

# Kiezen tussen atoom en hernieuwbare energie

Aviel Verbruggen  
Universiteit Antwerpen  
Juni 2008

Kiezen tussen atoom en hernieuwbare energie .....	1
4.1 Concurrenten voor het toekomstige aanbod van elektriciteit .....	2
4.1.1 Vier spelers zitten aan tafel.....	2
4.1.2 De belangrijkste bronnen van elektriciteit voorziening.....	5
4.1.3 Atoomenergie: aanvaardbaar als backstop aanbod? .....	8
4.1.4 Hernieuwbare elektriciteitsbronnen als duurzame backstop aanbod.....	9
4.2 Atoom en hernieuwbare elektriciteit zijn tegengestelden.....	11
4.2.1 Atoomenergie is onderdeel van “Voortdoen-als-Gewoon”.....	12
4.2.2 Fossiele brandstoffen voor aanvulling van atoomenergie of van hernieuwbare elektriciteit.....	14
4.2.3 Elektrische netten voor massaal transport of als verbinding tussen verspreid opgestelde bronnen .....	16
4.2.4 Risico's en externaliteiten van de nucleaire optie.....	18
4.2.5 Onderzoek en ontwikkeling, en productiemogelijkheden: dringende en drastische veranderingen nodig.....	22
4.3 Geen gemeenschappelijke toekomst.....	23

*Ter info: Deze tekst is verschenen als hoofdstuk 4 van “De ware energiefactuur” (Houtekiet, 2008), en naar aanleiding van de atoomramp in Japan (maart 2011) ter beschikking gesteld op de website [www.avielverbruggen.be](http://www.avielverbruggen.be) Deze werkwijze maakt dat de referenties hier niet verzorgd zijn. Dezelfde inhoud is ook gepubliceerd als “Renewable and nuclear power: A common future?” in Energy Policy 36 (November 2008), p. 4036-4047.*

## Inleiding

Atoomenergie en hernieuwbare energie zijn de twee belangrijkste opties om de koolstof intensiteit van de commerciële energie naar omlaag te brengen. Atoomenergie levert enkel elektriciteit via stoomopwekking en er zijn geen concrete technieken in ontwikkeling om dit in de komende decennia te veranderen. Hernieuwbare energie dekt een breder spectrum (warmte, licht, ventilatie, kracht, elektriciteit), en met biomassa ook een aanbod van brandstoffen (vast, vloeibaar, gasvormig). Door de beperktheid van de atoomenergie en om de vergelijking overzichtelijk te houden, is in dit hoofdstuk de aandacht toegespitst op de opwekking en levering van elektriciteit.

Welke technologie te beschouwen is als een onbeperkt duurzaam aanbod van elektriciteit hangt af van haar prestaties op de duurzaamheidscriteria: democratisch beslist, globaal toegankelijk, milieuvriendelijk, laag risico, betaalbaar. Hernieuwbare energie

beantwoordt aan alle criteria met het aspect betaalbaar ter discussie. Maximaliseren van de energie-efficiëntie is een voorafgaandelijke eis want de haalbare duurzame optie is de tweeling efficiëntie/hernieuwbare energie. Atoomenergie schiet te kort op de duurzaamheidscriteria en haar publieke aanvaarding is daarom laag. Nucleaire voorstanders stellen vandaag voor dat atoomenergie en hernieuwbare energie een mooi koppel zouden vormen in een portfolio om de klimaatsverandering aan te pakken [EurActiv, 8/10/2007]. Maar is dit een redelijk voorstel met toekomst of zijn de twee kandidaten te antagonistisch voor het uitbouwen van een gezamenlijke duurzame toekomst?

In de toekomst spelen vier partijen de hoofdrol om het nodige elektrisch vermogen te leveren in een context van onderlinge ondersteuning en uitsluiting. Atoomenergie en hernieuwbare energie zijn de twee kandidaten om de lage-koolstof elektriciteit van de toekomst te leveren. Behalve het aspect klimaatverandering zijn er nog andere criteria om de duurzaamheid van een technologie te toetsen. Alleen hernieuwbare energie doorstaat de toets in voldoende mate om te gelden als een duurzaam lange-termijn alternatief of zogenaamde backstop technologie (4.1).

Omdat de advocaten van de atoomenergie ook wel de zwakke kaarten van het eigen spel kennen, zoeken ze een huwelijk aan te gaan met de rijzende sterren van efficiëntie en hernieuwbare elektriciteit. Op vijf belangrijke dimensies van de toekomstige elektrische systemen zijn de twee opties aan mekaar tegengesteld en sluiten ze mekaar uit (4.2).

#### ***4.1 Concurrenten voor het toekomstige aanbod van elektriciteit***

Het toekomstige aanbod van elektriciteit hangt vooral af van volgende bronnen: fossiele brandstoffen, atoomenergie, hernieuwbare energiebronnen en efficiëntie in het gebruik van elektriciteit [IEA 2006a]. In 4.1.1 leggen we de verbanden tussen deze vier uit. De drie aanbodsopties beschrijven we in 4.1.2. De criteria voor een backstop-technologie zijn veel breder dan enkel de eigenschap van een onuitputbare bron te zijn. We toetsen atoomenergie (in 4.1.3) en hernieuwbare energie (in 4.1.4) aan een bredere waaier van duurzaamheidscriteria, rechtstreeks afgeleid uit het WCED [1987] rapport 'Onze Gemeenschappelijke Toekomst'.

##### **4.1.1 Vier spelers zitten aan tafel.**

Het aanbod van elektriciteit in de voorbije decennia, vandaag en in de toekomst, resulteert uit een marktdekking door vier belangrijke spelers van een verschillende aard. Drie ervan zijn aanbodsbronnen: fossiele brandstoffen, nucleaire warmte en hernieuwbare energie. De vierde, efficiëntie, is doorslaggevend voor de hoogte en voor de structuur van de vraag naar elektriciteit. Deze vraag tekent rechtstreeks de curve van de vermogens op ieder moment te produceren omdat elektriciteit niet-stockeerbaar is en ogenblikkelijke levering is vereist. Fossiele brandstoffen voorzien in meer dan 85% van alle commerciële energie in de wereld en zijn de belangrijkste bron (meer dan 68%) van de commercieel verhandelde elektriciteit [BP 2007; IEA 2007]. Hoewel de grote gevaren van klimaatverandering uit de verbranding van fossiele brandstoffen voortkomen, geloven vele energie-experts dat fossiele brandstoffen de belangrijkste energiestrategie zullen blijven gedurende tenminste de eerste helft van de 21<sup>ste</sup> eeuw. Ook in de opwekking van elektriciteit blijven fossiele brandstoffen nog altijd in pole-position voor lange tijd [EU 2003; IEA 2007; IEA 2006a].

Fossiele brandstoffen wekken elektriciteit op in flexibele centrales en in grootschalige centrales voor de basislast: steenkoolcentrales maar ook stoom en gascentrales (STEG) die hun hoogste efficiëntie bereiken in het geval van een stabiel werkregime bij continue vollast. Warmtekrachtkoppeling (WKK) is elektriciteit productie met brandstoffen waarbij (een deel van) de afvalwarmte een nuttige bestemming krijgt. Omdat warmte moeilijk te transporteren is over lange afstanden zijn WKK-centrales nodig nabij de plaatsen waar vraag is naar warmte(verspreide of decentrale opwekking). Bij de grootschalige centrales voor de basislast kan CCS (koolstof opvang en opslag) een weg verschaffen om de uitstoot van CO<sub>2</sub> te beperken [IPCC 2005]. Het is vandaag nog te vroeg om de prestaties van deze opties te beoordelen maar indien ze succesvol zijn, zal de gecentraliseerde omzetting van kolen in elektriciteit of in synthetische brandstoffen (met inbegrip van waterstof) een rol blijven spelen in het energie-systeem. Waterstof is de voeding van brandstofcellen voor de gecombineerde opwekking van elektriciteit en warmte (WKK) of voor aandrijving van voertuigen.

Tussen de fossiele brandstoffen is onderlinge substitutie een bekend verschijnsel. Nadat kolen het hout hebben verdrongen als een brandstof in de industrialiserende economieën is het waterstofgewicht in de fossiele brandstoffen stap voor stap verhoogd. Olieproducten hebben kolen vervangen, aardgas vervangt olie en finaal de substitutie van waterstof voor koolwaterstoffen, zouden de waterstofinhoud verder verhogen zodat de CO<sub>2</sub> emissie van de verbranding daalt. Echter de laatste substitutie, waar waterstof er zou in slagen alle koolstof te vervangen om op die wijze het emissieprobleem op te lossen, bevat een cirkelredenering omdat waterstof niet vrij beschikbaar is op aarde. Koolwaterstoffen of elektriciteit zijn nodig om waterstof voort te brengen.

