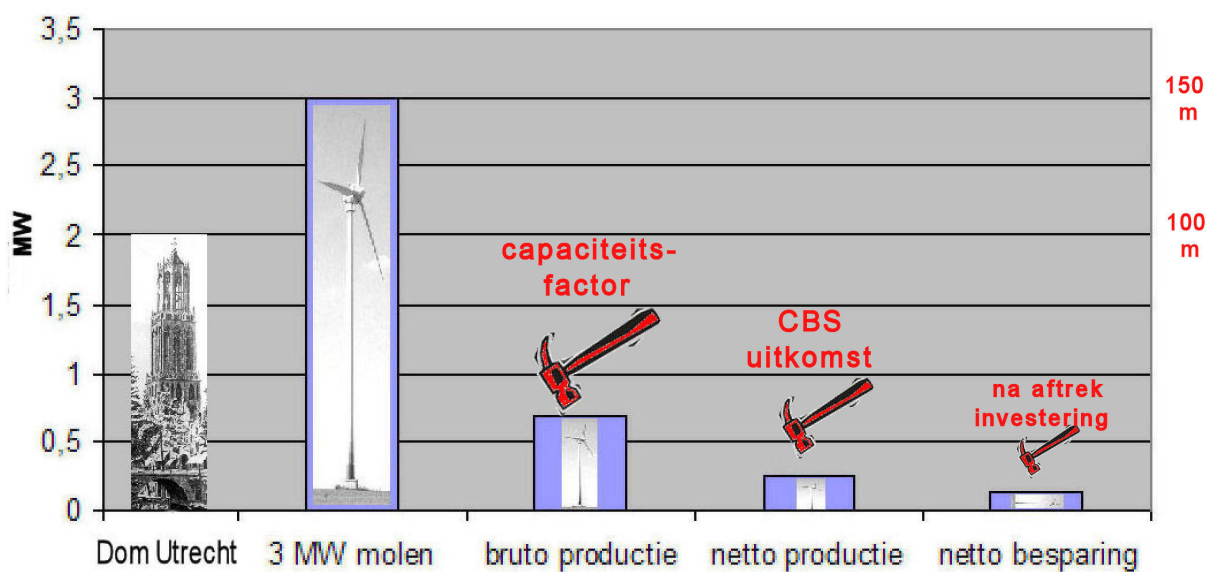


Brandstofbesparing bij de Nederlandse elektriciteitsvoorziening

door

C. (Kees) le Pair

opbrengst van een 150 m hoge windturbine met
een vermogen van 3 MW



clepair@casema.nl

www.clepair.net

VOORWOORD BIJ DE TWEEDE, HERZIENE, UITGAVE.

Een collega onderzoeker van de toevoeging van wind geproduceerde elektriciteit aan het net, George Taylor, attendeerde mij op een rekenfout in de uiteindelijke berekening van de effectiviteit waarmee windstroom fossiel geproduceerde stroom vervangt en daarmee navenant brandstof bespaart. In deze tweede versie is die fout gecorrigeerd, waardoor een aantal van de genoemde resultaten veranderen. In de oorspronkelijke versie was de slotsom dat de gezamenlijke windparken in Nederland gemiddeld effectief 4% van het geïnstalleerde vermogen fossiel geproduceerde stroom vervangen in de zin dat ze de daarbij horende fossiele brandstofinzet besparen. Het blijkt dat die besparing in feite ongunstiger is. Er wordt slechts 1,6% bespaard.

C. le Pair

Nieuwegein, 2012 08 29.

Samenvatting voor de gehaaste lezer

Brandstofbesparing bij de Nederlandse elektriciteitsvoorziening

Windmolens dienen om elektriciteit te produceren, fossiele brandstof te sparen en CO₂-uitstoot te vermijden. Doen zij dat en in welke mate? Zij kosten extra geld. Bestaande producenten kunnen ook zonder molens in de behoefte voorzien. Gelukkig, want er moet eveneens stroom zijn, wanneer het windstil is. Zijn de molens kosteneffectief?

Over het antwoord op die vragen is veel gesteggel. Er waren tot voor kort onvoldoende gegevens over het effect van windstroom op fossiel gestookte generatoren. Daardoor wist men niet of en hoeveel fossiele brandstof windturbines besparen. Er zijn wel modelstudies gedaan. Over de uitkomsten daarvan strijden voor- en tegenstanders van de molens.

Nu het molenpark zijn huidige omvang heeft bereikt, zijn de resultaten eindelijk nationaal op macroniveau zichtbaar. Het CBS publiceert op zijn webstek Statline gedetailleerde gegevens van de stroomproductie van de verschillende machines en de brandstof die zij gebruiken. Hieruit zijn trends af te lezen waaruit de invloed van de windontwikkeling blijkt. De cijferreeksen beslaan tot nu toe de periode 1998 – 2010.

In het navolgende rapport vermelden wij eerst kenmerken van de elektriciteitsvoorziening in Nederland, zoals verbruik, productie naar generatortype, brandstofinzet en rendementen. Het opgesteld vermogen was ~27 GW (gigawatt, d.i. een miljard watt). Het gemiddeld binnenlands stroomverbruik was ~14 GW. Hernieuwbaar produceerden we 1,26 GW, waarvan 0,49 met windturbines en 0,73 uit biomassa. De totale binnenlandse productie neemt sneller toe dan het verbruik. Daardoor neemt het saldo import – export over de landsgrenzen af. Het zal vermoedelijk in 2012 omslaan in netto export.

Uit de CBS-cijfers blijkt dat de bouw van een nieuw windpark met bv. een vermogen van 100 MW (Megawatt, d.i. een miljoen watt) gemiddeld 23 MW aan stroom levert. De 12 jarige trends leren dat dit op het moment in ons land de brandstof van 6,17 MW fossiel geproduceerde elektriciteit uitspaart. Omdat de molenbouw, installatie, bekabeling en aanpassing aan het net energie heeft gekost, moet die eerst met de 23 MW worden ‘terugverdiend’. Daarvoor moet volgens onze gegevens gedurende de levensduur van die installaties tussen de 3 en 4,6 MW worden afgetrokken. Dat brengt de effectieve besparende stroom terug tot ongeveer 1,6 MW. Die elektriciteit kan een enkele gasturbine voor een fractie van de kosten op afroep produceren. Dat laatste geldt niet voor het windvermogen: geen wind, geen stroom.

Hiermee leveren de windmolens **macro-economisch een Megaverlies** op.

Naarmate er windmolens bijkomen nemen de verliezen toe. Wij schatten dat bij een *windvermogen* van 20% van het *verbruik* – het is thans 15% - de verdere besparing nihil is. Dan steekt bovendien een nieuw soort verliezen de kop op: ‘curtailment’. Het net kan dan een deel van de windstroom niet meer opnemen. Hierdoor slaat de toch al minieme besparing versneld om in een vergroting van de fossiele brandstofinzet en CO₂-uitstoot. De wereld op zijn kop!

INHOUD.

<u>Pagina</u>	
3	Samenvatting voor de gehaaste lezer
5	Verbruik
5	Herkomst
6	Vermogen
7	Capaciteitsfactor windmolens
7	Stroomafname
8	Variaties
9	Generatoren
10	Warmte-kracht
11	Rendement – gasgeneratoren i.h.b. STEGs
14	Rendementsverandering
15	Besparing
16	Windstroom ↔ biomassa
17	De opbrengst van windbijdragen
17	Discussie
19	Voorlichting door Agentschap EZL&I
20	Conclusie
22	<i>Appendix</i> besparing
22	<i>Appendix</i> Elektriciteit en hernieuwbare energie
23	<i>Appendix</i> Effectiviteit van de windbijdrage
24	<i>Appendix</i> Grafieken

Nederlandse elektriciteitsvoorziening; brandstofbesparing door windmolens.

Het Centraal Bureau voor de Statistiek, CBS, verzamelt en publiceert op zijn webstek 'Statline' systematische gegevens van de Nederlandse elektriciteitsvoorziening. Dit overzicht en beschouwing zijn daaraan ontleend. De meeste cijfers bestrijken de jaren 1998 – 2010. Voor 2010 maakt het CBS nog het voorbehoud 'voorlopig'.

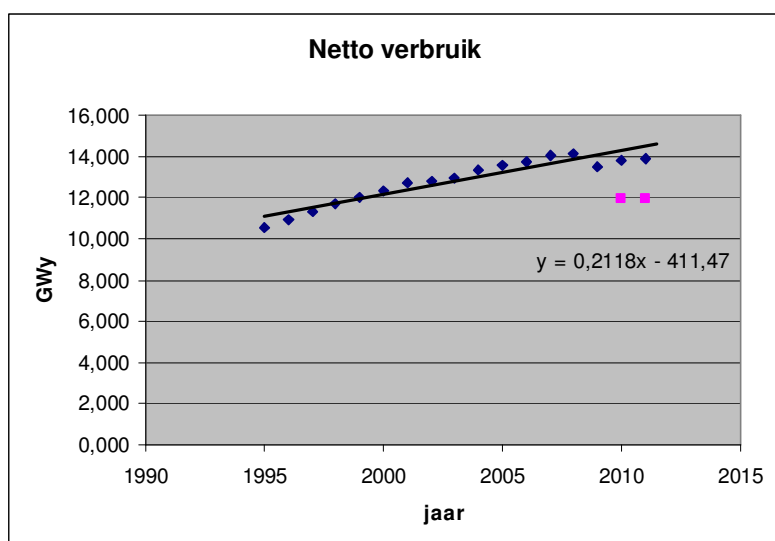
Elektrische energie wordt vaak uitgedrukt in kWh (kilowattuur) en warmte in J (joule). Voor het land als geheel zijn dat vervelend grote getallen. Wij hanteren daarom GWy (gigawattjaar) zowel voor elektrische energie als voor warmte¹. Aansluitend gebruiken wij GWe (gigawatt elektrisch) voor vermogen.

Verbruik

Het netto elektriciteitsverbruik in het land staat in figuur 1. Het is in 2010 ~ 14 GWy en neemt trendmatig jaarlijks toe met 0,212 GWy². In 2009 zien we de dip van een economische crisis.

De binnenlandse productie groeit sterker. Daarom neemt het import-export saldo de laatste jaren af. Indien de trend doorzet zal het omstreeks 2012 omslaan van netto import naar export.

Figuur 1.



Herkomst

Elektriciteitproductie van gespecialiseerde bedrijven die het landelijke stroomnet voeden duidt men aan met 'centrale productie'. Andere bedrijven, industrie en tuinders bijvoorbeeld, hebben installaties om (deels) in eigen stroombehoefte en warmtebehoefte te voorzien. Die leveren de voor hen overtollige stroom ook aan het net. Dit is 'decentrale productie'. Het CBS telt ook windturbines, zonnecellen en waterkrachtinstallaties als 'decentraal'.

Centraal en decentraal samen zijn de nationale productie.

