

## **Kernenergie overbodig.**

J.T. Hoogakker

Het einde van het tijdperk van fossiele brandstoffen is in zicht.

De huidige krapte op de oliemarkt en de hoge olieprijsz dienengevolge zijn de opmaat voor een probleem waarmee we in de loop van deze eeuw ten volle zullen worden geconfronteerd.

De bronnen voor olie, gas en in een later stadium kolen raken geleidelijk uitgeput en voor een lange termijn energievoorziening zijn op dit moment enkel kernenergie en duurzame energie als alternatieven voorhanden. De ontwikkeling van kernfusie, alhoewel veelbelovend, bevindt zich nog in een zodanig stadium, dat hierop geen energiebeleid kan worden gestoeld, dus blijft de kernenergie-optie voornog beperkt tot kernsplijting.

De te volgen koers geeft aanleiding tot hevige discussies en politieke debatten. Beleidsmakers worden heen en weer geslingerd tussen enerzijds de (on)mogelijkheden van duurzame energie en anderzijds de risico's die uitbreiding van het huidige kernenergie-arsenaal met zich meebrengt.

Het actuele conflict met Iran over de bouw van een ultracentrifuge, die volgens Iran slechts gebruikt wordt om uranium te verrijken voor energieopwekking, maakt de dunne scheidslijn tussen een vreedzame toepassing van kernenergie en misbruik ervan pijnlijk duidelijk. De internationale gemeenschap protesteert heftig en de discussies over de veiligheidsrisico's rond kernenergie laaien weer op.

Een keuze voor duurzame energie lonkt, maar tegelijkertijd heeft de mening vrij algemeen post gevat dat *"je het met duurzame energie niet redt"*. Illustratief in dit verband is de uitlating van Staatssecretaris Van Geel in een recent Tweede Kamer debat: hij stelt dat *"het kabinetsbeleid in de eerste plaats gericht is op energiebesparing en een transitie naar duurzame vormen van energieopwekking, maar dat daarmee de toenemende vraag naar elektriciteit in de komende jaren niet beantwoord kan worden"*.

Dan maar een keuze voor beide, waarmee kernenergie, geparkeerd na Tsjernobyl, weer stevig op de agenda is gezet, zij het bij menigeen met gemengde gevoelens.

In dit artikel wordt betoogd dat we het met duurzame energie, meer in het bijzonder met zonne-energie, wel ruimschoots kunnen redden. Kernenergie is daarmee overbodig.

## Methodiek

Het opstellen van een transitie scenario, waarin wordt aangegeven hoe nieuwe energiebronnen de rol van de huidige geleidelijk over gaan nemen, is niet eenvoudig. De moeilijkheid is erin gelegen dat de vele energiebronnen even zovele variabelen vormen. Zo kunnen diverse schattingen worden gehanteerd voor de beschikbare reserves aan fossiele brandstoffen en kan gespeculeerd worden over de bijdrage die bijvoorbeeld wind- of bio-energie kan leveren. Dit geeft aanleiding tot vele arbitraire scenario's.

In de gevolgde werkwijze wordt getracht zoveel mogelijk variabelen "buiten discussie" te plaatsen door hiervoor extreme waarden in te vullen. Voorbeeld: in het scenario wordt verondersteld dat de bijdrage van "hydro-energie" niet meer groeit. Deze ondergrens kan moeilijk in twijfel worden getrokken (uiteraard kan de bijdrage wel hoger worden).

Op deze wijze worden alle energiebronnen ingeschaald met uitzondering van zonne-energie (photo-voltaïsche energie), die als belangrijkste duurzame bron wordt geoordeeld en als sluitpost dient in de energiebalans. Het aandeel aan zonne-energie wordt vervolgens op praktische haalbaarheid getoetst.

In het navolgende komen de verschillende facetten van het scenario successievelijk aan bod.

## De energievraag

De mondiale energievraag zal de komende decennia, mede onder invloed van de ontwikkelingen in China en India sterk stijgen. De verwachting van de International Energy Agency (IEA, World Energy Outlook 2006) is dat de energiebehoefte in 2030 ongeveer 50% procent hoger zal zijn dan nu.

De energievraag in ons transitie scenario is conform de IEA-vraagcurve, deze loopt tot 2030. Na 2030 is in het scenario verondersteld dat de energievraag verder ongeveer lineair stijgt, in lijn met de IEA-cijfers in de voorgaande jaren. Dit impliceert dat het huidige energieverbruik zal verdubbelen in de komende 50 jaar.

