

# Werkgroep Windenergie



Ministerie van Verkeer en Waterstaat  
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat  
Bouwdienst Rijkswaterstaat



VRWP-R-99004

## Windturbines langs auto-, spoor- en vaarwegen

Beoordeling van veiligheidsrisico's

15 april 1999

## Colofon

*Titel:*

Windturbines langs auto-, spoor- en vaarwegen

*Subtitel:*

Beoordeling van veiligheidsrisico's

*Auteurs:*

P.H. de Jooode  
Mw. Ir. S. Onnink  
ir. B.A. van den Horn

*Werkgroep Windenergie:*

P. H. de Jooode (voorzitter)	NS Railinfrabeheer, Afdeling Noord-Oost (RIB, NO)
ir. H. Braam	Stichting Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN)
ing. R. C. J. van Esseveld	Holland Railconsult (HR)
ir. B. A. van den Horn	Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Bouwdienst
Mw. ir. S. Onnink	Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Directie Zuid-Holland
Mw. ir. P. G. C. M. van Zutphen	NS Railinfrabeheer (RIB)

*Datum publicatie:*

15 april 1999

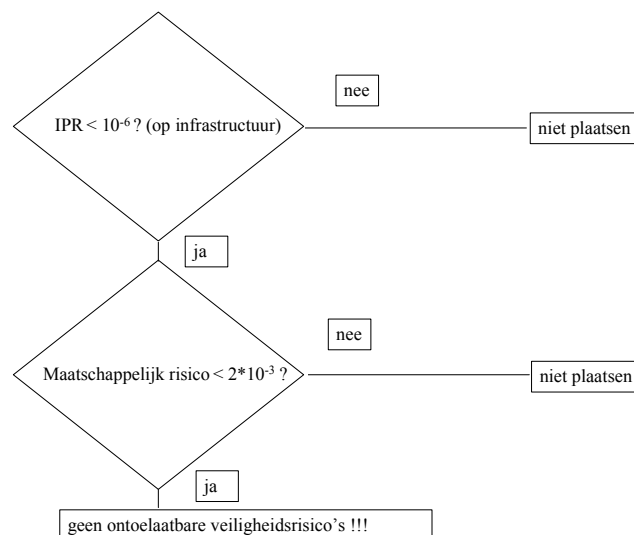
*De werkgroep Windenergie heeft zich gericht op het bepalen en beoordelen van de veiligheidsrisico's ten gevolge van het plaatsen van een windturbine(park) op een zekere locatie. Door de werkgroep zijn enerzijds methoden voorgesteld om veiligheidsrisico's te bepalen en anderzijds is een veiligheidsfilosofie voorgesteld waarmee veiligheidsrisico's voor passanten langs windturbine(parken) kunnen worden beoordeeld. De werkgroep windenergie bestaat uit vertegenwoordigers van het ministerie van Verkeer en Waterstaat (Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat), NS Railinfrabeheer, de Stichting Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN), en Holland Rail Consult.*

## SAMENVATTING

Steeds vaker worden Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland en NS Railinfrabeheer benaderd met aanvragen voor plaatsing van windturbine(parken) langs auto-, spoor- en vaarwegen, of langs dijken, deltadammen, sluiscomplexen en strekdammen. Het beheersen van de veiligheidsrisico's van rotorbladbreek voor passanten op auto-, spoor- en vaarwegen, is een aspect waarmee rekening moet worden gehouden bij het plaatsen van windturbines.

Dit rapport beschrijft een veiligheidsfilosofie met een voorstel voor een praktische beslisregel voor het plaatsen van windturbines vanuit het oogpunt van rotorbladbreek. De veiligheidsfilosofie met de beslisregel voldoet aan een aantal eisen:

- De veiligheidsfilosofie sluit aan op de individuele en maatschappelijke beleving. Dit blijkt uit de keuze van de risicomaat *Individueel Passanten Risico* voor de individuele beleving en *het verwachte aantal doden per jaar* (maatschappelijk risico) voor de maatschappelijke beleving;
- De veiligheidsfilosofie sluit aan bij het externe-veiligheidsbeleid voor inrichtingen en transportactiviteiten;
- De veiligheidsfilosofie met beslisregel is financieel en economisch haalbaar, uniform, eenduidig, helder en uitlegbaar (zie Figuur).



Het rapport bevat twee Casestudies waarin de veiligheidsfilosofie wordt toegepast en een verdere verhoging van de bruikbaarheid voor de vergunningverlener wordt voorgesteld.



## INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING .....	3
1. INLEIDING.....	7
2. VEILIGHEIDSFILOSOFIE IN EEN NOTENDOP .....	9
2.1 Gewenste veiligheid .....	9
2.1.1 Individuele Beleving .....	9
2.1.1.1 Risicomaat voor de passant .....	9
2.1.2 Maatschappelijke beleving.....	10
2.1.2.1 Maat voor het maatschappelijk risico .....	10
2.1.3 Maximaal toelaatbaar Individueel Passanten Risico (IPR) .....	10
2.1.4 Maximaal toelaatbaar Maatschappelijk Risico.....	11
2.2 Beslisregel .....	11
3. UITWERKING .....	13
REFERENTIES .....	15
CASE STUDY 1 RIJKSWATERSTAAT ALS VERGUNNINGVERLENER .....	17
CASE STUDY 2 NS RAILINFRABEHEER ALS VERGUNNINGVERLENER .....	19



## 1. Inleiding

Steeds vaker worden Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland en NS Railinfrabeheer benaderd met aanvragen voor plaatsing van windturbine(parken) langs auto-, spoor- en vaarwegen, of langs dijken, deltadammen, sluiscomplexen en strekdammen.

