

DE INVLOED VAN WINDTURBINEPARKEN OP DE VERKEERSVEILIGHEID

Advies uitgebracht aan de Nederlandse Maatschappij voor Energie en Milieu bv NOVEM

R-92-74

Dr. ir. D.A. Schreuder

Leidschendam, 1992

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INHOUD

Voorwoord

1. *Inleiding*
2. *Probleemverkenning*
3. *Botsrisico*
 - 3.1. Botsingen met vaste obstakels
 - 3.2. Obstakelvrije zone
 - 3.3. Afscherpende constructies
 - 3.4. Geleideconstructies
 - 3.4.1. Starre constructies
 - 3.4.1. Flexibele constructies
 - 3.5. Obstakelbeveiligers
 - 3.6. Niet-agressieve constructies
4. *Botsen met afgevallen onderdelen of ijs*
5. *Luchtturbulentie*
 - 5.1. Windhinder
 - 5.2. Gevaar door rukwinden
 - 5.3. Windgevaar bij windturbines
 - 5.4. Consequenties voor de verkeersveiligheid
6. *Geluid*
 - 6.1. Het geluidsniveau
 - 6.2. Verwarring met signalen
 - 6.3. Fietsers
 - 6.4. Consequenties voor de verkeersveiligheid
7. *Lichteffecten*
 - 7.1. Lichtflitsen
 - 7.2. Schaduwen
 - 7.3. Verblinding
 - 7.4. Verwarring met lichtsignalen
 - 7.5. Consequenties voor de verkeersveiligheid
8. *Afleiden van de aandacht*
 - 8.1. Waakzaamheid en oplettendheid
 - 8.2. De waakzaamheid
 - 8.3. Aandacht en aandachtverdeling
 - 8.4. Consequenties voor de verkeersveiligheid

9. *Schrikreacties*
 - 9.1. Schrik
 - 9.2. Reacties
 - 9.3. Consequenties voor de verkeersveiligheid

10. *Toepassing van windturbines*
 - 10.1. Praktische ervaringen
 - 10.2. Regelgeving
 - 10.3. Juridische aspecten

11. *Ongevallenstudies*
 - 11.1. Ongevallen
 - 11.1.1. Noord-Hollands Kanaal
 - 11.1.2. Deersum
 - 11.2. Consequenties voor de verkeersveiligheid

12. *Nadere studie*

13. *Conclusies*
 - 13.1. Botsingsgevaar
 - 13.2. Afgevallen onderdelen; ijs
 - 13.3. Windhinder
 - 13.4. Geluid en lawaai
 - 13.5. Verwarring met signalen
 - 13.6. Lichteffecten
 - 13.7. Afleiden van de aandacht
 - 13.8. Schrikreacties
 - 13.9. Regelgeving
 - 13.10. Juridische aspecten
 - 13.11. Ongevallen
 - 13.12. Slotconclusie

Literatuur

Tabellen 1 t/m 6

Bijlagen I t/m III

VOORWOORD

Op 22 juni 1992 heeft de Nederlandse Maatschappij voor Energie en Milieu bv NOVEM aan de SWOV opdracht verleend een advies uit te brengen inzake de invloed van windturbineparken op de verkeersveiligheid. Op 2 juli 1992 heeft de SWOV deze opdracht aanvaard.

Volgens de door de SWOV op 10 maart 1992 uitgebrachte offerte bestaat de studie uit drie stappen:

De eerste stap is het opstellen van een probleemverkenning. Hiervoor is een aparte interne notitie gemaakt. De resultaten ervan zijn in dit rapport verwerkt.

De tweede stap bestond uit het verzamelen van de beschikbare kennis. Daarbij is gebruik gemaakt van een rapport dat door de SWOV is uitgebracht onder de titel 'De invloed van het op de Flevopolderdijk geprojecteerde windturbinepark op de verkeersveiligheid; Een advies uitgebracht aan de NV PGEM (Energiemaatschappij voor Gelderland en Flevoland)' (Schreuder, 1990).

In de derde stap zijn de ervaringen uit het buitenland opgevraagd.

In de loop van de werkzaamheden bleek de wenselijkheid om enige beschouwingen toe te voegen over een aantal van de juridische aspecten van het plaatsen en bedrijven van windturbines. Daartoe is een aparte deelstudie uitgevoerd, waarvan de resultaten in het onderhavige rapport zijn verwerkt. Deze deelstudie is integraal als Bijlage III toegevoegd.

Op basis van deze kennis is een advies gegeven waarin de kennis van de verschillende aspecten van hinder en gevaar van windturbines voor het wegverkeer is weergegeven. Dit algemene advies beslaat het hoofddeel van het onderhavige rapport, hetgeen, zoals reeds is aangegeven, voor een deel is gebaseerd op het advies dat de SWOV aan de PGEM heeft uitgebracht. Aan dit algemene advies is een specifieke uitwerking toegevoegd, waar nader wordt ingegaan op de vraag of er uit overwegingen van de verkeersveiligheid een minimale afstand tussen de positie van de windturbine(s) en de openbare weg kan worden aangegeven, en zo ja, hoe groot die afstand dan tenminste moet zijn, eventueel in afhankelijkheid van het type windturbine en de aard van de weg en de soort verkeer.

1. INLEIDING

In het kader van vermindering van gebruik van fossiele brandstoffen, van vermindering van schadelijke uitstoot en van de diversificatie van energiebronnen heeft de Rijksoverheid als beleidsvoornemen gesteld dat voor het jaar 2000 in Nederland ca. 1000 MW aan windenergie zal worden gewonnen. Onder aanname dat de gebruikelijke turbines een nominaal vermogen hebben van ca. 500 KW, betekent dit dat er meer dan 2000 turbines nodig zullen zijn. Een opgave van NOVEM geeft aan dat er in 1991 al 315 zijn geplaatst (NOVEM, 1991). Opgemerkt zij dat vele van deze 315 turbines veel kleiner zijn dan 500 KW nominaal. Volgens een nieuwere opgave van de NOVEM zijn er naast ca. 100 'losse' windturbines met een totaal vermogen van 8 MW in 1992 291 turbines in parken in bedrijf; in 1993 zijn er nog 108 gepland. Het totale vermogen daarvan bedraagt 117,2 MW (Anon., 1992).

2. PROBLEEMVERKENNING

Op basis van een eerdere studie (Schreuder, 1990), en gebruik makend van de ervaringen die uit de algemene kennis over de verkeersveiligheid worden afgeleid, is het mogelijk een algemene probleemverkenning op te stellen. Er kunnen daarbij een aantal aspecten worden aangewezen waarbij het verkeer storing kan ondervinden van de aanwezigheid en het bedrijven van windturbines. De nieuwe brochure van de NOVEM geeft op veel gebied een globaal overzicht van de problemen en ook van hun oplossingen (Anon., 1992).

De invloed kan uit 'hinder' bestaan, maar ook uit 'gevaar'. Voorlopig gebruiken we deze twee termen in de niet-specifieke zin van de spreektaal. Samengevat gaat het om de volgende punten:

- botsen met de constructies;
- botsen met onderdelen of ijs dat van de turbines is gevallen;
- geluid en lawaai; verwarring met relevante (geluids)signalen;
- windhinder en luchtturbulentie; verlies aan mogelijkheden voor koershouden; verlies aan stabiliteit;
- lichtflitsen en verblinding; schaduwen; verwarring met relevante (licht)signalen;
- afleiden van de aandacht; verwarren met andere zaken die relevant zijn voor het verkeer;
- schrikreacties.

Zoals reeds is aangeduid, is te verwachten dat de storing wat betreft deze aspecten af kan hangen van het type windturbine en van de aard van de weg en de soort verkeer, waarbij met name wat betreft de eventuele invloed van lawaai en van windturbulentie aandacht dient te worden besteed aan tweewielers. Ook is te verwachten dat de lichtgesteldheid van belang kan zijn; de situatie dient zowel bij dag als bij duisternis te worden bekeken. Deze aspecten zullen in de hierna volgende probleemanalyse verder worden uitgewerkt. Aandacht wordt besteed aan verschillende klassen van verkeersdeelnemers, maar ook aan de meer specifieke vraag of er uit deze overwegingen een minimale afstand tussen de windturbines en de openbare weg kan worden afgeleid.

Voorts dienen de praktische aspecten te worden besproken. Het gaat om de vraag of de verkeersveiligheid wordt beïnvloed; het is dus noodzakelijk na te gaan of uit het ongeval-beeld nadere indicaties kunnen worden afgeleid. Maar ook kunnen meer algemene (bijvoorbeeld subjectieve) ervaringen worden gebruikt.

Vervolgens worden een aantal juridische aspecten van het plaatsen en bedrijven van windturbines besproken. Daarvoor is gebruik gemaakt van een aparte deelstudie die integraal als Bijlage III aan dit rapport is toegevoegd. Tenslotte is de regelgeving van belang.

3. BOTSRISSICO

3.1. Botsingen met vaste obstakels

Windturbines zijn grote constructies. De mast is veelal een dertig tot veertig meter hoog, en de windkrachten op de constructie zijn uiteraard vaak groot. Uiteraard, want het is de functie van een windturbine om de energie van de zich verplaatsende lucht over te brengen op de dynamo. Dit betekent dat het om zware, grote masten gaat met een zeer robuuste fundering. Daarbij komt dat in Nederland voor de plaatsing van windturbines vooral vlak land in aanmerking komt waar de luchtstroming niet wordt belemmerd (veel wind en weinig turbulentie). In berglanden worden vaak bergpassen uitgezocht, maar dat is voor Nederland niet relevant. En vlak land betekent meestal een slappe ondergrond. Ook dit maakt een zware fundering noodzakelijk.

Grote, stevige en zwaar gefundeerde masten kunnen een aanzienlijk botsgevaar opleveren. Over de botsingen met windturbines is - gezien de betrekkelijk kleine aantallen - uiteraard weinig bekend; er is echter veel bekend over de risico's van botsingen met andere vaste objecten in de buurt van wegen. De SWOV heeft op dit gebied veel onderzoek gedaan, waarbij de botsingen met lichtmasten, brugconstructies, bomen en bermmeubilair is onderzocht, maar ook met 'bermobstakels' die op het eerste gezicht minder gevaarlijk lijken, zoals taluds en sloten. Veel van het resultaat van dit onderzoek is relevant voor het botsgevaar van windturbines.

Obstakels blijken een belangrijke factor te zijn in de verkeersonveiligheid. In Tabel 1 zijn enige landelijke gegevens verschaft. Bijna 20% van de ongevallen met ernstige afloop (doden of ziekenhuisopnamen) hebben te maken met botsingen met obstakels.

De SWOV heeft gedurende een aantal jaren onderzoek uitgevoerd naar deze materie. Het resultaat is dat er, voor het verminderen van het gevaar van botsingen, in beginsel drie methoden in aanmerking komen:

- een grote afstand tussen het obstakel en de weg creëren (obstakelvrije zone);
- het obstakel afschermen (geleideconstructies);
- het obstakel 'niet-agressief' uitvoeren (breekconstructies).

Alle drie methoden hebben hun eigen voor- en nadelen, en ze komen op verschillende wijze voor verschillende klassen van wegen en verschillende klassen verkeer in aanmerking.

Er bestaan twee remedies tegen het botsen met constructies zoals windturbines:

De turbines worden zover van de weg geplaatst dat voertuigen die van de weg raken, de turbines niet (kunnen) bereiken. Dit is uiteraard een oplossing die te verkiezen valt: er vindt helemaal geen botsing plaats. Als variant kan men denken aan een situatie waarbij botsingen niet geheel uitgesloten zijn, maar waarbij de snelheid op het moment van de botsing zover is afgenomen dat de inzittenden van de voertuigen geen letsel oplopen, en dat de voertuigen en de turbines geen, of slechts geringe schade oplopen. In par. 3.2 worden de criteria die aan een "obstakelvrije zone" worden gesteld, nader besproken.

De turbines worden afgeschermd. Daarbij kan men aan twee systemen denken: geleide-rails en obstakelbeveiligers. In par. 3.3 worden afscherpende constructies in detail besproken, waarbij aandacht zal worden besteed aan de voor- en nadelen van de twee systemen. Men moet daarbij bedenken dat de afscherpende constructies zelf ook een zeker botsrisico opleveren; hun effect is daarin gelegen dat schade en letsel bij botsingen met de afscherpende constructies over het algemeen veel geringer zijn dan bij botsing met het obstakel dat wordt afgeschermd.

Naast het verschil in botsrisico zal de afweging tussen deze twee mogelijkheden meestal voor een belangrijk deel worden bepaald door de kosten. Globaal gesproken zijn afscherpende constructies tamelijk duur, maar voor een obstakelvrije zone is veel ruimte nodig. De uitkomst van de vergelijking van de kosten hangt af van de grondprijs ter plaatse en van de verkeersintensiteit. Daarbij dient zich vanzelf een derde mogelijkheid aan, en wel een combinatie van deze twee. Ook hiervoor is het vooral een vraag van kosten of deze variant in aanmerking komt.

Ten slotte nog een laatste aspect wat betreft eventuele botsingen. Windturbines vereisen, net als alle technische constructies, onderhoud. Gezien de omvang en vooral de hoogte van de constructies mag men verwachten dat voor het onderhoud grote, hoge hulpconstructies (bijv. hoogwerkers) nodig zijn. Wanneer windturbines dicht langs de weg worden geplaatst, moet met het extra risico van botsingen met servicevoertuigen en het bijbehorende personeel rekening worden gehouden. Alleen in het geval van landbouwwegen met zeer weinig verkeer is het uit veiligheidsoverwegingen acceptabel dat het onderhoud vanaf de weg gebeurt - mits het verkeer kan passeren; wanneer het gaat om wegen met een verkeersaanbod dat meer is dan 'zeer gering', dient het onderhoud te gebeuren van af een plaats buiten de weg. Bij het uitzoeken van de plaats voor een eventuele 'haven' voor het onderhoud kunnen de hieronder gegeven waarden van de obstakelvrije zone als richtlijn dienen: immers, een onderhoudsvoertuig in de berm is eveneens een 'obstakel'.

3.2. Obstakelvrije zone

Uiteraard is het creëren van een obstakelvrije zone de meest ideale oplossing: er is dan helemaal geen obstakel. Onderzoek heeft, zoals te verwachten was, uitgewezen dat de frequentie van voorkomen van auto's die van de weg zijn afgeraakt, afneemt met toenemende afstand tot de wegrand. Dit betekent echter dat het moeilijk is om een 'absoluut' veilige obstakelvrije zone aan te geven. Men neemt meestal een praktische waarde aan; bijv. een zodanige breedte dat maximaal 5% van de auto's er voorbij komen. Ofschoon incidenteel een auto nog verder van de wegrand terecht kan komen, wordt rekening gehouden met het feit dat de snelheid met toenemende afstand afneemt, en daarmee het gevaar van ernstig letsel wanneer toch nog een botsing plaats vindt. Uit het hierna genoemde onderzoek (Schoon & Bos, 1983) blijkt overigens dat deze aanname niet algemeen geldt. De gewenste breedte van de obstakelvrije zone hangt af van de (nominale) rijnsnelheid en van het voertuigtype.

Wanneer de windturbines zo ver van de wegrand worden geplaatst dat er een 'obstakelvrije zone' ontstaat die aan de hierna te noemen eisen voldoet, is uiteraard geen verdere afscherming meer nodig.

Om de breedte van de obstakelvrije zone te bepalen, zal aan een aantal onderzoeken worden gerefereerd. De SWOV heeft een onderzoek gedaan naar de relatie tussen boomongevallen en wegkenmerken (Schoon & Bos, 1983). Als maat is gebruikt het percentage van alle ongevallen die met een boom te maken hadden (de frequentie). De volgende resultaten zijn gevonden:

- op wegen met een gesloten bomenrij neemt de frequentie van boomongevallen af met het groter worden van de afstand tussen de bomen en de wegrand;
- er is geen bepaalde afstand waarboven de frequentie plotseling drastisch vermindert;
- de ernst van de boomongevallen neemt niet af met het groter worden van de afstand;
- de relatie tussen de frequentie van boomongevallen en de afstand tot de wegrand hangt af van het wegtype (en daarmee waarschijnlijk van de snelheid en het verkeerstype).

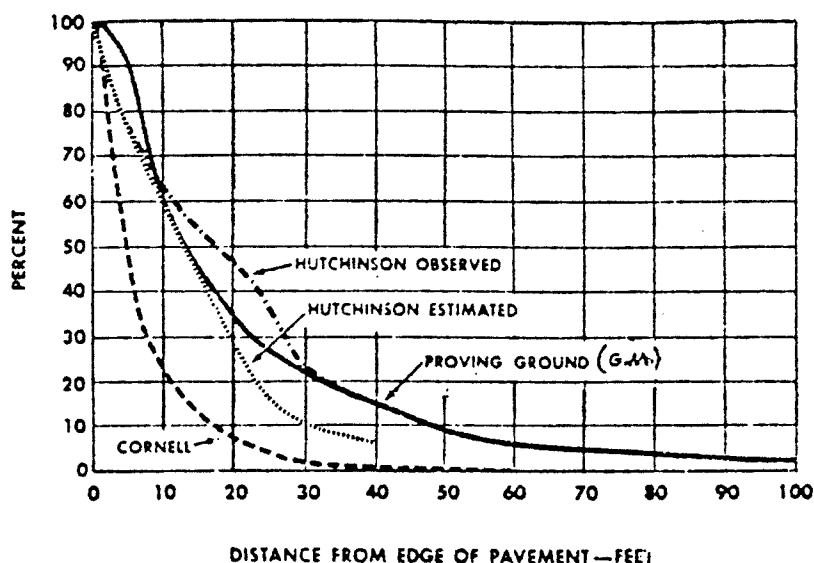
Wat dit laatste betreft, kunnen de resultaten van Schoon & Bos (op.cit.) als volgt worden samengevat.

- voor provinciale enkelbaanswegen (meest 80 km/uur-wegen) neemt het aantal boomongevallen tot 20% af bij een vrije bermbreedte van ca. 4,5 meter, en tot 10% bij ca. 6,5 meter;
- voor enkelbaans rijkswegen (meestal autowegen) wordt 20% bereikt bij ca. 7 meter en 10% bij ruim 9 meter;
- voor dubbelbaans rijkswegen (meestal autosnelwegen) wordt 20% bereikt bij ruim 15 meter en 10% bij ruim 20 meter.

Opgemerkt dient te worden dat de gegevens van Schoon & Bos voor de (enkelbaans en dubbelbaans) rijkswegen nogal ver zijn geëxtrapolerd, zodat de gegeven getallen voor die wegtypen niet meer dan een eerste oriëntatie zijn. Voor provinciale wegen kunnen de getallen met wat meer vertrouwen worden gehanteerd. Zie verder Tabel 2.

De bovenstaande gegevens betreffen ongevallen met bomen en bomenrijen. Voor windturbines, die meestal veel groter zijn en veel verder uit elkaar staan, kan dit niet meer dan een eerste oriëntatie opleveren. De opgaven uit dit onderzoek zullen als een soort 'ondergrens' worden gehanteerd.

Voor autosnelwegen is in het verleden onderzoek gedaan over de afstand waarover auto's, in geval van een vrije berm, de berm binnendringen. Hierover is in de loop van de jaren heel wat onderzoek uitgevoerd. Ofschoon een deel van dit onderzoek reeds tamelijk oud is, zijn deze gegevens waarschijnlijk toch beter bruikbaar voor de algemene beschouwingen over de 'vrije berm' dan de wat specifiekere boomongevallen. Een overzicht van de resultaten is gegeven door DHV (1984). Samenvattend wordt gesteld dat "alle studies wijzen op het belang van een obstakelvrije zone langs de rijbaan ten behoeve van het voorkómen van enkelzijdige ongevallen" (DHV, 1984, blz. 41). Over de breedte van deze zone zijn verschillende opgaven gedaan. De meeste studies komen uit op ca. 10 meter, terwijl andere studies lagere waarden suggereren. Stonex (1964) heeft in een 'klassiek' overzicht gesteld dat " ... a relative safe roadside can be developed by providing easy operation up to 25 ft from the edge of the pavement". Afbeelding 1, ontleend aan de studie van Stonex, geeft een overzicht van de resultaten. Ook wanneer men het modernere onderzoek in de beschouwing betreft, blijkt dat de meeste auto's niet verder komen dan 10 meter.



Afbeelding 1. De zijdelingse afstand waarop van de weg geraakte auto's tot stilstand komen (*Ontleend aan Stonex, 1964*).

Ook hier blijkt echter dat er niet een bepaalde afstand kan worden aangegeven waarboven de frequentie plotseling drastisch vermindert; een 10% van de auto's komt verder (Van der Drift, 1987). Op basis van deze overwegingen heeft de Rijkswaterstaat een aantal richtlijnen over de breedte van de obstakelvrije zones gegeven voor verschillende wegklassen. De richtlijnen zijn gegeven in RONA en ROA, en samengevat in Van der Drift (1987). Op basis van die samengevatte gegevens is Tabel 3 opgesteld.

