

## Energiebronnen voor een Duurzame Toekomst

Aviel Verbruggen, UA ([aviel.verbruggen@ua.ac.be](mailto:aviel.verbruggen@ua.ac.be))

November 2005

Energie is onze meest trouwe levensgezel: op alle momenten, in alles wat we doen, speelt energie een rol. Het belang van energie is moeilijk te overschatten, en de geschiedenis van beschavingen is verwant aan de wijze van energievoorziening [Simmons, 1989].

Stap voor stap kreeg de mens vat op het alom tegenwoordige verschijnsel energie. Steunend op een axiomatisch kader van energiewetten, zoals het behoud van energie en de onomkeerbare daling van de energiekwaliteit bij gebruik, is een uitgebreide energiewetenschap gegroeid. De techniek stelde ons in staat de wetenschappelijke inzichten praktisch te realiseren zoals de omzetting van warmte in arbeid sinds het begin van de industriële revolutie. Van toen af werd het gebruik van hernieuwbare energie uit de directe omgeving en van fysieke energie van de mens zelf verdrongen door een steeds stijgend gebruik van fossiele brandstoffen. Sinds vijftig jaar zetten atoomcentrales massa in warmte om. Onze energie vandaag komt uit drie bronnen: hernieuwbare energie, fossiele brandstoffen en atoomenergie. We beginnen met een korte inleiding over de belangrijkste types van energiegebruik. Dan bespreken we de drie betekenisvolle bronnen die het gebruik vandaag en in de toekomst kunnen dekken.

### 1. Zon, maan en aarde.

Alle verhoudingen in acht genomen, is de drievuldigheid zon-maan-aarde de oorsprong van de energie die we nu en in de toekomst kunnen benutten. Dit even herhalen is nodig om het nieuwe sprookje ‘waterstof’ te duiden [Rifkin, 2002]: de onmeetbare massa’s vrije waterstof in het heelal zijn niet af te tappen, zodat alle bruikbare waterstof op aarde uit omzetting van andere energievormen moet komen. Zoals elektriciteit is waterstof geen energiebron, en dus niet het voorwerp van deze bijdrage.

De straling van de zon was en is veruit de belangrijkste bron van de bruikbare energie op aarde. De aantrekkingskracht van de maan veroorzaakt eb en vloed, en de aarde zelf straalt warmte uit vanuit haar kern die de bodem warm houdt en hier en daar onder de vorm van stoom of heet water opborrelt (IJsland, Californië, Italië, enz.). Bepaalde mineralen en stoffen leveren het basismateriaal voor kernsplijting (uranium) en voor kernfusie (deuterium).

De energie van de zon maakt leven op aarde mogelijk. Niet alleen de planten gebruiken het zonlicht om te groeien, ook wij gebruiken dagelijks een belangrijk pakket zonneenergie. We zijn ons daar weinig van bewust omdat we er niet voor betalen en we het gebruik niet meten. Toch is het meeste licht dat we gebruiken, het zonnelicht overdag. Veel warmte komt van de zon. Koeling en ventilatie verschaft ons de bries ontstaan door zonneenergie. Dit is “**natuurlijke**” energie: ze komt rechtstreeks uit de natuur en je hoeft er geen bewerking op uit te voeren. Wel moet je zorgen dat je van deze energiestromen kunt genieten door b.v. het zonnelicht toegang te geven tot je woning.

Een tweede vorm van energie is echt onafscheidelijk met jezelf verbonden, als de warmte, de kracht en de chemie van het eigen lichaam (“**somatische**” energie). Deze energie is niet gratis want regelmatige voeding is vereist. Het lichaam is een eerder bescheiden krachtbron maar wel uiterst veelzijdig en intelligent gestuurd. Het is raadzaam deze bron bedachtzaam in te zetten, b.v. voor precisiewerk, voor korte verplaatsingen te voet of met de fiets, e.d.