Het gebruik van een duurzame energiebron zoals windenergie wordt op landelijk niveau door de overheid gestimuleerd, in het kader van de vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot. De landelijke doelstelling is om in het jaar 2000, 1000 MW aan windvermogen te realiseren. Zo heeft bijvoorbeeld de provincie Zuid-Holland een inspanningsverplichting om in 2000 zo'n 150 MW aan windvermogen te installeren, waarvan op dit moment slechts 40 MW is gerealiseerd. Omdat er geen richtlijnen voorhanden zijn ten aanzien van de (on)mogelijkheden om windturbines langs auto-, spoor- en vaarwegen te plaatsen hebben Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland en NS Railinfrabeheer een visie ontwikkeld inzake aanvragen voor het plaatsen van windturbines, en deze visie vervolgens vertaald naar een plaatsingsadvies.

Het beheersen van de veiligheidsrisico's en daarmee het garanderen van voldoende veiligheid voor passanten op nabijgelegen infrastructuur, is een aspect waarmee rekening moet worden gehouden bij het plaatsen van windturbines. Daarbij valt te denken aan veiligheidsrisico's die samen hangen met:

- Rotorbladbreuk;
- Ijsafwerping;
- Het omvallen van de gehele constructie; en
- De verkeersveiligheid; hierbij valt te denken aan het afgeleid raken van automobilisten door windturbineparken langs de weg.

Uit het rapport 'De invloed van windturbineparken op de verkeersveiligheid' van de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV) ref. [1] blijkt dat de risico's die samenhangen met ijsafwerping of het omvallen van de gehele constructie zeer klein zijn. De werkgroep heeft zich daarom beperkt tot de veiligheidsrisico's bij rotorbladbreuk. Ook de relatie tussen windturbines en de verkeersveiligheid is in de werkgroep niet beschouwd. Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland en NS Railinfrabeheer hebben de Stichting Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) laten onderzoeken met welke modellen de veiligheidsrisico's bij rotorbladbreuk het beste kunnen worden bepaald.

Het hier beschreven onderzoek naar de beoordeling van veiligheidsrisico's van rotorbladbreuk is uitgevoerd door de *werkgroep windenergie*, waarin de volgende personen zitting hadden:

P. H. de Joode (voorzitter)	NS Railinfrabeheer, Afdeling Noord-Oost (RIB, NO)
ir. H. Braam	Stichting Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN)
ing. R. C. J. van Esseveld	Holland Railconsult (HR)
ir. B. A. van den Horn	Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Bouwdienst
Mw. ir. S. Onnink	Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Directie Zuid-Holland
Mw. ir. P. G. C. M. van Zutphen	NS Railinfrabeheer (RIB, Systeembeheer)

De *werkgroep windenergie* heeft gezocht naar antwoorden op de volgende vragen:

1. Hoe groot zijn de veiligheidsrisico's ?
2. Hoe beoordeelt de Directie Zuid-Holland de berekende veiligheidsrisico's; en
3. Hoe beoordeelt NS Railinfrabeheer de berekende veiligheidsrisico's ?

Het ECN-rapport *Risico van bladbreuk voor windturbines nabij spoor- auto en vaarwegen (concept)* ref. [2] beantwoordt de eerste vraag afdoende. Voor een aantal representatieve locaties zijn de veiligheidsrisico's bij rotorbladbreuk geanalyseerd.

Dit document beantwoordt de tweede en derde vraag. Er wordt aangegeven hoe de Veiligheidsfilosofie Windturbineparken ref. [3] kan worden uitgewerkt naar een praktische beslisregel voor het op te stellen beleid voor het plaatsen van windturbines.

De werkgroep gaat niet in op andere beoordelingsaspecten en -criteria die een rol spelen in de op te stellen beleidsnotitie, zoals ruimtelijke ordening, landschappelijke inpassing en juridische consequenties, het omvallen van de dragende constructie en ook de overige (verkeers-)veiligheidsaspecten. Rijkswaterstaat en NS Railinfrabeheer zullen hiervoor afzonderlijk buiten deze werkgroep nog nadere criteria uitwerken.



## 2. Veiligheidsfilosofie in een notendop

De werkgroep heeft bij de beleidsontwikkeling en besluitvorming ten aanzien van het wel of niet plaatsen van een windturbine de volgende stappen doorlopen:

- Stap 1 Stel een acceptabel risiconiveau, ofwel een maximaal toelaatbaar risico vast;
- Stap 2 Bepaal het veiligheidsniveau met behulp van de methodieken die in ref. [2] staan beschreven. De werkgroep is van mening dat de in ref. [2] beschreven methodieken voldoende toepasbaar en ontwikkeld zijn. Dit blijkt uit toepassing voor een aantal bestaande windturbinelocaties.
- Stap 3 Besluit op basis van de beleidslijnen van Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland en NS Railinfrabeheer ten aanzien van het plaatsen van één of meer windturbines. Veiligheidsrisico's bij bladbreuk worden daar in meegewogen.