De richtlijnen van de Rijkswaterstaat, zoals ze zijn samengevat in Tabel 3, stemmen goed overeen met de opgaven uit de literatuur - met name de opgaven voor autosnelwegen. Ze zijn echter duidelijk lager dan de waarden waartoe op grond van de studie van Schoon & Bos over boomongevallen kan worden geconcludeerd. Die leiden tot aanzienlijk grotere waarden voor de obstakelvrije zone. Maar bovendien hebben deze waarden betrekking op een ongevalkans van 10%. Nu is een boom of een ander obstakel geen 'vriendelijk' botsobject, maar men mag waarschijnlijk stellen dat een windturbine nog aanzienlijk 'onvriendelijker' is - met name wegens de kans dat stukken van de turbine of zelfs van de mast naar beneden vallen.

Het lijkt daarom niet genoeg om de opgaven van de Rijkswaterstaat te volgen, noch de suggesties die uit het onderzoek naar boomongevallen volgen, maar een nog grotere *veiligheidsmarge* in te voeren. Indien geen andere beveiligingsconstructies worden toegepast, worden de volgende waarden voor de obstakelvrije zone voor windturbines aanbevolen:

voor autosnelwegen	30 meter;
voor autowegen	15 meter;
voor wegen voor gemengd verkeer	10 meter;
voor landbouwwegen, fietspaden enz.	5 meter.

Bij het vaststellen van de breedte van een obstakelvrije zone dient met eventuele service-werkzaamheden rekening te worden gehouden (par. 3.1). Overigens kan worden opgemerkt dat het ook om andere redenen, die verderop in dit rapport worden besproken, wellicht af te raden is om windturbines (dicht) langs autosnelwegen te plaatsen.

3.3. Afscherpende constructies

Wanneer het niet mogelijk is de afstand tussen de windturbines en de wegrand zo groot te maken dat botsingen niet (meer) te vrezen zijn, dient de windturbine te worden afgeschermd, tenzij de windturbine 'niet-agressief' kan worden uitgevoerd. Zoals uit de par. 3.4 blijkt, komt deze oplossing voor de gangbare windturbines niet in aanmerking.

De SWOV heeft gedurende een groot aantal jaren veel onderzoek uitgevoerd naar afscherpende constructies. Voor het grootste deel hadden deze onderzoeken betrekking op bermen van wegen, vandaar de veel gebruikte term 'bermbeveiligingsconstructie'.

"De toepassing van bermbeveiligingsconstructies is erop gericht voorzieningen te scheppen die minder risico opleveren dan de gevarezone die door de constructie wordt afgeschermd" (SWOV, 1970, blz. 11).

Er bestaan twee 'families' van beveiligingsconstructies waarmee, mits juist uitgevoerd, aan de gestelde eisen kan worden voldaan, en wel

- continue (doorlopende) constructies (geleideconstructies);
- discontinue constructies (obstakelbeveiligers).

In algemene termen kan worden gesteld dat het toepassingsgebied van deze twee families duidelijk is: bij langgerekte obstakels komt de continue beveiliging in aanmerking, bij kleine of ver uiteenliggende obstakels de discontinue constructies. Daarbij moet rekening worden gehouden met het feit dat een continue constructie voor een niet-aaneengesloten rij van obstakels een continu botsrisico vormt. Met andere woorden: bij een niet-aaneengesloten rij obstakels kan men soms tussen de obstakels door rijden; bij een geleiderailconstructie kan dit uiteraard niet. Overigens zal moeten blijken of deze algemene regel ook voor windturbines in de voor Nederland gebruikelijke configuraties geldt.

Bij kleine onderlinge afstand tussen de obstakels is de continue beveiliging te verkiezen. Bij toenemende onderlinge afstand komt er een moment waarbij aan discontinue bescherming de voorkeur dient te worden gegeven. Er is geen vaste regel te geven voor welke afstand tussen de obstakels deze overgang plaatsvindt. Er zijn drie aspecten die bij een vergelijking tussen een continue beveiliging en een discontinue bescherming aan de orde komen:

- het aantal obstakels (of de lengte van de rij);
- de ligging van de locatie van de windturbines ten opzichte van de weg;
- de kosten.

Wat betreft de lengte van de rij kan het volgende worden opgemerkt. Het is gebruikelijk om de beveiligingsconstructie ca. 50 meter langer te maken dan het te beveiligen obstakel; bij twee-richtingsverkeer is de minimale lengte van de constructie gelijk aan de lengte van de rij turbines, vermeerderd met 100 meter. Bij een langere rij is de relatieve

bijdrage van de uiteinden van de constructie geringer. Anderzijds moet men rekening houden met het extra risico dat het begin (het 'puntstuk') van een geleiderailconstructie kan opleveren. Bij korte constructies kan dit relatief belangrijke factor worden.

Wat betreft de ligging van de windturbines en van de beveiligingsconstructies ten opzichte van elkaar moet men bedenken dat voor de werking van de beveiliging vooral de inrijhoek van belang is. Meer in het bijzonder hangt de werking van de 'rimpelbuisobstakelbeveiliging' (RIMOB) sterk af van de inrijhoek. In geval de weg op een dijk ligt, of in geval er een greppel of een sloot tussen de turbine en de weg ligt, kan de inrijhoek niet worden voorspeld. In deze gevallen lijken RIMOB's weinig geëigend te zijn als beveiligingsconstructie.

Wat betreft de kosten kan het volgende worden opgemerkt: een dubbeluitgebouwde stalen geleiderailconstructie kost ongeveer f 75 .- per meter (materiaal plus installatie), een RIMOB kost ca. f 15.000,- per stuk. Dit zijn niet meer dan globale opgaven; exacte getallen kunnen alleen gegeven worden wanneer het type van de constructie en de locatie (inclusief de ondergrond) precies bekend zijn. Voorts moet men bedenken dat bij een weg met twee-richtingsverkeer aan iedere zijde van het obstakel één RIMOB nodig is. Globaal kan men stellen dat men voor de kosten van één stel RIMOB's ca. 400 meter geleiderailconstructie kan aanleggen.

Wanneer het gaat om de beveiliging van windturbines, moet men eraan denken dat de onderlinge afstand meestal vrij groot is. Als streefwaarde wordt wel aangehouden dat de onderlinge afstand dwars op de belangrijkste windrichting ca. 5 maal de rotordiameter is, en in de windrichting ca. 7 maal. In de praktijk zijn de onderlinge afstanden vaak honderd meter of minder. Bij de windturbineparken langs het Noord-Hollands Kanaal zijn de volgende afstanden gevonden: bij het park Zijpe ca. 75 meter, bij Callantsoog ruim 65 meter. Deze afstanden zijn dus aanzienlijk korter dan de 200 meter die hierboven als 'break even'-point tussen railconstructies en obstakelbeveiligers is genoemd. Ook voor de grotere onderlinge afstanden die voor moderne windturbineparken voor grote vermogens worden aangehouden, blijft deze vuistregel gelden. Bij turbines met een vermogen van 400 KW of meer worden onderlinge afstanden van tenminste 150 meter aangehouden.

In algemeen termen mag men verwachten dat in geval van een vergelijking de geleideconstructies de voorkeur zullen verdienen. Hierna worden in par. 3.4 de geleideconstructies nader besproken. Gezien de diverse onzekerheden wordt echter aanbevolen om, wanneer beveiligingsconstructies worden overwogen, van geval tot geval een beslissing te nemen. Daarom, en ook omdat er soms voor apart staande turbines beveiligingen nodig zijn, worden ook de obstakelbeveiligers besproken (par. 3.5).

3.4. Geleideconstructies

Aan de beveiligingsconstructie dienen een aantal eisen te worden gesteld:

- voertuigen mogen, in geval van een aanrijding, niet door de constructie breken, niet erover heen noch eronder door schieten;
- letsel voor de inzittenden en schade aan constructie en voertuig dient zo veel mogelijk te worden beperkt;

- voertuigen mogen niet in de eigen verkeersstroom worden teruggekaatst;
- na een aanrijding dient de constructie haar werking zo veel mogelijk te behouden.

Functioneel betekent dit dat de botsende voertuig langs de constructie moet worden geleid, en dat vertragingen (zowel in langsrichting als in dwarsrichting) beperkt moeten blijven. Vandaar de veel gebezigde term 'geleideconstructie'. Dit betekent echter dat beveiligingsconstructies zelf objecten zijn waarmee kan worden gebotst, en wel objecten die een zeker risico met zich brengen in geval van botsing. Ten onrechte wordt wel eens gemeend dat het doel van de beschermingsconstructies is het beschermen van de betreffende objecten; dit is echter onjuist. Het doel van de constructies is het bevorderen van de verkeersveiligheid; dat wil zeggen het risico voor het verkeer (het botsende voertuig en de inzittenden ervan) te verminderen. Als vuistregel voor het 'nut' van dergelijke constructies geldt dat het risico op letsel en/of schade bij botsing met de beschermingsconstructie (aanzienlijk) lager moet zijn dan het risico op letsel en/of schade bij botsing met het afgeschermd object.

Bij een botsing wordt het botsende voertuig door de constructie zodanig bijgestuurd dat de koers opnieuw, net als bij het normale verkeer, evenwijdig is aan de weg. Dit gebeurt door de reactiekracht van de constructie op het voertuig te gebruiken. Hiervoor wordt hetzij de wielophanging of het koetswerk gebruikt. Het voertuig loopt daarbij meestal schade - en vaak aanzienlijke schade - op. Starre constructies (die meestal van beton zijn; zie Heijer, 1992, blz. 23) grijpen gewoonlijk op de ophanging van de voorwielen aan. Daarbij ontstaat het probleem dat de koers van een voertuig wanneer de voorwielophanging geheel is vervormd, moeilijk te voorspellen is. Een voordeel is dat doorschrijding - ook door zeer zware vrachtauto's - niet meer voorkomt. Flexibele constructies (die gewoonlijk van staal zijn; *ibid.*, blz. 24) grijpen meestal aan op het koetswerk. Met een flexibele constructie wordt bereikt dat de vertraging in dwarsrichting geringer wordt dan bij een starre constructie. De kans op zeer ernstige beschadigingen en op letsel is geringer. Een probleem bij het ontwerp van flexibele geleideconstructies is het feit dat ze effectief moeten zijn bij botsingen met voertuigen van zeer onderscheiden massa. In de praktijk kan het voorkomen dat een constructie die voor een middelzware vrachtauto naar wens flexibel is, voor een lichte personenauto volledig star kan zijn, terwijl een zware vrachtauto de constructie nog kan doorschrijden. De keuze tussen starre en flexibele, of tussen betonnen of stalen constructies, hangt af van kostenfactoren en van de condities ter plaatse. Zie hiervoor Kusters & Van der Drift, 1992.

3.4.1. *Starre constructies*

Voor een starre constructie is niet veel plaats nodig; dat is in vele gevallen een belangrijk argument bij de plaatsing. Wanneer de constructie direct naast de kantstreep staat, zijn de inrijhoeken gering, maar er is geen 'bergingszone'; dat wil zeggen een buiten de rijbaan liggende strook waar de beschadigde auto's kunnen blijven staan. Als compromis neemt men voor autosnelwegen vaak een ruimte van 1 meter tussen de (binnenzijde van de) kantstreep en de constructie zelf (Kusters & Van der Drift, 1992, blz. 25). Constructies die alleen van één zijde kunnen worden benaderd, zijn meestal ca. 50 cm 'dik' (*ibid.*, blz. 25). Voor andere wegen waar de rijnsnelheid geringer is en een bergingszone minder essentieel, kan men een kleinere afstand nemen, tot zelfs de breedte van de kantstreep.

Zo komt men tot de volgende suggesties voor de afstand tussen wegrand en windturbine, in geval van toepassing van starre (betonnen) geleideconstructies:

voor autosnelwegen	1,50 meter;
voor autowegen	1,50 meter;
voor wegen voor gemengd verkeer	1,00 meter;
voor landbouwwegen, fietspaden enz.	(0,70 meter).

Daarbij blijft de vraag bestaan of een afschermingsconstructie bij landbouwwegen en andere wegen met een lage (ontwerp)snelheid wel zinvol is. Voorts moet, vooral wanneer de afstand tot de wegrand gering wordt gekozen, rekening worden gehouden met eventuele servicewerkzaamheden (par. 3.1).

3.4.1. *Flexibele constructies*

Flexibele constructie buigen uit bij aanrijding; de vervormingsenergie van de constructie levert de reactiekracht op die voor het bijsturen van het botsende voertuig nodig is. De constructie moet dus kunnen uitbuigen. Door de SWOV is een progressief werkende constructie naar voren gebracht, waarbij de reactiekracht toeneemt bij toenemende uitbuiging, dus bij toenemende botsingsenergie (zwaardere voertuigen of hogere snelheid; zie SWOV, 1970). Bij aanrijdingen door zware voertuigen moet de constructie bovendien weerstand bieden tegen doorschrijding. Daarvoor is een star 'gedrag' nodig. Om dit te bereiken is een constructie met aanzienlijke breedte gekozen; na een grote uitbuiging komt de achterkant op de grond, en daarna fungeert het geheel als een starre constructie. Bij door de SWOV naar voren gebrachte constructie is deze dubbele werking gewaarborgd. Deze constructie heet de 'dubbelzijdig uitgebouwde constructie'. De constructie is meestal ca. 0,8 meter breed (SWOV, 1970, blz. 36). De SWOV beveelt voor autosnelwegen een bergingszone van 2,60 meter aan (ibid., blz. 37). Maar men moet ook nog rekening houden met de mogelijkheid van het naar achter uitbuigen van de constructie. Hiervoor is volgens de SWOV, afhankelijk van de wijze waarop de palen zijn aangebracht (geboord of geheid) 1 tot 1,5 meter nodig (ibid, blz. 37 en Afbeelding 12). Tenslotte moet men voor de zijberm van autosnelwegen nog met een kantstrook en een vluchtstrook rekening houden. Daarvoor kan men 3 meter rekenen (zie bijv. Schreuder, 1972). Zo komt men tot de volgende suggesties voor de afstand tussen wegrand en windturbine, in geval van toepassing van flexibele (tweezijdig uitgebouwde, stalen) geleideconstructies met geboorde palen:

- voor autosnelwegen	5,30 meter;
- voor autowegen	4,90 meter;
- voor wegen voor gemengd verkeer	3,50 meter;
- voor landbouwwegen, fietspaden enz.	(3,00 meter).

Ook hier blijft de vraag bestaan of een afschermingsconstructie bij landbouwwegen en andere wegen met een lage (ontwerp)snelheid wel zinvol is. En ook hier moet, vooral wanneer de afstand tot de wegrand gering wordt gekozen, rekening worden gehouden met eventuele servicewerkzaamheden (par. 3.1).

3.5. **Obstakelbeveiligers**

Obstakelbeveiligers zijn constructies die bedoeld zijn om het risico van ernstig letsel bij

een botsing met een apart, op zichzelf staand obstakel te verminderen. Er zijn heel wat varianten in omloop. Recentelijk worden in Nederland nogal eens de zgn. RIMOB's toegepast. De constructie ervan en de werking zijn in detail beschreven door Schoon (1982). Een vrij recente evaluatie (Schoon, 1990; zie ook Anon., 1990) heeft aangegeven dat er 169 RIMOB's waren geplaatst, en dat er 97 aanrijdingen zijn geconstateerd. RIMOB's hebben kennelijk een functie. Van deze aanrijdingen waren er 38 ernstig genoeg om een politierapport nodig te maken. Geconcludeerd is "dat de RIMOB voldoet" (Anon, 1992, blz. 3). Er is geen dodelijk ongeval geregistreerd. "Van de 38 ongevallen waren er 1 à 2 met ziekenhuisopname en 4 à 5 met licht letsel" (ibid, blz. 3). De conclusie dat de RIMOB voldoet, is afgeleid uit een vergelijking van de relatieve ernst van de afloop van ongevallen met RIMOB's en met bomen. Er is een relatie gedefinieerd waarbij het aantal doden wordt gedeeld door het aantal slachtoffers. Bij de boomongevallen wordt voor deze verhouding 13,4% gevonden, en voor de RIMOB 0 (want er waren immers geen dodelijke ongevallen) (Schoon, 1990, blz. 29). Een RIMOB is dus zelf een aanzienlijke gevarenbron, maar het risico op ernstig letsel bij een botsing met een RIMOB lijkt veel kleiner te zijn dan bij een botsing met een niet-afgeschermd obstakel (Kusters & Van der Drift, 1990).

Zoals eerder reeds is aangegeven, zijn RIMOB's vrij duur: een bedrag van f 15.000,- per stuk (dus f 30.000,- per paar) wordt vaak genoemd - geld genoeg om ca. 400 meter traditionele geleiderailconstructie aan te leggen (par. 3.3). Daarom worden RIMOB's vooral bij geïsoleerde obstakels gebruikt. Gezien de gebruikelijke afstand tussen de opeenvolgende masten van een windturbinepark lijkt een railconstructie in het algemeen goedkoper. Ook heeft het er wat betreft het aantal en de ernst van de ongevallen de schijn van dat men een bepaald obstakel beter met een railconstructie kan beveiligen dan met een obstakelbeveiliging. We merken op dat deze laatste uitspraak geen hechte fundering heeft. RIMOB's komen wellicht vooral voor geïsoleerde windturbines in aanmerking. Daarbij dient te worden opgemerkt dat een RIMOB, zoals gezegd, stroomopwaarts wordt geplaatst; voor een eventuele zijdelingse aanrijding kunnen nog aanvullende voorzieningen nodig zijn. Ook moeten we bedenken dat obstakelbeveiligers vrijwel uitsluitend op autosnelwegen worden gebruikt. Het effect bij lage inrijnsnelheden is niet goed bekend. In vele gevallen kan een RIMOB met succes door een geleiderailconstructie van ca. 100 meter lengte worden vervangen (Kusters & Van der Drift, 1990, blz. 477).

Omdat een RIMOB 'stroomopwaarts' van het obstakel wordt geplaatst en niet, zoals een geleiderailconstructie, tussen het obstakel en de rijbaan, is het niet mogelijk om een algemene opgave te geven van de minimale afstand tussen een windturbine en de rijbaan in geval men RIMOB's toepast. Voorschriften of regels schijnen er, waarschijnlijk om dezelfde reden, niet te bestaan. Uit waarnemingen in de praktijk, en uit de afbeeldingen in de literatuur, met name uit Kusters & Van der Drift (1990) mag voorzichtig worden geconcludeerd dat voor de RIMOB een meter extra afstand tussen de turbine en de wegrand nodig is. Het feit dat een RIMOB in dwarsrichting als een starre geleideconstructie fungeert (Schoon, 1982; Kusters & Van der Drift, 1990), leidt tot een vergelijkbare schatting, waarbij men kan denken aan de RIMOB als een constructie die 0,5 meter breder is dan een betonnen geleideconstructie (zie par. 3.4.1).

Een afweging van de verschillende aspecten die hierbij aan de orde zijn gekomen, doet vermoeden dat obstakelbeveiligers waarschijnlijk voor algemene toepassingen, ook bij

apart geplaatste windturbines, nauwelijks in aanmerking komen. Dit volgt uit het feit dat obstakelbeveiligers zelf niet zonder gevaar zijn bij botsingen, en dat ze gewoonlijk duurder zijn dan andere alternatieven. In die gevallen waarbij de keuze valt op de toepassing van obstakelbeveiligers van het type RIMOB, gelden de volgende suggesties voor de afstand tussen wegrand en windturbine:

- voor autosnelwegen 2,00 meter;
- voor autowegen 2,00 meter;
- voor wegen voor gemengd verkeer 1,50 meter;
- voor landbouwwegen, fietspaden enz. (1,20 meter).

Ook hier blijft de vraag bestaan of een afschermingsconstructie bij landbouwwegen en andere wegen met een lage (ontwerp)snelheid wel zinvol is. En ook hier moet rekening worden gehouden met eventuele servicewerkzaamheden (par. 3.1).

3.6. 'Niet-agressieve' constructies

Obstakels worden wel ingedeeld in 'agressief' en 'niet-agressief'. De termen doen wat vreemd aan voor passieve obstakels, maar er wordt mee bedoeld dat de kans op schade en/of letsel bij een botsing in het eerste geval aanzienlijk is, en in het tweede geval veel kleiner. Een obstakel wordt 'niet-agressief' genoemd wanneer bij een botsing de vertraging die het botsende voertuig ondervindt, gering is, hetgeen tot gevolg heeft dat de schade, en ook de kans op letsel minder is. Om dat te bereiken moet het obstakel kunnen doorbuigen, meegeven of afbreken. Men spreekt in deze gevallen wel van flexibele constructies, schuifconstructies en breekconstructies. Ook op dit gebied heeft de SWOV heel wat onderzoek uitgevoerd. Dit onderzoek is geconcentreerd op lichtmasten, maar ook andere constructies (praatpalen, bewegwijzering enz) zijn onderzocht. Het onderzoek is voor een belangrijk deel neergelegd in twee rapporten (SWOV, 1976, 1976a).

