

Waar halen we onze energie de komende decennia vandaan?

Visie Energie 2050

Het is één van de kernvragen van onze tijd: Hoe moet de mensheid omschakelen op andere energiebronnen die geen fossiel gebruiken? Voor een goede keuze is het daarbij van belang te begrijpen hoe energiebronnen zich zullen ontwikkelen in de komende 40 jaar. Daarbij spelen zowel economische als technische factoren een rol.

Dit document - een bewerking van een webinar dat Ir. Rob Walter op 2 mei 2011 gaf voor de Groene Rekenkamer - is gebaseerd op technische feiten en niet op meningen. Deze feiten maken duidelijk dat de energievoorziening in 2050 er heel anders uit zal zien dan menigeen nu denkt.

1. De transitie

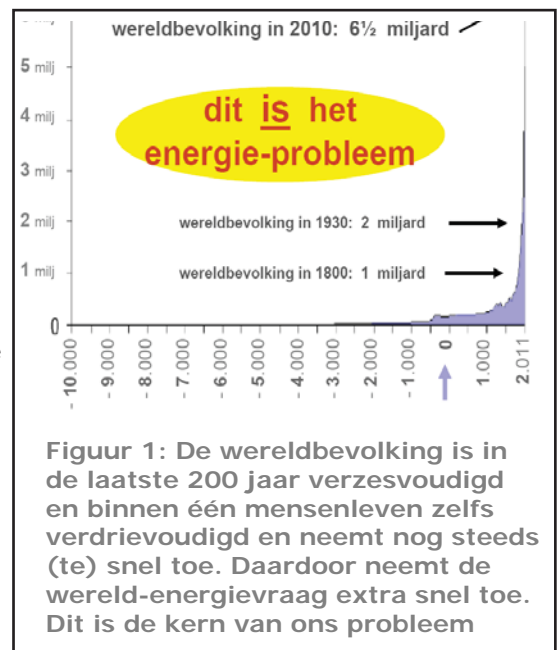
De wereldbevolking is in 200 jaar toegenomen van 1 miljard naar 6,5 miljard mensen en zal nog wel verder groeien tot meer dan 10 miljard mensen [fig.1]. Ondertussen neemt de welvaart van die mensen toe. Meer mensen en meer welvaart leiden tot meer gebruik van energie [fig.2]. Ondanks efficiënter gebruik van energie zal de totale wereldvraag naar energie in de loop van deze eeuw meer dan verdubbelen.

Van die energie wordt maar liefst 93% geproduceerd door verbranding van fossiele brandstoffen, vooral olie. De voorraden daarvan zijn eindig en we zijn afhankelijk van olie uit politiek instabiele landen en kwetsbare toevoerwegen. Bovendien zou de CO₂ die bij verbranding vrij komt het klimaat kunnen beïnvloeden.

Overgang naar nieuwe energievormen is noodzakelijk [fig.3, 4 en 5] en moet heel hoge voorrang krijgen. Maar doen we dat dan niet al, zult u zich afvragen? Neen, dat gebeurt helaas niet. De rijke landen gooien honderden miljarden weg aan alternatieve energiebronnen die nauwelijks olie verdrijven [fig.8], en die zelfs helemaal geen toekomst hebben.

Maar het kan toch niet zo zijn dat we gelaten toekijken hoe de toekomst van onze kinderen en kleinkinderen vergooien door voorrang te geven aan hobby's van onjuist geïnformeerde politici en milieuorganisaties met een verborgen agenda? Door de belangen van mensen die veel geld verdienen aan zinloze machines hoger te stellen dan die van de belasting betalende burger?

Een schaarste aan grondstoffen voor energie en navenante hoge energieprijzen zouden catastrofaal zijn voor de wereldeconomie en vooral de minder ontwikkelde landen heel zwaar treffen. Ook zouden schaarste en extreme oliepijzen een oorzaak kunnen zijn voor nieuwe oorlogen. Maar dat kan allemaal nog voorkomen worden.



Figuur 1: De wereldbevolking is in de laatste 200 jaar verzesvoudigd en binnen één mensenleven zelfs verdrievoudigd en neemt nog steeds (te) snel toe. Daardoor neemt de wereld-energievraag extra snel toe. Dit is de kern van ons probleem

Naast elkaar: huidige en toekomstige verdeling van het energiegebruik over alle mensen op aarde



Figuur 2: Op dit moment is een klein deel van de wereldbevolking verantwoordelijk voor het grootste deel van de totale hoeveelheid verbruikte energie op aarde. 60% van de wereldbevolking gebruikt nog nauwelijks energie en we streven spreiding van de welvaart na. Uiteindelijk zullen de mensen in alle delen van de wereld ongeveer evenveel energie gebruiken. Als we niet zuiniger (efficiënter) met energie omgaan, maar gewoon doorgaan zoals we dat nu doen, dan zal het wereldenergiegebruik van de mens begin volgende eeuw verachtvoudigd zijn. Dat willen we toch niet?

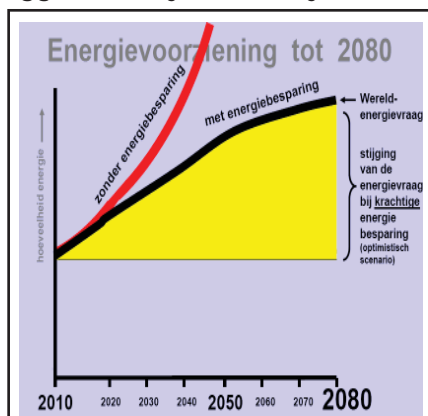
2. Elektriciteit

Naarmate die prachtige grondstof olie (en gas) voor brandstof uitgefaseerd wordt, neemt de rol van elektriciteit toe. Immers, alleen via de "energiedrager" elektriciteit zijn nieuwe energiebronnen om te zetten in bruikbare energie. Sterker nog, de wereld gaat geleidelijk toe naar een "all electric society". Nagenoeg alle energie wordt dan via elektriciteit geconsumeerd. Elektriciteit is nu maar ca. 20% van alle energie waar wij gebruik van maken^[fig.6] en dat percentage geldt wereldwijd.

Als wij uiteindelijk alle energie via elektriciteit gaan consumeren, dan brengt dat een ongekende groei met zich mee van de omvang van alle elektriciteitsopwekking en bijbehorende distributie systemen.

Overall zal dat zo zijn, in alle landen van de wereld^[fig.7]. Samen met de eerder genoemde meer dan verdubbeling van de energievraag in deze eeuw, betekent dat voor de hele planeet (op lange termijn) een vertienvoudiging van de elektriciteitsproductie en tussenliggende systemen! In het jaar 2050 zal dat al een verzesvoudiging zijn. En in de voor ons liggende 20 jaar moet je rekening houden met een verdubbeling. Dat is een uitdaging voor de industrie

die zich met de elektriciteitsvoorziening bezig houdt!



Figuur 4: De energievraag stijgt de komende decennia fors, zelfs als we veel zuiniger (efficiënter) zijn: een verdubbeling van de wereld-energiebehoefte tot 2050 is nogal wat!^[13]

In die wereld van de toekomst zullen wij dus alles via elektriciteit doen. Dat betekent een leven dat er heel anders uitziet. Vooral doordat energie dan spotgoedkoop zal zijn dankzij nieuwe technieken voor het maken van die elektriciteit. Waarschijnlijk zal dat voornamelijk schone "energie uit kernen" zijn. Die zal dan in onbeperkte hoeveelheid beschikbaar zijn. Dat geeft een heel andere wijze van omgaan met energie. Duurzaamheid zal dan vanzelfsprekend zijn en de dan gebruikte vormen van energieomzetting en gebruik van energie zullen geen belasting meer zijn voor het milieu. De makers van huidige energiestenarario's zouden rekening moeten houden met dergelijke toekomstscenario's. Helaas hebben zij dat niet begrepen.

3. Energie van de toekomst

De energie van de toekomst zal dan moeten komen uit het "hart" van de materie, de kern van de atomen. Zoals we nu, eigenlijk wat primitief, al doen in de vorm van wat wij nu noemen "kernenergie". Nu nog een proces met ongewenste afvalproducten, zoals actiniden en een kleine hoeveelheid Plutonium.

Die afvalproducten zullen we in de nieuwe generatie reactoren, zoals die gebouwd gaan worden vanaf de jaren na 2030, afbreken in kleinere "onschuldige" atomen. Weg afvalprobleem! En dat zal zeker komen, want proeven in reactoren op universiteiten tonen al aan dat dit goed mogelijk is.