In dit verband dient bedacht te worden dat prognoses met betrekking tot de energiebehoefte, zijn gestoeld op ervaringen uit het verleden. De IEA (World Energy Outlook 2004) hanteert als belangrijkste "driver" voor de primaire energievraag<sup>1</sup>, de economische groei, aan de hand waarvan de historische vraagcurve wordt geëxtrapoleerd.

Wat veelal onderbelicht blijft, is dat deze vraagcurve vrijwel uitsluitend bepaald wordt door het verbruik van olie, gas en kolen. De prognoses, die hierop voortborduren, mogen derhalve beschouwd worden als extrapolaties vanuit een "fossiel verleden".

De toekomst (in ons scenario) ziet er echter geheel anders uit, een groeiend deel van de energie wordt geleverd door duurzame bronnen. Dit heeft als neveneffect dat het primaire energieverbruik relatief lager wordt naarmate de duurzame component groeit. Dit geldt met name voor die duurzame bronnen, die elektriciteit opwekken, bij dezelfde elektriciteitsvraag is er in dat geval minder primaire energie nodig.

Dit is het gevolg van het gegeven dat de gangbare elektriciteitscentrales, die draaien op fossiele brandstoffen, een beperkt rendement hebben, waardoor ruwweg de helft van de toegevoegde primaire energie, in de vorm van schoorsteenverliezen en verwarmd koelwater, onvermijdelijk maar nutteloos in het milieu verdwijnt. De verliezen die gepaard gaan met het gebruik van duurzame bronnen zijn in dit verband irrelevant (zie Intermezzo I).

---

<sup>1</sup>"Primaire energie" is de totale bruto energie uit alle energiebronnen samen, dit in tegenstelling tot het begrip "finale energie", waaronder de verbruikte energie wordt verstaan na aftrek van conversieverliezen (zie schema-Intermezzo I).

De vraagcurve van de primaire energie mag dus, naarmate we meer duurzame energie inzetten, navenant naar beneden worden bijgesteld. Dit kan zonder dat we op het finale energieverbruik hoeven in te leveren. Dit effect is in het transitie scenario verdisconteerd.

### Intermezzo I: Een zonnecel heeft geen schoorsteen

De brandstoffen in onze energiemix worden in veel gevallen eerst bewerkt of geconverteerd voordat ze hun eindbestemming vinden. Zo wordt olie geraffineerd voordat het als benzine in een auto verdwijnt en worden gas en olie verbrand om er elektriciteit van te maken voor allerlei doeleinden. In bijgaand schema is dit proces gevisualiseerd.

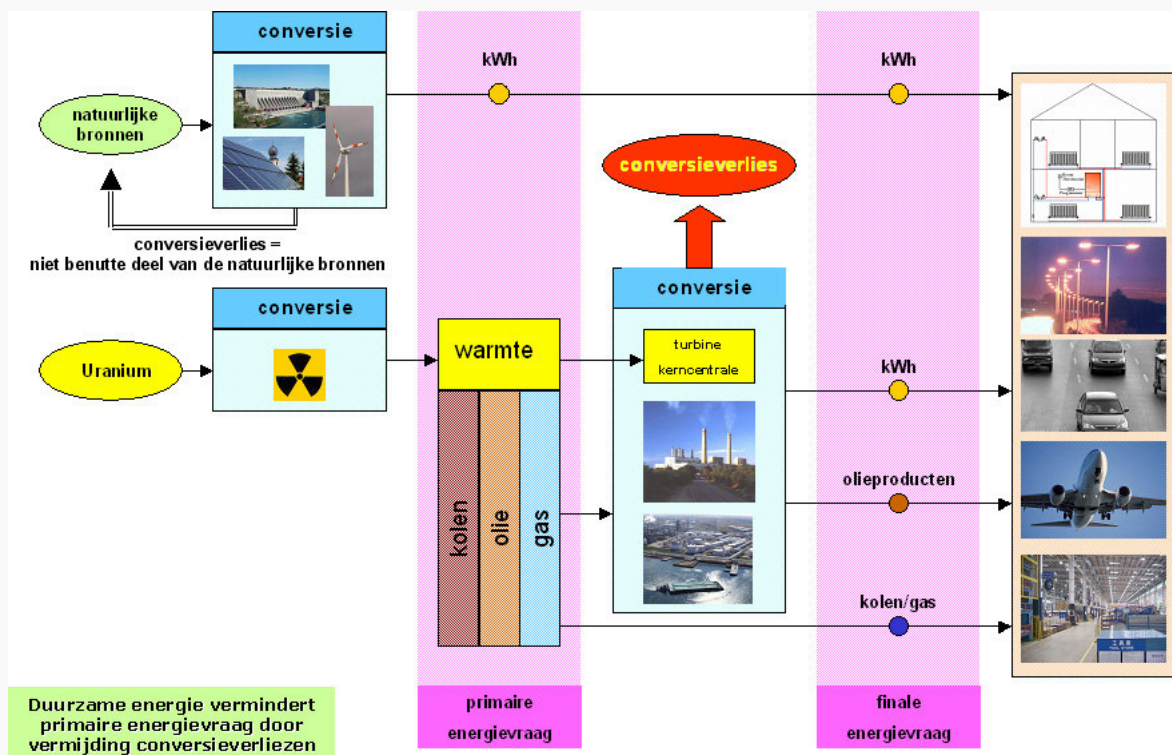
Het conversieproces brengt verliezen met zich mee die in de meeste gevallen als nutteloze warmte moeten worden afgevoerd. Elektriciteitscentrales hebben een rendement variërend van ongeveer 35 tot 60 procent. Gemiddeld gaat dus minimaal de helft van de toegevoerde primaire energie verloren. Twee kilowattuur primair levert één kilowattuur nuttige energie en één kilowattuur verlies op.