Bij lichtmasten worden flexibele constructies alleen voor masten met een kleine hoogte (tot ca. 7 meter) toegepast. Deze buigen om na een botsing. Bij hogere masten kan men schuif- of breekconstructies toepassen, waarbij na een botsing de mast los komt van de fundering. Een probleem is dat men niet van te voren kan voorspellen waar de mast terecht zal komen. Dergelijke constructies worden in Nederland zeer zelden toegepast; in andere landen, meer in het bijzonder de VS, worden breek- en schuifconstructies voor masten tot 12 à 14 hoogte toegepast.

Voor lichtmasten die meer dan ca. 14 meter hoog zijn, blijken deze 'niet-agressieve' constructies in de praktijk niet toegepast te kunnen worden. Daarvoor zijn twee redenen: ten eerste is het gevaar van de omvallende of omgevallen mast te groot; ten tweede is het niet mogelijk een constructie te maken die 'los' genoeg is om als niet-agressief te kunnen gelden, en tegelijk 'vast' genoeg om de windbelasting van mast en armatuur te kunnen weerstaan.

Masten van meer dan 14 meter hoog worden steeds als 'star' obstakel uitgevoerd, en dienen dan ook te worden afgeschermd.

Voor windturbines is dit meestal in versterkte mate het geval. Er komen wel kleine windmolens voor, maar de meeste windturbines zijn toch enige tot vele tientallen meters hoog. 'Niet-agressieve' constructies zijn voor dergelijke grote objecten ten enenmale onmogelijk.

4. BOTSSEN MET AFGEVALLEN ONDERDELEN OF IJS

Afbrekende en rondvliegende onderdelen van windturbines (bijvoorbeeld rotorbladen of delen ervan) worden nogal eens als een mogelijk gevaar genoemd voor mensen die zich dicht bij de turbines bevinden (daaronder begrepen de weggebruikers/verkeersdeelnemers). Ofschoon de kans op ongevallen van deze aard klein is, zullen we er enige aandacht aan besteden, vooral ook wegens de eventuele ernstige gevolgen.

De constructie van windturbines en de bijbehorende installaties zijn aan strenge voorschriften onderworpen. NOVEM geeft uitsluitend subsidie op windturbine-installaties als zowel de installatie als de keurende instantie voldoen aan de daarvoor geldende regels. Een overzicht van de regels is gegeven in Stam (red.) (1990). Bovendien moeten alle windturbines voldoen aan de veiligheidsnormen volgens NEN 6069-2 (ontwerp). Dit is een voorwaarde voor het verkrijgen van een vergunning in het kader van de bouw- en hinderwet. Voorts zijn er door VROM criteria uitgegeven omtrent de veiligheid voor de omgeving. Uitgangspunt voor een en ander is een technische levensduur van (tenminste) 20 jaar voor de turbines. Daarbij moet worden opgemerkt dat er om twee redenen nog niet zo erg veel ervaring is opgedaan: ten eerste is de techniek van het gebruik van windenergie in sterke ontwikkeling en verder zijn er geen windturbines die meer dan 20 jaar in gebruik zijn.

Bij het in gebruik nemen van de installatie is er een uitgebreide keuring. Tenslotte worden in Nederland (vrijwel) alle turbines bij sterke wind stil gezet; meestal gebeurt dit bij een windkracht van Beaufort 7 à 8 (stormachtige wind tot storm).

Er is slechts een enkel geval bekend waarbij enige onderdelen op of nabij de openbare weg terecht zijn gekomen. Terecht is aan dit geval de nodige aandacht besteed. De afstand van de turbine tot de weg bedroeg ruim 40 meter. Zo ver kunnen dus brokstukken, zij het in uitzonderingsgevallen, worden weggeslingerd. Bij dat type wordt de rotor niet stilgezet bij hoge windsnelheden, maar (ten dele) uit de wind gedraaid. Bij het wegdraaien van een snel roterende rotor kunnen grote krachten optreden (voor een deel wringingskrachten) die de rotor kunnen vernielen. Inmiddels zijn aan dit type windturbine ingrijpende wijzigingen in de beveiligingen doorgevoerd, gericht op het voorkomen van dergelijke incidenten.

Het lijkt niet nodig op grond van dit incident een minimale afstand tussen turbines en de weg aan te bevelen, vooral ook omdat er doeltreffende veiligheidsconstructies bestaan die dergelijke gebeurtenissen kunnen voorkomen. Ten slotte zijn de omstandigheden waaronder risico's voor dergelijke incidenten bestaan, goed te voorspellen.

Ook ijs dat zich op de rotorbladen kan vormen, kan afbreken en een gevaar vormen. Dit ijs kan in brokken van de wieken vallen en passanten treffen. Wanneer de turbines in een landbouwgebied zijn geplaatst, kunnen omwonenden, mensen die op het land werken of vee worden getroffen. De kans voor het direct treffen is uiteraard zeer klein, maar ook de stukken ijs die op de weg blijven liggen kunnen voor het verkeer een gevaar opleveren, vooral bij slecht zicht en/of duisternis. Een gebruikelijke oplossing voor ijsrisico's is het

stilzetten van de turbines bij weersomstandigheden die kunnen leiden tot dergelijke incidenten. In sommige gevallen wordt dit in de vergunningen ook voorgeschreven.

Een oplossing voor het mogelijke gevaar is om de turbines niet te dicht bij de weg te plaatsen. Om een indruk te krijgen van de minimale afstand nemen we een turbine van 50 m hoog, waarvan de rotor stil staat. De tijd die een voorwerp nodig heeft om te grond te bereiken volgt uit $s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$. Met $a = 10$ en $s = 50$ volgt hieruit $t = 3$ seconde. Een krachtige wind correspondeert met 20 m/sec, zodat een voorwerp dat volledig door de wind wordt meegenomen, ca. 60 meter van de windturbine de grond treft. Voor reële objecten mag men daarvan waarschijnlijk wel een derde nemen, zodat men mag verwachten dat gevaar van onderdelen of ijs dat van de turbine valt, te verwaarlozen is wanneer de turbines ten minste 20 meter van de weg worden geplaatst.

Een meer voor de hand liggende oplossing van het (waarschijnlijk toch al zeer kleine) probleem van vallend ijs is het kiezen van het oppervlak van de wieken waarbij geen grote ophopingen van ijs kunnen ontstaan. Een glad oppervlak is daarvoor te verkiezen. Deze wens kan echter wellicht strijdig zijn met een andere wens om, ter voorkoming van hinderlijke spiegelingen, een diffuus reflecterend oppervlak te nemen. In dat geval kan - als uiterste maatregel - verwarming in de wieken worden aangebracht. Een bordje 'gevaar voor ijs' heeft geen nut; de kans op vallend ijs is zo klein dat geen enkele weggebruiker een dergelijke waarschuwing ter harte zal nemen. Bovendien is het niet duidelijk welke (re)actie van de weggebruiker wordt verwacht. Dergelijke 'waarschuwingen' worden soms wel gebruikt om de verantwoordelijkheid bij een eventueel ongeval bij de weggebruiker te leggen. Dergelijke praktijken zijn niet alleen af te keuren, ze zijn ook in strijd met het Nieuw Burgerlijk Wetboek, waarin de verantwoordelijkheid van eigenaars en beheerders van installaties is geregeld.

5. LUCHTTURBULENTIE

5.1. Windhinder

Windhinder is een belangrijk aspect van de verkeersveiligheid. Wind, en meer in het bijzonder windvlagen, kunnen de stabiliteit van voertuigen verstoren; dit leidt tot ongemak, en in ernstige gevallen kan het tot ongevallen leiden, waarbij vooral tweewielers gevaar lopen. Speciaal gevaar kan optreden wanneer de vlagen periodiek optreden, zoals vaak gebeurt bij het passeren van een aantal voorwerpen langs de weg, wanneer die op vaste onderlinge afstanden zijn geplaatst. Er kan dan een soort 'opslingering' (resonantie) optreden, waarbij de resultaten veel ernstiger kunnen zijn dan van de afzonderlijke vlagen.

De SWOV heeft op dit gebied is vrij veel onderzoek uitgevoerd. Het onderzoek is toegespitst op de gevaren bij een aantal specifieke plaatsen, zoals de Moerdijkbrug en de Westerschelde-afsluiting. Het betrof zaken als de zijwindgevoeligheid van caravancombinaties en bromfietzers, waarbij speciale aandacht is besteed aan rukwinden en aan de invloed van (passerende of gepasseerde) vrachtauto's, en van periodieke verschijnselen. Zie hiervoor bijvoorbeeld Wouters (1980b, 1982, 1983).

5.2. Gevaar door rukwinden

Het onderzoek heeft in algemene termen geleid tot het inzicht dat alle voertuigen hinder van wind kunnen ondervinden, maar dat de soort van de hinder en het gevaar dat ermee gepaard kan gaan, aanzienlijk kan schelen voor verschillende voertuigtypen. Bij vier- of meerwielige voertuigen gaat het in de eerste plaats om het koershouden. Zijwind, en meer in het bijzonder rukwinden van opzij, kunnen tot aanzienlijke afwijkingen in de koers van het voertuig leiden (Wouters, 1985). Het voertuig kan van de rijstrook of zelfs van de weg af raken, en in botsing komen met andere voertuigen (weggebruikers) of met vaste voorwerpen. De praktijk leert dat dit alleen gevaar oplevert bij hetzij zware storm en zeer open gelegen weggedeelten, of bij onverwachte rukwinden, zoals die kunnen optreden bij het passeren van een vrachtauto. Bij gelede voertuigen kunnen extra complicaties optreden doordat de trekker en de aanhangwagen ieder op een verschillende wijze afwijken van de koers; dit is vooral van belang bij lichte trekkers en hoge aanhangers met een grote windvang; vooral caravancombinaties zijn extra gevoelig (Tromp, 1987).

Voor tweewielers gaat het daarentegen vooral om de stabiliteit (Wouters, 1980a). Vooral bij fietsen kan dit een gevaar opleveren omdat bij sterke wind (zeker bij sterke tegenwind) de voorwaartse snelheid gering kan worden, een factor die op zich reeds tot vermindering van stabiliteit kan leiden. Ook bij fietsen kan het gebrek aan stabiliteit leiden tot het van de weg raken, zodat aanrijdingen met (door) auto's tot de mogelijkheden behoren. Maar ook kunnen de berijders door verstoringen van de stabiliteit ten val komen.

Fietsers lopen speciaal gevaar bij de onverwachte rukwinden, zoals die kunnen optreden bij het passeren van een vrachtauto. Rukwinden komen echter niet alleen in de buurt van vrachtauto's voor. Wind wordt altijd door het aardoppervlak beïnvloed. De windsterkte

neemt toe met toenemende hoogte boven het aardoppervlak. Deze toename gaat door tot ca. 80 à 100 m hoogte. Bovendien is de luchtstroming vrijwel nooit laminair, maar steeds in meer of mindere mate turbulent, hetgeen zich uit in vlagen en/of rukwinden.

5.3. Windgevaar bij windturbines

Hetgeen eerder in par. 5.1 en 5.2 is vermeld, geldt voor alle wegen, en is dus niet direct relevant voor de vraag of windturbines de verkeersveiligheid kunnen beïnvloeden. Wel mag men verwachten dat wind een speciaal probleem kan zijn voor wegen in de buurt van de turbines; niet zozeer omdat de turbines enige vorm van invloed zouden hebben, maar omdat het juist de gebieden met veel wind zijn die men als locatie voor windturbines selecteert.

Het is dus niet de wind zelf die in de buurt van windturbines voor problemen kan zorgen, maar veel eerder de door de windturbine veroorzaakte verstoring van het windpatroon. Men mag verwachten dat deze invloed gering is, omdat men de rotoren van windturbines hoog boven de grond plaatst om van de grotere windsnelheid in hogere luchtlagen gebruik te kunnen maken. Het windpatroon dicht bij de grond wordt dus niet of nauwelijks verstoord.

Het is natuurlijk wel zo dat de windturbines in sterke mate de passerende luchtstroom beïnvloeden; anders zou de gewenste energie-overdracht van de luchtstroom naar de turbine niet kunnen plaatsvinden. Deze beïnvloeding uit zich in een zone van (extra) turbulentie (een 'zog') aan de zijzijde van de turbine. Dit zog strekt zich over een aanzienlijke lengte uit. Het nabije zog strekt zich uit over een lengte van twee à drie maal de rotordiameter, het verre zog sluit daarop aan. Op afstanden groter dan ca. tien maal de rotordiameter is de invloed van de turbine nauwelijks meer merkbaar. Door de dissipatie van de energie die in de turbulenties ('eddies') aanwezig is, breidt het zog zich lateraal uit. De 'openingshoek' van het nabije zog bedraagt ca. 20 tot 30 graden buiten de as, en voor het verre zog ca. 15 graden buiten de as. Bij een turbine met een ashoogte van 30 meter en een rotordiameter van 20 meter raakt het zog dus na ca. 60 meter de grond. Gegeven de wet van het behoud van impuls wordt de snelheidsafname geringer bij een breder zog. De snelheidsverdeling binnen het zog volgt globaal een Gauss-verdeling: in het hart van het zog is de afname het grootst. Globaal genomen kan men stellen dat het zog op een afstand van ca. zes maal de rotordiameter lateraal niet veel breder is twee maal de rotordiameter. De afname van de luchtsnelheid (de invloed van de turbine dus) is op die afstand reeds gering geworden. Veel meer gegevens over het zog van windturbines alsmede een aantal profielen van het snelheidsverlies van de luchtstroming stroomafwaarts van de turbines zijn gegeven door Talmon (1985).

We hebben reeds gewezen op het extra risico dat op kan treden bij resonantie. Net zoals bij ieder resonantie-verschijnsel treedt de grootste uitwijking (amplitude) op wanneer de frequentie van de verstoring gelijk is aan de 'eigenfrequentie' (responsiefrequentie) van het systeem. Ook treden grote amplituden op wanneer deze twee frequenties een geheel veelvoud van elkaar vormen. En tenslotte neemt de amplitude toe bij langere blootstelling aan de storing, uiteraard met een grenswaarde die door het systeem wordt bepaald. Bij fietsen is de grenswaarde soms pas dan bereikt wanneer de fietser gevallen is!

Ieder mens-voertuig-systeem heeft een eigen responsiefrequentie. Voor de inschatting van het effect van een rij masten op de eventuele opslingingen bij sterke zijwind zullen we aannemen dat voor de meeste voertuigen (fietsen, bromfietsen, auto's, vrachtauto's) de responsiefrequentie in de buurt van 0,3 Herz (wisselingen per seconde) ligt. Uiteraard is dit een grof geschatte waarde; zonder preciezere definities van de mens en van het voertuig, en van de condities waaronder de storing optreedt, alsmede van de te verwachten responsie van de bestuurder, is een betere benadering niet mogelijk. Een globale inschatting levert op dat voor vrijwel alle voertuig/bestuurder-combinaties een respons van meer dan 1 Hz nauwelijks haalbaar is, terwijl 0,1 Hz vrijwel steeds kan worden bereikt. Daarom nemen we als een soort 'middenwaarde' 0,3 Hz, het logaritmisch gemiddelde van 0,1 en 1!

Opslingeringen zijn dus vooral te verwachten bij afstanden tussen de stoorbronnen (hier: de masten van de windturbines) die met deze frequentie corresponderen. Bij auto's die met een snelheid van 20 resp. 30 m/sec rijden (ongeveer 70 resp. 100 km/uur), is een kritische afstand gelegen in de buurt van de 60 à 90 meter; bij bromfietsen met een snelheid van ca. 10 m/sec (35 km/uur) is de kritische afstand ook de helft, dus ca. 30 meter, en voor fietsers met een snelheid van ca. 5 m/sec (bijna 20 km/uur) in de buurt van 15 meter.

De waarden die we op deze wijze voor een auto afgeleid hebben, zijn vergelijkbaar met de afstanden die in de praktijk worden gevonden. Een zekere mate van opslinging is dus bij auto's mogelijk. Dit risico is af te wenden door de masten niet te dicht bij de weg te plaatsen, of bij harde wind een snelheidslimiet in te stellen, of om rond de masten een windscherm aan te brengen dat gedeeltelijk de wind doorlaat (Wouters, 1985).

De afstanden die bij fietsen en bromfietsen aan de orde komen, zijn veel kleiner dan de gebruikelijke onderlinge afstanden van masten bij windturbineparken. Toch kan er wel een risico voor 'opslinging' ontstaan wanneer de responsiefrequentie een geheel veelvoud is van de 'opgedrukte' frequentie. Bij een opgedrukte frequentie van 0,1 of 0,03 Hz horen voor de fiets afstanden van 50 of 150 meter; opslingingen zijn daarbij niet uit te sluiten. Het kan mede om deze reden worden aangeraden om in de buurt van windturbineparken in gebieden met veel wind, de wegen van vrijliggende fietspaden te voorzien, indien zowel het gemotoriseerde verkeer als het fietsverkeer gewoonlijk een grote intensiteit hebben, en wanneer de weg aan de lijzijde dicht langs de turbines loopt.

5.4. Consequenties voor de verkeersveiligheid

Het verkeer kan in aanzienlijke mate hinder ondervinden of zelfs gevaar lopen ten gevolge van wind (met name van rukwinden). Voorwerpen in de luchtstroom kunnen verstoringen van het windpatroon veroorzaken, en dus de hinder vergroten. Het is echter niet te verwachten dat, gegeven de geometrie en de werking van windturbines, deze extra verstoring een aanzienlijke toename van de hinder of van het gevaar met zich zal brengen. De indruk bestaat daarmee dat windturbines wat betreft de windhinder geen onacceptabel risico opleveren. Een belangrijke reductie van dat (eventuele) risico is te bereiken door de windturbines aan de lijzijde van de weg te plaatsen, gerekend voor de richtingen waarin krachtige wind het meest voorkomt. Plaatsing ten oosten van de weg verdient dus de voorkeur.

De eventuele toename van het risico kan echter niet worden gekwantificeerd. Het kan raadzaam zijn om, bijvoorbeeld in zeer 'windgevoelige' gebieden ook dit extra risico te vermijden. Dit kan door een bepaalde zone bij de turbines niet voor wegen of fietspaden te gebruiken. Deze zone ligt niet direct onder de molen: onder of zeer dicht bij de turbine wordt de luchtstroom nabij de grond niet beïnvloed. Pas op een afstand van ca. 60 meter wordt de verstoring van het windpatroon ook op de grond merkbaar. Dit geldt voor een turbine met een ashoogte van 30 meter en een rotordiameter van 20 meter; bij een andere geometrie zijn de afstanden iets anders. In dit gebied kan de invloed merkbaar zijn; op grotere afstanden neemt de verstoring van de luchtstroom weer af om bij ca. 200 meter onmerkbaar te worden. Het lijkt dus minder wenselijk om wegen en speciaal fietspaden aan te leggen op een afstand van ca. 60 meter ter zijde van de turbines, vooral wanneer het om een aanzienlijk aantal turbines in een rij gaat. De afstand kan beter wat meer of wat minder bedragen.

Ofschoon voor het verkeer geen direct gevaar te verwachten is, lijkt het wenselijk nadere aandacht te besteden aan de risico's van eventuele 'opslingeringen', vooral voor fietsers. Dit kan goed gebeuren door de situatie bij bestaande windturbineparken kritisch te bekijken. Theoretische of experimentele studies is niet nodig.

6. GELUID

Geluid (lawaai) wordt nogal eens genoemd als een bron van hinder die door windturbines wordt veroorzaakt. Het verkeer, en mogelijk de verkeersveiligheid, kan op twee wijzen worden beïnvloed: het geluidsniveau kan hinder veroorzaken en/of relevante geluidssignalen maskeren, en een plotseling geluid of een plotselinge toename van het geluid kan een schrikreactie teweeg brengen. Het eerste wordt in dit hoofdstuk besproken; voor het tweede zij verwezen naar Hoofdstuk 9.

6.1. Het geluidsniveau

Windturbines kunnen een aanzienlijk algemeen, continu geluidsniveau produceren, waarover - voor mensen dichtbij - een pulserend geluid wordt gesuperponeerd dat afkomstig van de wieken zelf. De frequentie van dit geluid is dus gelijk aan de rotatie van de molen vermenigvuldigd met het aantal wieken. Deze frequentie blijft meestal onder 1 à 2 Herz. Het totale geluid dat door de installatie wordt geproduceerd, hangt sterk af van de windsterkte, die op haar beurt het heersende achtergrondniveau sterk beïnvloedt. Voor de verkeersveiligheid is echter niet zozeer het algemene geluidsniveau van belang, maar om de toevoeging van het geluid van de turbines, of anders gezegd het *verschil* tussen de situaties met en die zonder de windturbine-installatie. Uitgangspunt van het ontwerp (mechanisch en aerodynamisch) is dat voor omwonenden het geluidsniveau ruim onder de wettelijk toegelaten maxima blijft. Dit betekent het geluid voor inzittenden van auto's en bestuurders van motoren en bromfietsen waarschijnlijk niet of nauwelijks te horen zal zijn. Van hinder of gevaar zal zeker geen sprake zijn. Voor fietsers en voetgangers zal het geluid van de installatie waarschijnlijk duidelijk te horen zijn, en eveneens duidelijk boven het achtergrondniveau uit kunnen komen. Gevaar voor de verkeersveiligheid is echter door het geluidsniveau zelf uiterst onwaarschijnlijk te achten, vooral omdat fietsers en voetgangers meestal uit de buurt komen, en dus de situatie grondig kennen.

