

ALLES

in de Wind

**Vragen en antwoorden
over windenergie**

*Jos Beurskens &
Gijs van Kuik*

Inhoud

	Het is tijd voor nuance	3
1	Is windenergie de moeite waard?	4
>	20 procent van de elektriciteitsbehoefte	5
>	Een betrouwbare energievoorziening	7
>	De groei van het energiegebruik	8
2	Hoe goed is windenergie voor het milieu?	10
>	Windenergie is duurzaam	11
>	Niet wachten tot brandstoffen op zijn	12
>	Zekerheid over het broeikaseffect	13
>	Meest effectieve CO ₂ -reducerder	14
3	Windhandel?	16
>	Windenergie is financieerbaar	17
>	De lusten en de lasten eerlijk verdeeld	18
>	Windenergie schept nieuwe kansen	19
4	Welke gevolgen hebben windturbines in de omgeving?	20
>	De hinder voor vogels is beperkt	21
>	Windturbines stralen net zo min als stofzuigers	22
>	De geluidsproductie van windturbines	23
>	Windturbines zijn veilig	24
5	Ruimte voor windenergie	26
>	Mooi of lelijk?	27
>	Voldoende ruimte voor windturbines	28
>	Offshore is de toekomst	29
	Begrippen en eenheden	30
	Trefwoorden	32



Het is tijd voor nuance

Het zit de toepassing van windenergie in Nederland niet mee. In de 70-er jaren waren het idealisten, ondernemende pioniers en windmolencoöperaties die op kleine schaal de toepassing van windenergie tot ontwikkeling brachten: 'geen kernenergie of kolen, neem een molen', heette het. Windenergie was sympathiek, maar onbetekenend, dus ongeveer veilig. Nu windenergie volwassen begint te worden, zien steeds meer mensen het als een vijand van het landschap. Het zijn geen kleine windmolens van een paar alternatievelingen, maar torenhoge turbines van kapitaalkrachtige ondernemingen en (inter)nationale energiemaatschappijen. Het gaat om steeds grotere ingrepen in onze woon- en leefomgeving.

Het beeld is misschien wat gechargeerd, maar wie polemieken in dag- en weekbladen naloopt, ontdekt dat vrijwel niemand een genuanceerde weg bewandelt. Emotionele argumenten en demagogie leiden vaak de boventoon waardoor het voor goedwillende wethouders schier onmogelijk is om de bouwaanvraag voor een windenergieproject rationeel te beoordelen. Het is tijd voor nuance. Zonder de kosten van windenergie te bagatelliseren en zonder de baten te overschatten. Die genuanceerde benadering vereist in de eerste plaats kennis van feiten. Met dit boekje willen we die met betrekking tot een aantal hardnekkige hele en halve onwaarheden aanreiken.

Ir. Jos Beurskens, ECN Petten

Prof. dr. ir. Gijs van Kuik, TU Delft

1 Is windenergie wel de moeite waard?

Windturbines dienen om elektriciteit te produceren. Voor elektriciteit die met windturbines wordt opgewekt, is geen brandstof nodig. Windturbines dragen daarmee bij aan reductie van de uitstoot van schadelijke emissies. In 2000 hebben Nederlandse windturbines 865 miljoen kilowattuur aan het elektriciteitsnet geleverd¹. Dat komt overeen met 0,96 procent van de binnenlandse elektriciteitsbehoefte, ofwel met 0,25 procent van het binnenlandse brandstofverbruik. De door windenergie vermeden inzet van brandstof was ongeveer 7,5 petajoule². Tot zover de feiten. De discussie gaat vaak over de waarde van deze feiten. Zijn windturbines wel rendabel en hebben we er iets aan in de strijd voor brandstofbesparing en een schoner milieu?

¹ KEMA Windmonitor (www.kema.nl) en Windservice Holland (<http://home.wxs.nl/~windsh>)

² Voor de opwekking van een kWh elektriciteit in een conventionele elektriciteitscentrale is momenteel in Nederland gemiddeld 2,4 kWh aan fossiele brandstoffen nodig. Gegevens ECN Beleidsstudies, 2001.

Windenergie kan minstens 20 procent van de elektriciteitsbehoefte dekken

Sommige landen en regio's, vergelijkbaar met een land als Nederland of België, laten zien dat windenergie de potentie heeft om een significante bijdrage aan de energievoorziening te leveren. Zie bijvoorbeeld Denemarken (waar in 2000 13 procent van de elektriciteit uit windenergie komt), de Duitse deelstaat Sleeswijk-Holstein (ruim 16 procent) en de Spaanse provincie Navarra (22 procent). Ook in Nederland is er veel mogelijk. De rijksoverheid geeft aan dat 1.500 megawatt turbinevermogen op land in 2010 haalbaar moet zijn³. Bij toepassing van turbines met een vermogen van 1 MW per stuk, zijn er 1.500 turbines nodig; nauwelijks meer dan de bijna 1.300 turbines die er nu al staan.

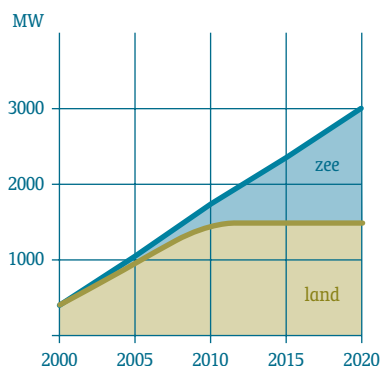
Op het Nederlandse deel van het continentaal plat van de Noordzee is het potentieel nog veel groter. Er is bijvoorbeeld ongeveer 680 km² beschikbaar met een waterdiepte van maximaal 20 meter. Alleen daar al is 4.000 tot 6.000 megawatt turbinevermogen plaatsbaar⁴. Het aandeel windenergie kan daarmee oplopen tot 20 procent van de Nederlandse elektriciteitsvoorziening. Met aanvullende technische voorzieningen is een wezenlijk grotere bijdrage mogelijk.

