

# HOOFDSTUK 1: HERNIEUWBARE ENERGIE

<b>1.1. INLEIDING .....</b>	<b>1</b>
1.1.1. Energie, energiesoorten en energieomzettingen.....	1
1.1.2. Kwaliteit van de energie.....	1
<b>1.2. MOTIVATIE VOOR HERNIEUWBARE ENERGIE.....</b>	<b>3</b>
1.2.1. Bevolking.....	3
1.2.2. Selectieve uitputting.....	3
1.2.3. Milieu.....	4
<b>1.3. BRONNEN VAN HERNIEUWBARE ENERGIE EN HUN POTENTIEEL .....</b>	<b>6</b>
1.3.1. Omzetting zonnestraling in bruikbare warmte: zonneboilers en thermische zonnecentrales....	8
1.3.2. Directe omzetting zonnestraling in elektriciteit: fotovoltaïsche zonnecellen .....	9
1.3.3. Omzetting kinetische windenergie in elektriciteit .....	10
1.3.4. Aanmaak van biomassa door fotosynthese.....	10
1.3.5. Omzetting van waterkringloopenergie in mechanische energie en/of elektriciteit: waterkracht .....	11
1.3.6. Energie uit zeeën en oceanen .....	12
1.3.7. Aanwending van aardwarmte .....	12
1.3.8. Kernfusie.....	13
<b>1.4. OPSLAG EN TRANSPORT VAN (HERNIEUWBARE) ENERGIE.....</b>	<b>14</b>
<b>1.5. MARKTEN EN TOEPASSINGEN VAN FOTOVOLTAÏSCHE CELLEN .....</b>	<b>15</b>
<b>1.6. CONCLUSIES EN VERWACHTINGEN / DOELSTELLINGEN</b>	
<b>I.V.M. HERNIEUWBARE ENERGIE VOOR DE 21e EEUW .....</b>	<b>17</b>

# HOOFDSTUK 1: HERNIEUWBARE ENERGIE

---

## 1.1. INLEIDING

Zonder energie kan er in onze wereld niets gebeuren. Mens, machine, de natuur, kortom alles heeft energie nodig om te kunnen functioneren. Wereldwijd is de huidige totale behoefte aan energie van allerlei aard ongeveer gelijk aan 100.000 TWh<sub>th</sub> of meer dan 8 gigatonolie-equivalent (Gtoe) per jaar. Deze hoeveelheid energie kan men zich best voorstellen als de energie die verbruikt wordt door iets minder dan 3 miljard auto's die elk jaar de aardomtrek (40.000 km) afleggen en ongeveer 10 liter brandstof (in dit geval dan aardolie) per 100 km zouden verbruiken. Van de totale vraag aan energie, zoals hogervermeld, is de wereldwijde vraag naar elektrische energie goed voor ongeveer 20 % hiervan.

### 1.1.1. *Energie, energiesoorten en energieomzettingen*

Energie kan zeer verscheiden vormen aannemen. Zo is er thermische energie (warmte), chemische energie (bijvoorbeeld de energie die potentieel aanwezig is in een vat aardolie en kan vrijkomen door verbranding), kernenergie, lichtenergie (denk maar aan een laser), mechanische energie, elektrische energie enzovoort.

Energie is er in principe genoeg. De zon levert op jaarbasis in lichtenergie op aarde ongeveer 1 miljard TWh<sub>th</sub> of 10.000 keer de nodige energie. Bovendien leert de thermodynamica ons de wet van behoud van energie. Waarom ons dan zorgen maken? Welnu, wij krijgen de energie niet noodzakelijk in de vorm waarin wij ze kunnen gebruiken. Daarvoor moeten we gebruik maken van energie-omzettingsprocessen, d.w.z. het omzetten van de ene soort van energie in een andere. Energie die we krijgen via voedsel wordt in ons lichaam omgezet in warmte, mechanische spierenergie en chemische energie voor de lichaamsbouwstoffen. Warmte opgewekt door verbranden van aardolie of steenkool, of opgewekt door een kernreactor kan worden omgezet in mechanische energie en tenslotte in elektrische energie. Deze elektrische energie wordt getransporteerd naar onze huizen, kantoren, bedrijven en wordt daar gebruikt om te voldoen aan allerlei behoeftes: de elektrische energie wordt terug omgezet in lichtenergie, warmte, mechanische energie,... De lichtenergie van de zon kan rechtstreeks worden omgezet in elektrische energie middels fotonvoltaïsche zonnecellen.

### 1.1.2. *Kwaliteit van de energie*

Een energievorm wordt hoogwaardiger genoemd, naarmate hij met een hoger rendement kan omgezet worden in een andere energievorm, voornamelijk dan mechanische energie of arbeid. Zo is elektrische energie zeker hoogwaardiger dan bv. warmte. Het is dus een verspilling om een hoogwaardige energievorm te "degraderen" tot een lagere energievorm, i.p.v. die lagere energievorm rechtstreeks aan te wenden.

Belangrijke factoren bij omzettingsprocessen zijn: het rendement van de energieomzetting (hoeveel gaat er bij de omzetting verloren in niet- of minder bruikbare energie?), de kosten van de energieomzetting, de impact op het milieu, potentiële gevaren bij de energieomzetting, de hernieuwbaarheid of met andere woorden: kan de energiebron voldoende snel geleverd worden vergeleken met de snelheid van verbruik enzomeer. Het is duidelijk dat hier een complex probleem van optimalisatie voorligt, waarbij niet alleen de economische, maar ook meer en meer de maatschappelijke en ecologische bedenkingen de doorslag geven.

## **1.2. MOTIVATIE VOOR HERNIEUWBARE ENERGIE**

Er zijn 3 grote drijfveren om te streven naar hernieuwbare energiebronnen: de groeiende vraag omwille van de bevolkingsaan groei, de beperkte beschikbaarheid van de energiebronnen en de milieu- en sociale kosten van energievoorziening. De politieke krachten die onze energietoekomst zullen beheersen zijn dan weer onder te verdelen in onder andere de invloed van olieproducerende landen en -maatschappijen, groeiende invloed van multinationale energiebedrijven, de impact van milieubewegingen, evenwicht tussen Noord/Zuid en Oost/West, de financiële middelen die nodig zullen zijn om tegemoet te komen aan de groeiende vraag, ...

### **1.2.1. Bevolking**

In het jaar 2020 zal de wereldbevolking volgens sommige bronnen (UN World Development Report 1992) zijn aangegroeid met 60 % t.o.v. 1990, namelijk van 5,3 naar 8,5 miljard mensen. Ongeveer 90 % van deze aangroei zal zich realiseren in de ontwikkelingslanden. Op dit ogenblik worstelt de industriële wereld met de opgave om minder energie te verbruiken, vooral ook door de energieintensiteit te verminderen. Deze besparing zal echter onvoldoende zijn om tegemoet te komen aan de steeds stijgende behoeften van de ontwikkelingslanden. In 1993 leefden daar 2 miljard mensen zonder elektriciteit en deze zullen in de toekomst meer en meer hun rechtmatig deel gaan opeisen, zodat de vraag naar elektrische en andere energie ongetwijfeld nog sterk zal stijgen: men verwacht in de komende decennia een gemiddelde wereldgroei in energievraag van 1,5-3 %/jaar (volgens het OESO is 2 %/jaar het meest waarschijnlijk).