“**Bewerkte**” energie is het resultaat van de toepassing van een ‘techniek’ op andere energievormen om deze voor onze doeleinden bruikbaar te maken. De eerste technieken waren vrij ruw: het temmen van dieren, het vuur om warmte uit biomassa (hout) te halen, het wiel om de kracht van mens en dier efficiënter te benutten, e.d. Dan volgden de technieken van het zeil,

de watermolen, de windmolen om kracht uit de natuurlijke stromen van wind en water te putten. Tot de vooravond van de industriële revolutie komt alle bewerkte energie voort van natuurlijke en somatische bronnen. In de tweede helft van de 18<sup>e</sup> eeuw komen de machines die warmte omzetten in kracht, en deze stuwden de verdere industrialisering. Hout als brandstof wordt snel vervangen door de fossiele brandstoffen kolen, olie en aardgas. Tot vandaag halen we jaar na jaar een groter pakket energie uit deze fossiele reserves van omgezet plantaardig en dierlijk organisch materiaal, dat gedurende honderden miljoenen jaren sparen door zon en aarde werd vergaard. Elk jaar van onze huidige beschaving gaat een miljoen jaar prehistorisch sparen in vlammen op, of misschien sprekender: elke dag opnieuw verbranden we een hoeveelheid fossiele reserve van 3000 jaar sparen (van “Troje” tot vandaag).

Vanaf het laatste kwart van de 19<sup>e</sup> eeuw ontwikkelen zich twee energiesectoren op onweersaanbare wijze: de **oliesector** met de verbrandingsmotor als techniek van mobiele kracht voor een uitdijnde mobiliteit en met olie als een economisch bijzonder aantrekkelijke brandstof, en de sector van de **elektriciteit** die kracht levert via kabels die al snel grote delen van de geïndustrialiseerde wereld overspannen. Zoals waterstof is elektriciteit niet in bruikbare vorm aanwezig op aarde, zodat we elektriciteit uit andere energie opwekken: in 2004 voor 68% (2/3) uit de voorraden fossiele brandstoffen (vooral kolen en aardgas), voor 16% (1/6) uit (grootschalige) waterkracht en voor 16% (1/6) uit atoomsplitsing [BP, 2005]

Bewerkte energie bestaat voor het overgrote deel uit “**commercieel verhandelde**” energie via bedrijven en conglomeraten die tot de grootste ter wereld behoren. Een klein deel van de bewerking gebeurt door de eindgebruikers zelf, b.v. via zonnepanelen of zonnecellen om warmte en elektriciteit te bekomen, via eigen houtwinning. De commerciële energie heeft de andere vormen van energie verdrongen. B.v. gebouwen (scholen, kantoren, huizen) verschaffen slechte toegang voor het natuurlijk daglicht, dikwijls zijn trappen onvindbaar en boksen verwarmings en koelbatterijen tegen mekaar op. De energiesector doet lacherig over de natuurlijke en somatische bronnen, en heeft de ontwikkeling van niet-commerciële vormen van bewerkte energie lang afgeremd. Praktisch alle geld voor energie onderzoek en ontwikkeling ging naar de ultieme technologische droom van de omzetting van materie in energie die voor eeuwig en altijd de energieschaarste de wereld uit zou bannen.

Deze aanpak heeft ons overstelp met een massaal aanbod van laag geprijsde energiedragers, continu overal te koop. Zonder valt de technologische maatschappij stil want commerciële energie voedt de productiviteit, het comfort, de mobiliteit, enz. waarvan de meeste bewoners van het rijke deel van de wereld en het rijke deel van het arme gedeelte met volle teugen genieten. Het omvangrijke en intensieve gebruik van commerciële energie heeft ook een keerzijde: de uitputting van de eindige voorraden fossiele brandstoffen gebeurt in een steeds sneller tempo, de verbranding ervan is de belangrijkste oorzaak van de klimaatverandering en van andere nijpende milieuvervuiling, steunend op de energie gedreven technologie zijn de reikwijdte en de impact van de ontginning van de aarde bijna onbegrensd met versnippering, ontbossing, verlies aan habitats en biodiversiteit als gevolg, de risico's van grote accidenten zijn sterk toegenomen, ... Deze aspecten horen niet thuis onder de noemer ‘duurzaam’.

## 2. De energie concurrenten voor de toekomst

In de jaren 1970 was uitputting het grote aandachtspunt [Meadows, 1972]. In de jaren 1990 is klimaatverandering daarbij gekomen [IPCC]. Er dienen zich drie kandidaten aan om de energie van de 21<sup>e</sup> eeuw te leveren. De keuzes die we maken zullen eeuwen later nog gevolgen hebben, zoals de keuzes van de vorige eeuwen onze huidige situatie in hoge mate vastleggen. Tabel 1 biedt een overzicht van de drie opties met kwalitatief omschreven scores op acht criteria.