Atoomenergie is de tweede concurrent. Atoomreactoren wekken grote hoeveelheden stoom van middelmatig hoge druk en temperatuur op. Zoals in een fossiel gestookte centrale dient de stoom om via stoomturbines kracht te leveren die op haar beurt elektriciteit opwekt in een generator. Technologieën nu in gebruik zijn gebaseerd op de splitsing van zware atomen, in een waaier van reactor uitvoeringen: drukwater, kokend water, watergekoelde grafiet, zwaar water, gasgekoelde (magnox, hoge temperatuur gasgekoelde, wervelbed of prismatische, ontwerpen). In de jaren 1960-90 is met kweekreactoren geëxperimenteerd met bitter weinig succes. Ze worden opnieuw aangekondigd als een nieuwe technologie voor de toekomst. De fusie van lichte atomen is een bewezen fysisch verschijnsel in de sterren (zoals de zon) en op aarde in de waterstofbom, maar is niet beschikbaar als een gecontroleerde commerciële technologie (zie het ITER demonstratieproject). Bestaande atoomcentrales zijn van een grote schaal (500, 1000, 1300, 1500 MW elektrische output) en de nieuwe versies (1700 MW elektrische output) gaan op hetzelfde spoor verder. Ze moeten draaien tegen constante belasting als basisvermogen en dit om technische en economische redenen. Atoomreactoren zijn gelokaliseerd op een grote afstand van stedelijke gebieden en bij voorkeur ook van industriële zones. De stoomcondities van de huidige cycli maken atoomcentrales ongeschikt voor WKK (warmtekracht). Het verlies in elektrische opbrengst is procentueel te groot bij het onttrekken van stoom aan atoomcentrales op een druk voldoende hoog om ook het transport nog enigszins betaalbaar te houden (wat door de grote afstanden van de centra van warmtevraag niet echt mogelijk is).

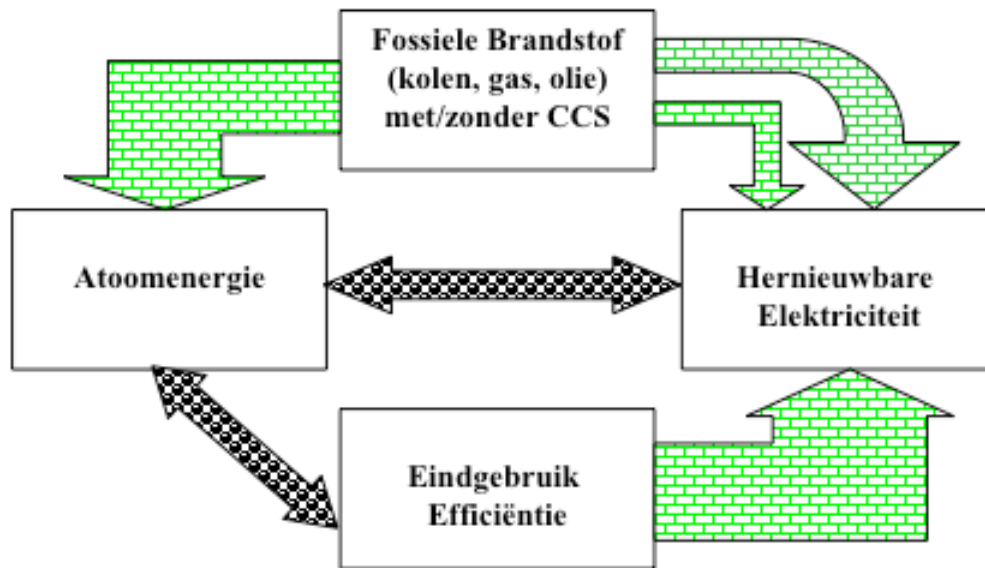
Hernieuwbare bronnen zijn de oudste energiebronnen door de mens benut om hem diensten te bewijzen (brandhout, zeilschepen, waterwielen, windmolens). Vandaag dekken ze een brede waarde van technieken en benutten verscheidene bronnen zoals waterkracht (dammen, rivierstroom), wind (lucht, golven), zon (photovoltaïsch, thermisch), getijden, biomassa, geothermisch [Twidell en Weir 2006; Johansson en Turkenburg, 2004]. Terwijl de zon massale hoeveelheden energie levert aan de aarde vereist het een goede technologie en organisatie om deze vrije energie bruikbaar te maken als een bron van elektriciteit die ter beschikking staat voor menselijke doeleinden. Naast haar aantrekkingskracht als duurzame en lage of nul-koolstof bron bezit hernieuwbare energie weinig eigenschappen om op een gemakkelijke wijze in te passen in de Voortdoen-als-Gewoon energiestructuren en gewoonten. Vele hernieuwbare bronnen zijn niet op vraag maar wisselvallig beschikbaar, niet gecentraliseerd maar verspreid, niet geconcentreerd maar diffuus, niet goedkoop om ze uit de grond te halen maar duur om te verzamelen. Ze zijn technisch en economisch niet klaar om te beantwoorden aan de vereisten van de energie intensieve praktijken van de geïndustrialiseerde en industrialiserende maatschappij. Maar wat vandaag is, hoeft morgen niet zo te zijn.

Efficiëntie in het eindgebruik van energie is de belangrijkste component van de elektriciteit intensiteit (hoofdstuk 5). Omdat geen enkel persoon nu echt gek is op het onzichtbare, ontastbare, zelfs zeer gevaarlijke, product elektriciteit is het niveau van efficiëntie een technologisch-economische variabele. Verhogen van de efficiënties heeft een doorslaggevende impact op de vraag naar elektriciteit die de bronnen van elektriciteit (de drie andere spelers) moeten en kunnen dekken. Stap voor stap heeft efficiëntie een grotere aanvaarding gekregen [OECD 1994; WEC 2001; WBCSD 2006; IEA 2006a, 2007].

Figuur 4.1 toont de vier opties hoger beschreven, met de onderlinge afhankelijkheden die verder uitvoerig ter discussie staan. De substitutie van fossiele brandstof voor respectievelijk atoomenergie en hernieuwbare energie, is tegengesteld aan elk beleid om de CO<sub>2</sub> emissies terug te dringen. In het lange-termijn perspectief van transitie naar een duurzame energie toekomst krijgen fossiele brandstoffen een rol van uitfaserende ondersteuning en aanvulling opgelegd. De pijlen gevuld met metselwerk in figuur 4.1 drukken complementaire functies uit (reserve, aanvulling) tussen de spelers. In de komende decennia zullen fossiele brandstoffen (vooral aardgas) ondersteunende diensten verlenen aan de uitdager atoomenergie en aan de uitdager hernieuwbare energie. Deze ondersteuning is van een zeer verschillend karakter voor de atoomenergie en voor de hernieuwbare energie (4.2.2) zoals ook getoond door het verschil in de pijlen. Hernieuwbare energie is cruciaal afhankelijk van de successen in efficiëntie bij het eindgebruik en dus van verminderingen in de vraag naar elektriciteit (hoofdstuk 5). De pijlen gevuld met kogeltjes drukken conflicterende posities uit. Het documenteren en argumenteren van de posities en onderlinge relaties is het onderwerp van dit hoofdstuk.

Figuur 4.1: Vier onderling afhankelijk spelers bepalen het aanbod van elektriciteit:

Fig 4.1



#### 4.1.2 De belangrijkste bronnen van elektriciteit voorziening.

De geschiedenis van de elektriciteitssector sinds Wereldoorlog II biedt een dynamisch beeld waarin bronnen en oplossingen met mekaar concurreren in steeds veranderende posities en omstandigheden. De globale dominantie van steenkool bij het begin van deze periode is geëindigd maar steenkolen blijven een belangrijke bron voor de opwekking van elektriciteit en in een Voortdoen-als-Gewoon beleid neemt hun belang verder toe [IEA, 2007]. Hoewel de publieke, financiële en politieke steun voor atoomenergie overweldigend was tot het jaar 1979 (Three Miles Island) / 1986 (Tjernobil) is atoomenergie er niet in geslaagd de fakkel over te nemen van steenkolen tenzij in enkele landen (Frankrijk, België). Olie en gas hebben ook nog belangrijke aandelen in de elektriciteit voorziening ondanks hun uitputbaar en edel karakter als brandstof. De gedecentraliseerde opwekking in lokale warmtekrachtenheden en met hernieuwbare energie heeft de gecentraliseerde systemen verre van vervangen. Zo worstelen met de eisen van het financiële rendement van de investeringen in een wereld waar de fossiele en nucleaire concurrentie risico's en milieukosten kan afwentelen. Ook bestaan er nog veel institutionele hinderpalen zoals tarieven en praktijken die de toegang tot het elektrisch net bemoeilijken [COGEN 1999].