De primaire energie om elektriciteit te maken verkrijgen wij uit aardgas, steenkool, uranium, stookolie, biomassa, wind, industriële restgassen, waterkracht, zon en diversen. De productiegegevens zijn samengevat in een overzicht, tabel 1. Naast de omvang van de bijdrage in 2010 – volgens de trendlijnen – de actuele hoeveelheid kan daar iets van afwijken

¹) 1 GWy = 1 000 000 x 24 x 365 kWh. 1 kWh = 1000 x 3600 J. 1 TJ = 10¹² J. J = Joule.

²) Het verbruik is de som van de netto binnenlandse productie en het saldo van invoer en uitvoer. 'Netto' betekent dat het is gecorrigeerd voor eigen gebruik bij de productie, 4,1% in 1995, geleidelijk afnemend naar 3,3% aan het eind van de periode. En ook voor 3,7% transportverliezen in het net. Verschillende Statline tabellen geven iets van elkaar verschillende productiecijfers. Het verschil is in de jaren vóór 2005 ca. 1% (in figuur 1 nauwelijks zichtbaar) in 2005 is het nog 0,34% en nadien verdwijnt het. (?) Van de twee laatste jaren zijn er ook verbruikscijfers van TenneT. Die zijn weer anders. Ze zijn als paarse vierkantjes in de figuur weergegeven.

– het percentage [%] van het totaal, de jaarlijkse trendmatige groei, benevens het percentage van deze groei [% t.o.v. de afzonderlijke bijdrage in 2010] is aangegeven.

Tabel 1

Trendmatige bijdrage tot nationale elektriciteitsproductie in 2010³

Energiebron	productie	% van totaal	groei p.a.	groei p.a.
	GWy		GWy	%
nationale productie	13,03	100,00%	0,252	1,89%
fossiele productie	11,00	84,42%	0,155	1,41%
nucleaire productie	0,46	3,53%	0,002	0,43%
hernieuwbare energie	1,26	9,67%	0,091	7,22%
uit aardgas	7,80	59,86%	0,177	2,27%
uit steenkool	2,62	20,11%	-0,013	-0,50%
uit stookolie	0,01	0,08%	-0,004	-40,00%
uit overig fossiel	0,49	3,76%	-0,0049	-1,00%
biomassa	0,73	5,60%	0,0492	6,74%
wind	0,49	3,76%	0,0412	8,37%
waterkracht	0,011	0,08%	-0,0001	-0,89%
zon	0,006	0,05%	0,0005	8,06%
overige energiedragers	0,34	2,52%	0,0042	1,25%

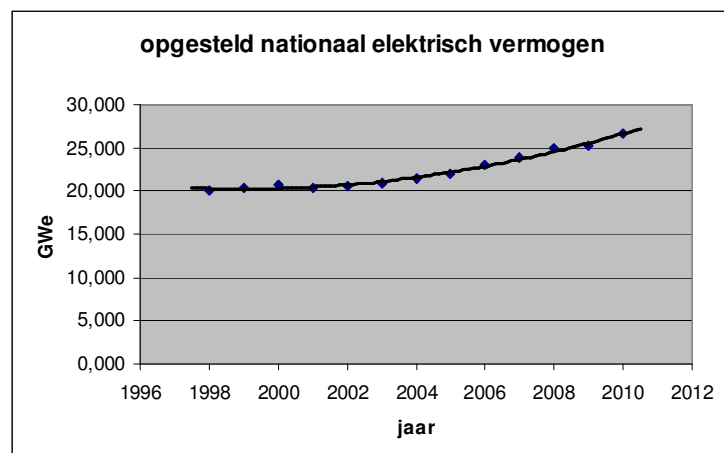
We zien de nationale productie groeien met 0,252 GWy p.a. Dat is meer dan de groei van het verbruik (0,212 GWy p.a.). De fossiele productie domineert (~ 84%). Aardgas is de grootste contribuant (~ 60%). Kernenergie blijft nagenoeg constant, stookolie raakt uit de gratie, steenkool, overig fossiel en waterkracht nemen licht af. (NB. Er staat momenteel veel nieuwe steenkool capaciteit op stapel.) Biomassa, windstroom en zonnestroom zijn relatief sterke groeiers. De productie van zonnestroom legt nog geen gewicht in de schaal.

De toename van de productie uit aardgas (0,177 GWy p.a.), wind en biomassa samen (0,267 GWy p.a.) is ook groter dan die van het verbruik.

Figuur 2

Vermogen

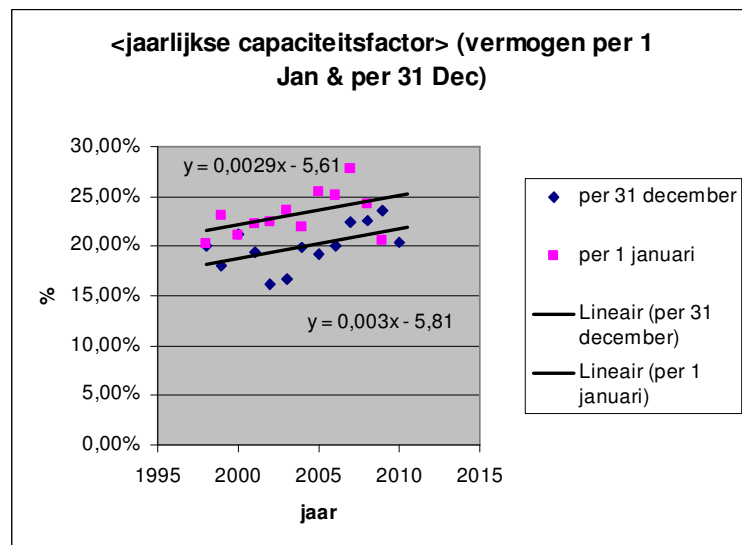
Om deze productie te realiseren hebben we elektriciteitsvermogen opgesteld. Dit was in 2010 ~ 27 GWe. Het neemt jaarlijks toe met 0,914 GWe (gemiddelde toename laatste 4 jaar), zie figuur 2. Indien dit vermogen het hele jaar op volle kracht zou kunnen draaien, zou de jaarproductie 27 GWy zijn. Dat is ~ 2 x zoveel als de huidige jaarproductie.



³) Afrondingen bij het bepalen van trends maken dat sommering van deelbijdragen niet gelijk zijn aan verzamelde cijfers. De actuele jaarlijkse cijfers van Statline kloppen onderling wel.

Geen enkele eenheid kan het hele jaar op vol vermogen produceren. Er moet onderhoud worden verricht. Verouderde eenheden of componenten worden vervangen. Bij een levensduur van ~ 30 jaar zou in de 12-jarige periode ca. 40% van de installaties door nieuwe zijn vervangen. Er komt ook nieuwe opwekcapaciteit bij. De snelste groei vindt plaats bij de aardgas en windinstallaties. Het trendmatig aardgas vermogen is in 2010: 15,8 GWe. Dit groeit met 0,458 GWe p.a. (2,9%). Voor het windvermogen zijn deze cijfers 2,25 GWe en 0,181 GWe p.a. (8,0%). Ook het zonvermogen groeit relatief snel. Vergeleken met de fossiele eenheden is het *windvermogen* minder effectief. Het waait niet steeds in overeenstemming met de elektriciteitsbehoefte. Men kent daarom aan de windturbines een zgn. ‘*capaciteitsfactor*’ toe. Dat is de productie in een jaar gedeeld door de maximaal denkbare opbrengst die bij 2,25 GWe: 2,25 GWy zou zijn. Bij snelle groei van de capaciteit is het opgesteld vermogen aan het eind van een jaar groter dan aan het begin. Omdat het moment van in gebruikstelling van de nieuwe eenheden niet bekend is, is in figuur 3 deze capaciteitsfactor berekend m.b.v. het windvermogen aan het begin en aan het eind van het jaar. De werkelijke capaciteitsfactor ligt ergens tussen beide in. Hij is rond 2010 naar schatting ~ 23% en neemt jaarlijks met 0,3%-punt toe.

Figuur 3

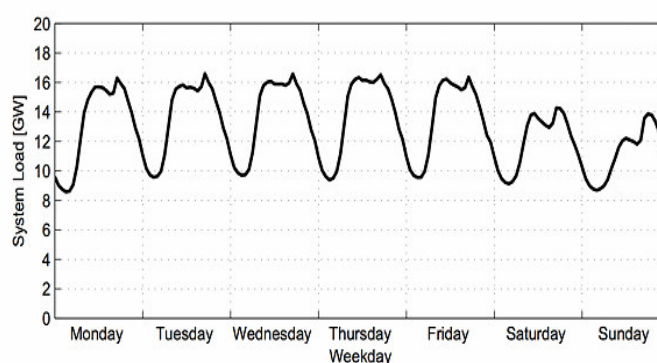


Over de zelfconsumptie van de windturbines is onzekerheid, zie de § Discussie.

Stroomafname

De stroomafname gedurende een jaar is niet constant. Er is verschil tussen zomer en winter, er zijn invloeden van vakantieperiodes en er is een dagelijks ritme, 's nachts minder, overdag meer. Dat betekent dat het vermogen voortdurend moet worden geregeld om de netspanning en de netfrequentie binnen nauwe grenzen te houden. Figuur 4 toont het verbruik gedurende een willekeurige week in 2007. De minimum vraag was ~ 9 GW en de maximum vraag iets meer dan 16 GW. Het vermogen moet daaraan voortdurend worden aangepast. Dat gebeurt door eenheden aan- en uit te schakelen of op hoger of lager vermogen te laten draaien. Deze variatie van 78% t.o.v. de minimum afname heeft belangrijke gevolgen voor de productie en het brandstofverbruik van de generatoren. Het op- en afregelen beïnvloedt ook de slijtage en de levensduur van de installaties nadelig.

Figuur 4



De producenten trachten de pieken en dalen te verminderen bijv. door afspraken met grote afnemers en door het publiek via verschillende tarieven voor dag- en nachtstroom te bewegen verbruik door wasmachines en andere apparaten te verschuiven naar de nacht en de weekends. Maar figuur 4 toont dat het verschil tussen dag en nacht ondanks dat nog substantieel is. (Genoemde afspraken en tariefverschillen bestaan al lang.)

Variaties

De variaties in de afname van elektrische energie zijn niet de enige oorzaak van op- en afregelen van de nationale stroomproductie. De productie van wind- en zonnestroom is inherent afhankelijk van weersomstandigheden en dag- en nacht. In de zomer is het anders dan in de winter. In een eerder artikel⁴ lieten wij zien hoe het vermogen van een denkbeeldig windpark in de buurt van Schiphol – een plek waarvan het windgedrag dankzij de meteo-dienst voor ieder toegankelijk op het WWW beschikbaar is – in de loop van een gemiddeld Nederlandse winddag wisselt.

