

Symposium “Kleine windturbines in de gebouwde omgeving”,
KIVI/NIRIA Stuurgroep Windtechnologie
Donderdag 20 oktober 2005; 10:30 - 17:00, Aristo Utrecht

Windenergie, de betekenis van groot en klein

Wilfried van Sark

*Natuurwetenschap en Samenleving, Copernicus Instituut voor Duurzame Ontwikkeling en
Innovatie, Universiteit Utrecht, Heidelberglaan 2, 3584 CS Utrecht
E-mail: w.g.j.h.m.vansark@chem.uu.nl*

1. Inleiding

Met het officieel van kracht worden van het Kyoto protocol¹ op 16 februari van dit jaar heeft tenminste een deel van de wereld zich gecommitteerd de hoeveelheid broeikasgas emissies te reduceren tussen 2008 en 2012. Zo moet Nederland een reductie realiseren van 6% ten opzichte van het niveau van 1990. Dat lijkt weinig. Nederland stootte in 1990 212 megaton CO₂-equivalenten² uit, en bij ongewijzigd beleid zou Nederland in 2010 245 Mton uitstoten. De reductie van 6% ten opzichte van 1990 betekent daarom dat de uitstoot in 2010 199 Mton³ zou moeten zijn, dat is een afname van bijna 20% ten opzichte van ongewijzigd beleid, en vergt juist een grote inspanning. Niettemin is Kyoto een druppel op een gloeiende plaat. Post-Kyoto maatregelen worden nu al besproken, omdat ze noodzakelijk zijn om te voorkomen dat de gemiddelde wereldwijde temperatuurstijging hoger uitvalt dan 2 °C⁴.

Naast klimaatverandering is vandaag de dag de dure (70\$/vat) en schaarse olie⁵ uit politiek niet zeer stabiele regio's, maar ook de afbrokkelende zekerheid van de beschikbaarheid van energie aanleiding om met vereende krachten te werken aan een verduurzaming van onze energievoorziening. Het Ministerie van Economische Zaken (EZ) meldt in haar recente Energierapport⁶ “Nu voor later” dat wij ons nu moeten richten op “twee grote, vooral internationale opgaven: het garanderen van de voorzieningszekerheid en het aanpakken van het mondiale klimaatprobleem”, want “wie, als het om energie gaat, verder vooruitkijkt dan morgen, maakt zich zorgen”. Ik zou dit Sinterklaasrijm kunnen afmaken met “helaas, de cost gaet uit voor de baat”. Immers, voor de transitie naar een samenleving waarin duurzame energie op grote schaal wordt ingezet is nu eenmaal geld nodig, veel geld, conservatief geschat op enkele miljarden euro's per jaar⁷.

¹ Zie de website van de United Nations Framework Convention on Climate Change: <http://unfccc.int/>

² In dit getal zijn de emissies van alle broeikasgassen teruggerekend naar CO₂-equivalenten.

³ De getallen 199, 212 en 245 Mton zijn getallen genoemd in de *Evaluatienota Klimaatbeleid*, in 2002 uitgebracht door het Ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM). Hierin heeft een herijking plaatsgevonden ten opzichte van de *Uitvoeringsnota Klimaatbeleid* (VROM, 1999). De oude getallen waren 206, 219 en 256 Mton. De 6% reductie is ongewijzigd.

⁴ International Climate Change Taskforce, *Meeting the Climate Challenge*, 2005; D.A. Stainforth, *et al.*, *Uncertainty in predictions of the climate response to rising levels of greenhouse gases*, *Nature* **433** (2005) 403-406.

⁵ In Vrij Nederland van 3 september 2005 beschrijven Harm Ede Botje en Willem Middelkoop hun interview met de Texaanse oliebankier Matthew Simmons, waarin hij zegt dat een vat olie al snel meer dan honderd dollar gaat kosten. Tevens beschrijven zijn dat rond 2008 de piek verwacht wordt in wereldwijde olie- en gasproductie.

⁶ Ministerie van Economische Zaken, *Energierapport 2005 – Nu voor later*, juli 2005.

⁷ VROM-Raad en Algemene Energieraad, *Energietransitie: klimaat voor nieuwe kansen, gezamenlijk advies*, december 2004.