De veiligheidsfilosofie ref. [3] met de beslisregels voor de Directie Zuid-Holland en NS Railinfrabeheer voldoet aan een aantal eisen:

- De veiligheidsfilosofie sluit aan op de individuele en maatschappelijke beleving. Dit blijkt uit de keuze van de risicomaten voor de individuele beleving en de maatschappelijke beleving;
- De veiligheidsfilosofie sluit aan bij het externe-veiligheidsbeleid (inrichtingen en transport);
- De veiligheidsfilosofie is financieel en economisch haalbaar, uniform, eenduidig, helder en uitlegbaar.

De veiligheidsfilosofie moet politiek en maatschappelijk draagvlak krijgen. De werkzaamheden van de Werkgroep Windenergie vormen de basis voor (landelijk) V&W-beleid voor het plaatsen van windturbines langs auto-, spoor- en vaarwegen.

### 2.1 Gewenste veiligheid

#### 2.1.1 Individuele Beleving

Om de stappen uit paragraaf 2 te kunnen doorlopen, moet in de huid van de *risicodrager* worden gekropen. Voor de beoordeling van de veiligheid van infrastructuur zijn de passanten de risicodragers. Dit kunnen verkeersdeelnemers zijn of werkenden aan infrastructuur.

##### 2.1.1.1 Risicomaat voor de passant

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. Dit zogenaamde *Individueel Passanten Risico* (IPR) houdt dus rekening met de *aanwezigheidsfractie* van de passant; dit is de procentuele verblijfsduur in de 'gevaarlijke' omgeving gedurende een jaar. Een aanwezigheidsfractie van 0,01 betekent dat een passant zich elk jaar 1% van de tijd binnen de effectafstand van de risicobron bevindt. Aangezien de kans om getroffen te worden door een rotorblad varieert, is het Individueel Passanten Risico (IPR) gelijk aan de som van alle producten van:

- de aanwezigheidsfractie  $P_{a,i}$  van een passant nabij de windturbine in het gebied met trefkans  $P_{T,i}$ ;
- de kans om getroffen te worden door een rotorblad ( $P_{T,i}$ ); en
- de kans om te overlijden ( $P_{DIT}$ ) aan de gevolgen van een klap met een rotorblad,

dus in formulevorm  $IPR = \sum P_{a,i} \cdot P_{T,i} \cdot P_{DIT}$ . Indien wordt aangenomen dat iedere klap dodelijk is (een veilige aanname), geldt dat  $P_{DIT} = 1$  en dus  $IPR = \sum P_{a,i} \cdot P_{T,i}$ . Indien de passant zich met snelheid nul langs de windturbine begeeft geldt  $P_{a,i} = 1$  en convergeert het IPR-concept naar de situatie waarbij de passant zich continu en onbeschermd in het effectgebied van de windturbine bevindt. De uitkomst van de berekende IPR en het *Individueel Risico* (IR), uit het externe-veiligheidsbeleid vallen dan samen.

De voorgestelde risicomaat IPR is dus niet strijdig met het externe-veiligheidsbeleid van VROM en V&W en het IPR-concept wordt in dit document verder uitgewerkt.

Samenvattend, geldt dus:

<b>Risicomaat IPR = <math>\sum</math> (Trefkans · Aanwezigheidsfractie per passant)</b>
---

Merk op dat het hoogste IPR wordt bepaald door de passant die het vaakst passeert.

## 2.1.2 Maatschappelijke beleving

De maatschappij is geïnteresseerd in het jaarlijks aantal slachtoffers ten gevolge van een windturbinepark dat in bedrijf is. Onderscheid wordt gemaakt naar de mate van vrijwilligheid en het persoonlijk voordeel. Daarnaast speelt de omvang van de ongevallen een rol.

### 2.1.2.1 Maat voor het maatschappelijk risico

Er zijn verschillende maten te kiezen ref. [3] voor het maatschappelijk risico. In het externe-veiligheidsbeleid voor stationaire installaties of vervoersactiviteiten wordt uitgegaan van *groepsrisicocurven* of *FN-curve*n. 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. Ontsporingrisico's zijn in deze studies niet meegenomen.

*Onderzoek binnen de NS heeft aangetoond dat aanrijdingen op overwegen met personenauto's zelden hebben geleid tot ontsporingen. Het gewicht van een windturbineblad is vergelijkbaar met een personenauto.*

In dit kader is de verwachtingswaarde EV van het aantal doden per jaar een goede risicomaat.

<b>Risicomaat EV = gemiddeld aantal doden per passage x aantal passages per jaar</b>
--

Dit is gelijk aan het verwachte aantal dodelijke slachtoffers per jaar per windturbine(park). Een individuele passant kan meerdere keren per dag langskomen. Het *gemiddeld aantal doden per passage* is gelijk aan het quotiënt van het IPR en het *aantal passages per passant per jaar*.