### **1.2.2. Selectieve uitputting**

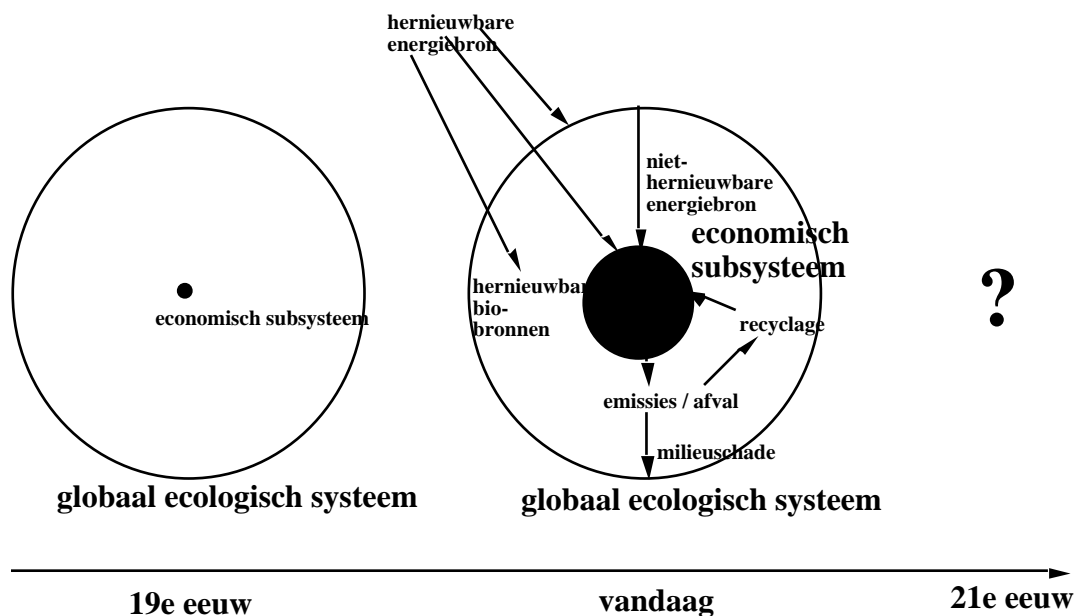
De beschikbaarheid van conventionele energiebronnen, zoals bijvoorbeeld aardolie die over miljoenen jaren in de aardkorst geaccumuleerd werd, is niet zo vanzelfsprekend meer als ooit gedacht. Immers, deze over zo een lange tijd zorgvuldig opgestapelde energie wordt nu tegen een hels tempo verbruikt en is in die optiek zeker niet "hernieuwbaar". In 1990 werd 40 % van de totale energiebehoefte gedekt door olie. Deze behoefte is sterk toegenomen, ook voor de ontwikkelingslanden. OPEC controleert 77 % van de bewezen wereldreserves aan olie. Niettegenstaande het feit dat uitputtingstermijnen van de nu gekende reserves aan fossiele brandstoffen tegen het huidige mondiaal verbruiksritme volgens BP (BP Statistical Review of World Energy, 1997) vrij groot zijn (bv. ongeveer 40 jaar voor aardolie, 60 jaar voor aardgas en voor steenkool zelfs 225 jaar) worden er wel heel wat selectieve uitputtingen verwacht, zoals bv. voor aardolie in de V.S. Dit zou voor gevolg hebben dat er meer geografische onevenwichten ontstaan, het gebruik van nog meer vervuilende energiebronnen zoals bv. steenkool terug zou toenemen, en in elk geval de prijs van aardolie de hoogte in zou schieten omwille van het onevenwicht vraag-aanbod. Vooral voor de ontwikkelingslanden zou dit een vernietigend effect hebben op de betalingsbalans.

Hernieuwbare energie is veel democratischer verdeeld op aarde: zo is in W-Europa de gemiddelde zonne-intensiteit op jaarbasis toch 40 % van deze in de Sahara.

Kernenergie met fissiereactoren, levert op dit ogenblik 2-4 % van de primaire wereldenergiebehoefte of ongeveer 17 % van de wereldelektriciteitsvraag (in België levert kernenergie ongeveer 60 % van de elektrische energie). Deze energiedrager lijkt veelbelovend, maar er is een vrees ontstaan bij een gedeelte van de bevolking omwille van het probleem van vorming en opslag van radioactief afval en het gevaar voor radioactieve lozingen bij centrales en opwerkingsfabrieken (cfr. de 2 ongevallen met kernreactoren nl. in Three-Miles Island en Tchernobyl). Daarom wordt er niet verwacht dat deze energiebron procentueel in sterke mate zal toenemen en sommigen voorspellen eerder een stagnatie of een lichte procentuele daling.

### 1.2.3. Milieu

Men zou de relatieve wisselwerking tussen het globaal ecologisch systeem en het economisch subsysteem in functie van de tijd kunnen voorstellen zoals in onderstaande figuur.



*Figuur 1.1 Voorstelling van de wijziging van de verhouding van ons economisch subsysteem t.o.v. het globale ecologisch systeem (bron: Hohmeyer).*

Het gebruik van fossiele brandstof vervuult in zekere mate de atmosfeer en voor sommige energiedragers is er een probleem qua afvalstoffen. De meeste conventionele energiebronnen (behalve kernenergie) dragen in mindere of meerdere mate bij tot het zogenaamde broeikaseffect. Broeikasgassen (CO<sub>2</sub>, methaan, stikstofdioxide,...) regelen de stralings- en warmtehuishouding op aarde en worden overwegend veroorzaakt door verbranding van fossiele brandstoffen (olie, gas en vooral steenkool). Deze fossiele brandstoffen genereren nu ongeveer 25 Gton C/jaar (overeenkomstig met nagenoeg 7 Gton C/jaar) en een reductie met 20 % tegen het jaar 2005 (Toronto-doelstelling) zou belangrijke investeringen vergen. Gevolgen van dit broeikaseffect zijn een gemiddelde opwarming van het aardoppervlak, resulterend in een uitbreiding der woestijnen, overstromingen van laagliggende gebieden en verhoogde stormactiviteit.

Indien het aandeel van hernieuwbare energiebronnen niet vergroot, dan zal tegen het jaar 2020 82 % van de energiebehoeften gedekt worden door fossiele brandstoffen en dan zou de jaarlijkse CO<sub>2</sub>-uitstoot tegen 2020 zelfs met een 70 % zijn toegenomen t.o.v. 1985, met hogervermelde gevolgen. Bovendien hebben verschillende studies (Hohmeyer, ExternE) aangetoond dat macro-economische of sociale kosten van energieopwekking hoger zijn dan de rechtstreekse kosten, zoals die doorverrekend zijn in de prijs van de energiebron (bijvoorbeeld de kWh-prijs). Dit is inderdaad het geval indien men de volgende zaken in rekening zou brengen: milieubelastende effecten, incl. invloed op het klimaat, uitputtingstoelagen, verborgen overheidstoelagen inzake aansprakelijkheid en veiligheid,... Volgens Hohmeyer bedragen de geschatte meerkosten 4 -10 BEF/kWh. Volgens de recentere ExternE studie zouden deze kosten aanzienlijk minder zijn en 0,05 - 1 BEF/kWh bedragen. Alhoewel het niet onmiddellijk duidelijk is hoe deze kost in de normale gang van zaken zou kunnen geïntegreerd worden, zullen politici toch meer en meer, onder druk van de publieke opinie, hiermee rekening moeten houden (convenanten, CO<sub>2</sub>-taks,...). Uiteraard moet dit op wereldschaal worden aangepakt. Indien men deze sociale externe kosten zou gaan doorrekenen dan zouden hernieuwbare energiedragers sneller doorbreken.

### 1.3. BRONNEN VAN HERNIEUWBARE ENERGIE EN HUN POTENTIEEL

De zon is de bron van alle leven en energie op aarde! Fossiele brandstoffen komen uiteindelijk van de zonne-energie, maar werden miljoenen jaren geleden geaccumuleerd. Wind, neerslag en dus waterkracht, alsook biomassa zijn ook een onrechtstreeks gevolg van de zonne-energie. Enkel getijdenenergie vindt voor het grootste gedeelte zijn oorsprong in de aantrekkingskracht van de maan (die ook terug te voeren is tot ons zonnestelsel en uiteindelijk de zon). Geowarmte kan men beschouwen als komende van de aarde zelf. Kernfusie is ook een mogelijke hernieuwbare energiebron die niet van de zon afkomstig is als dusdanig.

Ter hoogte van het zonoppervlak is er een vermogendichtheid van  $6 \text{ kW/cm}^2$  oppervlak, die de zon verlaat. Natuurlijk, op de tocht doorheen de ruimte, wordt dit vermogen uitgesmeerd over een veel groter oppervlak. Ter hoogte van de aarde, buiten de dampkring is de vermogendichtheid aldus  $1.353 \text{ W/m}^2$  geworden. Dit wordt de zonneconstante genoemd.

