

Haalbaarheidsstudie
naar de inpasbaarheid
van middelgrote
WindWall turbines

Pim Rooijmans

NWS-I-2004-14

Een stageverslag van:

Pim Rooijmans

Internal Report: NWS-I-2004-14

Begeleiders: dr. W.G.J.H.M. van Sark,
J. Čače (RenCom), R. Roelofs (Windwall)

Department of Science Technology and Society
Utrecht University
Heidelberglaan 2
3584 CS Utrecht
The Netherlands

HAALBAARHEIDSSTUDIE NAAR DE INPASBAARHEID VAN MIDDELGROTE WINDWALL TURBINES

**Pim Rooijmans 9806784
Universiteit Utrecht – Copernicus Instituut
Natuurkunde student
Stage: februari – juni 2004**

i.s.m.

Rob Roelofs¹, Jadranka Čače² en Wilfried van Sark³

¹WindWall B.V., ²RenCom B.V., ³Copernicus Instituut, sectie NW&S

• VOORWOORD

Deze studie is gedaan in opdracht van WindWall B.V. door Pim Rooijmans van de Universiteit Utrecht. Het onderzoek is gedaan in het kader van een stage ter afsluiting van het M-Profiel Energy and Resources aan het Copernicus Instituut. Tevens is dit de afsluitende stage voor de doctoraal opleiding natuurkunde. De begeleiding was in handen van Rob Roelofs van WindWall B.V., Jadranka Čače van Rencom B.V. en Wilfried van Sark van het Copernicus instituut, sectie NW&S. Pim is tijdens het onderzoek gecoacht door Marion Göttgens, studente SPH aan de hogeschool Utrecht.

Aan dit onderzoek werkten de volgende mensen mee: Bauke Scheffer en Wim ten Horst van de provincie Groningen, Gert Harm ten Bolscher van DWA advies, Mike Blanch van Rutherford Appleton Laboratory, Christoph Ravesloot van Gezond bouwen en wonen, Sander Mertens van de TUDelft, Jan Aalberts van het van Hall business center, Maud Naaijken van NS Vastgoed, landschapsarchitect Niek Roozen van Niek Roozen bv, Piet de Joode van ProRail, Cees Bakker en Christian Verberne van de gemeente Heerhugowaard, Roel Struijk van de gemeente Texel, Annelies van 't Hoff van de adviesdienst verkeer en vervoer, Jeroen Rottink van Defensie en Harry Versluis van DLV bouw.

Ik wil al de ondervraagden hartelijk danken voor hun spontane medewerking. Als laatste wil ik ook mijn beide ouders bedanken voor het financieel en organisatorisch mogelijk maken van mijn gehele studie.

• SAMENVATTING

In dit rapport is gekeken naar de inpasbaarheid van een nieuw type windturbine langs bestaand infrastructuur in Nederland. Er is aandacht besteed aan zowel de bestuurlijke inpasbaarheid als de fysieke inpasbaarheid van een horizontale WindWall turbine met een diameter van acht meter. Daarnaast is ook bekeken met welke wet- en regelgeving deze turbine te maken krijgt. Het belangrijkste onderdeel van dit rapport is het maken van een schatting van de totaal plaatsbare hoeveelheid WindWalls in Nederland. Hiertoe is gekeken naar de ruimte langs snelwegen, spoorlijnen, waterwegen en havens, industriegebieden en defensie terreinen. Ook is er berekend wat de gemiddelde opbrengst per jaar in MWh van al deze turbines zou zijn. Alle gegevens worden per provincie gepresenteerd.

Uit de studie blijkt dat er voldoende ruimte in Nederland is om een totaal potentieel van ruim 750 MW van dit soort WindWall turbines te plaatsen. De meeste ruimte ligt langs waterwegen en havens, maar de hoogste acceptatie heeft de plaatsing langs industriegebieden. De provincies Noord Holland, Zuid Holland en Friesland bieden de beste mogelijkheden voor de WindWall vanwege het gunstige windklimaat, het goede politieke klimaat en de grote hoeveelheid ruimte. Als er turbines worden geplaatst op alle geschikte locaties dan zullen deze grofweg genoeg stroom opwekken voor 250.000 huishoudens. In dit geval zal er ruim 500 kilometer van dit type WindWall verspreid over Nederland staan.

• INHOUDSOPGAVE

Titelblad	
Voorwoord	pag. ii
Samenvatting	pag. iii
1 INLEIDING	pag. 1 t/m 5
1.1 Aanleiding en doel van het onderzoek	pag. 1
1.2 De WindWall turbine	pag. 2
1.3 Onderzoeksopzet en indeling van het rapport	pag. 5
2 RUIMTELIJK BELEID	pag. 6 t/m 13
2.1 Landelijk beleid: de Vijfde Nota over de ruimtelijke ordening	pag. 6
2.2 Provinciaal beleid: BLOW	pag. 7
2.3 Gemeentelijk beleid: bestemmingsplannen	pag. 9
2.4 Veiligheid	pag. 10
2.5 Knelpuntenanalyse	pag. 12
2.6 Consequenties voor middelgrote WindWall turbines	pag. 13
3 FYSIEKE INPASSING	pag. 14 t/m 22
3.1 Snelwegen in het buitengebied	pag. 15
3.2 Spoorwegen	pag. 17
3.3 Industrierterreinen en wegen daarlangs	pag. 19
3.4 Waterwegen en havens	pag. 20
3.5 Defensierterreinen	pag. 21
3.6 Samenvattend	pag. 22
4 OPBRENGSTEN	pag. 23 t/m 34
4.1 Wind in Nederland	pag. 23
4.2 Consequenties voor middelgrote WindWall turbines	pag. 25
4.3 Aannames bij de bepaling van de uiteindelijke opbrengsten	pag. 26
4.4 Snelwegen	pag. 28
4.5 Spoorwegen	pag. 29
4.6 Industrierterreinen en wegen daarlangs	pag. 30
4.7 Waterwegen en havens	pag. 31
4.8 Defensierterreinen	pag. 32
4.9 Samenvattend	pag. 33
4.10 Een korte vergelijking	pag. 34
5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	pag. 35 t/m 36
Literatuurlijst	pag. 37 t/m 38
Appendix I	pag. 39 t/m 41
Appendix II	pag. 42

HOOFDSTUK 1 : INLEIDING

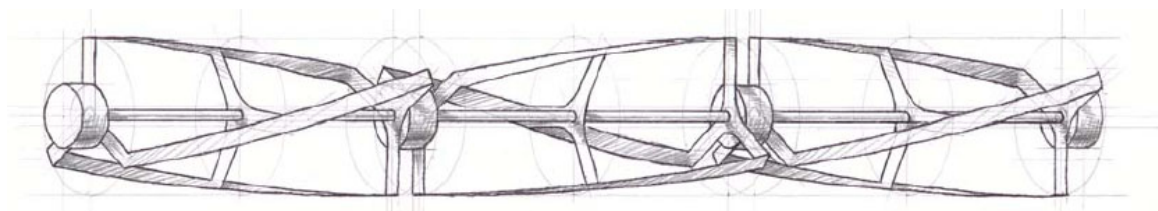
○ 1.1 Aanleiding en doel van het onderzoek

Hernieuwbare energie bronnen worden gezien als de energiebron van de toekomst. Fossiele brandstoffen dragen bij aan het broeikaseffect en zijn niet voor eeuwig voorradig. De komende eeuw zal dan ook in het teken staan van een overgang van energieopwekking door middel van fossiele brandstoffen naar een meer duurzame manier van energieopwekking. Er zijn verscheidene bronnen waar duurzame energie uit geput kan worden. Alle bronnen hebben echter één ding gemeen: ze worden aangedreven door de zon. Zo zorgt de zon voor het ontstaan van drukverschillen op aarde waardoor er een wind ontstaat. Deze wind kan worden omgezet in elektriciteit door middel van windturbines. Dit wordt dan ook al op grote schaal gedaan en grootschalige windenergie kan zich economisch redelijk meten met fossiele brandstoffen.

Er bestaan ruwweg drie verschillende klassen windturbines: grote (met een vermogen van 1-2 MW), middelgrote (25-500 kW) en kleine (2-3 kW). Met name over de eerste klasse is veel bekend, hierover is veel onderzoek gedaan en waardes, van bijvoorbeeld de gemiddelde energieopbrengst per turbine, zijn uit de praktijk bekend. Over de laatste klasse, de kleine turbines, die meestal boven op gebouwen hun toepassing kennen, zijn weinig gegevens uit de praktijk beschikbaar. Er is wel veel onderzoek gedaan naar de toepassingsmogelijkheden van kleine windturbines.

Naar het middensegment windturbines is weinig onderzoek gedaan. Ook draaien er nog geen proefopstellingen met een modern type turbine. Wel zijn er nog de nodige 'ouderwetse' of conventionele types operationeel. Het vermoeden bestaat echter dat dit type turbine opnieuw geschikt zou kunnen zijn voor exploitatie. Er blijkt een behoefte te zijn aan dit soort turbines bij het publiek en er komen veel vragen over bij provincies en gemeenten. Omdat grote turbines op veel plaatsen niet toepasbaar zijn en kleine turbines onvoldoende opbrengsten bieden, is er behoefte aan turbines die wel binnen de regels passen en op acceptatie kunnen rekenen, en met de opbrengsten zoveel mogelijk in de richting gaan van de grote turbines.

Daarom kwam de vraag van één van de producenten van middelgrote windturbines, WindWall B.V., om een haalbaarheidsstudie te doen waarin gekeken wordt naar het potentieel voor dit type turbine. Om het onderwerp goed af te bakenen is besloten om in deze studie op één type windturbine in te gaan: de WindWall turbine. De WindWall turbine is een horizontale-as turbine die oorspronkelijk ontwikkeld is voor het gebruik boven op daken. In de toekomst zou er een groter formaat WindWall turbine ontwikkeld kunnen worden. Meer over de WindWall turbine is te lezen in de volgende paragraaf.



figuur 1.1, de WindWall turbine. (bron: Vermeer, 2003)

Het doel van deze studie is om in kaart te brengen wat de mogelijkheden en onmogelijkheden zijn voor de exploitatie van middelgrote horizontale WindWall turbines in Nederland langs bestaand infrastructuur. Er is gekozen om te kijken naar plaatsing langs infrastructurele werken, omdat daar zowel in de beleidsstukken als in de praktijk de voorkeur naar uit gaat (bronnen: interviews Bauke Scheffer en Wim ten Horst, *vijfde nota over de*

ruimtelijke ordening 2000/2020). De WindWall turbine is er ook in een verticale uitvoering, maar daar wordt in dit rapport geen aandacht aan besteed. De hoofdvraag van deze studie luidt dan ook:

- **Hoe groot is het potentieel (in MW) voor middelgrote horizontale WindWall turbines langs bestaand infrastructuur in Nederland?**

Om deze vraag te beantwoorden zal deze studie antwoord geven op de volgende deelvragen:

1. Bestaat er een bestuurlijke grenslaag¹ waarbinnen middelgrote WindWall-turbines grote juridische en/of landschappelijke voordelen hebben ten opzichte van conventionele turbines? Zo ja, hoe ziet deze grenslaag eruit en met welke wet- en regelgeving op landelijk, provinciaal en gemeentelijk niveau dient rekening te worden gehouden?
2. Wat zijn de ruimtelijke mogelijkheden voor grootschalige toepassing van middelgrote WindWall turbines? Op wat voor soort plaatsen, of langs welke (bestaande) infrastructuur kunnen middelgrote windturbines het beste geplaatst worden?
3. Wat is het *technisch*² potentieel (in MW en kWh) voor middelgrote WindWall-turbines? Hierbij wordt zowel gekeken naar aanbod van wind (lees: energie) als de hoeveelheid beschikbare infrastructuur. Ook worden de opbrengsten in kWh/jaar bekeken.

Met behulp van de antwoorden op bovenstaande vragen wordt een te verwachten potentieel berekend. De vraag is of dit potentieel een aanzienlijk (bv. 10 %) deel is van de bestuursovereenkomst landelijke ontwikkeling windenergie (BLOW, 2001) doelstellingen per provincie. Hierover meer in het volgende hoofdstuk.

Het is voor middelgrote WindWall-turbines zaak om de voordelen van grote conventionele windmolens (hun hogere opbrengsten) te combineren met de voordelen van kleine windmolens (de relatief makkelijke plaatsing). Gewaakt moet worden dat middelgrote turbines geen relatief duur alternatief vormen voor grote windturbines zonder duidelijke voordelen.

○ 1.2 De WindWall turbine

De WindWall turbine is oorspronkelijk ontwikkeld als opstelling voor het gebruik boven op daken. Een opstelling van de WindWall kan bestaan uit verschillende aan elkaar gekoppelde segmenten. Hierbij moet gedacht worden aan een WindWall met een doorsnede van ongeveer 1.5 meter en met een segmentlengte van ongeveer 2 meter (zie figuur 1.2 en <http://www.windwall.nl>).

De WindWall is een zogenaamd H-Type Darrieus turbine. Dat wil zeggen dat de aandrijvende kracht van dit type turbine wordt veroorzaakt door de vorm van de turbine bladen. Door de manier waarop de bladen gevormd zijn ontstaat er een drukverschil tussen de ene kant van het turbineblad en de andere kant. Dit drukverschil veroorzaakt een 'lift'-kracht. Als deze lift-kracht groter is dan de wrijvingskracht dan gaat de turbine draaien. In tegenstelling tot een gewone Darrieus turbine, is het H-type wel in staat om zelf op gang te komen. Voor een uitgebreide technische beschrijving van de Darrieus turbine verwijs ik u naar: <http://www.windturbine-analysis.com/index-intro.htm>

¹ Hiermee wordt bedoeld een gebied in de verticaal (bijvoorbeeld een stuk tussen 0 en 15 meter hoogte) waar WindWall turbines geplaatst zouden kunnen worden, zonder al te veel bestuurlijke rompslomp

² Met technisch potentieel wordt in deze studie het potentieel bedoeld zonder in te gaan op acceptatieniveaus en aannames gemaakt op het gebied van ruimtegebrek door bossen



figuur 1.2, (bron: WindWall B.V.)

Naast toepassingsmogelijkheden op daken bleek er ook vraag naar een groter type WindWall met als toepassingsgebied bestaande infrastructurele werken. Figuur 1.3 laat zien hoe een middelgrote WindWall er in gebruik uit kan zien. Te zien is dat de WindWall niet langer boven op een dak gemonteerd wordt, maar een eigen ondersteuningsconstructie krijgt.



figuur 1.3, (bron: WindWall B.V.)

Toepassingsmogelijkheden voor dit type WindWall kunnen zijn: langs snelwegen, spoorwegen, vaarwegen, defensie terreinen, industrieterreinen, havengebieden en vliegvelden. Deze gebieden zijn gekozen omdat de verwachting is dat dit type turbine hier goed ingepast kan worden.

