



# De brandstofkosten van windenergie; een goed bewaard geheim.

K. de Groot & C. le Pair

[kenjdegroot@mac.com](mailto:kenjdegroot@mac.com)

[clepair@casema.nl](mailto:clepair@casema.nl)

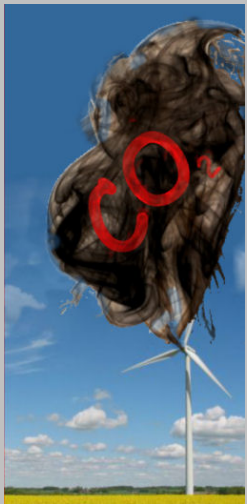
## Samenvatting

*Elektriciteit uit wind legt beslag op de capaciteit van centrales, die gestookt worden met fossiele, of andere brandstof. Hoe groot dat beslag is, en hoeveel extra brandstof het kost, is onbekend. In het onderstaande artikel is een schatting gemaakt. Dit extra brandstofbeslag moet worden gevoegd bij de brandstof, die bouw en installatie van windmolens met de bijbehorende netinpassingsapparatuur en leidingen vergen. Samengenomen is het twijfelachtig of windelektriciteit brandstof spaart en CO<sub>2</sub>-uitstoot vermindert. Vermoedelijk is dat niet het geval. Wat overeind blijft, zijn de extra kosten.*

## Inleiding.

De wind krijgen wij kosteloos, maar dat betekent niet dat de elektriciteitsopwekking met windkracht dat ook is. De installaties kosten geld en energie voor de bouw. En de daarvoor benodigde fossiele brandstof is extra, want de leidingen, turbines en andere apparatuur zijn dat ook. Naast een windinstallatie moet namelijk een ongeveer even groot conventioneel opwekkingsvermogen in stand worden gehouden. Het gaat dus altijd om dubbele machinerie en extra transport capaciteit.

De kosteloze wind komt niet op bestelling. Hij varieert. Soms is er veel wind, soms weinig. En die variaties sporen niet met de elektriciteitsbehoefte. Omdat er nog geen economisch-technisch verantwoorde manier is om elektrische energie op te slaan, wordt de windvariatie ondervangen door gewone elektriciteitscentrales in te schakelen of uit te zetten. In zijn onlangs verschenen proefschrift concludeert Ummels op basis van modelstudies, dat dit bijsturen 'probleemloos' kan, zelfs wanneer wind in 33% van de Nederlandse elektriciteitsbehoefte zou voorzien<sup>1</sup>. Anderen zijn hierover terughoudender. In het rapport 'De regelbaarheid van



elektriciteitscentrales' van april 2009<sup>2</sup> lezen we o.a.:

*“De reactiesnelheid van het productiepark op verstoringen kan slechts vergroot worden door inefficiënte open-cycle gasturbines te gebruiken of door te kannibaliseren op betrouwbaarheid en levensduur van grote, efficiënte centrales. Dat betekent dat flexibiliteit zich vertaalt in inefficiëntie, en meer brandstofinzet en meer CO<sub>2</sub> uitstoot dan op grond van gemiddelde rendementen mag worden verwacht.”*

En verder:

*“Regelen kost geld: elke variatie in output van een centrale creëert extra slijtage. De slijtage is groter naarmate er sneller geregeld wordt. Daarnaast gaat regelen gepaard met lagere energetische rendementen, hetgeen hogere kosten en milieubelasting betekent...”*

Hoewel dit laatste rapport dus het probleem van de verminderde efficiëntie aanstipt, bevat het geen aanwijzingen over de omvang daarvan en evenmin van de bijbehorende extra fossiele energieconsumptie. Beide studies zijn wat de feitelijke uitkomsten van de inschakeling van windvermogen betreft, gebaseerd op aannames. Het in Nederland opgestelde windvermogen is nog lang niet de 6000 megawatt, die het kabinet voor ogen staat. De regelproblemen treden pas goed aan het licht, indien het windvermogen een beduidende fractie van het totale vermogen uitmaakt. Daarom hebben wij onze schatting gebaseerd op gegevens uit Duitsland, waar intussen al ongeveer 23 gigawatt (GW) aan windvermogen operationeel is en waar bepaalde feitelijke gegevens publiek zijn gemaakt

## **Duitsland.**

Onze Oosterburen zetten grootschalig in op de toepassing van windenergie, en ze publiceren daar ook regelmatig over<sup>3</sup>. De windturbines staan verspreid over heel Duitsland, van de Noordzee ('offshore') tot Beieren. Sinds 2000 is het opgesteld vermogen gestegen van 6 GW tot maar liefst ruim 23 GW in het jaar 2008. (Het vermogen van een flinke conventionele elektriciteitscentrale, is doorgaans in de orde van grootte van 1 GW.) De Duitsers zijn ook open over de energieopbrengst van hun molens, zoals blijkt uit de tabel. De gegevens zijn ontleend zijn aan het 'Windenergy Report 2008<sup>3</sup>'.