Zo'n windpark zou op de gekozen dag, zie figuur 5, omstreeks 18.30 uur een maximaal vermogen hebben. Dat is het moment waarop de conventionele producenten het vermogen vanwege de dag- en nachtvariatie scherp terugregelen (!). Dit windpark op die locatie met 33 turbines van ca. 3 MW zou op dat moment abrupt ongeveer 40 MW extra aan het net toevoegen. Dat betekent dat de overige productie 40 MW extra moet worden verminderd.

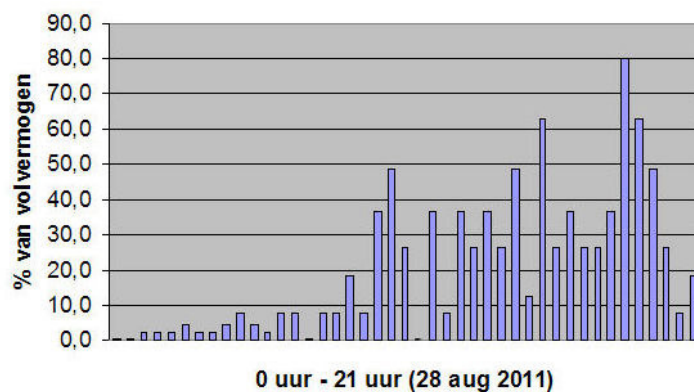
Men zou kunnen tegenwerpen

dat het toch ook kan voorkomen dat plotseling opstekende of afnemende wind juist kan helpen om de variaties te verminderen? Dat is juist. Het kan. Maar een onomstotelijke wiskundige wet is dat superpositie van 'random' (lukraak) fluctuaties op een veel langzamer fluctuerende variabele de fluctuaties nagenoeg met hun eigen bijdrage vergroten. Daarbij komt dat het *gevolg* van een grotere verandering niet gelijk opgaat met die verandering. Nog meer op- of afregelen heeft een meer dan evenredig effect op het brandstofverbruik en de slijtage van de generatoren die de verandering moeten compenseren.

Wij betoogden in eerdere artikelen^{4,5,6,7enz.} al dat als gevolg van de windvariabiliteit de brandstofbesparing en de vermindering van CO₂ uitstoot door inzet van windturbines illusoir is, of tenminste veel kleiner dan officieel wordt aangenomen.

Figuur 5

vermogen variatie (Schiphol)



⁴) C. le Pair: Gas, wind en CO₂ op Schiphol; de crash van de windmolens; <http://www.clepair.net/brandstofverspilling.pdf>

⁵) C. le Pair, F. Udo & K. de Groot: Wind turbines as yet unsuitable as electricity providers; Europhysicsnews 43/2 (2012) pp. 22/5. En <http://www.clepair.net/europhysics201203.html> .

⁶) F. Udo: Curtailment in the Irish Powersystem; <http://www.clepair.net/Udo-curtail201205.html> .

⁷) F. Udo, K. De Groot & C. le Pair: Windmolens als stroombron; <http://www.clepair.net/windstroom%20nl.html> .

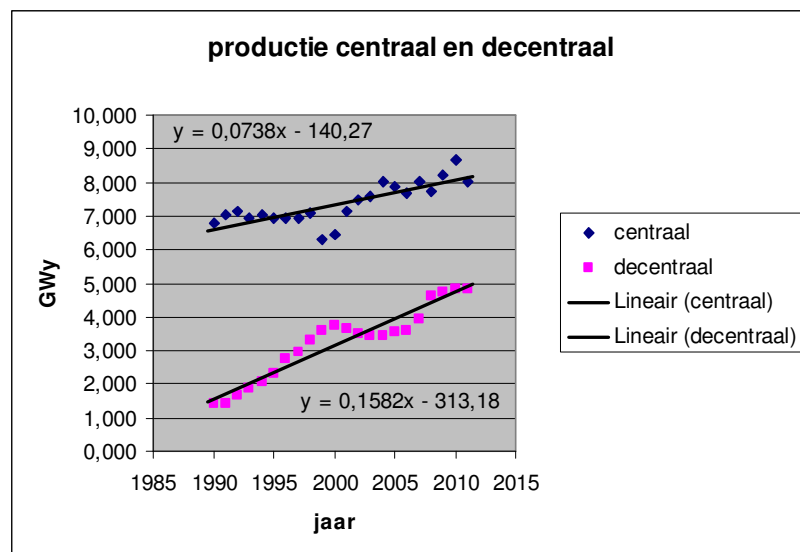
In principe geldt hetzelfde voor foto-voltaisch opgewekte zonnestroom. Alleen is die bijdrage in Nederland zo gering dat het geen noemenswaardige invloed op de stabiliteit van het net heeft. (Indien iemand het licht op de WC aan en uit doet hoeft de elektriciteitscentrale ook de productie niet te verminderen en te vermeerderen. Maar als een hele stad tegelijk de TV aanzet om naar een voetbalwedstrijd te kijken moet de producent wel degelijk in allerlei maatregelen nemen.)

Generatoren

Er zijn allerlei types stroomgeneratoren, elk met hun eigen karakteristieken. Op aardgas werken gasmotoren, STEGs (Combined Cycle Gas Turbines, CCGTs) en eenvoudige gasturbines (Open Cycle Gas Turbines, OCGTs). Ook de al langer bestaande stoomturbines, die de oude stoommachines hebben vervangen en die oorspronkelijk met steenkool en later ook met stookolie werden gevoed, hebben gasvragende uitbreidingen gekregen. Sommige maken daarbij gebruik van bio- of industrieel afvalgas e.a., maar waar dat onvoldoende is, wordt aardgas toegevoegd. Met steenkool produceren wij ca 20% van onze elektriciteit. Er is nog een kleine fractie generatoren op stookolie. Verder zijn er een kerncentrale en de elektriciteitsproductie met hernieuwbare bronnen. Wij zullen niet van al deze eenheden de karakteristieken bespreken. Sommige zijn zuinig met brandstof andere gebruiken daarvan meer maar die hebben dan weer andere voordelen.

In Nederland wordt in vergelijking met elders een groot deel van de stroom decentraal geproduceerd. Veel bedrijven hebben hun eigen generatoren en de glastuinbouw produceert ook zelf een deel van de benodigde warmte met elektriciteit als nevenproduct. In 2010 was de trendmatige centrale productie ca. 8 en de decentrale 5 GWy, waarbij de laatste met 0,158 GWy p.a. 2 x zo snel groeit als de centrale, zie figuur 6.

Figuur 6



Er is een klein verschil tussen de CBS-cijfers van de tabel waaraan deze figuur is ontleend en die van productie naar energiebron. Het verschil is voor onze analyse te klein om de uitkomst te beïnvloeden. Het verdwijnt trouwens in latere jaren. De trend groei is sterker in de periode na 1998.

De goedkoopste stroom komt van steenkool en de kerncentrale, ~ 5 ct/kWh. (Dat het publiek ca. 23 ct betaalt komt door een belasting van ~ 13 ct en een opslag voor de transportkosten van ~ 5 ct.) Steenkool- en kerncentrales zijn inflexibel. Op- en afregelen gaat langzaam, kost in het geval van kolen veel extra brandstof en is ook beperkt qua schaal. Een koleneenheid koud opstarten kan een halve tot een hele dag vergen. Dat is veel te langzaam voor opvang van windvariatiën. Het vergt een hoeveelheid brandstof overeenkomend met 1 à 1,5 dag

productie. In figuur 4 kunnen we aflezen dat er een vermogensniveau is, dat eigenlijk altijd nodig is: ongeveer 9 GW. Dergelijke eenheden worden daarom bij voorkeur gebruikt om in dat gebied te opereren en constant zoveel mogelijk op ‘ontwerpvermogen’ te blijven draaien. Het is kostbaar en schadelijk om deze ‘must run’ eenheden stil te zetten of hun productie meer dan fractioneel te verminderen. De variaties in de vraag – en die in het windstroomaanbod – worden daarom in hoofdzaak opgevangen door de gasgestookte eenheden. Vooral de open cycle gasturbines kunnen zeer snel, binnen enkele seconden, op- en afregelen. Zij hebben echter een laag rendement (elektriciteitsproductie / toegevoerde warmte) wat hen onaantrekkelijk maakt voor langdurig gebruik. Het gasturbinevermogen is beperkt, 1,3 GWe en neemt weinig toe: 0,019 GWe p.a. of 1,5%. Ook met moderne STEGs is het mogelijk productie snel te verhogen of te verlagen waarbij aan regeltijden van ongeveer een half uur moet worden gedacht voor bv. 30% verandering. Het trendmatig STEG vermogen in Nederland in 2010 is ~ 9 GWe en het groeit jaarlijks met 0,255 GWe of 2,8%.

Warmte-kracht

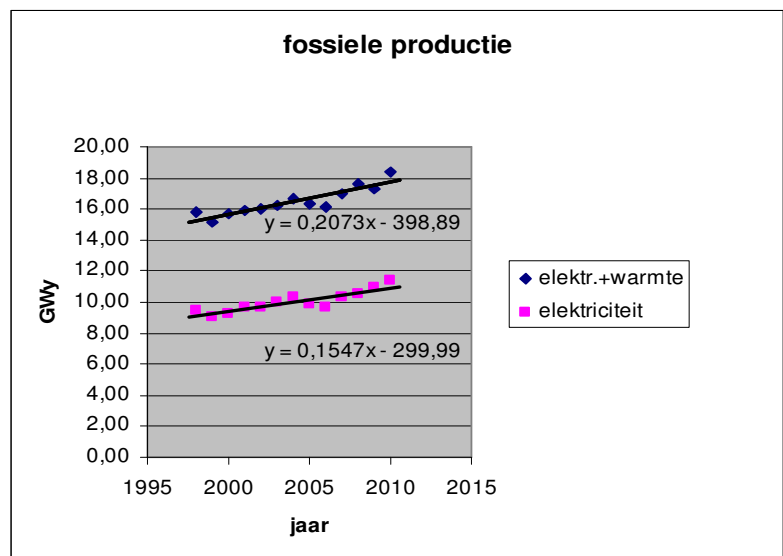
Voor de productie van elektrische energie is energie in de vorm van warmte nodig. (Of zonnestraling, of wind enz.) Die warmte kan niet in zijn geheel in elektriciteit worden omgezet. Een deel gaat verloren in koelwater, tenzij... de ‘afvalwarmte’ van de elektriciteitsproductie benut wordt voor andere doelen, zoals verwarming van broeikassen, industriële proceswarmte en ruimteverwarming. Hierin ligt de verklaring voor veel van de decentrale productie. Ook de centrale producenten dragen bij aan deze rendementsverbetering. Elektriciteitsbedrijven zijn tegenwoordig ook wel leveranciers van zgn. stadswarmte, d.w.z. warm water en huisverwarming. Het plaatst ons land in de topgroep van de meest efficiënte energieverbruikers.