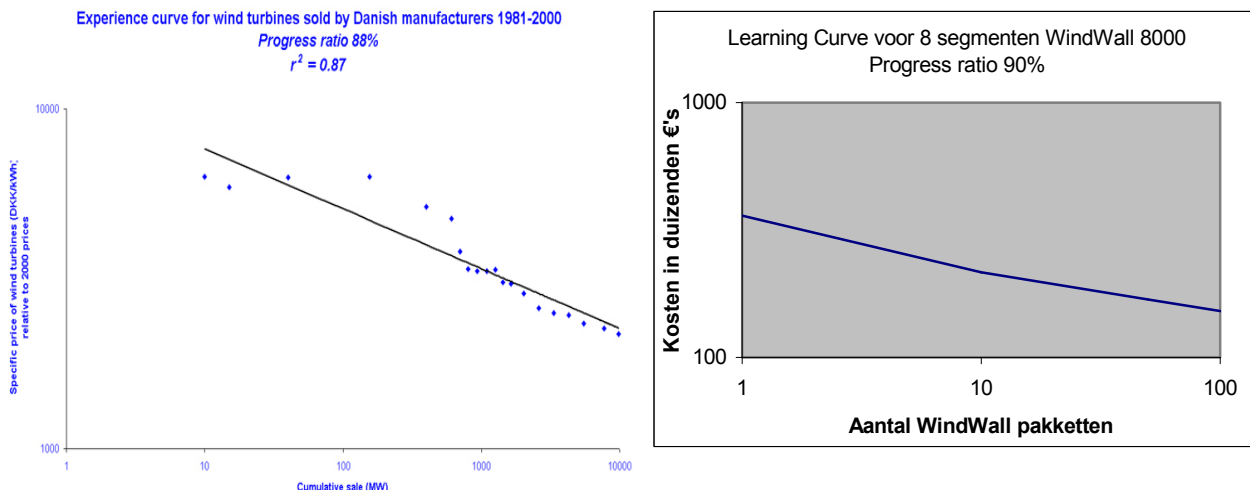
In deze studie zal worden uitgegaan van nog groter type WindWall turbine dan figuur 1.3 laat zien. De turbine uit dit onderzoek heeft de volgende eigenschappen (bron: WindWall B.V.):

- Diameter: 8 meter
- Nominaal vermogen: 24 kW
- Lengte 1 segment: 13 m
- Kosten³ eerste segment: € 60.000
- Geschatte gemiddelde kosten per segment: € 30.000

³ Alle genoemde kosten bestaan uit de WindWall turbine zelf, transport en installatie en 10 jaar garantie

De gemiddelde kosten per segment zijn berekend d.m.v. de leercurve theorie. Deze theorie gaat uit van een prijsreductie per verdubbeling van het aantal geproduceerde artikelen. In dit geval is de progress ratio bepaald op 90% en is er uitgegaan van 100 afgeleverde segmenten. De progress ratio is gekozen uit ervaring van WindWall B.V. en is vergelijkbaar met andere waarden die voor windturbines gevonden worden.

Een voorbeeld voor een leercurve grafiek is te zien in figuur 1.4, beide grafieken hebben een log-log assenstelsel:



figuur 1.4 (bron: <http://www.iset.uni-kassel.de/extool/ExtolExperienceCurve.htm> en WindWall B.V.)

De WindWall turbine wordt echter meestal geleverd in meerdere segmenten aan elkaar. Een configuratie zou er bijvoorbeeld als volgt uit kunnen zien:

- Diameter: 8000 mm
- 8 segmenten
- Nominaal vermogen: 150 kW^{4, 5}
- Lengte totale opstelling: 104 m
- Kosten nu: € 360.000
- Geschatte kosten 100^{ste} pakket: € 152.000

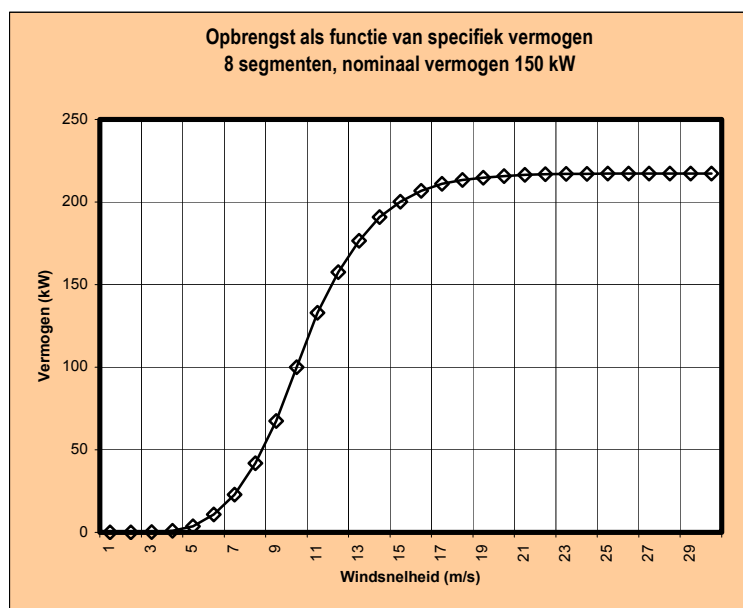
(bron: WindWall B.V.)

Deze opstelling zal het voorbeeld zijn waarmee in dit rapport gerekend gaat worden. Als kosten zal het gemiddelde bedrag van de 100 eerst gebouwde modellen genomen worden. Dit bedraagt € 179.000. De opbrengst als functie van windsnelheid (de 'powercurve') van dit systeem is weergegeven in figuur 1.5.

Duidelijk nadeel van de horizontale WindWall is dat deze vast staat en niet kan mee kan draaien met de wind. Hierdoor zal een gedeelte van de tijd de WindWall uit staan. Het is zaak de WindWall zo op te stellen dat deze in de meeste gevallen toch wind kan vangen. Hierover meer in hoofdstuk 4.

⁴ Het nominaal vermogen van 8 segmenten is gebaseerd op een schatting van WindWall B.V.

⁵ Het nominaal vermogen is het vermogen bij een windsnelheid van 12 m / s, zie figuur 1.5



figuur 1.5 de 'power curve' van dit type WindWall , (bron: WindWall B.V.)

o 1.3 Onderzoekopzet en werkwijze

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden is gebruik gemaakt van literatuur (met name beleidsstukken) en is er een grote groep actoren geïnterviewd (zie literatuurlijst voor details en een voorbeeld interview in appendix II). Met behulp van de literatuur en de interviews is bepaald wat de belangrijkste knelpunten zijn bij de plaatsing van dit type WindWall turbine langs bestaande infrastructurele werken. Naar aanleiding van de literatuur en de interviews is een aantal filters opgesteld die bepalen welk gedeelte van een bepaald type infrastructuur geschikt is. Er wordt per provincie een aantal kilometers bepaald. Hiermee wordt per provincie een plaatsingspotentieel bepaald in MW.

Vervolgens wordt er per provincie gekeken wat het windregiem is en wordt met behulp van gegevens over de WindWall, geleverd door WindWall B.V., bepaald wat de te verwachte opbrengst is voor dit type turbine. De indeling van het verslag is als volgt. In hoofdstuk 2 zal worden gekeken naar het ruimtelijk beleid dat is ontwikkeld voor de plaatsing van nieuwe windturbines en de gevolgen van dit beleid voor de WindWall turbine. Daarna zal er gekeken worden naar de totale hoeveelheid geschikte locaties voor dit soort middelgrote windturbines. Hier zal rekening worden gehouden met de aanbevelingen gedaan in de Vijfde Nota over ruimtelijke ordening en andere beleidsstukken, ook uitspraken gedaan in de interviews zullen worden meegenomen. In hoofdstuk 4 zal hieruit een totaal potentieel in MW voor heel Nederland berekend worden. In paragraaf 4.10 zal er gekeken worden naar de economische rendabiliteit van de WindWall turbine en zal deze kort vergeleken worden met twee andere windturbines. Er zal geëindigd worden met een aantal conclusies en aanbevelingen.

HOOFDSTUK 2 : RUIMTELIJK BELEID

Beleidsvraagstukken rondom de ruimtelijke indeling van windturbines en windturbineparken spelen op drie bestuurlijke niveaus: landelijk, provinciaal en gemeentelijk. Op landelijk niveau is het beleid uiteengezet in de Vijfde Nota over de ruimtelijke ordening. Dit beleid wordt verder uitgewerkt in de bestuursovereenkomst landelijke ontwikkeling wind energie (BLOW). Dit is een overeenkomst tussen vijf ministeries (EZ, VROM, LNV, V&W en defensie), de provinciale besturen en de gemeenten. Hierin wordt uitgebreider ingegaan op de precieze invulling van het landelijk beleid door de verschillende partijen. Kort samengevat is het doel om in 2010 een totaal opwekkingsvermogen in Nederland te bewerkstelligen van 3000 MW. 1500 MW moet behaald worden op zee en 1500 MW op land. De uiteindelijke vergunningverlening voor het plaatsen van windturbines vindt plaats via de gemeenten.

Bij de plaatsing van windturbines zijn diverse partijen betrokken. Er zijn over het algemeen vier groepen te onderscheiden:

1. Investeerders: energiedistributiebedrijven, particuliere projectontwikkelaars, grondeigenaren en individuele deelnemers.
2. Lokale betrokkenen: omwonenden, grondgebruikers (bijvoorbeeld boeren en tuinders, maar ook de NS)
3. Overheden: ministeries, provincies en (buur)gemeenten
4. Belangengroepen: natuur- en milieuorganisaties en terreinbeheerders

(bron: Vos, 2003)

Hieruit blijkt wel dat het plaatsen van een windturbine over het algemeen een niet al te makkelijk proces is, waar veel verschillende partijen betrokken zijn. In dit hoofdstuk zal per bestuurlijk niveau het bestaande beleid worden uiteengezet en zal het beleid over veiligheidsbepalingen worden beschreven. Vervolgens worden de gevolgen voor de WindWall turbine van dit beleid besproken.

Een van de knelpunten bij de plaatsing van windturbines waar geen duidelijke richtlijnen voor zijn, is de visuele hinder. Een manier om de directe voordelen van de WindWall ten opzichte van een conventionele turbine te bepalen kan een methode zijn die in Spanje is ontwikkeld. Deze methode geeft een waarde aan de visuele hinder aan de hand van 5 factoren. Deze factoren zijn: aantal windmolens, zichtbaarheid vanuit het dorp/stad, totaal aantal huizen in dorp/stad, vorm van het windmolenpark, afstand tussen het park en het dorp/stad (Hurtado, 2003).

○ 2.1 Landelijk beleid: de Vijfde Nota over de ruimtelijke ordening

In de vijfde nota over de ruimtelijke ordening wordt met name ingegaan op het formuleren van de criteria voor zoekruimten voor windturbines. Deze criteria voor de plaatsing van windturbines zijn:

- Waar mogelijk bundelen van turbines tot lijnen en parken;
- Waar mogelijk combineren van windturbines met industrieterreinen en verkeers- en vaarwegen; vanwege hun grootte kunnen individuele turbines doorgaans niet meer op een landschappelijk verantwoorde wijze worden geplaatst direct bij agrarische bedrijven;
- Bij voorkeur plaatsing van windturbines in jonge, grootschalig ingerichte landschappen;
- Bij voorkeur plaatsing van windturbines aan de rand van open ruimten; het effect van een visuele omheining van de ruimte wordt vermeden;
- Nieuwe windturbines worden niet geplaatst in open landschappen, tenzij landschappelijk goed inpasbaar zijn, en onmisbaar om de taakstelling te halen;
- Voor plaatsing van windturbines in groene contourgebieden geldt de 'nee, tenzij' afweging.⁶

(bron: Vijfde nota over de ruimtelijke ordening)

⁶ Uit interviews bleek dat er nu meer gesproken wordt over Belvédèregebieden i.p.v. groene contour gebieden

Tot 2010 wil het kabinet de plaatsing van windturbines bevorderen met een totaal opwekkingsvermogen van circa 3000 MW, waarvan circa 1500 MW op het vasteland en minstens 1500 MW op het Nederlandse deel van de Noordzee. Op dit moment (mei 2004) is ruim 950 MW gerealiseerd op land (bron: <http://home.planet.nl/~windsh/>). Voor de 2100 MW die nog gerealiseerd moet worden wordt rekening gehouden met een ruimtebeslag van 75.000 hectare (750 km²). In BLOW is een verdeling gemaakt van het aantal MW dat elke provincie voor haar rekening neemt.

○ 2.2 Provinciaal beleid: BLOW

In de bestuursovereenkomst landelijke ontwikkeling windenergie (BLOW) wordt per partij bepaald wat diens taak is in het tot uitvoer brengen van de doelen (1500 MW wind energie op land in 2010). Er wordt gesteld dat de provincies het vraagstuk rond het ruimtebeslag voor hun rekening nemen, met inachtneming van de richtlijnen gesteld in de Vijfde Nota over de ruimtelijke ordening (zie paragraaf 2.1). De verdeling in MW die per provincie behaald moet worden, ziet er als volgt uit:

Provincie (bron: BLOW)	Huidig vermogen (mei 2004) (MW) (bron: wind service holland)	Taakstelling BLOW 2010 (MW)
Groningen	64	165
Friesland	100	200
Drenthe	1	15
Overijssel	6	30
Gelderland	1	60
Flevoland	399	220
Utrecht	0,2	50
Noord-Holland	181	205
Zuid-Holland	121	205
Zeeland	57	205
Noord-Brabant	38	115
Limburg	1	30
Totaal	967	1500

Uit interviews blijkt de rol van de provincie met name een aansturende te zijn. De provincie posteert zich als bemiddelende partij als het gaat om het beslistraject van windturbines. Een provincie zal nooit zelf initiatiefnemer zijn en windturbines aanschaffen, dit zal altijd gebeuren door andere partijen zoals energiedistributiebedrijven en particuliere projectontwikkelaars. De provincie creëert alleen de randvoorwaarden om het BLOW te halen (*interviews: Bauke Scheffer en Wim ten Horst, Cees Bakker en Christian Verberne, Roel Struijk*).

De verschillende provincies worden geacht een plan van aanpak te hebben dat inzicht geeft in de concrete activiteiten ter ontwikkeling van locaties voor windturbines en de wijze van samenwerking met gemeenten en marktpartijen. In onderstaande tabel worden zeer kort de relevante bepalingen per provincie genoemd.