6.2. Verwarring met signalen

Wanneer het geluid van de installatie nauwelijks waarneembaar is, zoals geschetst voor inzittenden van auto's en berijders van motoren en bromfietsen, is verwarring met en/of maskering van andere (relevante) geluidssignalen niet waarschijnlijk. Ter ondersteuning van deze overwegingen kan worden gewezen op het feit dat hulpverleningsvoertuigen - naast zwaailichten en/of knipperlichten - geluidssignalen voeren, die bedoeld zijn en ontworpen zijn om een maximale mate van aandacht te trekken (Oei, 1986). De praktijk leert echter dat zelfs de sirenes, hoorns of bellen van hulpverleningsvoertuigen vaak niet voldoende opvallen om de andere weggebruikers te bereiken. Dit blijkt uit het grote aantal ongevallen dat plaats vindt met hulpverleningsvoertuigen, ook al zijn de signalen in werking. "Circa 40% van de ongevallen gebeurden terwijl het hulpverleningsvoertuig signalen voerde" (Oei, 1988, blz. 8). Wel moet worden opgemerkt dat deze studie voor het verkeer binnen de bebouwde kom gold. Maar ook buiten de bebouwde kom, waar men de windturbines zal aantreffen, mag men aannemen dat het gevaar van verwarring met signalen niet groot is.

6.3. Fietsers

Anders kan het zijn voor fietsers. Voor fietsers zou er wel sprake kunnen zijn van mogelijke risico's. Te denken valt aan het overstemmen van claxonsignalen door het geluid van de windturbines. Het is moeilijk om een schatting te maken van dit (extra) gevaar. Onderzoek is nauwelijks gedaan. Een poging om de invloed van het dragen van 'walkmans' in het verkeer (met name als fietser en als voetganger) te bepalen, heeft geen onderzoekresultaten of andere bruikbare gegevens opgeleverd. Ook over de (extra) risico's van slechthorenden in het verkeer is weinig bekend. Gezien het lage algemene geluidsniveau van de moderne windturbines is een gevaar voor fietsers niet te vrezen.

6.4. Consequenties voor de verkeersveiligheid

De verkeersveiligheid kan mogelijk op twee wijzen door geluid worden beïnvloed: het geluidsniveau kan hinder veroorzaken en/of relevante geluidssignalen maskeren, en plotseling geluid kan een schrikreactie teweeg brengen. Het is zeer onwaarschijnlijk dat het geluidsniveau van enige invloed is op de verkeersveiligheid. Maskering van relevante signalen door het geluid van de turbines is voor fietsers en voetgangers mogelijk, maar een bron voor gevaar lijkt dit niet te zijn. Voor automobilisten en motor- of bromfietserijders is een invloed afwezig te achten.

7. LICHTEFFECTEN

Bewegende voorwerpen, en meer in het bijzonder periodiek bewegende voorwerpen, kunnen een bepaalde invloed hebben op het visuele systeem; deze invloed kan vrij vaak tot hinder leiden, en soms ook tot gevaarlijke situaties. Van belang zijn daarbij de lichtflitsen en de schaduwen. Andere mogelijk belangrijke lichteffecten zijn verblinding en de eventuele verwarring met relevante (licht)signalen.

7.1. Lichtflitsen

Periodieke lichtflitsen kunnen storend zijn en kunnen in extreme gevallen soms leiden tot epileptische aanvallen. Op dit terrein is zeer veel onderzoek gedaan. Een aanzienlijk deel van dit onderzoek is gericht op toepassingen bij de verlichting van tunnels voor het verkeer, waar dicht opeen gemonteerde lampen bij het doorrijden periodieke lichteffecten kunnen doen ontstaan. Men spreekt wel van het 'flickereffect'. Het oorspronkelijke onderzoek is uitgevoerd door Schreuder (1964). Uit dat onderzoek blijkt dat de hinder van flikkereffecten afhangt van de steilheid van de verlichtingskromme (plotseling aanflitsend licht stoort meer dan geleidelijk aangroeiend licht), de modulatie diepte (licht dat zeer helder is ten opzichte van de achtergrond stoort meer dan licht dat weinig van de achtergrond afwijkt), de licht-donkerverhouding (korte flitsen en lange donkerperioden storen meer dan lange flitsen en korte donkerperioden) en van de verhouding tussen het tijdgemiddelde van de luminantie en de adaptatietoestand (helder licht stoort meer dan zwak licht). De belangrijkste factor is echter de frequentie. Het blijkt dat bij 8 à 9 Hz de hinder maximaal is, en dat bij frequenties onder ca. 2,5 Hz en boven 16 à 18 Hz nauwelijks hinder optreedt, onafhankelijk van de andere genoemde invloedsfactoren. Aanvullend onderzoek heeft uitgewezen dat het gevaar voor epileptische aanvallen, ook bij epileptici, bij lichtflitsen zeer gering is. De berichten dienaangaande lijken over het algemeen nogal overdreven te zijn (Schreuder, 1981).

Bij het ontwerp van de turbines wordt bij een vermogen van ca. 500 kW uitgegaan van een maximale omwentelingssnelheid van ca. 45 omw/min. Dit leidt tot een maximale frequentie van lichteffecten van 1,5 Hz. bij een tweebladige turbine, en tot 2,25 bij een driebladige turbine. Deze frequenties liggen buiten het gebied waar hinder kan optreden, en dus zeker buiten de 'gevaarzone'. Voor het wegverkeer is daarom geen van windturbines afkomstig gevaar te duchten.

Lichtflitsen kunnen bij de onderhavige windturbines alleen optreden ten gevolge van gereflecteerd licht. Overdag komt alleen de zon als eventuele lichtbron in aanmerking; bij duisternis zouden in extreme gevallen de spiegelingen afkomstig van autokoplampen tot lichtflitsen aanleiding kunnen geven. Daartoe zouden de koplampen wel heel erg hoog moeten zijn afgesteld om de turbines te kunnen aanstralen. Turbines kunnen alle op zeer grote afstand (enige kilometers) min of meer horizontaal worden aangestraald. Op dergelijke grote afstanden zijn zelfs bij zeer sterk spiegelende oppervlakken de lichteffecten waarschijnlijk in het geheel niet waar te nemen.

Men mag verwachten dat de lichtflitsen ten gevolge van zonnestraling, behalve wanneer de wieken zeer dof zijn, duidelijk waarneembaar zullen zijn. Het eventuele gevaar voor het verkeer lijkt verwaarloosbaar te zijn.

Eventuele spiegelingen kunnen (vrijwel) volledig worden voorkomen door de wieken van een mat oppervlak te voorzien. Het is echter de vraag op een mat oppervlak uit overwegingen van aerodynamica of van vuilaanhechting acceptabel is.

7.2. Schaduwen

Als lichteffect dat tot hinder, en mogelijk tot gevaarlijke situaties aanleiding kan geven, zijn wel de (periodiek bewegende) schaduwen genoemd. In termen van het flikkereffect zijn dergelijke schaduwen weinig bezwaarlijk: de frequentie ligt buiten het gebied waar hinder kan optreden; zowel de modulatie diepte als de donker-lichtverhouding zijn gering; tenslotte is de luminantie van de lichtflits (bijna precies) gelijk aan de adaptatietoestand. Voor passanten kunnen schaduwen dus geheel worden verwaarloosd als mogelijke bron van gevaar. Wel is het in principe mogelijk dat bewoners van huizen die precies in de schaduw van de turbine liggen, door de lange blootstelling aan de lichtwisselingen op den duur enige hinder zullen ondervinden. Dit blijft echter buiten dit rapport.

7.3. Verblinding

Delen van het gezichtsveld wier luminantie veel hoger is dan de adaptatietoestand kunnen verblinding teweeg brengen. De bedoelde delen worden 'verblindingsbronnen' genoemd. Er kan sprake zijn van twee soorten verblinding: de fysiologische (of disability) verblinding, en de psychologische (of discomfort) verblinding. Bij de eerste wordt de visuele waarneming nadelig beïnvloed, en in extreme gevallen zelfs onmogelijk - vandaar de term 'verblinding'. Bij de tweede is een dergelijke vermindering van de visuele prestatie niet of nauwelijks te constateren, terwijl toch van een duidelijke hinder sprake is. Een gedetailleerd overzicht van de bij de verblinding aan de orde komende effecten, alsmede van de mogelijke tegenmaatregelen zijn gegeven door Schreuder (1967, 1983). Zie ook Hagenzieker (1990).

De belangrijkste conclusie voor het onderhavige advies die uit deze studies volgt, is dat 'discomfort'-verblinding geen negatief effect op de verkeersveiligheid heeft. Dit verschijnsel kan dus worden verwaarloosd. Wel is het in principe mogelijk dat de beleving van het landschap negatief wordt beïnvloed door deze vorm van verblinding. Dit aspect blijft buiten het onderhavige advies.

'Disability'-verblinding kan in beginsel de verkeersveiligheid beïnvloeden. Ook in dit geval kan worden geconstateerd dat verblinding ten gevolge van de aanwezigheid van de windturbines alleen kan worden teweeg gebracht door reflecties van licht (de zon overdag, en autokoplampen bij duisternis) in het oppervlak van de wieken. Hierboven is reeds aangegeven dat een dof, diffuus reflecterend oppervlak voor de wieken te prefereren is. Wanneer een dergelijk oppervlak toegepast kan worden, is er van verblinding geen enkel gevaar te duchten. Maar ook wanneer een dergelijk oppervlak niet kan worden gebruikt, lijkt de kans op gevaar ten gevolge van verblinding zeer gering. Wel kan de aandacht worden afgeleid; hierop komen we terug in Hoofdstuk 8.

7.4. Verwarring met lichtsignalen

Hierboven (in par. 6.2) is aangegeven dat verwarring met geluidssignalen geen gevaren-

bron op levert. Voor lichtsignalen geldt het zelfde, en wellicht in nog sterkere mate om twee redenen:

1. Alle voertuigen kunnen relevante geluidssignalen afgeven, terwijl relevante (periodieke) lichtsignalen alleen van hulpverleningsvoertuigen afkomstig kunnen zijn. Deze voertuigen zijn een zeldzame verschijning in het wegbeeld, terwijl ze steeds ter ondersteuning van de lichtsignalen, ook geluidssignalen voeren.
2. De intensiteit van de gevoerde lichtsignalen is zodanig hoog gekozen dat de opvallendheid ervan gewaarborgd is. Dat er desondanks zoveel ongevallen met hulpverleningsvoertuigen gebeuren (Oei, 1988), suggereert dat de opvallendheid niet afdoende is om effectieve waarneming te waarborgen. Dit punt valt buiten het onderhavige advies.

7.5. Consequenties voor de verkeersveiligheid

Bij de frequenties die bij normaal gebruik van windturbines optreden, leveren periodieke lichteffecten geen gevaar op voor het wegverkeer. Ook lichtflitsen ten gevolge van auto-koplampen leveren geen gevaar op. Lichtflitsen ten gevolge van zonnestraling zijn waarschijnlijk, behalve wanneer de wieken zeer dof zijn, duidelijk waarneembaar. Gevaar voor het verkeer lijkt echter verwaarloosbaar te zijn. Het zelfde lijkt te gelden voor (periodiek bewegende) schaduwen. Ook deze kunnen voor passanten worden verwaarloosd als mogelijke bron van gevaar.

'Disability'-verblindings kan in beginsel de verkeersveiligheid beïnvloeden. Om eventuele verblindings te voorkomen, is een dof, diffuus reflecterend oppervlak voor de wieken te prefereren. Wanneer een dergelijk oppervlak toegepast kan worden, is er van verblindings geen enkel gevaar te duchten. Maar ook wanneer een dergelijk oppervlak niet kan worden gebruikt, lijkt de kans op gevaar ten gevolge van verblindings zeer gering. Ook het risico dat door lichtverschijnselen verwarring kan ontstaan met relevante (licht)signalen lijkt niet groot te zijn.

Ofschoon voor het verkeer ten gevolge van lichteffecten geen direct gevaar te verwachten is, lijkt het wenselijk nadere aandacht te besteden aan het mogelijk optreden van hinder voor het verkeer. Ook dit kan gebeuren door de situatie bij bestaande windturbineparken kritisch te bekijken. Theoretisch of experimenteel onderzoek is niet nodig. Zie Hoofdstuk 12.

8. AFLEIDEN VAN DE AANDACHT

8.1. Waakzaamheid en oplettendheid

Uit de studies over het rijgedrag, en over het gewenste gedrag om ongevallen te vermijden, komt duidelijk naar voren dat de aandacht een punt van groot belang is. Aandacht heeft twee componenten: de waakzaamheid (arousal) en de oplettendheid (attention). De aandacht wordt bepaald door twee factoren: een uitwendige (de invloed van de buitenwereld) en een interne (de motivatie). We zullen de laatste, ofschoon van groot belang, hier niet verder bespreken, omdat het moeilijk voor te stellen is dat de motivatie af zou kunnen hangen van de aanwezigheid van windturbines. De invloed van de buitenwereld moet hier echter wel aan de orde komen. Deze invloed wordt vaak afgemeten aan (de aard, het aantal en de intensiteit van) de prikkels die van de buitenwereld uitgaan.

Het is bekend dat de effectiviteit van het menselijk functioneren een optimum vertoont; zowel bij te lage als bij te hoge prikkelintensiteit (belasting) is de prestatie minder dan bij een 'juiste' dosering van de prikkels. Bij een lage prikkelintensiteit is de waakzaamheid gering, terwijl bij een hoge intensiteit het systeem (meer in het bijzonder het informatieverwerkingssysteem) overbelast is, en de aandacht niet kan worden gericht op de handelingen waar ze op zou moeten worden gericht om veilig aan het verkeer te kunnen deelnemen.

Over deze 'omgekeerde U-vormige kromme' is veel onderzoek gedaan. Een overzicht is gegeven door Brunia (1979). Daarbij wordt noch een behoorlijke theorie, noch een onduidelzinnige experimentele bevestiging gegeven. Waarschijnlijk heeft dat te maken met het niet voldoende rekening houden met de autonomie van de interne factoren. Denkt men de omgekeerde U-kromme als som van een oplopende kromme die de waakzaamheid beschrijft en een aflopende die de aandacht beschrijft, dan volgt de vorm van de kromme er vanzelf uit.

Ook moet het zoekgedrag worden vermeld. Wanneer een mens in een voor hem/haar bekende omgeving is geplaatst, gaat hij/zij in vele gevallen op zoek naar de te verwachten prikkels. Er kan een actief zoekgedrag worden geconstateerd. Wanneer echter de omgeving onbekend is, bestaat er geen verwachting over prikkels die al of niet te verwachten zijn; de prikkels worden passief opgenomen. Het is één van de belangrijkste aspecten van het als verkeersdeelnemer opdoen van ervaring in het verkeer dat het aandeel van de bekende situaties, en dus dat van de verwachte prikkels, toeneemt en dat van onbekende situaties afneemt.

Verder moet men ermee rekening houden dat windturbines normaliter draaien, en dat ze door de geometrie van weg en opstelling gewoonlijk in de periferie van het gezichtsveld worden geprojecteerd. De visuele waarneming in de periferie is van een geheel andere aard dan die in de fovea centralis. Bovendien blijkt het uit functionele overwegingen wenselijk te zijn om de periferie zelf weer in twee gedeelten op te delen: de nabije en de verre periferie. Sanders heeft een klassieke studie aan deze materie gewijd (Bunt & Sanders, 1973), waaruit de volgende onderverdeling van het functionele gezichtsveld blijkt:

- tot ca. 2 graden uit de as van het gezichtsveld: foveale waarneming;

- tussen ca. 2 graden en ca. 25 graden uit de as: (nabije) perifere waarneming (het stationaire veld);
- verder dan ca. 25 graden uit de as (verre) perifere waarneming (het oogveld en het hoofdveld).

Bij foveale waarneming en in het stationaire veld zijn oogbewegingen niet steeds nodig, maar in het oogveld wel. In het hoofdveld (meer dan ca. 85 graden uit de as) zijn bovendien hoofdbewegingen nodig (Bunt & Sanders, 1973, blz. 1a).

De waarnemingsprocessen zijn in die drie gevallen sterk verschillend. We vermelden hier alleen een naar buiten toe steeds afnemende mogelijkheid om kleine voorwerpen of voorwerpen met een gering contrast waar te nemen, en een toenemende 'gevoeligheid' voor beweging. We gaan voorbij aan de vele andere verschillen tussen foveale en perifere waarneming. Zie hiervoor bijvoorbeeld Le Grand (1956) of Schober (1960).

Voor het trekken of afleiden van de aandacht moeten we in eerste instantie denken aan de nabije periferie; voor schrikreacties (zie Hoofdstuk 9) is waarschijnlijk de verre periferie van meer belang.

Ten slotte vermelden we de waarnemingsprioriteiten. In de praktijk van de verkeersdeelname komen er steeds vele voorwerpen voor die de aandacht vragen. Van belang is de onderlinge waarde van deze voorwerpen; veel problemen in het verkeer blijken te kunnen worden teruggevoerd op een onjuiste (of ten minste een sub-optimale) verdeling van de aandacht, of met andere woorden op een sub-optimale toedeling van de waarnemingsprioriteiten.

8.2. De waakzaamheid

Waakzaamheid is een algemene term waarmee de 'interne' reactie op de prikkels (de activatie) die van buiten op de mens afkomt. In het Engels wordt wel onderscheid gemaakt tussen 'arousal' enerzijds, dat het niveau zelf aangeeft, en 'vigilance' dat aangeeft in welke mate de mens in staat is en bereid is om op de prikkels te reageren.

Algemeen wordt aanvaard dat voor het redelijk kunnen vervullen van welke taak dan ook een minimale waakzaamheid nodig is; er zijn zeer weinig dingen die met suffend kan doen, ook dingen die op het eerste gezicht geheel automatisch lijken te verlopen. Schreuder (1985) wijst erop dat een te lage waakzaamheid als mogelijke factor bij vele 'onverklaarbare' ongevallen een rol kan spelen.

De waakzaamheid wordt op haar beurt weer beïnvloed door de frequentie (en in mindere mate door de sterkte) van prikkeling; er is dus sprake van een 'teruggekoppeld systeem'. Voor de verkeersveiligheid betekent dit dat er een minimale prikkeling nodig is; het probleem is dat er momenteel geen kwantitatieve gegevens bestaan over de minimale hoeveelheid prikkels die nodig zijn om een voor de rijtaak adequaat niveau van waakzaamheid te kunnen verkrijgen en handhaven. Dit in tegenstelling voor andere taken (radarbediening; bewaking van schakelstations enz), waarover veel praktisch onderzoek is gedaan. Theoretische studies lijken echter niet dik gezaaid te zijn. Ook Barber (1988, blz. 25) besteedt nauwelijks aandacht aan deze materie.

Windturbines kunnen door hun opvallend karakter - zeker wanneer ze in werking zijn - een duidelijke bijdrage leveren tot het opvoeren van het prikkelniveau; zo mag men dus verwachten dat in een gebied met een saai landschap, waarbij het visuele veld weinig structuur bezit, en waar het 'natuurlijke' prikkelniveau navenant laag is, de aanwezigheid van (draaiende) windturbines een positieve invloed kan hebben op de verkeersveiligheid. De resultaten van de ongevalanalyse die in het kader van deze studie is uitgevoerd (zie Hoofdstuk 11) lijken in die richting te wijzen! Voor een 'overprikkeling' hoeft men niet bang te zijn; wel echter voor het afleiden van de aandacht. Zie verder par. 8.3.

8.3. Aandacht en aandachtverdeling

In par 8.1 hebben we er op gewezen dat men in het verkeer te maken heeft met voorwerpen die om de aandacht 'wedijveren', en dat daarbij de onderlinge waarde van deze voorwerpen van belang is. Voor veilig verkeer moeten de waarnemingsprioriteiten juist worden toegedeeld. In het onderhavige geval zou dit in concreto kunnen betekenen dat de windturbines de aandacht tot zich trekken, zodat er voor de eigenlijke rijtaak te 'weinig' aandacht over blijft. Dit zou ertoe kunnen leiden dat de bestuurder bijvoorbeeld van de weg raakt.