Een nieuw soort kerncentrales van een geheel ander concept, waarin de brandstof Uranium verpakt wordt in kleine bolletjes in plaats van in de nu gebruikelijke brandstofstaven, zijn reeds "inherent" veilig. Daar kan een ongeval zoals 'Fukushima', niet in plaats vinden. Dit is de z.g. "Pebble Bed reactor". Daarin wordt het proces op natuurlijke wijze juist afgeremd als de kern warmer wordt (kan dus niet oververhit raken). Die is leverbaar, op dit moment echter alleen nog voor een klein vermogen van ca. 20 MW. Dus ter grootte van een flink windpark. Dat is nog niet voldoende om een echte rol te spelen in de energievoorziening. Ter vergelijking: de geplande kerncentrale in Borssele wordt waarschijnlijk 1600 MW, dus gelijk aan 80 Pebble Bed reactoren van 20 MW.

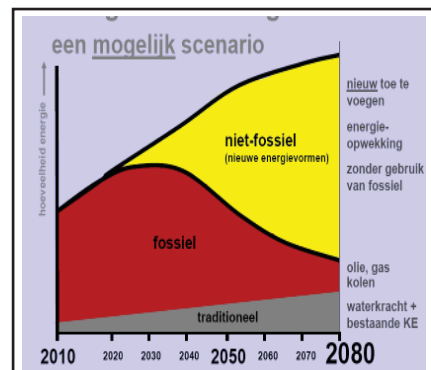
van alle energie-gebruik door de mens wereldwijd

93% fossiel

→ redenen om minder fossiel te gebruiken

- 1 klimaatverandering door CO₂
- 2 olie raakt op, althans we laten onvoldoende over voor onze (achter)kleinkinderen
- 3 zekerheid energietoevoer in gevaar want veel olie komt uit weinig stabiele landen
- 4 olieprijs stijgt door grotere vraag en door kostprijs moeilijk exploitabele olievelden

Figuur 3: Vier belangrijke redenen om wereldwijd minder fossiel te gaan gebruiken. Het helpt natuurlijk niet als alleen Nederland, of Europa, of de huidige ontwikkelde landen dat doen.



Figuur 5: Dit zou een goede doelstelling zijn voor wereldwijde vervanging van fossiel door andere bronnen^[13]. Dit is alleen haalbaar als we inzetten op efficiëntere bronnen dan zon en wind.

Trouwens, niet alleen met Uranium kun je door kernsplijting energie produceren, met Thorium kan dat ook (Uranium vormt overigens een belangrijke tussenvorm in dit proces). Die reactoren zijn veiliger en leveren geen lang stralend afval. En leveren ook goedkope elektriciteit. Ook hier geldt dat er genoeg grondstof is voor vele, vele duizenden jaren. Thorium-reactoren zijn ver ontwikkeld en werken al in proefcentrales in India, Amerika en nog enkele landen. En wellicht ontdekken de wetenschappers nog andere geschikte materialen met nog minder nadelen. *In de kernen van de atomen zit miljarden malen meer energie dan de mens in miljoenen jaren kan opmaken.* Meer dan voldoende dus, zonder dat we de benodigde grondstoffen ooit op kunnen maken!

Bovendien zijn er ook andere methoden dan de huidige methoden van "splijting" van kernen denkbaar. Zo kennen we ook de kernfusie, zoals die op de zon plaats vindt. Op laboratorium schaal lukt dat al. Proefreactoren voor kernfusie worden op enkele plaatsen in de wereld gebouwd.

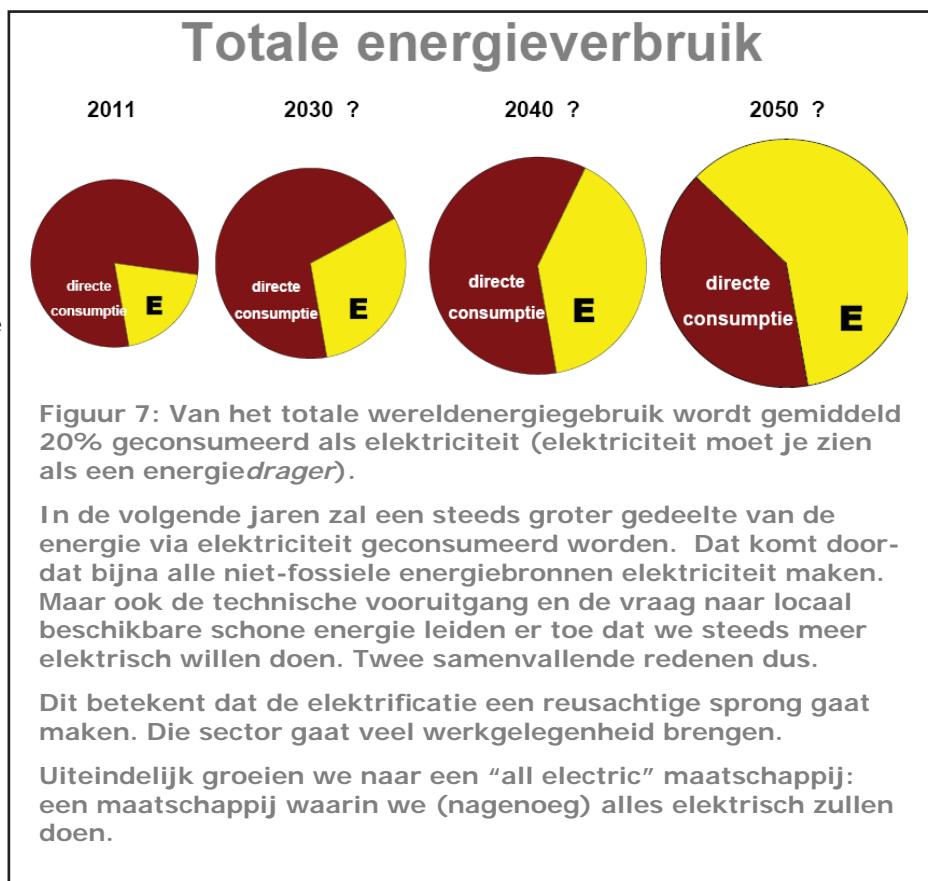
De enige bereidheid die de mensheid moet hebben, is om voldoende middelen vrij te maken voor echt fundamenteel onderzoek, in plaats van gesubsidieerd onderzoek aan hobby's. Echt fundamenteel onderzoek moet leiden tot heel nieuwe wegen voor zowel grootschalige als kleinschalige "schone" energie-opwekking.

4. Energie in de overgangsfase

In de overgangsfase, zeg maar de komende 20 jaar, zal energie eerst duurder worden en zit de wereld met het probleem dat de nieuwe goedkope technieken nog niet op grote schaal beschikbaar zijn. De wijze waarop in die tussenperiode wordt omgegaan met de beschikbare vormen van energie-opwekking zullen bepalend zijn voor welvaart en vrede in die komende decennia. Heel belangrijk dus! Er moet met verstand gebruik gemaakt worden van alle energiebronnen, zonder de economische aspecten te vergeten, en men moet tegelijkertijd investeren in onderzoek naar nieuwe methoden van energie-opwekking.

In het huidige decennium moet de basis gelegd worden voor een goed energiebeleid in de volgende decennia.

De grote vraag waar de wereld nu voor staat is, hoe verder te gaan met de huidige techniek voor kernenergie? Die is wel héél goedkoop, milieuvriendelijk en erg veilig, maar nog niet voor 100% veilig. Dat hebben we geleerd uit de ongelukken met de kerncentrales bij het Japanse Fukushima. Weliswaar hebben die een extreme aardbeving en een extreme tsunami doorstaan, maar de hulpinstallaties buiten de kernreactor bleken helaas niet afdoende sterk te zijn om deze tsunami te overleven en bleken niet in staat om de reactorkern na



het ongeval op een goede manier te koelen. Dat is niet acceptabel, hoe krachtig de tsunami ook was.

Wat gaat de wereld nu beslissen? Het geleerde toepassen op bestaande en nieuwe kerncentrales, of voortijdig stoppen met deze huidige vorm van kernenergie? Per land zullen andere keuzes worden gemaakt. Het gaat er daarbij om hoe onze beschaving omgaat met kans-rijke technieken. Immers, als we gestopt waren met vliegen nadat vliegtuigen waren neergestort (met heel veel doden), dan zou de wereld nu niet zo welvarend zijn. En als we gestopt waren met chemische industrie na grote ongelukken, dan was onze beschaving niet zo ver gekomen (denk ook aan "Bhopal", een ongeluk in de chemie met nog meer blijvende milieuschade dan bij Tsjernobyl en meer dan 100 maal zoveel directe en indirecte doden. Toch is de wereld niet gestopt met chemische industrie!).