Provincie	Voorkeursgebieden	Initiatieven	Solitair
Groningen	3 voorkeursgebieden	Buiten voorkeursgebieden ashoogte boven 15m verboden.	Solitair verboden, behalve bedrijfsterreinen
Friesland	Geen, maar niet in Waddenzee, eilanden, stiltegebieden. Voorkeur voor bedrijventerreinen		Solitair verboden, behalve bedrijfsterreinen, maximaal 45 meter
Drenthe	Geen, maar wel rekening houden met landschap	Voorkeur voor grootschalige initiatieven	Solitair verboden boven 25 meter
Overijssel	Noord oost Overijssel, kleinere opstelling elders. Niet in natuurgebieden.		Solitair verboden, behalve bedrijfsterreinen
Gelderland	Voorkeursgebieden, twijfelgebieden, verbodengebieden	Elk initiatief dient onderbouwd te worden	Solitair verboden, behalve bedrijfsterreinen
Flevoland	Voorkeur voor grootschalige projecten	Kleinschalige projecten maximale hoogte 70m. 6 tot 10 turbines toegestaan	Solitair verboden, alleen in Zuid Flevoland beperkt toegestaan.
Utrecht	Lijn of cluster opstelling langs infrastructuur of bedrijfsterreinen. Niet in rust en stilte gebieden		Solitair verboden, minimale grote 1 MW.
Noord- Holland	Infrastructuur, industrie, Wieringermeer en Zuidelijke Haarlemmermeer. Niet in natuurgebieden.	Speciaal beleid kleine projecten.	Solitair verboden, behalve bedrijfsterreinen, knooppunten en markante landschapspunten
Zuid-Holland	Lijn opstellingen langs infrastructuur, terughoudend in groene hart.		Solitair verboden, behalve bedrijfsterreinen, knooppunten en markante landschapspunten
Zeeland	Nee, provincies laat het aan gemeentes over. Wel voorkeur havens en industrieterreinen		
Noord Brabant	Voorkeursgebieden, twijfelgebieden, verbodengebieden		
Limburg	Uitsluiting Belvédèregebieden		
Bronnen: zie appendix			

o 2.3 Gemeentelijk beleid: bestemmingsplannen

Het gemeentelijk beleid bestaat met name uit bestemmingsplannen en milieu- en bouwvergunningen. BLOW zegt hierover: "Gemeenten doen er verstandig aan om, indien het bouwplan ter oprichting van één of meer windturbines in strijd is met het vigerende bestemmingsplan, de bouwvergunning te verlenen met behulp van een ruimtelijke vrijstelling." Tijdens een interview met de provincie Groningen bleek dat dit in de praktijk hier echter nooit zomaar gehoor aan zal worden gegeven (*interviews: Bauke Scheffer en Wim ten Horst*).

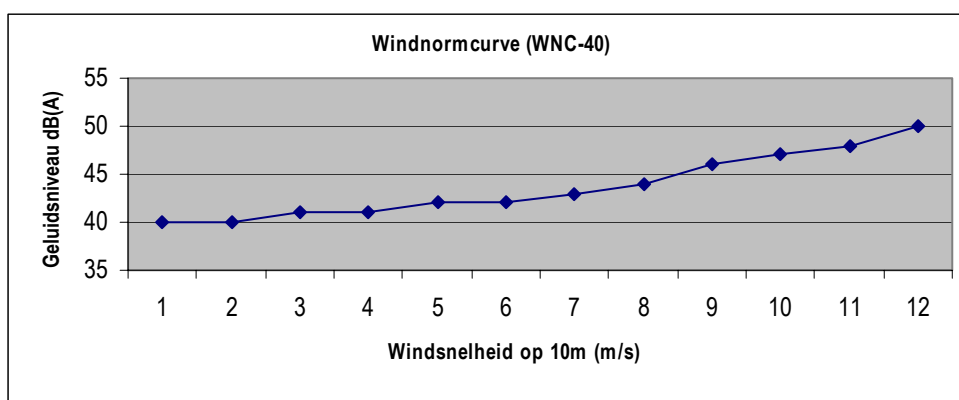
Vaak is er in een bestemmingsplan niets opgenomen over het plaatsen van windturbines (*Interview: Cees Bakker en Christian Verberne*). In dat geval is er een bestemmingsplanwijziging nodig, als er toch windturbines geplaatst gaan worden, en moet er een artikel 19 procedure gestart worden. Artikel 19 van de Wet op de Ruimtelijke Ordening biedt de gemeente een mogelijkheid om ontheffing van bepalingen van een bestemmingsplan te geven. Als burgemeester en wethouders deze vrijstelling verlenen, gaan ze ervan uit dat het bouwplan niet in strijd is met een toekomstig, nieuw bestemmingsplan.

Er bestaan drie soorten gemeentelijke bestemmingsplannen. Een voor het binnengebied, een voor het uitbreidingsgebied en een voor het buitengebied. De regelgeving in het buitengebied is erg ingewikkeld en naast gemeentes kunnen ook andere partijen zoals verkeer en waterstaat belanghebbende zijn (bijvoorbeeld als grondbezitter). Dit komt korte procedures niet ten goede.

Als er op grond van het bestemmingsplan (eventueel via een artikel 19 procedure) geen bezwaar gemaakt wordt tegen de plaatsing van windturbines moet er een bouwvergunning verkregen worden. Een bouwvergunning kan geweigerd worden op drie gronden:

1. Er wordt niet aan de bouweisen voldaan (bijvoorbeeld veiligheidseisen)
2. Er wordt niet aan de bestemmingsplaneisen voldaan (bijvoorbeeld hoger bouwen dan de bestemmingsplanhoogte).
3. Het negatieve advies van de welstandscommissie wordt overgenomen (sinds 1 januari 2004, gaat het hier niet meer om een bindend advies).

Vervolgens moeten opstellingen groter dan 15 MW ook nog voldoen aan de wet milieubeheer. Hierin staan eisen voor geluidsoverlast en scattering⁷. Gemeentes kunnen echter zelf nog extra eisen stellen aan de plaatsing van turbines. Uit de afgenomen interviews bleek dat gemeentes die liever geen (nieuwe) windturbines willen zullen zwaardere eisen hebben dan gemeentes die dat wel willen. Als het totale vermogen van de windturbines kleiner is dan 15 MW én een geluidsgevoelig object (woon- en werkvestigingen) zich op een afstand van meer dan viermaal de ashoogte bevindt, geldt volgens Algemene Maatregel van Bestuur (AMvB) Voorzieningen en Installaties Milieubeheer, dat de windturbines moeten voldoen aan de windnormcurve (WNC). Deze curve geeft de geluidsnormen weer die een windturbine niet mag overschrijden. De windcurve voor bewoond gebied is de WNC-40, deze is te zien in figuur 2.1 (*bron: werken met wind, Ecofys*).



figuur 2.1 Windnormcurve

⁷ Hiermee wordt bedoeld: het hinderlijk voorkomen van flirkerend licht

Voor het type WindWall hier bestudeerd is nog geen geluidsmeting verricht, maar uitgaande van een opschaling van een kleiner type WindWall lijken er weinig problemen te verwachten aangaande een groter type turbine. Voor uitgebreidere informatie over wet- en regelgeving verwijs ik u graag naar het boekje gemeenten aan de wind (Vos, 2003).

○ 2.4 Veiligheid

Uit de interviews bleek dat een van de belangrijkste knelpunten bij de implementatie van WindWall turbines de onbekende veiligheidsnorm is. Er bestaat nog geen certificering voor kleine of middelgrote windturbines, maar de behoefte naar deze certificering is groot zowel van de kant van gemeenten en provincies als van de leverancier. Op dit moment is ECN bezig met een veiligheidsrapport over het kleine type WindWall. Hierin zal echter beschreven worden dat de WindWall door het gebruik van een veiligheidskooi geen veiligheidsanalyse meer behoeft, omdat het gevaar van losschietende onderdelen dan geweken is. Mocht de veiligheidskooi niet worden toegepast (om een hogere opbrengst te genereren) zal er wel gekeken moeten worden naar onderstaand veiligheidsprocédé.

Veiligheidsaspecten die aan normale windturbines kleven zijn:

- Rotorafbreuk
- Ijsafwerping
- Het omvallen van de gehele constructie
- De verkeersveiligheid

Uit eerder onderzoek (Schreuder, 1992) blijkt dat de risico's die samenhangen met ijsafwerping en het omvallen van de gehele constructie zeer klein zijn. Daarom zal de focus hieronder gelegd worden op de aspecten rotorafbreuk en verkeersveiligheid.

Rijkswaterstaat heeft in samenwerking met NS Railinfrabeheer (nu ProRail) een veiligheidsfilosofie voor het afbreken van de turbinebladen geschreven voor de plaatsing van windturbines langs auto-, spoor- en vaarwegen. (Windturbines langs auto-, spoor- en vaarwegen. Beoordeling van veiligheidsrisico's, april 1999) Pas als aangetoond is dat de WindWall turbine aan deze veiligheidsfilosofie voldoet kan eventueel tot vergunningverlening worden overgegaan. Hieronder zal deze veiligheidsfilosofie verder worden uiteengezet.

De risico's die in verband staan met rotorbladbreuk zijn aanvaardbaar mits ze voldoen aan twee voorwaarden. Het zogenaamde Individueel Passanten Risico (IPR) moet laag genoeg zijn ($<10^{-6}$) én het maatschappelijk risico moet laag genoeg zijn ($<2 \cdot 10^{-3}$).

Het IPR is gelijk aan de som, over alle passanten i , van alle producten van:

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

In formulevorm ziet dat er dus als volgt uit:

$$IPR = \sum_{i=1}^n P_{a,i} P_{T,i} P_{D|T}$$

Ervan uitgaande dat de kans op overlijden door de klap van een windturbineblad ($P_{D|T}$) gelijk aan 1 is geldt dan:

Risicomaat IPR = Σ (Trefkans * Aanwezigheidsfractie per passant)

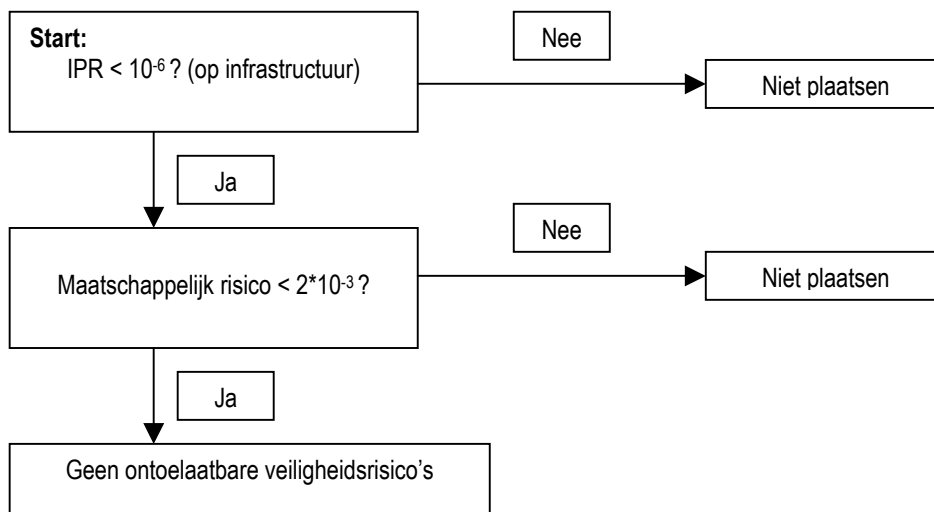
Als maatschappelijk risico wordt de verwachtingswaarde EV van het aantal doden per jaar gebruikt. Deze wordt als volgt berekend:

Risicomaat EV = gemiddeld aantal doden per passage * aantal passages per jaar

Het gemiddeld aantal doden per passage is gelijk aan het quotiënt van het IPR en het aantal passages per passant per jaar. Dus:

Risicomaat EV = (IPR / aantal passages per passant per jaar) * aantal passages per jaar.

De beslisregel ziet er schematisch dan als volgt uit:



bron: de Joode, 1999

De ervaring leert dat de veiligheidsrisico's bij de plaatsing van conventionele windturbines vaak onder de grenzen liggen die door rijkswaterstaat zijn opgelegd en dat er dus uit veiligheidsperspectief weinig tot geen drempels zijn.

Een aantal andere zaken waarmee rekening kan worden gehouden bij plaatsing van windturbines langs snelwegen wordt beschreven in het rapport: De invloed van windturbineparken op de verkeersveiligheid (Schreuder, 1992). Ten eerste is er het botsingsgevaar. In bovengenoemd rapport worden aanbevelingen gedaan aangaande een obstakelvrije zone. Voor autosnelwegen wordt een obstakelvrije zone van 30 meter aanbevolen. Echter als er een starre geleideconstructie zou worden toegepast wordt de afstand slechts 1,50 meter (Schreuder). Een ander belangrijk punt dat vaak naar voren kwam in de afgenomen interviews is de afleiding die windturbines kunnen vormen in de vorm van lichteffecten of gewoon als draaiend object langs de weg. Uit het rapport van Schreuder blijkt dat er van conventionele turbines weinig afleiding verwacht mag worden. Er blijkt echter dat de WindWall turbine (mits dichtbij de weg geplaatst) wel voor hinderlijke scattering zou kunnen zorgen. Hiervoor is meer onderzoek nodig. Als laatste belangrijke punt wordt geluidshinder genoemd. De geplaatste windturbines mogen niet zoveel lawaai maken dat andere weggebruikers niet hoorbaar meer zijn of dat relevante waarschuwingssignalen niet meer te horen zijn. Dit is voor conventionele turbines bijna nooit het geval en zal voor de WindWall turbine naar alle waarschijnlijkheid ook niet het geval zijn.

○ 2.5 Knelpuntenanalyse

Uit de verschillende interviews en beleidsstukken bleken dit de belangrijkste knelpunten voor de plaatsing van middelgrote WindWall turbines langs infrastructurele werken te zijn:

- **Veiligheid:** De turbines zouden langs (snel)wegen wel eens veel te veel kunnen afleiden. Zelfs voor de plaatsing van reclameborden zijn al strenge regels. Met name bij plaatsing langs infrastructuur die niet direct aan iemand toebehoort, zoals wegen en spoorbanen moet ervoor worden gezorgd dat geen personen in de windturbines kunnen klimmen of er stokken ingooien. Grootste knelpunt hierbinnen is dat er nog geen certificering is omtrent de veiligheid van kleinere windturbines. Hierdoor zouden gemeentes veel minder geneigd zijn de benodigde bouwvergunning te verlenen.

Er zijn algemene **veiligheidsafstanden** opgesteld door Rijkswaterstaat en de Nederlandse spoorwegen voor plekken waar veel mensen komen. Er mag geen windturbine geplaatst worden binnen een afstand van een rijksweg die kleiner is dan de halve rotordiameter van de windturbine met een minimale afstand van 30 meter (bron: werken met wind, Ecofys). Hierdoor kan er ruimtegebrek ontstaan voor de WindWall turbine. Echter er kan volgens een rapport van het SWOV ook gewerkt worden met een geleide constructie waardoor de afstand gereduceerd kan worden tot 1,5 meter. Tijdens interviews en gesprekken met geïnteresseerden leken de meeste mensen zich toch vast te houden aan die 30 meter.