Deze voorstelling van zaken blijkt enigszins overgesimplificeerd te zijn: de aandacht is geen constante grootte die naar believen gericht en gedeeld kan worden. Recent onderzoek, zoals dat onder meer door IZF-TNO in opdracht van de SWOV is uitgevoerd, leidt tot het inzicht dat de zaak aanzienlijk ingewikkelder is, met name wanneer men rekening houdt met de cognitieve aspecten, en men zich niet beperkt tot de gedragskenmerken. Het theoretische gedeelte van het in opdracht van de SWOV uitgevoerde onderzoek is gereed (Theeuwes, 1992). De belangrijkste conclusie is dat het richten van de aandacht in verkeerssituaties voor het grootste deel 'top down' gebeurt; dat wil zeggen dat de bestuurder beslist waar de aandacht zal worden geconcentreerd. Deze beslissing wordt op cognitieve gronden genomen, en wordt weinig beïnvloed door toevallige kenmerken in de buitenwereld. Dit onderzoek is beschreven in Theeuwes (1989). Zie ook Hagenzieker (1989) en Theeuwes (1992).

Over de mate waarop een windturbine de aandacht tot zich kan trekken (en dus mogelijk van de rijtaak af kan trekken) zijn geen resultaten van onderzoek bekend. Om een schatting te kunnen maken van het mogelijke risico voor het ongewenst trekken van de aandacht door windturbines, dienen we ons te verlaten op bekende gegevens, ook al zijn die niet geheel relevant.

Het is bekend dat het met speciaal ertoe ontworpen en speciaal aangebrachte voorwerpen, die opzettelijk bedoeld zijn om de aandacht te trekken, dit nauwelijks gebeurt. Gedoeld wordt op de ervaringen die zijn opgedaan met reclameboodschappen langs de weg, en met verkeersborden en -tekens. Onderzoek heeft uitgewezen dat reclameborden nauwelijks worden waargenomen, en geen enkele aantoonbare invloed hebben op de verkeersveiligheid. Zie Gundy & Hagenzieker (1990).

Iets dergelijks is zelfs voor verkeersborden gevonden. Van het merendeel van de verkeersborden mag worden aangenomen dat ze, in tegenstelling tot reclameborden, en zeker tot windturbines, informatie bevatten die voor de weggebruiker voor zijn verkeerstaak

van belang zijn. Ook hier heeft onderzoek uitgewezen dat de meeste verkeersborden en -tekens nauwelijks in staat zijn om de aandacht te trekken (Gundy, 1989). Daarom worden in gevallen, dat de boodschap essentieel is en niet mag worden 'gemist', aanvullende maatregelen genomen die de aandacht trekken (knipperlichten; lichtgevende verkeersborden; herhalingen enz.).

Nu is een grote, draaiende windturbine die dicht bij de weg opgesteld is natuurlijk iets dat, vooral door de beweging, meer aandacht zal trekken dan een verkeersbord. Daarbij moet worden bedacht dat momenteel, en in de naaste toekomst, windturbines in de meeste delen van Nederland nog zeldzaam voorkomende 'verschijningen' zijn. In de toekomst kan dit mogelijk anders worden. Maar omdat zelfs het 'aandachttrekkend vermogen' van zwaailichten - die ook niet zo vaak te zien zijn - soms niet eens groot genoeg is, lijkt het gerechtvaardigd om te stellen dat men niet hoeft te vrezen voor een belangrijke invloed op de verkeersveiligheid ten gevolge van het feit dat de windturbines in zekere zin de aandacht zullen trekken.

Windturbines zijn functionele voorwerpen: windturbines worden niet geplaatst met het expliciete oogmerk om de aandacht te trekken. Er zijn een aantal redenen om het maken van 'opvallende' turbines af te raden - bijvoorbeeld landschappelijke redenen. Ook wordt afgeraden ze speciaal te laten opvallen als een 'kunstwerk'.

Voor turbines die in de aanvliegroute van een vliegveld liggen, is een duidelijke markering (rood/witte blokken en obstakellichten) noodzakelijk, juist om ze sterk te laten opvallen. Mocht dit zich voordoen, dan is het aan te bevelen de positie van het park zodanig te wijzigen dat ze buiten de aanvliegroute liggen.

Gegeven het feit dat windturbines momenteel een nog zeldzame verschijning vormen in het Nederlandse landschap, kan het - ondanks de geringe kans dat er problemen voor de verkeersveiligheid kunnen ontstaan - wenselijk zijn bij bestaande turbineparken de eventuele afleiding van de aandacht nader te bekijken. Zie ook Hoofdstuk 12.

Er zij op gewezen dat dit alles alleen geldt voor zaken die op een bekende wijze in het gezichtsveld aanwezig zijn: plotselinge verschijnselen worden hierna in Hoofdstuk 9. besproken onder schrikreacties. Die kunnen wel degelijk tot gevaarlijke situaties leiden.

8.4. Consequenties voor de verkeersveiligheid

Windturbines kunnen door hun opvallend karakter het prikkelniveau verhogen. In sommige gevallen - een gebied waar het visuele veld weinig structuur - kunnen draaiende windturbines een positieve invloed hebben op de verkeersveiligheid. Voor overprikkeling hoeft men niet bang te zijn.

Zelfs in gevallen waar informatie die voor de weggebruiker direct van belang is, moet worden overgebracht, zijn de meeste verkeerstekens enz. nauwelijks in staat om de aandacht te trekken. Men mag ten eerste aannemen dat windturbines nauwelijks de 'aandacht trekken', en ten tweede dat, zo dit al gebeurt, dit geen invloed op de verkeersveiligheid zal hebben.

Het is overigens aan te bevelen om het mogelijke risico nog verder te verkleinen door windturbines niet te plaatsen op of in de directe buurt van locaties waar de weggebruiker speciale aandacht aan de rijtaak moet besteden, zoals bij kruisingen, scherpe en onverwachte bochten, oversteekplaatsen voor fietsers en voetgangers, enz.

9. SCHRIKREACTIES

9.1. Schrik

Schrik is een begrip dat in wetenschappelijke termen moeilijk precies is te definiëren, maar het is algemeen bekend. Ofschoon schrik een voor het dagelijks leven belangrijke factor is, die veel van het menselijk handelen (of niet-handelen) bepaalt, blijkt er slechts weinig (psychologisch) onderzoek te zijn uitgevoerd op dit gebied. Murray (1964, blz. 64) geeft aan dat de waarneming door verschillende motivationele factoren wordt beïnvloed, maar de bespreking strandt al gauw in de constatering dat 'fear' (vrees) een aangeleerde aansporing kan vormen tot bepaald gedrag, meer in het bijzonder ontwijkend gedrag. Over schrik zegt dit ons niet veel, omdat schrik juist een element van onbekendheid in zich heeft. Ook Dember (1965, blz. 306) vermeldt dergelijke drijfveren: hij maakt onderscheid tussen fysiologische drijfveren (honger, dorst enz.); aangeleerde, of sociale drijfveren (prestatiedrang) en psychoanalytisch gedefinieerde impulsen en zorgen (anxieties). Het verhaal gaat echter verder over waarneming van woorden en plaatjes, en zegt niets meer over deze 'anxieties'. Het meeste onderzoek is toegespitst op voorwaardelijke reflexen; dat wil zeggen dat er van een 'aangeleerde' schrik sprake is. Mensen en dieren moeten weten dat een voorwerp (of een situatie) gevaar of ongemak met zich brengt alvorens er van te schrikken. Zie bijvoorbeeld Hebb (1966). Meer recent is in de wetenschappelijke psychologie de belangstelling voor deze voorwaardelijke reflexen wat afgenomen, maar dat heeft niet geleid tot meer onderzoek op het gebied van angst en schrik.

Noodgedwongen wordt de verdere bespreking van schrik en schrikreacties beperkt tot praktische ervaringen uit het dagelijkse leven. Schrikreacties kunnen optreden wanneer een (niets vermoedende) waarnemer plotseling met een onverwachte situatie wordt geconfronteerd. Over de reacties van het menselijk organisme op plotselinge, onverwachte gebeurtenissen is veel - psychologisch en fysiologisch - onderzoek gedaan. Bekend is dat de afscheiding van hormonen in sterke mate door de emotionele impact van de schrik kunnen veranderen, hetwelk tot vergaande psychologische, organische en ook motorische reacties kan leiden. Het is daarbij van ondergeschikt belang of de plotselinge, onverwachte gebeurtenis 'aangenaam' of 'onaangenaam' is; men kan evenzeer schrikken van iets moois als van iets lelijks. De initiële reacties zijn zeer analoog; wel kan er uiteraard een groot verschil in de daarop volgende reacties ontstaan. Men reageert nu eenmaal heel anders op een 'aangename' dan op een 'onaangename' al dan niet plotselinge, onverwachte gebeurtenis.

9.2. Reacties

In de psychologie kan men het drietal termen 'fright - flight - fight' tegenkomen; daarmee wordt uitgedrukt dat na een schrik (fright) een passieve ontwijkreactie (flight) of een actieve weerstrevingstreactie (fight) kan optreden. Men vindt deze twee reactietypen ook in het verkeer terug.

Voor de verkeersveiligheid zijn de direct op de schrik volgende reacties van belang, en dan met name de motorische reacties, omdat die op hun beurt direct gerelateerd zijn aan de snelheid en de koers van de weggebruiker en van het bestuurde voertuig. In hoofdzaak

kunnen de reacties van tweeërlei aard zijn:

1. Panische schokreacties, die tot verdooving leiden - er vindt geen enkele uitwendig te constateren reactie plaats. De betreffende mens is letterlijk 'verstijfd van schrik'. Dit houdt in dat ontwijkmanoeuvres, die in meer normale omstandigheden zonder bezwaar kunnen worden uitgevoerd, achterwege blijven. Dit kan uiteraard onder omstandigheden waarbij de ontwijkreacties noodzakelijk zijn, tot ongevallen leiden. We zullen deze paniekreacties hier niet verder bespreken, omdat het vanzelf spreekt dat de windturbines geen 'echt' gevaar opleveren, zodat geen enkele ontwijkmanoeuvre noodzakelijk is.
2. A-functionele motorische reacties die min of meer autonoom optreden. Deze reacties zijn reflexhandelingen, die enerzijds bepaald worden door eerdere ervaringen (voorwaardelijke reflexen), maar anderzijds weinig of geheel geen relatie vertonen met de door de situatie noodzakelijk geworden ontwijkreacties. Autobestuurders hebben geleerd om te remmen bij gevaar; daarom is bij bestuurders van motorvoertuigen (en wellicht ook bij andere weggebruikers) de eerste reactie bij een plotselinge, onverwachte dreiging meestal: 'op de rem gaan staan'. Bekend is dat vele ongevallen in dichte mist op deze wijze ontstaan: een enkele automobilist schrikt, remt zeer sterk, en het achteropkomend verkeer kan de eerste auto niet ontwijken. Objectief gezien was de noodstop meestal geheel overbodig; deze reactie is dus duidelijk a-functioneel (men zou zelfs kunnen zeggen anti-functioneel). Een tweede min of meer autonome reactie die vaak optreedt is het (onbeheerst) sturen, waarbij de positie van de handen de veranderingen in de positie van het hoofd volgt; bij stuurwielen van de gebruikelijke constructie betekent dit dat 'met de kijkrichting mee' wordt gestuurd - iets wat gewoonlijk niet functioneel is.

Het is niet bekend in hoeverre dergelijke schrikreacties kunnen optreden bij windturbines. Maar drie dingen kunnen in ieder geval worden opgemerkt:

- op grote afstand is, ook bij plotseling opdoemen, een schrikreactie niet te verwachten;
- wanneer de windturbines 'geleidelijk' het gezichtsveld binnen komen, kan de aandacht worden afgeleid (zie Hoofdstuk 8), maar schrikreacties zijn onmogelijk omdat die alleen bij plotselinge, onverwachte gebeurtenissen optreden. Overdag bij helder weer is er van schrikreacties geen sprake, ook niet op wegen dicht bij de turbines;
- wanneer de situatie bekend is, zijn ook de plotselinge gebeurtenissen niet meer onverwacht, maar zijn in het verwachtingspatroon opgenomen. Dus ook bij slecht zicht is er van een schrikreactie bij habituele gebruikers van wegen dicht bij de turbines geen sprake.

Blijft alleen de mogelijkheid over dat onvoorbereide weggebruikers op wegen dicht bij de turbines plotseling en onverwacht met de windturbines worden geconfronteerd. Bedacht moet worden dat deze confrontatie niet per se van visuele aard hoeft te zijn: mensen kunnen ook van een plotseling geluid schrikken. Gezien het eerder genoemde geringe algemene geluidsniveau van moderne windturbines kunnen schrikreacties op geluidsprikkels echter buiten beschouwing blijven.

Het is te verwachten dat deze situatie zich slechts zelden zal voordoen; de gevolgen kunnen echter ernstig zijn. Daarom is een effectieve maatregel nodig. Men heeft daarbij de keuze uit twee alternatieven.

De eerste is ervoor te zorgen dat de windturbine(s) reeds op een flinke afstand gezien kunnen worden. Het is dus niet zo goed om de turbines te 'verstoppen', bijvoorbeeld achter struikgewas, iets wat uit overwegingen van landschapsbeheer wellicht wel wense-

lijk is. Een echte 'afscherming' is uiteraard niet te rijmen met een optimaal energetisch rendement van de installatie. Op basis van enige observaties van windturbines in de praktijk zijn schrikreacties op een afstand van ca. 100 meter of meer, zelfs bij grote turbines, niet te vrezen. Deze afstand is de afstand van waar de windturbines gewoonlijk kunnen worden gezien, en is dus meestal veel groter dan de kortste afstand tussen de turbine(s) en de weg. Over deze laatste afstand is niet zoveel te zeggen. Wil men ook bij een kleine afstand de mogelijkheid van ongewenste schrikreacties voorkomen, dan komt het tweede alternatief in aanmerking.

Het tweede alternatief is het aanbrengen van een waarschuwing. Wanneer een mens is gewaarschuwd, is per definitie het onverwachte element afwezig, en kan dus geen schrikreactie optreden. Voor waarschuwingen komen vooral borden in aanmerking. Bedacht moet worden dat windturbineparken momenteel nog slechts sporadisch voorkomen, zodat de meeste mensen er nog nooit of slechts zelden mee zijn geconfronteerd. Hiermee moet men bij het ontwerp en bij de uitvoering (en plaats) van de waarschuwing rekening houden.

Grote objecten zoals windturbines alleen bij slechte zichtomstandigheden plotseling in het gezichtsveld kunnen opdoemen: duisternis, mist, of een combinatie van de twee. Nu zijn onder die omstandigheden gewone waarschuwingsborden eveneens onzichtbaar; de waarschuwing moet dus zo worden uitgevoerd en opgesteld dat ze ook onder ongunstige zichtomstandigheden effectief kan zijn. Hierboven is reeds - in ander verband - gewezen op het feit dat informatiedragers langs de weg gewoonlijk slecht worden waargenomen; daarmee moet rekening worden gehouden. Voor de bedoelde waarschuwingen komen verlichting van de borden, knippersignalen en herhaalde waarschuwingen in aanmerking. Op zichzelf zijn dit bekende technische oplossingen; nieuwe producten hoeven niet te worden ontwikkeld. Wel moet men ervoor waken dat de waarschuwing niet op zichzelf een bron voor ongewenste afleiding van de aandacht of zelfs schrikreacties oplevert.

Tenslotte de derde soort reactie die bij schrikken kan optreden: de functionele motorische reacties, die 'bedoeld' zijn om het opgedoemde gevaar het hoofd te bieden of te ontwijken. In het algemeen zijn dit natuurlijk erg belangrijke reacties; op dit gebied is dan ook het nodige onderzoek uitgevoerd. Een overzicht is gegeven in Hale & Glendon (1987, par. 10.4.: Motivation and safety). Meer in het bijzonder wordt verwezen naar de reeds vermelde 'fright - flight - fight' combinatie. Voor het onderhavige onderwerp is dit van ondergeschikt belang, aangezien er van een windturbine-installatie, ook wanneer die onverwacht in het gezichtsveld opdoemt, behalve als botsobject (zie par. 3.1) geen 'actief' gevaar uitgaat. Functionele reacties andere dan ontwijkreacties zijn daarom niet van belang.

9.3. Consequenties voor de verkeersveiligheid

De meer gebruikelijke schrikreacties kunnen nauwelijks van belang zijn voor de verkeersveiligheid. Alleen wanneer onvoorbereide weggebruikers plotseling en onverwacht met de windturbines worden geconfronteerd, ontstaan mogelijk reacties die gevaar met zich kunnen brengen. Er zijn twee alternatieve maatregelen:

- Waarborgen dat de turbines van een flinke afstand gezien (kunnen) worden. Een afstand van ca. 100 meter zal hiervoor zeker voldoende zijn. De kortste afstand tussen turbines en de weg kan kleiner zijn.
- Er worden waarschuwingsborden aangebracht.

Ofschoon gevaren voor het wegverkeer ten gevolge van schrikreacties slechts gering lijken te zijn, wordt aangeraden om deze zaak nader te bekijken, aangezien de gevolgen mogelijk van ernstige aard zijn. Omdat het gaat om schrikreacties die kunnen optreden wanneer een (niets vermoedende) waarnemer plotseling met een onverwachte situatie wordt geconfronteerd, is het niet mogelijk om over schrikreacties iets te weten te komen door andere installaties met windturbines te gaan bekijken. In tegendeel; een dergelijke observatie kan gemakkelijk de mening doen post vatten dat het 'allemaal best meevalt'; immers, wanneer men voorbereid is zijn de blijken de voorvallen waar men onvoorbereid hevig van schrikt, inderdaad meestal niet veel voor te stellen. Ook experimenteel onderzoek is om dezelfde reden moeilijk uitvoerbaar. Een nadere - globale - studie van de relevante literatuur is echter wenselijk en goed uitvoerbaar. Zie verder Hoofdstuk 12.

10. TOEPASSING VAN WINDTURBINES

10.1. Praktische ervaringen

Windturbines worden vooral gebruikt voor het opwekken van elektriciteit; daarbij hebben ze zoals bekend, met name wat betreft de uitstoot van broeikasgassen en het veroorzaken van afval, een aantal voordelen ten opzichte van thermische en nucleaire centrales. Ze hebben ook nadelen, meer in het bijzonder van economische aard, maar ook wat betreft landschapbederf en invloed op bewoning en verkeer. Details over de voor- en nadelen zijn te vinden in NOVEM (1992) en in Anon. (1992). In landen met weinig wind, of met sterk variabele wind, worden de nadelen zwaarder gewogen dan de voordelen; het op aanzienlijke schaal toepassen van windturbines is beperkt tot enkele landen. Küffner (1992) noemt met name Nederland, Duitsland (Sleeswijk-Holstein), Denemarken en de VS (Californië). Deze landen komen ook in NOVEM (1992) aan de orde, waar bovendien een overzicht is gegeven van de windenergiewinning in andere EG-landen. Nederland en Denemarken staan bovenaan. In Tabel 4 zijn enige gegevens uit NOVEM (1992) geciteerd.

In de Inleiding is reeds vermeld dat in Nederland het beleidsvoornemen is opgesteld dat voor het jaar 2000 in Nederland ca. 1000 MW aan windenergie zal worden gewonnen. In Bijlage I is een tabel opgenomen die is ontleend aan de recente opgave van NOVEM (Anon., 1992). Naast ca. 100 'losse' windturbines met een totaal vermogen van 8 MW zijn in 1992 291 turbines in parken in bedrijf; in 1993 zijn er nog 108 gepland. Het totale vermogen daarvan bedraagt 125,2 MW (inclusief de 'losse' turbines). De opgave van NOVEM vermeldt voorts nog het bijplaatsen in 1993 van ruim 50 turbines met een vermogen van 80 KW elk. Dit is nog eens 4 MW, zodat het totaal ongeveer 130 MW bedraagt 13% van het beleidsvoornemen. Vrijwel al deze turbines staan in het land of langs dijken, kanalen of langs de kust. Er is er slechts een klein aantal die langs of dicht bij hoofdwegen staan. Een opgave van NOVEM geeft daarvoor aan (De Bruijne, 1992):

- windpark Lelystad in Flevoland
- windpark Zijpe in Noord Holland
- windpark Anna Paulowna in Noord Holland
- windpark Neeltje Jans in Zeeland
- windpark Volkerak in Noord Brabant.