In het Energierapport wordt uiteengezet hoe wij in Nederland verder zullen gaan, op korte, middellange en lange termijn. Op korte termijn is extra energiebesparing het meest efficiënt, waarbij het de doelstelling is om het huidige energiebesparingsniveau van 1% per jaar te verhogen tot 1.5% vanaf 2012. Op middellange termijn is het realiseren van de Kyoto doelstelling aan de orde. Met de voorgestelde maatregelen van 1.5% energiebesparing per jaar, 10% duurzame energie in 2020 en voortgang van de Europese emissiehandel moet dit leiden tot een emissiereductie van 13 Mton CO₂. Voor de lange termijn moet een duurzame energiehuishouding gerealiseerd worden door middel van een energietransitie. Dit zal moeten leiden tot een reductie van de uitstoot van broeikasgassen met 60-80% in de komende decennia. Dat gaat niet vanzelf. De “Trias energica” strategie⁸ zou daartoe gebruikt kunnen worden. Deze gaat uit van 1) besparing van energie door efficiëntieverbeteringen; 2) inzet van hernieuwbare energiebronnen; 3) schoner gebruik van fossiele brandstoffen. In het Energierapport wordt deze strategie, voor een deel, impliciet gebruikt. Er wordt gerept van toepassing van afvang van CO₂ bij kolencentrales om die daarna ook op te slaan. Wat betreft hernieuwbare bronnen wordt sterk ingezet op off-shore windenergie, met ondermeer de regeling Milieukwaliteit van de ElektriciteitsProductie (MEP) als subsidie instrument. De subsidie volgens de in 2003 in het leven geroepen MEP-regeling is een vast bedrag per kWh en is bedoeld om de onrendabele top van duurzame elektriciteit en elektriciteit opgewekt met warmte-kracht-koppeling (WKK) installaties ten opzichte van andere opwekkingswijzen van elektriciteit te compenseren. Binnenkort zullen er subsidieplafonds worden ingevoerd, en de WKK zal verdwijnen uit de MEP. Overigens hanteert EZ⁹ als definitie van duurzame energie: “Duurzame energie staat in het Nederlandse beleid voor elektriciteit, warmte of brandstof uit ‘hernieuwbare bronnen’. Dit zijn bronnen die onuitputtelijk zijn (bijvoorbeeld wind) of relatief snel vervangbaar (bijvoorbeeld biomassa), in tegenstelling tot fossiele brandstoffen als olie of gas.”

2. Energie scenario's en duurzame energie potentieel

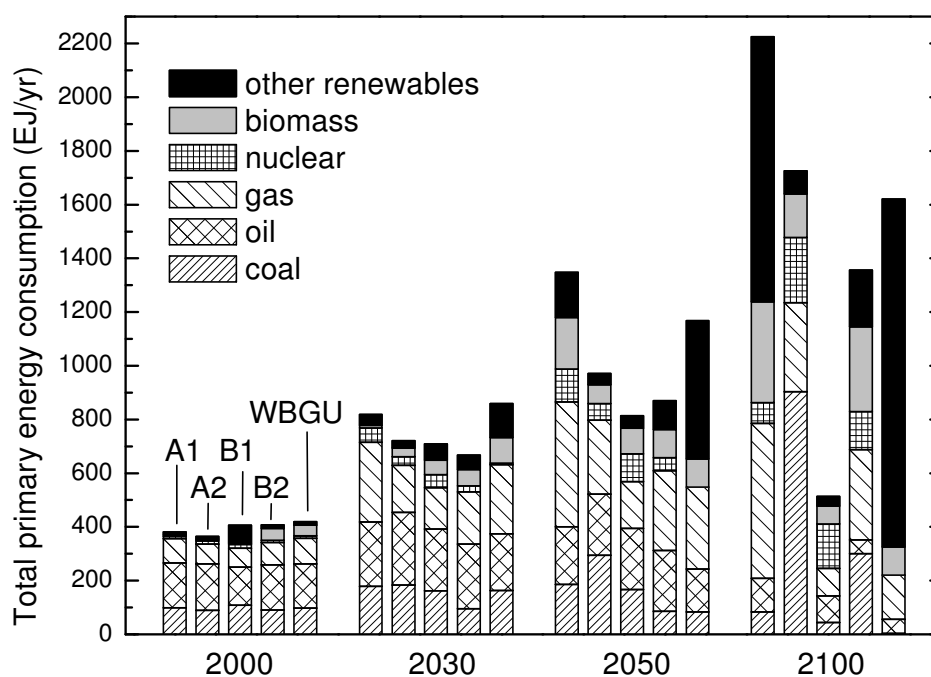
Een goede manier om verschillende strategieën te bestuderen hoe de transitie zal gaan verlopen is het opstellen van scenario's als zichzelf ontvouwende beelden van de toekomst. In het “Special Report on Emission Scenarios” (SRES)¹⁰ ontwikkeld door het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) wordt een set van 40 scenario's besproken die het wereldwijde verloop van de emissies van broeikasgassen simuleren tot het jaar 2100. Deze scenario's zijn gebaseerd op vier ‘verhaallijnen’ die de ontwikkeling van de wereld beschrijven in de 21^e eeuw. Er worden twee assen gebruikt als basis voor de beschrijving van de verhaallijnen: de één representeert de economische schaal (globaal versus regionaal) en de ander de maatschappelijke (kapitalistisch versus socialistisch). De zogenaamde A1 en A2 verhaallijnen beschrijven een maatschappij die de nadruk legt op economische ontwikkeling, terwijl de B1 en B2 verhaallijnen zich veel meer op welvaart concentreren en zich daarbij ecologisch oriënteren. De A1 en B1 verhaallijnen zijn globaal georiënteerd, met focus op handel en globale markten. De A2 en B2 verhaallijnen zijn meer regionaal georiënteerd. Dit leidt tot een voorspelling van de bevolkingsomvang variërend van 8.7 miljard (A1, B1) tot 11.2 miljard (A2) in 2100. De schattingen van het bruto nationaal product (BNP) variëren van 8.6 10³ miljard US\$₉₅/a (A2) tot 24.2 10³ miljard US\$₉₅/a (A1).

⁸ E.H. Lysen, *The Trias Energica - Solar Energy Strategies for Developing Countries*, in Proceedings of EuroSun '96, Freiburg, Germany, 1996 (DGS-Sonnenenergie Verlag-GmbH, Munich, Germany).