De wereld lijkt nu te gokken op de toekomstige energiebronnen zon en wind, aangevuld met wat bio-energie. Maar is die "gok" wel zo logisch als die (voor de massa) lijkt? Wat zijn de kansen van die energiebronnen?

5. Zon

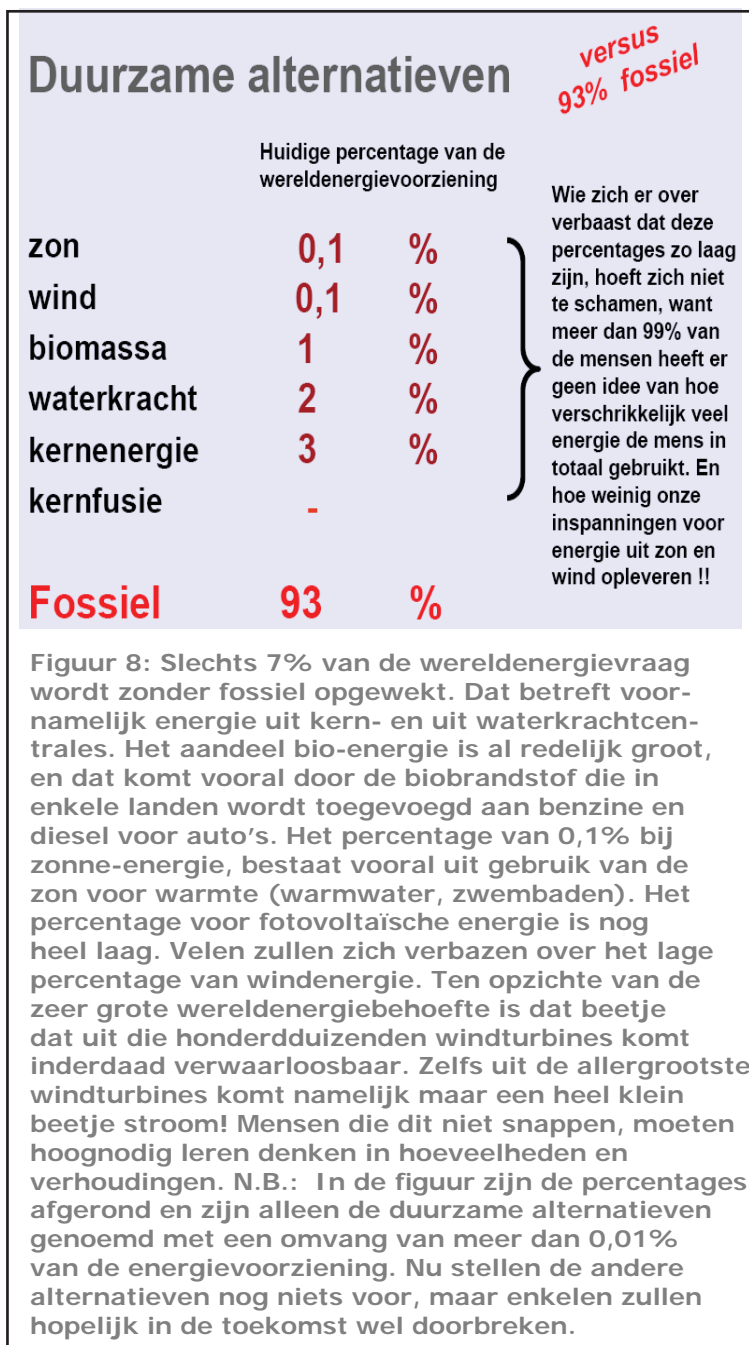
Energie wordt door de zon in grote hoeveelheden ingestraald op het aardoppervlak. Dag in, dag uit, vele malen meer dan de mens nodig heeft. Daar schermen milieu-organisaties graag mee. Maar zij verzwijgen dat onverantwoord grote oppervlakten van de aarde nodig zijn om voldoende energie uit de zon voor de mens op te wekken. Ook vertellen zij niet waar de mens 's nachts en bij slecht weer zijn energie vandaan moet halen. Hoewel op dit moment elektriciteit uit zonne-energie nog 6 maal zo duur is [fig.12 en

⁸⁾ als elektriciteit opgewekt met fossiel, en de huidige zonnecellen (nog) erg milieubelastend zijn, heeft zonne-energie een prachtige toekomst. De verwachting is dat elektriciteit uit zonne-energie in de wat verdere toekomst zeer goedkoop wordt. Dat geldt in de eerste plaats voor de productie van elektriciteit via zonnecellen (vaak genoemd PV of fotovoltaïsch). Die cellen worden veel goedkoper. We hebben hier te maken met statische processen met nieuwe technieken. En, uiteindelijk, eenvoudige, goedkope grondstoffen. Denk maar eens aan de prijsontwikkeling bij computer- en IT technieken.

Zonder opslag zal zonne-energie in de toekomst heel goedkoop worden. Misschien wel even goedkoop als kernenergie⁸⁾, of wellicht zelfs nog goedkoper. Althans zolang we de zonnecellen nog kwijt kunnen op oppervlakken die niets kosten, zoals daken, wanden, langs bestaande constructies en infrastructuur, etc. Zodra we gebruik moeten maken van kostbaar landoppervlak voor grote centrales vliegt de prijs van de zonne-energie omhoog. Met opslag erbij, om ook in de vroege ochtend, de avond en de nacht die energie van de zon te kunnen gebruiken, wordt ook zonne-energie onbetaalbaar. Die wordt dan al gauw 2 tot 3 maal zo duur als "energie uit kernen".

Goedkoop, maar niet echt grootschalig toepasbaar is thermische zonne-energie. Hierbij wordt zonnewarmte *direct* gebruikt voor opwarming van water. Zonneboilers zijn hier de meest gebruikte toepassing van.

Een ander veel genoemd proces om zonne-energie te benutten is CSP: Concentrated Solar Power, of zonnespiegelcentrales. Maar elektriciteit uit die centrales is veel duurder dan elektriciteit uit



zonnecellen. Bij CSP worden spiegels gebruikt die de zonnestralen concentreren op één punt of op één lijn, waarna met de verkregen warmte elektriciteit wordt gemaakt. Door het vele materiaal dat hierbij nodig is, zoals grote draaibare parabolische spiegels, hun ondersteuningsconstructies, het mechanische zonnestand volgssysteem en de benodigde conventionele centrales die warmte via stoom moeten omzetten in elektriciteit, zal CSP ook op termijn veel duurder blijven dan energie uit zonnecellen. CSP zal dan ook niet kunnen concurreren met de goedkopere "energie uit kernen".

Doordat:

- zonne-energie veel oppervlakte nodig heeft,
- die oppervlakte duur is zodra men die zonne-energie grootschalig toepast,
- zonnespiegelcentrales duur zijn,
- gebruik van goedkope grond in woestijnen hoge transportkosten met zich mee brengt,
- grootschalige toepassing van zonne-energie dure energie-opslag nodig maakt,
- zonne-energie zal moeten concurreren met de zeer goedkope "energie uit kernen",

zal zonne-energie blijvend een beperkte rol spelen in de totale energievoorziening. Je mag aannemen dat zonne-energie 'niet meer' dan 10-20% van alle energie (wereldwijd) zal verzorgen^[8]. Bedenk hierbij: 20% van alle energie op de wereld in 2050 is héél, héél héél veel!!

En dan moet de resterende 80% nog met andere energievormen worden opgewekt! [zie nog eens fig. 6, 7, 8 en 9]

En hoe dan omgaan met opslag? Wanneer de kosten van opslag er bij komen is ook zonne-energie weer erg duur. Dan maar op termijn minder zonne-energie en meer gebruik maken van goedkope schone "energie uit kernen".