De toekomst zal getuige zijn van de scherpe strijd tussen atoomenergie en hernieuwbare energie voor de productie van elektriciteit als de backstop aanbod oplossing in de lange termijn en tussen gecentraliseerde en gedecentraliseerde oplossingen (ook binnen de ontwikkeling van hernieuwbare energietechnologie), met fossiele brandstoffen in een positie van ondersteunende, aanvullende aanbieder [EurEnDel 2004]. Iedere energiebron scoort verschillend op een reeks van belangrijke karakteristieken zoals samengevat in tabel 4.1. Tabel 4.1 toont waarom fossiele brandstoffen een zo groot marktaandeel hebben veroverd in het energieaanbod in het algemeen en ook in de elektriciteitssector. Fossiele brandstoffen beschikken over veel troeven en genoeg veerkracht om sterke posities te behouden ook in een toekomstig laag koolstof emissie scenario. Aardgas is te waardevol om direct op te geven, zoals ook de premium oliebronnen, terwijl steenkolen zich zullen concentreren op de grote bulktechnologie met het opvangen van de CO<sub>2</sub> in de emissie [IPCC 2005; IEA 2006a]. Alle vooruitzichtsstudies blijven een belangrijke taak toekennen voor de fossiele brandstoffen in de komende decennia, bijvoorbeeld EU-WETO [EU 2003], de jaarlijkse IEA World Energy Outlook publicaties [200X]. Zulke scenario's zijn niet duurzaam, zoals door de vaders ervan zelf vastgesteld, maar ze illustreren wat een Voortdoen-als-Gewoon zou geven.

Tijdens de dagen van de eerste oliecrisis introduceerde Nordhaus [1973] het concept van de backstop aanbod technologie. Backstop aanbod is per definitie een technologie die een onbeperkte hoeveelheid energie kan leveren maar tegen een hoge of zeer hoge kostprijs, boven de marktprijzen van nu benutte energiedragers.

In 1973 was alle aandacht toegespitst op de uitputbaarheid van energie, en op dat moment was duurzaamheid de zorg van enkele academische en maatschappelijke minderheids-groepen. Nordhaus [1973] beschrijft atoomenergie met kweekreactoren gevolgd door fusie in die periode als de meeste evidente kandidaat voor de backstop. Maar vandaag staat het probleem van de uitputting niet meer alleen en ook niet het hoogst op de agenda. De discussie over duurzame ontwikkeling neemt ook democratische, milieu, sociale en economische aspecten in overweging naast enkel zekerheid van bevoorrading (hoofdstuk 3). Zo wordt de eigenschap van onuitputbare bron van de backstop aanbod oplossingen aangevuld met democratisch beslist, mondiaal toegankelijk, milieuvriendelijk, laag risico en betaalbaar.<sup>6</sup>

Tabel 4.1 Kenmerken van de opties voor de toekomstige levering van elektriciteit			
<i>Opties</i>			
<i>Eigenschappen</i>	<i>Atoomenergie</i>	<i>Fossiele brandstoffen</i>	<i>Hernieuwbare bronnen*</i>
<i>Energiedichtheid</i>	Zeër dicht ( $E=mc^2$ )	Dicht	Meestal diffuus met uitzondering van

<sup>6</sup> Betaalbaar is wat beantwoordt aan de gewoonte en de verwachting van de grote meerderheid van de bevolking. Toegepast op het gebruik van elektriciteit verwachten mensen een verzekerde levering tegen een jaarlijkse factuur die niet veel hoger is dan die van het jaar ervoor. Facturen stabiel houden kan van de ene kant door de prijzen laag te houden maar ook door het verminderen van de elektrische intensiteit. (hoofdstuk 5)

			sommige Hydro/Bio
<i>Schaal</i>	Gecentraliseerd, gigantisch	Deelbaar, alle schalen	Gedecentraliseerd uitz. Hydro/Bio
<i>Controle van de levering (moduleren)</i>	Niet flexibel (hoofdzakelijk vollast)	Op afroep	Afwisselend, deels niet voorspelbaar, uitz. Hydro/Bio
<i>Afstemming op efficiëntie en lage-energie toekomst</i>	Massaal en niet flexibel, expansief	Grote investeringen in aanbod infrastructuur, expansief	Wind, zon behoeven aanvullende capaciteit, uitz. onafhankelijke Hydro/Bio
<i>Totale kosten (inclusief publieke kosten) van het aanbod</i>	Zeer hoog wanneer alle risico's volledig worden beschouwd	Zeer hoog wanneer alle externaliteiten volledig worden beschouwd	Zeer duur wanneer een 100% hernieuwbaar energiesysteem de voorziening overneemt
<i>Marktprijzen</i>	Beperkt omdat de risico's niet zijn ingesloten	Laag omdat externaliteiten niet zijn ingesloten	Hoog want zonder afwenteling van risico's en externaliteiten
<i>Technologie</i>	Fusie als backstop? Geen vooruitzicht op technologische doorbraken	Grote diversiteit met innovaties. Koolstofopvang en opslag	Surfen op uitvindingen en innovaties b.v. micro-elektronica, nieuwe materialen, nano-technologie
<i>Acute operationele risico's</i>	Hoog: nucleaire accidenten, radioactieve lekken, verspreiden van atoomwapens, niet verzekeraar	Beheersbaar hoewel zware accidenten mogelijk zijn (mijnen, tankers, pijpleidingen)	Klein en verspreid, uitz. grote hydro-elektrische dammen
<i>Chronische druk</i>	Nucleair afval, emissies van inerte gassen, aantasting van landschappen door meer hoogspanningslijnen	CO2 emissies, luchtvervuiling, lekken, vast afval; alle milieutehema's beïnvloed door gebruik van fossiele brandstof	Landschappen en land en watergebruik vooral Hydro/Bio
<i>Duurzaamheid</i>	Kritisch (zal fusie resultaten boeken en zo ja: hoe?)	Klimaatverandering, uitputting van premium brandstoffen	Mondiaal en eeuwig
*Hernieuwbare bronnen geconcentreerd door de natuur zoals de regenval in de bergachtige gebieden (hydro) of zoals biomassa zijn ongelijk verdeeld en beperkt als duurzaam aanbod. Er is ook concurrentie met andere eindgebruikers (irrigatie; voedsel en vezelproductie). Ze zijn hernieuwbaar maar op diverse punten niet duurzaam.			

### 4.1.3 Atoomenergie: aanvaardbaar als backstop aanbod?

Tabel 4.2 licht de prestaties toe van atoomenergie op de vereisten van een duurzaam backstop aanbod.

Tabel 4.2: Evaluatie van atoomenergie op de criteria van een duurzame backstop aanbod technologie	
<i>Criteria</i>	<i>Prestaties van atoomenergie</i>
Onbeperkt	Atoomenergie op aarde zou een onbeperkte bron kunnen zijn in de mate dat kernfusie technisch, economisch en veiligheidshalve mogelijk zou zijn. De tweede beste onbeperkte nucleaire bron (kweekreactoren) zijn mislukt op de praktische test. De splijtings processen met éénmalig uranium gebruik zullen de makkelijk winbare uraniumconcentraties uitputten [IEA 2006a: 134, 242].
Democratisch beslist	Nucleaire technologie en de nucleaire brandstofcyclus vereisen geheimhouding en bescherming tegen buitenstaanders. Nucleair materiaal is bruikbaar voor staats- en privé terrorisme [Cornelis en Eggermont 2006]. Besluitvorming over nucleaire projecten is meestal van het type ‘beslissen – aankondigen – verdedigen’. Burgers worden beschouwd als niet verstandig genoeg om zulke complexe technologie en haar lotgevallen te begrijpen. Dit conflicteert met de minimum vereisten van procedurele rechtvaardigheid: wie direct wordt beïnvloed door beslissingen moet een stem hebben in het tot stand komen van de beslissingen [Brown en Tuana 2006].
Mondiaal beschikbaar	Hoge kapitaal en technologie intensiteit van de nucleaire optie maakt deze optie niet bereikbaar voor de meeste ontwikkelingslanden. Ook is de verspreiding van kennis en nucleaire capaciteiten een gevaar voor de wereld. Het is beter de kennis te begrenzen en de verspreiding ervan te beperken teneinde te komen tot een volledige ban op de nucleaire technologie in alle gebieden tenzij de medische.
Milieuvriendelijk	Nucleaire fissie is een praktisch koolstofvrij proces. Andere emissies zoals edelgassen in de lucht zijn niet zo massief en verscheiden als de emissies die voortkomen uit de verbranding van fossiele brandstof. De verspreiding van radioactieve isotopen is de belangrijkste bron van vervuiling. Massale verspreiding gebeurt in het geval van accidenten.
Laag risico	Gegeven de kans op accidenten en gegeven vanuit een menselijk perspectief eeuwig blijvend radioactief afval, is atoomenergie behept met risico's. Sommigen zullen deze risico's beschouwen als miniem, anderen als uitzonderlijk hoog. Risicoperceptie en inschatting zijn afhankelijk van omstandigheden en persoonlijke materies, daardoor moeilijk te definiëren, te meten en te vergelijken [Shröder-Frechette 1991].
Betaalbaar	“Veilige” nucleaire energie is te duur om te bouwen en te laten werken en er alle kosten van te betalen. Wanneer maatschappijen bepaalde