Ook is men bang voor rotorafbreuk en het omvallen van de gehele constructie. Hierbij moet wel aangetekend worden dat dit beleid opgesteld is met het plaatsen van grotere 'normale' windturbines in het achterhoofd en niet met WindWall turbines in lijnopstelling. Voor verdere informatie zie hoofdstuk 2.

- **Antisolitair beleid:** Sommige provincies, zoals de provincie Groningen, voeren een beleid waarin het plaatsen van windturbines sterk wordt ontmoedigd buiten de daarvoor aangewezen zones. Deze aangewezen plekken zijn vaak klein in omvang en vaak al in gebruik door bestaande windturbines. Dit beleid is voortgekomen uit fouten die in het verleden zijn gemaakt bij de plaatsing van solitaire windturbines.
- **Belvédèregebieden:** Hoewel in de Vijfde Nota over de ruimtelijke ontwikkeling slechts de Belvédèregebieden (of groene contour gebieden) als 'nee, tenzij' gebieden worden gekenmerkt, laten POP (Provinciaal Omgevingsplan) kaarten zien dat er nog veel meer natuur en rust gebieden zijn die, door de provincies, als 'nee, tenzij' gebieden te boek staan. Dit beperkt de aanleg van WindWall turbines langs wegen en spoorwegen aanzienlijk.
- **Het NIMBY-effect:** Het plaatsen van windturbines is vaak onderhevig aan het NIMBY (not in my backyard) effect. Bijvoorbeeld de Provincie Groningen is zeer pessimistisch als het gaat om plaatsing van WindWalls langs wegen, helemaal waar het gaat om een snelweg langs woongebieden. Burgers zullen er alles aan doen om geen windturbine 'in hun achtertuin' te krijgen. Dit kan het moeilijk maken de benodigde bouwvergunning te bemachtigen. Uit onderzoek van het NIPO (Engelsma, 2001) bleek echter wel dat een groot deel van het Nederlandse volk voorstander is van duurzame energie. Ook in dit onderzoek wordt al gesuggereerd dat er een NIMBY effect kan optreden.
- **Landschapsverstoring:** De turbines moeten goed in de lijnen van het landschap passen. Zeker wanneer de turbines in een redelijk dicht bevolkt gebied staan is dit van groot belang. Uit een interview met Niek Roozen (landschapsarchitect) bleek er moeilijk specifieke richtlijnen te geven te zijn voor de esthetische gronden waarop de WindWall langs snelwegen geplaatst kan worden. Algemeen kan gezegd worden dat in zijn optiek de overgangsgebieden van stad naar platteland het best geschikt zouden zijn en dat zeer open landschappen vermeden moeten worden. Het best is om een bestaande lijn te versterken en zelfs mooier te maken.

○ 2.6 Consequenties voor middelgrote WindWall turbines

Het is belangrijk om te vermelden dat al het bestaande beleid in principe ontwikkeld is voor de plaatsing van een conventionele windturbine. Dit kan zowel in het voordeel als het nadeel werken voor de WindWall. Dit type turbine kan slim gebruik maken van de bestaande bepalingen en zodoende makkelijk geplaatst worden. Echter, omdat het hier om een onbekend apparaat gaat, zullen bestuurders meer huiverig zijn om hun goedkeuring aan plaatsing te geven. Men moet dan vooral denken aan de (nog) onbekende effecten op de bepaalde verkeersveiligheidsaspecten zoals afleiding.

De WindWall turbine scoort goed op alle punten van de Vijfde Nota over de ruimtelijke ordening. De WindWall turbines zijn goed aan te passen aan de lijnen van het landschap. Mits de turbines voldoen aan de veiligheidseisen zijn deze goed inzetbaar langs spoor en weg. Wel moet hierbij aangetekend worden dat plaatsing langs een Noord - Zuid of Noordwest - Zuidoost lijn vele malen effectiever is dan plaatsing langs een Oost - West lijn. In tegenstelling tot grote windturbines is de WindWall prima inzetbaar als individuele turbine langs industrieterreinen en agrarische bedrijven.

Voor de geluids- en veiligheidsnormen geldt dat er meer onderzoek nodig is voor dit type WindWall. Zowel de geluids- als veiligheidsaspecten moeten onderzocht worden door bijvoorbeeld ECN om beleidsmakers een handvat te geven waarop de WindWall beoordeeld kan worden. Het is echter noodzakelijk voor vergunning verlening door rijkswaterstaat of ProRail dat de WindWall aan de veiligheidseisen voldoet.

Een lastig punt voor de WindWall langs snelwegen is de obstakelvrije zone. Zoals het er nu naar uitziet is het de bedoeling om de WindWall zo dicht mogelijk langs infrastructuur te zetten, omdat daar de meeste ruimte is. Dit zou betekenen dat de WindWall constructie uitgerust moet worden met een starre geleideconstructie (bijvoorbeeld een vangrail), mits deze nog niet aanwezig is.

HOOFDSTUK 3 : FYSIEKE INPASSING

In dit hoofdstuk zal een opsomming gegeven worden van alle soorten infrastructuur en bijbehorende partijen, waar middelgrote WindWall turbines toegepast zouden kunnen worden. Infrastructuren die besproken worden zijn:

- snelwegen
- spoorbanen
- waterwegen
- industrieterreinen
- defensie terreinen

Samen met het windregiem op de verschillende locaties en het acceptatieniveau moet dit uiteindelijk leiden tot een totaal potentiaal voor middelgrote WindWall turbines in Nederland.

Bij de bepaling waar geschikte infrastructuur zich bevindt, is onder andere gebruik gemaakt van de site www.map24.nl. Deze site maakt gebruik van recente data verzorgd door Tele Atlas N.V., een van de grootste partijen in digitale plattegronden in Europa. Voor de spoorlijnen is een kaart gebruikt, die beschikbaar is gesteld door NS ProRail.

Met al de knelpunten uit het vorige hoofdstuk in het achterhoofd zijn de volgende filters voor de bepaling van het aantal geschikte kilometers infrastructuur opgesteld:

- Om de plaatsing de WindWall niet te proceduregevoelig te maken:
 - De WindWall mag niet boven de bestemmingshoogte komen
 - De WindWall mag niet vlak naast bewoonde gebieden komen
- De WindWall zal niet langs Belvédèregebieden geplaatst worden
- Er moet voldoende ruimte langs de infrastructuur zijn.
- Er mag geen uitgestrekt bos of andere grote obstakels ten zuidwesten van de WindWall liggen.

We gaan ervan uit dat de WindWall uiteindelijk aan de veiligheidsnorm voldoet gesteld door Rijkswaterstaat en ProRail. Deze filters zijn aan het grootste gedeelte van de geïnterviewden voorgelegd en stuitte op weinig tegenstand. Hoewel een aantal geïnterviewden het jammer vonden dat de WindWall niet langs bewoond gebied wordt toegepast in dit onderzoek, omdat ze daar graag een geschikte turbine zouden willen zien.

Of de WindWall een geschikte manier is om provincies te helpen bij het halen van de BLOW-doelstellingen zal blijken in de volgende paragrafen.

○ 3.1 Snelwegen in het buitengebied

In de Vijfde Nota over de ruimtelijke ordening wordt gepleit voor het plaatsen van windturbines langs bestaand infrastructuur. Snelwegen zijn van zichzelf al verstoringen in het landschap, een extra verstoring in dezelfde lijn is minder erg dan het aanbrengen van een geheel nieuwe (interview: Niek Roozen). Deze mening wordt door al de geïnterviewden gedeeld. Ook binnen het project Wegen naar de Toekomst van het ministerie van Verkeer en Waterstaat wordt er serieus gekeken naar de mogelijkheden van windenergie langs (snel)wegen.

De verdeling van het totaal aantal snelwegen in de Nederlandse provincies ziet er als volgt uit:

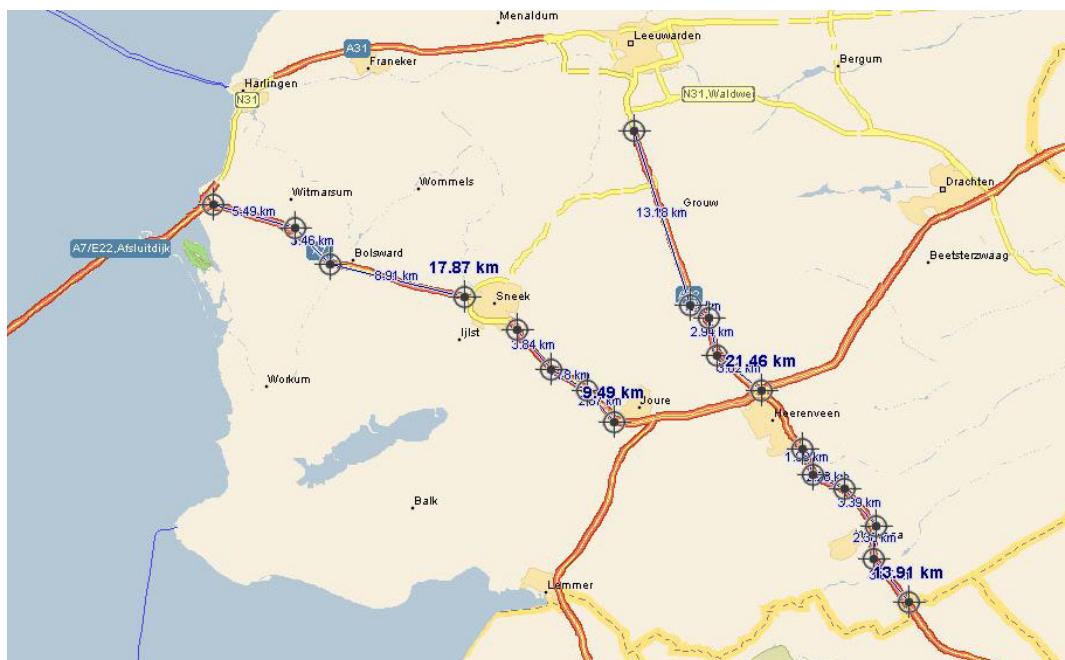
Provincie	Totale lengte snelwegen (km)
<i>Bron: map24.nl (mei '04)</i>	
Groningen	82
Friesland	167
Drenthe	105
Overijssel	108
Gelderland	410
Flevoland	87
Utrecht	159
Noord-Holland	238
Zuid-Holland	267
Zeeland	55
Noord-Brabant	412
Limburg	170
Totaal	2260

Nadeel van de WindWall turbine zelf is dat hij verreweg de grootste opbrengst heeft gericht op het westen of zuidwesten. Daarom is een opstelling langs een Noord - Zuid of nog liever Noordwest - Zuidoost verbinding een vereiste. In onderstaande tabel is per provincie aangegeven hoeveel kilometer snelweg er min of meer Noordwest – Zuidoost is. Kilometers direct langs steden of dorpen worden hiervan afgetrokken (filter 1). Wegen langs industrieterreinen zullen worden meegenomen onder het kopje industrieterreinen. Daarnaast is weergegeven hoeveel kilometer van deze snelwegen er door of vlak langs zgn. Belvédèregebieden loopt (filter 2). De Vijfde Nota ontmoedigt de bouw van windturbines in deze gebieden.

Passen we nu al deze filters toe op het totale aantal kilometers snelweg in Nederland, dan kan de volgende balans worden opgemaakt. Hierbij moet opgemerkt worden dat er ook nog mogelijkheden zijn om de WindWall dwars of schuin ten opzichte van de infrastructuur te plaatsen. Deze mogelijkheid is echter niet meegenomen in dit onderzoek.

Provincie	'Noordwest – Zuidoost' snelweg (km)	FILTER 1: Langs (dicht) bevolkt gebied (km)	FILTER 2: Door of vlak langs Belvédèregebied (km)	Over na filters (km)
<i>Bron: map24.nl</i>				
Groningen	18	5	0	13
Friesland	70	7	18	45
Drenthe	31	10	5	16
Overijssel	38	8	22	8
Gelderland	121	20	24	77
Flevoland	27	2	13	12
Utrecht	41	16	17	8
Noord-Holland	71	16	7	48
Zuid-Holland	54	30	2	22
Zeeland	7	0	0	7
Noord Brabant	134	21	60	53
Limburg	78	9	48	21
Totaal	690	144	216	330

Figuur 3.1 laat zien op welke manier bovenstaande tabel tot stand is gekomen, in dit geval voor de provincie Friesland. Er is gezocht naar snelwegen die min of meer Noordwest - Zuidoost lopen en de kilometers direct aan steden zijn niet meegerekend. Naast deze kaarten is de Belvédèregebieden kaart (zie appendix II) gelegd en is er gekeken welke stukken snelweg vlak langs of door een Belvédèregebied lopen.



Figuur 3.1 (bron: map24.nl, mei '04)

Vervolgens zijn er nog aannames gemaakt aangaande de hoeveelheid beschikbare ruimte langs snelwegen en of er grote bossen (of andere sterke wind afremmers) in het aanwaaigebied liggen. Hiertoe is een steekproef genomen langs een aantal snelwegen. Meer hierover in hoofdstuk 4.

○ 3.2 Spoorwegen

De trein is een milieuvriendelijk en energiezuinig alternatief voor vervoer per auto of vliegtuig. Toch is de NS ook een grootverbruiker van energie. Eind 1999 is met de Rijksoverheid afgesproken om uiterlijk in 2010 de energie-effectiviteit met 11% te verbeteren. Ten opzichte van het referentiejaar 1997 is de verbetering inmiddels opgelopen tot 11,2 %. Daarmee is de afspraak veel eerder nagekomen. NS blijft investeren in energiebesparende maatregelen, zowel bij de aanschaf van nieuwe treinen als bij revisie van bestaande. Met een verbruik van 37 miljoen kWh 'groene stroom' is NS een van de grootste gebruikers van duurzame energie in Nederland (bron: <http://www.ns.nl>, 2004).

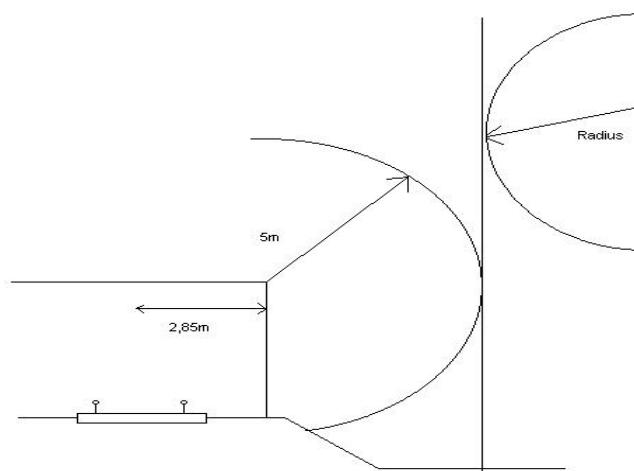
Uit interviews met NS Vastgoed en ProRail bleek dat het nieuwe bestuur van de NS minder energie stopt in het groene imago van de NS. Echter als er op een goede manier duurzame energie geproduceerd kan worden op grond van NS Vastgoed of ProRail, zijn deze instanties zeker bereid daaraan hun medewerking te verlenen.