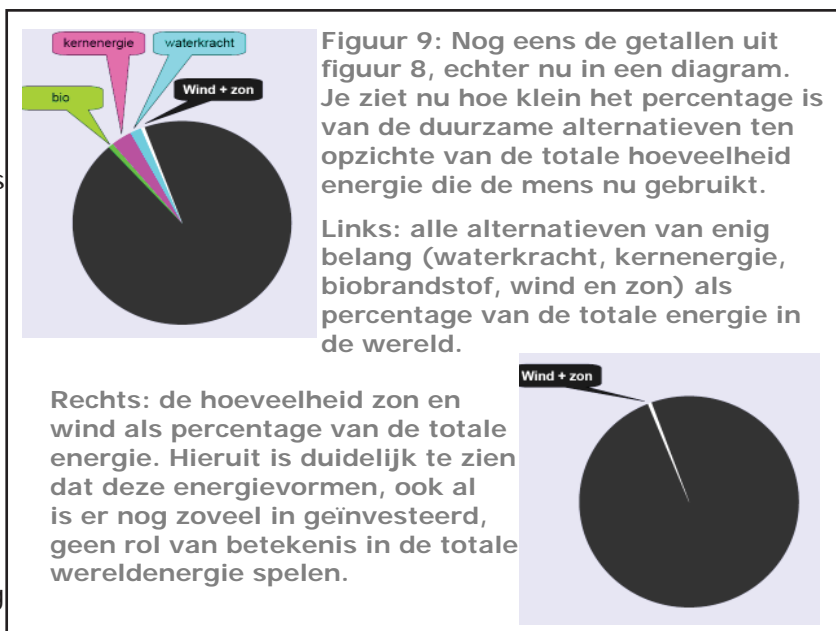
6. Wind

Windenergie is niet alleen nu onbetaalbaar^[fig.12 en fig.13], maar blijft dat ook op de lange termijn. Ten eerste omdat in wind nagenoeg geen energie zit. Er zijn dan ook gigantische windturbines nodig, met bladen groter dan een Boeing 747, om daarmee een bijna te verwaarlozen hoeveelheid elektrische energie op te wekken. Ondeskundige idealisten en belanghebbenden doen hun uiterste best om met verraderlijke voorstellingen te suggereren dat die windturbines veel elektrische energie opwekken. Dat is echter niet zo. [zie fig.6 en fig.8 en fig.9]

Als het niet waait moeten andere centrales, met olie, gas en kolen, die taak over nemen^[fig.10]. Die centrales kunnen dus nooit komen te vervallen^[1, 2]. Als het waait, moeten zij afregelen en verbruiken zij meer olie, gas en kolen per opgewekte kWh (omdat hun technisch rendement dan daalt^[6]). En als het niet waait moeten snel startende gasturbines met een slecht rendement de pieken opvangen, wat ook weer leidt tot extra brandstofgebruik. Dat leidt tot een *nog* lagere efficiency van de windturbines. [2,3, 4, 5,19, 20, 21,24,25]

Veel ernstiger is dat de windtechniek verouderd is, het is techniek van de vorige eeuw, hij is uitontwikkeld. Er is geen zicht meer op echt nieuwe technische verbeteringen. Aan te tonen is dat elektriciteit uit windturbines zelfs over nog eens 40-50 jaar nog steeds 5 maal zo duur blijft als elektrische energie uit andere nieuwe technieken^[7]. Het is kinderlijk om te geloven dat de wereld dan nog door zal gaan met deze verouderde techniek om energie op te wekken. Over 50 jaar bestaat de windturbine niet meer (buiten heel kleinschalige locale voorzieningen op moeilijk bereikbare plekken op de aardbol).

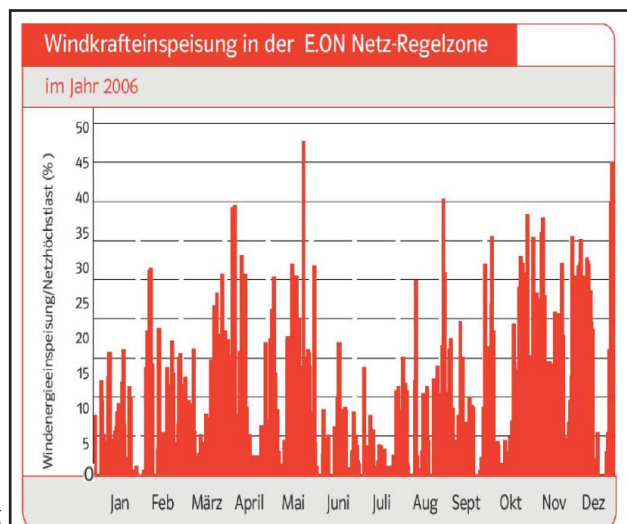
Technische verbeteringen door nieuwe betere technieken zullen de kostprijzen van alle productiemethoden op den duur reduceren, maar bij windenergie is er door zijn stilstaande ontwikkeling eerder het omgekeerde te verwachten. Hij zal steeds duurder worden. De grote concurrent, de moderne



kerntechniek, zal juist veel vereenvoudigen en efficiënter worden. De verwachting is dat de toch al lage prijs van stroom, opgewekt met kerntechnieken, in 2050 (op basis van het huidige geldstelsel) nog zal halveren.^[7]

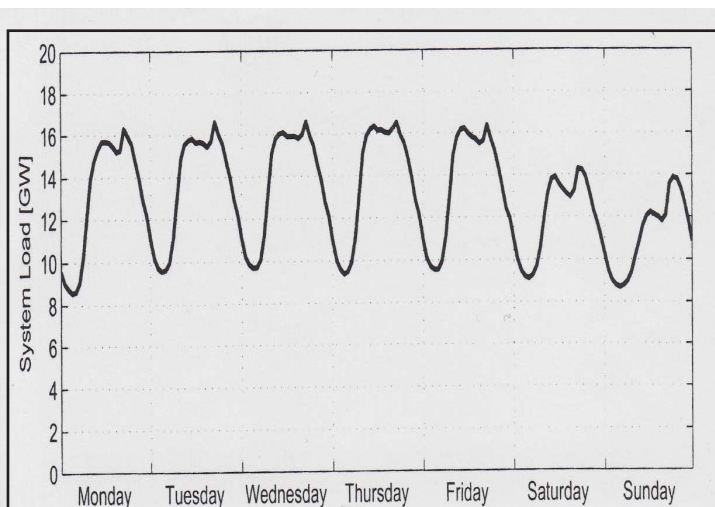
Het is uitgesloten dat de mensen in 2050 (in de hele wereld!) nog steeds hoge subsidies zullen blijven betalen voor elektriciteit uit die ouderwetse windturbines. Je kunt uitrekenen dat er in 2050, als men (slechts) 5% van alle energie uit windturbines zou willen halen, wereldwijd jaarlijks meer dan 1.000 miljard Euro (omgerekend naar de waarde van vandaag) aan subsidie bij zou moeten ^[fig.12 en fig.13]. En dat wordt met de jaren alleen maar meer doordat het verschil in prijs met de snel goedkoper wordende moderne (kern)technieken steeds groter wordt. Wellicht kunnen onze achterkleinkinderen zo'n grote windturbine dan nog in musea bewonderen als "cultureel erfgoed" uit het verleden.

De vorige regering had plannen om in de komende 10 jaar 45 miljard (!) Euro uit te geven aan de bouw van nieuwe windparken in zee. Ondanks dat die nauwelijks elektrische energie produceren. Stel je maar eens voor: die kleine kerncentrale in Borssele produceert per jaar meer elektrische energie dan alle windmolens en zonnepanelen in Nederland (inclusief die op zee) bij elkaar. En de nieuwe, nog te bouwen kerncentrale in



Figuur 10: Windenergie fluctueert sterk met de tijd. Ook voor zeer uitgestrekte windparken van meer dan twee duizend km lengte (Engeland-Schotland) geldt dit. De veel gehoorde bewering dat bij grote spreiding van windparken die fluctuaties vanzelf vereffend worden is niet waar! ^[28]

Hier de fluctuatie van de hoeveelheid opgewekte windenergie (in percentage van de maximale elektriciteitsvraag) in de windparken van E.ON langs de noord-Duitse kust^[27]. Je kunt zien dat het in de praktijk om zéér grote fluctuaties gaat. Zonder opslag is dit onbruikbare energie!



Figuur 11: De belastingkromme geeft de elektriciteitsvraag in Nederland op een winterdag. Je ziet dat overdag de vraag tot twee maal zo groot is als gedurende de nacht ^[22]. De curve van geproduceerde zonne-energie valt helaas niet samen met de dagcurve. Wat veel afdoet aan de waarde van de elektriciteit uit zonne-energie.

Afvlakking van de dag-nacht curve zou veel geld en veel (fossiele) brandstof besparen (dus veel CO₂ besparen). Slimme netwerken zullen hiervoor zeker worden gebruikt ^[10].

Deze belastingkromme laat begrijpen hoe vervelend het is als het 's nachts plotseling hard gaat waaien en veel windenergie dwingt om het beperkte fossiel opgewekte vermogen af te regelen. Evenzo is het vervelend als juist overdag de wind plotseling gaat liggen en snel regelbaar vermogen moet worden ingezet.

Borssele van 1600 MW zal per jaar (veel) meer elektriciteit produceren dan alle windturbines op zee en op land, bij en in Nederland, volgens de meest optimistische uitbreidingsplannen in 2030 (zelfs 2050) tezamen zullen leveren. Waarom wil men die windmolens eigenlijk voor al dat vele geld bouwen?