Dit geldt niet voor wind en PV (zonne-energie in photo-voltaïsche vorm). De energie die door deze middelen wordt opgewekt hoeft niet te worden geconverteerd, maar kan direct worden aangewend in het proces. Het voornoemde verlies wordt vermeden.

Uiteraard is het niet zo dat een zonnecel een rendement heeft van 100%, integendeel, maar het verlies dat in een zonnecel optreedt kan worden beschouwd als "niet benutte zoninstraling". Dit verlies staat geheel los van het totale proces.

Als we onze elektriciteit volledig zouden opwekken met zon en wind in plaats van met kolen, gas en olie, dan zouden de statistieken voor 2005 een primaire energievraag vertonen van 9500 Mtoe<sup>2)</sup> in plaats van 11.000 Mtoe. Het betreft dus een echte materiële besparing, een zonnecel heeft geen rokende schoorsteen.

De winst, ter grootte van één kilowattuur voor iedere opgewekte kilowattuur door zon en wind, mag in mindering gebracht worden op de primaire energiebehoefte. Deze besparing geldt uiteraard alleen voor de elektriciteit die door conventionele centrales wordt gegenereerd.



2) Mtoe = Megaton oil equivalent (een hoeveelheid energie equivalent met een miljoen ton olie)

## De reserves aan olie, kolen en gas

Hoe groot zijn de reserves aan fossiele brandstoffen of specifieker geformuleerd, hoe lang kunnen we nog vooruit met de nog beschikbare voorraad aan olie, gas en kolen.

Deze vraag is lastig te beantwoorden. Naast de voorraden waar we op grond van geologisch onderzoek vrijwel zeker van zijn, zijn er vermoede reserves; hierover lopen de schattingen uiteen. Voor olie zijn de bewezen reserves op dit moment ongeveer 1200 miljard barrels olie. US-Geological Survey schat de nog onaangetoonde reserves op ongeveer 1100 miljard barrels, waarmee de totale voorraad aan olie bijna het dubbele van de bewezen voorraad zou zijn. Hetzelfde geldt in grote lijnen voor gas.

Laten we ons echter niet rijk rekenen en de speculaties laten voor wat ze zijn door alleen uit te gaan van de bewezen reserves, zoals die zijn aangegeven in "BP Statistical Review of the World Energy" (2005).

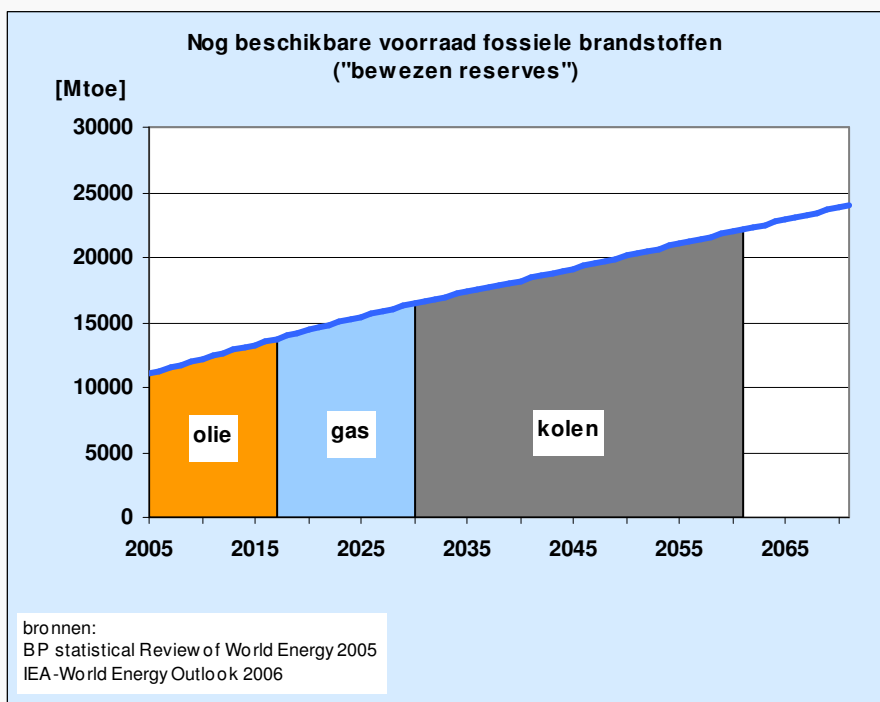
Dat overigens het einde van het tijdperk van de fossiele brandstoffen in zicht komt, wordt duidelijk als we de reserves afzetten tegen de verwachte energievraag (zie Intermezzo II).