⁹ Ministerie van Economische Zaken, *Energie Onderzoek Strategie*. november 2001.

¹⁰ N. Nakicenovic, *Special Report on Emission Scenarios* (Cambridge University Press, Cambridge, U. K., 2000), zie ook de website www.ipcc.ch.

In Figuur 1 is de totale energievraag en de energie mix weergegeven voor een aantal jaren voor de vier scenario's. Het moge duidelijk zijn dat er een grote variatie is in energievraag en energiemix tussen de scenario's, als gevolg van populatie dynamica en economische en technologische ontwikkelingen. In alle scenario's spelen biomassa, zonne-energie en windenergie een grote rol. Andere scenario's, bijvoorbeeld het A1T-450 scenario van de Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU)¹¹ maken een specifiekere onderverdeling van "other renewables". Voor 2050 worden de bijdragen van zonne-energie geschat op 288 EJ, die van wind op 135 EJ en die van biomassa op 105 EJ. Voor 2100 verandert alleen het getal voor zonne-energie, dit wordt 1040 EJ. In Figuur 1 komt het aandeel andere hernieuwbare bronnen uit op 620 EJ in 2050 en 1400 EJ in 2100, een factor 1.5 tot 3.5 meer dan het huidige (2001) energiegebruik van 418 EJ¹². Elektriciteit geproduceerd uit zonlicht heeft het grootste aandeel in 2050 en 2100. De European Renewable Energy Council (EREC) heeft een scenario ontwikkeld waarin de bijdrage van hernieuwbare bronnen bijna 50% is in 2040¹³, met het hoogste aandeel voor biomassa, dat wil zeggen 137 EJ. De bijdragen van zonne-energie en windenergie worden geschat op 33 en 29 EJ.



Figuur 1. Totale primaire energie consumptie en energie mix voor de vier SRES scenario's van het IPCC en het WBGU A1T-450 scenario¹⁴.

¹¹ H. Graßl, J. Kokott, M. Kulessa, J. Luther, F. Nuscheler, R. Sauerborn, H.-J. Schellnhuber, R. Schubert, E.-D. Schulze, *World in Transition, Towards Sustainable Energy Systems* (German Advisory Council on Global Change (WBGU), Earthscan, London, U. K., 2004).

¹² UNDP, *World Energy Assessment - overview*, United Nations Development Programme, United Nations Department of Economic and Social Affairs, World Energy Council, 2000; UNDP, *World Energy Assessment: Overview 2004 Update*, United Nations Development Programme, 2004.

¹³ European Renewable Energy Council, *Renewable Energy Scenario to 2040*, EREC, 2004.

¹⁴ W.G.J.H.M. van Sark, M.K. Patel, A.P.C. Faaij, M.M. Hoogwijk, *The potential of renewables as a feedstock for chemistry and energy*, Hoofdstuk 2 in *Renewable-based Technology: Sustainability Assessment* (Wiley, Eds. Dewulf and Van Langenhove, verschijnt in 2006).

Duurzame energie is de meest voorkomende vorm van energie op onze aarde, en het meeste is afkomstig van de zon. De energie-inhoud van de jaarlijkse hoeveelheid zonnestraling die onze aarde bereikt wordt geraamd op $3 \cdot 10^6$ EJ¹⁵. Dit is tien maal de totale hoeveelheid van niet-duurzame bronnen als olie, gas, kolen en uranium. De hoeveelheid directe zonne-energie is ongeveer duizend maal groter dan de indirecte vormen samen: biomassa 1260 EJ, wind energie 630 EJ, waterkracht 90 EJ. Dit is de theoretische limiet, ofwel het theoretische potentieel. Het geografische potentieel is nu het theoretische potentieel van (deels) beschikbaar aardoppervlak, en is flink lager. In de bepaling van het technische potentieel wordt ook nog de conversie van primair naar secundaire bron meegenomen, het omzettingsrendement. Voor de bepaling van het economische potentieel wordt rekening gehouden met het exploiteren van het technisch potentieel tegen concurrerende kostenniveaus. In Tabel 1 zijn de technische potentiëlen weergegeven voor biomassa, wind- en zonne-energie, waterkracht en geothermische energie, in vergelijking met de huidige inzet. Deze vormt in totaal 13% van de globale primaire energie consumptie, voornamelijk dankzij biomassa.

Tabel 1. Vergelijking tussen de inzet (1998) van duurzame bronnen met het technisch potentieel. Data zijn afkomstig van de World Energy Assessment¹².

	Duurzame bronnen (1998)	Globaal technisch potentieel, WEA
	EJ	EJ
Biomassa	45	200 - 500
Wind	0.07	70 - 180
Zon	0.06	1500 - 50000
Waterkracht	9.3	50
Geothermisch	1.8	5000
Totaal	56.2	6820 - 55730

