

## BIJLAGE 4: WINDENERGIE

### 1 INLEIDING

4

Windmolens kunnen elektriciteit leveren zonder uitstoot van CO<sub>2</sub>.<sup>1</sup> Deze optie zou relevant kunnen worden, ook al is ze alleen inzetbaar voor de opwekking van elektriciteit indien ‘wind’ een significant aandeel in de opwekking van elektriciteit kan leveren tegen acceptabele kosten per eenheid vermeden CO<sub>2</sub> in vergelijking met andere opties. Hierover woedt een heftig debat,<sup>2</sup> mede onder invloed van ervaringen in Denemarken<sup>3</sup> en Noord-Duitsland, waar het aantal windmolens recentelijk sterk is toegenomen. Belangrijke kwesties zijn de betrouwbaarheid van elektriciteitsleverantie (het waait lang niet altijd, en soms juist veel te hard), de mate waarin windenergie bijdraagt aan CO<sub>2</sub>-mitigatie alsmede de kosten (windenergie kost de staat veel geld; mede daardoor is zij vooral een verschijnsel in landen van de OESO) en de landschappelijke effecten.

### 2 HET MITIGATIEPOTENTIEEL VAN WINDENERGIE

Het mitigatiepotentieel van windenergie wordt met name bepaald door de mate waarin molens fossiele centrales kunnen vervangen en de mate waarin de dan nog resterende fossiele centrales per kWh *extra* CO<sub>2</sub> uitstoten, om de gevolgen van de instabiele bijdrage van wind op te kunnen vangen.

#### 2.1 GRENZEN AAN DE UITBREIDING OP LAND

Een groot aandeel ‘wind’ vergt zeer veel windmolens (elk met een hoogte tot 150 meter, wieken meegerekend; de dom te Keulen is 157 meter) en veel ruimte.<sup>4</sup> De landschappelijke effecten daarvan zijn zo groot dat plaatsing op land op veel maatschappelijk verzet stuit. In Nederland wordt maximaal 1500 MW op het land plaatsbaar geacht. Daarvoor zijn 1500 molens van 1 MW of 750 van 2 MW nodig, waarmee – bij een *load factor* van 20 procent, zie hierna – een jaarproductie geleverd kan worden vergelijkbaar met die van één centrale van 300 MW, oftewel 3 procent van de gevraagde elektriciteit in 2020, dat is 1 procent van de primaire energievoorziening in ons land (zie ook tekstbox 1). De mitigatiebijdrage van windenergie zal daarom hoofdzakelijk moeten komen van windmolenparken op zee.

#### Tekstbox 1 Windenergie: enkele gegevens

Windenergie heeft de laatste decennia een forse groei doorgemaakt, vooral in Denemarken, Duitsland en recenter ook Spanje. De techniek voorziet tegenwoordig in ruim 1 procent van de mondiale elektriciteitsbehoefte en leidt tot een besparing van een 0,25 procent van het mondiale primaire brandstofverbruik. Nederland had tot voor kort het voornemen in 2020 6000 MW op zee en 1500 MW op land geplaatst te hebben.

## 2.2 IN WELKE MATE KAN WINDENERGIE FOSSIELE CENTRALES VERVANGEN?

De productie van windelektriciteit vertoont heftige fluctuaties – per dag, per week, per seizoen – veel meer nog dan de wind zelf. Vaak waait het niet of nauwelijks. Bij windkracht 3 tot 4 begint een molen een beetje stroom op te wekken. Bij toenemende wind neemt de elektriciteitsproductie meer dan evenredig toe, met de ‘macht drie’. Bij windkracht 10 of meer worden de molens stilgezet, om overbelasting van de turbine te voorkomen. Hierdoor ligt het effectief vermogen per jaar ver onder het geïnstalleerd vermogen van de windturbines. Deze zogeheten *load factor* ligt in Europa op land op zo’n 20 procent van het opgesteld vermogen. In Nederland is dat, afhankelijk van de standplaats, 18-25 procent. Voor wind op zee, waarmee nog nauwelijks ervaring is opgedaan, hoopt men op 30 procent of meer (zie ook tekstbox 2).<sup>5</sup>

### Tekstbox 2 Spreiding van windenergie?

Bij een sterkere geografische spreiding van windmolens kunnen fluctuaties in wind elkaar tot op zekere hoogte compenseren. Dan zou de behoefte aan reservecapaciteit lager zijn. Maar er zijn niet zo heel veel echt goede locaties voor windmolens.

Het waait gemiddeld meer op zee dan op land, en meer in de kustgebieden dan landinwaarts. De gebieden met een groot aanbod van wind zijn geconcentreerd op specifieke plekken. In landen als Groot-Brittannië en Ierland zijn de windpatronen relatief uniform; dat geldt ook voor Scandinavië en Noord-Duitsland. Voor het compenseren van fluctuaties zou de elektriciteit daarom van erg ver moeten komen. De capaciteit van de hoofdkabels die de nationale netten verbinden is echter nu al overbelast. En naarmate in elk van die landen het aandeel van wind groter wordt, komen de problemen weer terug; men moet rekening houden met vergelijkbare windkracht over grote gebieden.