Tabel 1.

<b>Jaar</b>	<b>Vermogen [ MW ]</b>	<b>Opbrengst [ TWh ]</b>	<b>Windmolen- Rendement</b>
2000	6050	8,8	17%
2001	8680	10,9	14%
2002	11850	17	16%
2003	14500	19,2	15%
2004	16480	26,8	19%

2005	18290	27,1	17%
2006	20470	31,2	17%
2007	22090	40	21%

Het opgestelde wind elektriciteitsvermogen in Duitsland en de feitelijke jaarlijkse opbrengst in terawattuur met het daarvan afgeleide gemiddelde windmolenjaarendement (=verhouding effectief vermogen/ opgesteld - naamplaat - vermogen).

Over deze reeks van jaren is het windmolenrendement (= de verhouding van wat feitelijk naar het net werd gestuurd t.o.v. dat wat met het opgesteld vermogen maximaal zou kunnen worden geleverd) 17% (ongewogen) of 17,5% (gewogen). Hierbij moet bedacht worden dat windelektriciteit in Duitsland wettelijk voorrang heeft op het net. Als er windelektriciteit voorhanden is, moet die ook worden afgenomen. Andere centrales moeten dan worden teruggeregeld.

Deze getallen hebben betrekking op het totaal van de windmolens verspreid over heel Duitsland, dus het effect van windvariaties over het gehele land is meegenomen. De bijdrage van deze enorme opgestelde capaciteit is nogal bescheiden, naar het ons voorkomt. Het effect van spreiding van de turbines over een groot geografisch gebied loste dat probleem niet op. En dat geldt niet alleen voor Duitsland<sup>4</sup>.

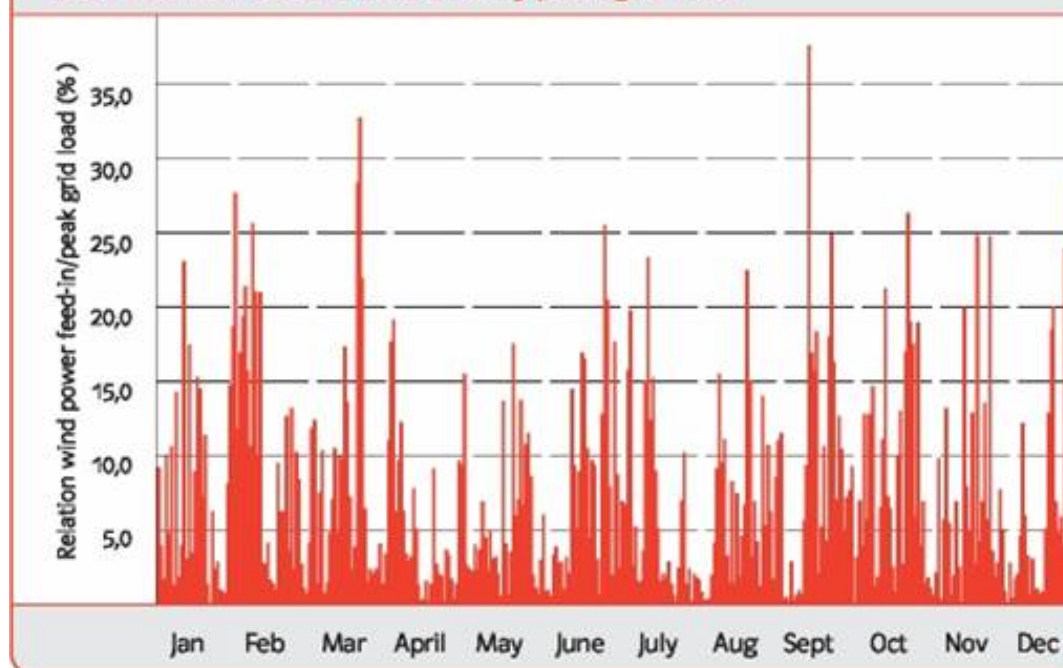
Maar, elke duurzaam opgewekte kilowatt is er een, en dat betekent dus een besparing op fossiele brandstoffen en dus ook vermindering van afhankelijkheid van de leveranciers van fossiele brandstof en een lagere CO<sub>2</sub> uitstoot, zou men denken. Daar is het immers allemaal om begonnen.