³ Ministerie van Economische Zaken, *Derde Energienota*, 1995.

⁴ Novem, *Plaatsingsplan Windenergie Buitengaats*, 1999.

De mogelijkheden voor windenergie op wereldschaal zijn in kaart gebracht door Greenpeace, de Europese Windenergie Associatie en het Forum voor Energie en Ontwikkeling⁵. Volgens deze studie kan windenergie in 2020 voorzien in tien procent van de mondiale elektriciteitsbehoefte. Daardoor kan de uitstoot van meer dan 10 miljard ton kooldioxide (CO₂) worden vermeden.

Groei van het windturbinevermogen in Nederland tot 2020



Het windturbinevermogen in Nederland groeit eerst alleen op land, later in toenemende mate op zee

⁵ Greenpeace, the European Wind Energy Association and the Forum for Energy and Development, *The report, Wind Force 10*, 1999.

⁶ ISET, WMEP Jahresauswertung, 1998.

Een betrouwbare energievoorziening is mogelijk ook al is de wind veranderlijk

De wisselvalligheid van de wind lijkt een stabiele elektriciteitsvoorziening te bemoeilijken. Als het niet waait, is er immers geen opbrengst. Tot op zekere hoogte is die variatie geen probleem. Verschillen in windkracht worden gedeeltelijk uitgevlakt door de geografische spreiding van turbines. Dat is bijvoorbeeld in Duitsland het geval, waar circa 6.200 megawatt in bedrijf is (januari 2001). Is het in de ene regio windstil, dan waait het elders⁶. Pas wanneer het geïnstalleerde turbinevermogen meer dan grofweg 20 procent van de totale productiecapaciteit uitmaakt, zijn er additionele maatregelen nodig. Mogelijkheden zijn groot-schalige opslag van energie en combinatie van windenergie met andere, meer stuurbare bronnen van duurzame energie, zoals import van Noorse waterkracht. Ook de mogelijkheden van energieopslag in de vorm van waterstof als energiedrager worden in dit verband intensief bestudeerd.

De vraag is overigens hoe erg het is dat windelektriciteit niet op ieder moment van de dag beschikbaar is. In een vrije energiemarkt zal er concurrentie zijn tussen verschillende bronnen. De prijs wordt dan onder andere bepaald door de leveringszekerheid in contractueel bepaalde perioden. Hiervoor is het nodig van te voren te weten hoeveel windstroom wannéér geleverd kan worden. Dit wordt belangrijker dan het niet constant zijn van windstroom.

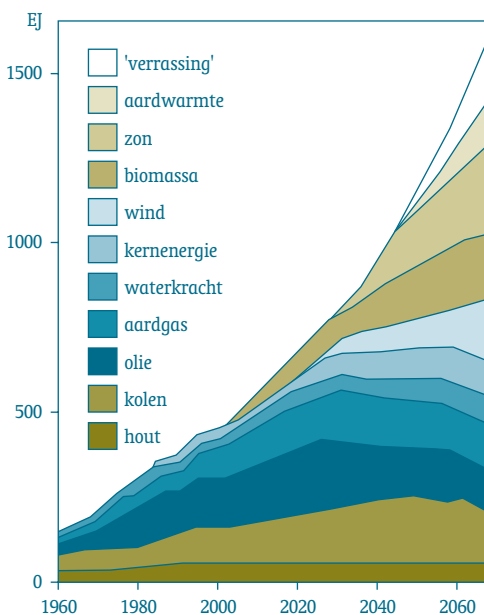
De groei van het energiegebruik onderstreept het belang van windenergie

Het gebruik van energie zal ook op langere termijn nagenoeg zeker blijven stijgen. Zoniet in Nederland dan toch zeker mondiaal. De inzet van windenergie kan de groei van het brandstofverbruik enigszins remmen. Dat is een schraal resultaat waar we het op korte termijn mee moeten doen.

Verderop in de 21^e eeuw is er meer te winnen. Dan lijkt het mogelijk om de groei van het energieverbruik te combineren met een absolute daling van het gebruik van fossiele brandstoffen. Het Ministerie van Economische Zaken⁷ rekt erop dat in 2050 offshore-windenergie zeer aantrekkelijk is. Tegen die tijd zijn techniek en kosten geen probleem meer zodat die geen belemmering meer kunnen vormen voor grootschalige toepassing van windenergie. Ook de Sociaal Economische Raad breekt een lans voor een omschakeling naar een fundamenteel andere, duurzame energievoorziening, waaronder windenergie. De SER pleit voor een 'Deltaplan Duurzame Energie'⁸.

Op wereldschaal rekt Shell voor dat in 2060 de energiebehoefte ten opzichte van 2000 zal zijn verdrievoudigd. Het aandeel duurzame energie zal dan minstens 50 procent zijn en windenergie zorgt voor iets meer dan 10 procent⁹. In de tweede helft van deze eeuw zal de inzet van fossiele brandstoffen afnemen, zo verwacht Shell. Afgezet tegen dergelijke scenario's is de huidige inzet van windenergie klein, maar noodzakelijk om op langere termijn tot verdere groei te komen.

Wereldenergiescenario volgens Shell International



Bron: International Ltd, 'The evolution of the Worlds Energy System'. 1996

⁷ Ministerie van Economische Zaken, *Energie en samenleving in 2050, Nederland in wereldbeelden*, januari 2001.

⁸ SER, *Ontwerpadvies Sociaal-Economisch beleid 2000-2004*, rapport R/2331, 7 juni 2000, toegelicht door SER-voorzitter Wijffels in *Stromen* van 23 juni 2000.

⁹ Shell International Ltd, *The Evolution of the Worlds Energy System*, 1996.