Dus geldt dat:

<b>Risicomaat EV = (IPR / aantal passages per passant per jaar) x aantal passages per jaar</b>
--

### 2.1.3 Maximaal toelaatbaar Individueel Passanten Risico (IPR)

De werkgroep stelt het maximaal toelaatbare Individueel Passanten Risico afhankelijk van de *toegestane snelheid op de infrastructuur*. De reden hiervoor is dat op sommige spoorwegen hoge snelheden worden voorgenomen of al zijn toegestaan. Voor spoortracé's, waar het voornemen voor hoge snelheden (140 kilometer per uur en hoger)

bestaat, vormt artikel 54 van het Reglement Dienst Hoofd- en Lokaalspoorwegen een wettelijk kader. Volgens dit artikel moet de Minister van Verkeer en Waterstaat goedkeuring verlenen aan de toegestane snelheid.

De initiatiefnemer die een of meerdere windturbines wil plaatsen dient aan te tonen dat het maximale toelaatbare Individueel Passanten Risico  $IPR_m$  niet wordt overschreden op de infrastructuur in de nabijheid van de turbine. De werkgroep heeft in deze een grens vastgesteld van honderdzig kilometer per uur. Een generiek  $IPR_m$  van  $10^{-6}$  wordt aangehouden voor alle infrastructuur waarop de wettelijk toelaatbare snelheden de honderdzig kilometer per uur niet overschrijden, en een generiek  $IPR_m$  van  $10^{-7}$  op infrastructuur waarop wettelijk toelaatbare snelheden boven de honderdzig kilometer per uur bestaan. Dit wordt gerealiseerd door naast de aanname  $P_{DIT} = 1$ , voor snelheden boven de honderdzig kilometer per uur een extra aanname  $P_a = 1$  te kiezen.

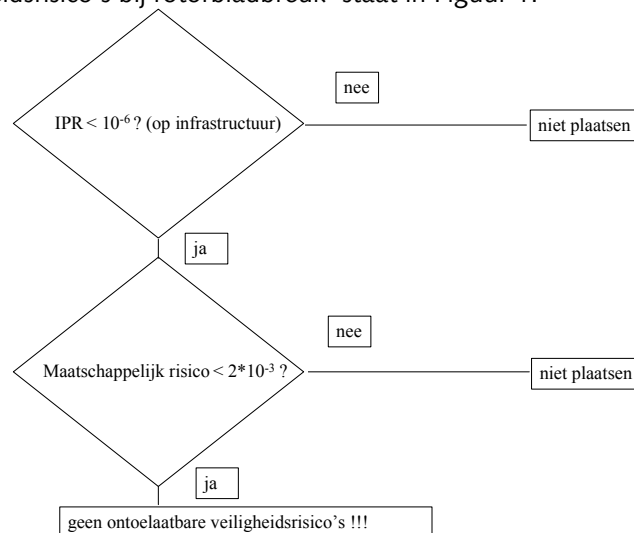
In de overige gevallen hangt de aanwezigheidsfractie  $P_a$  af van het type infrastructuur (bijvoorbeeld, spoor, auto(snel)weg, karrenspoor, voetpad, fietspad...) en de locatie van de infrastructuur.

#### 2.1.4 Maximaal toelaatbaar Maatschappelijk Risico

In ref. [3] wordt afgeleid dat door VROM per industriële installatie een acceptabele risiconiveau aangehouden van  $2 \cdot 10^{-3}$  doden per jaar. Dus een maximaal toelaatbaar maatschappelijk risico van  $2 \cdot 10^{-3}$  doden per jaar per windturbinepark sluit aan bij het externe-veiligheidsbeleid bij VROM. Deze waarde wordt door de werkgroep aangehouden.

### 2.2 Beslisregel

De beslisregel om te beoordelen of plaatsen van een windturbine toelaatbaar is vanuit het oogpunt 'veiligheidsrisico's bij rotorbladbreuk' staat in Figuur 1.



Figuur 1 Beslisregel wel of niet plaatsen van een windturbine(park)

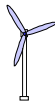


### 3. Uitwerking

De uitwerking van de veiligheidsfilosofie is hieronder weergegeven.

Type infrastructuur	Aanwezigheidsfractie $P_a$	Maximaal toelaatbaar Individueel Passanten Risico (IPR <sub>m</sub> )
snelheden boven de 160 km/h	1	$10^{-7}$
snelheden onder de 160 km/h	situatieafhankelijk (zie Casestudies)	$10^{-6}$

#### 1. Welk type infrastructuur ?

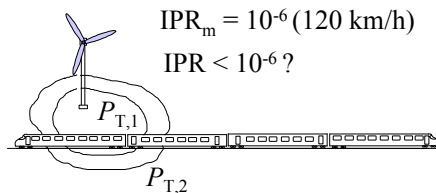


?