We merken dus dat de vermogendichtheid relatief klein is (ter vergelijking: in een hoogspanningskabel is de vermogendichtheid aan elektrische energie  $40$  miljoen  $\text{kW/m}^2$ ). Indien we deze vermogendichtheid vermenigvuldigen met het gemiddeld oppervlak waarmee de aarde deze vermogensstroom intercepteert ( $\pi \cdot R^2$  met  $R$  de gemiddelde aardstraal) dan betekent dit dat juist buiten de dampkring  $1,74 \cdot 10^{17} \text{ W}$  wordt opgevangen. Vermenigvuldigen we dit met het aantal uren in een jaar (gem.  $8.766$ ) dan komen we uit op een jaarlijks invallende lichtenergie van  $1,52 \cdot 10^{18} \text{ kWh}$ .

Indien we bedenken dat ongeveer  $30 \%$  van deze lichtenergie rechtstreeks wordt weerkaatst door de dampkring, dan houden we nog steeds iets meer dan  $10^{18} \text{ kWh}$  per jaar over. Vergeleken met de huidige wereldvraag naar energie van  $10^{14} \text{ kWh}$  betekent dit dus dat het aanbod aan zonne(licht)energie, geïntegreerd over de ganse aarde  $10.000$  maal de antropogene wereldvraag dekt.

Bovendien is zonne-energie hernieuwbaar of onuitputtelijk, tenminste in die zin dat indien de zon zou uitdoven toch alle leven op aarde zou verdwijnen. Per  $\text{m}^2$  aardoppervlak betekent dit gemiddeld iets minder dan  $2.000 \text{ kWh}$  per jaar en een gemiddeld lichtvermogen van  $225 \text{ W/m}^2$ . Dit laatste is natuurlijk een gemiddeld vermogen over dag en nacht. Piekvermogens van  $1.000 \text{ W/m}^2$  worden bijvoorbeeld genoteerd bij perfect blauwe hemel en als de zon in het Zenith staat.

Het jaargemiddelde voor de invallende energie per  $\text{m}^2$  ( $2.000 \text{ kWh/jaar}$ ) is natuurlijk hoger dan de lichtenergie die wij in de Benelux ontvangen (ong.  $1.000 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{jaar}$ ). Dit komt omwille van de hogere breedtegraad (gemiddeld over een jaar zullen de zonnestralen bij ons natuurlijk schuiner invallen, en derhalve is er meer weerkaatsing op en absorptie in de atmosfeer) en omwille van de overvloedige bewolking, wat resulteert in een groot gedeelte diffuus licht in plaats van direct licht. Tevens moet men er zich natuurlijk van bewust zijn dat het zonnelicht een wisselend aanbod heeft: er zijn de dagcycli, de seizoencycli en zoals hoger gezegd de bewolking.

Om het theoretisch wereldpotentieel in te schatten van de verschillende hernieuwbare energiemogelijkheden kan best gebruik worden gemaakt van een stromingsdiagram. De 3 getallen die telkens worden vermeld, zijn de relatieve hoeveelheid energie in procent t.o.v. de invallende zonnestraling buiten de dampkring, het gemiddeld theoretisch beschikbaar vermogen in TW (TeraWatt =  $10^{12}$  W) en het jaarlijks energiepotentieel in  $10^{15}$  Wh : dimensies (%; TW; PWh/a). De getallen zijn afgerond op het kortstbijgelegen honderdtal.

Omschrijving	% van invallende zonnestraling buiten de dampkring [%]	gemiddeld theoretisch beschikbaar vermogen [TW]	jaarlijks energiepotentieel [PWh/a]
+ zonnestraling buiten de dampkring	100	173.500	1.520.900
- terugkaatsing op de dampkring	30	52.000	456.300
beschikbare zonnestraling op aarde	70	121.500	1.064.600
- omzetting in warmte	47	81.500	714.800
- verdamping > neerslag > waterkringloop	23	39.900	349.800
- winden, golven, stromen	0,2	350	3 000
- fotosynthese > opslag in planten > afbraakprocessen	0,02	35	300

*Tabel 1.1 Het stromingsdiagram toont een inschatting van het theoretisch wereldpotentieel van de verschillende hernieuwbare energiemogelijkheden. (De getallen zijn afgerond op het kortstbijgelegen honderdtal.)*

Van deze opslag in planten kan een zeer klein gedeelte ontsnappen aan de afbraakprocessen. Dit werd en wordt dan opgeslagen in de aarde als "fossiele" brandstoffen. Tijdens het carboon (450 miljoen jaar geleden) werd zo een zeer kleine hoeveelheid "opzij gezet". Deze hoeveelheid (0,007 %; 12 TW ; 105 PWh/a) wordt nu tegen een hels tempo verbruikt door verbranding.

Naast de zonne-energie is er zoals hoger gezegd nog de onafhankelijke bijdrage van de invloed van de maan op de getijden (0,002 %; 3,5 TW; 30 PWh/a) en de aardwarmte (0,02 %; 35 TW; 300 PWh/a).

De aangehaalde cijfers hebben natuurlijk betrekking op de theoretische maxima. Lang niet al deze energie is toegankelijk voor de mens en er is natuurlijk nog het rendement van de omzetting van deze energievormen in andere, meer bruikbare energievormen. Indien 10 % van alle beschikbare zonnestraling op aarde toegankelijk zou zijn voor de mens en indien een globaal omzettingsrendement van 10 % zou worden gehaald, dan nog zouden we 100 maal de nodige energie kunnen betrekken die heden op aarde wordt verbruikt. De vraag blijft nog natuurlijk: tegen welke kost ?



### **1.3.1. Omzetting zonnestraling in bruikbare warmte: zonneboilers en thermische zonnecentrales**

Zonne-energie kan rechtstreeks aangewend worden op een passieve manier, bv. door aangepaste woningbouw (zuidglas en de opname van serres in de woningbouw). Daarover zullen we het hier minder hebben, alhoewel het belang hiervan zeker niet mag onderschat worden.

Een eerste actieve wijze waarop de lichtenergie van de zon rechtstreeks kan gebruikt worden, is via thermische collectoren of zonneboilers. Een zonneboiler bestaat uit 3 delen: de collector, het opslagvat (boiler) en de regeling. De collector vangt zonnelicht op, zet het om in warmte en draagt deze warmte over aan water dat doorheen de collector stroomt. Via een apart leidingcircuit is de collector verbonden met de warmtewisselaar in het opslagvat en geeft zo zijn warmte af aan dit opslagvat. Ofwel wordt de stroming onderhouden door natuurlijke convectie, ofwel door een extra pompje dat alleen ingeschakeld wordt als er voldoende energie van de collector naar het opslagvat kan getransfereerd worden.

Bij de collector zelf komt het erop aan om de warmteverliezen door straling, convectie en geleiding zoveel mogelijk te beperken. De collector is vervaardigd als een serre: de afdekplaat laat het zonlicht (kortere golflengten) door dat zijn warmte afgeeft aan waterdoorvoeren die zwart zijn geschilderd om zoveel mogelijk warmte te absorberen. De warmte (langere golflengten) die toch nog zou willen ontsnappen wordt zoveel mogelijk tegengehouden door de afdekplaat. Het rendement van de collector, gedefinieerd als de verhouding van warmteopbrengst gedeeld door invallende zonlichtenergie, is functie van het verschil tussen de gemiddelde temperatuur van het water in de collector en de omgevingstemperatuur (typisch verschil: 25 °C). Rendementen rond 60-70 % worden gemakkelijk gehaald. Miljoenen van deze laagtemperatuurszonnecollectoren zijn wereldwijd opgesteld en vaak geïntegreerd in de woningbouw.