Figuur 7 geeft daarvan een beeld. De trendmatige fossiel geproduceerde elektrische energie in 2010 is ~ 11 GWy, maar de totaal nuttige aangewende energie van de stroomproductie is bijna 18 GWy, dus ~ 7 GWy meer!

Preciezer bekeken gaat de aftap van warmte wel enigszins ten koste van de elektriciteitsproductie. Maar dat verlies weegt niet op tegen de winst van het nuttige restwarmte gebruik.

Tegenwoordig produceren ook eenheden die biomassa verstoffen nuttige restwarmte. Op dit moment is dat ongeveer één vijftigste van de nuttige warmte afkomstig van fossiele brandstof.

Figuur 7



Rendement

De omzetting van de ene vorm van energie in de andere gaat met verliezen gepaard. Dat beschrijven we met het begrip *rendement* of *efficiëntie*. Het rendement is niet anders dan de

hoeveelheid energie die aan de uitgang als ‘nuttig’ tevoorschijn komt, gedeeld door de energie die er aan de ingang als ‘bron’ of ‘inzet’ is ingestopt. Het rendement duiden we meestal in formules of in plaatjes aan met de Griekse letter η , (spreek uit ètta). Hoe dichter het rendement bij “1” komt, hoe efficiënter we de brandstof benutten.

Zoveel machines en zoveel manieren waarop ze werken, zoveel rendementen hebben we. Onder *ontwerpomstandigheden* – de generator draait constant en op een vermogen waarvoor hij is ontworpen – hebben wij bij elektriciteitsproductie in Nederland vooral te maken met

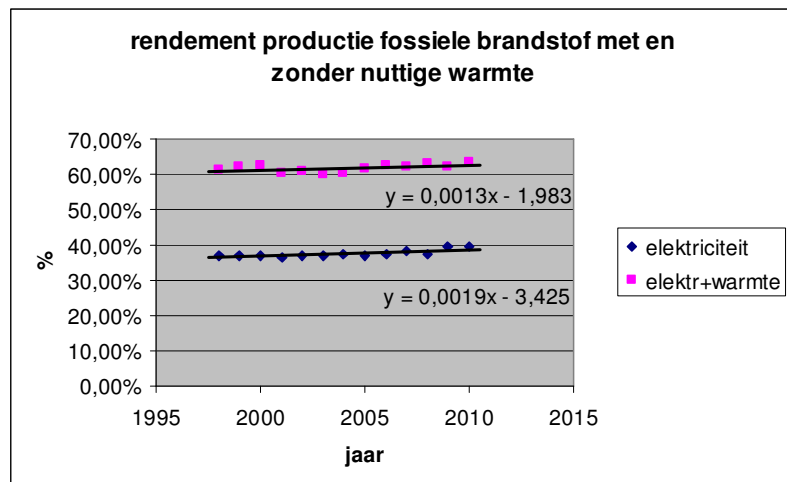
- de STEG (CCGT), gecombineerde stoom- en gasturbine met $\eta \approx 0,59^8$;
- de SKGT, (voornamelijk) steenkoolgestookte stoomturbine met $\eta \approx 0,455^8$;
- de gasturbine, ook wel OCGT, open cycle gas turbine genoemd met $\eta \approx 0,32^8$;
- de gasmotor, vooral in gebruik bij tuinders e.a. met $\eta \approx 0,26 - 0,45^9$
- de KC, kerncentrale, met $\eta \approx 0,377^{10}$.

Deze eenheden bepalen in hoofdzaak het totale rendement, waarbij i.v.m. de eindigheid van brandstofvoorraad en de CO₂ discussies de belangstelling vooral uitgaat naar het rendement bij de productie met fossiele brandstof, waartoe uranium niet wordt gerekend. Van dat element is er tegen een aanvaardbare prijs voor meer dan een miljoen jaar genoeg.

De in figuur 7 getoonde productie zien we gereflecteerd in het plaatje van het totale rendement van de fossiele stroomproductie in Nederland, figuur 8. Het nuttige gebruik van de restwarmte verhoogt het rendement aanzienlijk.

Wel is er iets vreemd aan deze uit feitelijke gegevens berekende waarden bij vergelijking met bovengenoemde eveneens *gemeten* elektrische ontwerp- rendementen. Dit vraagt om nader onderzoek.

Figuur 8



Het rendement van de fossiele elektriciteitsproductie is vrijwel gelijk, maar toch iets lager dan van een optimaal werkende steenkoolgestookte eenheid. Er is echter een aanzienlijk verschil met het rendement van STEGs. In 2010 produceerden STEGs trendmatig 5,2 GWy, Gasmotoren 1,6 GWy en gasturbines 0,68 GWy. Dat is samen ~ 71% van de fossiele productie (57,4 % van de totale). Op grond van die cijfers zou men onder optimale condities een elektrisch rendement van de drie gaseenheden samen van ~ 51% verwachten. Er wordt ook aardgas aangewend bij toevoegingen aan stoomturbines, waarbij tevens ander gas wordt benut. Dat deel laten we hier buiten beschouwing. De hoeveelheid gas is bekend.

In figuur 9 is de productie van de drie verschillende typen gaseenheid aangegeven. Er is inderdaad een plotselinge groei van de gasmotoren geweest, maar die is al weer tot staan

⁸) G. Dijkema, Z. Lukszo, A. Verkooijen, L. de Vries, M. Weijnen: De regelbaarheid van elektrische centrales; een quickscan i.o.v. het Ministerie van Economische zaken, 20 april 2009.

⁹) <http://www.energiotech.info/groengas/theorie/gasmotoren.htm>.

¹⁰) Priv. comm. Borssele.

gekomen. De invloed daarvan op het rendement is in genoemde 51% verwerkt.

Het CBS verstrekt ons inzicht in de ontwikkeling van het rendement. Aan het begin van de periode was het STEG-park kleiner en het gemeten STEG-rendement ca. 0,55 bij bedrijf op ontwerpniveau. De nieuwste STEGs zouden 0,60 halen. Zij zijn flexibeler en zouden daardoor de enkel-

voudige gasturbines overbodig maken. De stroomproductie van die turbines neemt inderdaad af met ~ 1% p.a., maar hun aantal neemt nog wel toe met ~ 2 % per jaar.

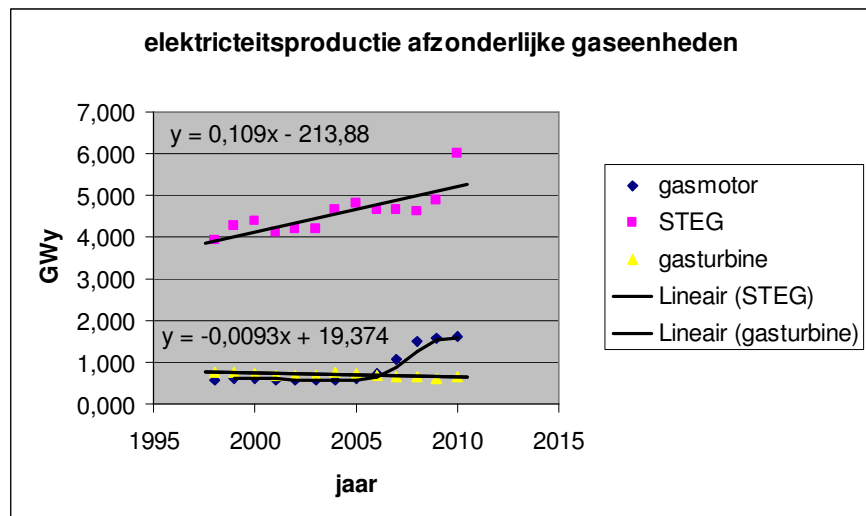
Figuur 10 toont het rendementsverloop van de drie gespecialiseerde generator types samen. Het verbetert, zoals de vernieuwing van het park en met name de toeneming van het STEG-aandeel deed verwachten.

Het ligt echter nog in de buurt van 43%. Het verschil met de berekende waarde is te groot om alleen aan afrondingsfouten toe te schrijven, er moet een fysische verklaring voor zijn.

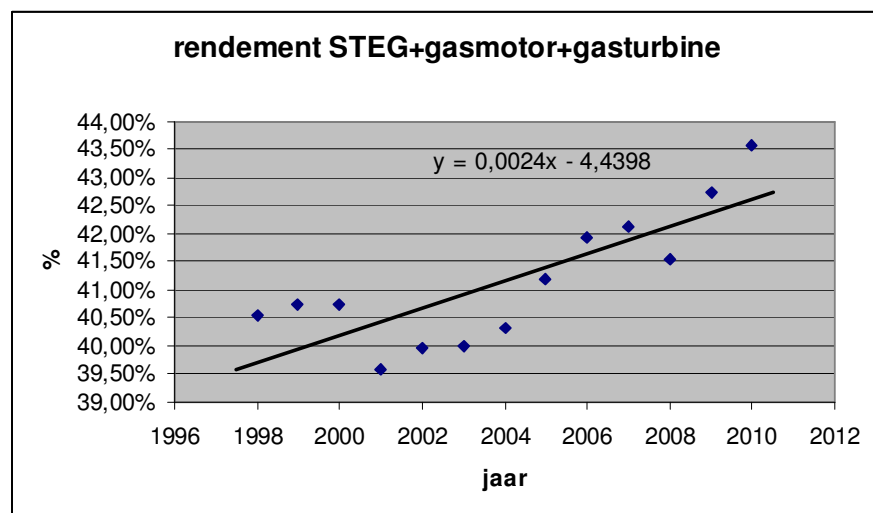
Aardgasrendement en totaal fossiel rendement liggen dicht bij elkaar en bij dat van steenkool. Het laatste is dicht in de buurt van het gemeten rendement bij constant bedrijf onder ontwerp omstandigheden. Omdat ook zij van tijd tot tijd voor onderhoud buiten bedrijf zijn en daarna weer moeten worden opgestart en omdat ze vermoedelijk toch enigszins bijdragen aan de opvang van variaties is een enkele procenten lager rendement dan de genoemde $\eta = 45,5\%$ wat we mochten verwachten. Bij de aardgas elektriciteitsproductie is er echter een groot verschil. We verwachten 51% op basis van metingen aan de generatoren en we zien dat het feitelijk in het gebruik slechts ~ 43% is.

De STEGs nemen ~ 70% van de aardgas elektriciteitsproductie voor hun rekening. Hun optimaal rendement is: $\eta = 59\%$. Wij kijken er daarom nog eens speciaal naar.