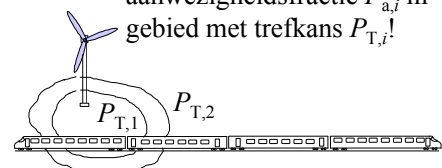
groter of gelijk aan 160 km/h,  
of kleiner dan 160 km/h

#### 2. Individueel Passanten Risico IPR toelaatbaar ?

bijvoorbeeld een spoorbaan



IPR is ook afhankelijk van  
aanwezigheidsfractie  $P_{a,i}$  in  
gebied met trefkans  $P_{T,i}$ !



$$\text{dus } IPR = P_{T,1} \cdot P_{a,1} + P_{T,2} \cdot P_{a,2}$$

Check of:  $IPR < 10^{-6}$

#### 3. Maatschappelijk Risico EV toelaatbaar ?

Check of  $EV < 2 \cdot 10^{-3}$

Het maximale toelaatbare *Individueel Passanten Risico*  $IPR_m$  en bijgevolg de maximaal toelaatbare trefkans  $P_T$  is zoals eerder al opgemerkt dus gelijk aan  $10^{-7}$  bij snelheden groter dan 160 kilometer per uur. In Tabel 1 staat een voorstel voor een beleidsrichtlijn voor infrastructuur uitgewerkt inzake wel of niet plaatsen van windturbines.

De vergunningverlener kan de afstand van de windturbine tot de infrastructuur beoordelen. In het geval van turbinetypen die voldoen aan NEN 6096/2 is het mogelijk om Tabel 1 zodanig om te werken dat gegeven het turbinetype en de trefkans (die bekend zijn uit reeds uitgevoerde risicoanalyses, zoals bijvoorbeeld de ECN-studies ref. [2]) een maximaal toelaatbare afstand uit een tabel zou kunnen worden afgelezen.

In de Bijlagen staan twee Case Studies uitgewerkt.

*Tabel 1 Beleidsrichtlijn voor RWS Directie Zuid-Holland en NS. Nota bene, de aanwezigheidsfractie  $P_a$  is zelfs voor werkenden aan de infrastructuur kleiner dan 0,01.*

Eigenaar	Type infrastructuur	Aanwezigheidsfractie $P_a$	Trefkans $P_T$	IPR toelaatbaar	aantal doden per jaar
NS RIB	$V \geq 160$ km/h	Spoorweg (RIB)	$10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}, 10^{-6}$	$IPR = P_T \cdot P_a < 10^{-7}$	$IPR \cdot P_a < 2 \cdot 10^{-3}$
NS RIB	$V < 160$ km/h	Hoofdspoorweg(RIB)	$10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}, 10^{-6}$	$IPR = P_T \cdot P_a < 10^{-6}$	$IPR \cdot P_a < 2 \cdot 10^{-3}$
NS RIB	$V < 100$ km/h	Hoofdspoorweg(RIB)	$10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}, 10^{-6}$	$IPR = P_T \cdot P_a < 10^{-6}$	$IPR \cdot P_a < 2 \cdot 10^{-3}$
NS RIB	$V < 80$ km/h	Lokale spoorweg(RIB)	$10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}, 10^{-6}$	$IPR = P_T \cdot P_a < 10^{-6}$	$IPR \cdot P_a < 2 \cdot 10^{-3}$
NS RIB	$V < 80$ km/h	Goederenspoorweg (RIB)	$10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}, 10^{-6}$	$IPR = P_T \cdot P_a < 10^{-6}$	$IPR \cdot P_a < 2 \cdot 10^{-3}$
NS RIB	$V < 40$ km/h	Stamlijn (RIB)	$10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}, 10^{-6}$	$IPR = P_T \cdot P_a < 10^{-6}$	$IPR \cdot P_a < 2 \cdot 10^{-3}$
V&W	karrenspoor	te bepalen met AVV	$10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}, 10^{-6}$	$IPR = P_T \cdot P_a < 10^{-6}$	$IPR \cdot P_a < 2 \cdot 10^{-3}$
V&W	voetpad	te bepalen met AVV	$10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}, 10^{-6}$	$IPR = P_T \cdot P_a < 10^{-6}$	$IPR \cdot P_a < 2 \cdot 10^{-3}$
V&W	provinciale weg	te bepalen met AVV	$10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}, 10^{-6}$	$IPR = P_T \cdot P_a < 10^{-6}$	$IPR \cdot P_a < 2 \cdot 10^{-3}$
V&W	autoweg	te bepalen met AVV	$10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}, 10^{-6}$	$IPR = P_T \cdot P_a < 10^{-6}$	$IPR \cdot P_a < 2 \cdot 10^{-3}$
V&W	autosnelweg	te bepalen met AVV	$10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}, 10^{-6}$	$IPR = P_T \cdot P_a < 10^{-6}$	$IPR \cdot P_a < 2 \cdot 10^{-3}$