### 2.1 Atoomenergie

Atoomenergie was het alternatief dat kolen en olie zou aflossen om de na-oorlogse groei economie onbeperkt te voeden met massale hoeveelheden elektriciteit die ‘te goedkoop (zouden zijn) om te meten’. Nooit in de geschiedenis heeft een energie technologie zoveel steun gekregen vanuit de economische, wetenschappelijke en politieke wereld. Atoomenergie ontving het leeuwen aandeel middelen voor energie onderzoek en ontwikkeling in de tweede helft van de vorige eeuw. Toch is het geen succesverhaal geworden. Na een eerste golf van niet ingeloste beloften (niet zo zuiver en wel duur, met afwenteling van ernstige veiligheids en afvalproblemen), heeft atoomenergie ook de tweede kans door de oliecrises van de jaren '70 zien vastlopen, onder andere door de twee zware accidenten TMI (1979) en Tjernobyl (1986). De sector stelt zich kandidaat voor een derde kans, nu verwijzend naar de versterking van het broeikaseffect door de verbranding van fossiele brandstoffen en naar de uitputting van deze eindige voorraden. Tabel 1 toont atoomenergie als een gecentraliseerde energiebron. Uit een beperkt aantal vestigingen (voor België zijn behalve Doel en Tihange, ondanks de onverantwoorde nabijheid van de grote agglomeraties Antwerpen en Luik, geen andere plaatsen denkbaar), wordt via 360kV hoogspanning continue vollast op de netten gebracht. Voor de flexibiliteit moeten andere – vooral fossiel gestookte – centrales zorgen.

De techniek van de kernsplijting is goed gekend en er zijn geen nieuwe doorbraken in het vooruitzicht. Fusie vormt het voorwerp van zeer dure O&O programma's die nu op mondiale schaal worden uitgevoerd. Door de complexiteit van de nucleaire ketens en de omvangrijke investeringen is atoomenergie duur. De kostprijs is omstreden omdat het financieel waarden van risico's niet volledig gebeurt en omdat een aantal externe effecten moeilijk monetair vast te stellen is, b.v. afval dat tienduizenden jaren zeer gevaarlijk blijft een kostprijs toekennen, is niet echt makkelijker dan Homeros 3000 jaar geleden te hebben beloofd voor de baten van zijn geschriften in de 21<sup>e</sup> eeuw.

Atoomenergie wordt door een groep belanghebbenden vandaag aangeprezen voor een duurzame energietoekomst. Tegenover de jaren 1950 toen het dé oplossing was van alle energieproblemen is het accent nu verschoven naar ‘geen oplossing zonder kernenergie’ of m.a.w. kernenergie als deel van de oplossing. Toch zijn er vraagtekens te plaatsen bij het duurzaam karakter van atoomenergie. Een duurzame energiebron moet onuitputtelijk zijn, een geringe impact op milieu en natuur veroorzaken, lage risico's inhouden voor veiligheid en gezondheid, op wereldvlak toepasbaar zijn en betaalbaar voor de armen, en verenigbaar zijn met democratische vormen van bestuur. Hoe goed doorstaat atoomenergie deze toets?

Onuitputtelijk is atoomenergie op aarde enkel als fusie op aarde technisch, economisch en veiligheidsgewijs haalbaar is. Ondanks de massale O&O investeringen in fusie door de industriële landen samen, valt het op dat de horizon van de commerciële fusie zich eerder verwijderd dan naderbij komt. Artikels uit de jaren 1970 kondigen fusie aan als commercieel beschikbaar vóór het jaar 2000, maar vandaag durft niemand er veel op verwedden dat het voor 2050 zover zal zijn. De tweede keuze om atoomenergie onuitputtelijk te maken zijn de kweekreactoren waarmee we in de jaren 1970-90 wel experimenten hebben uitgevoerd.

Voorals technische problemen en de ontbrekende steun voor de uitbouw van een plutonium economie, hebben de programma's van kweekreactoren doen mislukken. De bestaande fissie (kernsplijting) technologie verbruikt het eerder schaarse uranium-235 isotoop, en is geen onuitputtelijke energiebron. Als we diffuus verspreid uranium moeten gaan vissen en filteren, zal dit atoomenergie uit fissie reactoren een stuk duurder maken. En tot dusver blijft fissie de enige kerntechniek met commerciële energietoepassingen.