Dat effectief vermogen is een gemiddelde. Windparken in Europa draaien twee derde van het jaar onder die 20 procent en een derde van het jaar onder de 10 procent (UCTE 2005).<sup>6</sup> In perioden met een hoge energievraag (koude- of hittegolf) is er vaak weinig wind. Om een tekortschietend aanbod op piekuren of uitval van hele windmolenparken (bij windkracht 3 of lager) op te kunnen vangen, moet er betrouwbare reservecapaciteit achter de hand zijn. Om de betrouwbaarheid van de elektriciteitsvoorziening te kunnen blijven garanderen, wordt in de literatuur ten eerste als vuistregel aangehouden dat – zolang er geen geschikte vorm van opslag van elektrische energie is gevonden, zie tekstbox 3 – het aandeel van windenergie in het elektriciteitssysteem niet boven 20-25 procent kan uitstijgen. Regionaal kan dat uiteraard meer zijn, zolang er voldoende beroep gedaan kan worden op import/export van elektriciteit van/naar omliggende gebieden (vergelijk Denemarken in de regio Scandinavië/Noord-Duitsland).

**Tekstbox 3 Opslag van opgewekte elektriciteit?**

Voor opslag van met wind opgewekte energie circuleren enkele mogelijkheden: opslag van elektriciteit in batterijen; productie en ondergrondse opslag van gecomprimeerde lucht of verzadigde stoom; het pompen van water in bekkens om op een geschikt moment waterkracht te produceren; het produceren van waterstof om naderhand daarmee weer elektriciteit te produceren. Al deze opties gaan gepaard met conversieverliezen en extra kosten. De eerste drie hebben beperkte capaciteit, en grootschalige efficiënte toepassing van waterstof is vooralsnog toekomstmuziek.

In welke mate kan een dergelijk aandeel van ‘wind’ fossiele centrales verdringen? Slechts een deel van het gemiddeld effectief windvermogen telt mee bij de capaciteit die men in het gehele systeem in tijden van piekvraag beschikbaar moet hebben. Dit deel is kleiner naarmate het aandeel van wind in de totale elektriciteitsproductie groter is, want dan nemen de potentiële schommelingen in het systeem toe (het aandeel van conventionele centrales is dan immers navenant kleiner). Een kleiner deel van het effectief vermogen kan dan als ‘zeker’ beschouwd worden.<sup>7</sup>

Tegen deze achtergrond wordt vervolgens in de verschillende studies de benodigde reservecapaciteit bij een gegeven penetratie van wind verschillend berekend. De CPB-studie komt voor 2020, bij een aandeel van wind van circa 15 procent op een capaciteitsfactor rond de 20 procent van het geïnstalleerd vermogen.<sup>8</sup> De recente, in Duitsland gezaghebbende DENA-studie (2005) concludeert dat de in Duitsland beoogde uitbouw van windenergie uitkomt op slechts 6 procent. Per 6000 MW kan dan één kolencentrale van 360 MW wegvallen. Soens (2005) concludeert in zijn dissertatie dat in België de capaciteitsfactor bij een geïnstalleerd vermogen van 5000 MW zou dalen tot onder de 10 procent. Voss (2003) spreekt over een ‘capaciteitskrediet’ van 10-13 procent van de geïnstalleerde *onshore*-windmolencapaciteit en 16-20 procent van de *offshore*-capaciteit. De conclusie moet zijn dat windmolenparken fossiele centrales slechts met een fractie van het geïnstalleerd vermogen kunnen vervangen, en die fractie neemt af naarmate het aandeel van wind toeneemt (zie onder meer Schultz et al. 2004; UCTE 2005; Soens 2005; White 2004; Liu et al. 2005; Pitt et al. 2005; Ilex Energy Consulting 2002; E-ON 2004; Alt 2005; Eirgrid 2004; Royal Academy of Engineering 2004; Verrips et al. 2005).

De conclusie is (a) dat het potentieel van wind de komende decennia beperkt is tot zo’n 20 procent van de op te wekken elektriciteit; dat is 6-7 procent van de primaire energievoorziening; en (b) dat de mate waarin daarmee fossiele energiecentrales worden vervangen, daar nog belangrijk onder blijft.

**2.3 HET MITIGATIEPOTENTIEEL VAN WINDENERGIE**

Als het aandeel van windenergie beperkt moet blijven tot hooguit 20-25 procent van de elektriciteit, dan is dat ook het maximum voor de bijdrage aan de CO<sub>2</sub>-reductie in de elektriciteitssector. Dat komt neer op maximaal 6-7 procent van de