## REFERENTIES

- [1] D.A. Schreuder, *De invloed van windturbineparken op de verkeersveiligheid; advies uitgebracht aan de Nederlandse Maatschappij voor Energie en Milieu bv NOVEM*, R-92-74, Leidschendam, Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV), 1992.
- [2] H. Braam, *Risico van bladbreuk voor windturbines nabij spoor- auto en vaarwegen (vertrouwelijk)*, ECN-CX—99-022, Petten, Stichting Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN), Februari 1999.
- [3] W. van Hengel, *Windturbineparken, veiligheidsfilosofie*, WBR-R-97009, Utrecht, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Bouwdienst, Januari 1997
- [4] H. Braam en P.G.C.M. van Zutphen, *Risicoanalyse plaatsing windturbines t.b.v. infraproject HSL-zuid*, ECN-CX—97-112, Petten, Stichting Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN), December 1997.
- [5] D. Veldkamp, *Veiligheidsanalyse windpark Baardburen*, NEG MICON, Danders, Denemarken, 28 augustus 1997.
- [6] Saskia van Engeland, Corné Kant, Veronique Mogendorff, William Rullenraad, Bas Smeets, Michiel Vestjens, *Risico's van bladbreuk bij windmolens voor infrastructuur*. Een onderzoek in het kader van het multidisciplinair project van de faculteit Technische Natuurkunde aan de Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, Windmolens en Infrastructuur (concept) , Maart 1999.





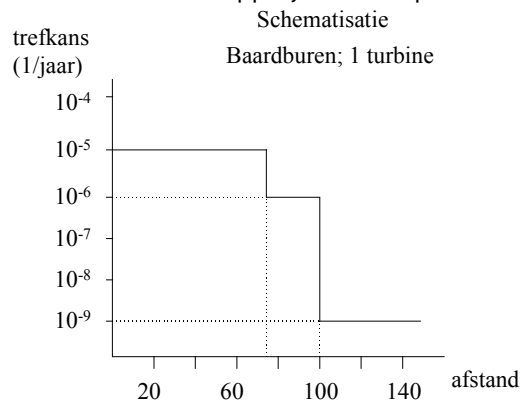
## Case Study 1 Rijkswaterstaat als vergunningverlener

### Vraag

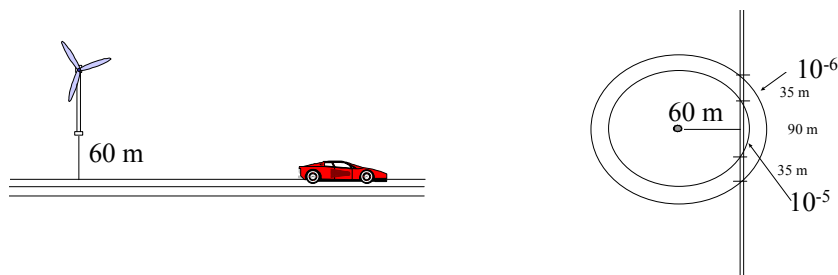
Een vergunning is aangevraagd bij Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland om een windturbine op 60 m afstand van een autoweg te plaatsen. Kan er vanuit het oogpunt van veiligheidsrisico's bij bladbreuk wel of niet geplaatst worden?

### Antwoord

De betreffende windturbine is van hetzelfde type als de turbine in Baardburen. Ook de weersomstandigheden in Baardburen worden verondersteld representatief te zijn voor deze nieuw te plaatsen windturbine. Daarom kan de trefkans als functie van de afstand in Baardburen worden gebruikt als benadering voor de trefkans op de voorziene locatie. Figuur 2 toont de trefkans als functie van de afstand (zie Figuur 5.2 in ref. [2]) in geschematiseerde vorm. Duidelijk zichtbaar is de sprong bij 75m en bij 100m; de trefkans op 60 m afstand bedraagt dus  $10^{-5}$  per jaar. Het IPR is gelijk aan de trefkans maal de aanwezigheidsfractie (zie kader in paragraaf 2.1.1.1). Dus de aanwezigheidsfractie dient te worden bepaald om vast te stellen of het maximaal toelaatbare IPR van  $10^{-6}$  niet wordt overschreden. Tevens wordt het maatschappelijk risico bepaald.



Figuur 2 Trekans als functie van de afstand van de windturbine.



Figuur 3 Situatieschets van de windturbine (Uit Figuur 2 volgt dat de trefkans op de infrastructuur gelijk is aan  $10^{-5}$ /jaar over een afstand van 90m en  $10^{-6}$ /jaar over een afstand van 2 maal 35m (70 m).

De volgende aannames worden gedaan:

- de gemiddelde snelheid van een passant bedraagt 60 km/h.
- de passant komt gemiddeld tweemaal daags langs (730 keer per jaar).

Tabel 2 en Figuur 3 tonen dat:

- de passant zich 5,4 seconde (90m gedeeld door 16,67m/s) in het gebied bevindt met trefkans  $10^{-5}$ /jaar (is  $3,17 \cdot 10^{-13}$  /s);
- de passant zich 4,2 seconde (70m gedeeld door 16,67 m/s) in het gebied bevindt met trefkans  $10^{-6}$ /jaar (is  $3,17 \cdot 10^{-14}$  /s).