Figuur 9

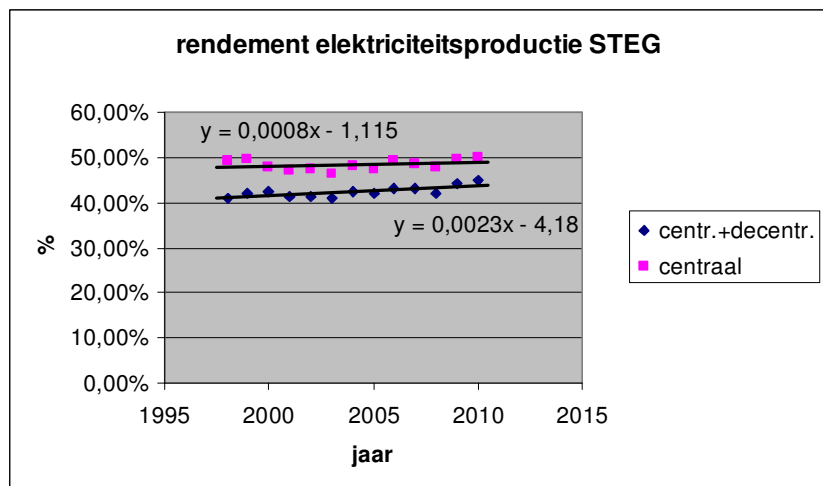


Figuur 10



Uit de Statlinecijfers is het feitelijk rendement van de STEGs afzonderlijk af te leiden, zie figuur 11. Ze blijken > 10%-punten minder zuinig dan wanneer ze continu op ontwerp vermogen zouden draaien. De decentrale STEGs doen het volgens de verwachting slechter. Elektriciteitslevering aan het net is voor hun operatoren secundair. Het rendement onder het ontwerpniveau is te verklaren als we aannemen dat zij

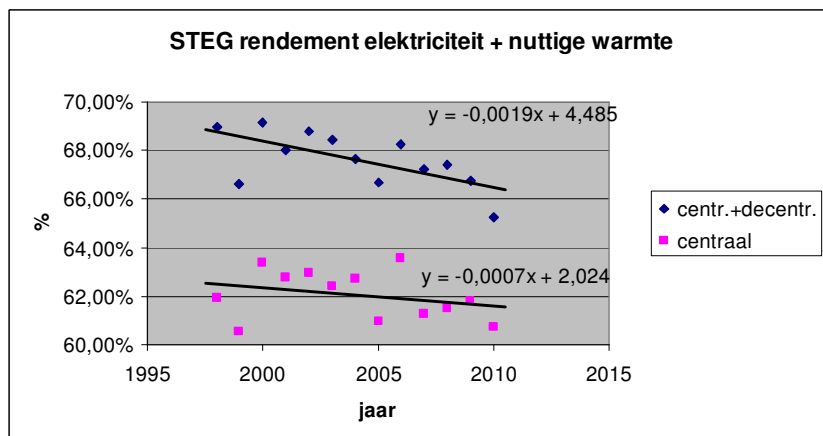
Figuur 11



de hoofdmoot van de variaties in de stroomafname en van de onregelmatig producerende andere eenheden moeten opvangen. Wisselende inzet reduceert het optimale rendement van 59% naar 44%. En de jaarlijkse verbetering van het elektrisch rendement is niet meer dan 0,1, resp. 0,2%-punt. Deze cijfers zijn interessant in verband met de discussie over de wijsheid van de bouw van windparken en de bijdrage die het variërende windvermogen levert aan de besparing van brandstof en de vermindering van de uitstoot van CO₂.

Vanwege het groeiend belang van de STEGs en het nuttige gebruik van restwarmte kijken we ook naar het totaal rendement van de STEGS. Het is weergegeven in figuur 12. We zien het voordeel van de decentrale productie, die in de eerste plaats dient voor de eigen warmtebehoefte van de bedrijven. Het elektrisch rendement is er lager door maar het totaal rendement hoger. Minder gunstig is het verloop van de trend. Het totaalrendement is in de bestreken periode nl. met 2,3%

Figuur 12



gedaald. Bij dit alles moet bedacht worden dat nieuwere STEG eenheden zuiniger zijn dan hun oudere zusters. De nieuwste hebben een optimaal elektrisch rendement van 60%! In een periode van 12 jaar is naar schatting 40% van die eenheden vernieuwd, hetgeen tot een verbetering van het rendement zou hebben moeten leiden. In de periode 1998 – 2010 is het STEG-vermogen ook nog eens drastisch vergroot. Het STEG-vermogen nam jaarlijks trendmatig met 254 GWe toe, een uitbouw in de hele periode met ca. 50%. We mogen aannemen dat die uitbreiding is gerealiseerd met nieuwe, zuiniger types.

Het getoonde resultaat is dus geen reden om ons over te verheugen. We zien dat alleen al als gevolg van de veranderde inzet van deze generatoren het brandstofverbruik in die periode 2,3% is verslechterd. De trendmatige inzet van aardgas voor STEGs was in 2010: 12 GWy,

wat betekent dat er in vergelijking met 1998: 0,276 GWy of $31,54 \times 10^{15}$ J, (overeenkomend met $\sim 10^9$ m³ aardgas, - 1 miljard kubieke meter) meer wordt gebruikt dan op de wijze waarop deze installaties in 1998 werden bedreven. Bij deze tegenvaller is geen rekening gehouden met de winst die vernieuwing van het machinepark zou hebben moeten opleveren. (Het optimaal elektrisch rendement van de huidige STEG-verzameling is 0,59 de oudere types hadden een rendement van ca. 0,55% en de nieuwste zouden 0,60 halen.) Het park is drastisch vernieuwd maar in het feitelijk rendement zoals dat uit de Statline gegevens kon worden afgeleid is slechts een verslechtering te constateren.

De Statline gegevens zijn niet gedetailleerd genoeg om te berekenen wat de zuiver elektriciteitsopbrengst van de STEGs is naar inzet van gas alleen. Ca. 10% van de primaire energie inzet ook van deze eenheden is afkomstig van andere bronnen, in hoofdzaak steenkool.

Rendementsverandering

Het rendement verandert door verschillende oorzaken: afnemend door veroudering van machines, toenemend door vernieuwing met zuiniger generatoren, rendementsverlaging door aan en uitschakelen of op- en afregelen om variaties in de netspanning en frequentie te compenseren. De variaties zijn het gevolg van enerzijds wisseling van de vraag en anderzijds door ongewisse fluctuatie van het aanbod van met name windstroom. Statline biedt geen inzicht in de grootte van deze factoren afzonderlijk.

Ook verandering in de samenstelling van het generatorpark beïnvloedt het rendement. Bij aardgas bv. maakt het veel uit of stroom afkomstig is van STEGs of van eenvoudige, gasturbines. Dat die laatste, laagrenderende eenheden, nog steeds worden bijgebouwd is opmerkelijk. Er zijn daarvoor twee redenen. In de eerste plaats kunnen zij gebruikmaken van laagcalorisch gas, zoals afvalgas van industriële processen in het bijzonder van de hoogovens. Dit 'afvalgas' wordt dan bijgemengd met hoogwaardig aardgas. In de tweede plaats zijn het de beste machines om snelle fluctuaties op te vangen. In hoeverre de vergroting en instandhouding van het bestand van dit type een gevolg is van de toegenomen variaties op het net is onbekend. Feit is dat zij nog steeds $\sim 0,7$ GWy, 5%, bijdragen aan het jaarlijkse verbruik. Dat is $\sim 1,3$ x zoveel als de windbijdrage.

Van STEGs is het meest bekend. Bovendien zijn zij met 5,4 GWy de grootste producent van stroom uit in hoofdzaak aardgas. En zij zijn geschikt om variaties op te vangen mits die niet al te snel zijn.

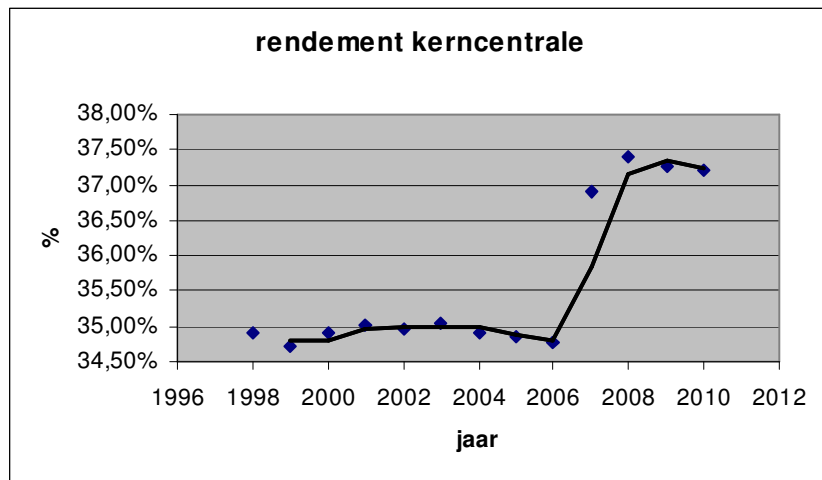
- Voor 1998 was het elektrisch rendement onder optimale condities volgens de gegevens van de toen opgestelde eenheden: $\eta = 0,55$.
- In 2009 was dit: $\eta = 0,59$.
- Volgens de Statline gegevens veranderde het totaal rendement als weergegeven in figuur 12.
- Volgens de Statline gegevens veranderde het elektrisch rendement als weergegeven in figuur 11.

Het elektrisch rendement van alle STEG-eenheden samen verbeterde in de 12-jaar periode met 2,3%. Maar bij de centrales was dat niet meer dan 0,8%. Over het geheel was een verbetering van 4% verwacht als gevolg van de nieuwbouw.

We vergelijken dit met de gang van zaken bij de kerncentrale en de productie uit steenkool. De kerncentrale vertoont over de beschouwde periode een rendement dat zo goed als constant is. In 2006 was er een dip, gevolgd door een stijging in een stap waarna het weer stabiliseerde

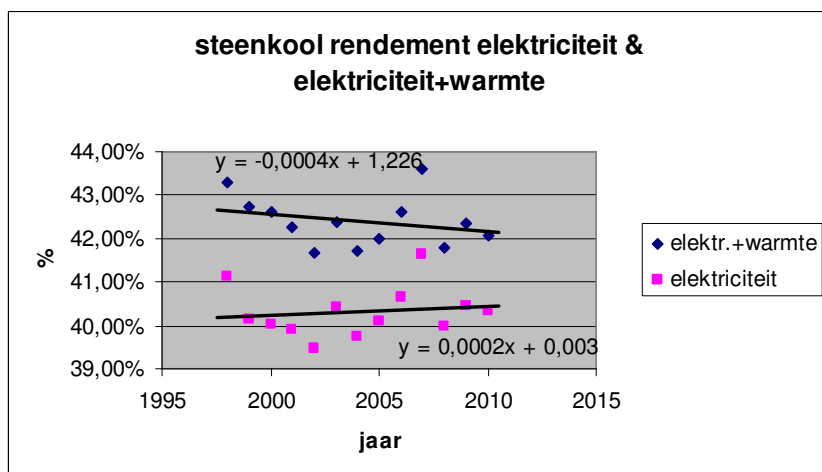
op een hoger niveau. De onregelmatigheid was het gevolg van renovatiewerk in de centrale zelf. Het had niet te maken met verandering in vraag of variatie op het net. Het betreft hier een z.g.n. ‘must run eenheid’ die allen de basislast verzorgt, zie figuur 13.