### **Intermezzo II - Het eind in zicht**

Het antwoord op de vraag hoe lang we nog vooruit kunnen met de bekende voorraden aan olie, gas en kolen, is in onderstaande grafiek op een wat afwijkende wijze gevisualiseerd. De bewezen reserves zijn afgezet tegen de groeiende energievraag en wel door vanaf heden eerst de totale primaire energiebehoefte te dekken met olie, als de olie op is wordt de voorraad gas ingezet en tenslotte worden de kolen aangesproken.

Uit de grafiek is af te lezen dat, indien we enkel olie zouden hebben, we nog 13 jaar aan onze energievraag kunnen voldoen. Met gas kunnen we vervolgens ook nog eens 13 jaar vooruit, terwijl de kolenvoorraad nog soelaas biedt voor 31 jaar. Al met al zijn de bewezen reserves goed voor ongeveer 60 jaar.

Als we overigens uit zouden gaan van het dubbele aan reserves en we gaan op de huidige voet door, dan zou de totale voorraad uitgeput zijn tegen het eind van deze eeuw.



## Duurzame bronnen

Duurzame energie kent vele verschijningsvormen. Echter niet alle zijn even kansrijk.

Sommige vormen, zoals geothermische-, getijden- en golfenergie, hebben slechts lokale betekenis en zullen vooralsnog geen grote bijdrage aan de mondiale energievoorziening leveren. Voorbeelden hiervan zijn de geisers op IJsland en de benutting van de getijdenstroming op een enkele plaats in Frankrijk en Schotland.

Hydro-energie is van oudsher een zeer belangrijke vorm van duurzame energie. De potentie om nog verder te groeien is echter gering. Er zijn nog maar weinig plekken op aarde die in aanmerking komen voor de aanleg van grote stuwweren. Ecologische factoren spelen in dit verband een belangrijke rol. In het transitie-scenario is gerekend met een nul-groei.

De meest kansrijke vormen zijn evenwel zonne-energie, bio-energie en windenergie.

De verwachtingen over de groei van bio-energie, enerzijds voor elektriciteitsopwekking en anderzijds voor voertuigbrandstoffen, lopen breed uiteen. De "European Renewable Energy Council- EREC" acht een scenario waarin moderne biomassa een bijdrage levert van ruim 15% van het mondiale energieverbruik in 2040 realistisch haalbaar.

Voor windenergie geldt hetzelfde, in potentie kan ook wind een redelijke bijdrage leveren.

In overeenstemming met de uitgangspunten uit onze methodiek, is er in het transitie-scenario echter voor gekozen om voor zowel bio-energie als voor windenergie minimum scenario's in te zetten.

Zonne-energie biedt de beste kansen. Zonthermische systemen in de vorm van zonnecollectoren op de daken van huizen zijn algemeen verspreid. Zonthermische elektriciteitscentrales bieden eveneens perspectief. De belangrijkste groei moet echter komen uit zonnepanelen waarmee eveneens elektriciteit wordt gegenereerd (photo-voltatische energie, kortweg PV genoemd).

In het transitie-scenario wordt de nadruk gelegd op deze laatste vorm van zonne-energie.

Het scenario begint vorm te krijgen. De energievraag is gedefinieerd, de fossiele brandstoffen zijn op een absoluut minimum ingeschaald. Hetzelfde geldt voor bio-energie en windenergie, terwijl de overige vormen van duurzaam eveneens hun (bescheiden) plaats innemen.

De rest moet worden opgevuld met de zon en wel specifiek met zonnepanelen. Kan dat?