	risico's en risiconiveaus accepteren en wanneer het lot van het fortuin die gunstig gezind is, kunnen grote hoeveelheden atoomenergie opgewekt worden tegen betaalbare financiële uitgaven (zie Frankrijk over de laatste decennia). De huidige berekeningen verwaarlozen de externe kosten van belangrijke accidenten en de kosten van een eeuwigdurende zorg voor het hoog-radioactief afval. De enkele financiële potjes nu aangelegd kunnen dit niet verhullen.
--	---

Atoomenergie schiet tekort op alle belangrijke criteria van een duurzame backstop aanbod oplossing [Turkenburg 2004; Metz e.a. 2006]. De bewuste, gewilde uitfasering van de nucleaire optie, bestaande centrales, onderzoek en ontwikkeling en demonstraties en het beëindigen van de investeringen in verdere technologische hersenschimmen zijn belangrijke politieke elementen om het speelveld voor de duurzame alternatieven te effenen.

#### 4.1.4 Hernieuwbare elektriciteitsbronnen als duurzame backstop aanbod.

Hernieuwbare elektriciteitsbronnen zijn argumenteerbaar de enige kandidaat om in het examen te slagen op de criteria van duurzame backstop aanbod technologie (tabel 4.3) met uitzondering misschien van het aspect van financiële haalbaarheid wanneer vandaag vergeleken met de zeer lage prijzen (niet hetzelfde als lage kosten) van fossiele brandstof en atomelektriciteit. Bijvoorbeeld photovoltaïsche elektriciteit uit zonlicht is onbeperkt zolang de aarde rond de zon draait maar duur om te verzamelen en om te zetten. Duur zijn ook de extra capaciteiten nodig voor het overbruggen van de perioden zonder voldoende zonlicht. Verschillende andere hernieuwbare elektriciteitsbronnen (wind, kleine hydro-elektriciteit, locale biomassa) ondervinden gelijkaardige handicaps.

Tabel 4.3: Evaluatie van hernieuwbare elektriciteitsbronnen op de criteria van een duurzame backstop aanbod technologie	
<i>Criteria</i>	<i>Prestaties van hernieuwbare elektriciteitsbronnen</i>
Onbeperkt	Hernieuwbare elektriciteitsbronnen zijn mondiaal en eeuwig wanneer direct afgeleid van de beschikbare natuurlijke stromen in de omgeving (zonnestraling, licht, wind, stromend water). Hydro- en biomassa bronnen voor elektriciteitsproductie zijn beperkt beschikbaar ook omdat ze nog andere doeleinden dienen (natuurbehoud, watervoorziening, voedselproductie, bescherming van leefgebieden, omzetting in transportbrandstoffen enz.). Hernieuwbare energie is economisch enkel zinvol en volledig tot ontwikkeling te brengen in een energie-economie die enkele keren meer efficiënt is dan de huidige. Dit versterkt haar onbeperkt karakter.
Democratisch beslist	Meer dan de helft van alle hernieuwbare elektriciteitsopwekking moet komen van gedecentraliseerde productie. Een groot deel ervan kan via investeringen door eindgebruikers of hun coöperatieve organisaties. De macht van gecentraliseerde eenheden zal dalen en zo ook zal de

	nucleaire geheimhouding kunnen verdwijnen. Respect voor de essentiële principes van procedurele rechtvaardigheid [Brown en Tuana, 2006] is mogelijk; grote hydro en biomassa projecten schenden deze principes als ze zich opdringen tegen de wil van lokale gemeenschappen.
Mondiaal beschikbaar	Hernieuwbare energie is beschikbaar over de gehele wereld. Sommige regio's hebben meer geluk met sommige bronnen en andere regio's met weer andere bronnen. De schaal, complexiteit, diversiteit, beveiliging, veiligheid van hernieuwbare energietechnologie maakt ze toegankelijk voor alle volkeren. De armste gebieden in de wereld, Afrika, Latijns Amerika, Zuid Oost Azië, beschikken over omvangrijke en diverse hernieuwbare bronnen en zij kunnen hun volledige electriciteitssector ontwikkelen louter gebaseerd op hernieuwbare technologie. Maar eerst moet dan de geïndustrialiseerde wereld zich bekeren tot efficiëntie en hernieuwbare energieopties en zijn geld en middelen besteden aan de ontwikkeling van efficiëntie en hernieuwbare energie technologieën voor de toekomst.
Milieuvriendelijk	Behalve voor grootschalige hydro-electriciteit en niet-duurzame biomassa zijn de milieu impacten van hernieuwbare energie van geringe aard. De bijkomende impact is onbestaande of laag bij integratie van hernieuwbare energietechnologieën in andere menselijke activiteiten, bijvoorbeeld zonne-energie op daken, windturbines in industriële gebieden.
Laag risico	Behalve voor sommige gevaarlijke grootschalige hydroprojecten en niet-duurzame biomassa (dat nog zou kunnen verergeren door genetische modificering) zijn de risico's van hernieuwbare energie laag en beheersbaar door de menselijke soort.
Betaalbaar	De rijke samenlevingen van de wereld kunnen de ontwikkeling en de volledige toepassing van hernieuwbare energie betalen. Het is waar dat mensen en samenlevingen die nu verslaafd zijn aan foutief laaggeprijsde fossiele brandstoffen en atoomenergie (na afwenteling van de risico's en externe kosten) weigerachtig staan om de transitie en de conversie naar hernieuwbare energiesystemen aan te vatten. De transitie is ingrijpend omdat de vier essentiële veranderingen van een duurzame ontwikkeling in het spel zijn maar deze transitie is betaalbaar en zal uiteindelijk veel goedkoper zijn dan Voortdoen-als-Gewoon [Stern 2006; IPCC 2007]. Nochtans, uitgedrukt in de huidige referenties inzake gecondenseerde, overal en altijd beschikbaarheid en inzake prijzen, blijft de betaalbaarheid van een gehele ombouw naar hernieuwbare energiebronnen het voorwerp van financiële zorg.

Een grote meerderheid van de mensen aanvaardt de rol van hernieuwbare bronnen als de waarachtige lange-termijn backstop [Turkenburg 2004; Eurobarometer 2007]. Echter de backstop eigenschap van onbeperkte bron te zijn is beperkt tot een subgroep van de hernieuwbare bronnen. De geconcentreerde hernieuwbare bronnen (hydro, biomassa) zijn

beperkt qua aanbod op deze eindige wereld en hun gebruik is concurrentieel met andere doelstellingen. De onbeperkte bronnen zijn de stromen van de zon (licht, warmte, wind). Deze stromen zijn gekend voor hun diffuse aard, fluctuaties, onderbrekingen en soms zijn ze niet of moeilijk voorspelbaar. Collecteren, concentreren en omzetten van de stromen vereist grote investeringen en omdat zij niet zomaar beschikbaar zijn op afroep zijn speciale controlesystemen nodig met inbegrip van voorwaartse controle op het gebruik van elektriciteit [Twidell en Weir 2006: 10-15], opslaginstallaties, aanvullend en reserve vermogen geleverd door andere capaciteiten ( in de komende decennia meestal aardgas gestookt). De uitgaven voor een praktisch volledig hernieuwbare elektriciteitsproductie zijn daarom betekenisvol hoger dan wat we gewoon zijn sinds de tweede wereldoorlog als een ondergeprijsd niet duurzame energievoorziening met afwenteling van de hoge factuur in externaliteiten naar de toekomst en naar de arme gebieden in de wereld. De volledige uitfasering van goedkoop geprijsde fossiele brandstoffen zal de marktprijzen van investeringsgoederen en de diensten in de economie omhoog jagen, ook de prijzen van het construeren, plaatsen en exploiteren van hernieuwbare energie-installaties. Wanneer daarbij hernieuwbare bronnen ook nog moeten zorgen voor aanvullende diensten in een ononderbroken voorziening met elektriciteit, zal de prijs van de gemiddelde kWh geleverd aan de eindgebruiker door een volledig hernieuwbaar energiesysteem aan de hoge kant liggen. De hernieuwbare energie-economie zal schoon zijn maar niet goedkoop alhoewel sommige studies meer optimistische toekomstbeelden schetsen [Lovins e.a. 2002; EREC en GREENPEACE 2006; Johansson en Turkenburg 2004; Wagner en Santhaye 2006; Uyterlinde e.a. 2007].