2 Hoe goed is windenergie voor het milieu?

Duurzaamheid en bescherming van het leefmilieu zijn belangrijke argumenten om de toepassing van windenergie te stimuleren. De productie van windstroom doet immers geen aanslag op eindige brandstofvoorraden en veroorzaakt geen rookgassen die schade toebrengen aan het natuurlijk milieu. De Nederlandse windturbines die in 2000 ongeveer 865 miljoen kilowattuur hebben geproduceerd, hebben daarmee een uitstoot van bijna 450.000 ton kooldioxide (CO₂) en ruim 17 miljoen zuurequivalenten (NO_x en SO₂) vermeden¹⁰. De vermeden CO₂-uitstoot is ongeveer een procent van de totale CO₂-uitstoot van de energiesector in Nederland.

Op deze gegevens is weinig af te dingen. Maar wat is er waar van het verband tussen de uitstoot van CO₂ en de verandering van ons klimaat? En hoe eindig zijn de brandstofvoorraden eigenlijk? En, als de milieuargumenten steekhoudend zijn, kan het geld voor windenergie dan niet met meer effect worden besteed aan andere maatregelen om CO₂-uitstoot te vermijden?

¹⁰ Berekening gebaseerd op RIVM, *Milieubalans 2000*, 2001.

¹¹ Vrij naar World Commission on Environment and Development (commissie Brundtland), *Our common future*, Oxford, 1987.

¹² Danish Wind Turbine Manufacturers Association, 'The Energy Balance of Modern Wind Turbines', in: *Wind Power Note 16*, December 1999.

¹³ IEA/OECD expert seminar, Parijs, 1989.

Duurzaamheid betekent: voorzien in behoeften van de huidige samenleving, zonder de mogelijkheden voor toekomstige generaties te beperken¹¹. De toepassing van windenergie geeft daar bij uitstek een goede invulling aan. Nagenoeg alle onderdelen van een windturbine zijn recyclebaar. Dat geldt ook voor het ruimtebeslag: wanneer een windpark na zijn levensduur wordt ontmanteld, kan het landschap weer volledig in oude staat worden teruggebracht. Een uitzondering vormen de rotorbladen, meestal gemaakt uit glasvezels. Die worden momenteel slechts voor laagwaardige toepassingen opnieuw gebruikt, bijvoorbeeld als grondstof voor 'Amsterdammertjes' of als hulpstof in beton. Aan meer hoogwaardige vormen van hergebruik en het gebruik van natuurlijke vezels, zoals hout, wordt gewerkt. Een andere maat voor de duurzaamheid van windenergie is de hoeveelheid energie die nodig is om een turbine te bouwen, en de tijd die verstrijkt voor die input is terugverdiend. Afhankelijk van het turbintype en het windklimaat ter plaatse wordt die tijd geschat op drie tot zes maanden volgens een levenscyclusanalyse van Deense windturbinefabrikanten¹². Afgezet tegen een technische levensduur van circa 20 jaar, betekent het dat een windturbine 40 tot 80 keer zijn eigen energie-input kan opleveren. Dit betekent ook dat de CO₂-uitstoot als gevolg van de productie van een windturbine verwaarloosbaar is ten opzichte van de vermindering van CO₂-uitstoot gedurende zijn levensduur. Omgerekend bedraagt de CO₂-emissie per miljoen kilowattuur bij windenergie 7 ton. Bij gasgestookte elektriciteitscentrales is dat 484 ton¹³.

We hoeven niet te wachten tot fossiele brandstoffen op zijn

De voorraad fossiele brandstoffen lijkt nog steeds toe te nemen. Dat is echter geen reden om te stoppen met de ontwikkeling van duurzame bronnen. Of, in de woorden van Shell-topman Jeroen van der Veer: ‘Het stenen tijdperk is niet geëindigd omdat de stenen op waren’¹⁴. Het is evident dat de winning van fossiele brandstoffen steeds meer geld en milieukwaliteit kost¹⁵. Met het oog op de toekomst bieden de resterende voorraden fossiele brandstoffen de tijd voor ontwikkeling van alternatieven. Voor technologische ontwikkeling en grootschalige implementatie van duurzame energiebronnen is nog zeker een aantal decennia nodig. We staan pas aan het begin van een doorbraak. Een volledige wereldwijde omschakeling naar een duurzame energievoorziening duurt nog veel langer. Los daarvan zijn fossiele (brand)stoffen – ook op langere termijn – nodig als grondstof voor de vervaardiging van kunststoffen en andere materialen.



¹⁴ Ir. drs. J. van der Veer, vice-voorzitter van Koninklijke/Shell, *De verlichting van de toekomst, energievoorziening in de 21^e eeuw*, toespraak, TU-Delft, 13 april 2000.

¹⁵ In Nederland laten de Groningse bodemdaling en de discussies over olie- en gaswinning op de Waddenzee zien dat winning gepaard gaat met steeds hogere maatschappelijke kosten.

Steeds meer zekerheid over oorzaken en gevolgen van het broeikaseffect

Door het gebruik van fossiele brandstoffen stijgt de concentratie van kooldioxide (CO₂) in de atmosfeer. Dat is één van de belangrijkste oorzaken van de versterking van het broeikaseffect. Na jarenlang onderzoek zijn steeds meer wetenschappers en onderzoekers over de hele wereld ervan overtuigd dat de stijging van de gemiddelde temperatuur op aarde, zoals die zich in de afgelopen 50 jaar heeft voorgedaan, voor het merendeel is toe te schrijven aan menselijke activiteiten¹⁶. Verwacht wordt, dat in de 21^e eeuw de gemiddelde temperatuur op aarde verder zal stijgen met 1,4 tot 5,8 °C met als gevolg dat zich grotere extremen in het weerbeeld zullen voordoen en dat de zeespiegel met 9 tot 88 centimeter zal stijgen.

Om het tij te keren wil de internationale gemeenschap tot afspraken komen om de uitstoot van CO₂ te beperken. De energiesector is de grootste veroorzaker van niet-natuurlijke CO₂ uitstoot. Daarom volgt de Nederlandse overheid drie sporen om emissies te beperken: energiebesparing, toepassing van schonere verbrandingsprocessen en het vervangen van fossiele brandstoffen door duurzame bronnen. Windenergie is één van de instrumenten om de doelstellingen te behalen.