## Terug naar de zon

Er zijn veel mythes rond zonne-energie ontstaan. Zo zijn velen de mening toegedaan dat deze vorm van energie slechts marginaal kan bijdragen aan de mondiale energievraag. Een volstrekt onjuiste beeldvorming. De zoninstraling op aarde is dermate groot dat slechts 0,1 promille ervan toereikend is om onze huidige energiebehoefte te dekken (zie Intermezzo III).

Een tweede ingebrande mythe is dat de productie van een zonnepaneel zoveel energie zou kosten dat de fabricage van zonnepanelen een zinloze bezigheid is. Er zou meer energie nodig zijn voor het fabriceren van een zonnecel dan deze ooit gedurende zijn bestaan zou kunnen genereren.

Recent onderzoek aan ondermeer de Universiteit van Utrecht toont echter aan dat de energetische terugverdientijd voor een zonnecel 2-4 jaar bedraagt, hetgeen moet worden afgezet tegen een levensduur van minimaal 25 jaar. Verwacht wordt overigens dat de energetische terugverdientijd binnen enkele jaren zelfs is teruggebracht tot één jaar.

Het is dan ook niet overdreven te stellen dat zonne-energie mag worden beschouwd als dé sleutel tot een onuitputtelijke energievoorziening.

### Intermezzo III – Energie in overvloed

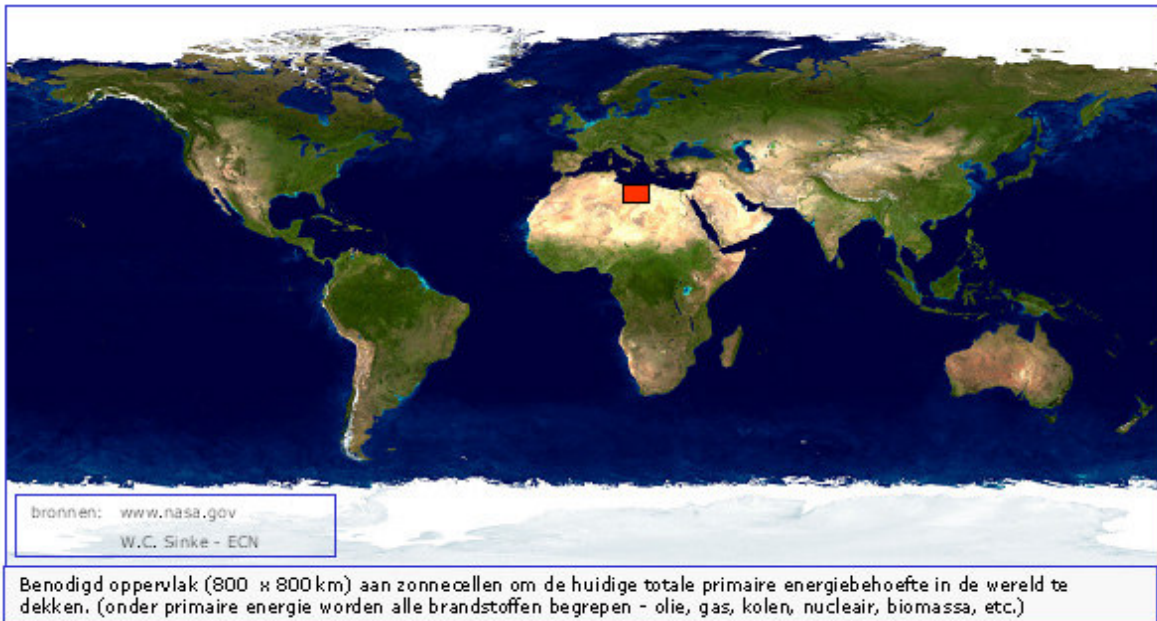
De betekenis van de zon en met name de rol die PV-energie kan spelen, is geïllustreerd in onderstaande figuur.

Indien we het gekleurde oppervlak (in Noord-Afrika), een weinig groter dan Spanje en Portugal samen, zouden bedekken met zonnepanelen die momenteel op de markt zijn, dan zou de opbrengst aan energie de jaarlijkse mondiale energiebehoefte kunnen dekken.

Dit betekent overigens niet dat de toekomstige energievoorziening per se in gecentraliseerde vorm in bijvoorbeeld de Sahara moet worden ingericht. Het is juist de kracht van PV-systemen dat ze in alle denkbare schaalgroottes kunnen worden gebouwd, waarmee een kleinschalige en decentrale energievoorziening vorm kan worden gegeven. Twee vliegen in één klap: een duurzame én een minder kwetsbare energievoorziening.

Uiteraard is de opbrengst van een zonnepaneel in Nederland kleiner dan in bijvoorbeeld Spanje, het verschil is echter slechts ongeveer een factor twee. Ongeveer 30 m<sup>2</sup> aan zonnepanelen kunnen in Nederland de elektriciteitsbehoefte van een huishouden dekken.