Daarnaast zijn er ook hoogtemperatuurscollectoren waarbij het zonlicht wordt geconcentreerd op een fluïdum via spiegels en lenzen. Men onderscheidt meestal een 3-tal types van systemen: de trog die zonlicht concentreert (10 tot 100 maal) op een doorvoer met water en stoom produceert tussen 300-500 °C, de centrale ontvanger waarbij draaibare spiegels al het zonlicht concentreren (300 tot 1500 maal) op een centrale toren die een fluïdum bevat dat wordt opgewarmd tot 500-1.500 °C en de parabolische concentrator, die de zon volgt, het zonlicht concentreert (600 tot 2.000 maal) en waarbij het te verwarmen fluïdum zich bevindt in het brandpunt. Bij al deze systemen is het de bedoeling om het verwarmde fluïdum als warmtebron te gebruiken om alzo elektriciteit op te wekken, analoog aan conventionele elektriciteitsproductie (waarbij de verhitting gebeurt door verbranding van steenkool, olie, aardgas of door kernsplijting). Omzettingsrendementen van zonlicht in elektriciteit worden bereikt van 9 % voor de trogcollector tot een éénmalig bereikt rendement van 29,4 % voor de parabolische concentrator met Stirling systeem. Een opmerking dient hier gemaakt te worden: alleen direct zonlicht kan worden geconcentreerd !

In Californië wordt er op deze manier ongeveer 350 MW aan elektrisch vermogen opgewekt. Verder zijn er nog wereldwijd installaties in demonstratieopstelling (bv. Almeria in Spanje).

### **1.3.2. Directe omzetting zonnestraling in elektriciteit: fotovoltaïsche zonnecellen**

Een fotovoltaïsche zonnecel wordt meestal vervaardigd uit silicium. Dit is een element dat gewonnen wordt uit zand ( $\text{SiO}_2$ ). De verschillende fabricageprocessen van zand tot fotovoltaïsche systemen zijn weinig milieubelastend: indien men de emissies uitdrukt per geproduceerde kWh dan bekomt men voor fotovoltaïsche systemen waarden die aanzienlijk lager zijn dan in het geval van conventionele elektriciteitsproductie met uitzondering van kernenergie.

Een zonnecel is een elektronische component die de energie van de fotonen van het zonlicht omzet in extra geladen deeltjes die via metaalcontacten op de zonnecel elektrische energie kunnen afleveren in een uitwendige keten. Eén enkele zonnecel levert een gelijkspanning af van ongeveer 0,5 Volt en per  $\text{cm}^2$  celoppervlakte een gelijkstroom van 30 mA bij volle zon. De gewenste stroom wordt bereikt middels de grootte der zonnecellen en het aantal modules dat in parallel wordt geschakeld. Om een bepaalde spanning te bereiken worden verschillende zonnecellen in serie geschakeld in een module, die zodanig is geconstrueerd dat de zonnecellen beschermd zijn tegen de weersomstandigheden, dit om een levensduur van 20-30 jaar te garanderen. Daardoor leveren zonnecelmodules in België over hun levensduur nu ongeveer 5 keer de energie die gebruikt werd om ze te vervaardigen. Er wordt verwacht dat deze energiewinstfactor in de nabije toekomst kan verhoogd worden tot 10 voor het Belgisch klimaat. Uiteindelijk zijn er dan nog systeemcomponenten noodzakelijk om een werkende eenheid af te leveren: invertoren die gelijkstroom omzetten in wisselstroom, batterijen die elektrische energie tijdelijk kunnen stockeren onder de vorm van chemische energie, de nodige elektronische veiligheden (bv. bescherming tegen blikseminslag, onderbreking bij defect of herstelling), montage, elektronische regelaars om steeds in te stellen op het maximaal-vermogenpunt bij wisselende belasting en wisselende zonnestraling, elektronische regelaars om de energieopslag in de batterijen te optimaliseren, elektronische temperatuurvoeler om in de wintermaanden een hogere laadspanning van de koude accu te verwezenlijken... Typische globale systeemrendementen schommelen tussen 10 en 20 %, d.w.z. dat 10 tot 15 % van de zonnelichtenergie uiteindelijk wordt omgezet in elektrische energie op jaarbasis. Op die manier ligt het gemiddelde elektrisch potentieel met zonnecellen tussen de 10 en 20 MW/ $\text{km}^2$  in de Benelux.

Korte termijnstockage kan zoals gezegd via batterijen, voor lange termijnstockage denkt men aan een waterstofcyclus, waarbij elektriciteit wordt gebruikt voor elektrolyse van water in waterstof en zuurstof en waarbij de waterstof later terug energie kan leveren via een brandstofcel.

### **1.3.3. Omzetting kinetische windenergie in elektriciteit**

De vermogendichtheid  $P_w$  (W/ m<sup>2</sup>) die aanwezig is in een luchtstroom met dichtheid  $\rho$  (kg/ m<sup>3</sup>) en snelheid  $v$  (m/s) wordt gegeven door de formule:

$$P_w = \rho \cdot v^3 / 2$$

Windsnelheden variëren maar komen het meest voor rond 5 m/s.

Men kan echter uitrekenen dat dit vermogen door een windmolen, hoe optimaal ook geconstrueerd, slechts voor 60 % kan omgezet worden in mechanische energie, dit omdat de lucht achter de windmolen nog een zekere snelheid moet hebben om het debiet te verzekeren. Bovendien zijn er nog andere verliezen en is er de omzetting van mechanische energie in elektriciteit. Uiteindelijk houdt men in de praktijk piekrendementen (windenergie naar elektrische energie) over van 30-35 %.

De wieken of bladen van een windmolen moeten schuin op de wind staan en moeten zo worden geconstrueerd dat de verhouding liftkracht (nuttige krachtcomponente) op weerstandskracht zo groot mogelijk is. Vleugelprofielen zijn hiervoor zeer geschikt. Het is duidelijk dat de draaisnelheid ook een belangrijke rol speelt in het rendement.

De types windmolen die nu doorgaans worden gebruikt zijn horizontale-as "propeller" windturbines en verticale-as windturbines. Op dit ogenblik is wereldwijd voor ongeveer 6.000 MWe (elektrisch) aan windenergie geïnstalleerd. Er is een trend om grotere windmolens te bouwen dan wat nu gebruikelijk is (500-750 kW tot zelfs 2 MW per eenheid). Het elektrisch geïnstalleerd vermogen dat men gemiddeld kan betrekken uit wind, bedraagt 8-13 MW/km<sup>2</sup>, hierbij als beperking alleen rekening gehouden met een optimale afstand tussen de turbines om wederzijdse beïnvloeding te beperken.

De bruikbare windenergie verschilt echter sterk van plaats tot plaats. Op plaatsen met hoge gemiddelde windsnelheid ( $v > 8$  m/s) is windenergie competitief met conventionele energie. Windenergie is echter intermitterend aanwezig en bij windstille perioden is men dan ook aangewezen op het openbare net.

Nadelen zijn echter de visuele intrusie en mogelijke interferentiestoringen voor telecommunicatie.

### **1.3.4. Aanmaak van biomassa door fotosynthese**

Biomassa omvat een reeks van produkten bekomen door fotosynthese, dit wil zeggen de omzetting van zonne-energie in chemische energie. Nuttige energie wordt uit biomassa betrokken door verbranding van koolstof en waterstof, die op natuurlijke wijze zit opgeslagen in biomassa materiaal, om warmte, water en CO<sub>2</sub> te produceren. Deze CO<sub>2</sub> draagt netto niet bij tot de CO<sub>2</sub>-concentratie in de atmosfeer, aangezien dit gas terug wordt geabsorbeerd tijdens de groeifase van herplant materiaal voor biomassa. Bovendien zal er minder methaan (CH<sub>4</sub>) vrijkomen in de atmosfeer door deze hoeveelheid plantaardig materiaal te onttrekken aan het gewone afbraakproces. Immers, bij het natuurlijke afbraakproces komt door anaërobe (zonder zuurstof) bacteriële afbraak methaan vrij in de atmosfeer, een gas dat per eenheid meer bijdraagt

tot het zogenaamde broeikaseffect dan CO<sub>2</sub>. Er zijn enkele grote bronnen van biomassa zoals bijvoorbeeld allerlei afval van mens en dier, bos- en landbouwafval en speciaal voor biomassa geteelde gewassen. Bossen fixeren 10-15 ton koolstof (C) per ha en per jaar. Er worden verschillende fasen onderscheiden in de biomassa-keten: productie/verzameling/oogst van het materiaal, stabilisering van de biomassa (tot hier traditionele biomassa genoemd), primaire omzetting/conversie tot brandstoffen en tenslotte secundaire omzetting in verbrandingsmotoren tot, mechanisch vermogen, uiteindelijk eventueel elektriciteit. Essentieel in moderne biomassa is het primaire omzettingsproces, dat biochemisch (door micro-organismen: fermentatie, hydrolyse,...), chemisch(esterificatie) of thermochemisch (door toedoen van warmte: verbranding, pyrolyse, vergassing,...) kan gebeuren. Op dit ogenblik wordt bijvoorbeeld in Nepal en Malawi 90 % van de primaire energiebehoeften betrokken uit biomassa. In 1990 droeg traditionele biomassa in totaal bij tot 12 % van de wereldenergiebehoeften, met grote bijdragen in landen zoals India, China en Brazilië (vervoer op ethanol-brandstof).