Atoomenergie op zich produceert geen CO<sub>2</sub>. Met het versterkte broeikaseffect als mondiale bedreiging is dit een belangrijke troef. Er zijn enkele andere emissies die in totaliteit beperkt zijn indien er geen accidentele vrijzettingen plaatsvinden. Bij accidenten kunnen de emissies ernstige gevolgen hebben, waarbij vooral de kankerontwikkeling bij blootgestelde mensen de meeste aandacht krijgt (zie Tjernobyl).

De risico's die de kerncentrales en andere schakels in de atoomketen (b.v. opwerkingsfabrieken en de opslagplaatsen van kernafval) op de omgeving en de mensen leggen, zijn omstreden. Sommigen beschouwen deze risico's als minimaal en goed beheersbaar, anderen vinden deze risico's onaanvaardbaar hoog. Het is normaal zulke bandbreedte in de beoordeling vast te stellen omdat risico perceptie en evaluatie nu eenmaal zeer persoonlijke aangelegenheden zijn. Dit is niet alleen zo als het over nucleaire risico's gaat maar over de meeste risico's die in een maatschappij optreden. Sinds Adam Smith hebben de moderne samenlevingen op deze diversiteit geantwoord met de creatie van een verzekeringssector die individuele differentiatie omzet in maatschappelijke verhandelbare grootheden. Atoomenergie is niet volledig te verzekeren via deze – nochtans maatschappelijk uiterst solide – systemen, zodat de risico's zeker niet als verwaarloosbaar te bestempelen zijn.

Tabel 1: Hoofdkenmerken van energieopties voor de toekomst

<i>Kenmerk:</i>	<i>Atoomenergie</i>	<i>Fossiele brandstoffen</i>	<i>Hernieuwbare bronnen</i>
<i>Energiedichtheid</i>	Zeer dicht	Dicht	Meestal diffuus*
<i>Schaal</i>	Gecentraliseerd	Deelbaar	Verspreid
<i>Controle (modulatie)</i>	Weinig flexibel	Op afroep uit voorraad	Discontinu, deels onvoorspelbaar
<i>Technologie</i>	Fissie: geen nieuwe doorbraken verwacht Fusie: onderzoek op wereldschaal	Efficiëntie verbeteringen tot de fysische limieten, krachtiger ontginning	Liften mee op nieuwe technologie, zoals: micro electronica, nieuwe materialen, meet & regel technieken, e.d.
<i>Kostprijs</i>	Duur	Goedkoop	Zeer duur
<i>Acute risico's</i>	Groot (nucleaire accidenten; radioactieve lozingen)	Beheersbaar hoewel zware accidenten mogelijk zijn (mijnen, tankers, leidingen)	Klein (belangrijkste risico's van grote hydro)
<i>Chronische druk</i>	Nucleair afval; Beperkte lozingen; Landschappelijk (meer HS lijnen)	CO <sub>2</sub> emissies; Luchtvervuiling; Lekken (olie); Afval (kolen)	Landschappelijk (windmolens), aantasting ecosystemen (waterlopen, bossen, e.d.)
<i>Duurzaamheid</i>	Kritisch	Klimaatsverandering; Uitputting	Globaal en eeuwig

\*Hernieuwbare bronnen door de natuur geconcentreerd zoals regen in berggebieden (hydro) of biomassa zijn niet overal beschikbaar en het duurzaam aanbod ervan is eindig.

Opgemaakt op basis van talrijke bronnen, zoals: RFF(2005), Twidell&Weir (1997)

Op wereldvlak toepasbaar is atoomenergie niet. De arme landen hebben niet de technische, organisatorische en financiële draagkracht om deze kapitaalsintensieve en technologie afhankelijke infrastructuur uit te bouwen. Zelfs een aantal landen met een sterkere ontwikkeling (Brazilië, Indonesië, Indië) hebben er eerder een financiële kater dan een overvloedige energiebron aan over gehouden. Om de kostprijs te drukken, bestaat dan de neiging de kwaliteit en de veiligheid van de processen te verlagen, maar dit verhoogt de kans dat de eindprijs nog veel hoger zal uitvallen.

Een van de belangrijkste bezwaren tegen de ruimere verspreiding van de atoomtechnologie is het gevaar van de verspreiding van kernwapens (zie b.v. Israël, Pakistan). Dit onderwerp is

een afzonderlijke discussie waard, want uiterst beladen en conflicterend met wat de essentie van duurzaamheid inhoudt.