7. Prijs geeft uiteindelijk de doorslag

Wereldwijd gaat per jaar tussen de 200 en 400 miljard Euro om in zinloze projecten en geldverslindende "gebakken lucht" handel via CO₂ certificaten. Heel veel geld dat beter besteed kan worden. Bijvoorbeeld door een deel daarvan te besteden aan meer onderzoek naar echt nieuwe technieken om energie uit de kernen van materie te halen. Want zonder echt nieuwe technieken voor de energievoorziening zal de wereldbevolking het op termijn niet straffeloos gaan redden.

Vanzelfsprekend moet de mens ook andere nieuwe alternatieven onderzoeken, zoals golfenergie, getijdenenergie, aardwarmte, warmte- koude opslag, temperatuursverschillen tussen verschillende diepten in zee (OTEC), blauwe energie, energie uit algen, etc.^[9]. Men zal ook in de toekomst verschillende soorten energiebronnen naast elkaar willen gebruiken, al was het maar om risico's te spreiden. Een

gezonde "brandstofmix" zal daarom bij voorkeur bestaan uit meerdere vormen van energie en meerdere methoden van elektriciteitsproductie. Naast milieu-eisen en blijvende beschikbaarheid zal de prijs doorslaggevend zijn. Dat laatste kan niet anders omdat er in "energie" zo verschrikkelijk veel geld omgaat.

8. Waar het dan naar toe gaat

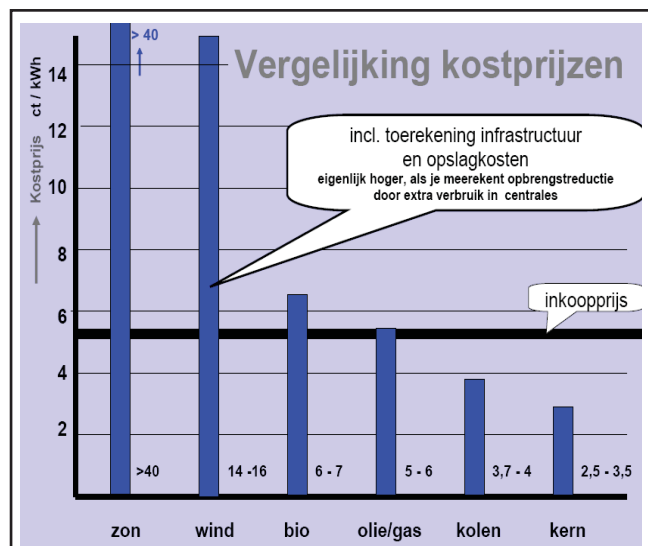
Op grond van het bovenstaande mag je verwachten dat rond 2050:

- windenergie onbetaalbaar blijft;
- zonne-energie, bij slim gebruik maken van dagverbruikspatronen, goed betaalbaar is. Maar alleen bij beperkt gebruik (maximaal 10–20% van de benodigde energie);
- biobrandstof zijn eigen specifieke toepassingen zal kennen (ook op beperkte schaal);
- waterkracht prima is, maar in hoeveelheid helaas slechts beperkt beschikbaar is;
- vele alternatieven, zoals aardwarmte, golfslag-energie, en tal van andere mogelijkheden, wellicht goed mee kunnen in het energieplaatje, maar ook dat in beperkte mate;
- kernfusie nog niet op grote schaal beschikbaar is;
- kernenergie de goedkoopste energievorm blijft, en aan nieuwe generaties kerncentrales in 2050 veel minder nadelen kleven;
- nieuwe goedkopere vormen van energie uit de kernen van materie geleidelijk de andere vormen van energie verdringen;
- de rol van fossiel voor meer dan de helft zal zijn afgebouwd.

Conclusie

Omdat het bij energie om jaarlijks vele miljarden Euro's gaat (duizenden miljarden Euro's per jaar, wereldwijd) kan het niet anders dan dat de economie, dus de prijs per kWh, doorslaggevend is en blijft. Ook al denken nogal wat Nederlanders dat een fraaiere energievorm best wel twee tot drie keer zo veel mag kosten als een, in hun ogen, minder fraaie energievorm. Voordelen en nadelen en vooral de prijs zullen bij keuzes van energievormen naast elkaar moeten worden afgewogen. Naast juiste informatie is ook technisch inzicht nodig om te doorzien waar kansen liggen. En boven alles is het kunnen denken in hoeveelheden en verhoudingen noodzakelijk. Daarna is het pas mogelijk te begrijpen welke energievormen toekomst hebben.

Daarvoor is een verantwoorde visie op de toekomstige energievoorziening nodig. Die ontbreekt helaas, en dat leidt tot de misinformatie van ons decennium. Dat kan alleen maar omdat de burger en kiezer onwetend wordt gehouden door onjuiste en onvolledige informatie. De burger



Figuur 12: Elektriciteit wordt ingekocht door de elektriciteitsbedrijven voor gemiddeld (gegarandeerd vermogen) 5 - 5½ ct/kWh.

Als de kostprijs hierboven ligt, kan het productiemiddel alleen draaien als er subsidie op zit, en politieke sturing bovendien mogelijk maakt dat extra kosten, veroorzaakt door infrastructuur en opslag, door anderen worden gedragen (uiteindelijk draagt de consument alle extra kosten).

Zonne-energie (PV) zal snel goedkoper worden, en wordt uiteindelijk zelfs zeer aantrekkelijk.

Windenergie blijft te duur en heeft geen toekomst [zie tekst en 1,2,3,4].

Berekening kostprijs Wind (alle prijzen in ct/kWh):

	LAND	ZEE
vergoeding (per kWh)	12	16 - 22 <small>(diep in zee hoger)</small>
infrastructuur	+ 1	+2
(belastingvoordelen)	p.m. (+1)	(+1)
Niet in rekening gebrachte opslagkosten (of kosten regeling en overdimensionering conventionele centrales)	>> +4	>> +4
reductie op werkelijk geleverd vermogen in het net, t.g.v. extra verbruik brandstof door extra regeling (neemt sterk toe bij toename geïnstalleerd windvermogen)	(20 - 40 %) p.m. (+4 tot +11 !!)	(20 - 40 %) gemiddeld: (+9 tot +12 !!)
"bruto" (niet reële) vergoeding opgewekte kWh	- 5	- 5
Winst (opgenomen in de staatssubsidie)	- 2	- 2

Er mee rekening houdend dat het merendeel van de windturbines in zee komt, zeker bij werkelijk grootschalige toepassing, bedraagt de gemiddelde kostprijs:

14 - 17 ct / kWh → naar beneden afronden: **15 ct / kWh**

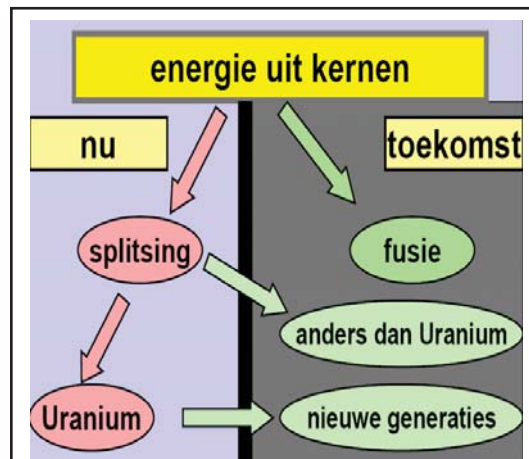
Figuur 13: Als je eerlijk uitrekent wat elektriciteit uit windturbines kost, dan vind je dat de echte "kostprijs" veel hoger ligt dan "men" je wil laten geloven [14,15,7,19, 20, 23]. Dan moet je per kWh in rekening brengen wat de extra infra-structuur kost (anders dan bij gegarandeerd vermogen!) en wat de opslag kost. Gerekend is hier met 4ct/kWh voor die opslag, maar de werkelijke opslagkosten liggen veel hoger als we nog meer windmolens bouwen en de centrales in het net niet meer kunnen bijregelen zonder nog veel meer extra (fossiele) brandstof te verbruiken en dus extra CO₂ te produceren. Dan kom je op wel 25ct/kWh!

[zie ook 2]

is immers toch niet in staat om het moeilijke vakgebied energie te overzien en te doorzien. Van beleidsbepalers, zoals politieke bestuurders, moet je dat wel kunnen verwachten.