Zoals reeds hoger gemeld moet er in de ganse keten angstvallig over gewaakt worden dat netto de productie van broeikasgassen niet verhoogt.

### **1.3.5. Omzetting van waterkringloopenergie in mechanische energie en/of elektriciteit: waterkracht**

De omzetting van waterkracht in een bruikbare energievorm door waterraderen en waterturbines is vrij goed gekend. Omzettingsrendementen zijn zeer hoog (>90 %) en de waterraderen en waterturbines hebben een lange levensduur (>35 jaar). Ongeveer 6% van de primaire wereldenergiebehoeften, waaronder ongeveer 19 % van de wereldelektriciteitsbehoeften, worden op dit ogenblik gedekt met waterkracht. (Bron : World Energy Council, Energy for Tomorrow's World, St-Martin's Press, 1993 en World Energy Council, New Renewable Energy Resources, 1994 St Martin's Press) Dit is vooral te danken aan grote installaties (10 MW/eenheid en meer) op grote stromen en rivieren. Nochtans zijn er ook zeer veel mini- (<10 MW) en micro (<1 MW)-waterkrachteenheden, met een gecombineerd geïnstalleerd vermogen van om en bij 20 GW op dit moment. Kleinere installaties worden relatief belangrijk omdat er toch wel wat omgevingsproblemen zijn met de grotere installaties. De reden hiervoor is dat men voor de grotere installaties dammen bouwt op de rivieren, om zo beter de waterkracht te kunnen benutten. Deze dammen houden vruchtbaar slib tegen zodat stroomafwaarts problemen ontstaan.

Kleinere systemen hebben deze nadelen niet en de verdere benutting van waterkracht hangt dan ook hiervan af. Wel moeten de kleinere systemen regelmatig gereinigd worden van slib. Het totaal theoretisch wereldpotentieel wordt geraamd op 3 TW.

### **1.3.6. Energie uit zeeën en oceanen**

Hiermee worden een aantal lage-intensiteits energiebronnen bedoeld zoals thermische gradiënten in oceanen, golfenergie, stromingsenergie en getijdenwerking.

In tropische gebieden zijn er tussen het oppervlak van de oceanen en enkele honderden meters diepte temperatuursverschillen van 15 °C. Tussen dit warme en koude reservoir kan via een conventionele warmtemachine (omgekeerd proces koelmachine) mechanische energie worden opgewekt. Omwille van het geringe verschil in temperatuur is het maximaal behaalbare rendement echter beperkt tot 5 % . Het theoretisch maximaal Carnot-rendement voor omzetting van warmte in mechanische energie is immers :

$$100 \% \cdot (T_{\text{hoog}} - T_{\text{laag}}) / (T_{\text{hoog}} + 273)$$

waarbij de temperatuur T in °C .

Nochtans kan deze energiebron in principe tot 10 maal de wereldbehoeften dekken indien maximaal benut.

Getijdenenergie ontstaat door de aantrekkingskracht van de zon, maar vooral van de maan. De energie kan omgezet worden via turbines die in het ideale geval verstelbare schoepen hebben om zowel bij eb als bij vloed de getijdenenergie op te vangen. Omzettingsrendementen van 80-90 % kunnen gehaald worden. In theorie is er 2 TW wereldwijd te benutten, in de praktijk slechts 64 GW (de rest verdwijnt geruisloos over de kusten). Veel is hiervan nog niet gerealiseerd. Toch een voorbeeld: de grootste getijdencentrale bevindt zich aan de monding van de Rance-rivier in Bretagne. Daar wordt een elektrisch vermogen opgewekt van 240 MWe door 24 eenheden.

Golfenergie kan worden benut door speciaal ontworpen schoepen en andere mechanische ontwerpen. Het omzettingsrendement is echter beperkt tot 35-50 % . In principe kan men met golfenergie een 1.000 MW centrale bouwen met een lengte van 50 km en een breedte van 20 m. In de praktijk is van golfenergie echter nog niet veel gerealiseerd buiten enkele experimenten. De technologische uitdagingen zijn het beperken van constructie- en onderhoudskosten en het verhogen van de betrouwbaarheid. Dergelijke systemen moeten bijvoorbeeld kunnen weerstaan aan stormen en vereisen daarom gelijkaardige constructies en veiligheidsmarges als boorplatformen.

### **1.3.7. Aanwending van aardwarmte**

Gewone aardwarmte komt niet van de zon en ook niet zozeer van de afkoeling van het hete binnenste van de aarde, maar wel uit radioactieve vervalprocessen in de aardkorst. Daarnaast is er ook vulkanische aardwarmte.

Er zijn in principe 4 bronnen :

- hydrothermisch, waarbij hete ondergrondse fluida naar de oppervlakte worden gepompt en de warmte onttrokken om turbines aan te drijven (via de gewone warmtemachinecyclus)

- hete droge gesteenten, waaruit de warmte onttrokken wordt. Indien 1 km<sup>3</sup> gesteente 1 °C wordt afgekoeld heeft men in principe genoeg energie om 1 % van het energieverbruik van België te dekken.
- hete fluïda, eventueel gassen onder druk (bv. methaan) in de aarde
- magma (vulkanische aardwarmte)

Ofwel gebruikt men de warmte rechtstreeks, ofwel drijft men er een warmtemachine mee aan, waarvan zoals hoger uitgelegd het rendement afhankelijk is van het verschil in temperatuur met de koude bron waarover men beschikt (zie hoger).

Gewone, niet vulkanische aardwarmte heeft de grote beperking dat ze slechts zeer traag terug wordt aangevuld.

Geowarmte wordt op dit ogenblik commercieel aangewend in ongeveer 20 landen (5900 MWe en voor wat de directe warmtetoepassingen betreft: 5,6 Mtoe/a).

### **1.3.8. Kernfusie**

Zonder al te veel op de werking van kernfusie in te gaan, kunnen we kernenergie voorstellen als de omzetting van massa in energie via de beroemde formule van Einstein:  $E = m \cdot c^2$  met  $c$  de lichtsnelheid,  $m$  de verdwenen massa en  $E$  de vrijgekomen energie. Dit kan in de praktijk slechts door het splitsen van fysisch zwaardere deeltjes (welgekende kernsplijting) of het samensmelten van fysisch lichtere deeltjes (kernfusie). De welgekende kernsplijting die in België 60 % van de elektriciteit levert is niet hernieuwbaar, noch onuitputtelijk: de voorraden zwaardere elementen (uranium, thorium..) zijn beperkt tot enkele honderden jaren. Hiertegenover staat dat de voorraden lichtere deeltjes (tenminste deuterium of zware waterstof) die in aanmerking komen voor kernfusie weliswaar niet hernieuwbaar zijn, maar quasi onuitputtelijk. De fusie, 2 aan 2, van alle deuteriumatomen die voorkomen in 1 liter zeewater zou theoretisch evenveel energie leveren als 70 liter olie en als men bedenkt hoeveel liter water er in de oceanen is.... Kernfusie zou echter veel eenvoudiger zijn via deuterium-tritium of deuterium-He<sub>3</sub> reacties en deze elementen zijn dan weer minder onuitputtelijk. Tevens is tritium toxisch.

Praktische problemen zijn de fantastisch hoge temperaturen (tientallen miljoenen graden) die men nodig heeft voor kernfusie. Geen enkel materiaal is daartegen bestand en magnetische opsluiting dringt zich op. Kernfusie als dusdanig is nog niet beschikbaar en naar verluid zal het nog meer dan een halve eeuw duren voor er industriële fusiereactoren aan marktvoorwaarden beschikbaar zijn. Zelfs bij succes blijft echter nog de vraag of de ontwikkelde technologie echt duurzaam zal kunnen toegepast worden.