Net zoals bij de snelwegen is er eerst een inventaris gemaakt van alle spoorlijnen in Nederland. Hiervoor is gebruik gemaakt van een spoorkaart gemaakt door NS Geodesie & infradata.

Provincie	Totale lengte spoorbanen (km)
<i>Bron: NS Geodesie & Infradata</i>	
Groningen	162
Friesland	159
Drenthe	103
Overijssel	298
Gelderland	406
Flevoland	39
Utrecht	178
Noord-Holland	308
Zuid-Holland	306
Zeeland	83
Noord-Brabant	389
Limburg	232
Totaal	2663

De grond langs het spoor is in handen van drie partijen. Alle grond op een afstand van 7 meter of minder vanaf het midden van de spoorrails is in het beheer van ProRail. Grote stukken daarbuiten zijn in handen van of NS Vastgoed of particuliere organisaties. Voor dit onderzoek is zowel gesproken met een vertegenwoordiger van ProRail als NS Vastgoed. De regels voor het plaatsen van windturbines langs het spoor zijn kort gezegd als volgt:

- Alles wat gebouwd wordt binnen 11 meter van het spoor heeft een vergunning en/of ontheffing nodig van ProRail.
- ProRail wil geen mechanische onderdelen boven de hoogte van hoogspanningskabels op een afstand van een halve rotordiameter.
- De absolute minimale afstand bedraagt 7,85 meter, zie figuur 3.2, *Bron: interview Piet de Joode, ProRail*



Figuur 3.2, minimale afstand tot het midden van het spoor is gelijk aan 7,85m + rotorradius
Bron: interview Piet de Joode, ProRail

Wederom is er een aantal filters toegepast. Filter 1 laat de hoeveelheid goed georiënteerde spoorwegen zien. Vervolgens wordt daar een aantal kilometers langs natuurgebieden en woongebieden afgetrokken.

Provincie	'Noordwest – Zuidoost' spoorweg (km)	FILTER 1: Waarvan ... door of vlak langs Belvédèregebied (km)	FILTER 2: Langs bewoond gebied (km)	Over na filters (km)
Groningen	48	15	5	28
Friesland	53	8	8	37
Drenthe	28	17	3	8
Overijssel	117	41	15	61
Gelderland	126	13	30	83
Flevoland	4	0	3	1
Utrecht	66	14	19	33
Noord-Holland	114	16	32	66
Zuid-Holland	84	15	23	46
Zeeland	28	8	8	12
Noord Brabant	141	83	8	50
Limburg	69	42	6	21
Totaal	878	272	160	446

Er blijft dus na drie filters nog 446 km spoorlijn in Nederland over waar de WindWall geplaatst zou kunnen worden. Vervolgens moeten er nog aannames ten aanzien van ruimte en bos gemaakt worden.

○ 3.3 Industrierterreinen en wegen daarlangs

Uit de verschillende interviews bleek dat de ondervraagden de kans op plaatsing het grootst achtten in of langs industrierterreinen. Daarom is een inventaris gemaakt per provincie hoeveel kilometer WindWall geplaatst zou kunnen worden aan de (zuid)westrand van industrierterreinen. Ook worden (snel)wegen meegenomen die door industrierterreinen lopen en een Noordwest – Zuidoost karakter hebben. Scheidslijnen tussen woongebied en industriegebied zijn niet meegenomen. Gedeeltes langs water en havengebieden zullen worden meegenomen in de paragraaf waterwegen. Voor het vinden van de juiste locaties is opnieuw gebruik gemaakt van de website map24.nl.

Provincie	'Noordwest – Zuidoost' ruimte langs industrierrein (km)	FILTER 1: Waarvan ... door of vlak langs Belvédèregebied (km)	Over na filters (km)
Groningen	15	2	13
Friesland	32	14	18
Drenthe	24	1	23
Overijssel	46	10	36
Gelderland	30	8	22
Flevoland	17	3	14
Utrecht	38	2	36
Noord-Holland	50	4	46
Zuid-Holland	33	6	27
Zeeland	23	3	20
Noord Brabant	77	5	72
Limburg	60	10	50
Totaal	445	68	377

○ 3.4 Waterwegen en havens

In deze paragraaf wordt het plaatsingspotentieel voor havengebieden en langs kanalen besproken. Er is bij havengebieden voor gekozen om alleen de stukken land te nemen waarbij de wind vrije aanvoer heeft over een wateroppervlak vanuit zuidwestelijke richting. Voor dit onderdeel is gebruik gemaakt van de kaart Water: aanleg van waterwegen voorafwatering en scheepvaart. Bron: <http://avn.geog.uu.nl/> . Zie voor kaart ook appendix II. Onderstaande tabel geeft het aantal kilometers waterwegen en havens met de juiste oriëntatie die niet direct langs bewoond gebied liggen.

Provincie	'Noordwest – Zuidoost' ruimte langs waterwegen en (km)	'Noordwest – Zuidoost' ruimte langs havens (km)	FILTER 1: Waarvan ... door of vlak langs Belvédèregebied (km) waterweg / haven	Over na filters (km)
Groningen	69	7	12 / 3	61
Friesland	102	8	27 / 3	80
Drenthe	105	1	18 / 1	87
Overijssel	81	0	18 / 0	63
Gelderland	117	0	12 / 0	105
Flevoland	36	0	18 / 0	18
Utrecht	69	0	15 / 0	54
Noord-Holland	93	30	18 / 0	105
Zuid-Holland	57	81	12 / 0	126
Zeeland	30	14	6 / 0	38
Noord Brabant	174	4	24 / 0	154
Limburg	93	0	60 / 0	33
Totaal	1026	145	240 / 7	924

De globale eisen die rijkswaterstaat stelt aan de plaatsing van windturbines langs vaarwegen is 50 meter uit de vaarweg. Deze eisen zijn niet 'hard' en zijn gebaseerd op conventionele turbines. Er geldt dat technische ontwikkelingen ertoe kunnen leiden dat plaatsing wordt toegestaan waar dat voorheen niet mogelijk was (Vos, 2003).

Speciale aandacht gaat uit naar de 81 kilometer ruimte langs havens in Zuid-Holland. Dit is uiteraard in de haven van Rotterdam. Deze haven lijkt uitermate geschikt voor de plaatsing van WindWall turbines. Er is veel goedgeoriënteerde ruimte en het heeft een goed windregiem, met veel aanvoer over water en hoge gemiddelde windsnelheden.

Opnieuw is er een schatting gemaakt van het aantal kilometers waar daadwerkelijk ruimte voor de WindWall is en de wind niet te erg gehinderd wordt. Zie volgende hoofdstuk.

○ 3.5 Defensieterreinen

De twee doelstellingen van het ministerie van defensie die met windenergie te maken hebben zijn:

1. Eind 2008 wordt 75% van het elektriciteitsverbruik van Defensie duurzaam opgewekt.
2. Defensie werkt mee aan de plaatsing van 20 MW aan windturbines op defensieterreinen voor 2010.

Bron: Defensie milieubeleidsnota 2004

In de praktijk betekent dit niet dat defensie 75% van het elektriciteitsverbruik *zelf* duurzaam zal opwekken, maar dat er meer groene stroom zal worden ingekocht. Het tweede punt komt voort uit de afspraken gemaakt in BLOW. Er zijn op dit moment (gevorderde) plannen om 2 parken te bouwen nabij Eindhoven en Coevorden. Deze parken samen zouden de afgesproken 20 MW al halen.

Toch zou defensie alsnog wel geïnteresseerd kunnen zijn in het plaatsen van Wind(Wall) turbines. Uit een interview met Jeroen Rottink, beleidsmedewerker milieu bij de landmacht, bleek dat defensie duurzame energie graag gebruikt om haar imago wat op te vijzelen. Echter de landmacht, zoals alle defensieonderdelen, heeft te maken met teruglopende budgetten en duurzame energie is geen core-business. Daarom is het wel van belang dat projecten een redelijke terug verdien tijd hebben. Defensie houdt een terugverdientijd van 7 a 8 jaar aan (bron: Jeroen Rottink).

Met behulp van de potentieelstudie windenergie van de koninklijke landmacht (aug, 2000) is er een schatting gemaakt van de hoeveelheid ruimte langs defensie terreinen. De informatie in dit document is vertrouwelijk en kan dus niet openbaar worden gemaakt in dit rapport. Ook moet wel bij vermeld worden dat informatie uit dit rapport gedateerd kan zijn.

De plaatsing van windturbines langs defensieterreinen is niet eenvoudig. Veel terreinen bevinden zich naast of nabij woningen of woonkernen. Hier zou een klein type WindWall voor boven op daken een betere optie zijn. Andere terreinen liggen juist weer in natuurgebieden of laagvlieggebieden. De terreinen bevinden zich in de provincies Limburg, Noord-Brabant, Zuid-Holland, Noord-Holland, Utrecht en Gelderland. De getallen die hieronder genoemd worden houden al rekening met ruimtegebrek door huizen, natuurgebieden en de juiste oriëntatie.

Provincie	ALLE FILTERS: 'Noordwest – Zuidoost' ruimte langs defensieterreinen (km)	
Groningen		0
Friesland		0
Drenthe		0
Overijssel		0
Gelderland		16
Flevoland		0
Utrecht		2
Noord-Holland		1
Zuid-Holland		0
Zeeland		0
Noord-Brabant		9
Limburg		2
Totaal		30

○ 3.6 Samenvattend

Kijken we naar de technische waarde⁸ van het totaal aantal kilometers dan blijkt er in Nederland ruim 2100 km te zijn (zie onderstaande tabel). Dat zou overeen komen met een kleine 3000 MW. In het volgende hoofdstuk zal een aantal aannames worden gemaakt om tot een realistischer getal te komen.

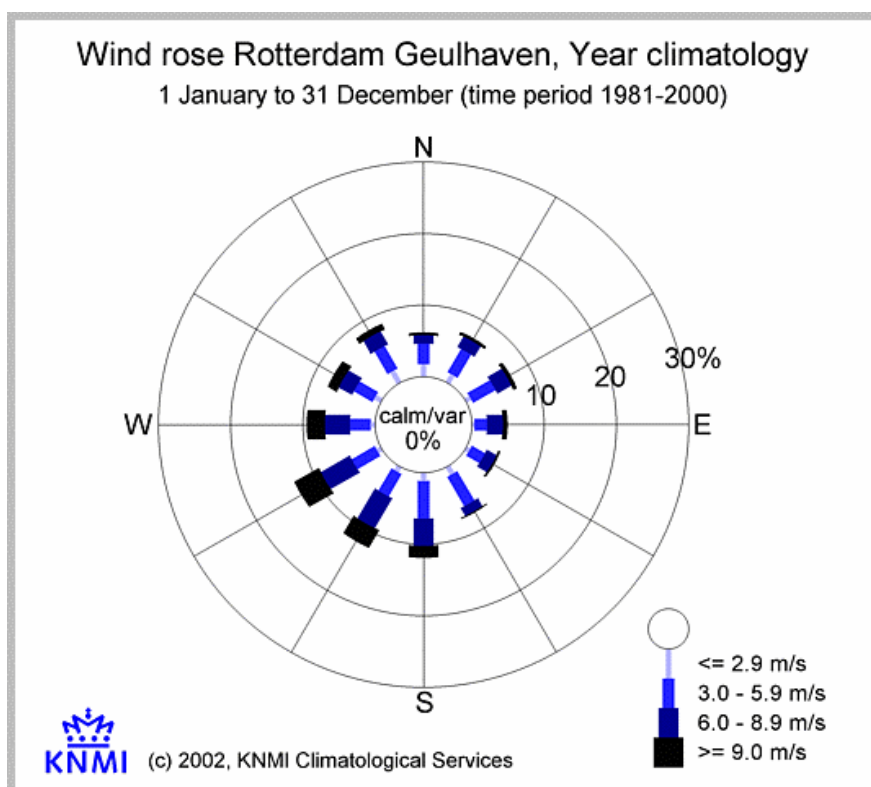
Provincie	Snelweg (km)	Spoorweg (km)	Waterweg (km)	Industrie (km)	Militair (km)	TOTAAL
Groningen	13	28	61	13	0	115
Friesland	45	37	80	18	0	180
Drenthe	16	8	87	23	0	134
Overijssel	8	61	63	36	0	168
Gelderland	77	83	105	22	16	303
Flevoland	12	1	18	14	0	45
Utrecht	8	33	54	36	2	133
Noord-Holland	48	66	105	46	1	266
Zuid-Holland	22	46	126	27	0	221
Zeeland	7	12	38	20	0	77
Noord-Brabant	53	50	154	72	9	338
Limburg	21	21	33	50	2	127
Totaal	330	446	924	377	30	2107

⁸ Hiermee wordt bedoeld: het aantal kilometers zonder aannames over ruimtegebrek door bos en acceptatieniveaus

HOOFDSTUK 4 : OPBRENGSTEN

○ 4.1 Wind in Nederland

De belangrijkste factor voor de hoeveelheid, door de WindWall geproduceerde, energie is de gemiddelde windsnelheid op de locatie van de windturbine. Het KNMI heeft in het HYDRA project een onderzoek gedaan naar het wind klimaat in Nederland (<http://www.knmi.nl/samenw/hydra/>). Voor 28 plaatsen in Nederland is de jaargemiddelde windrichting en windsterkte uitgerekend. Figuur 4.1 laat de windroos zien voor de Rotterdamse haven.



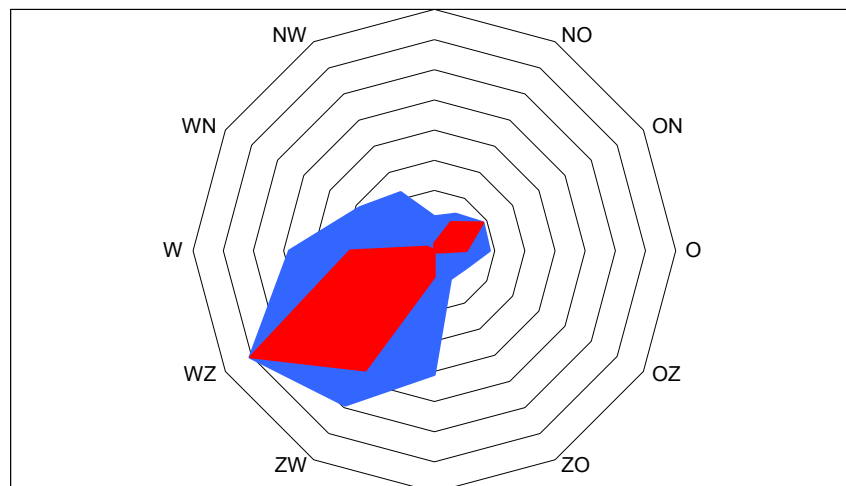
figuur 4.1 (bron: <http://www.knmi.nl/samenw/hydra/>)

Het is duidelijk dat het de meeste wind uit het zuidwesten komt. Dit geldt niet alleen voor Rotterdam, maar voor alle plaatsen in Nederland.