Tenslotte

Je vraagt je af hoe het mogelijk is dat de hele wereld op dit moment wel roept dat de CO₂ productie door de mens naar beneden moet, en dat we minder afhankelijk moeten worden van fossiel, en dat we olie niet langer onnodig mogen verbranden opdat ook de generaties na ons deze mooie grondstof nog kunnen gebruiken voor vele nuttige producten, maar niets doet! Dat de rijke landen geld wegslijten naar "speeltjes" als windenergie en (nog) onvolwaardige zonne-energie, en niet echt investeren in de werkelijke technieken van de toekomst. Is dit echt onwetendheid? Zou echt niemand van de beleidsmakers begrijpen hoe de toekomst van energievoorziening er uit ziet? Zou geen van die beleidsmakers begrijpen dat bijvoorbeeld subsidie aan windenergie weggegooid belastinggeld is? Zou geen van die beleidsmakers inzien dat we veel meer moeten investeren in de ontwikkeling van echt nieuwe energievormen van de toekomst? Of zouden zij allemaal niet geloven in de noodzaak om onafhankelijker te worden van olie en gas en in de noodzaak om olie te sparen als grondstof voor de producten van onze achterkleinkinderen? En zouden zij helemaal niet geloven in de invloed van CO₂ op het klimaat? Of kunnen zij niet op tegen de lobby van belangengroeperingen in windenergie en zonne-energie, waar tenslotte héél veel geld in omgaat?



Figuur 14: "Energie uit kernen" zal uiteindelijk de belangrijkste, goedkoopste en alles overheersende energievorm voor de mensheid worden. Die zal "schoon" zijn en zal andere energievormen nagenoeg geheel verdringen. Daar moeten we nu al rekening mee houden.

Links: huidige kerncentrales waarbij de splitsing van Uranium (U²³⁵) nog veel nadelen kent.

Rechts: toekomst (2030-2050) met

- nieuwe generaties veilige centrales zonder echt afval probleem
- centrales op basis van andere processen, zoals gebruik van Thorium als uitgangselement
- fusiecentrales, als die tenminste concurrerend worden.

Toelichtingen, verantwoordingen en verwijzingen

1. De klant vraagt om gegarandeerde stroom. Hij zal zijn gebruik van elektriciteit niet aanpassen aan het feit of het nu net wel of niet hard waait. Om wisselende -onbetrouwbaar- geproduceerde elektrische energie uit de windturbines bruikbaar te maken is een vorm van opslag nodig om die wisselende toevoer van energie te spreiden, liefst te vereffenen over het jaar. Grootschalige opslag is echter moeilijk te realiseren en is zeer kostbaar. Als je de hoge kosten voor opslag optelt bij de toch al zeer hoge kostprijs van windenergie (minstens 3 tot 4 maal de kostprijs van kernenergie), wordt die windenergie helemaal onbetaalbaar (6 tot 8 maal de prijs van kernenergie). Daarom maakt men in de regel gebruik van het bijregelen van de elektrische centrales in het net (als het hard waait regelen die af en als het niet waait regelen die bij).

De kosten die in het net veroorzaakt worden voor dat bijregelen zijn héél veel hoger dan men je wil doen geloven. Het is pas sinds begin 2010, toen er studies verschenen over de waanzinnige inefficiëntie van dat bijregelen, dat dit naar buiten is gekomen. Een belangrijke bijdrage aan ons inzicht hoe hoog die kosten dan wel zijn is onder meer te danken aan onderzoek door de Nederlanders Fred Udo en Kees Lepair en Kees de Groot ^[19, 20, 21].

Die kosten nemen toe naarmate er meer windturbines worden geplaatst. Beter gezegd, naarmate het geleverde vermogen door de windturbines een groter deel wordt van het op dat moment gevraagde vermogen. Als de netto (schijnbare) opbrengst van de windturbines meer is dan de helft van het op dat moment gevraagde vermogen in het net, dan lopen die kosten al flink uit de hand (meer dan 4 cent per kWh windenergie, en die 4 cent hoor je op te tellen bij de toch al hoge kostprijs van de windturbine)^[2]. Let wel, als 's nachts bij harde wind de gezamenlijke windturbines de helft van het gevraagde vermogen leveren, dan hebben we het pas over een jaaropbrengst door die turbines van $0,5 \times 0,6 \times 0,8 \times 0,2 \times 100\% = 5\%$ van de totale jaarlijkse energievraag (van bijvoorbeeld heel Nederland; 0,6 is deel elektrische vraag nacht van dag; 0,8 = gemiddelde waarde dag/nacht; 0,2 = bedrijfstijd windturbine). Rond die waarde van 5% ligt dan in de praktijk de bovengrens van de maximale verantwoorde opbrengst van alle in de toekomst plaatsbare windturbines in Nederland. Al die vele windturbines zullen dan met elkaar minder netto elektrische energie leveren dan de geplande nieuwe kerncentrale in Borssele. En zij zullen minder CO₂ verdrijven dan die ene kerncentrale en héél erg veel meer kosten! En te bedenken dat al die windmolens samen veel minder dan 1% bijdragen aan de totale Nederlandse energiebehoefte! Je kunt er maar beter helemaal mee stoppen.

2. Rekenvoorbeeld met ronde getallen: Stel dat in Nederland 10.000 MW opgesteld vermogen windturbines wordt geplaatst. Dan moet daartegenover staan 10.000 MW (draaiend) opgesteld vermogen aan centrales in het netwerk op land. Immers, als het niet waait dan moeten die centrales voor de benodigde elektrische energie zorgen. Windturbines krijgen absolute voorrang, zo is dat nu eenmaal -ten onrechte- geregeld. Dus de centrales hebben zich maar aan te passen. Hebben de windturbines een bedrijfstijd van 20% (men heeft het dan vaak, al is dat niet helemaal correct, over een 'rendement' van 20%), dan zullen die centrales gemiddeld slechts voor 80% mogen draaien van het vermogen dat zij zouden draaien zonder windturbines. De 20% die deze centrales niet mogen leveren, betekenen dat de kosten hiervoor, vaste lasten en niet gerealiseerde winsttoeslag en extra slijtage en onderhoudskosten door onregelmatig bedrijf, worden gedragen door de afnemers (consumenten zoals u en ik). Logisch is dat je die kosten toe moet rekenen aan de kostprijs van elektriciteit uit de windturbines. Erger nog is, dat de centrales als gevolg van de door de windturbines veroorzaakte fluctuaties met een slechter rendement gaan draaien. En er bovendien snelstartende gasturbines met een slecht rendement moeten draaien voor het opvangen van de snelle en extreme fluctuaties. Dat alles kost extra brandstof en produceert extra CO₂^[14, 15, 16, 19]. En onderschat niet: in dit voorbeeld is de hoeveelheid extra brandstof en extra geproduceerde CO₂ reeds meer dan 20-30% van de hoeveelheid brandstof en CO₂ (voor de vervanging waarvan de windturbines juist waren neergezet!). De windturbines hebben dan dus nog maar twee derde van hun effectiviteit, want het ging er toch juist om brandstof te sparen en geen CO₂ te produceren. Dit effect alleen al verhoogt de effectieve kostprijs van de windturbines met nog eens 50% (en ze waren al zoveel duurder geworden door de genoemde kosten voor niet gerealiseerde vermogens door de centrales en hierboven genoemde overige kosten). Als je alles meerekent kom je dus veel hoger uit dan de 15 cent/kWh die in figuur 13 wordt berekend. Je dient bij de berekening van de echte kostprijs van de door de windturbine geproduceerde elektriciteit eigenlijk alle kosten toe te rekenen op de netto geproduceerde hoeveelheid kWh, dus de direct gemeten productie verminderd met de hoeveelheid kWh die met de "verspeelde" brandstof had kunnen worden geproduceerd!

Voor de kosten van "opslag" door het net is in figuur 13 gerekend met 4 cent/kWh (wanneer veel windturbines op het net invoeden zullen die kosten dus hoger liggen). Heel globaal berekend, met sterk afgeronde getallen, kost die "opslag in het net" per kWh: 2 cent voor de niet meer gedekte vaste kosten van de centrales, verhoogd met 1 cent (geschat op 0,6 tot 0,8 + 0,3 tot 0,5) voor

de niet meer gerealiseerde winst en extra onderhoudskosten, verhoogd met 1 tot 2 cent voor extra brandstoffen. Alles bij elkaar, afgerond: ten minste 4 cent.

3. De sterk fluctuerende en onvoorspelbare elektriciteit geproduceerd met wind heeft eigenlijk nauwelijks waarde. In onze geliberaliseerde energiemarkt wordt de prijs, waarvoor elektriciteit wordt ingekocht door energiehandelaars, bepaald op basis van vraag en aanbod. De energiebeurs APX speelt daarbij een belangrijke rol.