Figuur 13



Ook bij de steenkool gestookte eenheden lijkt er weinig te zijn gebeurd, zie figuur 14. Warmtevoorziening en elektriciteitsproductie samen genomen lijkt er een licht afnemende tendens, 0,4% over de gehele periode voor het nuttig brandstofverbruik. Alleen naar de elektriciteitsproductie kijkend was er een nog geringere toename van 0,2%. Gelet op de spreiding van de data mag aan deze veranderingen geen betekenis toegekend worden. Het is dus alsof er voor de ‘must run’ eenheden in deze periode nauwelijks iets is veranderd.

Figuur 14



Het elektrisch rendement van de koleneenheden is met ~ 40,4% ca. 4%-punt lager dan wat kon worden verwacht bij continu bedrijf

op ontwerpniveau. Het is daarom redelijk te veronderstellen dat het verschil louter het gevolg is van productie onderbreking voor onderhoud en aan niet meer dan vóór 1998 participeren in op- en afregeling i.v.m. het dag, nacht en weekend ritme.

De kerncentrale produceerde voortdurend overeenkomstig de verwachting met niet meer dan 0,5% tolerantie op het conto van onderhoud en vraagvariatie.

Besparing

‘Hernieuwbare bronnen’ zetten we in om fossiele brandstof te sparen en CO₂-uitstoot te verminderen. Hernieuwbaar is in 2010 goed voor 9,7% van de nationale productie. Het aandeel groeit snel: 7,2% p.a., zie tabel 1. De bijdrage van zon en waterkracht is nog verwaarloosbaar, ~ 0,1% van het totaal. Alleen wind, en biomassa leveren een noemenswaardige bijdrage. In hoeverre bereiken wij daarmee de beoogde vermindering van de inzet van fossiele brandstof?

Aanvankelijk ging men er van uit dat elke kWh hernieuwbaar geproduceerd een kWh fossiel gemaakte elektriciteit zou vervangen. Bijgevolg zou de daarvoor benodigde fossiele brandstof worden bespaard. Dit is niet het geval. Wij en velen met ons deden daarover een aantal studies, hiervoor genoemd. Die waren voor zover zij op Nederland betrekking hadden gebaseerd op beperkte gegevens, beschikbaar in het publieke domein en op bekende technische processen. Wij wezen er bij herhaling op dat een grondig onderzoek naar de effectiviteit ontbreekt. Als onregelmatig toegevoegde windstroom het rendement van andere eenheden verlaagt is de regel 1 kWh voor 1 kWh niet geldig. De veel geld vergende investering in de windmolens zijn derhalve alleen ideologisch, maar niet echt onderbouwd. Dit klemt daar uit ons eerdere onderzoek bleek dat de één op één regel niet juist kan zijn.

Uit de CBS-gegevens blijkt nu dat het pessimisme gegrond is. De hernieuwbare elektriciteit spaart in Nederland in 2010 70,6% fossiele brandstof. Dat is geen 100%. Voor cijfers en berekening zie appendix.

Windstroom. De windbijdrage hebben wij in vorige publicaties uitvoerig besproken. Windelectriciteit hangt af van de windkracht, niet van de behoefte van de afnemers. Hij varieert met als gevolg dat de efficiëntie van de conventionele productie daalt. Zij vraagt in verhouding meer brandstof. De generatoren moeten de variaties volgen en dus voortdurend op- en afregelen ten detrimente van het rendement. Bij relatief grote windbijdragen die in Nederland nog niet vaak aan de orde zijn – in Denemarken, Ierland en Duitsland wel – leidt dat tot het afbreken van de toevoer van windstroom aan het net of export tegen lage of zelfs negatieve prijzen naar buurlanden, zie o.a. H. Sharman¹¹ of nader commentaar door P.F.Bach¹² en F. Udo⁶. De Denen produceren bv. 20% van hun elektriciteit m.b.v. wind, maar kunnen slechts de helft ervan in hun elektriciteitsnet opnemen¹³. De rest leveren zij gratis of zelfs tegen betaling aan Noorwegen en Zweden.

Wij concludeerden dat de werkelijke besparing door windmolens beduidend lager is dan wordt aangenomen en zelfs negatief kan worden⁵. Een negatieve besparing wil zeggen dat er meer fossiele brandstof moet worden ingezet dan zonder windturbines het geval zou zijn.

Biomassa. De merites van stroomproductie m.b.v. biomassa hebben wij niet onderzocht. Vermoedelijk is na de omzetting in vloeibare of gasvormige brandstof de aanwending bij de productie van elektriciteit net als fossiele brandstof. Er is geen probleem met lukrake fluctuaties. De opslag van de brandstof gaat ook net zo en de benodigde machines zijn van dezelfde soort.

Indien elektriciteit uit biomassa nadelen heeft, gaan zij aan de elektriciteitsproductie vooraf. Zij zijn daarom niet zichtbaar in de CBS-Statline gegevens. Men kan denken aan de kosten – ook de energetische – bij de inzameling van groen afval, idem bij de productie van energiegewas, bemesting, oogst, de vermindering van landbouwareaal voor de voedselvoorziening doordat energiedragend groen die verdringt enz. H.O. Voorma gaf in een interessante voordracht over biobrandstof onlangs een overzicht van de mogelijkheden en de problemen die met de aanmaak van biobrandstof samenhangen¹⁴. Er zal nog heel wat technologisch werk verzet moeten worden voor deze energiedrager in flinke hoeveelheden beschikbaar komt. Voor grootschalige inzet van de technologie aan de orde is, zullen eerst

¹¹) H.Sharman: Wind energy – the case of Denmark (CEPOS study);

http://pfbach.dk/cepos_wind_energy.pdf .

¹²) <http://pfbach.dk> .

¹³) De grens aan de opname van stroom door het net wordt in het Engels aangeduid met ‘curtailment’. Het probleem wordt pregnanter naarmate de productie van niet-vraaggestuurde elektriciteit toeneemt.

¹⁴) H.O. Voorma: Biobrandstoffen, voordracht Zeist, 2012 04 18. Prof. (em) dr. Voorma, biochemicus was eerder rector magnificus van de Universiteit Utrecht.

grondige ‘totaal energie studies’ moeten plaatsvinden om na te gaan of ogenschijnlijk lonende methoden en processen ons werkelijk helpen fossiele brandstof te besparen.

Voor de huidige studie zijn deze problemen niet echt van belang. Biobrandstof is beschikbaar voor de productie van elektriciteit en nuttige warmte. Los van het kostenaspect is die productie recht toe, recht aan, betrouwbaar, een zaak van bestaande techniek¹⁵.

Op grond van deze overweging ligt de veronderstelling voor de hand dat de aanmaak van elektriciteit uit biobrandstof net zo gaat als die van fossiele brandstof. Productie naar gelang van de vraag. Dit is een belangrijke overweging omdat hij leidt tot de conclusie dat de *toevoer van bio-elektriciteit aan het net niet leidt tot vermindering van rendement van de overige eenheden*. Bijgevolg moet de bovengenoemde *vermindering van de effectiviteit van hernieuwbaar geproduceerde stroom* ter besparing van fossiele brandstof, die uit de CBS-cijfers blijkt, niet op het conto van de stroom uit biomassa worden geschreven. *Die komt geheel voor rekening van de windturbines.*

De opbrengst van windbijdragen

Het gevolg is dat bij de elektriciteitsproductie de toename van de windinbreng van jaar tot jaar slechts voor 27% effectief is, d.w.z. slechts 27% van de gedachte fossiele brandstofbesparing levert. Voor de berekening zie de appendix.

Lettend op de oorzaken van de nu geconstateerde verminderde opbrengst, zal de effectiviteit van de windbijdrage verslechteren naar mate het windaandeel in de stroomvoorziening toeneemt. Wanneer ook in Nederland ‘curtailment’ een rol gaat spelen komt deze efficiëntieafname in een stroomversnelling. (Dat is het geval wanneer het opgesteld windvermogen ongeveer even groot is als de amplitude van het dagelijks verbruiksritme.)

Discussie.

Drie cijferreeksen van Statline trekken de aandacht:

1. Het lage rendement van STEGs. Deze modernste gecombineerde gas-stoomturbines worden momenteel geadverteerd met > 60% elektrisch rendement. Toch is het gemiddeld over het jaar ~ 45%. Dat betekent dat zij ver beneden het ontwerpvermogen produceren en vaak stilstaan en opstarten. Het rendement neemt met enkele procenten af bij 10 – 20% minder vermogen, maar bij stoppen en starten cq. draaien op 40% verminderd vermogen is de afname veel steiler. Vandaar het belangrijk groter brandstofverbruik.
2. Afnemende totaal efficiëntie STEGs. Terwijl het elektrisch rendement van STEGs ongeveer constant blijft, fig. 11, neemt het totaal rendement onmiskenbaar af, fig. 12. Dit behoeft een verklaring daar de (sterkte) vernieuwing van het STEG-park het rendement zou moeten verbeteren. STEGs inzetten voor meer warmte + krachtproductie, wat een verlaging van het elektrisch rendement geeft, zou het totaalrendement moeten verhogen! Wij zien als enige verklaring van gewicht een substantiële toeneming van op- en afregelen, cq. afzetten en opnieuw starten.
3. De elektriciteitsproductie van OCGTs – open cycle gasturbines met laag rendement maar grote regelbaarheid – neemt iets (~1%) af, zoals het streven is. Er werd beweerd dat de moderne STEGs hen overbodig zouden maken. Maar het vermogen neemt toe

¹⁵) De energie nodig om biomassa te verzamelen, te transporteren en in brandstof om te zetten staat niet in de elektriciteitsstatistiek van het CBS, net zo min als die van aardgas, steenkool of andere primaire bronnen.

(~ 2%). Er komen er meer van. Zij blijven kennelijk nodig voor opvang van snelle vermogenverandering.

Uit de voorgaande beschrijving van de gehele productie in het land zou het voor de hand liggen na te gaan hoe het met de effectiviteit van de windinbreng staat, indien we slechts kijken naar de gasgestookte CCGT- en OCGT-eenheden. Die zijn immers de voornaamste spelers in de opvang van de windvariabiliteit. Helaas bieden de Statline-gegevens daartoe geen mogelijkheid. Ook STEG-eenheden gebruiken andere brandstoffen dan aardgas (~ 10%). Statline's data beperken ons tot een berekening van de invloed op de fossiele elektriciteitsopwekking als geheel.

Vaak en sterk veranderen van het vermogen verhoogt het brandstofverbruik. In een voorgaande studie^{4,16} behandelden wij een model van een regio met een behoefte aan 500 MW vermogen. Gasgeneratoren leverden dat. Wij bekeken de invloed die een windpark met resp. 100, 200 en 300 MW naamplaatvermogen zou hebben op het brandstofverbruik. Al bij 100 MW zou op een normale winddag de opbrengst van het windpark nihil zou zijn (- 0,8% van de verwachte opbrengst). In Nederland is in 2010 de gemiddelde vraag volgens de trend: 14 GW. Het opgesteld windvermogen was in dat jaar ~ 2,2 GW. Dat is 15%. Het is dus minder dan in het scenario met de kleinste windpenetratie in het toen gebruikte model.