De hoeveelheid energie die in de wind zit hangt van de windsnelheid tot de derde macht af. Hiermee moet echter wel opgepast worden, zo lijkt er heel veel energie te zitten in hoge windsnelheden, echter een windturbine gaat bij hoge snelheden nauwelijks meer opbrengen. Dit is te zien in power curve van de WindWall (figuur 1.5). Deze figuur geeft de opbrengst van een WindWall systeem zien per windsnelheid op 10 meter hoogte.

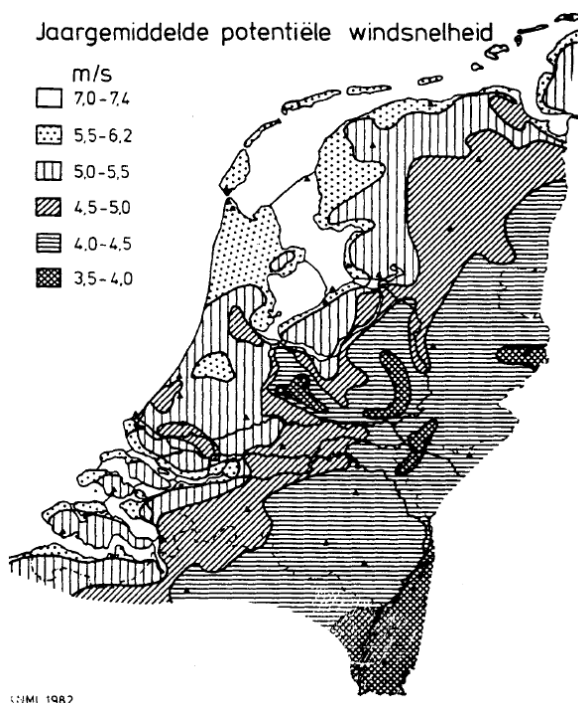
Maken we een plaatje waarin de *bruikbare* hoeveelheid energie per windrichting staat uitgezet, dan blijkt dit plaatje behoorlijk te verschillen met de windroos hierboven. Met de bruikbare energie wordt bedoeld dat gedeelte van de energie in de wind die dan ook daadwerkelijk omgezet kan worden in energie. Te zien is in figuur 1.5 dat niet er nauwelijks verschil in energieopbrengst is bij een windsnelheid van 20 of 23 m/s, terwijl de energie die in de wind zit wel aanzienlijk hoger is.

Het blauwe vlak geeft de hoeveelheid bruikbare energie per windrichting aan. Omdat de horizontale WindWall niet kan meedraaien met de wind kan lang niet alle energie ook daadwerkelijk worden opgevangen. Het rode vlak geeft aan welk percentage een horizontale WindWall turbine hiervan zou kunnen gebruiken. In dit geval is de WindWall pal op het zuidwesten geplaatst.



figuur 4.2 (bron: WindWall B.V.)

Voor grootschalige toepassing van de WindWall in het vrije veld is het van groot belang dat er voldoende wind aanwezig is. Figuur 4.3 laat de potentiële windsnelheid voor Nederland zien (bron: KNMI). Onder potentiële wind verstaat men de wind die er zou waaien op 10m hoogte als ter plaatse de windmeter op een groot open terrein zou staan. Dit is overeenkomstig een ruwheidslengte van $z_0=0.03\text{m}$ (de Wit, 2001).



figuur 4.3 (bron: de Wit, 2001)

Er is een aantal factoren die van belang zijn voor het verkrijgen van een hoge windsnelheid:

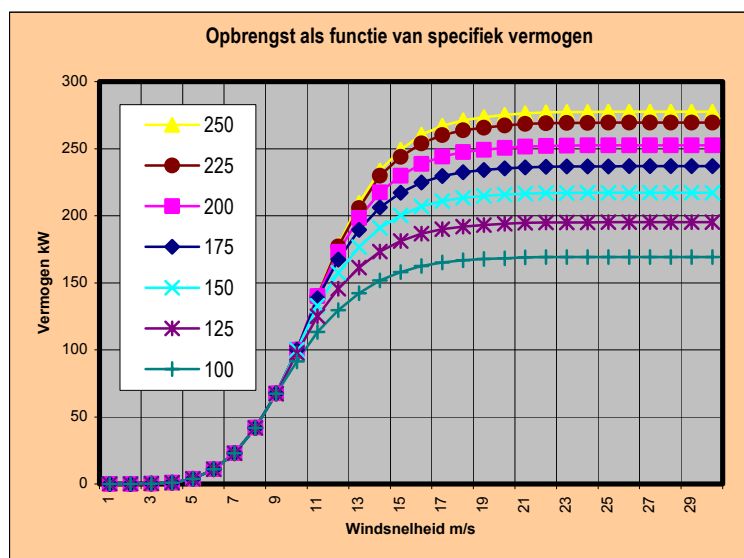
- Zo kaal mogelijk landschap (zo laag mogelijke ruwheid, $z_0 \leq 0.03$).
- Zo hoog mogelijke turbinemast.
- De windturbine zo mogelijk iets boven verhogingen in het landschap plaatsen. Bij voorkeur een gladde heuvel met een niet te steile maar zeker niet te platte aanloop. De beste hoek is 16 graden (29 m stijgen bij 100 m lengte), maar alles tussen 6 en 27 is goed. De windsnelheid neemt makkelijk met 10 tot 20% toe (Lysen, 1983).
- Zo mogelijk gebruik maken van natuurlijke "canyons" in landschapsglooiingen.

(bron, interview: Sander Mertens, TU-Delft)

Met de meeste factoren kan bij plaatsing wel rekening worden gehouden, echter aan een zo hoog mogelijke turbinemast niet. Hiervoor probeert de WindWall te voldoen aan de hoogte die opgenomen is in het bestemmingsplan van de desbetreffende locatie.

○ 4.2 Consequenties voor middelgrote WindWall turbines

De opbrengst van de WindWall is voor het grootste deel afhankelijk van het windaanbod. Het is dan meteen duidelijk dat de grootste kansen voor windturbines liggen in de provincies met het grootste windaanbod. Echter in de BLOW doelstellingen is het te halen doel over alle 12 de provincies verdeeld. En alle 12 de provincies zullen dus aan de slag moeten om deze doelstellingen te halen. Behalve Flevoland, deze provincie is al ruimschoots over haar doelstelling heen. De geïnvesteerde euro per opgebrachte kWh verschilt echter behoorlijk per provincie. Wat de verwachte opbrengsten en investering per provincie per soort infrastructuur zal zijn wordt in de volgende paragrafen besproken. In dit hoofdstuk worden de te verwachte opbrengsten van de WindWall turbine besproken. De gemiddelde opbrengst van een windturbine hangt af van het windregime van de plek waar de turbine staat en de 'power curve' van de turbine zelf (zie figuur 4.4). Alleen kijken naar de gemiddelde windsnelheid is niet genoeg. WindWall B.V. heeft op een aantal verschillende plekken in Nederland de gemiddelde jaaropbrengsten uitgerekend. Voor verdere berekeningen in dit rapport worden de gegevens uit onderstaande tabellen gebruikt.



figuur: 4.4 bron: WindWall B.V.

Provincie	Locatie	Opbrengst WindWall per strekkende meter (kWh / m / jaar)
Bron: WindWall B.V.		
Groningen	Eelde	1470
Friesland	Leeuwarden	1610
Drenthe	Zwolle en Hoogeveen	1190
Overijssel	Twente	1040
Gelderland	Deelen	1360
Flevoland	Lelystad	1430
Utrecht	De Bilt	1670
Noord-Holland	Schiphol en De Kooy	2015
Zuid-Holland	Hoek van Holland en Rotterdam	2100
Zeeland	Vlissingen	1790
Noord Brabant	Eindhoven	1500
Limburg	Beek	960

Voor provincies met 2 plaatsen in bovenstaande tabel geldt dat de gemiddelde opbrengst is genomen.

○ 4.3 Aannames bij de bepaling van de uiteindelijke opbrengsten

In het vorige hoofdstuk is berekend wat het technisch potentieel zou kunnen zijn als er geen rekening wordt gehouden met ruimtegebrek, acceptatieniveaus en de hoeveelheid bossen. In de volgende paragrafen wordt hiermee wel rekening gehouden. Er zullen voor ieder soort infrastructuur drie scenario's worden berekend. Een optimistische, een realistische en een pessimistische.

Voor de aannames voor het ruimtegebrek zijn er steekproeven gedaan langs de verschillende soorten infrastructuur. De factoren voor de acceptatie komen voort uit de verschillende interviews die zijn afgenomen. Aan alle geïnterviewden is gevraagd waar hun voorkeur naar uit ging. Hieruit bleek een voorkeur te bestaan voor industriegebieden en de meeste twijfels over de plaatsing langs snelwegen. Vergeleken met andere studies lijken deze waarden erg hoog, maar deze waarden zullen later nog vermenigvuldigd worden met een provinciale acceptatiegraag en andere factoren, waarna er vergelijkbare waarden uitkomen.

Acceptatie	
Snelwegen	0.5
Spoorlijnen	0.7
Waterwegen	0.8
Industrieterreinen	0.9
Defensierterreinen	0.8

Het gebruikte acceptatieniveau houdt rekening met de verschillen in acceptatie van de provincies. Deze getallen komen voort uit alle 'plan van aanpak: windenergie' documenten van de verschillende provincies en uit interviews met provincie en gemeenten. Bij het bepalen van deze factoren was belangrijk of een provincie liever geen kleine windturbines heeft, zoals de provincie Drenthe, wat hun voorkeursgebieden waren en hun acceptatie ten opzichte van solitaire windturbines. Dit alles is meegenomen in de acceptatie van WindWall turbines door provincies. De acceptatie van bijvoorbeeld de provincie Groningen voor WindWall turbines langs snelweg komt daarmee op $0.6 * 0.5 = 30\%$.

Als laatste gaat er ook nog een percentage verloren omdat de potentiële locaties erg bosrijk zouden kunnen zijn, dit levert naast een groot ruimtegebrek ook lagere windsnelheden op en dus een lagere opbrengst van een WindWall in kWh/jaar. Hiervoor zijn 2 kaarten geraadpleegd, waar het percentage loofbos en naaldbos op staan aangegeven, zie appendix II (bron: <http://avn.geog.uu.nl/>). Ook is er in de provincie Utrecht een aantal steekproeven gedaan en aan de hand daarvan zijn de volgende factoren opgesteld. Tijdens de steekproef bleken er drie soorten gebied te zijn. Bosrijk, half bebost en bosarm. Provincies zijn daarop ingedeeld, bosrijke provincies hebben een factor 0.3 gekregen, half beboste een factor 0.5 en bosarme 0.8. Deze getallen komen overeen met de waardes die gevonden zijn in de steekproef.

Provincie	Acceptatie provinciaal beleid	Bosfactor
Groningen	0.6	0.8
Friesland	0.6	0.8
Drenthe	0.5	0.5
Overijssel	0.5	0.5
Gelderland	0.5	0.3
Flevoland	0.5	0.5
Utrecht	0.5	0.5
Noord-Holland	0.8	0.8
Zuid-Holland	0.7	0.8
Zeeland	0.5	0.8
Noord Brabant	0.5	0.3
Limburg	0.5	0.3

Deze twee tabellen samen vormen de onderstaande penetratiematrix voor de WindWall turbine per provincie per soort infrastructuur. De factor Snelweg in Groningen is dus opgebouwd uit de snelweg factor (0.5), de acceptatiegraad in Groningen (0.6) en de bosfactor (0.8). Deze factoren met elkaar vermenigvuldigd maakt 0.24. Onderstaande marktpenetratiematrix is ook voorgelegd aan Harry Versluis van DLV bouw en hij vond de gepresenteerde waardes realistisch.

	Snelweg	Spoorweg	Water	Industrie	Defensie
Groningen	0.24	0.34	0.38	0.43	0.38
Friesland	0.24	0.34	0.38	0.43	0.38
Drenthe	0.13	0.18	0.20	0.23	0.20
Overijssel	0.13	0.18	0.20	0.23	0.20
Gelderland	0.08	0.11	0.12	0.14	0.12
Flevoland	0.13	0.18	0.20	0.23	0.20
Utrecht	0.13	0.18	0.20	0.23	0.20
Noord-Holland	0.32	0.45	0.51	0.58	0.51
Zuid-Holland	0.28	0.39	0.45	0.50	0.45
Zeeland	0.20	0.28	0.32	0.36	0.32
Noord Brabant	0.08	0.11	0.12	0.14	0.12
Limburg	0.08	0.11	0.12	0.14	0.12

Hieruit blijkt dat de minste kans voor een WindWall bestaat langs snelweg in Limburg of Noord Brabant en de meeste kans wordt toebedeeld aan industriegebieden in Noord Holland. Echter mochten de eerste installaties (bijvoorbeeld in Noord Holland) een succes zijn, dan zouden de percentages in andere provincies wel eens flink omhoog kunnen gaan.

○ 4.4 Snelwegen

Technisch gezien is er, volgens de tabel in paragraaf 3.2, 690 km snelweg in het buitengebied goed georiënteerd voor WindWall turbines. Aangenomen dat turbines niet langs Belvédèregebieden en bewoond gebied geplaatst worden komen we uit op 330 km. Het vermogen van een 8 meter diameter WindWall is ongeveer 1.4 kW/m (kW per strekkende meter). Voor de totale hoeveelheid Noordwest - Zuidoost gesitueerde snelweg is dat grofweg 460.000 kW, oftewel 460 MW. Echter dit is het technisch potentieel.

Nu zullen er d.m.v. drie scenario's schattingen worden gemaakt voor het daadwerkelijke potentieel. In dit gedeelte wordt rekening gehouden met een aantal andere zaken die een rol kunnen spelen bij de hoeveelheid geschikte ruimte langs snelwegen. Soms is er gewoonweg geen plek langs een snelweg om iets neer te zetten, of zijn bestuurders tegen windturbines in het algemeen, of neemt de gemiddelde windsnelheid te veel af door obstakels langs de infrastructuur. In onderstaande tabellen is de marktpenetratiematrix per provincie vermenigvuldigd met het technisch potentieel. Alle provinciale waarden zijn bij elkaar opgeteld en geven uiteindelijk onderstaand resultaat (de realistische variant).

Er zal worden uitgegaan van een pessimistische, een realistische en een optimistische schatting. De eerste en laatste zijn respectievelijk 80 en 120% van de realistische schatting.