Niet voorspelbaar, sterk fluctuerend aanbod van elektriciteit zal daar gemiddeld in het beste geval ongeveer 1 cent/kWh opbrengen. Daar kan natuurlijk geen windturbine van bestaan, zelfs niet met de huidige hoge staatssubsidies. De overheid heeft hier iets op gevonden om het bouwen van windturbines te stimuleren: elektriciteit uit wind krijgt absolute voorrang op het net. Dat is bij wet geregeld. De centrales in het net moeten hun leveringen maar aanpassen aan de luimen van de wind. Zo wordt kunstmatig de verkoopprijs (van de windmolen-exploitant aan de energiehandelaren) voor geleverde stroom uit windturbines op het niveau gebracht van de gegarandeerde stroom! De exploitanten van windturbines krijgen daardoor een prijs van 5-5½ cent/kWh en de andere stroomproducenten betalen dus eigenlijk het verschil tussen die 5-5½ cent en de "echte" waarde van ca 1 cent. Uiteindelijk betaalt de consument dat verschil. En zelfs meer als er in zee zoveel windturbines komen als nu gepland is (waardoor nog meer extra brandstof verloren gaat door bijregelen van de centrales). *Hoe lang kun je zo'n onzin volhouden?*

4. De kosten van grootschalige opslag, zo men die zou willen maken, zijn hoog. Een kunstmatig eiland in zee voor opslag in de waterhoogte van een groot bassin, (plan Lieveense), zal beduidend meer dan 10 cent/kWh gaan kosten. De enige nu bekende goed betaalbare manier van opslag, is gebruik maken van stuwmeren met voldoende verval, zoals ook gebruikt worden voor waterkrachtcentrales. Dergelijke stuwmeren zijn niet overal beschikbaar, in ieder geval niet in Nederland. Daarom wordt gebruik gemaakt van een vorm van "opslag" binnen het elektriciteitsnet: door de elektriciteitscentrales af te regelen als het harder gaat waaien en bij te regelen als het zachter gaat waaien.

Als het gaat waaien (of harder gaat waaien) worden centrales afgeregeld of stop gezet; als de wind gaat liggen (of het zachter gaat waaien) worden centrales omhoog geregeld, andere centrales gestart en snel startende gasturbines (met slechter rendement) in bedrijf genomen. Dit regelen in het net kost veel geld en kost extra brandstof (dus extra CO₂)^[zie 2].

5. Veranderingen in de geproduceerde hoeveelheid elektrische energie uit windturbines verlopen heviger dan de leek zou denken. Veel heviger dan de veranderingen in het windaanbod. Dat komt doordat de hoeveelheid opgewekte elektrische energie (kWh) verandert met de derde macht van de windsnelheid. Dus als de wind de helft in snelheid afneemt, loopt de levering van elektrische energie terug tot slechts 10%, dus bijna niets meer.
6. Omdat de elektriciteitscentrales in het netwerk op- en af moeten regelen om het wisselende energie-aanbod van de windturbines te compenseren, wordt het rendement van deze centrales slechter. Zij gebruiken daardoor meer gas, olie en kolen. Zij produceren dus meer CO₂.

Prof.ir. R.W.J. Kouffeld vergeleek het slechtere rendement met dat van een automotor: dezelfde auto gebruikt in stadsverkeer beduidend meer brandstof per gereden kilometer dan wanneer deze auto rustig en met een constante snelheid van 100 km/uur over lange stille autowegen rijdt.

7. Op dit moment is windenergie minstens 4-6 keer zo duur als kernenergie^[fig 12 en fig.13]. Bij nog grootschaliger toepassing van windturbines zal de energie-opslag, die nodig is vanwege het onbetrouwbare, fluctuerende karakter van windenergie, relatief sterker drukken op de integrale kostprijs van windenergie. En hoe zal dat er dan uitzien in 2050?

Mechanische technieken hebben de neiging om naar de toekomst toe altijd duurder te worden. Stel nou eens dat windenergie een gunstige uitzondering vormt en ga bij de schatting van de kostprijs na 2050 (om wind dus alle kansen te geven) uit van een zeer gunstige kostprijzdaling van 30%. Dan zal de elektriciteit opgewekt met windenergie gemiddeld (op prijsbasis nu) in het beste geval nog een kostprijs hebben van 10 cent/kWh. Bij een waarschijnlijke daling van (30-)50% van de kostprijs per kWh voor "energie uit kernen" na 2050, blijft de windenergie nog altijd 5-6 keer zo duur als die "energie uit kernen". Voor de gigantische geldbedragen die daarin omgaan, kan mechanisch opgewekte windenergie door middel van windmolens, geen toekomst hebben.

8. Voor zonne-energie is veel oppervlakte nodig. En oppervlakte is schaars en duur. Niet als je gratis ruimten benut zoals bijvoorbeeld daken en eventueel zelfs muren, maar dat zijn al met al niet zoveel vierkante meters. En dat levert dan niet zoveel energie als je zou verwachten, althans niet als je een belangrijk deel van de totale wereld-energievraag op den duur met zonne-energie zou willen dekken. De kosten van oppervlak en de kosten van opslag bij grootschalige toepassing zullen

de hoeveelheid zonne-energie blijvend beperken. Wellicht zal dat u verbazen. U zult er aan denken dat zon toch gratis is, en dat PV snel goedkoper wordt, en dat ook de installatie tussen PV-cellen en het net, voor de omzetting naar een geschikte wisselspanning, goedkoper zal worden. Dat klopt voor kleinschalige energievoorziening, tot slechts enkele procenten van de totale (wereld) energiebehoefte. Maar voor de energie die u niet direct gebruiken kunt als de zon schijnt, en op andere uren wilt gebruiken, is opslag nodig. En opslag is, zoals we in dit stuk al eerder zagen, duur. Met opslag is zonne-energie, ook in het meest gunstige scenario al snel beduidend duurder dan "energie uit kernen". En als je die zonne-energie grootschalig wilt toepassen, dan komen daar ook nog eens de kosten voor grondbeslag bij. Zonne-energie vergt immers véél oppervlakte. Dan prijst de zon zich zelf uit de markt. Zo'n 10-15% (max.20%) van alle energie is toch wel het uiterste dat op lange termijn (rond 2050?), kan worden gedekt met zonne-energie. Dat is overigens heel erg veel. Als je bedenkt dat de wereld-energievraag in 2050 meer dan verdubbeld zal zijn, betekent 10% daarvan evenveel als nu de elektrische energie van de totale wereld groot is. En 20% in 2050 is dan evenveel als twee maal de totale elektrische energie van heel de wereld nu. Dat de mens nog eens zoveel zonne-energie zou gebruiken, daar had toch nog niemand van durven dromen?

Blijft dat de rest, dat is 80-90% van de totale energie in 2050 op andere manieren zal moeten worden opgewekt.

9. Waterstof wordt nogal eens één van de energiebronnen van de toekomst genoemd. Vooral voor zwaar wegvervoer en scheepvaart. Dat is echter onjuist. Waterstof is een energiedrager, zoals overigens ook elektriciteit een energiedrager is en geen energiebron. Dat waterstof in de toekomst naast elektriciteit een rol zal gaan spelen is wel waarschijnlijk. Hoe groot die rol zal zijn, is nog niet aan te geven, en is in dit verhaal ook niet van relevant. De meest effectieve productiemethode voor waterstof verloopt bij hoge temperaturen van 800-1000 °C, en dat kan weer het meest economisch gebeuren door gebruik te maken van "energie uit kernen" (net als bij de huidige kerncentrales ontstaat hierbij hoge temperatuur in gemakkelijk bruikbare vorm). Waterstof zal als energiedrager duurder zijn dan elektriciteit, maar zal waarschijnlijk zijn eigen specifieke toepassingen hebben die die hogere prijs rechtvaardigen.
10. Slimme netwerken: "Slimme netwerken" zijn volop in ontwikkeling en zullen binnen 20 jaar algemeen en ten volle zijn ingevoerd. Zeker in Nederland. Vóór 2050 zal dit in heel de wereld ook het geval zijn.

Een "slim netwerk" is een energievoorzienings-netwerk waarin telematica en digitale technieken er voor zorgen dat alle elementen in die netwerken (waar nodig) *real time* gemeten en gestuurd kunnen worden. Dat geldt voor zowel producenten als afnemers, en alle tussenliggende verbindingen en koppelingen. Je moet je voorstellen dat een energievoorzienings-netwerk een heel complex geheel is. Zo'n netwerk omvat talloze afnemers (gebruikers van elektriciteit) en veel producenten (centrales, maar ook zonnepanelen, kleinschalige producenten, eventueel windturbines, etc., etc.), en daartussen elektrische verbindingen en veel meetpunten (elektrische meters zoals de kWh-meter bij u thuis). Binnen dat netwerk moet vraag en aanbod voortdurend in evenwicht zijn. Dat gebeurt technisch, en vooral op economische gronden (door gebruik maken van de energiebeurs APX). Van storingsen in verbindingen en in productie-eenheden (uitval van elektrische centrales) mag de gebruiker (consument) niets merken. Een ingewikkeld systeem van regelgeving en afspraken zorgt nu hiervoor. Om veranderingen in vraag en aanbod op te vangen worden nu voortdurend elektrische productie-eenheden (centrales) bij- en afgeschakeld. Denk maar eens aan de dag-nacht kromme, zoals die te zien is in de week-belastingkromme in figuur 11. In "slimme netwerken" wordt het regelproces verregaand geautomatiseerd uitgevoerd.