Naast de begrensde geografische spreidbaarheid van de kerntechnologie, maakt het gecentraliseerde karakter ervan dat atoomcentrales enkel als een primaire bron voor de massale levering van warmte/stoom in te schakelen zijn. Vandaag gaat het hier praktisch uitsluitend over de opwekking van elektriciteit (in 2004 ca. 16% van de mondiale productie), maar elektriciteit zelf is maar één van de energievormen die we behoeven. Als we België als voorbeeldland stellen voor het gebruik van kernenergie (6000 MW voor 10 miljoen inwoners) en dit extrapoleren naar een wereldbevolking van 10 miljard inwoners, dan is er 6000 GW te installeren, of 6000 mastodont centrales van 1000MW, die om de 40 jaar te vervangen zijn. Is er nog plaats op aarde voor dit soort voorstellen?

## 2.2 Fossiele brandstoffen

De fossiele brandstoffen staan vandaag in voor ca. 80% van alle bewerkte energie en voor ca. 90% van alle commerciële energie gebruik [IEA, 2003]. We verorberen deze erfenis zo gulzig omdat de voordelen van deze brandstoffen (olie en gas in het bijzonder) zo groot zijn. In een vat olie zit veel energie, gemakkelijk en zonder waardeverlies deelbaar, veilig overal stockeerbaar ook in auto's en bromfietsen, en niet verderfelijk maar wachtend op de mens om te starten. Vandaag is fossiele energie economisch goedkoop want het resultaat van vroegere inspanningen van zon en aarde, die geen eigendomsrechten claimen. En natuurlijk benutten we eerst de gemakkelijk te winnen en te gebruiken fossiele bronnen. Onze techniek, industrie, landbouw, gebouwen, transportsystemen, recreatie, cultuur, ... zijn gebouwd op een continue overvloed van goedkope fossiele brandstoffen. En ook al wordt olieschaarste zichtbaar en olie duurder, er zijn nog veel steenkolen en aardgas om de rest van de eeuw op fossiel te blijven draaien.

Fossiele brandstoffen worden met steeds krachtiger technieken ontgind. De oliewinning op zee is daar het meest sprekende voorbeeld van. De grootste technische successen in reactie op de schaarste van de jaren 1970, vinden we bij de aanzienlijke efficiëntieverbeteringen in de omzetting en aanwending van fossiele brandstoffen. Aardgas zet hier de toon omdat het zich best leent tot hoge efficiëntie, b.v. verbranding met condensatie van de rookgassen, brandstof voor gasturbines (als eerste schakel in de gas&stoom combinaties of als warmte-kracht eenheid). Maar ook olie gebruiken we nu veel efficiënter in onze voer- en vliegtuigen, in onze industriële processen, ketels, e.d. Kolen – de meeste voorradige fossiele reserves – blijven een probleem om de hoogste efficiënties neer te zetten. De efficiëntiesprongen hebben een grote bijdrage geleverd om in het decennium van de jaren 1980 de schaarste naar de achtergrond te verwijzen, de milieu uitwassen te stelpen, en een nieuwe impuls te geven aan een nog gulziger en wereldwijd verspreidend gebruik van fossiele brandstoffen. Kanttekening hierbij is dat de efficiëntie revolutie in de winning en omzettingstechnologie niet voor herhaling vatbaar is. We kunnen één keer onze centrale verwarmingsketel met een seizoenrendement van ca. 50% vervangen door een ketel met een rendement van 100%, maar hoger kan fysisch niet<sup>1</sup>. Voor de toekomst moeten we rekening houden met dit 'technisch uitputtingseffect'.

Het knelpunt voor de fossiele opties ligt in de onvermijdbare productie van schadelijke stoffen en van CO<sub>2</sub> bij iedere verbranding van koolstofhoudende energie. Met de IPAT identiteit van Ehrlich<sup>2</sup> kunnen we de totale CO<sub>2</sub> uitstoot van ca. 25 miljard ton in het jaar 2000 door de mens teweeg gebracht omschrijven als het product van {6 miljard mensen} X {een

<sup>1</sup> Gemeten op de bovenste verbandingswaarde. Efficiëntie verbeteringen in het energiegebruik zijn natuurlijk wel nog mogelijk. Ook is het zo dat de meest efficiënte technieken nog steeds een beperkte toepassing kennen (in het bijzonder in de ontwikkelingslanden).