Gegeven de aantallen, zou men mogen verwachten dat er intussen een aanzienlijke hoeveelheid praktijkervaring is opgedaan met het aanleggen en bedienen van windturbines. Mogelijk bestaat de ervaring wel, maar er is zeer weinig van openbaar gemaakt.

o Het artikel in de Frankfurter Allgemeine (Küffner, 1992) geeft een aantal punten, maar beperkt zich in hoofdzaak tot technische en landschappelijke aspecten.

o In het land Schleswig-Holstein bestaan een aantal regels, die in par. 10.2 zullen worden besproken.

o In Denemarken is de ervaring niet gebundeld. Een expliciete navraag bij de Nationale Weg- en Verkeersorganisatie (Road Directorate, Danish Road Institute; Bron: Christensen, 1992) leverde de stellige uitspraak op dat er nooit klachten noch problemen vanuit de verkeerswereld omtrent windturbines zijn vermeld. Wanneer er klachten of problemen zouden zijn, worden deze volgens de regels naar het bedoelde instituut doorgeleid, zodat de stelligheid een duidelijke grond lijkt te hebben. Als argument voor de afwezigheid van

klachten en problemen werd gesuggereerd dat in Denemarken vrijwel alle windturbineparken ver van de openbare weg worden aangelegd.

o In Nederland is er al heel wat ervaring; zoals gezegd is die slechts ten dele verzameld. In NOVEM (1992) zijn enige ervaringen van meer economische aard opgesomd. Een overzicht is gegeven in Anon., (1992).

o In de VS is, vooral in het begin van de jaren tachtig, een grote activiteit geweest op het gebied van windenergie. Het grootse windpark is de Alamont Pass Wind Resource Area (WRA), op ruim 100 km ten Oosten van San Francisco in Californië (VS) gelegen, en ingericht onder auspiciën van de California Energy Commission. Het park is in totaal enige tientallen kilometers groot. In dit park staan ongeveer 7000 turbines van verschillend type in groepen. De groepen staan vrij ver uiteen; binnen de groepen is de onderlinge afstand echter vrij klein. Door het terrein lopen een aantal wegen van gering belang, en een hoofdweg (Freeway 580). Sommige van de groepen windturbines zijn vlak bij deze weg gelegen. Er is een uitgebreide studie gemaakt over de invloed van de aanwezigheid van de turbines op de vogelstand (Orloff & Flannery, 1992). In dit rapport wordt over een eventuele invloed op het wegverkeer niet gerept. Navraag bij de opstellers leidde tot het antwoord dat er nooit iets van enige problemen voor het wegverkeer was gemerkt, en dat er geen enkele behoefte was gevoeld naar een studie dienaangaande.

10.2. Regelgeving

De plaatsing en het bedrijven van windturbines is in Nederland onderworpen aan een vergunningenstelsel. We zullen dit stelsel hier niet verder bespreken, maar erop wijzen dat veel van de vergunningen door Provincies en gemeenten worden uitgegeven, zodat de onderlinge afstemming en de slagvaardigheid wel een problemen kunnen opleveren. In NOVEM (1992, blz. 34-35) is een aantal aspecten aangesneden, die bij het aanvragen en verlenen van de betreffende vergunningen aan de orde kunnen komen. Een verdere stroomlijning van het vergunningenstelsel lijkt wenselijk.

In Schleswig-Holstein zijn gedetailleerde aanwijzingen gegeven over de voorwaarden waaraan een installatie van windturbines moet voldoen. Als Bijlage II is een gedeelte van deze richtlijn opgenomen, en wel de grondslagen en criteria voor plaatsing. In het kader van de onderhavige studie is vooral van belang om de minimale afstand tussen windturbines en de openbare weg te vermelden, die volgens deze richtlijnen moeten worden aangehouden:

- autosnelwegen en interlokale hoofdwegen met veel verkeer 100 m;
- andere hoofdverkeerswegen, nationale en provinciale wegen 50 m;
- treinbanen voor personenverkeer 100 m.

In de gepubliceerde regels is niet aangegeven op welke gronden deze voorwaarden zijn gebaseerd, en ook nadere informatie heeft niets opgeleverd. De zegsman in Kiel vermoedde dat de waarden afkomstig zijn uit de ervaringen in de praktijk. In het licht van de andere eisen die worden gesteld (zie Bijlage II) lijken ze zeer royaal. Wellicht heeft men geen enkel risico willen lopen! Maar gezien de discussie in het onderhavige rapport kunnen dergelijke grote afstanden uit overwegingen van de verkeersveiligheid niet worden verdedigd.

Van regels in andere landen is niets bekend.

10.3. Juridische aspecten

Een telkens terugkerend aspect bij het ontwikkelen van windmolenlocaties wordt gevormd door de in acht te nemen veiligheidsafstanden. Dit was aanleiding om een aparte studie te maken van een aantal juridische aspecten. De studie van de juridische aspecten is geconcentreerd op de bevoegdheden van wegbeheerders om veiligheidsafstanden voor te schrijven. Deze studie als Bijlage III aan dit rapport toegevoegd.

Aangezien een belangrijk aspect van de bouw en het bedrijven van windturbines terug te voeren is tot de afstand tussen openbare wegen en de turbines, zijn de juridische beschouwingen beperkt tot de invloed die wegbeheerders kunnen uitoefenen op de minimale waarde van deze afstand. Alle daarbij aan de orde komende overwegingen betreffen de verkeersveiligheid. Het gaat daarbij over wegen voor het wegverkeer; bij waterwegen kan men met vergelijkbare vragen te maken krijgen, maar die worden in dit rapport niet behandeld.

Het spreekt vanzelf dat een wegbeheerder zeggenschap heeft over het al dan niet toelaten van bouwwerken - windturbines daaronder begrepen - op 'eigen' terrein. Onder 'eigen' kunnen we hier verstaan het terrein waarover het beheer wordt gevoerd, even los van de vraag wie precies de eigenaar is. Onduidelijkheden, en wellicht problemen, kunnen ontstaan bij de eventuele plaatsing op naburig terrein. Men kan daarbij te maken hebben met alle vier categorieën van beheerders van openbare wegen die Nederland kent: het rijk; de provincies; de gemeenten; de waterschappen.

Particuliere wegen blijven buiten beschouwing. We zullen deze verdeling volgen. Voor details zij verwezen naar de Bijlage III.

1. Rijkswegen. Er bestaat geen rechtstreekse wettelijke bevoegdheid voor de wegbeheerder van Rijkswegen om invloed te hebben op de eventuele bebouwing op naburige terreinen. Voor het plaatsen van windturbines zijn een Hinderwetvergunning en een Bouwvergunning nodig. Het bevoegd gezag (in deze de Gemeente) is gehouden om bij het verlenen van de vergunningen rekening te houden met de belangen van (alle) betrokkenen; het Rijk kan daarbij overwegingen van de verkeersveiligheid inbrengen. Er is dus geen sprake van directe bevoegdheden, wel echter van indirecte invloed.

2. Provinciale wegen. Via de provinciewet en de Wegenwet heeft de provincie zekere bevoegdheden. De Wegenwet geeft geen uitsluitel over de bebouwingsvrije zone langs wegen. Dit wordt geregeld in (provinciale) wegenverordeningen. De meeste provincies hebben een dergelijke verordening; sommige geven regels die voor het bouwen van windturbines van belang zijn.

3. Gemeentelijke wegen. De situatie voor gemeentelijke wegen is ongeveer gelijk aan die van de provinciale wegen: de bevoegdheden zijn geregeld via de Gemeentewet en de Wegenwet. Er is geen gemeentelijke regelgeving bekend, maar eventuele bepalingen dienaangaande worden in bestemmingsplannen opgenomen.

4. Waterschapswegen. De Waterschapswet geeft in beginsel vrij grote bevoegdheden aan de Waterschappen (groter dan die van andere wegbeheerders), maar of deze bevoegdheden ooit worden gebruikt ten behoeve van het instellen van veiligheidszones of bebouwingsvrije zones is niet bekend.

11. ONGEVALLENSTUDIES

11.1. Ongevallen

Wanneer men wil nagaan wat de eventuele gevolgen voor de verkeersveiligheid zijn van het plaatsen en bedrijven van windturbines, ligt het voor de hand na te gaan of er een ongevallenstudie kan worden uitgevoerd. Gezien de plaats van de meeste windturbineparken in Nederland, en de omvang ervan, zijn het aantal locaties waar een dergelijk onderzoek kan worden uitgevoerd, slechts gering in aantal. Op twee plaatsen in Nederland is een oriënterende studie naar de ongevallen uitgevoerd.

11.1.1. Noord-Hollands Kanaal

Langs het Noord-Hollands Kanaal tussen Alkmaar en Den Helder zijn twee windturbineparken aangelegd: Zijpe met 8 turbines, en Callantsoog (Anna Paulowna) met in totaal 16 stuks in drie groepen. Langs het kanaal loopt de Rijksweg N8. Aangezien er weinig zijwegen zijn, mag men aannemen dat het verkeer over het gehele traject ongeveer gelijksoortig is. De turbines zijn op de dijk aan de Oostkant van het kanaal geplaatst; de weg ligt aan de westzijde van het kanaal (gewoonlijk dus aan de loefzijde van de turbines). De afstand tussen (het voetpunt van) de masten en de wegrand bedraagt bijna 90 meter.

Bij de ongevallenstudie is het traject in een aantal delen opgesplitst:

- de stukken direct langs de turbineparken ('met');
- de stukken nabij de parken, waar de turbines duidelijk zichtbaar zijn ('zicht');
- de rest, waar de turbines niet of nauwelijks te zien zijn ('zonder').

Om de meer algemene invloed te onderzoeken, zijn de getallen 'met' en 'zicht' bijeengevoegd ('invloed').

De parken zijn in mei en juni 1988 in gebruik genomen. De ongevallen (alle ongevallen, inclusief u.m.s.) zijn verzameld voor de jaren 1986 t/m 1991. De voor-en naperiode zijn gelijk gekozen: steeds twee volle jaren en een eerste halfjaar. In Tabel 5 zijn de gegevens samengevat.

Het is altijd een hachelijke zaak conclusies te trekken uit dergelijk kleinschalige onderzoekingen. Bovendien is de N8 een weg die als 'gevaarlijk' te boek staat. In de loop van de jaren zijn allerlei maatregelen genomen die ten doel hadden de verkeersveiligheid te bevorderen. Het is dus zeer wel mogelijk dat deze maatregelen interfereren met de resultaten van de oriënterende studie naar de invloed van de windturbines, zowel wat betreft de 'voor-en-na'-studie als wat betreft de vergelijkende studie ('met - zonder').

De gegevens van de oriënterende studie geven aanleiding tot een aantal gevolgtrekkingen:

- In de voorperiode is de ongevallenratio (aantal ongevallen per eenheid van weglengte, hier hectometer) voor de trajecten 'zonder' en 'invloed' vrijwel gelijk: 1,08 en 0,93. Bedacht moet worden dat de windturbines nog niet waren geplaatst.
- Op het gedeelte 'zonder' is de ongevallenratio na het plaatsen nauwelijks veranderd: 1,08 en 0,99.
- Op de gedeelten 'zicht' is de ongevallenratio na het plaatsen duidelijk afgenomen: van 1,08 naar 0,66.

- Op de gedeelten 'met' is de ongevalratio echter toegenomen: van 0,5 naar 0,63;
- Op het traject 'invloed' is de ongevalratio na het plaatsen aanzienlijk afgenomen: van 0,93 naar 0,65.

Men kan een correctiefactor bepalen op grond van het verschil tussen de voor- en naperiodes op het traject 'zonder', waar immers geen invloed van de turbines bestaat. Deze factor is 0,9186. Aan Tabel 5 is toegevoegd de verhouding tussen de ongevallen per eenheid van weglengte in de voor- en naperiode. Op deze verhouding is in de laatste kolom van Tabel V de bedoelde correctiefactor toegepast.

Uit Tabel 5 kan men concluderen dat op de gebieden waar de turbines invloed hebben, de ongevalratio aanzienlijk is afgenomen, ook wanneer rekening wordt gehouden met de geringe afname op het gebied waar de turbines geen invloed hebben. De relatieve afname is van 1 naar 0,77, een afname dus van ruim 23%. Opvallend is dat op de trajecten waar de invloed van de turbines het grootst is (de trajecten 'met') een toename is geconstateerd. Gezien de geringe aantallen ongevallen in de voor- en naperiode op dit traject (van 15 naar 19) is van een statistisch significant verschijnsel geen sprake.

Een gedetailleerde statistische analyse is niet uitgevoerd. Om een eerste indruk te krijgen van de statistische significantie is een chi-kwadraat-toets uitgevoerd op de aantallen ongevallen. Het resultaat van deze toets is dat de afname van de ongevallen, die is geconstateerd, statistisch niet significant is, zelfs niet op het 10% niveau. Hoewel er een afname van de aantallen ongevallen is geconstateerd, moet men voorzichtig zijn met het trekken van een conclusie dat windturbines 'goed' zijn voor de verkeersveiligheid. Ofschoon een dergelijk resultaat voor een 'saai' weg als de N8 best voorstelbaar is, zijn er te veel onzekere factoren om tot een algemeen bruikbare conclusie te geraken. Meer in het bijzonder kan worden gewezen op de toename van de ongevallen in de weggedeelten dicht bij de windturbines (van 15 naar 19, een toename die zoals hierboven is aangegeven, statistisch niet significant is). Dus ook met de aanname dat windturbines waarschijnlijk geen negatieve invloed op de verkeersveiligheid hebben, moet men voorzichtig zijn.

11.1.2. *Deersum*

Nabij Deersum (Friesland) is op de weg N354 nabij de aansluiting met de provinciale weg naar Winsum in augustus 1988 een windturbine geplaatst. Bij deze kruising zijn nogal wat opmerkingen gemaakt over mogelijke afleiding ten gevolge van de aanwezigheid van de turbine. De turbine staat 100 m van de hoofdweg en 15 m van de provinciale weg. De rotordiameter is 20 meter, de ashoogte 31 meter. Om na te gaan of er sprake is van een invloed op de verkeersveiligheid, zijn alle geregistreerde ongevallen verzameld die op de kruising zijn gebeurd tussen mei 1984 en maart 1992. In totaal gaat het om 20 ongevallen. Daarbij dient te worden bedacht dat de kruising in voorjaar 1991 is gereconstrueerd. In Tabel 6 zijn de ongevallen in de betreffende perioden opgegeven. Opvallend is dat het aantal ongevallen per maand, dat voor de plaatsing van de windmolen 0,29 bedroeg, na de plaatsing teruggelopen is tot 0,16. De aantallen zijn echter te gering voor een behoorlijke statistische analyse.

11.2. **Consequenties voor de verkeersveiligheid**

De twee ongevallenstudies zijn beide te gering van omvang om een 'harde' uitspraak toe te laten. De uitkomsten zijn statistisch niet significant op het 10%-niveau. Opvallend is

echter dat in beide gevallen, na plaatsing van windturbines, een teruggang in de ongevallen op weggedeelten in de buurt is geconstateerd. Er is echter, gezien de afwezige statistische significantie geen goede grond voor de uitspraak dat het plaatsen van windturbines in de buurt van een weg de verkeersveiligheid bevordert. Anderzijds geven de ongevallenstudies geen duidelijke aanleiding om te vermoeden dat windturbines een negatieve invloed op de verkeersveiligheid hebben, ook al is een zekere toename geconstateerd bij het gedeelte 'met' turbines bij het Noord-Hollands Kanaal.

Het is te overwegen om dergelijke ongevallenstudies ook op andere locaties uit te voeren. Zoals uit Bijlage I blijkt, zijn er in Nederland momenteel een vrij groot aantal windturbines operationeel. Omdat echter de meeste ver van belangrijke wegen staan, is het niet zeker dat men dan wel tot statistisch significante uitspraken kan komen.

12. NADERE STUDIE

In Hoofdstuk 13 worden de conclusies die uit de onderhavige studie zijn getrokken, samengevat. Het zal blijken dat de aanwezigheid of de werking van windturbines over het algemeen geen invloed van betekenis heeft op de verkeersveiligheid. Maar desondanks zijn in de voorgaande hoofdstukken een aantal aspecten vermeld die nadere studie verdienen. Het doel van nadere studie is dan om bepaalde deelaspecten van invloed van windturbines op de verkeersveiligheid te weten te komen, en ook om de invloed bij bepaalde situaties te kunnen beoordelen.

- Botsrisico. Voor het beheersen van het botsrisico komen twee beginselen in aanmerking, te weten obstakelvrije zones en afscherpende constructies. Van deze laatste zijn er weer twee varianten, de geleideconstructies en de obstakelbeveiligers. De keuze tussen deze drie opties hangt, naast de specifieke voor- en nadelen ervan, vooral af van de kosten. Een algemene kostenvergelijking kan nuttig zijn. Een dergelijke vergelijking kan in het kader van de 'nadere studie' worden uitgevoerd.
- Windhinder. Ofschoon voor het verkeer geen direct gevaar te verwachten is, lijkt het wenselijk om nadere aandacht te besteden aan de risico's van eventuele 'opslingeringen', vooral voor fietsers. Dit kan goed gebeuren door de situatie bij bestaande windturbineparken kritisch te bekijken.
- Lichteffecten. Ofschoon voor het verkeer ten gevolge van lichteffecten geen direct gevaar te verwachten is, lijkt het wenselijk nadere aandacht te besteden aan het mogelijk optreden van hinder voor het verkeer. Ook dit kan gebeuren door de situatie bij bestaande windturbineparken kritisch te bekijken.
- Afleiding van de aandacht. Gegeven het feit dat windturbines momenteel een nog zeldzame verschijning vormen in het Nederlandse landschap, kan het - ondanks de geringe kans dat er problemen voor de verkeersveiligheid kunnen ontstaan - wenselijk zijn bij bestaande turbineparken de eventuele afleiding van de aandacht nader te bekijken.
- Schrikreacties. Ofschoon gevaren voor het wegverkeer ten gevolge van schrikreacties slechts gering lijken te zijn, wordt aangeraden om deze zaak nader te bekijken, aangezien de gevolgen mogelijk van ernstige aard zijn. Omdat het gaat om schrikreacties die kunnen optreden wanneer een (niets vermoedende) waarnemer plotseling met een onverwachte situatie wordt geconfronteerd, is het niet mogelijk om over schrikreacties iets te weten te komen door andere installaties met windturbines te gaan bekijken. Een globale studie van de relevante literatuur is echter wenselijk en goed uitvoerbaar.
- Ongevallen. Gezien het aantal windturbines dat momenteel in Nederland operationeel is, lijkt het zinvol om ongevallenstudies uit te voeren. Omdat echter de meeste ver van belangrijke wegen staan, is het niet zeker dat men tot statistisch significante uitspraken kan komen.

13. CONCLUSIES

Uit de voorafgaande hoofdstukken is een aantal conclusies te trekken die betrekking hebben op de invloed van windturbines. De invloed kan bestaan uit hinder bestaan, maar ook uit gevaar voor het verkeer. Daarbij zijn de volgende punten aan de orde gekomen:

- botsen met de constructies;
- botsen met onderdelen of ijs dat van de turbines is gevallen;
- geluid en lawaai; verwarring met relevante (geluids)signalen;
- windhinder en luchtturbulentie; verlies aan mogelijkheden voor koershouden; verlies aan stabiliteit;
- lichtflitsen en verblinding; schaduwen; verwarring met relevante (licht)signalen;
- afleiden van de aandacht; verwarren met andere zaken die relevant zijn voor het verkeer;
- schrikreacties.

13.1. Botsingsgevaar

Er bestaan twee remedies tegen het botsen met constructies zoals windturbines:

- (a) de turbines worden zover van de weg geplaatst dat voertuigen die van de weg raken, de turbines niet kunnen bereiken (obstakelvrije zone);
- (b) de turbines worden afgeschermd; Daarvoor bestaan twee systemen: geleiderailconstructies en obstakelbeveiligers.

Als geen andere beveiligingsconstructies worden toegepast, worden de volgende waarden voor de obstakelvrije zone voor windturbines aanbevolen:

- voor autosnelwegen 30 meter;
- voor autowegen 15 meter;
- voor wegen voor gemengd verkeer 10 meter;
- voor landbouwwegen, fietspaden enz. 5 meter.

Bij toepassing van starre (betonnen) geleideconstructies worden de volgende waarden voor de afstand tussen de constructie en de wegrand aanbevolen:

- voor autosnelwegen 1,50 meter;
- voor autowegen 1,50 meter;
- voor wegen voor gemengd verkeer 1,00 meter;
- voor landbouwwegen, fietspaden enz. (0,70 meter).

Bij toepassing van flexibele (tweezijdig uitgebouwde, stalen) geleiderailconstructies met geboorde palen worden de volgende waarden voor de afstand tussen de constructie en de wegrand aanbevolen:

- voor autosnelwegen 5,30 meter;
- voor autowegen 4,90 meter;
- voor wegen voor gemengd verkeer 3,50 meter;
- voor landbouwwegen, fietspaden enz. (3,00 meter).

Als voor de toepassing van obstakelbeveiligers van het type RIMOB wordt gekozen, worden de volgende waarden voor de afstand tussen de constructie en de wegrand aanbevolen:

- voor autosnelwegen 2,00 meter;
- voor autowegen 2,00 meter;
- voor wegen voor gemengd verkeer 1,50 meter;
- voor landbouwwegen, fietspaden enz. (1,20 meter).

In al deze gevallen blijft de vraag bestaan of een afschermingsconstructie bij landbouwwegen en andere wegen met een lage (ontwerp)snelheid wel zinvol is. En ook moet rekening worden gehouden met eventuele servicewerkzaamheden.

'Niet-agressieve' constructies komen voor grote windturbines niet in aanmerking.

13.2. Afgevallen onderdelen; ijs

Omdat er duidelijke regelgeving en doeltreffende veiligheidsconstructies bestaan die het afvallen van onderdelen kunnen voorkomen, en omdat gevaar van dergelijke incidenten niet of nauwelijks gerapporteerd is, lijkt het niet nodig om op grond van dit risico een minimale afstand tussen turbines en de weg aan te bevelen, vooral ook omdat de omstandigheden waaronder deze risico's bestaan, goed zijn te voorspellen.