De aanwezigheidsfractie van de passant kan nu op basis van deze informatie bepaald worden. De wijze waarop dit geschiedt blijkt rechtstreeks uit de derde kolom van Tabel 2. Het IPR is gelijk aan het aantal passages per passant (730) maal de kans op overlijden van die per passant passage. Deze laatste factor is gelijk aan som van de kans per seconde in gebied  $10^{-5}$  ( $3,17 \cdot 10^{-13}$ ) maal de verblijfstijd in gebied  $10^{-5}$  (5,4 s) en de kans per seconde in gebied  $10^{-6}$  ( $3,17 \cdot 10^{-14}$ ) maal de verblijfstijd gebied in  $10^{-6}$  (4,2 s). Dus, in formulevorm:

$$\text{IPR} = 730 \cdot (3,17 \cdot 10^{-13} \cdot 5,4 + 3,17 \cdot 10^{-14} \cdot 4,2) = 1,35 \cdot 10^{-9}$$

en dit is kleiner dan  $10^{-6}$ . Duidelijk is dus dat je in de praktijk moet integreren voor het IPR. Er is dus geen aanleiding om op basis van het IPR-concept tot afwijzen van de aanvraag over te gaan.

Het tweede criterium is het EV, dat wil zeggen het gemiddeld aantal doden per passage maal het aantal passages per jaar. Het gemiddeld aantal doden per passage is:

$$3,17 \cdot 10^{-13} \cdot 5,4 + 3,17 \cdot 10^{-14} \cdot 4,2 = 1,85 \cdot 10^{-12} = \text{IPR}/730$$

De eenheid is gelijk aan kans per seconde maal verblijfstijd (in s) onder de aanname dat geraakt worden gelijk is aan dodelijk getroffen worden. Er komen jaarlijks tien miljoen passages (dus  $10^7/730$  individuen!) langs en het maatschappelijk risico is daarmee gelijk aan  $1,85 \cdot 10^{-5}$  en dit is kleiner dan  $2,0 \cdot 10^{-3}$ .

**Conclusie:** Vanuit het oogpunt van veiligheidsrisico's bij bladbreuk kan **wel** worden geplaatst!

Tabel 2 Berekening van de maximaal toelaatbare trefkans en het maatschappelijk risico

Grootheid	Waarde	Omschrijving	Formule
omrekeningsfactor	3,15E+07	van jaar naar seconde	a
omrekeningsfactor	3,17E-08	van seconde naar jaar	b=1/a
omrekeningsfactor	2,78E-01	van km/h naar m/s	c=1000/3600
snelheid passant	60 km/h		d
	16,67 m/s		e=dxc
kansgebied 1	1,00E-05 kans/per jaar		f
	3,17E-13 kans/per seconde		g=f/a
kansgebied 2	1,00E-06 kans/per jaar		h
	3,17E-14 kans/per seconde		i=h/a
lengte gebied 1	90 m		j
lengte gebied 2	70 m		k
passagetijd 1	5,4 s		l=j/e
passagetijd 2	4,2 s		m=k/e
aantal passages per passant per jaar	730	2 keer per dag	n
aanwezigheidsfractie passant per passage (10-5)	1,71E-07		o=l/a
aanwezigheidsfractie passant per passage (10-6)	1,33E-07		p=m/a
Individueel passanten risico	1,35E-09		r = (gx l+ix m)xn
doden/passage	1,85E-12		s=gx l+ix m
passage/jaar	1,00E+07		t
Maatschappelijk risico	1,85E-05		u=sxt

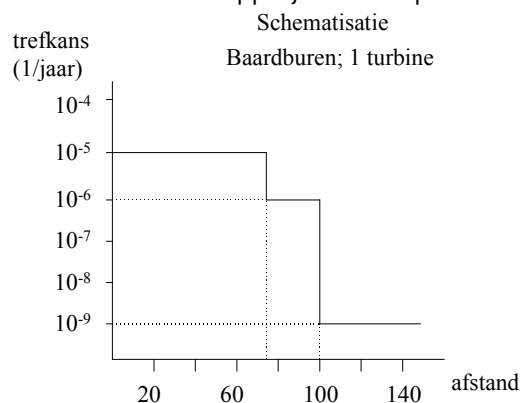
## Case Study 2 NS Railinfrabeheer als vergunningverlener

### Vraag

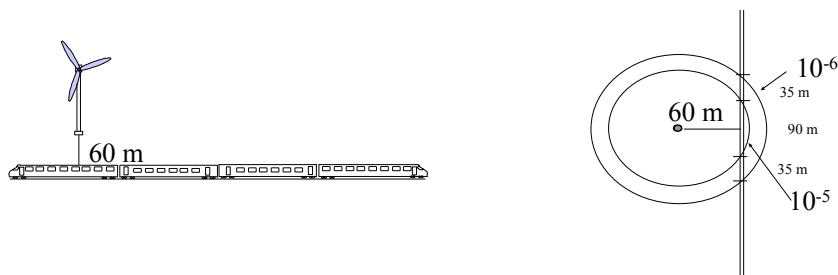
Een vergunning is aangevraagd bij NS Railinfrabeheer om een windturbine op 60 m afstand van een hoofdspoorweg te plaatsen. Kan er vanuit het oogpunt van veiligheidsrisico's bij bladbreuk wel of niet geplaatst worden? De radius van het rotorblad is 30 m.