¹⁶ The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Working group I, *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Shanghai, 2001.

Windenergie is in de komende decennia de meest effectieve CO₂-reducerder

Windenergie is een goede kandidaat om bij te dragen aan CO₂-reductie. Er is een aanzienlijk potentieel en windenergie staat op dit moment op de drempel van zelfstandige commerciële haalbaarheid. Met het oog op de lange termijn (2050) heeft Kema op verzoek van het Ministerie van VROM een scenariostudie verricht, waarin de verschillende vormen van duurzame energie op kosteneffectiviteit zijn vergeleken¹⁷. Het blijkt dat ook op die termijn windenergie – en dan gaat het om offshore toepassing – economisch gezien een rendabele manier is om de uitstoot van CO₂ te beperken.

Ook wereldwijd geldt windenergie als effectieve CO₂-bestrijder¹⁸. Er is echter niet één duurzame bron die de energievoorziening volledig voor z'n rekening kan nemen. Alle opties, waaronder zonne-energie, biomassa, kleinschalige waterkracht en energiebesparing, moeten worden benut. Zo verwacht Shell een ontwikkeling waarbij in 2060 de helft van de benodigde energie uit duurzame bronnen komt. Geothermie heeft daarin een aandeel van 8 procent, zonne-energie 16, biomassa 10, windenergie 10 en waterkracht zorgt in het Shell-scenario voor ongeveer 5 procent¹⁹.

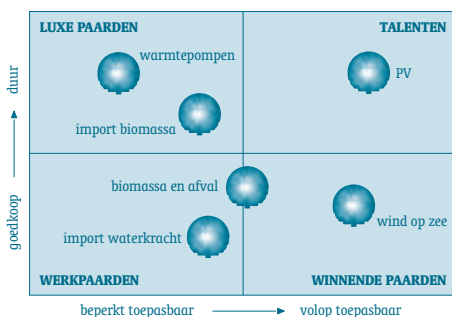
¹⁷ Ministerie van VROM, publicatiereeks milieustrategie, opgesteld door Kema Sustainable: *Duurzame Energie in de race naar 2050*, 1995/5.

¹⁸ GarradHassan and Econ in opdracht van de International Energy Agency: *The potential of wind energy to reduce CO₂ emissions*, Report PH3/24, October 2000.

¹⁹ Shell International Ltd, *The Evolution of the Worlds Energy System*, 1996.



Duurzame-energieopties voor 2025



Belangrijkste duurzame-energieopties voor 2025. Offshore windenergie is in 2025 in ruime mate toepasbaar en kosteneffectief. Ook fotovoltaïsche zonne-energie springt eruit, maar of het een echte winnaar kan worden hangt nog van af hoe de kostprijs zich ontwikkelt.

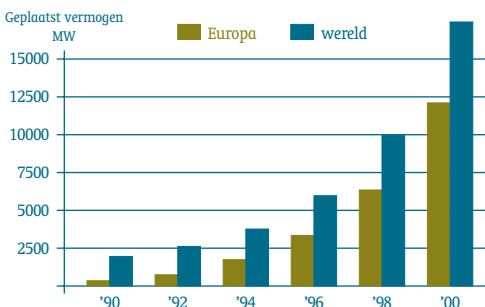
Bron: Kema Sustainable i.o.v. gemeente Den Haag en Eneco, J.W. Cleijne e.a., Energie 2025-2010, februari 2000, gebaseerd op: Ministerie van VROM, publicatiereeks milieustrategie 1999/5, opgesteld door Kema Sustainable: Duurzame Energie in de race naar 2050.

3

Windhandel?

De toepassing van windenergie is uit de kinderschoenen. Wereldwijd was er (januari 2001) 18.500 MW turbinevermogen in bedrijf²⁰ en dit vermogen groeit jaar na jaar met gemiddeld dertig procent. De landen die de laatste tijd de sterkste groei aan de dag leggen, zijn Duitsland (met een groei van 40 procent per jaar), de Verenigde Staten (20 procent per jaar), Denemarken (25 procent per jaar), India en Spanje (70 procent in 2000). In Nederland groeit het geïnstalleerde vermogen de laatste jaren met gemiddeld 10 procent. Ook voor individuele exploitanten is windenergie bepaald geen kinderspel meer. De aanschaf en plaatsing van een turbine kost ruim € 1.000 per kilowatt geïnstalleerd vermogen²¹. Kortom: in de windhandel draait het om meer dan alleen schone milieuargumenten; het is big business geworden.

Groei van het turbinevermogen in de wereld en in Europa



²⁰ BTM Consult ApS, *International Wind Energy Development; World Market Update 2000*, Ringkøbing, maart 2001.

²¹ European Wind Energy Association, *The economics of wind energy*, 1998.

De maatschappelijke voordelen maken windenergie financieerbaar

In de afgelopen decennia is de kostprijs van windstroom jaarlijks met 5 tot 10 procent gedaald. Tot 2015 wordt een verdere kostprijzdaling van gemiddeld 3 procent per jaar verwacht²². Op dit moment kost een kilowattuur windstroom, geleverd door een moderne windturbine op een windrijke kustlocatie 5 tot 6 eurocent, terwijl een kilowattuur elektriciteit uit aardgas 3,5 eurocent kost. Om de toepassing van windenergie in de aanvangsfase te ondersteunen, springt de overheid financieel bij. Dat is bij maatschappelijk gewenste activiteiten gebruikelijk. De overheidssteun voor windenergie is dan ook een afspiegeling van de maatschappelijke voordelen, met name van de milieuvoordelen. Windenergie is in de eerste plaats vrijgesteld van Regulerende Energie Belasting (REB). De REB vertegenwoordigt de milieukosten door het gebruik van fossiele brandstoffen. In de tweede plaats zijn er twee fiscale instrumenten van toepassing: de energie-investeringsaftrek en de vrije afschrijving van milieu-investeringen. Door deze maatregelen is windenergie in veel situaties een concurrerende optie. Verder is het beleid van energiebedrijven om een zeker percentage duurzame energie te leveren. Dit beleid heeft met zich meegebracht, dat duurzame energie een handelswaarde heeft die uitstijgt boven de opwekkosten. Zo wordt de milieuwaarde uitgedrukt in zogenoemde groenlabels. Die labels zijn vrij verhandelbaar en de waarde ervan komt op de vrije markt tot stand in een situatie van vraag en aanbod.