Ook ijs dat zich op de rotorbladen kan vormen, kan afbreken en risico met zich brengen. Een oplossing is om de turbines niet te dicht bij de weg te plaatsen. Een meer voor de hand liggende oplossing van het (waarschijnlijk toch al zeer kleine) probleem van vallend ijs is het kiezen van het oppervlak van de wieken waarbij geen grote ophopingen van ijs kunnen ontstaan. Een glad oppervlak is daarvoor te verkiezen.

13.3. Windhinder

Het verkeer kan in aanzienlijke mate hinder ondervinden of zelfs gevaar lopen ten gevolge van wind (met name van rukwinden). Windturbines beïnvloeden uiteraard de luchtstroming. Het is echter niet te verwachten dat, gegeven de geometrie en de werking van windturbines, deze extra verstoring een aanzienlijke toename van de hinder of van het gevaar met zich zal brengen. Een reductie van dat (eventuele) risico is te bereiken door de windturbines aan de lizijde van de weg te plaatsen, gerekend voor de richtingen waarin krachtige wind het meest voorkomt.

Het is verder raadzaam om in zeer 'windgevoelige' gebieden ook dit extra risico te vermijden. Dit kan door voor de aanleg van wegen en speciaal van fietspaden ter lizijde van de turbines een afstand van ca. 60 meter te vermijden. De afstand moet meer dan 60 meter bedragen, of juist minder.

13.4. Geluid en lawaai

Het geluid van windturbines is voor inzittenden van auto's en bestuurders van motoren en bromfietsen waarschijnlijk niet of nauwelijks te horen. Van hinder of gevaar zal zeker geen sprake zijn. Voor fietsers en voetgangers zal het geluid van de installatie waarschijnlijk duidelijk te horen zijn, maar gevaar voor het verkeer door het geluidsniveau is onwaarschijnlijk.

13.5. Verwarring met signalen

Maskering van relevante signalen door het geluid van de turbines is voor fietsers en voetgangers mogelijk, maar een bron voor gevaar lijkt dit niet te zijn.

13.6. Lichteffecten

Bij de frequenties die normaal zijn voor windturbines, zijn periodieke lichteffecten geen gevaar voor het wegverkeer. Lichtflitsen ten gevolge van zonnestraling waarschijnlijk duidelijk waarneembaar. Gevaar voor het verkeer lijkt echter niet te bestaan. Het zelfde geldt voor (periodiek bewegende) schaduwen.

13.7. Afleiden van de aandacht

Windturbines kunnen door hun opvallend karakter het prikkelniveau verhogen. In sommige gevallen - gebieden waar het visuele veld weinig structuur vertoont - kunnen draaiende windturbines een positieve invloed hebben op de verkeersveiligheid. Voor overprikkeling hoeft men niet bang te zijn. Het is echter aan te bevelen om windturbines niet te plaatsen op of in de directe buurt van locaties waar de weggebruiker speciale aandacht aan de rijtaak moet besteden (kruisingen, scherpe en onverwachte bochten, oversteekplaatsen voor fietsers en voetgangers, enz.).

13.8. Schrikreacties

De 'gewone' schrikreacties zijn nauwelijks van belang voor de verkeersveiligheid. Alleen wanneer onvoorbereide weggebruikers plotseling en onverwacht met de windturbines worden geconfronteerd, is er een kleine kans op reacties die gevaar met zich kunnen brengen.

13.9. Regelgeving

Het plaatsen en bedrijven van windturbines is onderworpen aan een vergunningstelsel. Een 'stroomlijning' van het vergunningstelsel lijkt wenselijk.

13.10. Juridische aspecten

Voor de meeste wegen bestaan zekere gronden voor regelgeving betreffende de afstand tussen weg en turbine; van deze mogelijkheid wordt weinig gebruik gemaakt. Voorts bestaan er indirecte wijzen om invloed uit te oefenen, bijv. via de hinderwetvergunning.

13.11. Ongevallen

De ongevalgegevens waarover beschikt wordt, geven geen duidelijke ondersteuning voor de gedachte dat windturbines mogelijk gevaar kunnen opleveren voor het wegverkeer. De uitkomsten zijn statistisch niet significant op het 10%-niveau. In de meeste gevallen lijkt de aanwezigheid van windturbines eerder een gunstige uitwerking op de verkeersveiligheid te hebben. Er zijn echter ook enige zwakke aanwijzingen dat de invloed soms negatief kan zijn.

13.12. Slotconclusie

Wanneer de masten van windturbines worden afgeschermd, of wanneer de afstand tussen windturbines en de weg tenminste even groot is als hierboven is aangegeven, is de kans op ongevallen met ernstig letsel zo gering dat het meestal te verwaarlozen is. Wel zijn er aanwijzingen dat een grotere afstand tussen de masten en de weg gepaard gaat aan minder ongevallen. Deze conclusie is uiteraard nogal voor de hand liggend. Een absolute, algemeen geldende ondergrens voor de afstand kan niet worden gegeven; deze afstand hangt vooral af van het type van de weg, het verkeer en van zaken als vrijliggende fietspaden, servicevoertuigen op de weg, enz.

Gevaar voor het verkeer is niet of nauwelijks te duchten; wel zijn een aantal factoren aan te wijzen die hinder voor het verkeer op kunnen leveren (met name lichtflitsen, rukwinden en schrikeffecten). Ook ongevallenstudies geven geen aanleiding om van een extra risico voor het verkeer te spreken.

LITERATUUR

- Anon. (1990). RIMOB is effectieve afschermingsvoorziening!! SWOV-schrift, 45, december 1990, blz. 3.
- Anon. (1992). Wind werkt; De toepassing van windenergie in Nederland. NOVEM, Utrecht.
- Barber, P. (1988). Applied cognitive psychology. Methuen & Co. Ltd, London.
- Brunia, C.H.M. (1979). Activation. Chapter 9 in Michon et al. (eds.) (1979).
- Bunt, A.A. & Sanders, A.F. (1973). Informatieverwerking in het functionele gezichtsveld; Een overzicht van de literatuur. IZF-1973 C-8. IZF-TNO, Soesterberg.
- Christensen, J. (1992). Persoonlijke mededeling. Road Directorate, Danish Road Institute, Roskilde.
- CBS (1992). Statistiek van de verkeersongevallen op de openbare weg. Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag.
- De Boer, J.B. (ed.) (1967). Public lighting. Centrex, Eindhoven.
- De Bruijne, R. (1992). Persoonlijke mededeling.
- Dember, W.M. (1965). The psychology of perception. Holt, Rinehart & Winston, New York.
- DHV (1984). Literatuurstudie naar de effecten van dwarsprofiel-elementen op de verkeersveiligheid en de verkeersafwikkeling op wegen buiten de bebouwde kom. Dossier 1-2896-05-28. DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV., Amersfoort.
- Gundy, C.M. (1989). Verkeersborden en verkeersveiligheid; Een literatuurstudie. R-89-29. SWOV, Leidschendam.
- Gundy, C.M. & Hagenzieker, M.P. (1990). Reclameborden en verkeersveiligheid. SWOV, Leidschendam (Niet gepubliceerd).
- Hagenzieker, M.P. (1989). Visuele selectie in het verkeer; Interimrapport. R-89-60. SWOV, Leidschendam.
- Hagenzieker, M.P. (1990). Visuele waarneming en motorvoertuigverlichting overdag (MVO); Een literatuurstudie. R-90-41. SWOV, Leidschendam.
- Hale, A.R. & Glendon, A.I. (1978). Individual behaviour in the control of danger. Elsevier, Amsterdam.
- Hebb, D.O. (1966). A textbook of psychology. W.B. Saunders, Philadelphia.

- Heijer, T. (1992). De veiligheid van bermen en wegen; Een beschouwing over de stand van zaken. R-92-16. SWOV, Leidschendam.
- Küffner, G. (1992). Windräder; Auch schwache Luftbewegung bringt schon Ernteerträge. Franfurter Allgemeine Zeitung, Dienstag, 25. Februar 1992, Nr.47/Seite T1-T2.
- Kusters, M.M. & Van der Drift, M.J.M. (1990). Hoe houdt de RIMOB zich in de praktijk? Verkeerskunde 41(1990)476-479.
- Kusters, M.M. & Van der Drift, M.J.M. (1992). Voertuigkeringen uitvoeren in staal of beton? Land+Water (1992) (September) 24-28.
- Le Grand, Y. (1956). Optique physiologique (Tome III). Revue d'Optique, Paris.
- Michon, J.A.; Eijkman, E.G.J.; De Klerk, L.F.W. (eds.) (1979). Handbook of psychonomics, Vol. I. North-Holland Publishing Company, Amsterdam.
- Murray, E.J. (1964). Motivation and emotion. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- NOVEM (1991). Windenergie in Nederland. NOVEM, Utrecht (jaartal geschat).
- NOVEM (1992). Nationaal ondersteuningsprogramma toepassing windenergie (TWIN) 1991-1995. DV2-S03.52/92.04. NOVEM, Sittard.
- Oei Hway-liem (1986). De verkeersveiligheid van hulpverleningsvoertuigen. R-86-22. SWOV, Leidschendam.
- Oei Hway-liem (1988). Garanderen sirene en blauw zwaailicht een veilige doortocht? R-88-17. SWOV, Leidschendam.
- Sanders, A.F. (1967). De psychologie van de informatieverwerking. Van Loghum Slaterus, Arnhem.
- Schober, H. (1960). Das Sehen (3e. Auflage). VEB Fachbuchhandlung, Leipzig.
- Schoon, C.C. (1982). RIMOB: Obstakelbeveiliger met rimpelbuis. R-82-30. SWOV, Leidschendam.
- Schoon, C.C. (1990). Evaluatie rimpelbuisobstakelbeveiliger (RIMOB), Deel I. R-90-20. SWOV, Leidschendam.
- Schoon, C.C. & Bos, J.M.J.(1983). Boomongevallen; Een verkennend onderzoek naar de frequentie en ernst van botsingen tegen obstakels, in relatie tot de breedte van de obstakelvrije zone. R-83-23. SWOV, Leidschendam, 1983.
- Schreuder, D.A. (1964). The lighting of vehicular traffic tunnels. Centrex, Eindhoven.
- Schreuder, D.A. (1967). Theoretical basis of road lighting design. Chapter III in: De Boer (ed.), 1967.

Schreuder, D.A. (1972). Safety barriers and lighting columns. *International Lighting Review* (Eindhoven) 23(1972) 1:20-21.

Schreuder, D.A. (1981). De verlichting van tunnelingangen. R-81-26 (Deel I en II). SWOV, Leidschendam.

Schreuder, D.A. (1983). Glare in road lighting. *CIE Journal* 2 (1983) 53-57.

Schreuder, D.A. (1985). Fundamentele overwegingen omtrent visuele en verlichtingskundige aspecten van de verkeersveiligheid. R-85-61. SWOV, Leidschendam.

Schreuder, D.A. (1990). De invloed van het op de Flevopolderdijk geprojecteerde windturbinepark op de verkeersveiligheid; Een advies uitgebracht aan de NV PGEM. SWOV, Leidschendam.

Stonex, K.A. (1964). The single-car accident problem. *Automotive Engineering Congress*, Detroit, Michigan.

SWOV (1970). Bermbeveiliging. Rapport 1970-1. SWOV, Voorburg.

SWOV (1976). Lichtmasten. Publikatie 1976-6N. SWOV, Voorburg.

SWOV (1976a). Gevaren bij het omvallen van lichtmasten. Publicatie 1976-7N. SWOV, Voorburg.

Talmon, A.M. (1985). The wake of a horizontal-axis wind turbine model; Measurements in uniform approach flow and in a simulated atmospheric boundary layer. TNO report 85-010121, August 1985.

Theeuwes, J. (1989). Conspicuity is task dependent; Evidence from selective search. IZF 1989 C-8. IZF-TNO, Soesterberg, 1989.

Theeuwes, J. (1992). Selective attention in the visual field. Bariet, Ruinen.

Tromp, J.P.M. (1987). De veiligheid van vakantie- en recreatieverkeer. R-87-4. SWOV, Leidschendam.

Van der Drift, M.J.M. (1987). Veiligheid bermen. Nota nr. 87-06. Dienst Verkeerskunde, Rijkswaterstaat, Den Haag.

Wouters, P.I.J. (1980a). Problemen bij het rijden op fietsen en bromfietsen. *Verkeerskunde* 31(1980) 66-69.

Wouters, P.I.J. (1980b). Wind - Een gevaar op de weg. *Verkeerskunde* 31 (1980) 104-108.

Wouters, P.I.J. (1982). Windhinder voor het wegverkeer. R-82-24. SWOV, Leidschendam.

Wouters, P.I.J. (1983). Wind en wegverkeer. R-83-8. SWOV, Leidschendam.

Wouters, P.I.J. (1985). Windhinder voor het wegverkeer op de stormvloedkering Oosterschelde. R-85-47. SWOV, Leidschendam.

Klasse	Aantal	Percent
Totaal categorie 9*	2.041	17,9
911 boom, hek, huis,	1.198	10,6
912 lichtmast	235	2,1
913+921 verkeersbord	141	1,2
931 vangrail	199	1,8
941 overstekend dier	36	0,3
951 los voorwerp	64	0,6
0 eenzijdige ongevallen	902	7,9
Totaal alle ongevallen	11.374	100

* Categorie 9: botsing tussen een rijdend voertuig en een voorwerp of dier

Tabel 1. Aantallen en percentages ongevallen met doden of ziekenhuisopnamen naar botstypen (ontleend aan CBS, 1992).

	Boomongevallen als percentage van het totale aantal ongevallen		
	geëxtrapoleerd naar 0 meter	bermbreedte bij 20%	10%
Enkelbaans provinciale wegen			
- minder dan 5000 mtv/etm	0,38	4,6 m	6,3 m
- boven 5000 mtv/etm	0,26	4,2 m	6,8 m
Enkelbaans rijkswegen			
- minder dan 5000 mtv/etm	0,37	7,2 m	10 m
- tussen 5000 en 10.000	0,45	7,0 m	8,2 m
- boven 10.000 mtv/etm	0,57	7,2 m	10,3 m
Dubbelbaans rijkswegen			
- minder dan 30 000 mtv/etm	0,37	16 m	22 m
- boven 30 000 mtv/etm	0,26	15 m	18 m

Tabel 2. De relatie tussen de vrije bermbreedte en het percentage boomongevallen, genormeerd op een bermbreedte van 0 meter. Opgesteld aan de hand van bewerkte gegevens ontleend aan Schoon & Bos (1983).

Wegcategorie	Breedte obstakelvrije zone (meter)
Autosnelwegen (cat. I en II)	10*)
III	6,0
IV en V	4,5
VI	3,0
VII en parallelwegen	2,0
VIII	1,5
(brom-)fietspaden	1,0

*) "... daarbuiten alleen in uiterste noodzaak een obstakel plaatsen".

Tabel 3. Breedte obstakelvrije zone voor verschillende klassen van wegen (Gegevens ontleend aan Van der Drift, 1987).

Land	Capaciteit in 2000 (in MW)
België	50
Denemarken	1000
Duitsland	500
Groot Brittannië	500
Griekenland	400
Italië	300
Nederland	1000
Spanje	300

Tabel 4. Prognose voor 2000 over het geïnstalleerde windturbinevermogen (ontleend aan NOVEM, 1992).

Lengte l (hm)	Invloed	Voorperiode		Naperiode		Verhouding	
		N	N/1	N	N/1	ongecorr.	gecorr.
204	zonder	220	1,08	202	0,99	0,92	1
83	zicht	90	1,08	55	0,66	0,61	0,67
30	met	15	0,5	19	0,63	1,27	1,38
113	invloed	105	0,93	74	0,65	0,70	0,77

Tabel 5. Ongevallen langs N8. Verklaring zie tekst.

Periode	Kenmerk	Aantal maanden	Aantal ongevallen	Verhouding
mei 84 - juli 87	geen molen geen reconstr.	38	11	0,29
aug 87 - juni 91	wel molen geen reconstr.	46	5	0,11
juli 91 - april 92	wel molen wel reconstr.	9	4	0,44
aug 87 - april 92	wel molen (totaal)	55	9	0,16

Tabel 6. Ongevallen bij Deersum.

BIJLAGE I

Windturbines in Nederland (Bron: Anon, 1992)

Situatie eind 1992

Eigenaar	Lokatie	Aantal	Diameter	Turbine vermogen	Totaal vermogen (MW)
<i>Groningen</i>					
Windpark Lauwersoog	Lauwersoog	4	23	250	1,0
EGD	Uithuizermedem°	40	26	250	10,0
<i>Friesland</i>					
SEP	Oosterbierum	18	30	300	5,4
PEB	Herbaijum	10	23	250	2,5
van Leeuwen	Afsluitdijk	2	16	75	0,2
Broeren windturbine	Warns°	7	18	80	0,6
PEB	Lemmer°	5	25	250	1,3
<i>Flevoland</i>					
IJsselmij	N.O.-polder	50	25	300	15,0
Windpark Lelystad	Lelystad	35	25	300	10,5
<i>Noord-Holland</i>					
Kennemerwind	Zijpe	3	16	75	0,2
PEN	Zijpe	12	14-17	50-85	0,8
PEN	Anna Paulowna	16	23	250	4,0
PEN	Enkhuizen	7	23	250	1,8
PEN	Texel	4	25	250	1,0
PEN	Ulketocht	10	35	500	5,0
WRK	Andijk	2	23	300	0,6
GEB Haarlem	Haarlem	4	25	250	1,0
Westfriese Coöperatie	Grootslag	2	16	75	0,2
<i>Zuid-Holland</i>					
GEB Rotterdam	Maasvlakte	4	25	250	1,0
GEB Rotterdam	Maasvlakte	10	35	500	5,0
GEB Rotterdam	Maasvlakte	1	4x16	4x75	0,3
GEB Rotterdam	Slufterdam	13	35	500	6,5
E-bedrijf Delfland	Zoetermeer	3	23	250	0,8
EMGO	Herkingen	5	23	250	1,3
GEB Rotterdam	Hartelkanaal°	10	35	500	5,0
<i>Zeeland</i>					
Vereniging Zeeuwind	Bath	3	16	75	0,2
Windparken NL	Vlissingen	7	25	250	1,8
Windparken NL	Jacobahaven	5	25	250	1,3
Windparken NL	Neeltje Jans	8	25	250	2,0
Windparken NL	Kreekrak	5	23	250	1,3
Windparken NL	Kapelle Schore	2	25	250	0,5
East Asiatic Timber	Vlissingen	16	26	250	4,0
SBWN	Vlissingen	15	20-25	160-250	2,6
Camping de Boomgaard	Westkapelle	2	18	80	0,2
Vereniging Zeeuwind	Reimerswaal	3	16	75	0,2
Vereniging Zeeuwind	Westkapelle	2	25	250	0,5
Windparken NL	Perkpolder°	8	26	250	2,0
Windparken NL	Roggenplaat°	12	33	400	4,8
Windparken NL	Terneuzen°	10	25	250	2,5
<i>Noord-Brabant</i>					
PNEM	Halsteren	8	33-40	500-750	4,3
PNEM	Volkerak°	16	35	500	8,0

De met * gemerkte projecten worden in 1993 gerealiseerd. Verder staan er in Nederland ongeveer 100 "losse" windturbines met een totaal vermogen van 8 MW. In 1993 zullen ruim 50 windturbines elk met een vermogen van 80 kW worden bijgeplaatst.

BILAGE II

Overdruk Amtsblatt für Schleswig-Holstein 1991 (regelgeving)

ses in das öffentliche Netz ist zur Schonung des Außenbereiches, d.h. des Landschaftsbildes, zwingend erforderlich. Die Zulassung von Einzelanlagen zur reinen Netzeinspeisung würde zu einer Überlastung der Landschaft und damit auch des Erholungsraumes führen. Anlagen zur reinen Netzeinspeisung sind in Windparks zusammenzuführen.

Soweit Gemeinden in windhöffigen Gebieten noch keinen Flächennutzungsplan haben und für Windenergieanlagen auch nicht aufstellen wollen, kann die Errichtung von Windenergieanlagen über einen einfachen Bebauungsplan ermöglicht werden. Soweit nur ein Windpark errichtet werden soll und eine erhebliche Beeinträchtigung öffentlicher Belange, insbesondere von Natur und Landschaft, nicht zu erkennen ist, kann die Standortabsicherung bei Windparks durch ein Raumordnungsverfahren erfolgen.

Wenn in windhöffigen Gebieten die landschaftlichen Gegebenheiten vom Kreis so hoch bewertet werden, daß die Errichtung von Windenergieanlagen eine unvermeidbare Gefährdung des Landschaftsbildes oder der Lebensgrundlagen für die Vogelwelt bedeuten würde, sind diese Gebiete gemeindegrenzenüberschreitend vom Kreis darzulegen und zu begründen.