#### ***4.2 Atoom en hernieuwbare elektriciteit zijn tegengesteld***

De advocaten van de atoomenergie vandaag hebben de communicatie strategie uit het verleden aangepast. Nu is de slogan: “atoomenergie is maar een deel van de oplossing; maar er is geen oplossing zonder atoomenergie”. Dit is een meer aanvaardbaar standpunt voor een breed publiek dan de pretentie in de periode voor het Tjernobil accident als zou atoomenergie de energieschaarste kunnen oplossen. Een minderheid van de EU burgers aanvaarden atoomenergie als een valabele oplossing [Eurobarometer 2007]. Mensen die atoomenergie nog beschouwen als een aanvaardbare oplossing stellen ook dat ze pas acceptabel is nadat de maximale efficiëntie en maximale ontplooiing van hernieuwbare energie zijn voltooid [Turkenburg 2004]. Daarom is het belangrijk voor de advocaten van atoomenergie te solliciteren voor een huwelijk met de efficiëntie en hernieuwbare elektriciteit spelers aan de tafel (figuur 4.1). Ze schetsen vaag een gemeenschappelijke nucleaire en hernieuwbare energietoekomst, met toedekking van het verleden toen atoomenergie het pad naar een duurzame energietoekomst blokkeerde [Lovins 1976; Hennicke e.a. 1985; Hennicke 2004]. Maar kan een huwelijk van efficiëntie/ hernieuwbare elektriciteit met atoomenergie geluk of een gezond nageslacht voortbrengen?

Eerst (4.2.1) belichten we hoe atoomenergie een onderdeel is van Voordoen-als-Gewoon begonnen in de jaren 1950 en tegengesteld aan de dringende en drastische veranderingen die efficiëntie/hernieuwbare elektriciteit moet forceren. Daarnaast concurreren de twee antagonisten voor de aanvullende energie van dezelfde fossiele brandstoffen. De soort aanvulling is wederzijds uitsluitend, en ook verschillen de vereiste soorten centrales in

schaal en in locatie (4.2.2). Daarmee verbonden is het elektrisch netwerk om de tegengestelde opties te kunnen integreren van een sterk verschillende structuur (4.2.3). Op de maatlat van duurzaamheid zijn atoomenergie en efficiëntie/hernieuwbare elektriciteit extreme tegengestelden (4.1); (4.2.4) herhaalt dat een risico rationale houding ten opzichte van atoomenergie inhoudt de risicovolle technologie in haar geheel te verlaten. Is een technologie zonder toekomst dat een aantrekkelijke partner? De volledige scheiding tussen de twee opties vereist andere prioriteiten in onderzoeksfinanciering en voor het inzetten van productiecapaciteiten (4.2.5).

Eenmaal de technologie, economie en maatschappij de bocht gemaakt hebben naar een duurzame energietoekomst door werkelijk en volledig prioriteit te geven aan de duurzame opties zal het duidelijk worden, iedere dag meer en meer, dat er geen behoefte en de verlaten atoomoptie geen lege plaats achterlaat.

#### **4.2.1 Atoomenergie is onderdeel van “Voortdoen-als-Gewoon”.**

De ecosystemen van de aarde (klimaat, biodiversiteit, zoetwater voorziening, propere lucht en bodemvruchtbaarheid) zijn bedreigd door de “Voortdoen-als-Gewoon” productie en consumptiesystemen die draaien op de niet duurzame energievoorziening (fossiele brandstoffen, atoomenergie, overdreven biomassa en hydro-elektriciteit gebruik). De schade aan het milieu en aan de natuurlijke evenwichten veroorzaakt door de wijze van energiegebruik, zijn nu het onderwerp van publieke en politieke zorg. De volledige effecten van de energie obesitas op de groei en vorm van produceren en consumeren, blijven onderbelicht door de geloofsbelijdenis ‘meer en meer commerciële energie is nodig voor de welvaart’. Sinds haar ontstaan is atoomenergie verweven met dit geloof. De advocaten van atoomenergie grijpen nu de klimaatverandering aan om een derde kans te bieden aan deze techniek. Maar ze vallen daarbij terug op dezelfde beloften – nog maar eens – van betere technieken en van finale oplossingen voor onoplosbare problemen. Pleidooien om terug te keren naar de pre-Tjernobilcatastrofe (1986) periode zijn gebaseerd op een sofistieke logica:

1. Atoomenergie is aanvaardbaar omdat nucleaire experts de risico's bestempelen als verwaarloosbaar klein. “Publieke afwijzing veroorzaakt door de risico's op verspreiding van atoomwapens, afvalbeheer en veiligheidsproblemen” is een op te ruimen “belemmering” [IAE 2006a: 134].
2. Omdat nucleaire experts de risico's verwaarloosbaar noemen, zijn de externe kosten laag (Externe-E schat de risico's verbonden aan de menselijke gezondheid van een hypothetische installatie als representatief voor de nucleaire externe kosten).
3. Wanneer de risico's en externe kosten laag zijn, is atoomenergie concurrentieel.
4. Door de laaggeprijsde atoomenergie is vergaande efficiëntie niet aantrekkelijk en hernieuwbare elektriciteit niet concurrentieel.
5. Voor het winnen van de publieke steun staat lippendienst aan efficiëntie en aan hernieuwbare energieopties goed, maar vooral willen de nucleaire advocaten de uitfasering van de bestaande nucleaire centrales ongedaan maken om terug de sluizen te openen voor een derde nucleaire golf [CE2030, 2006].

De mythen van atoomenergie als goedkoop en overvloedig (de eerste golf), als een oplossing voor de oliecrisis (tweede golf), als heil voor de klimaatverandering (derde

golf, vandaag in positie gebracht), zijn niet bestand tegen de test van de realiteit en van de duurzaamheidscriteria (tabel 4.2).

Over de diagnose van de crisis van onze omgang met natuur en milieu, vooral veroorzaakt door het overgebruik van commerciële energiebronnen, verschillen de nucleaire en de efficiënte/hernieuwbare energie voorstanders van mening. Als logisch gevolg verschillen de voorschriften/remedies voor de obese energiepatiënt. Atoomenergie en haar expansie zijn de voortzetting en uitbreiding van het verstrekken van overdosissen. Efficiënte/hernieuwbare elektriciteit willen de energie obesitas van het verleden en het heden remediëren door een gezond dieet met een aangepast programma van oefeningen. Ik ontbreek de verbeeldingskracht om het doel en de betekenis te zien van massaal vet en zoet voedsel te verbinden met een kuur van gezond diëten en oefenen. Bij dergelijke combinatie zijn de effecten meestal duidelijk: obesitas overklast gezonde kuren. Massaal en ongecontroleerd energie gebruiken is simpeler dan de aandacht, controle en permanente fijnregeling waar efficiënte en lokale hernieuwbare energie om vragen. De domme, massale benadering van het verleden is niet geschikt voor de ontwikkeling van de slimme en fijne oplossingen van de toekomst.

Hoewel atoomenergie wordt aangekondigd als goedkoop, identificeert IEA als tweede belemmering voor de ontwikkeling van de nucleaire plannen, na de publieke afwijzing: “investeringskosten gebaseerd op de huidige technologie (met inbegrip van het werkkapitaal gedurende de constructieperiode, de behandeling van het afval en de afbraak van de centrales) zijn hoog” [IEA 2006a: 134]. “Kapitaalkosten kunnen worden verminderd door verbeterde constructie methoden, verkorte constructietijd, verbeteringen in het ontwerp, standaardisering, het bouwen van verschillende eenheden op dezelfde site en verbeterd projectmanagement” [IEA 2006a: 242]. “Serieproductie (van de GEN III+ 1700 MW centrales) kunnen verdere kostenverminderingen mogelijk maken” [IEA 2006a: 134].