²² BTM Consult ApS, *International Wind Energy Development; World Market Update 2000*, Ringkøbing, maart 2001.

De lusten en de lasten moeten eerlijk worden verdeeld

De voornaamste kosten en risico's bij investeringen in windenergie zijn voor rekening van exploitanten en banken. Hun doel is uiteraard om hun investeringen te laten renderen.

De vraag is daarbij hoe het voordeel van de exploitant zich verhoudt tot de mogelijke lasten die omwonenden van windenergieprojecten kunnen ervaren, zoals geluidhinder, schaduwhinder of aantasting van de openheid van de omgeving. Een meer evenwichtige verdeling van lasten en lusten kan hier uitkomst bieden. Zo is het mogelijk omwonenden te laten delen in de opbrengsten door het participeren in een project. De gemeente kan participatie bij het verlenen van de bouwvergunning aanbevelen. In Denemarken zijn daar goede ervaringen mee²³. In Nederland heeft bijvoorbeeld de gemeente Wieringermeer goede ervaringen. Daar komt een ECN-proeflocatie tot stand met deelneming door omwonenden en/of landeigenaren²⁴. Ook een financiële tegemoetkoming in de eventuele schade is mogelijk, zij het, dat de omvang van de schade erg moeilijk is te becijferen.

²³ Circa 100.000 Deense huishoudens hebben via corporaties aandelen in windturbines. Bron: Søren Krohn, *Danish Wind Turbine Manufacturers Association: Danish Wind Turbines: An Industrial Success Story*, 2000.

²⁴ Op deze locatie komen 5 turbines van 1,5 MW en 4 fundaties voor turbines van maximaal 5 MW.

In Europa is de windenergie een economische sector van belang geworden. In 2000 vonden naar schatting 40.000 Europeanen een baan in assemblage, bouw, installatie, beheer en onderhoud van windturbines. Eenzelfde aantal mensen vond specifiek windenergiewerk in sectoren als onderzoek, advies, financiering, management, bij gemeenten en in de agrarische sector²⁵. De wereldomzet in de windhandel bedroeg in 2000 circa € 4 miljard, waarvan 85% in Europa²⁶.

Bijna de helft van de bedrijvigheid in deze sector vindt plaats in Denemarken. Aanvankelijk hadden Nederlandse bedrijven ook een sterke positie, maar in een cruciale ontwikkelingsfase bleef de binnenlandse afzetmarkt achter, waardoor veel Nederlandse bedrijven de noodzakelijke schaalvergroting niet hebben kunnen realiseren. Momenteel telt Nederland twee internationaal opererende turbinefabrikanten en drie bladfabrikanten. Nederland heeft wel een verhoudingsgewijs sterke positie op het vlak van financiering, verzekering, advies en windenergieonderzoek²⁷. Ook op het gebied van offshore-windenergie kan van Nederlandse bedrijven een belangrijk aandeel worden verwacht.

²⁵ European Wind Energy Association, *The wind energy industry - status and prospects*, 1998. De cijfers voor 2000 zijn gebaseerd op extrapolatie en gerealiseerd turbinevermogen.

²⁶ BTM Consult ApS, *International Wind Energy Development; World Market Update 2000*, Ringkøbing, maart 2001.





²⁷ ABN AMRO was lange tijd eigenaar van Vestas, de grootste turbinefabrikant in de wereld. ECN en TU Delft behoren tot de grootste onderzoekscentra voor windenergie in Europa.

4 Welke gevolgen hebben windturbines in de omgeving?

Op nationaal en mondiaal niveau heeft de toepassing van windenergie voordelen. Maar hoe zit het op lokaal niveau? Participanten in een project kunnen er financieel voordeel bij hebben en een gemeente draagt bij aan het bereiken van milieudoelstellingen. Maar voor de rest ervaren omwonenden van windparken toch vooral de lasten. Windturbines drukken een stempel op het landschap, ze produceren geluid en schaduw en vogels kunnen er het slachtoffer van worden. Veel omwonenden uiten bovendien twijfels over de veiligheid.

Inmiddels is er in binnen- en buitenland veel kennis en ervaring met windturbines zodat de effecten op de directe omgeving vrij nauwkeurig kunnen worden voorspeld. Projecten kunnen daardoor optimaal worden ontworpen.

Vogelslachtoffers per jaar

vogel-doodsoorzaak	 (= 200.000 vogels)	
jacht		(1.500.000)
hoogspanning		(1.000.000)
verkeer		(2.000.000)
windturbines (bij 1.000 MW)	<	(21.000)

Bron: Informatiecentrum Duurzame Energie i.s.m. Vogelbescherming Nederland en het Instituut voor Bos en Natuurbeheer van de Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Windenergie en vogels, 1999.