<sup>2</sup> De IPAT identiteit schrijft de totale Impact (I) op het milieu als een product van het aantal mensen (P=population) x welvaart per hoofd (A=affluence) x verstoring per eenheid welvaart (T=technology).

gemiddeld mondiaal bruto product van 6500 \$/mens} X {een brandstoffenintensiteit van 200 gram olie equivalent/\$ bruto product} X {3,2 gram CO<sub>2</sub>/gram olie equivalent}. Deze wereldgemiddelden verbergen het veel intensievere brandstoffengebruik van de industrie landen, en van de VS en Canada in het bijzonder. Ook het verschillend CO<sub>2</sub> gehalte van de brandstoffen gaat erin verloren, met kolen het dubbele van de emissies van aardgas, en met olie halfweg ertussen. Er is nu veel aandacht voor de opvang en opslag van CO<sub>2</sub> aan de schouwen van grootschalige verbrandingsprocessen, maar dit zal de kostprijs opdrijven [IPCC, 2005].

### 2.3 *Hernieuwbare bronnen*

De derde concurrent in de energievoorziening zijn de hernieuwbare bronnen, in hoofdzaak afkomstig van de zon. Zonder het zelf te weten, gebruiken we iedere dag veel zonne-energie: het daglicht, de warmte van de lucht, de verse luchtaanvoer dank zij de bries. Maar met dit natuurlijke gebruik van de zon, hebben we niet genoeg. We willen ook licht 's nachts, en warmte in onze woning in de winter, en ons snel en ver verplaatsen zonder veel moeite, ... De dagelijkse straling van de zon kan ons een stuk meer helpen dan vandaag het geval is, als we daar bijzondere aandacht voor hebben, en b.v. onze woning daarop richten en inrichten, en sommige gewoonten aanpassen (het daglicht binnenlaten b.v. via lichtpijpen, via een zwarte wand extra zonne-warmte opslaan, e.d.). Men spreekt dan van **passieve** systemen omdat je er geen bewegende apparatuur voor nodig hebt. Om nog meer van de zonne-energie gebruik te maken, zijn **actieve** systemen nodig met panelen, opslag, controle apparatuur, enz., met onderscheid tussen twee soorten:

- ❖ Zonnecollectoren. Deze vangen goed de stralingswarmte van de zon op. Er bestaan niet-concentrerende en concentrerende systemen. De eerste soort zijn meestal vlakke platen en dienen om warmte te vergaren op temperaturen van 30°C tot 100°C, geschikt voor warm tapwater of om te verwarmen. De tweede soort concentreert de zonnestraling met spiegels of lenzen. Ze kunnen zeer hoge temperaturen opwekken, voldoende om stoom te maken en dan elektriciteit. Ook vacuüm collectoren bereiken hogere temperaturen en efficiënties.
- ❖ Fotovoltaïsche zonnecellen zetten de zonnestraling rechtstreeks om naar elektriciteit. Gestart in de ruimtevaart wordt de techniek nu verder ontwikkeld voor commerciële toepassingen: rekenmachines, signaalapparatuur, elektriciteit voor boten en gebouwen.

Via fotosynthese is er een rechtstreekse omzetting van zonne-energie naar chemische energie in gewassen (grassen, planten, bomen). Hierbij wordt koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) uit de lucht afgebroken in koolstof (C) voor het gewas en in zuurstof (O<sub>2</sub>). Zo ontstaat er in de gewassen organisch materiaal als basis voor de voedselpiramide waarop dieren en mensen voortbouwen. Organisch materiaal is ook de biomassa die we als energiebron gebruiken.

De energie van de wind wordt al eeuwenlang omgezet naar andere vormen van mechanische energie met zeilschepen of windmolens om granen te malen of water op te pompen. De windturbines vandaag zijn gebouwd volgens de laatste inzichten uit de luchtvaart en gebruiken de nieuwste materialen. Ze dienen om elektriciteit op te wekken, en om grote hoeveelheden elektriciteit op te wekken worden veel grote windturbines in windturbineparken bij elkaar geplaatst. Dat kan zowel op het land (“on-shore”) als in zee (“off-shore”).

De wind veroorzaakt golven op zee. De cirkelvormige bewegingsenergie van de waterdeeltjes is omzetbaar in mechanische en vandaar in elektrische energie. De eerste experimenten om golfenergie te winnen staan op stapel.