3. Technisch en economisch potentieel van windenergie

Een recent afgeronde studie van het globale technische on-shore windenergie potentieel heeft een schatting van 95 PWh/y (345 EJ/y) opgeleverd¹⁶, bijna het dubbele van het maximum uit Tabel 1. Daarbij moet nog een off-shore potentieel van 37 PWh worden opgeteld, dat bepaald is voor off-shore parken tot een diepte van 50 m¹⁷. In de studie wordt de aarde verdeeld in cellen van $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ (lengte en breedtegraad), en wordt de geschiktheid voor windenergie bepaald door rekening te houden met landgebruik, hoogte en het windregime (gemiddelde maandelijkse windsnelheden). Hieruit volgt dat gemiddeld 9% van het aardoppervlak geschikt is voor het plaatsen van windturbines. Met de aanname dat in geschikte gebieden een dichtheid van 4 MW/km^2 bereikt kan worden, leidt dit uiteindelijk tot het eerder genoemde globale technisch potentieel. Een hoog potentieel is te vinden in vooral Canada, USA, de voormalige Sovjet Unie, en Oceanië. In Tabel 2 is een deel van de resultaten vermeldt. Ter illustratie, het technisch potentieel voor Europa kan worden berekend door haar

¹⁵ World Energy Council, *Survey of energy resources*, 20th ed. (Elsevier, Amsterdam, the Netherlands, 2004).

¹⁶ M. Hoogwijk, B. de Vries, W. Turkenburg, Assessment of the global and regional geographical, technical and economic potential of onshore wind energy, *Energy Economics* **26**, 889-919 (2004).

¹⁷ R. Leutz, T. Ackermann, A. Suzuki, A. Akisawa, T. Kashiwagi, *Technical offshore wind energy potentials around the globe*, in Proceedings of European Wind Energy Conference EWEC2001, Copenhagen, Denmark, 2001 (WIP, Munich, Germany), p. 789-792.

Tabel 2. Regionale verdeling van aardoppervlak, geschiktheidsfactor, gemiddelde windsnelheid, technisch potentieel en economisch potentieel voor kostprijs van elektriciteit van 0.07 US\$/kWh en 0.10 US\$/kWh. Alleen de belangrijkste regio's zijn opgenomen, zie verder Hoogwijk *et al*¹⁶.

Regio	oppervlak (Mha)	geschiktheidsfactor (%)	gemiddelde windsnelheid (m/s)	gemiddelde vermogensdichtheid (MW/km)	technisch potentieel (PWh/y)	economisch potentieel (PWh/y) bij een prijs van	
						0.07 US\$/kWh	0.10 US\$/kWh
Canada	950	20.9	4.1	1.08	19	8	16
USA	925	26.8	4.3	1.02	21	3	13
Centraal Amerika	269	10.8	3.3	0.40	2	1	1
Zuid Amerika	1761	4.7	3.0	0.26	8	4	6
West Europa	372	12.6	4.3	0.58	4	1	2
Voormalig USSR	2183	9.4	3.4	0.47	16	2	7
Oceanië	838	23.7	3.6	0.91	14	1	6
Wereld	13063	8.6	3.0	0.37	96	21	53

oppervlak (372 Mha) met de wind turbine dichtheid (0.58 MW/km²) te vermenigvuldigen. Dit leidt tot een capaciteit van 2150 GW. Verder, aangenomen dat de gemiddelde windsnelheid 4.3 m/s op 10 m hoogte is en de ashoogte 70 m, is het aantal vollasturen 2200 (capaciteitsfactor 25%). Het technisch potentieel is dus 4 PWh/y.

Het globale economische potentieel bij toegestane opwekkingskosten tot 0.07 US\$/kWh is 21 PWh/y, dat wil zeggen dat 21 PWh/y jaarlijks is op te wekken tegen prijzen die concurrerend zijn met die van fossiele brandstoffen. Bij opwekkingskosten tot 0.10 US\$/kWh wordt het economisch potentieel zelfs 53 PWh/y. Het is daarom economisch rendabel om een groot deel van de globale elektriciteitsvraag te dekken met windenergie.

4. Windenergie, historie en recente ontwikkelingen

De hoeveelheid beschikbare energie in de vorm van wind energie is kleiner dan van zonne-energie. Een deel van de zonne-energie die de atmosfeer bereikt wordt omgezet in wind energie door temperatuurverschillen op de aarde die door de zon worden geïnduceerd. Daarnaast draagt ook de rotatie van de aarde bij aan de windsnelheid en windrichting. Hubbert schatte dat ongeveer 2% van de zonne-energie wordt omgezet in windenergie, het maximale theoretische potentieel¹⁸.

Windenergie wordt al millennia lang gebruikt¹⁹, vooral voor het malen van graan en het pompen van water. In Nederland zijn de houtzaagmolens essentieel geweest voor de ontwikkeling van de economie met als resultaat de Gouden Eeuw. Aan het eind van de 19^e eeuw werd de eerste molen gebruikt voor het genereren van elektriciteit. Verdere

¹⁸ M. K. Hubbert, *The energy resources of the earth*, Scientific American **225**, 60-84 (1971).

¹⁹ D.M. Dodge, *Illustrated history of wind power development*, www.telosnet.com/wind/

ontwikkelingen leiden tot molens tot 25 kW. Kleinere molens (1-3 kW) gebruikten vanaf 1920 gemodificeerde propellers. De verdere ontwikkeling stagneerde doordat steeds groter wordende stoommachines goedkoper elektriciteit leverden. Ook werd het niet continu leveren van elektriciteit meer en meer als nadeel gevoeld. Het waait tenslotte niet altijd, maar er is wel altijd elektriciteit nodig. De oliecrises in de zeventiger jaren van de vorige eeuw zijn het startpunt geweest voor een grootschalige ontwikkeling van moderne wind turbines. In 1970 was de typische grootte van een turbine 30 kW, met een rotor diameter van 10 meter. Tegenwoordig zijn turbines van 2-5 MW de gewoonste zaak van de wereld, met een rotor diameter van meer dan 100 meter. De meest gangbare turbine heeft een verticale as en drie rotoren. Dankzij de technologische ontwikkelingen is het omzettingsrendement nu 50%, oftewel 85% van de Betz limiet van $16/27^{20}$. Sinds ongeveer 1990 zijn off-shore windturbines ontwikkeld, met als voornaamste motivatie de gemiddeld hogere windsnelheden op zee, maar ook de betere voorspelbaarheid daarvan.