Scenario	Te realiseren vermogen snelwegen Geheel Nederland (MW)
Pessimistisch	60
Realistisch	75
Optimistisch	90

Vervolgens wordt er gekeken naar de gemiddelde jaaropbrengst van de WindWall. Volgens schattingen gemaakt door WindWall B.V. levert de WindWall ongeveer 2125 kWh/j/m (kWh/jaar/strekkende meter) op als deze geplaatst wordt in de haven van Rotterdam op 15 meter hoogte. Dit getal daalt aanzienlijk als de WindWall geplaatst wordt in een minder windrijk gebied. Zo levert een zelfde installatie in Zwolle ongeveer de helft aan kWh/jaar op (1057 kWh/j/m). Voor onderstaande berekeningen is de tabel van pagina 26 gebruikt.

Scenario	Te verwachten opbrengst snelwegen Geheel Nederland (MWh / jaar)
Pessimistisch	72.700
Realistisch	90.900
Optimistisch	109.000

○ 4.5 Spoorwegen

Langs een aantal spoortrajecten (Haarlem – Utrecht, Utrecht – Groningen, Utrecht - Den Helder) is een steekproef gehouden om te bepalen hoeveel ruimte er nu werkelijk is om WindWalls te plaatsen. Grofweg blijkt er in de gebieden buiten de bebouwde kom en buiten natuurgebieden ongeveer in 50% van de gevallen plek voor een WindWall turbine. Er is vervolgens gecorrigeerd voor de verschillende bebossing per provincie. Onderstaande tabellen geven wederom de verschillende scenario's voor vermogen en opbrengst.

Scenario	Te realiseren vermogen (MW)
Pessimistisch	120
Realistisch	150
Optimistisch	180

Scenario	Te verwachten opbrengst spoorwegen Geheel Nederland (MWh / jaar)
Pessimistisch	145.300
Realistisch	181.700
Optimistisch	219.000

○ 4.6 Industrierterreinen en wegen daarlangs

Wederom geldt dat het vermogen 1.4 kW/m (kilowatt per strekkende meter) bedraagt. Met, technisch gezien, ongeveer 377 km ruimte langs industrierterreinen is dit type infrastructuur een goede mogelijkheid voor de WindWall. Na toepassing van de acceptatie en bosfilters kan hier een totaal vermogen van grofweg 150 MW gerealiseerd worden.

Scenario	Te realiseren vermogen (MW)
Pessimistisch	117
Realistisch	147
Optimistisch	176

Scenario	Te verwachten opbrengst industrierterreinen Geheel Nederland (MWh / jaar)
Pessimistisch	123.200
Realistisch	154.000
Optimistisch	184.800

○ 4.7 Waterwegen en havens

In hoofdstuk 3 bleek dat er ruim 900 km technische ruimte te zijn langs waterwegen en havens. In praktijk wordt er nog niet veel gewerkt met windturbines langs waterwegen, maar er liggen wel degelijk grote mogelijkheden. Na toepassing van het bos en acceptatie filter blijkt er ruimte te zijn voor ruim 350 MW.

Scenario	Te realiseren vermogen langs waterwegen en havens (MW)
Pessimistisch	283
Realistisch	354
Optimistisch	425

Scenario	Te verwachten opbrengst waterwegen Geheel Nederland (MWh / jaar)
Pessimistisch	350.300
Realistisch	437.900
Optimistisch	525.500

○ 4.8 Defensierterreinen

De geschikte ruimte langs defensierterreinen bleek erg klein. Defensierterreinen liggen vaak in natuurgebieden of midden in de bebouwde kom. Daarom blijkt er slechts 38 MW haalbaar.

Scenario	Te realiseren vermogen (MW)
Pessimistisch	30
Realistisch	38
Optimistisch	45

Scenario	Te verwachten opbrengst defensierterreinen Geheel Nederland (MWh / jaar)
Pessimistisch	27.200
Realistisch	34.000
Optimistisch	40.800

○ 4.9 Samenvattend

Alle gegevens van hoofdstuk vier worden in onderstaande tabel schematisch weergegeven.

Infrastructuur	Snelwegen		Spoorwegen		Industrie		Waterwegen		Defensie		TOTAAL	
Provincie	MW	MWh/j	MW	MWh/j	MW	MWh/j	MW	MWh/j	MW	MWh/j	MW	MWh/j
Groningen	4.4	4586	13.2	13830	7.9	7338	32.8	34433	0	0	58	60187
Friesland	15.1	17388	17.4	20016	10.9	11128	43.0	49459	0	0	86	97991
Drenthe	2.8	2380	2.0	1666	7.2	5474	24.4	20706	0	0	36	30226
Overijssel	1.4	1040	14.9	11102	11.3	7488	17.6	13104	0	0	45	32734
Gelderland	8.1	7854	12.2	11852	4.2	3590	17.6	17136	20.2	17408	62	57841
Flevoland	2.1	2145	0.2	250	4.4	4004	5.0	5148	0	0	12	11547
Utrecht	1.4	1670	8.1	9644	11.3	12024	15.1	18036	2.5	2672	38	44046
Noord-Holland	21.5	30874	41.4	59432	37.1	47340	75.3	108058	1.3	1608	177	247310
Zuid-Holland	8.6	12936	25.2	37867	19.1	25402	79.0	118541	0	0	132	194746
Zeeland	2.0	2506	4.7	6014	10.1	11456	17.0	21766	0	0	34	41743
Noord Brabant	5.6	5963	7.4	7875	13.6	12960	25.9	27720	11.3	10800	64	65318
Limburg	2.2	1512	3.1	2117	9.5	5760	5.5	3802	2.5	1536	23	14726
Totaal	75	90854	150	181665	147	153964	358	437909	38	34024	768	898416

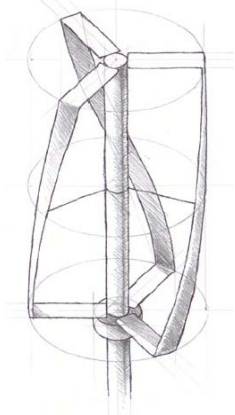
Er is dus een totaal potentieel van **768 MW** voor dit type WindWall-turbine in Nederland, en dit kan ongeveer **900 GWh** per jaar opleveren.

○ 4.10 Een korte vergelijking

Hoewel dit type WindWall moeilijk te vergelijken is met andere typen windturbines kan het toch verhelderend werken als er een kleine vergelijking gemaakt worden met 2 andere typen windturbines. In deze paragraaf zal de WindWall turbine met een conventionele NegMicon 1,5 MW windturbine vergeleken worden en met de Turby. De Turby is een kleine windturbine die zijn toepassing boven op daken kent. Gegevens over deze turbines komen van www.windpower.org en Vermeer, 2003. Grofweg komen hier de volgende gegevens naar voren:

Type	Kosten €	Opbrengst in kWh / jaar	Opbrengst in kWh / jaar / m ² aërodynamisch oppervlak	€ / kWh tot	Terugverdientijd In jaren Bij stroomprijs van € 0.06 / 0.10 / 0.17
1 Neg Micon 1500	1.600.000	4.000.000	1000	0.027	6.7 / 4.0 / 2.4
8 WindWalls 8000	179.000	275.000	265	0.044	10.8 / 6.5 / 3.8
huidige prijs	360.000	275.000	265	0.089	21.8 / 13.1 / 7.6
1 Turby	5.700	4.000	230	0.095	23.8 / 14.3 / 8.3
huidige prijs	11.500	4.000	230	0.192	47.9 / 28.7 / 16.8

Bij deze analyse is uit gegaan van een economische levensduur van 15 jaar. De NegMicon en WindWall turbine zijn in een windrijke omgeving gezet, respectievelijk Texel en Rotterdam. De NegMicon heeft een ashoogte van 60 meter hoogte en de WindWall 15 meter. De Turby is op een 20 meter hoog gebouw geplaatst in het centrum van Utrecht (alleen van deze locatie waren gegevens beschikbaar). De auteur is zich ervan bewust dat dit geen eerlijke vergelijking is, echter een bestuurder heeft vaak de keuze uit verschillende opties om 'iets' aan wind energie te doen in zijn of haar omgeving. De bestuurder dient zich er echter van bewust te zijn wat de verschillen in grootte en opbrengst ongeveer zijn. Zo blijkt er grofweg twee kilometer aan WindWall nodig te zijn, om dezelfde hoeveelheid energie op te wekken als één Neg Micon 1500. De stroomprijzen zijn als volgt: Als de WindWall alleen gebruikt wordt om in de eigen stroomvoorziening te voorzien dan spaart men ongeveer € 0.17 / kWh uit (bron: www.nuon.nl). Gebruikt men de WindWall om elektriciteit te leveren aan het net, dan kan men rekenen op een vergoeding van ongeveer € 0.06 / kWh. Mocht de MEP subsidie nog worden toegevoegd dan kan gerekend worden op ongeveer € 0.10 / kWh (bron: www.nuon.nl). Mocht de WindWall in een minder windrijke omgeving geplaatst worden (zoals Limburg) dan kunnen de terugverdientijden toenemen met een factor 2. De opbrengsten van de WindWall verschillen ook als er meer of minder segmenten aan elkaar gekoppeld worden. Zie figuur 4.4.



De Turby, bron (Vermeer, 2003)



De 'conventionele' NegMicon turbine

HOOFDSTUK 5 : CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In dit hoofdstuk zal antwoord gegeven worden op de hoofd- en deelvragen van dit onderzoek. Ter herinnering hier de deelvragen nogmaals:

1. Bestaat er een bestuurlijke grenslaag⁹ waarbinnen middelgrote WindWall-turbines grote juridische en/of landschappelijke voordelen hebben ten opzichte van conventionele turbines? Zo ja, hoe ziet deze grenslaag eruit en met welke wet- en regelgeving op landelijk, provinciaal en gemeentelijk niveau dient rekening te worden gehouden?
2. Wat zijn de ruimtelijke mogelijkheden voor grootschalige toepassing van middelgrote WindWall turbines? Op wat voor soort plaatsen, of langs welke (bestaande) infrastructuur kunnen middelgrote windturbines het beste geplaatst worden?
3. Wat is het *technisch*¹⁰ potentieel (in MW en kWh) voor middelgrote WindWall-turbines? Hierbij wordt zowel gekeken naar aanbod van wind (lees: energie) als de hoeveelheid beschikbare infrastructuur. Ook worden de opbrengsten in kWh/jaar bekeken

Met behulp van deze vragen is getracht een antwoord te geven op de vraag wat het daadwerkelijke potentieel voor WindWall turbines langs infrastructuur in Nederland is.

Bij de plaatsing van windturbines in Nederland is men gebonden aan de regels gesteld door de provincie en gemeente. Het rijk stelt richtlijnen op die door provincies en gemeenten worden ingevuld. Sommige provincies, zoals Groningen, hebben een provinciaal omgevingsplan waarin duidelijk staat waar grootschalige windenergie projecten nog mogen worden gestart of uitgebreid. Onder grootschalige windparken verstaat de provincie Groningen windparken met een minimale opwekkingscapaciteit van 10 MW of tenminste 10 windturbines. Dit is tevens precies de grens waarbij het schrijven van een Milieueffectrapportage (MER) noodzakelijk is. Andere provincies, zoals Drenthe, hebben minder strikte richtlijnen in hun omgevingsplan en aanvragen zullen van geval tot geval worden bekeken of beslissingen worden aan gemeenten overgelaten.

Groningen stelt ook eisen aan de windturbines buiten de daarvoor bestemde gebieden. Buiten de windparken is de oprichting van windturbines, met een ashoogte van 15 meter of meer, uitgesloten (bron: *Provinciaal omgevingsplan Groningen*). Op die plekken zou een WindWall turbine dus wel geplaatst kunnen worden en is er sprake van een bestuurlijke grenslaag.

Over het algemeen zal een WindWall turbine geen milieuv vergunning nodig hebben, mits deze voldoet aan de eisen in het besluit voorzieningen en installaties milieubeheer:

- opgesteld vermogen van minder dan 15 MW¹¹, en
- afstand van de dichtstbijzijnde windturbine tot een woning of andere geluidsgevoelige bestemming van ten minste viermaal de ashoogte
- de geluidssterkte moet voldoen aan de in de Voorzieningen en Installaties Milieubeheer genoemde windnormcurve (WNC).

Wel moet de WindWall aan de bouwvergunningeisen voldoen. Als er niks is besloten over het plaatsen van windturbines in het vigerende gemeenteplan, dan zal er een artikel 19 procedure in gang gezet moeten worden.

Een WindWall turbine kan in sommige gevallen aantrekkelijker zijn dan een grote conventionele turbine. Er bestaat niet in alle provincies zoiets als een bestuurlijke grenslaag waarin alleen de WindWall turbine zou kunnen fungeren. De toepassing zal vooral gezocht moeten worden langs industrieterreinen en in die gebieden

⁹ Hiermee wordt bedoeld een gebied in de verticaal waar WindWall turbines geplaatst zouden kunnen worden, zonder al te veel bestuurlijke rompslomp

¹⁰ Met technisch potentieel wordt in deze studie het potentieel bedoeld zonder in te gaan op acceptatieniveaus en aannames gemaakt op het gebied van ruimtegebrek door bossen

¹¹ Dit komt overeen met meer dan 10 kilometer WindWall

waar door hoogterestricties een conventionele turbine niet geplaatst mag worden. De WindWall zou zich vooral moeten richten op betere landschappelijke inpasbaarheid en niet zozeer op lagere bestuurlijke rompslomp. Als er landschappelijk gezien geen bezwaren zijn bij de plaatsing van grootschalige windturbines genieten deze economisch gezien de voorkeur.

Als potentiële plaatsingsgebieden komen snelwegen, spoorbanen, waterwegen en havens, industriegebieden en defensiegebieden in aanmerking. Andere plaatsingsmogelijkheden zouden in het open veld kunnen zijn of onder hoogspanningskabels. Deze laatste heeft als nadeel dat er grote veiligheidsafstanden in acht worden genomen (50m.) waardoor het effect van het versterken van lijnen wegvalt.

Volgens de tabel in paragraaf 4.9 bedraagt het potentieel voor middelgrote WindWall turbines in Nederland ongeveer 768 MW. De helft daarvan zou langs waterwegen en havens geplaatst kunnen worden. Spoorwegen en industrieterreinen samen leveren ruimte voor ongeveer 300 MW. Het zou wel verstandig zijn om de eerste WindWalls te plaatsen langs industriegebieden, omdat de acceptatiegraad daar het hoogst is. Als dit een succes blijkt zal de acceptatiegraad voor andere soorten infrastructuur wellicht toenemen.