totale CO<sub>2</sub>-emissie, want elektriciteit heeft tegenwoordig in de EU een aandeel in de CO<sub>2</sub>-emissies van rond 33 procent (mondiaal 40%). Dit bescheiden potentieel wordt nog minder (zie de eerder in deze paragraaf aangehaalde literatuur)<sup>9</sup> als men rekening houdt met (a) het fossiele brandstofverbruik in de conventionele, draaiende ‘stand-by-reserve’; (b) de extra CO<sub>2</sub>-uitstoot per kWh die ontstaat door de inefficiëntie waarmee compenserende elektriciteitsopwekking nodig is; en (c) het verlies van een deel van de opgewekte windelektriciteit tijdens het transport, want goede windlocaties zijn meestal ver verwijderd van de eindbestemmingen. Ook is van belang op te merken dat de bijdrage van elk extra windpark aan de beperking van de CO<sub>2</sub>-uitstoot afneemt naarmate de elektriciteit die in het resterende park van kolen- en gascentrales wordt opgewekt, inmiddels minder koolstofintensief is geworden dankzij hogere efficiëntie (zie bijlage 2), door bijstoken van biomassa en dergelijke (Schultz et al. 2004; Kennedy 2005). En dat het resterende park efficiënter wordt, is voor een effectief klimaatbeleid een *conditio sine qua non* gezien de omvang van de mitigatie-uitdaging (zie hoofdstuk 4). Al met al zal het mitigatiepotentieel van windenergie de komende decennia eerder onder dan boven 5 procent van de jaarlijkse CO<sub>2</sub>-emissie zijn.

### 3 DE KOSTENEFFECTIVITEIT VAN CO<sub>2</sub>-MITIGATIE VIA WINDENERGIE

269

#### 3.1 UITEENLOPENDE SCHATTINGEN VAN DE ELEKTRICITEIT OPGEWEKT MET WINDMOLENS

De kosten(schattingen) per kWh van windelektriciteit lopen sterk uiteen. De ene bron geeft 5-6 eurocent per kWh op een goede kustlocatie en landinwaarts tot 8 eurocent; de andere 9-12 eurocent per kWh. Maar er zijn ook schattingen tot 3-4 eurocent per kWh, bijna gelijk aan de kostprijs van conventioneel opgewekte elektriciteit (zie tekstbox 4). Die verschillen komen vooral door (a) de grote verschillen tussen locaties qua windaanbod en afstand tot de centra van elektriciteitsgebruik; goede locaties zijn er in bepaalde delen van de zeeën, de kuststroken, de Great Plains (vs) en dergelijke; en (b) het verschil in investeringskosten op land in vergelijking tot de zee.<sup>10</sup>

#### Tekstbox 4 Actuele cijfers over de kosten van windenergie

In Nederland bedraagt volgens de overheid (lees het ECN) de kostprijs op land 9-10 cent en op zee 12 cent per kWh (Kooijman en Van Sambeek 2003).<sup>11</sup> In Duitsland wordt 6-9 cent per kWh aan steun betaald voor *onshore* en 9c per kWh *offland* (Alt 2005). In Engeland wordt gesproken over *onshore* 5,5 eurocent per kWh en *offshore* 8,2 per kWh (Royal Academy of Engineering 2004); inclusief de systeemkosten 8,1 respectievelijk 10,8. De cijfers voor *offshore* zouden in Engeland hoger zijn: 12 eurocent per kWh. Het IEA noemt tussen 3,5 en 6 dollarcent per kWh, maar wijst erop dat ook 9,5 dollarcent per MWh mogelijk is. Voss (2003) noemt 8-13 cent per kWh exclusief systeemkosten. In de studie van EW1/RW1 wordt 9 cent per kWh opgegeven. Ter vergelijking: in aardgascentrales is de kostprijs voor elektriciteit 3 cent per kWh.

Hieruit blijkt dat windelektriciteit vanaf de meeste locaties vooralsnog bepaald niet goedkoop is.<sup>12</sup>

4

### 3.2 EXTERNE KOSTEN VOOR MILIEU, NATUUR EN LANDSCHAP

Voor een beoordeling van de kosten van windenergie zijn ook de externe kosten van zowel conventionele als windenergie van belang. De externe kosten van fossiele elektriciteit door emissies waaronder CO<sub>2</sub> zijn voor de huidige generatie kolencentrales in Nederland (zonder CCS) berekend op 3 tot 4 eurocent per kWh,<sup>13</sup> maar dat zou bij moderne centrales uiteraard veel lager uitvallen. Bij windenergie zijn er nauwelijks emissies, maar wel aanzienlijke hinder- en landschapseffecten waarvoor geen aanvaarde kostenramingen zijn en die wel het potentieel op land zeer beperkt maken.

### 3.3 DE TE VERWACHTEN KOSTENDALING ONDER INVLOED VAN SCHAAL- EN LEEREFFECTEN

De prijs van windturbines daalde van 1400 euro per kWh in 1990 naar 830 euro in 2004. Een groot deel van die daling deed zich voor in periode 1990-1994, en er is al een aantal jaren een vertraging te zien in de kostendaling per eenheid (Alt 2005). De leer- en schaafeffecten lopen voor de verschillende componenten van de kostprijs uiteen. De aerodynamica en turbinetechniek zouden inmiddels vrijwel uitontwikkeld zijn. Ook komt er een eind aan de mogelijkheid grotere windmolens te bouwen. Of men van de overige kosten (montage, civiele techniek op zee, kabelnetten) langdurig belangrijke kostenreducties mag verwachten, lijkt betwistbaar.<sup>14</sup> Hoewel er ongetwijfeld kostendalingen door leer- en schaafeffecten zijn te verwachten, zal dat niet in dalend tempo gaan.<sup>15</sup> Daar staat tegenover dat er op land weinig goede locaties wat betreft windaanbod en maatschappelijk draagvlak resteren, waardoor men voor uitbouw van windenergie is aangewezen op de relatief dure *offshore*-locaties. Bovendien stijgen bij een toenemend aandeel van wind ook de systeemkosten (zie paragraaf 2 en 3.4). Overigens moet de te verwachten kostenontwikkeling bij wind worden vergeleken met die bij andere mitigatieopties.