Biomassa als energiebron is organisch materiaal afkomstig van gewassen en dieren, b.v. brandhout, suikerriet, koolzaad, dierlijke mest, of groenten-, fruit- en tuinafval (GFT).

Verschillende technieken zetten de chemische energie in biomassa om in bruikbare warmte of andere nuttige energievormen:

- ❖ de rechtstreekse verbranding. De vrijgekomen warmte gebruiken we als dusdanig, b.v. om ruimtes te verwarmen, of onder de vorm van stoom om elektriciteit op te wekken;
- ❖ de productie van brandbare gassen. Biogas ontstaat door de vergisting van organisch materiaal, op ongecontroleerde wijze zoals op stortplaatsen, of gecontroleerd zoals in vergistingsreactoren. Synthesegas ontstaat door thermo-chemische vergassing van biomassa, meestal hout.
- ❖ de productie van vloeibare brandstoffen. We kunnen suikerriet, suikerbieten, aard-appelen of graangewassen omzetten in bio-ethanol, en plantaardige olieën (koolzaadolie, zonnebloemolie) of dierlijke vetten in biodiesel. Ze kunnen klassieke fossiele motorbrandstoffen (benzine of diesel) vervangen.

Oude beschavingen gebruikten duizenden jaren geleden al watermolens om graan te malen. De huidige waterturbines wekken elektriciteit op. Kleine turbines worden door de kracht van stromend water in een rivier gestuwd. In de grote centrales levert een groot hoogteverschil de druk om de turbines aan te drijven.

De aantrekkingskracht van de maan zorgt dagelijks voor eb en vloed. De bewegingsenergie van het wassende en zich terugtrekkende water in de monding van een rivier of baai kan dienen om elektriciteit op te wekken in getijdencentrales (b.v. St.Malo, Frankrijk).

Het spontane verval van radioactief materiaal produceert diep in de aarde warmte, die door de gesteenten naar boven sijpelt. Op sommige plaatsen zit de warmte opgeslagen in de aardkorst in de vorm van warm water of stoom, die we “aftappen” om te verwarmen of om elektriciteit te produceren zoals in IJsland, Italië, Californië. Deze vorm van aardwarmte is niet echt hernieuwbaar hoewel het radioactief verval nog miljoenen jaren zal doorgaan.

De grote diversiteit aan hernieuwbare bronnen vereist een doordacht energiesysteem om ze nuttig aan te wenden en te ontginnen. Een onderscheid tussen ‘natuurlijke’ en ‘bewerkte’ hernieuwbare energie is nodig. De eerste vorm is gratis als we gereed zijn om die nuttig te gebruiken, de tweede vorm vereist belangrijke investeringen. Dit komt omdat veel hernieuwbare stromen een kleine energiedichtheid hebben of diffuus zijn. Om diffuse energiestromen te concentreren is apparatuur nodig, en als men zeer diffuse stromen tot massale hoeveelheden wil indikken is uiterst veel apparatuur nodig. Apparatuur die bovendien nogal wat werkloze uren per jaar doorbrengt omdat de zon 's nachts aan de andere kant van de aarde werkzaam is, omdat de wind niet constant blaast, enz.

Een aantal technieken om hernieuwbare energie te winnen zijn spectaculair in efficiëntie gestegen en in kostprijs gedaald, in het bijzonder de windturbine. Omdat veel van deze technieken meeliften op vooruitstrevende technologische evoluties (micro electronica, nieuwe materialen, meet- en regeltechniek, e.d.) zijn nog verdere verbeteringen in het verschiet. Toch kan een volledige energievoorziening gebaseerd op hernieuwbare bronnen nooit de braderij prijzen van de huidige energievoorziening op basis van hoofdzakelijk fossiele brandstoffen evenaren. Fossiele brandstoffen zijn een erfgoed, door onze generaties op een weinig door-dachte wijze verteerd. Op de uitbating van dit erfgoed zijn regimes en ondernemingen uiterst rijk geworden, en dan nog blijft de eindprijs aan de gebruiker bespottelijk laag. Een belg heeft hierdoor gemiddeld een 40-tal “energieslaven<sup>3</sup>” ter zijner beschikking om de arbeid te verlichten, snelle en verre verplaatsingen te ondernemen, een hoog comfort aan warmte en

<sup>3</sup> Een ‘energieslaaf’ is het equivalent van een energielevering a rato van 100W constant vermogen gedurende een volledig werkjaar van 8 uren per dag.

licht te genieten, enz. Als deze fossiele rijkdom vermindert, zal er meer eigen inspanning nodig zijn en dit vergt middelen en tijd. Een volledige voorziening gebaseerd op bewerkte en op commerciële hernieuwbare energie, zal er komen tegen een veelvoud van de huidige kostprijzen van energie.