De cumulatieve geïnstalleerde capaciteit in 2005 is 50 GW²¹, met een jaarlijks groeipercentage van 30%. De huidige kosten van een turbine zijn ongeveer 750 \$/kW; de hiervan afgeleide elektriciteitsprijs ligt tussen 0.03 – 0.08 US\$/kWh, afhankelijk van de locatie van de turbine. In de afgelopen 10 jaar zijn de kosten van een windturbine met de helft gedaald²² en men verwacht dat deze trend zich de komende jaren voortzet. Windenergie is één van de kosteneffectieve opties die de transitie naar een toekomstige, duurzame energiehuishouding dichterbij kan brengen. Er wordt vooral ingezet op verdere ontwikkeling van off-shore turbines voor grote (GW) off-shore wind parken. Zo is het streven van de Nederlandse overheid om in 2020 6000 MW opgesteld vermogen op zee te realiseren. De realisatie van offshore windenergie op de Noordzee komt langzaam, maar steeds dichterbij. Er zijn twee vergunningen afgegeven voor de bouw van windparken in de Noordzee, het Q7 windpark bij IJmuiden (E-connection, 120 MW, 60 Vestas 2 MW) en het Near Shore Windpark bij Egmond aan Zee (Shell en Nuon, 108 MW, 36 Vestas 3 MW²³). Naar verwachting zal de bouw in 2006 beginnen. In het buitenland zijn in Denemarken, de UK, Ierland en Zweden inmiddels al parken geplaatst, met als bekendste voorbeeld het Horns Rev park van 160 MW²⁴.

In een onlangs verschenen studie wordt de kosteneffectiviteit van off-shore windenergie bekritiseerd en wordt geconcludeerd dat investeringen hierin alleen maatschappelijk rendabel zijn wanneer de capaciteitsopbouw zeer geleidelijk plaats vindt, sterker nog, investeringen in off-shore wind worden pas na 2020 rendabel en subsidies zijn vanaf dat moment niet meer nodig²⁵. In een felle reactie weerlegt de Nederlandse Wind Energie Associatie NWEA deze conclusie door te wijzen op de veel te laag ingeschatte baten voor de Nederlandse samenleving²⁶. Daarnaast is de gebruikte variatie in olieprijs van 28 tot 35\$/vat niet in overeenstemming met de werkelijkheid.

²⁰ European Wind Energy Association, *Wind Energy - The Facts* (European Wind Energy Association, Brussels, Belgium, 2003).

²¹ Persbericht Global Wind Energy Council, 22 september 2005, *Wind industry has achieved 50 GW of capacity installed worldwide in 2005*.

²² M. Junginger, A. Faaij, W. C. Turkenburg, *Global experience curves for wind farms*, *Energy Policy* **33**, 133-150 (2005).

²³ P. de Wit, *Wind aan zee*, Shell Venster, september-oktober 2005.

²⁴ Zie de website www.hornsrev.dk.

²⁵ A. Verrips, H. de Vries, A. Seebregts, M. Lijesen, *Windenergie op de Noordzee, Een maatschappelijke kosten-batenanalyse*, Centraal Plan Bureau, september 2005.

²⁶ Nederlandse Wind Energie Associatie, *CPB blundert in berekening windenergie op zee*, Persbericht 19 september 2005.

Windenergie is een bron is voor elektriciteit met minimale CO₂ uitstoot. Het past uitstekend binnen de verduurzaming van onze energiehuishouding en draagt bij aan het realiseren van (post-) Kyoto doelstellingen. Een nadeel is echter dat windenergie elektriciteit levert op het moment dat het waait, en is daarmee een aanbod-gestuurde bron in plaats van een vraag-gestuurde bron. Dit zou aangepakt kunnen worden door extra conventionele centrales te bouwen, die altijd stand-by moeten staan en daardoor inefficiënt draaien wat kostbaar is. Een andere mogelijkheid is het creëren van opslag, zodat in tijden van minder of geen windenergie de buffercapaciteit aangesproken kan worden. Een recente studie naar grootschalige opslagmogelijkheden van windenergie beschrijft een aantal mogelijke scenario's voor een 6000 MW off-shore windpark gecombineerd met opslag²⁷. In vier scenario's wordt windenergie gecombineerd met waterstof productie, in het vijfde met pompaccumulatie centrales (PAC), en in het zesde met compressed air energy storage (CAES). Het economisch gunstigste scenario waarbij waterstof wordt geproduceerd door middel van elektrolyse van ontzilt zeewater is die waarbij een waterstofpijpleiding naar de kust wordt geleid. Op termijn kan een waterstofprijs bereikt worden gelijk aan de huidige marktprijs: €20/GJ. De scenario's waarbij een elektriciteitskabel wordt aangelegd en wordt gekoppeld met een PAC of CAES leiden tot een elektriciteitsprijs van respectievelijk 10 en 8 c€/kWh. Deze prijs kan concurreren met de elektriciteitsprijs van off-shore wind maar niet met de prijs van 'grijze' stroom.