### 3.4 DE TOENEMENDE SYSTEEMKOSTEN BIJ EEN SIGNIFICANT AANDEEL VAN WIND

In veel publicaties wordt niet of nauwelijks rekening gehouden met systeemkosten, die wanneer windenergie een substantieel aandeel begint te krijgen, aan windenergie moeten worden toegerekend.<sup>16</sup> De afgelopen jaren is duidelijk geworden dat deze kosten substantieel zijn (White 2004; Strbac 2004; Royal Academy of Engineering 2004; Liu et al. 2005, Beckman 2005; Ilex Energy Consulting 2002; Liik et al. 2005; Schultz et al. 2004). Het gaat om de volgende kostenposten.

Ten eerste de kapitaalslasten van (a) extra netinfrastructuur (goede locaties voor windparken liggen vaak ver van gebruikscentra; er moet dan extra infrastructuur worden aangelegd voor transport van elektriciteit) en (b) het aanhouden van conventionele reservecapaciteit (zie paragraaf 2).

Ten tweede gaat het om extra variabele kosten die elders in het systeem gemaakt moeten worden. In het elektriciteitsnet moet het energieaanbod van seconde tot seconde exact zijn afgestemd op de vraag. De schommelingen van wind (per minuut, uur en etmaal), die bovendien lastig te voorspellen zijn, vergen dat een deel van de reservecapaciteit op afroep beschikbaar moet zijn om direct de rol van wind te kunnen overnemen. Deze *spinning reserve* betekent draaiende fossiele centrales. Omgekeerd, als het aanbod van windelektriciteit juist toeneemt op momenten dat de vraag daarbij achterblijft of afneemt, moeten de gewone centrales op een lager pitje gaan draaien, want netbeheerders zijn verplicht om windelektriciteit af te nemen, en opslag van elektriciteit is niet mogelijk (zie tekstbox 3). Dit alles leidt zowel tot variabele kosten voor het gedeeltelijk draaiend houden van de reservecapaciteit (de *spinning reserve*) als tot extra kosten verbonden aan het geringere rendement van de back-upcapaciteit doordat die met wisselend vermogen<sup>17</sup> moet draaien.

Voor deze systeemkosten worden in de hier geraadpleegde literatuur bedragen genoemd van 0,3-0,4 cent tot 2,4 eurocent per kWh.

### 3.5 DE LAGE KOSTENEFFECTIVITEIT VAN MITIGATIE MET BEHULP VAN WINDENERGIE

De voorgaande paragrafen leiden tot de conclusie dat de kostprijs van windenergie per kWh vooralsnog een factor 1,5-3 zo hoog is als de gemiddelde kostprijs via conventionele centrales. De optie wind wordt dan ook tot op heden alleen gekozen bij de gratie van een zeer forse specifieke ondersteuning door overheden (zie onder anderen Michaelowa 2005; Brandt en Svendsen 2004; Schultz et al. 2004). Een aanzienlijk hogere olieprijs zorgt uiteraard voor een ander beeld, maar daarvan zullen ook andere opties voor mitigatie in de sector elektriciteit profiteren, zoals moderne kolencentrales inclusief CCS, de inzet van gas, biomassa en/of kernenergie.

Gezien de verschillen in berekende kosten van windenergie worden ook de kosten per ton vermeden CO<sub>2</sub> verschillend ingeschat. Maar de cijfers en de schattingen voor de komende decennia geven geen aanleiding tot groot optimisme,<sup>18</sup> te meer omdat die kosteneffectiviteit onder druk komt te staan als wind in de plaats komt van centrales met een hoger energetisch rendement en/of meer gebruik van gas en biomassa (zie paragraaf 2.2).

Deze geforceerde uitbouw van wind levert weliswaar mitigatie in de elektriciteitsopwekking op (in afnemende mate, want als verouderde centrales vervangen zijn, verdringt wind vooral relatief efficiënte centrales),<sup>19</sup> maar tegelijk blijven veel goedkopere mogelijkheden in andere sectoren en landen onbenut. Die goed-

kopere mogelijkheden komen ooit ook aan de beurt, en daarom is deze geforceerde uitbouw van wind vanuit de optiek van het mitigatiebeleid weggegooid geld (Schultz et al. 2004; Wissenschaftlichen Beirat 2004; Verrips et al. 2005; Beckman 2005).<sup>20</sup> Het CPB schat dat de Nederlandse plannen voor het bouwen van 6000 MW aan windmolens in zee 3,4-6 miljard euro meer kosten dan opleveren, rekening houdend met indirecte effecten zoals milieuwinst.<sup>21</sup>

#### 4 BEOORDELING

Anno 2006 kan windenergie moeilijk gezien worden als een voor de komende 30-40 jaar veelbelovende mitigatieoptie. Het maximale mondiale potentieel is relatief gering, ten gevolge van het fluctuerend windaanbod en de eisen die in de moderne samenleving aan de betrouwbaarheid van het elektriciteitssysteem worden gesteld. Van het beperkte potentieel zal, omdat wind een dure optie is, hooguit een klein deel benut gaan worden, voornamelijk in rijke landen. Plaatsing van molens op land roept veel verzet op. Een significante inzet van windenergie zal het moeten hebben van relatief dure windparken op zee en gaat bovendien gepaard met toenemende systeemkosten waaronder het investeren in de benodigde conventionele reservecapaciteit.