Grootschalige serie productie en multiple eenheden op dezelfde plaats, waren de succesfactoren van het Franse nucleaire programma van de jaren 1970-80 dat uiteindelijk vastgelopen is in de overcapaciteiten van de jaren 1990. Iedere succesfactor impliceert ook zijn eigen risico's: het verlies van één enkele grootschalige eenheid van 1700 MW is een hoog verlies, serieproductie kan behept zijn met seriefouten, veel eenheden op dezelfde site kan een domino-effect veroorzaken (zie het verlies van de vier centrales in Tjernobyl). Maar het is niet mijn taak om in de nucleaire logica te denken.

Een expansieve nucleaire benadering is tegengesteld aan de essentiële kenmerken van de nieuwe aanpak voor de energievoorziening die uitermate efficiënt, flexibel en aanpasbaar moet zijn. Het overaanbod van commerciële energie gedurende de laatste decennia heeft onze economieën en onze maatschappijen in energieverslaafde obese patiënten veranderd. Het heeft onze ontwikkeling vastgeklonken aan een niet duurzaam spoor met aan de einder gevaarlijke klimaatveranderingen en nucleaire risico's. Voortdoen met dit “Voortdoen-als-Gewoon” is een enkele-reis ticket naar de catastrofe.

#### **4.2.2 Fossiele brandstoffen voor aanvulling van atoomenergie of van hernieuwbare elektriciteit.**

Het belangrijke argument voor de atoomenergie om terug steun te winnen voor een derde kans op succes is “het besparen van fossiele brandstof” en “verminderde CO2 emissies”. Of een massieve nucleaire expansie uiteindelijk fossiele brandstoffen zal vervangen, vereist nader onderzoek. Wanneer producenten atoomcentrales opstapelen voor de basisvoorziening van elektriciteit (60~75% van de vraag) moeten ze de rest van de vraag (25~40%) dekken door flexibele centrales zoals vandaag: centrales op fossiele brandstof en een deeltje op biomassa, hydro-elektrische capaciteiten.

Hydro-elektrische sites kunnen ze aanpassen of artificieel bouwen voor het oppompen en stockeren van water. Deze techniek pompt ‘s nachts water elektrisch op om dit overdag terug te laten stromen en zo opnieuw elektriciteit op te wekken. Dit bespaart op de financiële uitgaven van de producenten tegen een kWh-verlies van ~30% in het proces. De beschikbaarheid van voldoende hydro sites en biomassa bronnen is niet gegarandeerd voor een expansief nucleair scenario. De zeer kapitaal-intensieve hydro centrales gebruiken als een aanvulling voor reserve of voor beperkte productiediensten aan de atoomcentrales zijn een foute verrekening van de uitgaven. De hoge investeringen zetten exploitanten van hydro-centrales ertoe aan de draai-uren te maximaliseren (afhankelijk van de waterbeschikbaarheid) om dezelfde reden dat atoomcentrales de basislast willen dekken. Grootschalige hydro is van nature eerder een concurrent van atoomenergie dan een gewillige aanvulling.

Minder kapitaal-intensieve capaciteiten, flexibel en verspreid op te stellen (voor het in evenwicht brengen van het net, bijvoorbeeld voor reactief vermogen) en gestookt met gemakkelijk te stockeren en te transporteren fossiele brandstoffen, leveren doorgaans de aanvullende diensten in een geïntegreerd elektrisch systeem waar de atoomenergie de basis vormt. Wanneer de vraag zou groeien, is meer fossiele brandstof vereist. Het verbranden van aardgas in centrales voor aanvullende diensten aan het nucleaire resulteert in meer CO2 emissies dan het gasgebruik als brandstof voor gedecentraliseerde warmtekracht centrales. WKK is een capaciteit die draait in navolging van de warmtevraag. Deze sturing in functie van de warmtevraag prioriteit is in conflict met de eis van permanente prioriteit vanuit de nucleaire centrales.

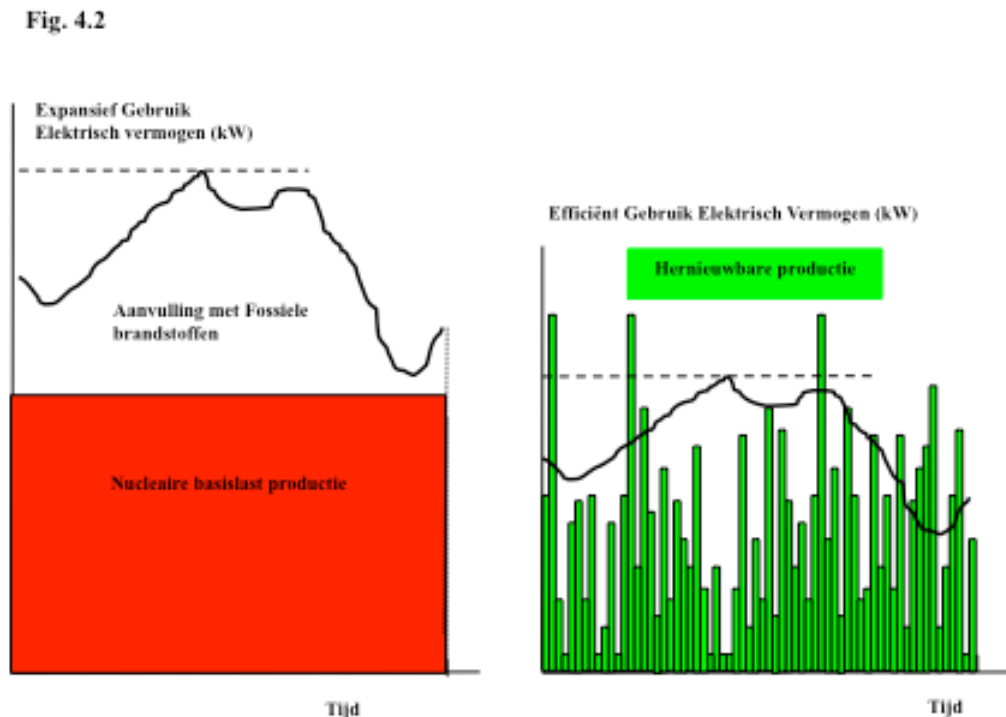
Een meer futuristische benadering is de serieconstructie en installatie van atoomcentrales om permanent te draaien op volle capaciteit en dan de overschot aan elektrische capaciteit (wat het net niet kan opvangen) aan te wenden voor de productie van waterstof. Maar deze directe weg van elektrolyse is onwaarschijnlijk vanwege de hoge infrastructuur kosten en de lage efficiënties van de grootschalige elektrolytische processen voor de productie van waterstof. De ander weg naar waterstof via thermo-chemische omzetting vereist hoge temperatuur reactoren die niet commercieel beschikbaar zijn. Zoals in het verleden, valt de expansie van de nucleaire optie terug op de beschikbaarheid van elektrische centrales gestookt met fossiele brandstoffen (meestal praktisch afgeschreven centrales die minder uren moeten produceren om toch economisch in het systeem te kunnen meedraaien, maar met hoge emissies van schadelijke stoffen en CO2 als neveneffect).

Een elektrisch systeem dat uitgroeit tot het dubbele, drievoudige, viervoudige van zijn duurzame omvang (daarin gestimuleerd door een grootschalige, seriële constructie met

multiple eenheden op een rij) en met een “Frans” aandeel aan atoomenergie, verbrandt meer fossiele brandstoffen dan een aangepast en efficiënt gedecentraliseerd systeem gebaseerd op een maximale efficiëntie en de maximale inzet van hernieuwbare bronnen.

In de transitie naar een praktisch volledig hernieuwbaar elektrisch systeem, in hoge mate samengesteld uit gedecentraliseerde wisselvallige bronnen, zijn capaciteiten van andere flexibele technologieën nodig die op vraag aanvullende elektriciteit kunnen leveren. Voor de komende decennia is aardgas aangewezen als ondersteuning, aanvulling en reserve verschafter van elektriciteit. Hoewel dit verhaal gelijkaardig klinkt als wat zopas gezegd is over een systeem op atoomenergie gebouwd, is de feitelijke toepassing van een zeer verschillende aard, zoals figuur 4.2 toont.

Figuur 4.2 Aanvulling door fossielgestookte centrales op nucleaire massa-output versus op fluctuerend hernieuwbaar vermogen.