## 1.4. OPSLAG EN TRANSPORT VAN (HERNIEUWBARE) ENERGIE

Opslag en distributie van energie zijn nodig respectievelijk omwille van verschillen in de vraag- en aanbodpatronen en omwille van het feit dat de energie niet altijd daar beschikbaar is waar we ze nodig hebben.

Opslag van energie is zeker aan de orde voor hernieuwbare energie. Zonne-energie, bijvoorbeeld, is immers het overvloedigst aanwezig in de zomer en nochtans wordt in de winter het meest energie verbruikt. Zelfs over een dagcyclus zijn er verschillen tussen vraag en aanbod. En wat als het windstil is? Naarmate deze energiebronnen in grotere mate verspreid zijn en hun aanbod complementair is, wordt dit probleem natuurlijk statistisch beperkter.

Toch dringt opslag van energie in een buffer zich op. In theorie kan dit onder verschillende vormen gebeuren: elektrisch, warmteopslag, potentiële energie (watertoren), mechanische energie (vliegwiel), magnetische energie,... Behoudens speciale gevallen (bijvoorbeeld voor irrigatiedoeleinden kan men water oppompen en stockeren in een bassin, als buffer tussen vraag en aanbod) komen in de praktijk alleen warmteopslag en chemische opslag in aanmerking. Inderdaad kan men nooit evenveel energie er terug uithalen als men er heeft ingestopt. Warmteopslag kan met water (vooral bij temperaturen rond 100 °C omdat water een hoge warmtecapaciteit heeft), grint en gesteenten of bij hogere temperaturen bepaalde fluorides. Chemische opslag kan in batterijen (70 % rendement, slechts goed voor korte-termijnstockage omwille van de kost), waterstof door elektrolyse van water (rendement 60-70 %),...

Voor transport zijn er verschillende strekkingen. Sommigen geloven alleen in transport van elektrische energie via kabels. Anderen geloven op lange termijn (tegen 2030-2040: studie van EC DG XVII, Kevin Leydon) in de waterstofmaatschappij, waterstof bekomen door elektrolyse van water. Deze waterstof kan rechtstreeks gebruikt worden als brandstof of kan via brandstofcellen (rendement 35-50 %) elektriciteit leveren. Tenslotte zijn er nog scenario's denkbaar via methaan/methanol/ethanol of in het algemeen biobrandstof.

In elk geval blijven opslag en distributie moeilijke punten en elke interessante ontwikkeling op dit vlak zou hernieuwbare energiebronnen een flink stuk vooruithelpen.

## 1.5. MARKTEN EN TOEPASSINGEN VAN FOTOVOLTAÏSCHE CELLEN

De volgende aspecten maken van fotovoltaïsche zonnecellen een attractieve energiebron onder de hernieuwbare:

- milieuvriendelijkheid
- hoogwaardige vorm van energie (elektriciteit)
- statisch en dus weinig of geen onderhoud
- overall ter wereld voldoende aanwezig en dan nog het meest in die gebieden waar in de nabije toekomst de vraag naar energie het sterkst zal stijgen.
- kan zeer gedecentraliseerd opgesteld worden en kan gecombineerd worden met andere menselijke activiteiten. Daardoor kunnen ook kosten bespaard worden (dakintegratie in gebouwen)
- modulair en kan dus dienen vanaf zeer kleine tot zeer grote vermogens
- korte fabricage- en installatietijd.

In 1993 werd er door een aantal fabricanten wereldwijd te samen ongeveer 60 MW geïnstalleerd piekvermogen aan zonnecellen vervaardigd en dit cijfer groeit aan met ongeveer 10-15 % per jaar. Naarmate de mogelijke toepassing zich verder van een bestaande elektrisch verdelingsnet bevindt en des te lager het verbruik, des te economischer het gebruik van fotovoltaïsche zonnecellen t.o.v. conventionele alternatieven. Naarmate de prijs echter verder daalt zullen grotere en meer ambitieuze toepassingen economisch worden. Grosso-modo kan men de markt onderverdelen in volgende segmenten, waarvan de eerste vier nu reeds economisch zijn en de andere in de nabije toekomst zullen volgen :

- consument binnen (< 1 W): horloges, rekenmachientjes,...
- consument buiten (< 50 W): toepassingen in wagens, noodverlichting, tuinverlichting...
- autonoom industrieel (1 W- 10 kW): telecommunicatie, telemetrie, signalisatie, groeiende markt van milieumetingen
- autonome elektrificatie van dorpen (100 W - 10 kW): oppompen van grondwater, bevoeiing, ontzilting, verlichting, koeling... vooral in de ontwikkelingslanden
- netgekoppelde systemen (1 kW - 10 kW): zonnedaken en zonnepanelen in gebouwen. Hier is een grote synergie te verwezenlijken met de bouwsector omdat de zonnepanelen andere bouwelementen kunnen vervangencentrale vermogeneenheden (> 50 kW): elektriciteitscentrales.

Frequent aangehaalde problemen in verband met fotovoltaïsche zonnecellen zijn:

- lage energiedichtheid, of m.a.w. men heeft veel oppervlakte nodig. Dit is juist, maar men moet bedenken dat, zoals hoger gezegd, zonnecellen perfect combineerbaar zijn met andere menselijke activiteiten (integratie in daken...). Om een inzicht te geven in benodigde oppervlaktes: op jaarbasis valt er in de Benelux op 1 m<sup>2</sup> ongeveer 1.000 kWh aan zonlichtenergie in. Met een systeemrendement van bijvoorbeeld 12,5 % betekent dit 125 kWh elektrisch. Een huis verbruikt per jaar pakweg 5.000 kWh elektriciteit en dit betekent dus dat gemiddeld 40 m<sup>2</sup> op jaarbasis voldoende zijn om de energiebehoeften van een huis te dekken. Hierbij wordt wel geen rekening



gehouden met het wisselend aanbod van zonne-energie over dagen en seizoenen en wordt er dus verondersteld dat een tijdelijk overschot nuttig elders kan worden gebruikt en dat bij een tekort een andere energiebron kan worden ingeschakeld. Een andere mogelijkheid is stockage (zie verder). Tevens is het zo dat op jaarbasis gezien, indien men 2 % van de oppervlakte van de Benelux zou volleggen met zonnepanelen, hun opbrengst in elektrische energie (kWh) over het jaar even groot zou zijn als de huidige elektriciteitsbehoefte van dit gebied. Het technisch potentieel is dus aanzienlijk. Een ander sprekend voorbeeld: indien zonnecellen 4 % van alle woestijngebieden ter wereld zouden bedekken, dan zou de opbrengst even groot zijn als de huidige wereldvraag naar energie!

- de zon levert een wisselend aanbod af aan lichtenergie, zeker in de Benelux. Juist daarom zijn die toepassingen waarbij vraag en aanbod samenvallen het interessantst, denk maar aan koeling en airconditioning. Korte-termijnstockage kan ook gemakkelijk via batterijen. Voor lange termijnstockage kunnen andere energiedragers worden gebruikt, zoals wisselwerking met het net zelf en waterstof. Elektrische energie kan door elektrolyse waterstof winnen uit water en via brandstofcellen kan de waterstof later elektriciteit leveren.
- "zonnecellen zijn nog duur", is ook een veel gehoorde uitspraak. Toch zijn prijzen reeds voldoende sterk gedaald om heel wat toepassingen economisch te maken (zie hoger). Prijzen dalen tegen een tempo van ongeveer 5 à 10 % per jaar. Om echt de competitie met de conventionele elektriciteit aan te gaan moeten zonnecellen goedkoper worden en moet er een praktische en goedkopere oplossing worden gevonden voor de opslag van elektriciteit. Nochtans, zoals hoger vermeld, tonen studies (Hohmeyer, ExternE) aan dat indien men alle maatschappelijke externe of verholen kosten (milieubelasting, depletietoelagen, publieke transfers,...) van fossiele en nucleaire energieopwekking echt zou doorrekenen in de kWh-prijs, fotonvoltaïsche zonnecellen sneller competitief zouden zijn met het net. Voor de komende jaren zijn fotonvoltaïsche zonnecellen een zeer interessante energiebron en competitief met droge batterijen, dieselgeneratoren en alle toepassingen die zich ver van een bestaand elektriciteitsnet bevinden.