### **Wind & elektriciteit.**

In de inleiding noemden wij al het probleem, van de variatie in het windaanbod en het gebrek aan economisch-technisch aanvaardbare elektriciteitsopslag. Dat dit geen kleinigheid is, illustreert bijgaande figuur.

### 3. Wind power feed-in in the E.ON control area

2004 between 0.2 and 38% of daily peak grid load



Figuur. (E.ON Wind report 2005) Fractie geleverde windelektriciteit aan het net over ~ 7 GW (meer dan het huidige voorgenomen Nederlandse) opgesteld windvermogen. Dit toont de windstroomfluctuaties. Zij varieerden van 0,2% tot 38% van de totale door het bedrijf aan het net geleverde elektriciteit.

Hier toont de grootste Duitse windelektriciteitsproducent, E.ON, hoe in een jaar de fractie 'wind' van de door haar geleverde stroom fluctueerde tussen de uitersten 0,2% en 38%. E.ON had op dat moment ongeveer zoveel windvermogen als onze regering voor de toekomst in Nederland voor ogen staat. De sterke variabiliteit in de opbrengst wordt mede veroorzaakt door de natuurwet die zegt dat de energieopbrengst van wind met de derde macht van de windsnelheid verandert. Als de windsnelheid de helft is van die waarbij de turbine zijn maximale capaciteit levert, wordt slechts 1/8 of te wel 12,5% van die capaciteit geleverd. Verder waait de wind soms dagen helemaal niet. Dan moet alle stroom weer van de gewone centrales komen.

Om de duurzaam opgewekte energie optimaal te benutten heeft de Duitse overheid daarom een aantal maatregelen moeten nemen. Eén daarvan is: als windelektriciteit wordt aangeboden, heeft die voorrang. De levering door de andere centrales moet dan worden verminderd. Wanneer de wind gunstig is, lopen veel molens op maximale capaciteit en wordt er in Duitsland dus tot 23 GW aan windelektriciteit aangeboden en geleverd<sup>6</sup>. Is er geen of weinig wind, dan moeten de andere elektriciteitscentrales dus tot 23 gigawatt extra leveren. Dat betekent – en dat blijkt ook in de praktijk volgens Prof. Alt uit Aachen<sup>5</sup> – dat er in Duitsland 23 GW aan vermogen 'stand-by' dient te staan om de fluctuaties in de wind - en dus in de elektriciteitsproductie - op te vangen. (In het windenergie rapport wordt uitgegaan van ca. 90% stand-by vermogen; misschien omdat ook in werkelijkheid nooit 100% is gehaald.) Het kost natuurlijk extra kapitaal om al dat extra – dubbele - vermogen op te stellen, om de aanpassingen aan het koppelnet te maken en om de ongewenste windfluctuaties op te vangen. Maar over de economische aspecten willen wij het hier niet hebben.

Waar wij nader op in willen gaan is het effect van die variabele bijleveringen op de efficiëntie van conventionele centrales, gestookt op kolen, gas, olie en kernenergie. Over de extra brandstof, die dat kost, worden voor zover wij konden nagaan, geen gegevens bijgehouden. Ze worden althans niet gepubliceerd. De niet-wind gedreven centrales doen braaf wat er van ze wordt gevraagd. Zij verzorgen de leveringszekerheid. Daarom hebben wij de stoute schoenen aangetrokken en geprobeerd te schatten wat het effect van die windvariaties op de efficiëntie en het brandstofverbruik van de andere centrales is. Hopelijk zijn er onder de lezers van dit blad deskundigen, die echte gegevens hebben en die onze schattingen willen verbeteren. Of misschien wil een minister er eens indringend bij de industrie om vragen?

Voor het berekenen van dit effect moeten we enkele aannamen maken.