Het aanbod van windenergie is soms zo groot dat het huidige elektriciteitsnetwerk dat maar moeilijk kan verwerken, getuige de bijna-stroomstoringen in Noord-Nederland als gevolg van een groot Duits windaanbod. Dit grote aanbod leidt tot een grote hoeveelheid elektriciteit, dat volgens de Duitse wetgeving voorrang heeft op elektriciteit opgewekt met conventionele centrales, en het Noord Duitse net kan dit maar moeilijk aan. Het waarborgen van de voorzieningszekerheid wordt moeilijker en er ontstaat een instabiel netwerk. Bovendien kan een deel van het netwerk uitvallen met alle (financiële) gevolgen van dien. Onderzoek op het gebied van windenergie in Nederland richt zich dan ook op (ondermeer) technologie en methoden om de opbrengst van een windpark te optimaliseren en te integreren met de regelstrategie van de netbeheerder, daarbij rekening houdend met variabele levering en inpassing van een energiemix (inclusief handel op de vrije markt) en de transportcapaciteit van het nationale en Europese net²⁸. Daarnaast zijn van belang de voorspelling op korte termijn (1-24 uur) van de opbrengst en de regelbaarheid van een windpark.

5. BLOW en on-shore windenergie

On-shore windenergie in Nederland kreeg een belangrijke stimulans door het in 2001 tussen de Ministeries van EZ, VROM, Verkeer en Waterstaat (V&W), Landbouw, Natuur en Voedselveiligheid (LNV), Defensie, de twaalf provincies en de Vereniging van Nederlandse Gemeenten (VNG) afgesloten convenant genaamd Bestuursovereenkomst Landelijke Ontwikkeling Windenergie (BLOW)²⁹. Het doel hiervan was het plaatsen van een windvermogen van 1500 MW op land in 2010. Per provincie is een taakstelling vastgesteld. Een belangrijke conclusie van de tussenevaluatie is dat dit doel gehaald wordt³⁰, en dat dit vooral wordt veroorzaakt door de provincie Flevoland: zij heeft nu al haar taakstelling van

²⁷ A. Ritzen, *Grootschalige opslag van offshore windenergie "Wat en hoe?"*, Universiteit Utrecht, Rapport NWS-I-2005-7, juni 2005.

²⁸ Koninklijke Nederlandse Akademie voor Wetenschappen, *Voorstudie Wetenschapsverkenning Duurzame Energieconversie*, september 2005.

²⁹ Bestuursovereenkomst Landelijke Ontwikkeling Windenergie (BLOW), Ministerie EZ, juli 2001.

³⁰ M. van As, M. Duijn, G. J. Ellen, M. Pot, H. Puylaert, H. Werksma, *Wind gewogen, Tussenevaluatie BLOW*, TNO rapport EPS 2005-10, juni 2005.

220 MW gehaald. Naar verwachting zullen ook Noord en Zuid Holland haar taakstelling in 2010 gaan halen. Gelukkig maar, want de maatschappelijke tegenstand begint toe te nemen, vooral vanwege visuele en landschappelijke hinder. Samen met de lage politieke prioriteit in sommige provincies en de daarmee samenhangende langdurige vergunningprocedures leidt dit tot grote zorgen in de windenergie markt. Terwijl windenergie een rendabele investering is dankzij financiële prikkels van EZ middels de MEP subsidie.

Bij de plaatsing van windturbines zijn diverse partijen betrokken, zoals investeerders (energiebedrijven, projectontwikkelaars), lokale betrokkenen (omwonenden, grondgebruikers), overheden (gemeentes, provincies), belangengroepen (natuur- en milieuorganisaties). Dit kan gemakkelijk leiden tot een moeizaam proces tot daadwerkelijke realisatie. Desalniettemin wordt in de Nota Ruimte³¹ vermeld dat “realisering van 1500 MW windvermogen te land geschiedt om dwingende redenen van groot openbaar belang”, hetgeen een nadere ondersteuning is voor het BLOW convenant. Waar mogelijk moeten windturbines gebundeld worden in lijnen en parken en waar mogelijk moeten combinaties worden gezocht met infrastructuur en bedrijventerreinen. Bij voorkeur moeten nieuwe windturbines geplaatst worden in jonge, grootschalig ingerichte landschappen, aan de rand van open ruimten, mits daarbij het effect van visuele omheining wordt vermeden.

Provincies wordt vrij gelaten hoe zij de BLOW doelstellingen denken te halen, wel wordt verwacht dat zij een plan van aanpak hebben over ontwikkeling van locaties voor windturbines en de samenwerking met gemeentes. Gemeentes doen er voorts verstandig aan een bouwvergunning te verlenen met behulp van een ruimtelijke vrijstelling, wanneer een bouwplan met windturbines in strijd is met een bestemmingsplan. Vaak echter, is er in het bestemmingsplan niets opgenomen over windturbines en dan is een wijziging in het bestemmingsplan nodig via een Artikel 19 procedure. Dit artikel van de Wet op de Ruimtelijke Ordening³² biedt de gemeente de mogelijkheid om ontheffing van bepalingen in een bestemmingsplan te geven, en dit vindt slechts dan plaats als duidelijk is dat “het te realiseren project past binnen de toekomstige bestemming van het betreffende gebied”. Naast een bouwvergunning moet voor installaties met een capaciteit van meer dan 15 MW een milieuvergunning worden verkregen. Wanneer windturbines langs infrastructuur (auto-, spoor- en vaarwegen, of langs dijken) worden geplaatst is het beheersen van veiligheidsrisico's een extra vereiste³³.

