor. Ook locale slaap- en voedseltrek over de Koegors- en Nieuwe Zevenaarpolder treedt niet op. Vogeltrek over de Koegors- en Nieuwe Zevenaarpolder zal, zoals over het grootste deel van Nederland, alleen als breedfronttrek optreden. Uit de in Nederland uitgevoerde onderzoeken naar nadelige effecten van windturbines op vogels is gebleken dat het aantal vogels dat door botsing met windturbines omkomt zeer gering is. Bij goed zicht is dit nihil, bij slecht zicht en 's nachts 0,1 tot 0,2% van het aantal passerende vogels. Gezien de situatie in de Koegors- en Nieuwe Zevenaarpolder zal het jaarlijks aantal slachtoffers door botsing gering zijn.

Ecologische hoofdstructuur en ecologische verbindingzones

De Koegors- en Nieuwe Zevenaarpolder maken geen deel uit van de ecologische hoofdstructuur. Een ecologische verbindingzone ligt ten zuiden van de Autrichepolder, ca. 7 km ten zuiden van het windpark.

Het streekplan Zeeland geeft ook aan dat ten aanzien van vogels als gevolg van een windturbinepark geen onevenredige schade aan de vogelpopulatie mag optreden. Uit het voorafgaande blijkt dat hieraan voldaan zal worden.

Samenvattend zijn er nauwelijks negatieve effecten op de natuur ter plaatse van de Koegorspolder ten gevolge van het plaatsen van een windpark aldaar.

9 VISUALISATIES

De in foto's gemonteerde windturbines hebben een rotordiameter van 80 meter en een ashoogte van 85 meter. In figuur 9.1 is aangegeven op welke locatie de foto's zijn gemaakt en welke beeldbegrenzing is gebruikt. De voor de foto's gebruikte beeldhoek en ooghoogte komt nagenoeg overeen met die van het menselijk oog in die situatie. Daardoor komt het beeld zo natuurlijk mogelijk over. De windturbines staan met de rotoren op de wind uit de meest voorkomende richting, namelijk vanuit zuidwestelijke richting.