Windenergie scoort niet goed wat betreft synergie met andere opties. Integendeel: het mitigatiepotentieel en de kosteneffectiviteit ondervinden negatieve effecten van toenemende efficiëntie en afnemende koolstofintensiteit in het conventionele park. Wel heeft een groter aandeel wind een gunstig effect op de energiezekerheid. De betekenis daarvan is echter beperkt: de huidige afhankelijkheid van olie treft vooral de transportsector en die heeft weinig aan windenergie; de overige fossiele brandstoffen raken in geen eeuwen uitgeput. De bestrijding van overige vormen van luchtverontreiniging blijkt met *end-of-pipe*-voorzieningen zeer succesvol, en dat tegen veel lagere kosten dan windenergie en dergelijke.

De kans dat men met wind een ‘winner’ heeft geselecteerd, lijkt dan ook gering (ook al kan windenergie op kleinere schaal, in bijzondere situaties – bijvoorbeeld in afgelegen gebieden waar geen netinfrastructuur is – een zeer nuttige functie vervullen).<sup>22</sup> Het besluit om nu reeds tegen hoge kosten te investeren in groot-schalige toepassing van wind lijkt een voorbeeld van overhaaste *technology push* (Bower 2003; Keay 2005; Verrips et al. 2005: 16). Andere opties, zoals efficiëntere conventionele centrales, toepassing daarin van CCS, een toenemend aandeel van gas en/of kernenergie; gebruik van cellulosehoudende biomassa, het tegengaan ontbossing en de reductie van methaan (zie paragraaf 3 en de overige bijlagen) hebben een groter potentieel en lijken minder kostbaar.

## GERAADPLEEGDE LITERATUUR

- Alt, H. (2005) The economics of wind energy within the generation mix, *International Journal of Energy Technology and Policy* 3, 1/2: 158-182, [www.countryguardian.net](http://www.countryguardian.net).
- Auer, H. (2004) *Modeling system operation cost and grid extension cost for different wind penetrations based on GreenNet*, IEA Workshop Wind Integration, 2004 Green-Net [www.iea.org/dbtw-wpd/textbase/work/2004/nea/auer.pdf](http://www.iea.org/dbtw-wpd/textbase/work/2004/nea/auer.pdf)
- Beckman, K. (2005) Miljardensteun voor windmolens slecht besteed, *Het Financieele Dagblad*, 28 september.
- Beurskens, M. (2004) Windenergie, in: *Energieopties voor de 21e eeuw*, Wiardi Beckman Stichting, [www.wbst.nl/renderer.do/clearState/true/menuId/143974/returnPage/21915](http://www.wbst.nl/renderer.do/clearState/true/menuId/143974/returnPage/21915).
- Bower, J. (2003) *UK Offshore wind generation capacity: a return to picking winners?*, Oxford.
- Brandt, U.S. en G.T. Svendsen (2004) Fighting Windmills: The Coalition of Industrialists and Environmentalists in the Climate Change Issue, *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics* 4: 327-337.
- DeCarolis, J. en D. Keith (2005) *The economics of large-scale wind power in a carbon constrained world*, Energy Policy in press.
- Deutschen Energie-Agentur (2005) *Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore (DENA-Netzstudie)*, [www.deutsche-energie-agentur.de/page/index.php?id=2764&type=5](http://www.deutsche-energie-agentur.de/page/index.php?id=2764&type=5).
- Eirgrid (2004) *Impact of Wind Power Generation in Ireland on the Operation of Conventional Plant and the Economic Implications*, [www.eirgrid.com/EirGridPortal/uploads/Publications/Wind%20Impact%20Study%20-%20main%20report.pdf](http://www.eirgrid.com/EirGridPortal/uploads/Publications/Wind%20Impact%20Study%20-%20main%20report.pdf).
- E-ON Netz (2004) *E-ON Wind Report 2004*, [www.energybulletin.net/3424.html](http://www.energybulletin.net/3424.html).
- Schwankhaus, D. (2004) *Success of Wind Power – a question of state and federal subsidies?* Ernst & Young, [www.ey.com/.../\\$file/Success%20of%20Wind%20Power\\_A%20Question%20of%20State%20and%20Federal%20subsidies.pdf](http://www.ey.com/.../$file/Success%20of%20Wind%20Power_A%20Question%20of%20State%20and%20Federal%20subsidies.pdf).
- Holttinen, H. en R. Hirvonen (2005) Power System Requirements for Wind Power. Chapter 8 in: *Wind Power in Power Systems*, Ackermann (ed.), Wiley & Sons Ltd.
- House of Lords – Intermittency and security of supply; Chapter 7 in: *Science and Technology – Fourth Report*, [www.publications.parliament.uk/pa/ld200304/ldselect/ldsctech/126/12609.htm](http://www.publications.parliament.uk/pa/ld200304/ldselect/ldsctech/126/12609.htm).
- IEA (2005a) *Offshore Wind Experiences*, Paris, [www.iea.org/textbase/papers/2005/offshore.pdf](http://www.iea.org/textbase/papers/2005/offshore.pdf).
- IEA (2005b) *Variability of Wind Power and other Renewables*, Paris, [www.iea.org/textbase/papers/2005/variability.pdf](http://www.iea.org/textbase/papers/2005/variability.pdf).
- Ilex Energy Consulting en G. Strbac (2002) *Quantifying the system costs of additional renewables in 2020*, [www.dti.gov.uk/energy/developpep/o8oscar\\_report\\_v2\\_o.pdf](http://www.dti.gov.uk/energy/developpep/o8oscar_report_v2_o.pdf).
- Justus, D. (2005) *Wind Power Integration into Electricity Systems*, Organisation for Economic Cooperation and Development (2005) CoM/ENV/EPOC/IEA/SLT, [www.oecd.org/dataoecd/22/37/34878740.pdf](http://www.oecd.org/dataoecd/22/37/34878740.pdf).
- Keay, M. (2005) *Wind Power in the UK: Has the Sustainable Development Commission Got it Right?*, Oxford Institute for Energy Studies.