1. Allereerst, dat de opgestelde windvermogen capaciteit elk jaar een aantal keren wordt gehaald; dat betekent dat die totale vermogen capaciteit ook moet kunnen worden geleverd op het moment dat er geen wind is. Deze aanname wordt gesteund door de observatie van Prof Alt, dat er in Duitsland en Denemarken nog geen enkele “conventionele centrale” is gesloten na de komst van de wind energie. Alt concludeert dat het equivalent van 100% van de opgestelde wind capaciteit aan fossiele centrales stand-by moet staan – anderen noemen dit ‘spinning reserve’ – om leveringszekerheid te garanderen<sup>5</sup>.
2. We nemen ook aan dat de compenserende centrales slechts gedeeltelijk door laag-rendement gasturbines gedreven zijn. Door goede planning kan een deel van de stochastische windfluctuatie door op en afregelen van efficiënte conventionele centrales geregeld worden. Alleen de ergste fluctuaties worden door gasturbines, die snel reageren, opgevangen. (Zoals gezegd brengt het op- en afregelen van de basisopwekking ook slijtage en extra brandstofgebruik met zich mee<sup>2</sup>.)
3. We nemen aan dat de elektrische efficiëntie van een goede moderne centrale 55 % is, en die van een gasturbine (snel op en af regelend) 30%. Tussen deze uitersten ligt dus ergens het rendement van de ‘back up’.
4. We weten dat 1 kWh elektrisch 270 gram kolen kost<sup>3</sup>, zodat 1 kWh door de wind opgewekt dus ook 270 g kolen spaart – zonder de kosten van de back-up inefficiëntie.

Wij beschouwen nu de productie van 100 kWh elektriciteit waarvoor windmolens zijn gebouwd. Na een jaar blijkt daarvan 17,5 kWh afkomstig geweest van wind en de rest van conventionele centrales, die als back-up voor de windturbines dienen. Als die conventionele centrales hun stroom onder optimale condities leveren, kost dat  $82,5 \times 270 = 22\ 275$  g kool en wordt  $17,5 \times 270 = 4\ 725$  g kool bespaard op de productie van de

100 kWh.

Echter, de windproductie, die voorrang heeft op het net, dwingt de producent om de conventionele back-up centrales reactief op en af te regelen. Hierdoor neemt het rendement af. In het uiterste geval als alleen open-cycle gasturbines de fluctuaties op zouden kunnen vangen, daalt het rendement naar ca 30%.

Tabel 2 laat zien hoe dit afnemend rendement de conventionele brandstof besparing beïnvloedt. Bij een calorisch rendement van ca 45% bij de back-up productie slaat de besparing al om naar extra brandstof inzet. Wind inzet levert onder deze condities dan ook direct extra CO<sub>2</sub> uitstoot op. Waarlijk een contra intuïtieve uitkomst! Een cynicus zou kunnen menen dat OPEC en Putin de inzet van wind energie moeten aanmoedigen om onze afhankelijkheid van hun leveranties te vergroten.

Let wel, dit verlaagde rendement heeft uitsluitend betrekking op de centrales die back-up moeten staan dan wel leveren. De overige conventionele centrales werken door op hun normale rendement.

Tabel 2.

Rendement conv.Centr	Verbruik [ g st.kool ]	Extra verbruik	Besparing [ g st.kool ]	Zichtbaar rend.conv.
55%	22275	0	4725	55%
53%	23116	841	3884	54%
51%	24022	1747	2978	53%
49%	25003	2728	1997	52%
47%	26066	3791	934	51%
45%	27225	4950	-225	50%
43%	28491	6216	-1491	49%
41%	29881	7606	-2881	48%
39%	31413	9138	-4413	48%
37%	33111	10836	-6111	47%
35%	35004	12729	-8004	46%
33%	37125	14850	-10125	45%
31%	39520	17245	-12520	44%
29%	42246	19971	-15246	43%
27%	45375	23100	-18375	42%
25%	49005	26730	-22005	41%

Tabel 2. De primaire brandstof besparing (kolom 4) bij verlaagde efficiëntie ten gevolge van fluctuerende levering in de conventionele back up centrales (kolom 1) en de algehele verlaging van de efficiëntie van alle conventionele centrales samen (kolom 5).

In Duitsland wordt ongeveer 9 % van de totale elektriciteitsproductie door de wind geleverd. Indien de molens steeds op vol vermogen zouden werken, zou dat  $(100/17,5) \times 9\% = 51,4\%$  van alle elektriciteit zijn. Slechts 48,6% kan dus op de

meest efficiënte manier door de overige centrales worden geleverd, zeg met 55% rendement. De ontbrekende stroom,  $100 - 9 - 48,6 = 42,4\%$  van de elektriciteit, wordt door de conventionele centrales op niet-optimale wijze, als back up, geproduceerd. Daardoor wordt bij de lagere rendementen, waarvoor wij in Tabel 2 de 'besparingen' berekenden, de algehele, 'zichtbare rendementen' van de conventionele centrales berekend met:

$$\{42,4 \times (\text{gereduceerd rendement}) + 48,6 \times 55\} / 91\%$$

Het resultaat is weergegeven in de laatste kolom van die tabel. Een vermindering van 55% naar bv. 50% oogt niet dramatisch. Maar in dat laatste geval betekent het wel, dat de hele windmolen- plus extra apparatuur en leidingen investering voor niets is geweest. Het spaart geen fossiele brandstof en de CO<sub>2</sub>-uitstoot is groter dan zonder windmolens. Het is de vraag of een daling van het rendement door de windinzet 'überhaupt' is opgevallen, omdat deze daling vrij willekeurig verdeeld wordt over vele producenten en primaire energietypes (kool, olie, gas, bruinkool, kernenergie).