Verwacht mag worden dat het rendement op grote oppervlakken in de komende decennia zal toenemen van 15% naar 25-40%. Dit betekent nog eens een halvering van het benodigde oppervlak.

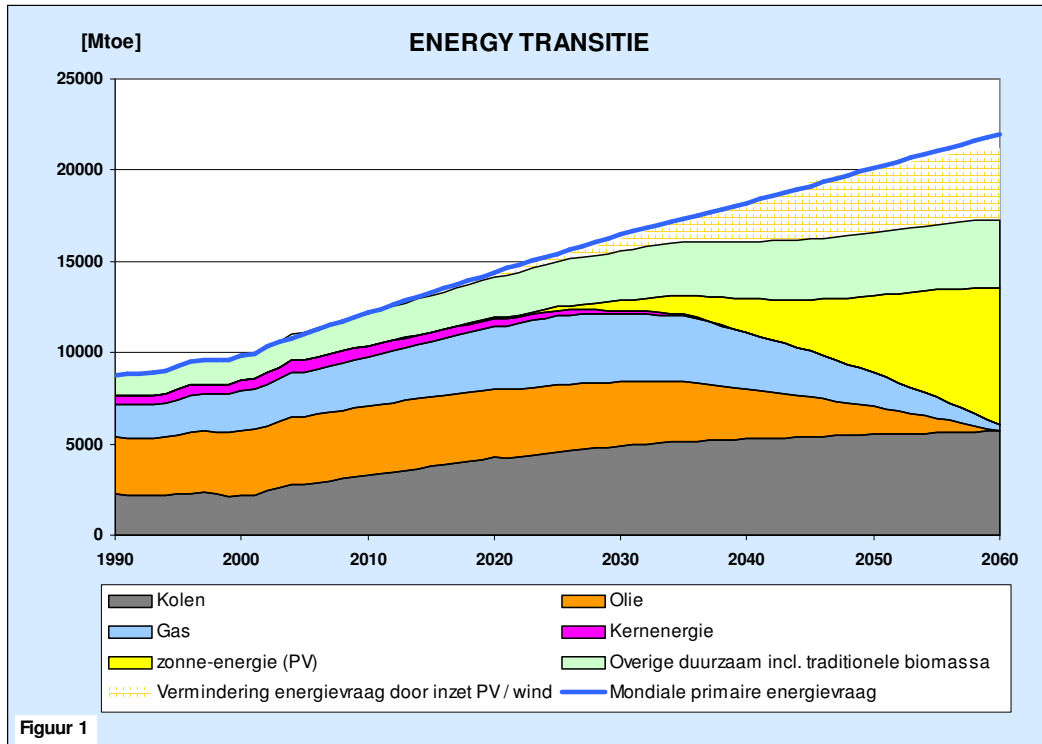


### Zonnecelproductie

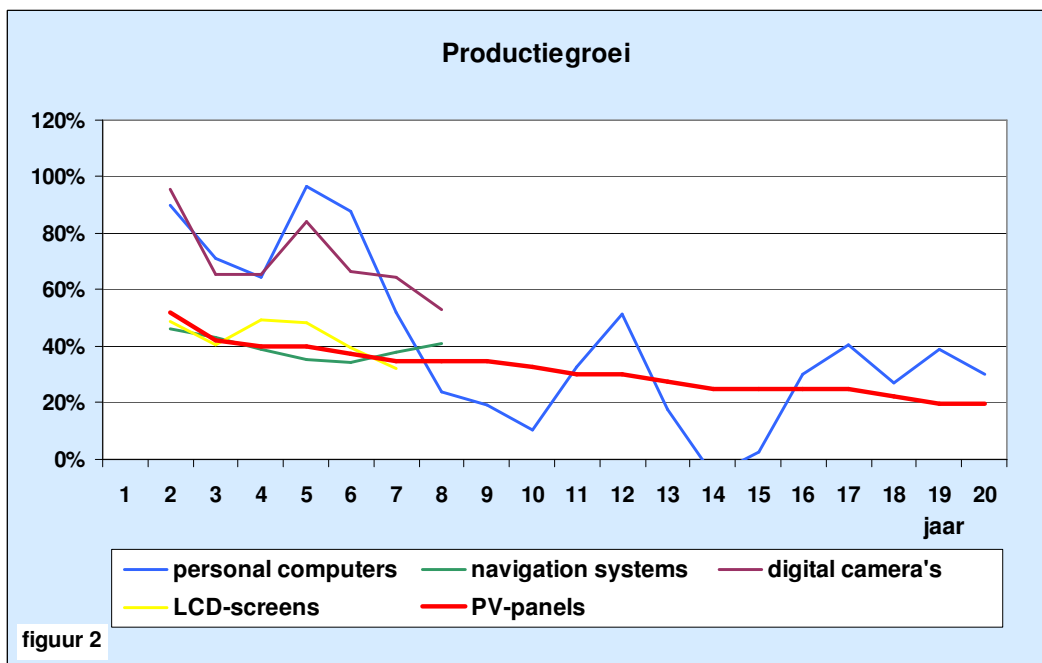
Gelet op het voorgaande is het niet verwonderlijk dat de PV-industrie een spectaculaire groei doormaakt. In 2004 groeide de mondiale productiecapaciteit met 60%, in 2005 met bijna 50%.