- Kennedy, S. (2005) Wind power planning: assessing long-term costs and benefits, *Energy Policy* 33: 1661-1675.
- Keussen, U., C. Schneller en W. Winter (2005) Ergebnisse und Konsequenzen der ‘Dena-Netzstudie’, *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 55, 4: 258-261.
- KIVI (2002) *Windenergie. Resultaten van een debat tussen voor- en tegenstanders van windenergie*, [www.ingenieurs.net/Resource.phx/sig/sig-energie/windenergie.htx](http://www.ingenieurs.net/Resource.phx/sig/sig-energie/windenergie.htx).
- Kooijman, H.J.T. en E.J.W. van Sambeek (2003) *Kosten Duurzame Elektriciteit, Windenergie op Zee*, ECN.
- Liik, O., R. Oidram, M. Keel en M. Landsberg (2005) *A New Method for Estimation of Fuel Savings by Wind Energy and its Impact on Power systems Planning*, [pakri.info-web.ee/admin/files/ettekane1.pdf](http://pakri.info-web.ee/admin/files/ettekane1.pdf), Tallinn.
- Lindenberger, D. (2004) *Costs of integrating wind energy in Germany*, IEA Workshop May 2004, [www.iea.org/textbase/work/2004/nea/lindenberger.pdf](http://www.iea.org/textbase/work/2004/nea/lindenberger.pdf).
- Liu, J., G.C. van Kooten en L. Pitt (2005) *Integrating Wind Power in Electricity Grids: An Economic Analysis*, <http://repa.econ.uvic.ca/publications.htm>, REPA.
- Michaelowa, A. (2005) The German Wind Energy Lobby: How to Successfully Promote Costly Technological Change, *European Environment* 15, 3: 192-199, [www.hwwa.de/Forschung/Klimapolitik/docs/2005/Publ/Michaelowa\\_German\\_Wind\\_Energy.pdf](http://www.hwwa.de/Forschung/Klimapolitik/docs/2005/Publ/Michaelowa_German_Wind_Energy.pdf).
- Pitt, L., G.C. van Kooten, Love en Djilali, *Utility-scale Wind Power: Impacts of Increased Penetration*. Working Paper 2005-02, REPA Research Group, University of Victoria <http://repa.econ.uvic.ca/publications.htm>.
- Rabl, A. (2002) *The ExternE Project of the EU*, [www.netl.doe.gov/publications/proceedings/03/valuing-ext/abstracts/Rabl.pdf](http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/03/valuing-ext/abstracts/Rabl.pdf).
- Rosenbloom, E. (2005) *A Problem With Wind Power*, [www.aweo.org/problemwith-wind.html](http://www.aweo.org/problemwith-wind.html).
- Royal Academy of Engineering (2004) *The Costs of Generating Electricity*, [www.raeng.org.uk](http://www.raeng.org.uk).
- Sambeek, E.J.W. van et al. (2003) *Onrendabele toppen van duurzame elektriciteitsopties*, ECN.
- Schultz, W. et al. (2004) *Gesamtwirtschaftliche, sektorale und ökologische Auswirkungen des Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG); Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA)*. EWI Köln, IE; RWI [www.uni-koeln.de/wiso-fak/energie/Veroeffentlichungen/pdf/Auswirkungen\\_EEG.pdf](http://www.uni-koeln.de/wiso-fak/energie/Veroeffentlichungen/pdf/Auswirkungen_EEG.pdf).
- Shakoor, A. en G. Strbac (2004) Impact of intermittent renewable generation on system security, IEE.
- Sharman, H. (2003) *Danish lessons. The dash for wind. West Denmark's Experience and UK's energy aspirations*, [www.countryguardian.net](http://www.countryguardian.net).
- Soens, J. (2005) *Impact of wind energy in a future power grid*, Leuven.
- Strbac, G. (2004) *Quantifying the System Costs of additional renewables in the UK*, IEA.
- Teyssen, J. en M. Fuchs (2005) *E.ON Wind Report 2005*, [ventdecolere.org/archives/doc\\_reference/eon%202005%20Report.pdf](http://ventdecolere.org/archives/doc_reference/eon%202005%20Report.pdf).
- UCTE (Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity) (2005) *Integrating wind power in the European power systems – prerequisites for succesful and orga-*