Het linker deel van figuur 4.2 toont de expansieve nucleaire situatie (praktisch de huidige structuur in België vandaag). De helft of meer van de elektriciteit komt uit basislast atoomcentrales en de andere helft (de variabele lasten) uit centrales gestookt met fossiele brandstoffen. Het rechter deel van figuur 4.2 toont een hernieuwbaar elektrisch systeem. Een noodzakelijke en een natuurlijke bondgenoot<sup>7</sup> van hernieuwbare energie is efficiëntie

<sup>7</sup> Het bereiken van verregaande efficiëntie impliceert de volle benutting van de opportuniteiten aan energie beschikbaar in de lokale omgeving, zoals daglicht, ventilatie, warmte, graviteit, e.a. Het minimaliseren van

(hoofdstuk 5). Efficiëntie vermindert de vraag naar elektriciteit met zeker meer dan de helft en ook de vraag naar elektrisch vermogen in dezelfde of nog grotere mate. Hernieuwbaar vermogen komt uit de stromen van de natuur op een fluctuerende en deels onvoorspelbare wijze. Sommige ogenblikken is het aanbod een stuk hoger dan de vraag en wanneer export en opslag niet haalbaar zijn op dat ogenblik is er een overschot aan vermogen. Op andere momenten is er een tekort aan hernieuwbaar vermogen en moeten flexibele bronnen inspringen om de vraag te dekken. Op korte en middellange termijn zal de meeste ondersteuning komen van fossiele brandstoffen. Fossiele brandstoffen zullen qua capaciteit praktisch gelijk moeten zijn aan de spitscapaciteit van de elektrische systemen en vooral bestaan uit flexibele technologieën die gemakkelijk hun vermogen kunnen schakelen naar omhoog en terug naar omlaag. De totale elektrische voortbrengst op fossiele brandstoffen zal dalen en zo ook het brandstofgebruik en de CO<sub>2</sub> emissies. De besparingen op gebied van brandstofgebruik worden een stukje ingekort door het flexibel exploiteren van de centrales wat een lager rendement meebrengt [Gross e.a. 2006]. De gas gestookte elektrische centrales voor aanvulling op fluctuerende variabele en hernieuwbare energievoorziening zijn van een verschillende natuur (technieken zoals WKK, grootte van de eenheden, plaats in het netwerk) dan de fossiele centrales nu benut voor aanvulling op de grootschalige nucleaire vermogens. Gedecentraliseerde warmtekracht centrales hebben een rol te vervullen. Ze moeten dan voorzien zijn van mogelijkheden om warmte te condenseren in het geval er geen warmtevraag zou zijn, zodat zij kunnen garanderen dat hun capaciteit permanent beschikbaar is.<sup>8</sup>

Voor atoomenergie is de fossiele aanvulling groot en groeiend (op zijn minst nooit eindigend) en hoe meer nucleaire expansie, hoe meer fossiele aanvulling. Voor de efficiëntie/hernieuwbare elektriciteit optie daalt de fossiele aanvulling over de tijd omdat meer efficiëntie/hernieuwbare energie minder fossiele aanvulling nodig heeft. Sommigen schatten dat de fossiele brandstoffen als energiebron niet langer nodig zijn tegen het midden van de eeuw (het zal dan langer een materiaalbron kunnen blijven). Anderen voorzien een kortere of een langere duur voor de rol van de fossiele brandstof.

#### **4.2.3 Elektrische netten voor massaal transport of als verbinding tussen verspreid opgestelde bronnen**

Verbonden met de verschillende en tegengestelde natuur van de kenmerken van de elektriciteit productie van de nucleaire en de efficiëntie/hernieuwbare opties volgt de discussie over de noodzakelijke omvang en structuur van de elektrische netten [Lovins e.a. 2002; Gallanti 2007]. De gecentraliseerde nucleaire en groot-fossiel elektrische systemen hebben netten voor hoogspanning en laagspanning die verschillen van de netten nodig om een elektrisch systeem te verbinden waar efficiëntie, hernieuwbare bronnen en op maat gesneden aanvullende fossiele elektrische centrales de dienst uitmaken.

De massale systemen zijn opgevat als een piramide voor het transport vanuit de centrale plaatsen (de nucleaire sites) van duizenden MWs via 400/360 kV lijnen over de midden-

---

het gebruik van commerciële energie effent de weg naar het betaalbaar maken van kleinschalige en lokale hernieuwbare elektriciteit toepassingen.

<sup>8</sup> Foute regulering heeft de ontwikkeling van onafhankelijke, decentrale warmtekracht op verschillende wijzen gehinderd of in de kiem gesmoord [Verbruggen 1990, 2007]



spanning netten van 20-150 kV verder naar beneden doorheen de laagspanning distributie netten waar slikkende consumenten hun honger stillen met altijd meer elektriciteit. In efficiënte/hernieuwbare elektrische systemen kan iedere gebruiker ook optreden als een productie-eenheid [Lovins e.a. 2002]. Volgend schema toont het verschil tussen de twee netsystemen.

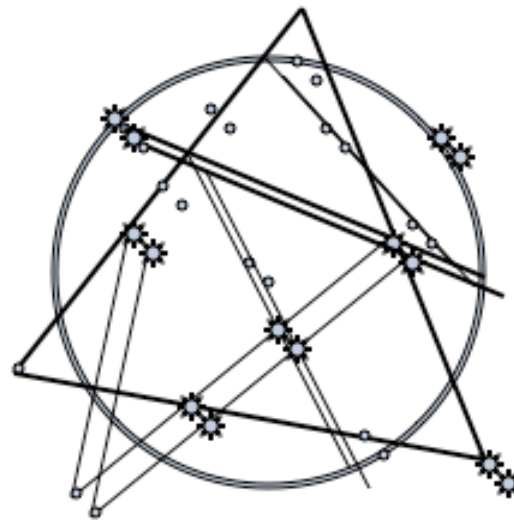


### 3. Electric Grid Structures

**Pyramidal**



**Multilateral**



Universiteit Antwerpen

16

In de korte termijn zullen veel gebruikers deze rol weigerachtig opnemen vanwege een tekort aan ervaring. In de middellange tot lange termijn bevordert meer efficiëntie de ontwikkeling en het gebruik van oplossingen en technieken die elektriciteit halen uit de natuurlijke omgeving zodat hernieuwbare opwekking een overal verspreide activiteit zal zijn. De consumenten zijn dan actieve spelers. Sommigen worden netto aanbieders van elektriciteit aan het net gedurende lange perioden van het jaar. Deze evolutie vereist slimme netwerken, gestructureerd van onderaf met de lokale markten als eerste componenten en voorzien voor uitwisselingen binnenin en tussen aangrenzende lokale markten, aanvullende en reserve vermogens, opslagmogelijkheden, enz. Dit is een omkering van netwerk ontwerp en investeringen. Het zal miljarden euro's vragen om de netwerken te heroriënteren en te verbouwen. Echter, een dringende en drastische verandering in de richting van efficiëntie en decentrale hernieuwbare energie kan veel knelpunten in de bestaande netten verzachten zodat de ombouw op een doordachte wijze kan gebeuren.

Op de scheidingslijn tussen gecentraliseerde massale systemen aan de ene kant en de van onderaf gedecentraliseerde systemen aan de andere kant moeten we vandaag duidelijk

beslissen welke kant we opgaan. IEA [2006a: 247] stelt dat “geavanceerde elektrische netwerken en ermee verbonden technologieën zullen de ruggengraat vormen van het elektrische systeem van de 21<sup>ste</sup> eeuw”, en dat “het grootste gedeelte van de systemen vandaag zijn gebaseerd op de technologie van de jaren 1950 en vereisen een zeer ingrijpende opschaling”. Massale investeringen in elektrische netten zijn nodig. Het is cruciaal de schaarse middelen niet te investeren en te betonnen in voorbijgestreefde oplossingen van het verleden maar te richten op de oplossingen van de toekomst.

#### **4.2.4 Risico's en externaliteiten van de nucleaire optie.**

Studies schieten tekort in het schatten van de impact van een nucleair accident in Doel (een nucleaire site in België op 16 km afstand van het centrum van de stad Antwerpen en met een zeer dichte industriële en maritieme zone in de haven van Antwerpen). We ontbreken de instrumenten om de conceptuele, ethische en meet problemen te behandelen. De effecten en de gevolgen stijgen ver uit boven het bereik van de verbeelding en boven de middelen beschikbaar om de catastrofale ontwikkelingen het hoofd te bieden. Het onvoorstelbare neemt dergelijke schrikwekkende vormen aan dat een mens eindigt met het besluit: dit mag niet gebeuren. Nucleaire advocaten vervormen het besluit ‘dit mag niet gebeuren’ in ‘dit kan niet gebeuren’, een vervalsing die niet overeenstemt met de werkelijkheid.