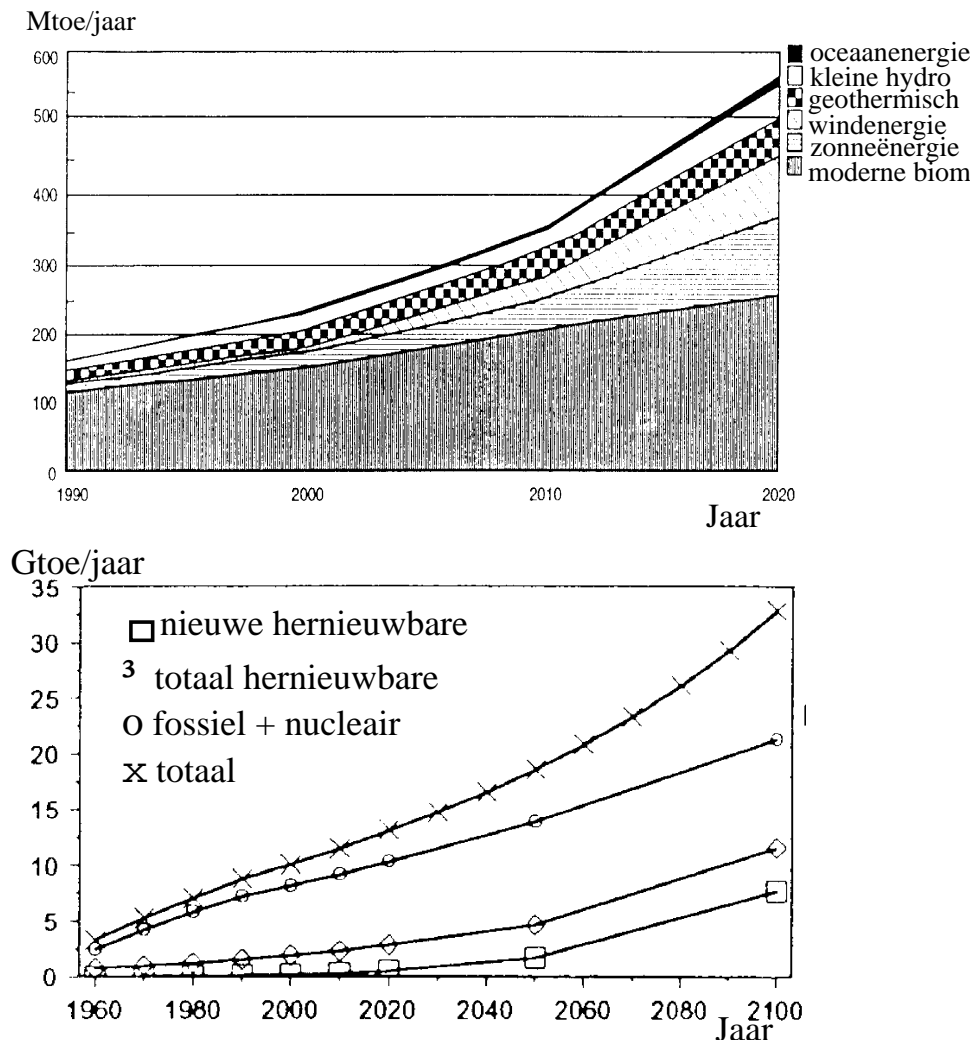
## 1.6. CONCLUSIES EN VERWACHTINGEN / DOELSTELLINGEN I.V.M. HERNIEUWBARE ENERGIE VOOR DE 21e EEUW

Het huidige gebruik van hernieuwbare energie wordt gedomineerd door biomassa (rechtstreeks verbranden of gebruik van het materiaal zonder primaire of secundaire conversie, traditionele biomassa genoemd) en grote waterkracht-(hydro-)centrales. Tesaamen zijn ze momenteel goed voor meer dan 1.500 Mtoe of een 18 % van het wereldenergieverbruik en worden "traditionele hernieuwbare bronnen" genoemd. De nieuwe hernieuwbare bronnen (zonne-energie, windenergie, moderne biomassa namelijk primaire en secundaire conversie, kleine waterkrachtturbines, geothermische energie en energie uit de oceanen) vertegenwoordigen op dit moment slechts 160-170 Mtoe.

Alle hernieuwbare energiebronnen zijn gekenmerkt door hun quasi-onbeperktheid en grote overvloedigheid, hun lage energiedensiteit, maar ook hun wisselend karakter, veelal afhankelijk van weersomstandigheden. Omwille van deze laatste eigenschap dringt opslag en transport van deze energie zich op en dit kan vrij duur en inefficiënt zijn. Niettegenstaande de energie uit de meeste hernieuwbare energiebronnen nog duurder is, is de kost ervan toch sterk aan het dalen. Specifieke moeilijkheden die in het algemeen nog moeten overwonnen worden of stimulansen kunnen worden voor hernieuwbare energiebronnen zijn:

- betere kennis van lokale beschikbaarheid van de hernieuwbare bronnen in functie van de tijd
- verdere verbetering van de technologieën in termen van verhoging van het omzettingsrendement en verlaging van de productiekost
- kostenberekening van de energie voor alle energiebronnen over hun volledige levenscyclus en reductie van de risico's van de hoge begininvestering: inderdaad de meeste hernieuwbare energiebronnen vereisen relatief een zeer hoge begininvestering, maar naderhand is de energie quasi gratis
- nog meer aandacht aan de invloed van energie op het milieu
- opleiding en bewustmaking van de bevolking
- samenwerking geïndustrialiseerde landen en ontwikkelingslanden: ontwikkelingshulp is een investering op termijn !

Op het World Energy Council (WEC) congres in Montreal (1989) werden een aantal scenario's naar voren geschoven en naderhand nog bijgewerkt i.v.m. de penetratie van hernieuwbare energiebronnen op de wereldenergiemarkt tot 2020. Deze scenario's werden dan later ook verder geëxtrapoleerd tot het jaar 2100. We bespreken in het kort 2 scenario's.



Figuren 1.2 Voorspellingen naar energieproductie in het geval van het scenario "huidige politiek".

- scenario "huidige politiek" wat aanzien wordt als een minimum voor hernieuwbare bronnen. Dit scenario houdt in dat er geen noemenswaardige wijzigingen zijn in de huidige trends: het houdt wel rekening met een lichte stijging van de prijs van fossiele brandstoffen, verdere ontwikkelingen betreffende hernieuwbare energie, een stijgende nadruk op energierendement en protectie van het milieu en verdere economische ontwikkelingen.

Het resultaat wordt getoond op de twee grafieken van figuur 1.2.

- ecologisch gedreven scenario: in dit scenario worden alle externe kosten van de verschillende energiebronnen doorverrekend naar de gebruiker (zoals milieukosten, verholen subsidies, depletiekosten enz.). Impliciet in dit scenario wordt verondersteld dat er sterke inspanningen worden geleverd om energie te besparen (gevoelig lager verbruik per capita in de geïndustrialiseerde landen en totaal ook lager verbruik) en dat de bevolkingsaan groei lager zal zijn dan in het vorige geval. Procentueel gezien zal het aandeel van nieuwe hernieuwbare energiebronnen, vooral zon, wind en moderne biomassa, dan gevoelig hoger zijn dan in het vorige geval.

Het resultaat wordt getoond op de volgende 2 grafieken van figuur 1.3.