Er is een factor die in de Statline cijfers niet en in ons model wel is meegenomen. De energie nodig voor bouw, installatie, bekabeling en netinpassing van een windturbine, is gelijk aan 2,5 – 3 jaar van zijn productie (1,5 voor de turbine zelf en de rest voor de aansluiting)¹⁷. Bij een levensduur van 15 jaar – het NUON-windpark bij Lelystad moest al na 12 jaar vernieuwd – betekent dat 20% van de totaal geproduceerde elektrische energie. Sharman¹¹ meldt dat in Denemarken 'Many 10 to 15 year-old turbines are past their useful life'.

Een opgesteld windvermogen van 100 MW levert gemiddeld 23 MW vanwege de capaciteitsfactor. 20% hiervan is 4,6 MW. Volgens de Statline gegevens is die 23 MW in ons land in 2010 voor 27% effectief qua besparing. Er gaat 23 MW het net in, maar de fossiele brandstofbesparing is niet meer dan datgene wat nodig is om 6,17 MW op te wekken. Van deze besparing moet echter altijd nog de energie-investering van de bouw, genoemde 4,6 MW, worden afgetrokken. Er resteert dus slechts 1,57 MW. Dat is 7% van de productie van de molens. Deze bijdrage aan de elektriciteitsbehoefte die overblijft van de inzet van een vermogen van 100 MW, 1,57%(!) komt dicht bij nul en is voldoende dicht bij onze modeluitkomst als men bedenkt dat daar de windpenetratie in de zuinigste variant 33% groter was dan nu in 2010 in Nederland. Gezien de spreiding in de gegevens t.o.v. de trends is o.i. de overeenkomst met het model ruimschoots voldoende.

De terugverdientijd van windmolens is de tijd die een molen in bedrijf moet zijn tot hij zoveel energie heeft geproduceerd als er voor fabricage, installatie en aansluiting van de machine nodig was. Die tijd is controversieel. De windvoorstanders praten over een half tot

¹⁶) C. le Pair: Electricity in the Netherlands; Windturbines increase fossil fuel consumption and CO₂ emission. A shortened version of (5), <http://www.clepair.net/windSchiphol.html>

¹⁷) C. le Pair & K. de Groot: Windmolens als stroombron, noot 13, <http://www.clepair.net/windrendement.html>. Zie ook § 8,1 van noot 5. F.Udo kwam op basis van een Australisch materiaal onderzoek, <http://bravenewclimate.com/2009/10/18/tcase4/>, of Pagina 137 e.v. in: Lenzen, M. (2008): Life cycle energy and greenhouse gas emissions of nuclear energy: A review; *Energy Conversion and Management* 49 (2008), 2178-2199; te downloaden van: <http://www.isa.org.usyd.edu.au/>, op 2,8 jaar terugverdientijd voor molens op het land. De aansluitings-inspanningen op zee zijn veel groter.

driekwart jaar. De research afdeling van een van onze grootste aannemersbedrijven die molens plaatst, berekende de tijd op 1,5 jaar¹⁷. Daarin was geen rekening gehouden met de energiekosten voor netaansluiting. Op het land zijn die kosten minder dan op zee. Daar zijn ze van dezelfde orde van grootte als die van de bouw en installatie van de molens zelf. Indien de overzeese kabels tussen Nederland, Engeland en Noorwegen worden meegerekend zelfs nog wel meer. Die kabels werden nodig geacht om overschotten van hernieuwbare elektriciteit te kunnen uitwisselen. De Statline cijfers van de elektriciteitsvoorziening geven over deze energiekosten geen informatie. Omdat de aansluitingskosten ongeveer gelijk zijn aan die van de molens zelf, schatten wij de *energiekosten* ook even hoog. Dat brengt de terugverdientijd op 3 jaar. Ook de levensduur van de installaties is controversieel. Er circuleren allerlei cijfers van 10 tot 30 jaar. De tijd zal het leren. Wij houden het voorlopig op 15 jaar, zie ook Sharman¹¹. Ervaringen met andere installaties ‘off shore’ stemmen niet optimistisch. En van wat wij tot nu toe met molens op het land hebben gezien zijn wij met 15 jaar nog aan de molenvriendelijke kant.

Er is wel beweerd dat men de energie-investering in bouw en installatie van de windturbines niet zou mogen tellen omdat dat ook niet wordt gedaan bij conventionele eenheden. Dat is onjuist. De conventionele eenheden moeten te allen tijde in staat zijn om alle benodigde elektriciteit te leveren. Windturbines kunnen dat niet. Elektriciteit is ook nodig als het niet waait. Dus zijn de windturbines een extra investering. Zij zijn alleen bedoeld om fossiele energie te sparen. Dan is de vraag gerechtvaardigd of zij dat netto ook metterdaad doen?

Van de factoren die de windopbrengst negatief beïnvloeden, die wij eerder in onze modelstudie⁵ bespraken, zijn een aantal verdisconteerd in de productie- en inzetcijfers van het CBS. Uit die cijfers blijkt slechts gedeeltelijk wat er te verdienen is door de STEGs anders te bedrijven. Ook tonen zij niet volledig in hoeverre het gebruik van enkelvoudige gasturbines zonder variërende wind zou kunnen verminderen.

Het CBS trekt het eigen gebruik van de generatoren af van de productie. Of dat ook het geval is bij stilstaande windturbines is de vraag. Die zelfconsumptie is niet gering. Voor het ontijzen van een 3 MW molen is ca. 0,1 MW nodig. En verder is er de continu stroomvragende elektronica, die bij kleine molens voor privégebruik met teruglevering aan het lichtnet maakt dat de molen over het jaar meer elektriciteit vergt dan hij aflevert. Of en in hoeverre deze factoren in de Statline cijfers zijn verdisconteerd, is niet bekend.

Een andere factor die in de Statline gegevens ontbreekt is het extra energiegebruik door vervroegde afschrijving en onderhoud van de installaties. Variaties verkorten de levensduur. Dat dit geen verwaarloosbaar probleem is, volgt uit de speciaal voor het Ministerie van Economische Zaken in 2009 verrichte Delftse studie⁸.

Het Agentschap van het verantwoordelijke Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie plaatst op zijn webstek¹⁸ een tabel die de besparing op fossiele brandstof door de windmolens op het land weergeeft. Wij ontleen hieraan de getallen in tabel 2. Wij hebben daaraan een regel toegevoegd met een omrekening naar de door ons gebruikte eenheden.

Het blijkt dat het agentschap uitging van een capaciteitsfactor van deze molens van 18,9%. Trendmatig, wellicht inclusief molens op zee, was die in 2010: tussen 22% en 25% (verschil tussen beide cijfers komt door verschil tussen opgesteld vermogen aan het begin en het eind van het jaar). De windopbrengst van het totale windpark was hoger dan die van de door het Agentschap genoemde molens op het land, nl, 0,492 GWy.

¹⁸) Webstek van het Agentschap: <http://www.windenergie.nl/onderwerpen/cijfers>

Tabel 2

Deel van de tabel over de prestaties van windmolens op het land van het Agentschap¹⁶.
Onderste regel omrekening naar door ons gebruikte eenheden.

Jaar	Vermogen [MW]	Elektriciteitsproductie [Mln kWh]	Bespaarde fossiele energie [TJ]	Bespaarde CO ₂ [kton]
2010	2002	3315	30781	2090
idem	2,002 GW	0,378 GWy	0,976 GWy	idem

Indien wij het productiecijfer voor wind op land van het Agentschap aanhouden, zou zoals uit onze analyse volgt, de geproduceerde 0,378 GWy effectief qua brandstofreductie slechts tot een instroom van 27% van deze hoeveelheid in het net hebben geleid, d.w.z. 0,102 GWy. Maar ook deze instroom behoeft nog correctie voor de energie voor bouw, installatie en aansluiting van de molens. Die moet over de levensduur worden terugverdiend voor van echte opbrengst sprake is. Hij komt als gezegd neer op 20% van de bruto productie. Dus is de input in het net 0,076 GWy lager. Er resteert 0,026 GWy die netto fossiele stroom vervangt. Bij het in 2010 trendmatig vigerend rendement $\eta = 0,394$ komt dit overeen met 0,067 GWy fossiele energie. Indien in de omrekening van het Agentschap van bespaarde fossiele energie naar kton CO₂ geen fout is gemaakt¹⁹, komt dat neer op 143 kton bespaarde CO₂-uitstoot, geen 2090 kton!

Het Agentschap meent dat één 3 MW windmolen 2000 Nederlandse huishoudens van stroom kan voorzien. Mogelijk, bij een stevige bries. Maar als die huishoudens stroom gebruiken zoals ze gewend zijn, zit driekwart van hen effectief wel effectief in eeuwige duisternis. Indien er molens bijkomen, wordt het nog donkerder. En er wordt geen brandstof bespaard!

Conclusie

Uit de cijfers over de feitelijke productie van elektrische energie in Nederland en de inzet van primaire energie die daarvoor nodig is, openbaar gemaakt in de CBS Statline statistiek, aangevuld met gegevens over de levensduur en energiekosten van de bouw en aansluiting van windmolens blijkt:

Onder de huidige omstandigheden levert een 3 MW windmolen in Nederland aan besparing effectief 0,048 MW. Dat is ~ 1,6% van het naamplaatvermogen, ruim tien maal zo weinig als het Agentschap van het Ministerie van EZL&I aanneemt.

Wij blijven bij onze eerdere schatting: een windvermogen ter grootte van 20% van het gemiddeld verbruik zal effectief geen brandstof meer sparen. Bovendien begint dan 'curtailment' serieus een rol te spelen, zodat bij nog hogere windpenetratie de besparing

¹⁹) De omrekening is niet te controleren. Er is niet bekend wat het Agentschap aanneemt voor het aandeel van de verschillende fossiele bronnen, gas, kolen, olie, waarvoor verschillende verbrandingswaarden gelden. De omrekening van geproduceerde stroom naar bespaarde uitstoot toont overigens dat het Agentschap zich voor windpropaganda leent. Na de erkenning van Minister Van der Hoeven in het parlement wordt officieel al niet meer met de één op één regel gerekend. De Minister dacht dat er 10% verlies kon zijn. Het Agentschap gebruikt toch weer die regel. Bovendien is de CO₂-uitstoot van gas, die de wind zou verminderen, minder dan 585 gCO₂/kWh van het Agentschap.

negatief wordt, d.w.z. dat de windmolens het brandstofverbruik verhogen in plaats van verkleinen.