- nic growth*, [www.ucte.org/pdf/publications/2004/ucte-position-on-wind-power.pdf](http://www.ucte.org/pdf/publications/2004/ucte-position-on-wind-power.pdf).
- Verrips, A., H. de Vries, A. Seebregts en M. Lijesen (2005) *Windenergie op de Noordzee*, CPB, *Een maatschappelijke kosten-batenanalyse*, [www.cpb.nl/nl/pub/cpbreeksen/bijzonder/57/bijz57.pdf](http://www.cpb.nl/nl/pub/cpbreeksen/bijzonder/57/bijz57.pdf), Den Haag.
- Verwer, J. (2003) *Men kan de Euro maar een keer uitgeven*, Ruimte in debat 04-2003.
- Voss, A. (2003) *Windenergie – Entwicklungen. Erwartungen und energiewirtschaftliche Einordnung*, Stuttgart: Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), [www.energie-fakten.de/pdf/voss-windenergie.pdf](http://www.energie-fakten.de/pdf/voss-windenergie.pdf).
- White, D. (2004) *Reduction in Carbon Dioxide Emissions: Estimating the Potential Contribution from Wind Power*, [www.countryguardian.net](http://www.countryguardian.net).
- Winter, W. (2005) *Network Planning, Windpower integration into the transmission system*, E.ON Netz GmbH, [www.iea.org/textbase/work/2004/nea/winter.pdf](http://www.iea.org/textbase/work/2004/nea/winter.pdf).
- Wissenschaftlichen Beirat beim Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Keulen 2004, *Gutachten: Zur Förderung erneuerbaren Energien*, [www.sfv.de/lokal/mails/wvf/zukunftd.htm](http://www.sfv.de/lokal/mails/wvf/zukunftd.htm).

## NOTEN

- 1 Met uitzondering van de fossiele energie die is aangewend voor de plaatsing van die molens.
- 2 Zie voor Nederland bijvoorbeeld KIVI 2002.
- 3 Het aandeel wind zou in Denemarken gestegen zijn tot 20 procent van de elektriciteitsvoorziening; maar men moet daar een groot deel van de jaarlijks geproduceerde windenergie exporteren naar Noorwegen (deels tegen zeer lage vergoeding) en omgekeerd als wind het laat afweten elektriciteit importeren (zie onder meer White 2004; Sharman 2003; Liik et al. 2005).
- 4 De molens moeten geplaatst zijn op een onderlinge afstand van minstens zesmaal de diameter van de rotorbladen. De bebouwing moet op 500 meter afstand blijven in verband met geluidshinder en slagschaduw bij lage zon.
- 5 Overigens ligt het windaanbod in ons land de laatste jaren zo'n 20 procent onder het langjarig gemiddelde. Zet die trend zich door, dan wordt de *load factor* (nog) geringer.
- 6 De ervaring in Noord-Duitsland is dat bij piekperioden windturbines nauwelijks bijdragen (E.ON 2004; Teyssen en Fuchs 2005; Alt 2005). Windparken met een aandeel van 10 procent in de totale capaciteit kunnen in piektijden samenvallend met windstilte hooguit 5 procent van die capaciteit leveren, dus hooguit 0,5 procent van de totale piekbehoefte (Alt 2005).
- 7 Zie ook Verrips et al. 2005: 70-71. "De 'capacity credit' van een windpark daalt van 98 procent van een load factor (bij een zeer klein aandeel wind) naar circa 50 procent van de 'load factor' als de opgestelde windcapaciteit 40 procent van de totale capaciteit uitmaakt."
- 8 Verrips et al. 2005: 69-70.
- 9 Hierdoor zou volgens Soens de maximale CO<sub>2</sub>-reductie in België beperkt zijn tot 2-4 procent van de emissies in de Belgische elektriciteitssector. Dat maximum wordt bereikt bij een vrij lage penetratie van windenergie, in België in de orde van 700 MW; dat is een geïnstalleerd vermogen van rond 5 procent van het totale parkvermogen. Een hogere penetratiegraad resulteert niet in meer CO<sub>2</sub>-mitigatie, omdat het behoud van betrouwbaarheid gepaard gaat met te veel extra emissies (Soens 2005: 163).
- 10 Een windmolenpark vergt geen brandstofkosten, maar wel hoge investeringen. Die zijn per kW offshore 1,5 maal zo hoog als *onshore*, en *onshore* is tweemaal zo duur als Combined Cycle Gas Turbine (CCGT) (*load factor* 85-90%).
- 11 Wind op land heeft volgens het ECN een onrendabele top van 7,8 cent, en wind op zee van 9,7 cent. Windleveranciers ontvangen sowieso de gewone stroomprijs van 2,7 cent.
- 12 Sommige auteurs menen dat aangezien levering van windelektriciteit alleen dankzij de reservecapaciteit gegarandeerd is, de prijs van de windenergie pas concurrerend is als hij gedaald is tot alleen het variabele deel van de prijs van vervangende energie.
- 13 Gascentrales: 1-2 eurocent per kWh, kernenergie 0,7 cent (Rabl 2002).
- 14 Zie ook Verrips 2005: 33 e.v., zij het voor een iets andere inschatting.