6. Kleine windturbines in de gebouwde omgeving en infrastructuur

De moeizame procedures voor de realisatie van grote windenergieprojecten heeft er mede toe geleid dat de ontwikkeling van kleine windturbines voor de gebouwde omgeving in gang is gezet. Deze zogenaamde “urban turbines” met een capaciteit van 2-5 kW kunnen een bijdrage leveren aan de CO₂-reductie op locaties waar grote windturbines niet geplaatst kunnen worden. Opwekking van windenergie in de gebouwde omgeving maakt bovendien de productie van windenergie zichtbaar wat kan leiden tot een hogere acceptatiegraad. Men spreekt wel van het veranderen van het Nimby- (Not in my backyard) naar het Wimby- (Welcome in my backyard) effect. Daarnaast bieden kleine windturbines de mogelijkheid tot integratie in (energie-efficiënte) bouwontwerpen in navolging van integratie van

³¹ *Nota Ruimte, ruimte voor ontwikkeling*, vastgesteld in de Ministerraad d.d. 23 april 2004.

³² *Wet op de Ruimtelijke Ordening*, Wet van 5 juli 1962, houdende vaststelling van nieuwe voorschriften omtrent de ruimtelijke ordening, zie website www.wetten.nl.

³³ P.H. de Joode Mw. Ir. S. Onnink ir. B.A. van den Horn, *Windturbines langs auto-, spoor- en vaarwegen, beoordeling van veiligheidsrisico's*, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, rapport VRWP-R-99004.

zonnepanelen. Er zijn nog vele uitdagingen op technisch en implementatievlak, die voortvarend door een aantal Nederlandse bedrijven worden aangepakt. Dit leidt tot een divers aantal ontwerpen, zowel verticale als horizontale as turbines zijn en worden ontwikkeld.

In een studie uit 2002 wordt een indicatie gegeven van het marktpotentieel voor kleine windturbines³⁴. Het totale potentieel in 2020 wordt geschat op 56 MW, opgebouwd uit 38 MW op woningen en 18 MW op andere gebouwen zoals kantoren. Voor de bepaling van dit potentieel is uitgegaan van het totale dakoppervlak in Nederland en een gemiddeld vermogen van de turbine per vierkante meter dakoppervlak van 5 W/m². Hoewel er veel discussie is over dit relatief lage potentieel hanteert SenterNovem deze getallen “zolang er geen overtuigende aanwijzingen en/of bewijzen zijn dat de uitgangspunten uit dit rapport bijgesteld moeten worden”³⁵.

De toepassing van kleine windturbines langs bestaande infrastructuur biedt een mogelijkheid de problemen met visuele en landschappelijke hinder die men ondervindt bij de plaatsing van grote windturbines te vermijden, simpelweg omdat ze veel kleiner (<15 m) zijn dan grote turbines van 2-3 MW (100-150 m). De opbrengst in kWh/jaar per m² aërodynamisch oppervlak is wel lager, ongeveer een factor 4 vergeleken met grote turbines. Een potentieelstudie heeft aangetoond dat er ruim 750 MW aan kleine windturbines³⁶ plaatsbaar is langs infrastructuur³⁷ als waterwegen en havens (358 MW), spoorwegen (150 MW), snelwegen (75 MW), industrieterreinen (147 MW) en defensieterrinen (38 MW), waarbij het aantal benutbare kilometers is weergegeven in Figuur 2. Dit potentieel zal per jaar 900 GWh leveren en is meer dan de helft van de BLOW doelstelling. Tevens is 750 MW een “halve emmer” in plaats van een “druppel” van 56 MW.

Een kleinschalige windturbine in de gebouwde omgeving zal op het elektriciteitsnet worden aangesloten, meestal “achter de meter”. De opgewekte hoeveelheid elektriciteit wordt in het huis of gebouw gebruikt, wat zich manifesteert als een ogenschijnlijke vermindering van het elektriciteitsverbruik. Als er meer opgewekt wordt dan op dat moment gebruikt wordt, wordt het surplus teruggeleverd aan het net. Op deze manier moeten de kosten van elektriciteit opgewekt door de turbine concurrerend zijn met de consumentenprijs voor elektriciteit. Een MEP subsidie is in dit geval niet mogelijk.