De cruciale vraag is echter of de productie ook in de toekomst snel genoeg kan groeien om het oplopend tekort aan energie in het transitie scenario te kunnen dekken.

Om dit te kunnen bepalen is het nog ongedekte deel in het transitietraject opgevuld met PV. Het resultaat van deze exercitie is weergegeven in figuur 1.



Uit de vereiste groei voor PV is vervolgens het productiegroecijfer voor zonnepanelen afgeleid. Hieruit komt naar voren dat er een stevige productiegroei nodig is. Ter illustratie de eerste 10 jaar moet de productiecapaciteit iedere 2 à 3 jaar verdubbelen, daarna kan de groei in rap tempo dalen naar 20% per jaar en lager in latere jaren.



De benodigde productiegroei voor zonnepanelen is vervolgens vergeleken met de historische productiegroei van vergelijkbare producten. In figuur 2 zijn de groeicurves afgebeeld in een onderling vergelijkbaar marktstadium.

De conclusie moge duidelijk zijn: de vereiste productiegroei voor PV is vergelijkbaar met, zo niet lager dan, de historische productiegroei van de andere massaproducten. Vanuit technisch oogpunt moet het dan ook haalbaar zijn om de noodzakelijke productiegroei te realiseren. Tenslotte heeft de industrie bewezen dat het voor LCD-screens, PC's en aanverwante artikelen ook kan.

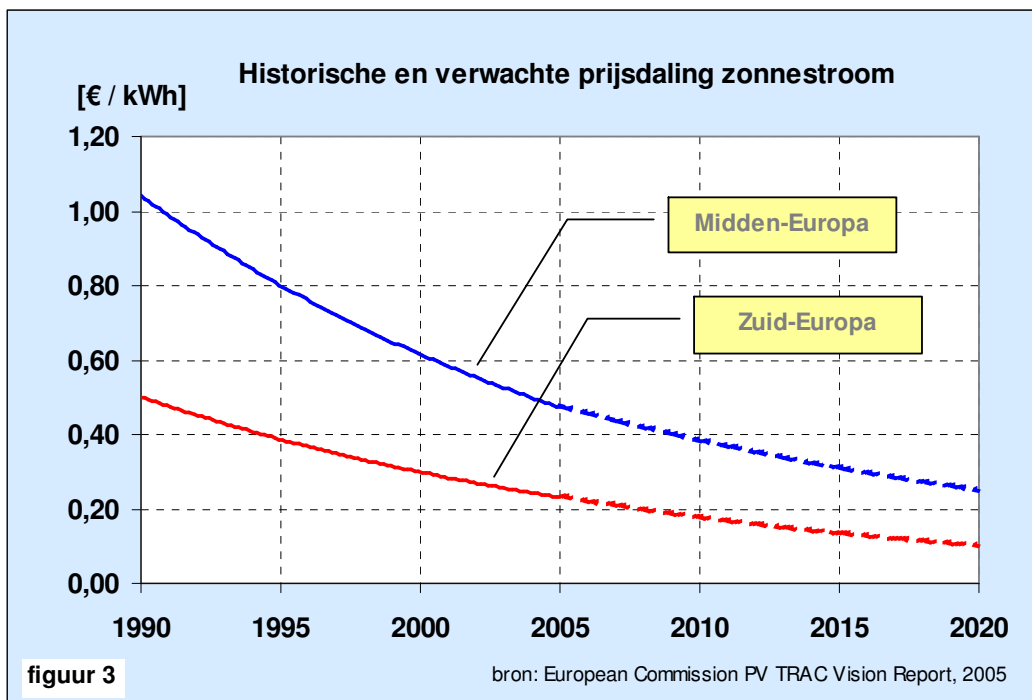
### Economie

In het voorgaande is voornamelijk vanuit een technische invalshoek nagegaan of de zon de afname van het fossiele deel van de energievoorziening kan compenseren. Hoe staat het echter met de economie van het product en met de betaalbaarheid van zonnestroom?