- b) In Gemeinden, die nicht in windhöffigen Gebieten liegen, kann die Errichtung von Windenergieparks vor dem immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren über ein Raumordnungsverfahren abgesichert werden. Für die Genehmigung von Einzelanlagen wird auf die Verfahrenshinweise unter a Bezug genommen.

III.

Allgemeine Planungsgrundsätze und Kriterien

1. Als Standorte für Windenergieanlagen sind solche Flächen besonders geeignet, die in windhöffigen Gebieten mit $>5\text{m/sec.}$ in 10 m bzw. $6,1\text{ m/sec.}$ in 30 m Höhe jahresdurchschnittlicher Windgeschwindigkeit liegen und eine möglichst geringe Oberflächenrauigkeit und keine besondere Naturlausstattung aufweisen.
2. Standorte für Windenergieanlagen sollten aus betriebswirtschaftlichen Gründen
 - günstig zu Umspannwerken liegen und
 - durch Gemeindestraßen oder befestigte Wirtschaftswegen erschlossen sein.
3. Soweit in den Flächennutzungsplänen größere zusammenhängende Flächen für Windenergieanlagen ausgewiesen werden, ist im Genehmigungsverfahren darauf hinzuwirken, daß eine Gruppenbildung und eine systematische Anordnung der Einzelstandorte erfolgt. Dies kann z.B. über die Eingriffsregelung nach dem Land-

schaftspflegegesetz erreicht werden. Auch auf Gestaltung und Typ der Anlagen kann so Einfluß genommen werden.

4. In Nationalparks, bestehenden und geplanten Naturschutzgebieten sowie in gesetzlich geschützten Gebieten oder geschützten flächenhaften Landschaftsbestandteilen (Biotopschutz) ist die Errichtung von Windenergieanlagen ausgeschlossen; in den Landschaftsschutzgebieten sollen in der Regel keine Windenergieanlagen errichtet werden. In großräumigen Landschaftsschutzgebieten können in Teilbereichen mit einer weniger hochwertigen Naturlausstattung nach Prüfung des Einzelfalles Ausnahmen in Betracht kommen. Handelt es sich dabei um Windparks, wird im Regelfall eine Entlassung der betreffenden Fläche aus dem Landschaftsschutz erforderlich werden.
5. Die Halligen und die Geestteile der Inseln Amrum, Föhr und Sylt sowie Vordeichflächen aller Art sollen von Windenergieanlagen freigehalten werden. Das gleiche gilt für Kleeckante und Steilufer.
6. Größere, regelmäßig aufgesuchte bevorzugte Nahrungs- und Rastflächen sowie zugeordnete Vogelflugfelder sollen von Windenergieanlagen freigehalten werden.
7. Nach § 62 a LWG ist für Windenergieanlagen ein Abstand von 50 m zum Fußpunkt der binnenseitigen Böschung der Landesschutzdeiche vorgeschrieben. Eine Ausnahme ist nur bei Vorliegen einer besonderen Härte oder eines besonderen öffentlichen Interesses möglich. Bei rückwärtigen Deichlinien ist ein Abstand von 10 m vom binnenseitigen Fußpunkt der Deichböschung einzuhalten (§ 10 DKVO).
8. Im einzelnen dürfen aus verschiedenen Gründen in der Regel folgende Abstände bei der Anlage von Windparks nicht unterschritten werden:

– Einzelhäuser und Weiler mit bis zu 4 Häusern	300 m
– andere ländliche Siedlungen	500 m
– städtische Siedlungen	1.000 m
– fremdenverkehrsbedonte Siedlungsgebiete und Campingplätze	1.000 m, nach Prüfung im Einzelfall können auch geringere Abstände vertretbar sein
– Bundesautobahnen und hochbelastete Bundesstraßen	etwa 100 m
– übrige Bundesstraßen, Landes- und Kreisstraßen	50 m
– Bahnlinien mit Personenverkehr	100 m
– Flugplätze und Landeplätze	Bauschutzzone
– Hochspannungsleitungen ab 30 kV	50 m
– Richtfunkstrecken	50 – 100 m

- militärische Anlagen äußere Schutzzone
 - Landschafts-
schutzgebiete Prüfung im Einzelfall
 - Nationalparke, Naturschutzgebiete
(auch geplante, soweit die Gebiete
einstweilig sichergestellt sind, in
Landschaftsrahmenplänen ausgewiesen
und/oder ein Verfahren nach § 60 Land-
schaftspflegegesetz eingeleitet ist) sowie
sonstige Schutzgebiete (u.a. Schutzgebiete
nach der Ramsar-Konvention,
EG-Vogelschutzgebiete) und besonders
schutzwürdige Wasserflächen und Strand-
wälle/Küstendünen – mindestens 200 m,
im Einzelfall bis 500 m
 - Waldgebiete 200 m
 - Gewässer 1. Ordnung und Gewässer
mit Erholungsschutzstreifen
mindestens 50 m
 - Landesschutzdeiche – landseitig
mindestens 300 m,
jedoch von Mitteltide-Hochwasser
mindestens 500 m,
nach Prüfung im Einzelfall können
auch geringere Abstände vertretbar sein
 - sonstige Deiche 50 m
und vorgeschichtliche Boden-/
Naturdenkmale Prüfung im Einzelfall
9. Die Errichtung von Windenergieanlagen ist stets ein Eingriff in Natur und Landschaft. Gemäß § 8 Abs. 1 Landschaftspflegegesetz ist zunächst darauf zu achten, daß die Beeinträchtigungen des Naturhaushaltes und des Landschaftsbildes so gering wie möglich gehalten werden. Dem dienen die vorstehenden Grundsätze. Unvermeidbare Beeinträchtigungen sind auszugleichen.

Bei Anwendung der o.a. Grundsätze können Maßnahmen zum Ausgleich der Beeinträchtigungen des Naturhaushaltes durch Windparks pauschaliert werden. Als anzuhaltende Größe kann – vorbehaltlich neuerer Erkenntnisse – je installierter 10 kW Leistung von einer Fläche von 100 m² ausgegangen werden, die aus der landwirtschaftlichen Nutzung herauszunehmen wäre. Ein Ausgleich der Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes ist – systembedingt – nicht möglich. Nach den z.Z. geltenden Bestimmungen des Landschaftspflegegesetzes bleibt insoweit zu prüfen, welchem Anspruch der Vorrang einzuräumen ist.

10. Eine Förderung von Windkraftanlagen mit öffentlichen Mitteln erfolgt in Übereinstimmung mit den vorstehenden Grundsätzen.

IV.

Abschließende Hinweise

Auf der Grundlage dieses Erlasses sollen „Grundsätze der Landesplanung zur Standortplanung von Windenergieanlagen“ bei der Fortschreibung des Landesraumordnungsplanes in diesen übernommen und eventuell in den Regionalplänen weiter vertieft werden.

In Gemeinden mit Planungserfordernis sollen noch nicht abgeschlossene Raumordnungsverfahren eingestellt und neue Verfahren nicht eingeleitet werden. Darüber ist den Antragstellern Mitteilung zu machen sowie den Gemeinden, damit die Errichtungswünsche ggf. bei der Flächennutzungsplanung berücksichtigt werden können.

BIJLAGE III

DE BEVOEGDHEDEN VAN WEGBEHEERDERS OM AAN BUREN BEPERKINGEN TEN AANZIEN VAN GEBRUIK OF BEBOUWING OP TE LEGGEN

1. *Inleiding*

De NOVEM heeft de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV opdracht gegeven voor het verrichten van een onderzoek naar de beïnvloeding van de verkeersveiligheid door windturbines die in de buurt van verkeerswegen geplaatst zijn. Met name de gewenste afstand van windturbines tot de rijbaan is onderwerp van onderzoek.

Aanleiding voor het verrichten van dit onderzoek is het gegeven dat er bij de ontwikkeling van locaties voor windparken een sterke voorkeur bestaat voor opstellingen in de buurt van wegen. Voordelen van dergelijke locaties zijn van landschappelijke aard (versterking van bestaande structuren zoals autowegen heeft de voorkeur boven het creëren van geheel nieuwe structuren), en van praktische aard (grondverwerving is minder complex, geluidbelasting veroorzaakt minder problemen omdat er langs wegen al een hoog achtergrondniveau aanwezig is).

De instanties die verantwoordelijk zijn voor het handhaven van de verkeersveiligheid blijken in de praktijk te verlangen dat windturbines op een ruime afstand van de door hun beheerde wegen worden geplaatst. Voor de beheerders van vaarwegen, dijken en andere infrastructurele werken geldt overigens hetzelfde. Hoe groot de verlangde afstand is, hangt niet alleen af van het soort instantie die als beheerder optreedt, maar verschilt bovendien per regio. Een verkeerstechnische of andere onderbouwing voor de in acht te nemen afstand onderbreekt veelal.

De SWOV onderzoekt de inhoudelijke kanten van dit onderwerp. Dit onderhavige onderzoek moet inzicht geven in de vraag welke afstanden vanuit verkeersveiligheidsoogpunt noodzakelijk zijn.

In de praktijk rijst bovendien de vraag wat voor instrumenten de beheerders ten dienste staan om te zorgen dat de door hen gewenste veiligheidsafstanden in acht worden genomen. Daarom is een onderzoek verricht naar de juridische aspecten. De vraag die daarbij centraal staat is welke bevoegdheden beheerders van infrastructurele werken hebben om aan burens beperkingen ten aanzien van gebruik of bebouwing op te leggen.

In de voor U liggende notitie wordt verslag gedaan van dat onderzoek. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen vier soorten wegen. Dat zijn achtereenvolgens rijkswegen (in beheer bij RWS), provinciale wegen, gemeentelijke wegen en waterschapswegen. In het voorgaande is een studie gepresenteerd naar de invloed van windturbines op de verkeersveiligheid.

In beginsel zijn twee soorten instrumenten denkbaar: rechtstreekse bevoegdheden, of indirecte mogelijkheden om andere organen te bewegen tot stappen die de belangen van de wegbeheerder veilig stellen.

2. Rijkswegen

Een formeel-wettelijke basis voor RWS als wegbeheerder om ontwikkelingen die de verkeersveiligheid nadelig beïnvloeden tegen te gaan heeft zij niet als het gaat om ontwikkelingen buiten haar eigen terrein. Dit is anders als het gaat om bouwplannen op terrein waarvan RWS als beheerder optreedt. De beheersgrenzen vallen samen met de eigendom (door Domeinen) van de grond. De Wet tot Vaststelling van Bepalingen met Betrekking tot Rijkswaterstaatswerken biedt de landelijke wetgever de mogelijkheid om nadere regels te stellen. Het daarop gebaseerde Rijkswegenreglement heeft ooit wel een bevoegdheid bevat om aan burens verplichtingen of beperkingen op te leggen, maar deze is reeds lang geleden geschrapt. Er is geen andere wettelijke basis voor RWS om aan burens verplichtingen op te leggen. De conclusie is derhalve dat RWS geen directe instrumenten heeft om ontwikkelingen tegen te houden, tenzij die op haar eigen terrein plaatsvinden.

Een indirect instrument staat RWS wel ten dienste. Voor de bouw van windturbines zijn in beginsel twee vergunningen vereist: een bouwvergunning en een hinderwetvergunning. Alvorens tot de afgifte van dergelijke vergunningen over wordt gegaan, zal het bevoegde gezag (de gemeente) alle betrokken belangen analyseren en vervolgens tegen elkaar afwegen. Eén van de partijen die belangen heeft bij hetgeen langs wegen gebouwd wordt is de wegbeheerder.

Indien de beheerder meent dat de belangen van het verkeer, of andere belangen, geschaad worden door het bouwen van windturbines, zal zij pogen de bouw te verhinderen, of de wijze van bouwen aangepast te krijgen aan haar verlangens. Dat gebeurt in beginsel in het vooroverleg over aangevraagde bestemmingsplan-wijzigingen, nieuwe bestemmingsplannen of aangevraagde Hinderwet vergunningen. Het staat de gemeente echter vrij om wel of niet rekening te houden met de bezwaren van de zijde van de beheerder. Mocht de gemeente geen rekening houden met de bezwaren van de beheerder, dan kan deze formeel bezwaar aantekenen. Middels een procedure op grond van de Wet op de Ruimtelijke Ordening of de Wet Algemene Bepalingen Milieuhygiene c.q. de Wet Milieu Beheer kan de beheerder trachten de bouw tegen te houden. Het is niet mogelijk om middels dergelijke procedures veranderingen in de verleende vergunningen af te dwingen. De provincie (als beroepsinstantie) kan niet meer doen dan goedkeuren, afkeuren, of gedeeltelijk afkeuren. De Afdeling Geschillen van de RvS (als hoogste instantie o.g.v. de WRO of de Tijdelijke Wet Kroongeschillen) kan wel zelf veranderingen in een gegeven beschikking aanbrengen, maar degene die in beroep gaat heeft geen invloed op de inhoud van de eventuele veranderingen.

Mogelijkheden om indirect invloed uit te oefenen heeft RWS dus wel, de effectiviteit daarvan is niet duidelijk, en hangt met name af van de feitelijke situatie.

3. Provinciale wegen

In tegenstelling tot de rijksoverheid (RWS) hebben de meeste provincies wel een rechtstreeks instrument om beperkingen op te leggen aan burens. Deze bevoegdheid is gebaseerd op de Provinciewet enerzijds en op de Wegenwet anderzijds.

Art. 90 Provinciewet bepaalt dat Provinciale Staten een zelfstandige wetgevende bevoegdheid hebben. Vereist is dat de regeling gezien het belang van de provincie nodig geoordeeld wordt. Dat belang wordt in het geval van bebouwingsvrije zones en andere burenbepalingen gevormd door de verkeersweg- of vaarwegveiligheid. Van belang voor het aanwezig zijn van de bevoegdheid op speciaal dit terrein is artikel 57 Wegenwet dat de mogelijkheid opent voor lagere overheden om onderwerpen die niet in de Wegenwet geregeld zijn, zelfstandig te regelen. Het aspect van verkeersveiligheid, en de beïnvloeding daarvan door bouwwerken langs wegen, is een onderwerp dat niet geregeld is door de Wegenwet, en dus op grond van art. 57 Wegenwet door lagere overheden geregeld kan worden. Dergelijke regels kunnen opgenomen worden in de zgn. provinciale wegenverordeningen. Daarin kan bepaald worden dat in een strook van een bepaald aantal meters langs provinciale wegen geen bouwwerken of andere zaken geplaatst mogen worden. In beginsel kan bepaald worden dat een ontheffing van deze bepaling mogelijk is.

Hieronder wordt een overzicht gegeven van de wijze waarop de voor dit onderzoek relevante, windrijke provincies regelingen met betrekking tot in acht te nemen afstanden vorm hebben gegeven. Opvallend zijn de grote verschillen tussen de regelingen.

De provincie Flevoland kent helemaal geen provinciale wegenverordening, en dus ook geen invloedzone.

De provincie Friesland is bezig met het opstellen van een nieuwe wegenverordening. In de oude, die nu nog geldend is, zijn geen bebouwingsvrije zones opgenomen. In de nieuwe verordening worden alleen reclame uitingen aan beperkingen onderworpen: niet dichterbij dan 25 meter bij de rijbaan. De overweging om andere objecten niet aan beperkingen te onderwerpen is dat "maatregelen daartegen niet van de wegbeheerder uit behoren te gaan".

De provincie Groningen heeft een wegenreglement, waarin diverse bepalingen met betrekking tot in acht te nemen afstanden zijn opgenomen. Eén van deze bepalingen heeft betrekking op benzinstations, een andere op bouwconstructies waarvoor geen bouwvergunning vereist is. Ten aanzien van bouwwerken waarvoor wel een bouwvergunning vereist is gelden geen beperkingen.

De provincie Noord-Holland heeft een wegenreglement, waarin bebouwingsvrije zones zijn opgenomen. De afstanden bedragen 50 meter voor secundaire wegen, en 20 meter voor tertiaire wegen. Een ontheffing is mogelijk. Het beleid is er de laatste jaren op gericht om voor alle wegen de norm van 20 meter toe te passen, er wordt geen reden gezien om voor windturbines een groter afstand dan 20 meter aan te houden.

De provincie Zuid-Holland kent wel een wegenverordening. Daarin wordt een bebouwingsvrije zone voorgeschreven van 50 meter voor secundaire wegen buiten de bebouwde kom, en 20 meter voor tertiaire wegen. Een ontheffing is mogelijk, voor zover bekend is die nog nooit gevraagd voor windturbines.

De provincie Zeeland heeft een wegenreglement waarin een bepaling over bebouwingsvrije zones is opgenomen. Deze bepaling kent drie verschillende afstanden voor bebouwingsvrije zones: 75 meter (voor wegen van de eerste categorie d.w.z. wegen met een regionaal belang), 40 meter (voor wegen van de tweede categorie) en 25 meter (voor wegen van de derde categorie). Een bijzonderheid van de situatie in Zeeland is dat voor rijkswegen dezelfde bepalingen gelden als voor provinciale wegen, omdat zij vallen onder de werking van het provinciale wegenreglement.

Evenals RWS hebben de provincies de mogelijkheid om indirect invloed uit te oefenen, door vooroverleg over bestemmingsplannen en wijzigingen. Ook bezwaarprocedures tegen verlening van vergunningen behoren tot de instrumenten die de provincie kan gebruiken. Ten opzichte van de landelijke overheid heeft de provincie evenwel een sterkere positie: zij moeten in geval van wijzigingen van een bestemmingsplan, of art. 19 WRO procedures instemmen met de plannen van de gemeenten. Dat betekent dat zij zelf (als beroepsorgaan) oordelen over de plannen, en daardoor rechtstreeks invloed uitoefenen.

4. Gemeentelijke wegen

De bevoegdheden van gemeenten zijn in beginsel dezelfde als die van provincies. Ze zijn gebaseerd op art 168 Gemeentewet en op de Wegenwet, art 57.

De bevoegdheden van de gemeenten kennen dezelfde beperkingen als die van de provincies.

Voorbeelden van gemeentelijke regelingen (bijv. in APV's) die invloedzones creëren zijn niet bekend omdat tijd voor een inventarisatie ontbreekt. Wat in ieder geval wel voorkomt zijn bebouwingsvrije zones in bestemmingsplannen. De indruk bestaat overigens dat dergelijke zones tegenwoordig minder vaak voorkomen dan vroeger. Als reden daarvoor wordt genoemd dat gemeenten financiële belangen hebben bij het open houden van mogelijkheden om dicht langs wegen bebouwing toe te staan.

5. Waterschapswegen

De bevoegdheden van de waterschappen om verordeningen te maken zijn gebaseerd op artikel 59 van de Waterschapswet. Dit artikel stelt de uitdrukkelijke eis dat de verordeningen niet in strijd zijn met hogere bepalingen. Hierboven is uiteengezet dat er geen hogere (landelijke) bepaling is ten aanzien van in acht te nemen afstanden, dus bestaat er een bevoegdheid. In principe hebben waterschappen grote bevoegdheden ten aanzien van burens, bijv. de bepaling dat eigenaren van nabij waterstaatswerken (waartoe wegen gerekend worden) gelegen percelen tijdelijke werken en verrichtingen op hun percelen toe moeten laten (Model-Keur art. 3). In het Model-Keur voor de Waterschappen, waarin een aantal modellen van mogelijke bepalingen worden gegeven, staat niets vermeld over waterschapswegen en daarbij geldende veiligheidsafstanden.

Concrete gevallen van waterschappen die een veiligheidszone hebben ingesteld zijn op dit ogenblik niet bekend, omdat tijd voor een inventarisatie ontbreekt. Een wettelijke basis voor dergelijke regelingen is wel aanwezig.

6. Samenvatting

Voor zover het gaat om rijkswegen, zijn de bevoegdheden van de beheerder (RWS) zeer beperkt. Een directe bevoegdheid heeft RWS niet, er staat alleen de mogelijkheid open om bezwaar te maken tegen bestemmingsplannen of concrete bouwplannen.

Voor provinciale wegen zijn de mogelijkheden voor de beheerder aanmerkelijk groter. Allereerst heeft de provincie een rechtstreeks instrument: de provinciale wegenverordening, die kan bepalen dat binnen een bepaalde afstand van een provinciale weg niet gebouwd mag worden. Daarenboven heeft de provincie door haar positie als beroepsinstantie in RO procedures aanvullende mogelijkheden om invloed uit te oefenen.

Gemeenten hebben in beginsel dezelfde mogelijkheden als provincies. In de praktijk

lijken ze daar veelal geen gebruik van te maken. Bovendien hebben gemeenten de mogelijkheden om via bestemmingsplannen voorschriften op te stellen.

De conclusie uit het bovenstaande is dat de diverse wegbeheerders zeer verschillende instrumenten ten dienste staan om in acht te nemen afstanden voor te schrijven. De mogelijkheden die de beheerders van gemeentelijke en provinciale wegen hebben zijn aanmerkelijk groter dan de mogelijkheden van de beheerder van rijkswegen.

Delft, 14 oktober 1992

mr. W. Freeling