Anders dan in de huidige netwerken moet in de "slimme netwerken" iedere verbinding transport in twee richtingen toelaten. Een afnemer (b.v. woning of fabriek) kan dan het ene moment energie vragen en het andere moment energie leveren. Maar ook bijvoorbeeld een oplaadpunt voor auto's kan in dit spel meedoen wanneer de prijs voor de elektriciteit is gekoppeld aan vraag en aanbod in het net. Is er op een bepaald moment (te) veel productie, dan is de prijs laag. Is er op een bepaald moment (te) weinig productie ten opzichte van de vraag, dan is de prijs hoog. Zo kan bijvoorbeeld de accu van de elektrische auto met opladen wachten tot de prijs laag is, en zelfs terug leveren als de prijs hoog is. Hele industrieën kunnen in dit spel van vraag en aanbod meedoen (door hoge en lage elektriciteitsprijzen).

Een praktisch puntje is dat storingsen in een "slim netwerk" direct worden gedetecteerd en de plaats van de storing of defect nauwkeurig wordt aangewezen door computers. Daardoor kunnen storingsen veel sneller worden verholpen. En dat is maar goed ook, want de mens zal steeds afhankelijker worden van een betrouwbare continue elektriciteitsvoorziening.

Het bij- en afregelen van productie-eenheden (centrales) kost veel geld, en kost veel extra brandstof (dus extra CO₂). In "slimme netwerken" is dit alles veel beter en vooral veel efficiënter te

regelen dan nu nog het geval is. "Slimme netwerken" besparen dus veel brandstof en werken mee aan een lager energieverbruik.

Ten onrechte wordt het voorgesteld alsof "slimme netwerken" de oplossing van de toekomst zijn om windenergie en zonne-energie beter en goedkoper in te passen. Dit is overwegend niet juist want de "slimme netwerken" zullen we al benutten om door een betere afstemming tussen vraagkromme en productie de huidige grillige dag-nacht kromme beter af te vlakken. Dat betekent minder centrales en minder start-stop verliezen en minder regelverliezen in centrales. *Je kunt het systeem nu eenmaal niet ook nog eens benutten voor wind en zon!* Als voorstanders van windenergie die toekomstige ontwikkeling van "slimme netwerken" voorstellen als de oplossing voor het huidige zeer kostbare bij- en afregelen van centrales voor de invoeding van windenergie, bedriegen zij willens en wetens het publiek, of zij weten gewoon niet beter!

11. Ten onrechte komen z.g. wetenschappers met theorieën waarom de energievoorziening van de mensen (wereldwijd) decentraal of centraal zal gaan plaats vinden. Eigenlijk kun je daar nu nog geen zinnig oordeel over geven. In de eerste plaats gaat het bij die discussie van decentraal versus centraal altijd weer alleen over die 20% van de energie die nu via elektriciteit wordt geconsumeerd, en "vergeet" men maar de overige 80%. In de tweede plaats komt men dan maar weer al te graag met de CV-ketels in huizen en kantoren, die ook elektriciteit kunnen maken (zonder stil te staan bij de kostprijs). Maar daarbij gaat het weer om slechts een heel klein stukje van de totale energievoorziening. De grote elektriciteitscentrales staan nu op plaatsen waar voldoende koelwater aanwezig is: aan grote rivieren, en liefst aan zee. Een beetje decentraal maar, want zo groot zijn die afstanden binnen het totale netwerk ook weer niet. Binnen ons kleine Nederlandje al niet, en, wat groter bezien, zelfs binnen het grote netwerk van verenigd Europa niet.

Bij toepassing van meer elektriciteit in de toekomst zal dat koelwater belangrijk blijven, zelfs als de rendementen van centrales nog wat beter worden.

Economie en mogelijkheden om de z.g. "restwarmte" van elektrische centrales (groot en klein) af te voeren en te hergebruiken zullen in de wat verdere toekomst bepalen hoeveel elektriciteit grootschalig en/of (enigszins) decentraal, en hoeveel elektriciteit kleinschalig en/of centraal (dat is dicht bij de gebruiker) zal worden geproduceerd.

Pas *echt* decentrale opwekking zou grootschalige windenergie uit zee zijn, als de plannen daartoe tenminste ooit nog zouden worden uitgevoerd. Ook de wilde plannen om Europa elektriciteit te leveren uit zonnecentrales in de noordafrikaanse woestijnen zou *echt* decentrale grootschalige opwekking zijn.

12. Investeringskosten productiemiddel versus - kostprijs opgewekte stroom: Bij vergelijking van de financieel-economische aspecten van de verschillende elektriciteitsproductie methoden wordt nogal eens gekeken naar de investering per MW (Mega Watt) in plaats van all-in kostprijs per MWh of kWh (Mega Watt uur en kilowatt uur). Vooral sprekers voor de media doen dat nogal eens. En dat is natuurlijk niet correct. Het geeft een totaal verkeerd beeld van de economische haalbaarheid van een opwekmethode. De investering per MW (of kW) voor een olie- of gasgestookte eenheid is lager dan de investering per MW (of kW) van bijvoorbeeld een kerncentrale. Toch is de kostprijs van kernenergie, de prijs per geproduceerde kWh, lager door o.a. de veel lagere brandstofprijs, de veel hogere bedrijfstijd en de langere levensduur van de eenheid. Ook verschillen in onderhoudskosten kunnen natuurlijk een rol spelen.
13. IEA (International Energy Agency) – World Energy Outlook 2009 en 2010, en IEA (International Energy Agency) – Key World Energy Statistics 2010. IEA (International Energy Agency) – Wind Annual Report 2009
14. Staatscourant 25 januari 2010, Regeling van de Minister van Economische Zaken van 14 januari 2010, nr. WIJZ/9218768, - Regeling aanwijzing categorieën duurzame energieproductie 2010.
15. Brief van 30 november 2010 van de Minister van Economische Zaken, drs.M.J.M.Verhagen aan de Tweede Kamer betreffende SDE+.
16. SenterNovem: Kosten en Subsidies Windenergie, stand maart 2010, SDE (Stimulatie Duurzame Energieproductie): Subsidie Wind op Land 2010.
17. ECN/Kema: Technisch economische parameters van duurzame energieopties in 2009-2010 / Eindadvies basisberekeningen voor de SDE-regeling (ECN-E-08-090) – december 2008.
18. David JC MacKay: Sustainable Energy without the hot air. UIT Cambridge Ltd, 2009. ISBN 978 0 9544529 3 3.
19. K. de Groot & C. le Pair: De Brandstofkosten van windenergie; een goed bewaard geheim.

- 20.C. Lepar & K. de Groot: De invloed van elektriciteit uit wind op fossiel brandstofgebruik.
- 21.Fred Udo: Besparen windmolens CO2? December 2009.
- 22.Dr.ir. B.C.Ummels: Power System Operation with Large-Scale Wind Power in Liberalised Environments. Proefschrift Technische Universiteit Delft 2009.
- 23.L.J.Giling: Het idee fixe van zonnecellen en windmolens, 13 september 2010.
- 24.Fred Udo, Kees de Groot en Kees le Pair: Windmolens, als stroombron.
- 25.De Groene Rekenkamer (www.groenerekenkamer.nl): WEBINAR 21 april 2010 van Fred Udo: Besparen windmolens CO2?
- 26.RWI Projectbericht: Economic impacts from the Promotion of Renewable energies: The German Experience - Final Report ; Dr. Manuel Frondel, et all.
- 27.E.ON Netz: Wind Report 2005.
- 28.Stuart Young: Analysis of UK Wind Power Generation - maart 2011.

WalterConsultancy
Ir.R.N.Walter
Oosterhout
mei 2011

Steun de Groene Rekenkamer

Bovenstaand artikel is slechts een van de vele kritische publicaties van de Stichting de Groene Rekenkamer.
Bezoek ons op www.groenerekenkamer.nl

De Groene Rekenkamer ontvangt geen subsidie (en wil dat graag zo houden), dus steun ons door een donatie op www.groenerekenkamer.nl/donatie of door rechtstreeks een bedrag over te maken op banknr 101059779 tnv de Groene Rekenkamer, Lelystad. Doe het nu!

Tel. 0113-330030
redactie@groenerekenkamer.nl
Postbus 60
4420 AC Kapelle