De prijs van een kilowattuur gegenereerd door zonnecellen is, vergeleken met de actuele elektriciteitsprijzen, nu nog aan de hoge kant, alhoewel door de stijgende elektriciteitsprijzen het verschil steeds kleiner wordt. De kosten voor PV zijn in het afgelopen decennium echter zeer sterk gedaald. Door schaalvergroting van de productie liggen er bovendien nog aanzienlijke prijsdalingen in het verschiet, hetgeen begrijpelijk wordt als men weet dat een zonnecel een relatief eenvoudig en vrij homogeen product is, waarvan het productieproces momenteel in hoge mate wordt opgeschaald en geautomatiseerd.

De consequenties hiervan voor de prijsvorming kennen we inmiddels uit ervaringen met vele andere massaproducten.

In figuur 3 is de historische en de verwachte prijsdaling afgebeeld.



Ter vergelijking: een kWh voor huishoudens kost momenteel ongeveer 25 Eurocent.

PV-electriciteit zal ongetwijfeld binnen afzienbare tijd concurrerend en uiteindelijk veel goedkoper worden dan electriciteit uit de gangbare bronnen.

## Robuuste koers

Hoe realistisch en robuust is nu dit scenario? Laten we de proef eens op de som nemen en alle onderdelen nog eens op de hand nemen.

De toekomstige energievraag is hoog ingeschat, de voorziene lineaire groei is zeker hoger dan in de afgelopen decennia (zie figuur 1) en met besparingseffecten is geen enkele rekening gehouden. Besparingen spelen uiteraard het transitie scenario in de kaart, er is dan minder duurzame energie nodig dan voorzien.

Van de fossiele brandstoffen zijn de bewezen reserves in het scenario ingezet. De uiteindelijke reserves zullen substantieel hoger blijken te zijn, zodat we langer toe kunnen met de fossiele brandstoffen dan in het transitie scenario is geschetst. Dit maakt de transitie naar een duurzame energievoorziening veel eenvoudiger dan is aangegeven, de productiecapaciteit voor zonnepanelen mag in dat geval in een lager tempo groeien.

Het transitie scenario bevat verder, zoals eerder is betoogd, lage schattingen voor de bijdragen van wind, biomassa en de overige duurzame bronnen.

Voor wind is verondersteld dat het vermogen wereldwijd groeit van 60 GWatt nu naar 2000 GWatt in 2060. Windenergie levert daarmee een bijdrage van twee procent aan de primaire energievraag in dat jaar. Een bescheiden bijdrage als het wordt afgezet tegen de inschatting van ondermeer de European Renewable Energy Council, die meent dat dit percentage al rond 2025 zou kunnen zijn gerealiseerd.

In "Potentials and Costs for Renewable Electricity Generation" van ECN wordt een realiseerbaar potentieel genoemd van ongeveer 400 GWatt, voor alleen al de EU-15.

In hetzelfde rapport wordt het potentieel voor biomassa wereldwijd geschat op 2400-30.000 Mtoe/jaar. In het meest behoudende scenario van De European Renewable Energy Council wordt de ondergrens van deze bandbreedte al bereikt in 2040.

In ons transitie scenario wordt de ondergrens van 2400 Mtoe pas bereikt in 2100, overeenkomend met 1600 Mtoe in 2060.

Met name door de actuele belangstelling voor biomassa ten behoeve van biodiesel voor transportdoeleinden, is het vrijwel zeker dat biomassa in de toekomst een groter deel op gaat eisen dan in het transitie scenario is geschetst.

Voor de overige duurzame bronnen, waaronder zonthermische, geothermische, golf-, getijdenenergie en dergelijke worden begrepen, is in het transitie scenario een bijdrage ter grootte van 3% van de primaire energiebehoefte in 2100 ingevuld. Dit mag als een absolute ondergrens worden beschouwd.

Samengevat: Zowel de fossiele brandstoffen als de duurzame bronnen, met uitzondering van zonnepanelen, zijn op een minimaal niveau in het transitie scenario ingevuld. Toch kan aan de energievraag worden voldaan met groeicijfers voor de productie van zonnepanelen die realistisch genoemd mogen worden.

Dit betekent dat er in de praktijk, waarin het voor de hand liggend is, dat zowel de fossiele brandstoffen als de andere duurzame bronnen een grotere bijdrage zullen gaan leveren, ruimschoots voldoende tijd is om de productie van zonnepanelen op te bouwen en daarmee een definitieve overgang naar een duurzame energievoorziening te bewerkstelligen. Het is een robuuste koers.

Kernenergie is geruisloos uit het transitie scenario verdwenen. Ze is overbodig.

\*\*\*\*\*