Vogelbescherming Nederland en het Instituut voor Bos en Natuurbeheer van de Dienst Landbouwkundig Onderzoek schatten voor Nederland het aantal directe vogelslachtoffers bij 1.000 MW windturbinevermogen op 21.000 per jaar. Dat lijkt veel, maar is gering in verhouding tot het aantal slachtoffers dat valt door de jacht (1,5 miljoen per jaar), hoogspanningsleidingen (1 miljoen) of het verkeer (2 miljoen)²⁸. Bij windturbines vallen de meeste vogelslachtoffers 's nachts, tijdens schemering en bij slecht weer. De effecten op rust- en foeragegedrag zijn met radarwaarnemingen bestudeerd. Het blijkt dat vogels over gebiedskennis beschikken waardoor zij windturbines kunnen mijden. Bij goed zicht vliegen vogels tussen de turbines van een windpark door, terwijl ze bij slecht zicht om het gehele park heen gaan. Voor vogels in broedgebieden blijkt de plaatsing van windturbines weinig gevolgen te hebben²⁹. De effecten van windturbines op vogels blijken ook in de praktijk mee te vallen. Dat wil niet zeggen dat er geen enkele strijdigheid zou bestaan. In kritische situaties kan vogelonderzoek uitwijzen of de effecten aanvaardbaar zijn of niet. Om risico's te vermijden, moeten turbines niet worden geplaatst in vogel-trekgebieden, broedgebieden en voedselgebieden. In gebieden waar de risico's niet bekend zijn, kan goede monitoring helpen om schade te voorkomen.

²⁸ Informatiecentrum Duurzame Energie i.s.m. Vogelbescherming Neerland en het Instituut voor Bos en Natuurbeheer van de Dienst Landbouwkundig Onderzoek, *Windenergie en vogels*, 1999.

²⁹ Bureau Waardenburg en DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, *Landelijk onderzoekprogramma, 1995-98*.

Windturbines stralen net zo min als stofzuigers

In weekblad *Privé* is ooit breeduit gesuggereerd dat windturbines straling zouden afgeven ('elektromagnetische smog') hetgeen een ongemerkt negatieve invloed op de gezondheid zou hebben³⁰. Het bericht is ook door de serieuze pers overgenomen en heeft veel vragen opgeroepen. Een windturbine kent qua materiaalgebruik en techniek echter weinig geheimen. Het elektromagnetische proces wat zich in een turbine afspeelt, is precies hetzelfde als in iedere andere elektrische machine, of het nu gaat om treinen, stofzuigers of autodynamo's. De omzetting van een draaibeweging in elektriciteit (of andersom) vindt plaats in miljoenen systemen en het is onzin om te veronderstellen dat nu juist windturbines hinderlijke straling zouden veroorzaken.



³⁰ Zie onder andere 'Zes windmolens in de tuin van Imca Marina', *Privé*, 23 januari 1999.

³¹ Om de Wet milieubeheer beter te kunnen toepassen en te kunnen controleren is er specifiek voor windturbines in 1999 een Algemene Maatregel van Bestuur in de Staatscourant gepubliceerd. Deze AMvB wordt sindsdien wel gevolgd, maar is formeel nog niet van kracht.

De geluidsproductie van windturbines valt binnen normale wettelijke kaders

Windturbines maken geluid en net als vrijwel alles wat in Nederland geluid maakt, geldt daarvoor de Wet milieubeheer³¹ die voorschrijft hoeveel geluid er op de gevels van woonhuizen in de omgeving mag komen, zowel 's nachts als overdag.

In de beginjaren van de windenergie is er met deze regels nogal eens lichtvaardig omgesprongen, waardoor onacceptabele situaties zijn ontstaan die later niet of slechts moeizaam konden worden hersteld. Dankzij duidelijke wetgeving en handhaving zijn aperte fouten in latere jaren voorkomen. Het aantal klachten over geluid neemt dan ook gestaag af. Intussen schrijdt de techniek voort. Moderne turbines met een vermogen van bijvoorbeeld 600 kilowatt produceren evenveel geluid als oudere modellen met een vermogen van 250 kilowatt. Met andere woorden: de hoeveelheid windturbinevermogen per geluidsruimte is in de afgelopen jaren met een factor 2 à 3 toegenomen. Over de effecten van geluid bij offshore toepassing van windenergie is nog weinig bekend. Specifiek naar voortplanting van onderwatergeluid en de eventuele effecten ervan op zeedieren zal onderzoek worden gedaan bij het geplande nearshore windpark bij Egmond³². Ook in Denemarken, bij de daar reeds gebouwde offshore windparken, vindt dergelijk onderzoek plaats.

³² Ministerie van VROM en Ministerie van EZ, *Milieu-effect-rapportage Locatiekeuze Demonstratieproject Nearshore Windpark*, 2000.

Windturbines zijn veilig ook al zijn ongevallen nooit uit te sluiten

Om de veiligheid van windturbines te waarborgen geldt de norm NVN 11400/0. Deze norm bevat criteria voor veiligheid, geluidsemissie en rendement. In Nederland schrijven gemeenten voor dat alleen windturbines mogen worden geplaatst die volgens die norm zijn gecertificeerd. Wanneer het gaat om plaatsing bij snelwegen, spoorlijnen of potentieel gevaarlijke industriële installaties, stellen Rijkswaterstaat, de Nederlandse Spoorwegen en de centrale overheid doorgaans aanvullende veiligheidseisen. Een van de op dit moment grootste windturbines van Nederland, de 1,5 megawatt-machine bij Zoetermeer³³ naast de A12 en de spoorlijn Den Haag-Utrecht en de 17 turbines van elk 660 kW in het westelijk havengebied in Amsterdam naast de Spoorlijn naar Den Helder, laten zien dat turbines ook aan die eisen kunnen voldoen. De grootste veiligheidsrisico's hebben betrekking op bladbreuk; in mindere mate op mastbreuk en ijsafwerping³⁴. In sommige situaties worden analyses uitgevoerd om risico's voor personen, groepen of objecten te bepalen.

³³ De turbine, met een ashoogte van 85 meter en een rotordiameter van 70 meter is ontwikkeld door Enron Windenergie.

³⁴ Zie bijvoorbeeld de site van Stichting Windhoek <http://home.wxs.nl/~hzwarber/wind/feiten/veilig.htm>

³⁵ Het Handboek Risicozonering Windturbines wordt opgesteld in opdracht van Novem door ECN, KEMA, NRG, ECOFYS en TNO-MEP. Het verschijnt naar verwachting in november 2001.