Onze schattingen hebben alleen betrekking op de energieuishouding tijdens de operatie van de centrales. Extra energie en arbeidskosten ten gevolge van de noodzaak om 100% back-up te hebben, en de energie en arbeidskosten van het koppelnet met zijn regelsystemen zijn niet in beschouwing genomen. (Ook de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die vrij kwam bij de bouw van al die apparaten en hun onderhoud bleef buiten beschouwing.)

Het back-up probleem blijft zeker verborgen, zolang het opgestelde windvermogen klein is. Wellicht is het in Nederland nog niet opgemerkt. In elk geval niet door de milieubeweging of door de Ministers Cramer en Verhoeven.

### **Tenslotte.**

Wij hebben het economische aspect van de windmolenelektriciteit in het bovenstaande niet aangeroerd. Wanneer namelijk blijkt, dat grootschalige windinzet alleen maar meer brandstof kost en meer CO<sub>2</sub> produceert, dan zonder, is elke € eraan besteed verkwisting. Maar indien het back up rendement zou blijken te liggen in het grensgebied met nog wel enige brandstofbesparing en een beetje verminderde CO<sub>2</sub>-uitstoot, dan ligt een economische afweging in de rede. Daarom vermelden wij nog even de verschijning dezer dagen van een studie, 'Economic impacts from the promotion of renewable energies'. Die karakteriseert vanuit economisch gezichtspunt de inzet van wind- en zonne-energie in Duitsland als een enorme verspilling.

### **Conclusies:**

1. Het is nodig om op basis van feiten, niet van modellen, vast te stellen, wat de verhoging van het brandstofverbruik ten gevolge van de *verlaagde efficiëntie* van de fossiele bijleveringen is, voordat in Nederland grote wind energie investeringsplannen worden omgezet in werkelijkheid.
2. Windenergie kost al gauw meer dan het oplevert; niet alleen aan geld, maar ook aan brandstof en in dat geval vergroot het de CO<sub>2</sub>-uitstoot.
3. Het is de hoogste tijd dat de elektriciteitsmaatschappijen eigener beweging de werkelijke gegevens over het extra brandstofgebruik publiek maken, of anders dat zij daartoe worden gedwongen.

## Referenties & noten.

1. B.C. Ummels: Power System Operation with Large-Scale Wind Power..., Diss. TU Delft, februari 2009.
2. G. Dijkema, Z. Lukszo, A. Verkooijen, L. de Vries & M. Weijnen: De regelbaarheid van elektriciteitscentrales. Een quickscan in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken, TU Delft, 20 april 2009.
3. Windenergy Report Germany 2008, ISET, Univ Kassel, Deutschland.
4. Brits Hogerhuis, Select Committee on Economic Affairs, Report 'The Economics of Renewable Energy, 2007-08': "...*The wider the area of interconnectedness, the more likely it is that variations in wind patterns will cancel out, although the weather may sometimes be similar over even a wider area. For example, we received some evidence that low wind speeds in the UK could coincide with similar conditions in Germany, Ireland and even as far away as Spain.*"
5. H. Alt: Hardhoehengespraech Siegsburg 30 sep 2009
6. Zelfs dat is niet helemaal waar. Een deel van de geproduceerde windelektriciteit is overcompleteet. Professor Alt beschrijft aan de hand van Duitse ervaringen wat er dan gebeurt. De windstroom gaat om niet naar het buitenland en er worden hoge boetes uitgedeeld. De rekening krijgt de bevolking.
7. M. Frondel, N. Ritter & C. Vance: Economic impacts from the promotion of renewable energies: The German experience; Rheinisch-Westfälisches Inst. f. Wissenschaftsforschung, October 2009.  
[http://www.instituteforenergyresearch.org/germany/Germany\\_Study\\_-\\_FINAL.pdf](http://www.instituteforenergyresearch.org/germany/Germany_Study_-_FINAL.pdf)