### Antwoord

De betreffende windturbine is van hetzelfde type als de turbine in Baardburen. Ook de weersomstandigheden in Baardburen worden verondersteld representatief te zijn voor deze nieuw te plaatsen windturbine. Daarom kan de trefkans als functie van de afstand in Baardburen worden gebruikt als benadering voor de trefkans op de voorziene locatie. Figuur 4 toont de trefkans als functie van de afstand (zie Figuur 5.2 in ref. [2]) in geschematiseerde vorm. Duidelijk zichtbaar is de sprong bij 75 m en bij 100 m; de trefkans op 60 m afstand bedraagt dus  $10^{-5}$  per jaar. Het IPR is gelijk aan de trefkans maal de aanwezigheidsfractie (zie kader in paragraaf 2.1.1.1). Dus de aanwezigheidsfractie dient te worden bepaald om vast te stellen of het maximaal toelaatbare IPR van  $10^{-6}$  niet wordt overschreden. Tevens wordt het maatschappelijk risico bepaald.



Figuur 4 Trefkans als functie van de afstand van de windturbine.



Figuur 5 Situatieschets van de windturbine (Uit Figuur 2 volgt dat de trefkans op de infrastructuur gelijk is aan  $10^{-5}$ /jaar over een afstand van 90m en  $10^{-6}$ /jaar over een afstand van 70m (2 keer 35m).

De volgende aannames worden gedaan:

- de gemiddelde snelheid van een trein met passanten bedraagt 120 km/h.
- de passant komt gemiddeld tweemaal daags langs (730 keer per jaar).

Tabel 3 en Figuur 5 tonen dat:

- de passant zich 2,7 seconde (90m gedeeld door 33,33 m/s) in het gebied bevindt met trefkans  $10^{-5}$ /jaar (is  $3,17 \cdot 10^{-13}$  /s);
- de passant zich 2,1 seconde (70m gedeeld door 33,33 m/s) in het gebied bevindt met trefkans  $10^{-6}$ /jaar (is  $3,17 \cdot 10^{-14}$  /s).

De aanwezigheidsfractie van de passant kan nu op basis van deze informatie bepaald worden. De wijze waarop dit geschiedt blijkt rechtstreeks uit de derde kolom van Tabel 3. Het IPR is gelijk aan het aantal passages per passant (730) maal de kans op overlijden van die per passant passage. Deze laatste factor is gelijk aan som van de kans per seconde in gebied  $10^{-5}$  ( $3,17 \cdot 10^{-13}$ ) maal de verblijfstijd in gebied  $10^{-5}$  (2,7 s) en de kans per seconde in gebied  $10^{-6}$  ( $3,17 \cdot 10^{-14}$ ) maal de verblijfstijd gebied in  $10^{-6}$  (2,1 s). Dus, in formulevorm:

$$\text{IPR} = 730 \cdot (3,17 \cdot 10^{-13} \cdot 2,7 + 3,17 \cdot 10^{-14} \cdot 2,1) = 6,74 \cdot 10^{-10}$$

en dit is kleiner dan  $10^{-6}$ . Duidelijk is dus dat je in de praktijk moet integreren voor het IPR. Er is dus geen aanleiding om op basis van het IPR-concept tot afwijzen van de aanvraag over te gaan.

Het tweede criterium is het EV, dat wil zeggen het gemiddeld aantal doden per passage maal het aantal passages per jaar. Het gemiddeld aantal doden per passage is:

$$\text{IPR}/730 = 9,23 \cdot 10^{-13}$$

De eenheid is gelijk aan kans per seconde maal verblijfstijd (in s) onder de aanname dat geraakt worden gelijk is aan dodelijk getroffen worden. Er komen jaarlijks tien miljoen passages (dus  $10^7/730$  individuen!) langs en het maatschappelijk risico is daarmee gelijk aan  $9,23 \cdot 10^{-6}$  en dit is kleiner dan  $2,0 \cdot 10^{-3}$ .

**Conclusie:** Vanuit het oogpunt van veiligheidsrisico's bij bladbreuk kan **wel** worden geplaatst!

Tabel 3 Berekening van de maximaal toelaatbare trefkans en het maatschappelijk risico

Grootheid	Waarde	Omschrijving	Formule
omrekeningsfactor	3,15E+07	van jaar naar seconde	a
omrekeningsfactor	3,17E-08	van seconde naar jaar	b=1/a
omrekeningsfactor	2,78E-01	van km/h naar m/s	c=1000/3600
snelheid passant	120 km/h		d
	33,33 m/s		e=dxc
kansgebied 1	1,00E-05 kans/per jaar		f
	3,17E-13 kans/per seconde		g=f/a
kansgebied 2	1,00E-06 kans/per jaar		h
	3,17E-14 kans/per seconde		i=h/a
lengte gebied 1	90 m		j
lengte gebied 2	70 m		k
passagetijd 1	2,7 s		l=j/e
passagetijd 2	2,1 s		m=k/e
aantal passages per passant per jaar	730	2 keer per dag	n
aanwezigheidsfractie passant per passage (10-5)	8,56E-08		o=l/a
aanwezigheidsfractie passant per passage (10-6)	6,66E-08		p=m/a
Individueel passanten risico	6,74E-10		r = (gx+l+ixm)xn
doden/passage	9,23E-13		s=gx+l+ixm
passage/jaar	1,00E+07		t
Maatschappelijk risico	9,23E-06		u=sxt