Het in voorbereiding zijnde 'Handboek Risicozonering Windturbines' geeft richtlijnen voor de vertaling van berekeningen naar ruimtelijke-orderingsaspecten³⁵.

Voor zover bekend hebben zich wereldwijd 20 ongevallen voorgedaan met dodelijke afloop. Deze ongevallen kunnen slechts voor een deel aan de windturbines zelf worden toegeschreven. Zo kwam in Duitsland een vrouw om het leven toen zij bij een parachutesprong een windturbine raakte.



5 Ruimte voor windenergie

Windturbines zijn groot, hoog en beweeglijk. Ze trekken de aandacht en kunnen een landschap verstoren. Daardoor moeten turbines op een verantwoorde manier landschappelijk worden ingepast. Bijvoorbeeld op plekken waar al veel dynamiek heerst, zoals bij industriegebieden en bij grote infrastructurele werken. Of op plekken waar structuren in het landschap kunnen worden gemarkeerd, zoals langs dijken. Maar hebben we wel genoeg van die plekken in ons land? Kunnen we niet beter uitwijken naar zee?



De discussie of windturbines mooi of lelijk zijn, is eindeloos en oeverloos. Windturbines zijn niet mooi of lelijk, men vindt ze mooi of lelijk. Toch zijn er op grond van representatieve steekproeven wel enkele uitspraken te doen over wat 'de gemiddelde Nederlander' er van vindt³⁶. In het algemeen vindt men dat driebladige turbines een meer gelijkmatig en ingetogen beeld opleveren en minder de aandacht trekken. Tweebladige turbines worden confronterend en schokkerig genoemd. Lijnopstellingen die aansluiten bij landschappelijke structuren krijgen de voorkeur boven opstellingen in clusters. Enkele grote turbines worden geprefereerd boven veel kleine; grote turbines hebben een lager toerental dan kleinere. In concrete plannen kan de inrichting van een windpark worden gevisualiseerd, zodat omwonenden vooraf een beeld krijgen van hoe het landschap er na plaatsing van de turbines uit komt te zien. Wanneer een windpark goed doordacht wordt vormgegeven en geplaatst, kan het een positieve bijdrage aan de kwaliteit van het landschap geven³⁷.

De vergunningverlening voor de plaatsing van een windpark is verder een kwestie van ruimtelijke ordening. Daarbij worden volgens normale wettelijke procedures en inspraakmogelijkheden het algemeen belang, zoals het beslag op de openbare ruimte, afgewogen tegen het particulier belang van de initiatiefnemer.

³⁶ Adviesbureau E-Connection bv, *Verkenning vormgeving windturbines*, 1998.

³⁷ Henk Bouwmeester, Hans Pattist, *Atlas van windenergie in Nederland*, 1999.

In Nederland strijden veel functies om weinig ruimte. Windenergie heeft daarbij het voordeel dat het absolute ruimtebeslag zeer beperkt is: in een windpark is slechts 1 tot 2 procent van de grond fysiek door windturbines (inclusief toegangswegen en utilities) bezet. De overige ruimte kan gewoon voor andere functies worden benut, zoals landbouw, waterwinning, infrastructuur, andere vormen van duurzame energie, bedrijvigheid of recreatie³⁷. Maar er zijn ook functies die strijdig zijn met windenergie, zoals verblijfsrecreatie en woningbouw. Gemeenten houden doorgaans een minimale afstand van 500 meter tot dergelijke functies aan. Per saldo zijn de meeste betrokkenen het erover eens dat een totaal vermogen van zo'n 1.500 tot 1.700 megawatt in Nederland haalbaar is. Onder andere door verouderde kleine turbines te vervangen door moderne, grote turbines. Als dat vermogen is gerealiseerd, moet verdere uitbreiding plaatsvinden op zee. In haar energiebeleid volgt het rijk deze implementatiestrategie³⁸. Het nationaal ruimtelijk beleid sluit hierop aan. Het Ministerie van VROM wil windturbines bij voorkeur bundelen in lijnen of parken, liefst in combinatie met industrieterreinen en verkeers- en vaarwegen, in jonge, grootschalig ingerichte landschappen en aan de rand van open ruimten. Uitgesloten worden gebieden met bijzondere natuurlijke, cultuurhistorische of archeologische waarden³⁹. De Natuur- en milieuorganisaties hebben per provincie locaties aangegeven waar windturbines goed kunnen staan. Zij komen op een plaatsbaar potentieel van 1.700 megawatt bij grote industriële en infrastructurele elementen⁴⁰.

Het Nederlands continentaal plat van de Noordzee biedt volop ruimte voor de plaatsing van windturbines. Offshore-windenergie is echter geen sinecure. Het klimaat op de Noordzee is zwaar. Hoge golven, getijdenstromingen en een zwaar windregime vormen een extra aanslag op de windturbines. Bovendien zijn ze vaak lange tijd achtereen niet bereikbaar, vooral in de winterperiode. De vraag is dan hoe ze toch goed kunnen worden onderhouden. Verder is er nog geen ervaring met het seriematig plaatsen en exploiteren van windturbines op zee. De ontwikkeling van offshore-windenergie vereist daarom een stapsgewijs traject: eerst aan land, dan nearshore en pas later verder op zee⁴¹. Met de bouw van een eerste windpark voor de kust van Egmond komt Nederland in de 'nearshore-fase'. In de tussentijd is het nodig om door te gaan met de ontwikkeling van windenergie op land. Niet alleen om de noodzakelijke ervaring op te doen, maar ook om de benodigde hoeveelheid duurzame energie op te wekken.



Een oppervlakte van 26 bij 26 km is voldoende om 4.000 tot 6.000 megawatt turbinevermogen te plaatsen.

³⁷ Novem, *Windenergie en gemeentelijk beleid; een handreiking*, 2001.