De ontwikkeling van de kleine windturbine gaat nog gepaard met diverse knelpunten³⁸. Op het technische vlak is er nog onvoldoende bekend over het gedrag van wind die over gebouwen blaast. Er wordt vanuit gegaan dat de windsnelheid door concentratie- of tunneleffecten tientallen procenten hoger is. Daarnaast is de technische ontwikkeling van diverse ontwerpen nog niet geoptimaliseerd. Praktijktesten met prototypes zullen leiden tot betere producten en een betere voorspelbaarheid van de opbrengst. Anderzijds lijken

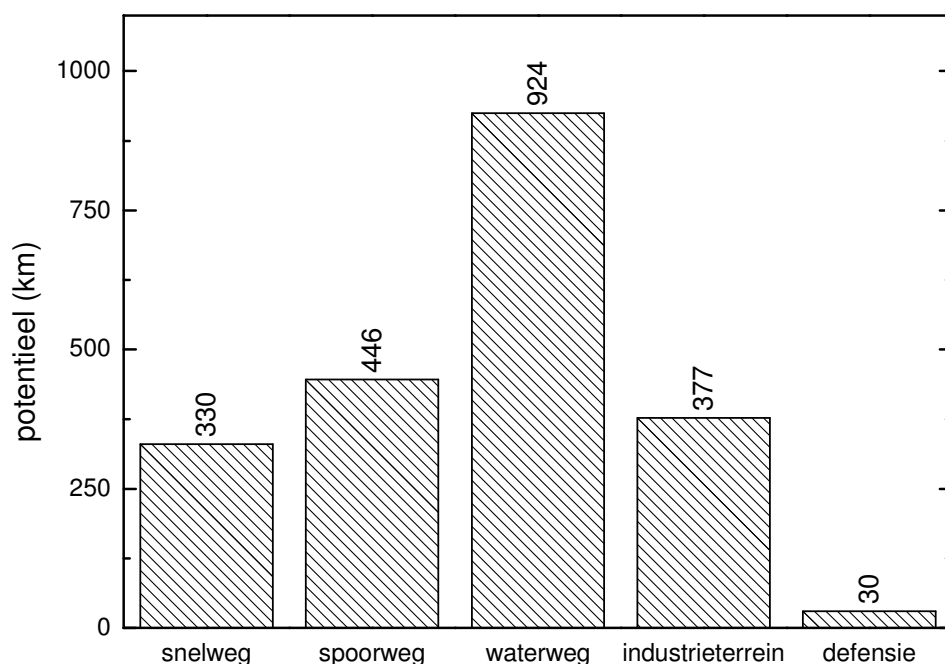
³⁴ L.G.J. Lakeman, D.J. Peters, K.M. Brüßau, R. Lichtenberg, H. Cleijne, R.J. Hoeve, *Opwekking van windenergie in de gebouwde omgeving*, Royal Haskoning, januari 2002.

³⁵ Zie website www.senternovem.nl/DEplanner, selecteer “Kleinschalige windenergie” bij de optie “Technologie”.

³⁶ Hierbij is uitgegaan van een WindWall systeem bestaande uit 10 segmenten van de WindWall 8000 dat in totaal een nominaal vermogen heeft van 150 kW bij een lengte van 104 m en een diameter van 8 meter.

³⁷ P. Rooijmans, *Haalbaarheidsstudie naar de inpasbaarheid van middelgrote WindWall turbines*, Universiteit Utrecht, Rapport NWS-I-2004-14, augustus 2004.

³⁸ Etienne Vermeer, *Slagroomkloppers, grasmaaiers of wikkels? Een onderzoek naar de implementatie van kleine windturbines in de gebouwde omgeving van Noord-Brabant*, Technische Universiteit Eindhoven, november 2003.



Figuur 2. Potentieel aan kilometers per categorie infrastructuur waarlangs kleine windturbines geplaatst kunnen worden.

ervaringen met de installatie van kleine windturbines erop te wijzen dat procedures met betrekking tot vergunningen veel sneller verlopen dan het geval is met grote turbines. Turbines met een rotordiameter kleiner dan 2 meter vallen bijvoorbeeld buiten de Wet Milieubeheer³⁹. Het verkrijgen van vergunningen is ingewikkeld omdat enerzijds het ruimtelijke beleid nog niet duidelijk is, en anderzijds omdat elke turbine opnieuw moet worden beoordeeld doordat er (nog) veel verschillende technologieën naast elkaar bestaan. Economische rendabel zijn de diverse types nog niet, maar in de toekomst wordt dat wel verwacht, zeker wanneer de kleine windturbines kunnen concurreren met de consumentenprijs voor elektriciteit door ze achter de meter te plaatsen. Daarnaast zullen grote productievolumes vanzelf leiden tot lagere kostprijzen voor de kleine turbines, geheel in de lijn van kostprijzontwikkeling volgens leercurves³⁷.

7. Tot slot

In deze bijdrage heb ik getracht in sneltreinvaart vele aspecten van de toepassing van grote en kleine windenergie de revue te laten passeren. Windenergie is een onlosmakelijk onderdeel van een duurzame samenleving die we zullen moeten bereiken via een uitdagende en mogelijk moeizame transitie. De aandacht voor windenergie richt zich vooral op off-shore toepassingen, maar we mogen de gebouwde omgeving niet vergeten. Daar waait het namelijk ook, weliswaar minder hard, maar de toepassing van kleine windturbines in de gebouwde omgeving fungeert daar tevens als ambassadeur voor windenergie en zal draagvlak vergroten. Er is nog een lange weg te gaan voordat urban turbines op grote schaal geïmplementeerd zullen zijn in de gebouwde omgeving. Hopelijk hebben we de wind in de rug!

³⁹ *Wet Milieubeheer*, Wet van 13 juni 1979, houdende regelen met betrekking tot een aantal algemene onderwerpen op het gebied van de milieuhygiëne, zie website www.wetten.nl.