Overigens betekent de huidige besparing van 1,6% van het naamplaatvermogen macro-economisch al dat de molens een *Megaverlies* opleveren, behalve uiteraard voor hen die ze bouwen, verkopen, met subsidie exploiteren en voor onderzoekers, organisatoren en adviseurs die er hun brood mee verdienen op conto van belastingbetaler en de stroomconsument.

Herziene versie

Nieuwegein, 2012 08 29.

C. le Pair.

Appendix besparing

bij:

Brandstofbesparing bij de Nederlandse elektriciteitsvoorziening

Elektriciteit en hernieuwbare energie.

De nationale productie van elektriciteit $E(t)$ is:

$$E(t) = \sum_i E_i(t)$$

$i = f, n, h, o.$

Met:

$E_f(t)$ = fossiele productie elektriciteit

$E_n(t)$ = nucleaire idem

$E_h(t)$ = productie idem uit hernieuwbare bronnen

$E_o(t)$ = productie idem uit overige energiedragers.

Uit de CBS-gegevens leiden we af:

$$E(t) = 0,252 Jr - 493,49 \quad \text{Fig. A1}$$

$$E_f(t) = 0,1547 Jr - 299,99 \quad \text{Fig. A2}$$

$$E_n(t) = 0,0023 Jr - 4,1561 \quad \text{Fig. A3}$$

$$E_h(t) = 0,0907 Jr - 180,5 \quad \text{Fig. A4}$$

$$E_o(t) = 0,0042 Jr - 8,11 \quad \text{Fig. A5}$$

Jr = het desbetreffende jaar, 1998, 1999..., 2010.

De eenheid is GWy.

De genoemde figuren, "A...", staan hierna op een afzonderlijk blad. Nummers zonder "A" staan in het artikel zelf.

Optellen van de 4 deelcategorieën levert: $E(t) = 0,2519 Jr - 492,7561$. Het verschil is het gevolg van afrondingen. Het is zo klein dat het in de figuur onzichtbaar is.

De elektriciteitsproductie neemt trendmatig jaarlijks toe ($dE(t) / dt$) met $\Delta E = 0,252$ GWy. Hieraan dragen bij:

$\Delta E_f = 0,155$ GWy; $\Delta E_n = 0,002$ GWy; $\Delta E_h = 0,091$ GWy en $\Delta E_o = 0,004$.

Bij dezelfde groei zonder bijdrage van hernieuwbare energie maar nu door meer fossiel gemaakte elektriciteit, zou $\Delta E_f' = 0,155 + 0,091 = 0,246$ GWy moeten zijn.

Het rendement van de fossiele elektriciteitsproductie is gedefinieerd als

$$\eta_{e,f}(t) = E_f(t) / I_f(t)$$

waarin $I_f(t)$ de fossiel brandstofinzet is.

Uit de CBS-gegevens leiden we af:

$$\eta_{e,f}(t) = 0,0019 Jr - 3,425 \quad \text{Fig. 8}$$

Indien 0,091 GWy hernieuwbaar 100% effectief fossiele geproduceerde elektriciteit zou vervangen, zou die in 2010: 0,231 GWy inzet besparen. $\{\eta_{e,f}(2010) = 0,394\}$.

Uit de CBS-gegevens van de fossiele brandstofinzet leiden we af:

$$I_f(t) = 0,2774 J_r - 529,23$$

Fig. A6

D.w.z. een jaarlijkse trendmatige toename onder de huidige omstandigheden van $\Delta I_f = 0,277$ GWy. Met het zelfde machinepark zou bij een productiegroei van de fossiel opgewekte elektriciteit van 0,246 GWy i.p.v. 0,155 GWy:

$$\Delta I_f' = 0,246 \times 0,277 / 0,155 = 0,440 \text{ GWy},$$

d.i. $0,440 - 0,277 = 0,163$ GWy meer dan thans.

De 0,091 GWy *toename van de hernieuwbare energie productie* spaart dus niet 0,231 GWy aan brandstof maar 0,173 GWy en is dus $0,163 / 0,231 = 70,6\%$ effectief.

-o-o-o-o-o-o-

Effectiviteit van de windbijdrage.

De hernieuwbare productie bestaat zo goed als geheel uit wind en biomassa. Bij de elektriciteitsproductie is het windaandeel in 2010 trendmatig 0,492 GWy (fig. A7) en die van biomassa 0,732 GWy (fig. A8). Samen 1,224. Hiervan is 70,6% effectief brandstofbesparend. Dus is de besparingsinbreng $0,706 \times 1,224 = 0,864$ GWy.

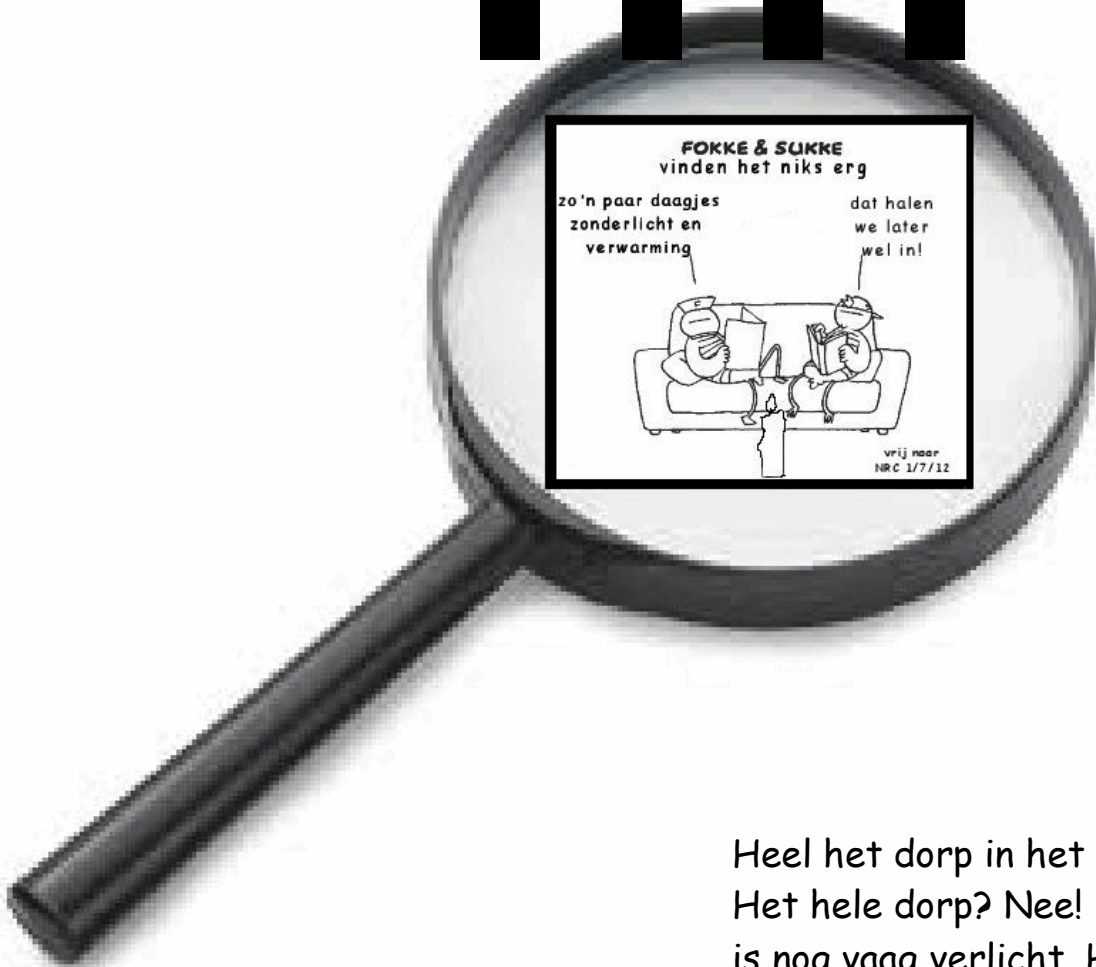
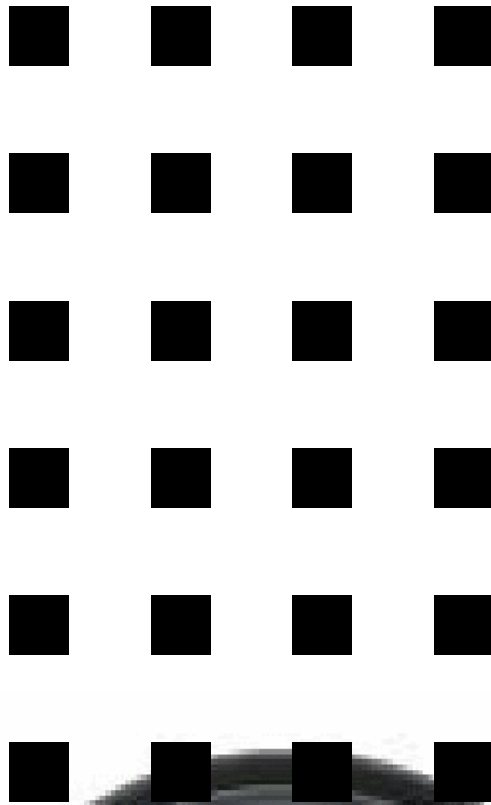
De inbreng van de bio-elektriciteit is 100% effectief. Daarmee resteert voor de wind: $0,864 - 0,732 = 0,132$ GWy aan besparende stroom. D.w.z. *de vermeerdering van de wind-elektriciteit is effectief qua besparing* $0,132 / 0,492 = 27\%$ van de bruto-productie.

Trekt men hier de energie af, die de *energie-investering in molenbouw en netaansluiting kostte* – 20% van de bruto-productie – dan resteert een *effectieve elektriciteitsbijdrage qua brandstofvermindering van 7%*.

Dat is 7% van de geproduceerde elektriciteit, die zelf gemiddeld 23% bedraagt van wat het opgesteld (naamplaat) vermogen suggereert. *Het resulterend gemiddeld besparend vermogen is daarom effectief 1,6% van het opgesteld vermogen.*

Figuren behorend bij deze appendix

<p><u>A1</u></p>	<p align="center">Elektriciteitsproductie alle energiedragers</p>	<p align="center">fossiel geproduceerde stroom</p>	<p><u>A2</u></p>
<p><u>A3</u></p>	<p align="center">productie kerncentrale</p>	<p align="center">CBS elektriciteitsproductie 'hernieuwbaar' & zon+wind+water</p>	<p><u>A4</u></p>
<p><u>A5</u></p>	<p align="center">elektriciteit uit overige energiedragers</p>	<p align="center">Totaal fossiele brandstof</p>	<p><u>A6</u></p>
<p><u>A7</u></p>	<p align="center">bruto jaarproductie windmolens</p>	<p align="center">productie uit biomassa</p>	<p><u>A8</u></p>



Heel het dorp in het donker.
Het hele dorp? Nee! Een raam
is nog vaag verlicht. Het 25^{ste}!