Alle WindWall turbines leveren per jaar dan ongeveer 900.000 MWh. Dit is genoeg om 257.000 huishoudens in Nederland van stroom van te voorzien. (Een gemiddeld Nederlands huishouden verbruikt ongeveer 3.5 MWh per jaar (bron <http://www.nuon.nl>). Ook is de 768 MW voldoende om bijvoorbeeld het totale nog te behalen deel van de BLOW doelstellingen in te vullen. Voor alle provincies (behalve Flevoland) geldt dat er zeker meer dan 20% van de BLOW doelstelling gehaald kan worden door middel van het plaatsen van WindWall turbines. De WindWall turbine, of een andere middelgrote windturbine die slim gebruik maakt van de bestuurlijke grenslaag en goede landschappelijke inpassing, zou dus een zeer significant gedeelte van het nog te behalen windenergievermogen, zoals afgesproken in BLOW, voor zijn rekening kunnen nemen.

	Snelwegen MW	Spoorwegen MW	Industrie MW	Waterwegen MW	Defensie MW	Totaal potentieel (MW)	Nog te plaatsen voor BLOW (MW)	Nog te plaatsen voor BLOW (%)
Groningen	4.4	13.2	7.9	32.8	0	58	101	57
Friesland	15.1	17.4	10.9	43.0	0	86	100	86
Drenthe	2.8	2.0	7.2	24.4	0	36	14	> 100
Overijssel	1.4	14.9	11.3	17.6	0	45	24	> 100
Gelderland	8.1	12.2	4.2	17.6	20.2	62	59	> 100
Flevoland	2.1	0.2	4.4	5.0	0	12	0	-
Utrecht	1.4	8.1	11.3	15.1	2.5	38	50	76
Noord-Holland	21.5	41.4	37.1	75.3	1.3	177	24	> 100
Zuid-Holland	8.6	25.2	19.1	79.0	0	132	84	> 100
Zeeland	2.0	4.7	10.1	17.0	0	34	148	23
Noord Brabant	5.6	7.4	13.6	25.9	11.3	64	77	83
Limburg	2.2	3.1	9.5	5.5	2.5	23	29	79
TOTAAL	75	150	147	358	38	768	710	

In deze studie is uitgegaan van een horizontale WindWall, er is echter ook een verticaal model op de markt. Groot voordeel van dit type is dat deze niet afhankelijk is van de windrichting en dus in principe altijd wind kan vangen. Hierdoor zijn opeens veel meer stukken infrastructuur ook geschikt om een WindWall turbine te huisvesten. Wel zal dit type iets minder wind vangen, omdat het midden van het apparaat zich op lagere hoogte bevindt. Hierbij moet ook nog opgemerkt worden dat er ook nog mogelijkheden zijn om de horizontale WindWall dwars of schuin ten opzichte van de infrastructuur te plaatsen. Deze mogelijkheid is echter niet meegenomen in dit onderzoek.

Literatuurlijst:

1. Bestuursvereenkomst Landelijke Ontwikkeling Windenergie (BLOW), Den Haag, Juli 2001.
2. Bootsma, M, *Frisse wind door Nederland*, de 12 provinciale Milieufederaties en Stichting natuur en milieu, april 2000.
3. Ecofys B.V., *Folder: Werken met wind (via: http://www.lei.dlo.nl/publicaties/HTML/folders/ecofys_part_1.pdf)*
4. Engelsma, O, *Windenergie heeft de wind mee*, NIPO, Amsterdam, Maart 2001.
5. Gijsbers, M.G., Vos, C.J.M., van oord, J.C.M. *Defensie Milieubeleidsnota 2004*, ministerie van defensie, december 2003.
6. Hurtado, J P, Fernandez, J., Parrondo, J.L., Blanco, E. *Spanish method of visual impact evaluation in wind farms*, renewable and sustainable energy reviews 8 (2004) 483-491, december 2003.
7. Joode, de, P.H., Onnink, S, van den Horn, B.A.. *Windturbines langs auto-, spoor- en vaarwegen*, april 1999. Document: VRWP-R-99004
8. Lysen, E.H., *Introduction to Wind Energy*, CWD 82-1, CWD, Amersfoort, mei 1983.
9. Ministerie van V en W, *Beleidsregel voor het plaatsen van windturbines op, in of over rijkswaterstaatwerken*.
10. Ministerie van VROM, *Ruimte maken, ruimte delen. Vijfde nota over de ruimtelijke ordening 2000/2020*, Den Haag, Februari 2002.
11. *Provinciaal omgevingsplan Groningen*, december 2000.
12. Schreuder, D.A., *De invloed van windturbineparken op de verkeersveiligheid*, R-92-74, Leidschendam, Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid, 1992.
13. Vermeer, E. *Studentrapport: Slagroomkloppers, grasmaaiers of wokkels?* TU Eindhoven, faculteit Technologie Management, November 2003.
14. Wit, de, M.H., *Wind in de gebouwde omgeving*, Faculteit bouwkunde, TU Eindhoven, najaar 2001.
15. Vos, W., et al., *Gemeenten aan de wind*, VNG, Den Haag, 2003

Plannen van Aanpak BLOW per provincie (verkrijgbaar op www.novem.nl)

1. Plan van aanpak voor realisatie van de Groninger BLOW doelstelling, NOVEM B.V., juni 2002
2. Plan van Aanpak Windenergie 2002-2010, provincie Overijssel, juni 2002
3. Plan van aanpak realisatie taakstelling BLOW provincie Limburg
4. Plan van aanpak windenergie in Noord-Brabant, juni 2002 Ontwikkeling windenergie, plan van aanpak voor de periode 2002-2010, provincie zeeland, juni 2002
5. Plan van aanpak ontwikkelingen windenergie in Flevoland, februari 2003
6. Plan van aanpak windenergie Drenthe 2002-2010, juli 2002
7. Windenergie in de provincie Utrecht, plan van aanpak 2002-2010, juli 2002
8. Windenergie in de provincie Zuid-Holland, plan van aanpak 2002-2010, september 2002
9. Plan van aanpak windenergie in de provincie Gelderland, januari 2003
10. Provincie Fryslan, Plan van aanpak Windenergie, 2003-2010, maart 2003
11. Plan van aanpak BLOW, provincie Noord-Holland
12. Plan van aanpak BLOW, provincie Zeeland

Interviews:

1. Bauke Scheffer en Wim ten Horst van de provincie Groningen
2. Gert Harm ten Bolscher van DWA advies
3. Mike Blanch van Rutherford Appleton Laboratory
4. Christoph Ravesloot van Gezond bouwen en wonen
5. Sander Mertens van de TUDelft
6. Jan Aalberts van het van Hall business center
7. Maud Naaijken van NS Vastgoed
8. Niek Roozen landschapsarchitect van Niek Roozen bv
9. Piet de Joode van ProRail
10. Cees Bakker en Christian Verberne van de gemeente Heerhugowaard
11. Roel Struijk van de gemeente Texel
12. Annelies van 't Hoff van de adviesdienst verkeer en vervoer

13. Jeroen Rottink, milieucoördinator landmacht
14. Harry Versluis, DLV bouw

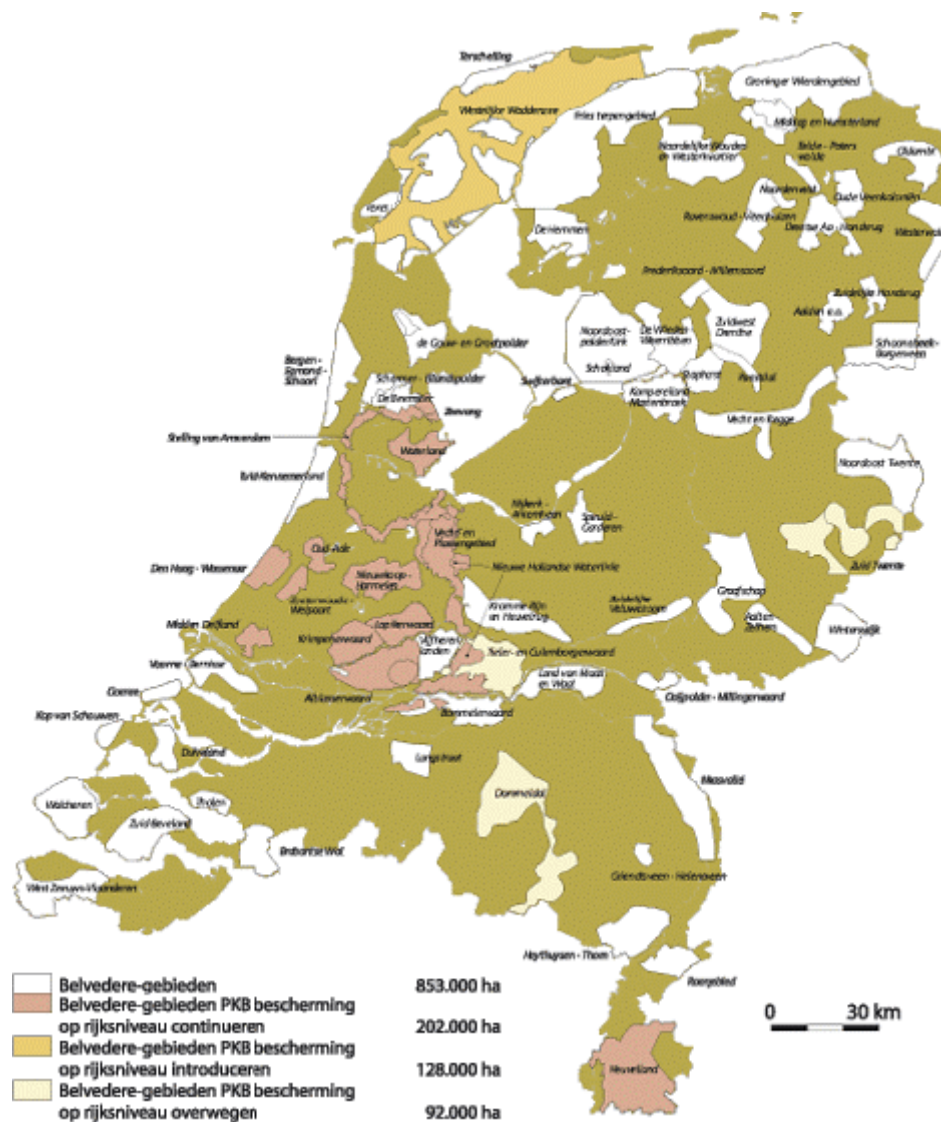
Internet (alle sites bezocht in mei 2004):

1. <http://www.iset.uni-kassel.de/extool/ExtoolExperienceCurve.htm>
2. <http://www.knmi.nl/samenw/hydra/>
3. <http://www.map24.com>
4. <http://www.windpower.org>
5. <http://www.windwall.nl>
6. <http://avn.geog.uu.nl/>
7. <http://home.planet.nl/~windsh/>
8. <http://www.nuon.nl>

Gegevens WindWall turbine:

WindWall B.V., De Eiken 5C, 7491 HP Delden. www.windwall.nl

Appendix I



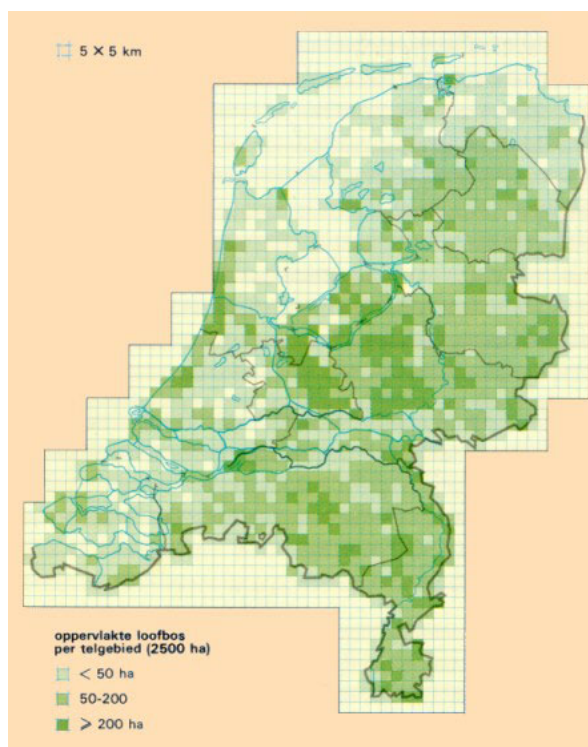
De Belvedèregebieden
bron: LNV



De belangrijkste rivieren en kanalen van Nederland
 bron: <http://avn.geog.uu.nl/>



Percentage bos in Nederland (bron: <http://avn.geog.uu.nl/>)



Appendix II

Een voorbeeld van een van de interviews afgenomen met:

Dhr Cees Bakker, Gemeenteraad Heerhugowaard, d.d. 22/4/2004

Mezelf voorstellen. Inleidend praatje over middelgrote WindWall turbines. Wat de eventuele plannen zijn en doel van het interview. Doel WindWall: Om een goed opleverende turbine zonder al te veel rompslomp neer te zetten.

Bestuurlijk / Esthetisch

1. Wat is uw functie precies?
2. Voor welk type windturbine is het beleid van de gemeentes gemaakt? Zou de WindWall hierop uitgezonderd kunnen worden?
3. Wat is de bestuurlijke grenslaag waarbinnen middelgrote windturbines kunnen fungeren? Hoe ziet deze eruit?
4. Als er een verschil is tussen de gemeentelijke bestemmingshoogte en de provinciale, welke wint dan en waar?
5. Om de doelen te halen heb ik filters ontwikkeld, zijn deze goed?
 - Belvédère gebieden
 - Niet langs bewoond gebied
 - Bos
 - Geen ruimte
6. Wat voor type windturbine acht u het meest geschikt?
7. Voorbeelden laten zien en mening vragen.
8. Staat u positief of negatief tegenover middelgrote windturbines? En wat zijn de belangrijkste knelpunten?
9. Wat zijn de belangrijkste bestuurlijke drempels bij de inpassing van middelgrote windturbines? Welke regels en vergunningen zijn van belang bij de plaatsing van middelgrote windturbines?
10. Waar ziet u de grootste mogelijkheden voor middelgrote windturbines? Langs welke infrastructuur?
11. Zit u in een beslistracé omtrent middelgrote turbines? Zo ja, hoe ziet deze eruit?

Economisch / Technisch

1. Wat zijn de belangrijkste economische drempels bij de inpassing van middelgrote windturbines?
2. Hoe ziet u het potentieel van middelgrote windturbines? Ook t.o.v. andere renewables zoals PV.
3. Opbrengsten en investeringen zijn (nog) niet competitief met grootschalige windenergie. Wat zijn de belangrijkste redenen om toch te investeren in middelgrote windturbines?
4. Welke technische ontwikkelingen acht u nog raadzaam als het gaat om middelgrote windturbines? Vooral i.v.m. het kostenperspectief.
5. Wat zou een interessant rendement in kWh/m²j en investering in €/kWh/j zijn en kostprijs van de stroom?

Afsluiten met een dank en vragen of ze een exemplaar willen van de studie (begin juli). Of ik mag terugbellen of mailen bij eventuele onduidelijkheden.