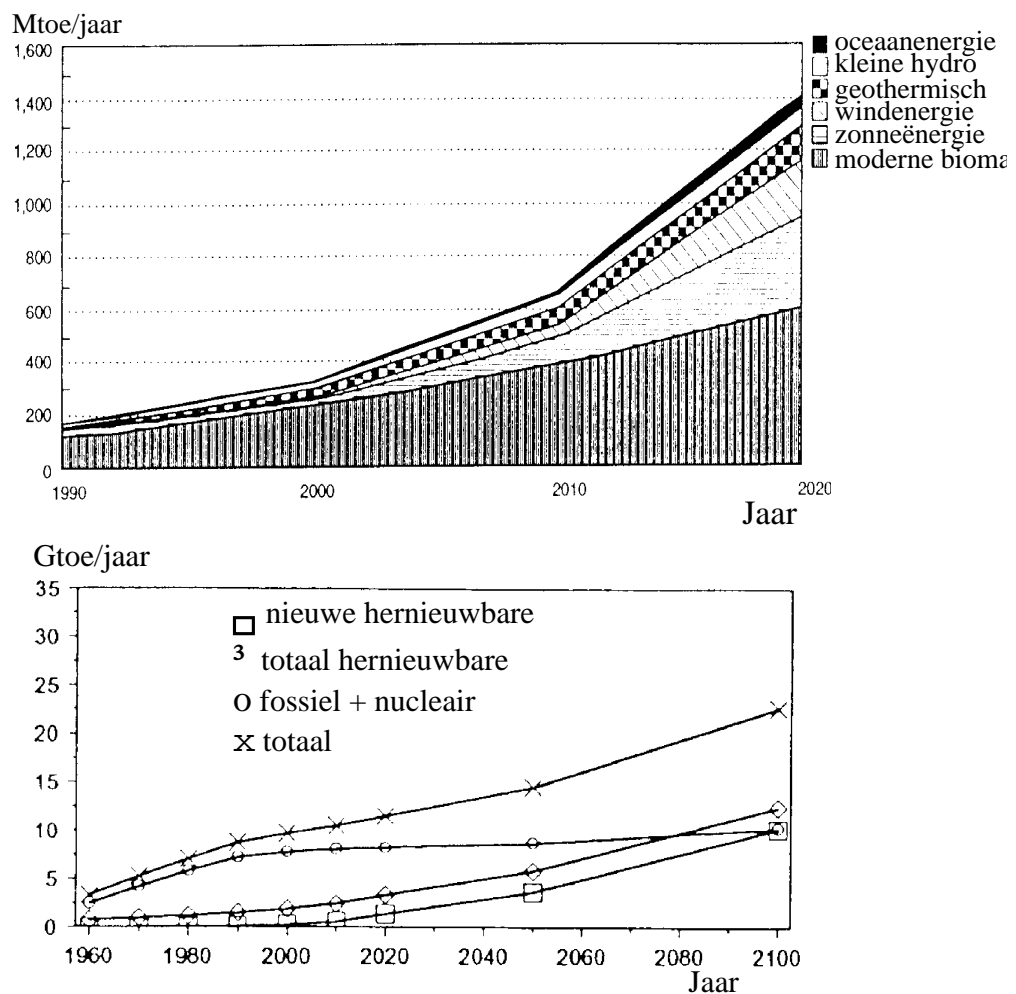
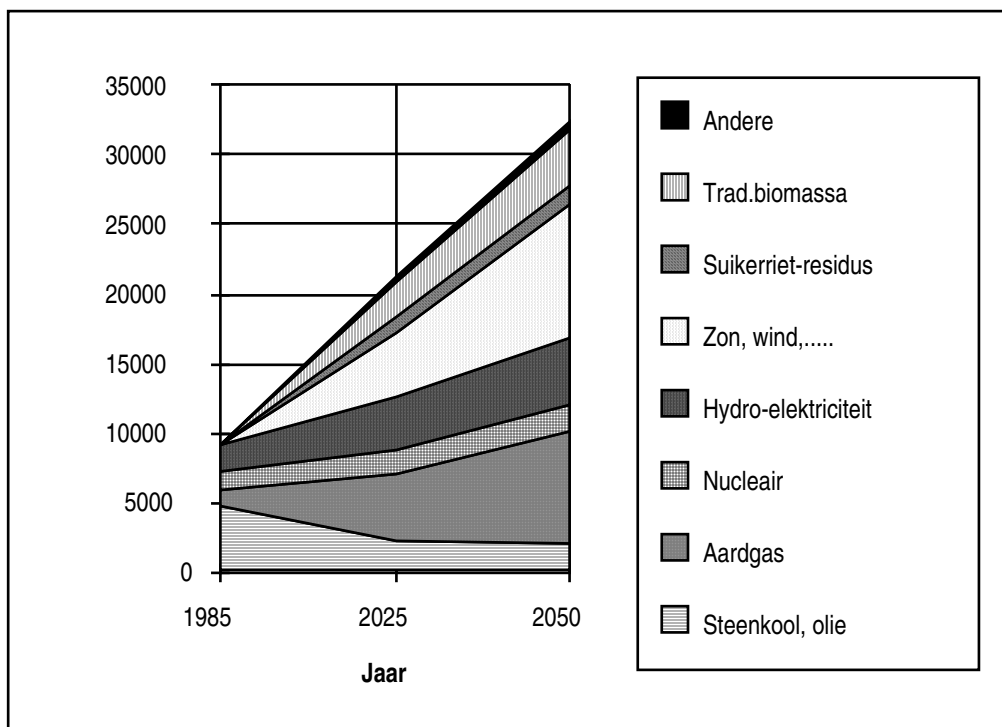


Fig. 1.3 Voorspellingen naar energieproductie in het geval van het ecologisch gedreven scenario.

Een andere interessante benadering is het RIGES (renewable-intensive global energy scenario) van T.B. Johansson e.a.. Dit veronderstelt dat tussen nu en 2050 het wereld-economisch produkt zou verachtvoudigen. Dit zou resulteren, ondanks alle inspanningen om energieomzettingen efficiënter te maken, in een toename van de vraag naar elektrische energie met 265 % tussen 1985 en 2050. Deze RIGES-benadering werd ontwikkeld om tegemoet te komen aan de energievraag, resulterend uit de studie van de Response Strategies Working Group van het Intergovernmental Panel on Climate Change (onder de auspiciën van de World Meteorological Organization en de United Nations Environment Program). Het resultaat voor elektrische energie (wereldwijd) wordt getoond in onderstaande figuur 1.4.



*Figuur 1.4 Voorspelling naar de energieproductie volgens RIGES.*

Voor al deze scenario's zal natuurlijk in mindere of meerdere mate het gebruik van conventionele energiebronnen (fossiele, nucleair) onontbeerlijk blijven, maar toch komt er een meer gediversifieerd energieaanbod, met optimale inzet van zowel conventionele als hernieuwbare energiebronnen. Het spreekt natuurlijk vanzelf dat als fossiele brandstoffen opgebruikt raken de enige overblijvende alternatieven nucleaire en hernieuwbare energie zijn. Bovendien valt het te bekijken of de bevolking nucleaire energie zal toelaten in de toekomst en dit zal vooral afhangen van het menselijk vernuft om nucleaire ongevallen te vermijden en het afvalprobleem oordeelkundig en op een aanvaardbare manier op te vangen.

Naast het aspect van grotere diversiteit in energiebronnen zal ook het aspect van decentralisatie zeer belangrijk zijn voor de 21<sup>e</sup> eeuw. Daar waar tot op heden voor de conventionele energiebronnen vooral werd gekeken naar wat men in het Engels zo mooi noemt "economies of scale", zullen energiemaatschappijen de waarden van

gedecentraliseerde opwekking moeten leren ontdekken en er ervaring mee opdoen. Als voorbeeld kan worden aangegeven dat elektriciteitsmaatschappijen in de Verenigde Staten de volgende positieve eigenschappen naar voren schuiven voor het gebruik van fotovoltaïsche zonnecellen ter aanvulling op het bestaande netwerk:

- lagere kost van implementatie dan voor het bouwen van grotere centrales, vooral als er onzekerheid bestaat rond de bestendigheid van de meervraag naar elektriciteit op een bepaalde plaats
- responsietijd van de elektriciteitsmaatschappij naar de klant toe is veel korter
- eenvoudige aanpassingen aan lokale omstandigheden
- modulariteit: betere en gemakkelijker aanpassing aan stijgen en dalen van de energievraag
- decentralisatie = korter bij de klant, dus minder lijnverliezen
- verhoging van de diversiteit aan energiebronnen en dus vermindering van de kwetsbaarheid