³⁸ Ministerie van Economische Zaken, *Duurzame energie in opmars*, 1997.

³⁹ Ministerie van VROM, *Vijfde nota over de ruimtelijke ordening*, 2001.

⁴⁰ 12 Provinciale Milieufederaties en Stichting Natuur en Milieu, *Frisse wind*, 2000.

⁴¹ Novem, *Plaatsingsplan Windenergie Buitengaats*, 1999.

Begrippen en eenheden


Er bestaan nogal wat misverstanden over gegevens waarmee de prestaties van windturbines kunnen worden beschreven. Die misverstanden vertroebelen vaak de discussies. Hieronder zetten we enkele begrippen op een rijtje.

Het **vermogen** van een windturbine wordt meestal uitgedrukt in kilowatt (kW) of megawatt (MW). Het vermogen zegt iets over hoeveel elektrische energie een turbine maximaal per tijdseenheid kan leveren.

De **opbrengst** van een windturbine wordt meestal uitgedrukt in kilowattuur (kWh) of megawattuur (MWh). Dit is de hoeveelheid elektrische energie die een turbine, bijvoorbeeld in een jaar daadwerkelijk heeft geleverd. De opbrengst wordt bepaald door het door de rotor bestreken oppervlak en de windsnelheid ter plaatse. Bij het dimensioneren van een turbine wordt het vermogen van de generator aan deze grootheden aangepast.

Het **rendement** van een windturbine is gelijk aan het deel van de kinetische energie in de wind die daadwerkelijk door een windturbine wordt omgezet in elektrische energie. Het maximum van de rendementscuve van moderne turbines is circa 45 procent.

Het **parkrendement** is gelijk aan de opbrengst van een windpark gedeeld door de som van opbrengsten wanneer alle turbines van het park solitair zouden staan. Bij een groot windpark is het parkrendement circa 80 procent. Het energieverlies treedt op doordat turbines soms in elkaars luwte staan.



De **capaciteitsfactor** kan worden berekend door de jaarproductie (in kilowatturen) te delen door de energie die de turbine zou leveren als deze het gehele jaar op vol vermogen zou draaien. De capaciteitsfactor geeft aan hoeveel procent van de tijd de turbine op vollast zou moeten draaien om de volledige jaarproductie te halen (in plaats van capaciteitsfactor wordt ook wel gesproken over equivalente bedrijfstijd). Deze factor wordt bepaald door het windklimaat in verhouding tot de grootte van de turbine en het vermogen van de generator. Een hoge capaciteitsfactor is mogelijk door een grote diameter van de rotor te combineren met een kleine generator. Dat geeft een tamelijk gelijkmatige opbrengst. Bij moderne windparken ligt de capaciteitsfactor tussen 25% en 35%.

Eenheden van energie

De eenheid van energie is joule (J). Veelvouden zijn megajoule (1 MJ=1.000.000 J of 1.000 kJ), gigajoule (1 GJ = 1.000 MJ), terajoule (1 TJ=1.000 GJ) en petajoule (1 PJ=1.000 TJ).

Als eenheid van elektrische energie wordt meestal kilowattuur gebruikt (1 kWh=3,6 MJ)

Eenheid van vermogen

Het vermogen is de hoeveelheid energie die per eenheid van tijd wordt omgezet. De eenheid van vermogen is watt (1 W = 1 J/s). Veelvouden zijn kilowatt (1 kW=1.000 W) en megawatt (1 MW = 1.000 kW).

Trefwoorden

betrouwbaarheid	7
brandstofbesparing	4, 5, 8
broeikaseffect	13
CO ₂ -reductie	13, 14, 15
continentaal plat	5, 29
duurzaamheid	10, 11
duurzame energie	7, 8, 15, 17, 28, 29
elektromagnetische smog	22
energie-terugverdientijd	11
energieopslag	7
energieproductie	4
fiscale voordelen	17
geïnstalleerd turbinevermogen	16
geluidhinder	18, 23
groei van het energiegebruik	8
groenlabels	17
klimaatverandering	13
kostprijs	16, 17
kwaliteit van het landschap	27
natuur- en milieuorganisaties	28
nearshore	23, 29
Nederlandse windenergiesector	19
offshore	5, 8, 14, 19, 23, 29
onderwatergeluid	23
ongevallen	24, 25
participatie in windenergieprojecten	18
potentieel van windenergie	5
Regulerende Energiebelasting	17
ruimtebeslag	11, 28
ruimtelijke ordening	27, 28
stabiliteit van de elektriciteitsvoorziening	7
straling door windturbines	22
veiligheid	20, 24
vogelslachtoffers	21
voorraad fossiele brandstoffen	12
werkgelegenheid	19
zeespiegelstijging	14

Colofon

Samenstelling: Jos Beurskens en Gijs van Kuik

Tekstbewerking: Henk Bouwmeester

Fotografie: Hans Pattist/Novem

Ontwerp en productie: De Boer & Van Teylingen

Met dank aan:



Energieonderzoek Centrum Nederland



Technische Universiteit Delft

Tweede herziene druk

mei 2001

Na jaren van ontwikkeling staat de toepassing van windenergie op de drempel van een doorbraak. Moderne windturbines kunnen op een kosteneffectieve manier helpen om de aantasting van ons milieu tegen te gaan. De toepassing van windenergie verdient daarom kansen. Maar de kansen komen niet vanzelf. We moeten windenergie daarvoor letterlijk de ruimte geven. Op land zijn veel locaties mogelijk waar windturbines kunnen staan, passend bij de karakteristieke kwaliteiten van het landschap. De belofte voor de toekomst is offshore-windenergie.

In dit boekje geven ir. Jos Beurskens (ECN) en prof. dr. ir. Gijs van Kuik (TU Delft) de ruimte aan windenergie. Kort en bondig zetten ze enkele kerngegevens op een rijtje en dragen daarmee bij aan een rationeel debat over de toepassing van windenergie in Nederland.