- 15 De vuistregel dat verdubbeling van het geïnstalleerd vermogen leidt tot afname  
van de kosten met 10 procent impliceert dat de kostenreductie in de tijd afneemt,  
16 want het kost steeds meer tijd een verdubbeling te bereiken, Verrips 2005: 32.
- 17 In de oudere literatuur werden deze kosten vaak niet meegenomen; en in de meer  
recente literatuur worden ze soms omgeslagen over alle elektriciteit.
- 18 Waaronder dure ad-hocinkoop van energie; hogere kosten netbeheer; snellere  
slijtage van reservecapaciteit; energieverlies door elektriciteitstransport over  
relatief lange afstanden.
- 19 In de DENA-studie (2005): 95-168 euro per ton CO<sub>2</sub> tot 2007. Specifiek voor  
*offshore* worden bedragen genoemd van 60-70 euro per ton CO<sub>2</sub>. Voss (2003)  
geeft op: 85-170 euro per ton CO<sub>2</sub>. Andere bronnen noemen nog aanzienlijk  
hogere bedragen. De DENA-studie spreekt van een mogelijke daling tot 44-77  
euro per ton CO<sub>2</sub> in 2015.
- 20 Zie Schultz et al. (2004). In 2004-2010 daalt het gecumuleerd primair energiege-  
bruik van 4800 PJ tot 4000 PJ; zet men in Duitsland de beoogde verdubbeling  
van het aandeel hernieuwbaar door, dan daalt dat gebruik nauwelijks extra tot  
3900 PJ en nemen de CO<sub>2</sub>-emissies nauwelijks extra af. Tussen 2006-2010 stabili-  
seert de CO<sub>2</sub>-emissie ondanks een extra input wind.
- 21 Tot deze conclusie komen ook de auteurs van het CPB-rapport in *Het Financieele  
Dagblad* (Beckman 2005): “Het aanleggen van windmolens op zee doet de vraag  
naar CO<sub>2</sub>-rechten afnemen, omdat je voor windenergie geen rechten hoeft te  
kopen. Daardoor daalt de prijs, waardoor andere mogelijkheden om CO<sub>2</sub>-uitstoot  
terug te dringen, bijvoorbeeld door energiebesparing, worden verdrongen. Per  
saldo levert de subsidiëring van windmolens dus niet minder CO<sub>2</sub>-uitstoot op.  
Dat Brinkhorst toch doorgaat met het ondersteunen van windmolens op zee,  
heeft mede te maken met de EU-doelstelling voor duurzame energie waar Neder-  
land aan moet voldoen. (...) Het is vreemd dat de EU-lidstaten zich vastpinnen op  
zo’n doelstelling, terwijl het emissiehandelssysteem al een plafond oplegt.”
- 22 De recente CPB-studie (Verrips et al. 2005) beperkt zich tot maatschappelijke  
kosten en baten van windparken op de Noordzee, beoordeeld vanuit Nederlandse  
(niet-mondiale) optiek. Daarbij bleef het maximaal potentieel vanuit oogpunt  
van bijvoorbeeld betrouwbaarheid buiten beschouwing, evenals een vergelijking  
qua potentieel en kosteneffectiviteit met verschillende in ontwikkeling zijnde  
alternatieven zoals kolen + CCS, en het matigend effect van toepassing daarvan op  
de CO<sub>2</sub>-mitigatieprijs. Desalniettemin komt ook deze studie tot de conclusie dat  
Nederland, zolang men gehouden is aan de Europese doelstelling op het vlak van  
duurzame energie, zich moet beperken tot een beperkte gefaseerde opbouw van  
windcapaciteit (het profiteert dan van de te verwachten geleidelijke kostendaling  
van turbineplaatsing en – indien het komt tot stringent Europees klimaatbeleid –  
de oplopende prijzen voor CO<sub>2</sub>-emissierechten; en van de mogelijk stijgende olie-  
prijzen). In *Het Financieele Dagblad* voegt men daaraan toe: “Zo’n gefaseerde  
aanpak is misschien het beste gegeven de EU-doelstellingen die er zijn op dit  
gebied. Maar op basis van de kosten en baten ligt uitstel meer voor de hand dan  
een gefaseerde ontwikkeling” (Beckman 2005).
- Bijvoorbeeld bij productie van kunstmest, drinkwaterwinning uit zeewater, of  
andere zaken waarbij voorraadvorming mogelijk is.