Tegenover de hoge kostprijs van de hernieuwbare energie staan twee belangrijke voordelen. Mits goed georganiseerd en gebouwd, is de impact op milieu en natuur beheersbaar. De risico's zijn beperkt en de milieueffecten doorgaans gering, zeker als de juiste cascade van eerst natuurlijke, dan lokaal bewerkte en pas aanvullend commercieel verhandelde hernieuwbare energie wordt gerespecteerd. En bovenal: de zon schijnt iedere dag en zal dit nog enkele miljarden jaren doen. Het is een echt duurzame gezelschap en energiebron.

### **Besluit**

Het duurzaam aanwenden van de duurzame hernieuwbare energie zal ingrijpende omkeringen en aanpassingen meebrengen in onze wijze van produceren, wonen, verplaatsen, studeren, ontspannen, reizen, e.d. . Zulke drastische veranderingen zijn allesbehalve evident, maar wel haalbaar en bovendien sluiten ze naadloos aan bij waar we de mond van vol hebben, nl. een duurzame ontwikkeling die vier koers veranderingen vereist [WCED, 1987]:

- We moeten ons gebruik van grondstoffen en brandstoffen verminderen, echt veel minder dan we al jaren gewoon zijn;
- Onze techniek moet zich minder bezig houden met de luxe auto's nog meer te perfectioneren, nog slimmere wapens te maken, of meer wegwerpspullen, maar moet duurzame energie vinden, transport oplossingen die het milieu minder belasten, water en voedsel productie in moeilijke streken van de wereld;
- Het geld van de wereld moet minder gaan naar uitbreiding van luchthavens, auto-wegen, overladen luxe gebouwen in de rijke landen, maar naar landbouw, scholen, hospitalen, ... in de arme landen;
- Om de drie omkeringen hiervoor waar te kunnen maken, moeten we ook sleutelen aan de politiek, en de manier waarop de macht en het geld worden verdeeld en gebruikt.

Stuk voor stuk gaan deze vier koerswijzigingen ons energiegebruik ook serieus veranderen. Een duurzame energiebron moet onuitputtelijk zijn, een geringe impact op milieu en natuur veroorzaken, lage risico's inhouden voor veiligheid en gezondheid, op wereldvlak toepasbaar zijn en betaalbaar voor de armen, en verenigbaar zijn met democratische vormen van bestuur. Al die vereisten kunnen we niet zomaar van vandaag op morgen naleven. De weg is nog lang maar hoe sneller en diepgaander we de veranderingen voorbereiden en aanvatten, hoe leefbaarder de wereld in de nabije en verre toekomst zal worden.

### **Referenties**

- BP(2005) BP Statistical Review of World Energy  
 IEA(2003) World Energy Investment Outlook, International Energy Agency, Paris, 516p.  
 IPCC(1992) Climate Change. First Assessment Report, followed by a second (1996), third (2001) and fourth (expected 2007).  
 IPCC(2005) Special Report on Carbon dioxide Capture and Storage. Summary for Policy Makers, WMO and UNEP, 25p.  
 Meadows D.(1972) De Grenzen aan de Groei, Spectrum, Utrecht  
 RFF(2005) Energy Policy in the 21st Century, Resources N°156, pp.7-35  
 Rifkin J.(2002) De waterstofeconomie. Schone en duurzame energie voor iedereen, Lemniscaat, Rotterdam, 327p. Voor een kritische bespreking zie: Oikos 32(2005), pp.61-63



Simmons I.G.(1989) Changing the Face of the Earth. Culture, Environment, History, Basil Blackwell, Oxford, 487p.

Twidell J, Weir T.(1997) Renewable Energy Resources, E&FN SPON, London, 439p.

Verbruggen A.(2005) Electricity Intensity Backstop Level to Meet Sustainable Backstop Supply Technologies, 14p., te verschijnen in 'Energy Policy'.

WCED(1987) Our Common Future, World Commission on Environment and Development, Oxford University Press, 383p.