Atoomenergie heeft het merendeel van de subsidies voor energie onderzoek en ontwikkeling in de wereld (en in België het leeuwendeel) gebruikt sinds wereldoorlog II (4.2.5). Invloedrijke lobbies willen deze steun voortzetten en zelfs uitbreiden. “Voortgezette technologische ontwikkeling (GEN IV) en demonstratieprogramma's zouden kunnen helpen bij het overwinnen van de belemmeringen die de atoomenergie ondervindt, van welke de belangrijkste is de publieke aanvaarding” [IEA 2006a: 134, 239, 243]. Pagina 134 vervolgt: “Publieke aanvaarding problemen ten opzichte van de verspreiding van atoomwapens, afvalbeheer en veiligheidsproblemen”. Of in IEA termen: niet de nucleaire sector heeft als opdracht het voorkomen en oplossen van de problemen maar het publiek moet leren de problemen te aanvaarden.

Dit is de wereld op zijn kop en het is in tegenspraak met alle basisbeginselen van wet en ethiek. Voor het vinden van een maatschappelijk verantwoorde houding ten aanzien van complexe, onzekere en onomkeerbare ontwikkelingen, geldt het voorzorgsprincipe als leidraad [Stirling 1999; Harremoes 2002]. Het verschaft dus de leidraad op het vlak van nucleaire besluitvorming omdat in de Verenigde Naties [1992, artikel 3] is overeengekomen “wanneer er bedreigingen bestaan van ernstige en onomkeerbare schade, kan een tekort aan een volledige wetenschappelijke zekerheid niet worden ingeroepen als een reden voor het uitstellen van maatregelen voor het anticiperen, voorkomen en minimaliseren van de oorzaak”. Bijkomend kan geen land of privé-maatschappij het recht opeisen om acties te ondernemen (of weigeren om maatregelen te nemen) wanneer dit leidt tot het in gevaar brengen van andermans leven, gezondheid of veiligheid [Brown en Tuana 2006: 30].

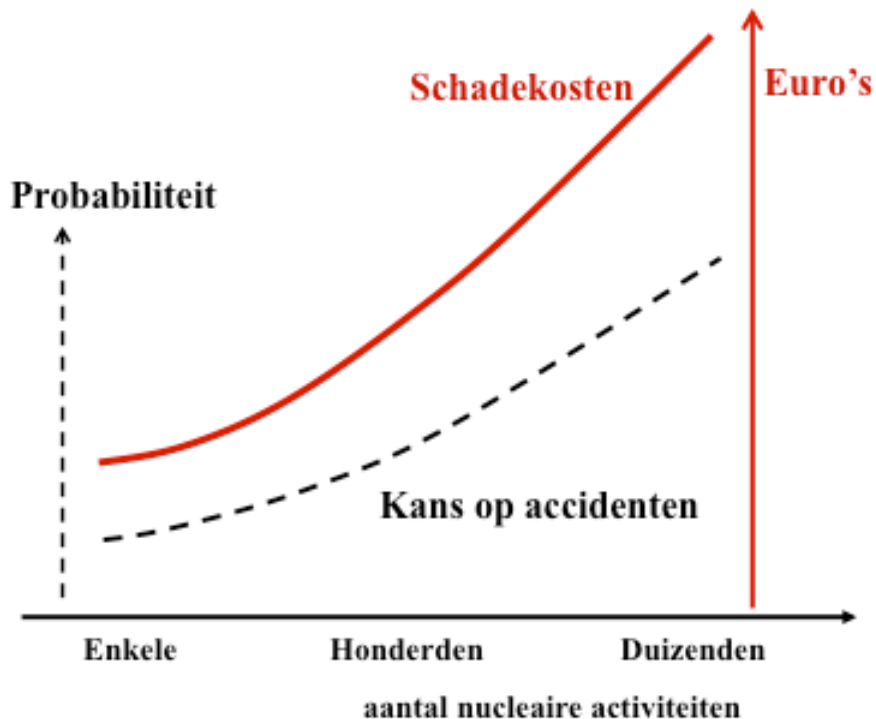
Het voorzorgsprincipe dwingt tot de uitfasering van atoomenergie, hoe sneller hoe beter, en a fortiori tot geen verdere uitgaven voor nieuwe atoomenergie. In de tussentijd tot de volledige opkuis van de atoomenergie kunnen de regeringen het principe van de vervuiler betaalt in de context van voorzorg [Daly 1999] toepassen op de nucleaire sector:

- 1) onmiddellijk beëindigen van alle subsidies, ook voor onderzoek en ontwikkeling aan de atoomtechnologie [Frogatt 2005]
- 2) wie nog nucleaire activiteiten onderneemt, moet voldoende fondsen voor een publieke bestemming op voorhand storten om de volledige schadekosten van de effecten van hun ondernemingen te kunnen betalen, ook als de onvoorziene en onomkeerbare risico's optreden. Hoe hier de 'publieke bestemming' garanderen? Zeker niet door de fondsen bij de nucleaire exploitanten te laten (zoals vandaag de gelden voor afvalbeheer gedurende enkele decennia). Maar geld op de staatsbegroting is ook niet veilig voor gretige handen.

Best doen we een beroep op de mondiaal gevestigde privé-sector van de verzekeringen. Deze sector is sinds Adam Smith de meest gerespecteerde kapitalistische instelling die op een evenwichtige wijze de risico's voor de leden van de samenleving en voor zichzelf als instituut weet te balanceren. Bij deze sector zouden de nucleaire exploitanten een omnium polis moeten afsluiten die alle risico's dekt die uit de nucleaire activiteiten voortvloeien, van nu tot in de eeuwigheid. Wanneer de stelling van 'verwaarloosbare' nucleaire risico's door de advocaten van de atoomenergie gehanteerd, waarachtig zou zijn, zal de sector van de verzekeringen zeker gelukkig zijn om in deze winstpot te delen. Het is een droom voor deze sector een stevige premie te kunnen ontvangen voor het dekken van verwaarloosbare risico's. Maar in de realiteit laat de verzekeringssector zich niet in slaap wiegen door valse dromen om nadien wakker te worden in een nachtmerrie. De sector is niet bereid zijn eigen overleven in de balans te gooien en weigert een omnium verzekering voor atoomenergie aan te bieden.

Figuur 4.3: Waarschijnlijkheid van grote accidenten, c.q. schadekosten ten gevolge van een accident. Beide curven stijgen met meer nucleaire installaties en activiteiten.

Fig. 4.3



Zoals in het geval van klimaatverandering is voor atoomenergie de onzekerheid over effecten en cijfers zelf niet oplosbaar, maar bestaat er evidentie over de vorm en het verloop van de curve die de externe kosten weergeeft. Figuur 4.3 toont twee curven die stijgen met de expansie van de nucleaire installaties en met het aantal nucleaire sites. De onderste curve drukt de waarschijnlijkheid uit van grote nucleaire accidenten wanneer meer en meer landen zich engageren in nucleaire activiteiten en het aantal van de installaties toeneemt. De kans dat ergens een groot accident zal gebeuren, neemt meer dan lineair toe ook omdat landen die minder kwaliteitszorg gewoon zijn, in de nucleaire activiteit zullen stappen. De schadekosten volgen een nog steiler pad door de ‘collateral damage’ veroorzaakt door één enkel accident op de andere nucleaire activiteiten. Combineren van de twee factoren (kans en gevolgen) in één enkele risico maatstaf [Covello en Merkhofer 1993] en het toepassen van de standaarden van risico aanvaardbaarheid leiden tot niet-verwaarloosbare risico's. De groeiende kansen op een accident en de onmeetbaar grote schade van een nucleair accident of van nucleaire oorlogsvoering dwingen tot de conclusie dat nucleaire activiteiten behoren tot het domein van niet-aanvaardbare menselijke ondernemingen.

Nucleaire technologie en haar toepassingen, tekorten en misbruiken, kunnen verwoestende effecten veroorzaken van eenzelfde omvang en onomkeerbaarheid als die van de klimaatverandering. Toch bestaan er belangrijke verschillen tussen de twee gevaren waardoor het publiek begrip en de politieke reacties verschillen. Koolstofemissies zijn continu en talrijk, mondiaal verspreid en gecontroleerd door miljarden besluitvormers. Ook de verschillende effecten groeien beetje bij beetje, globaal verspreid en de gevolgen komen terecht – zij het oneven – op alle mensen van de aarde. Nucleaire technologieën en bronnen zijn geconcentreerd en gecontroleerd door enkelen (en omwille van de veiligheid en zekerheid zouden de enkelen beter steeds verminderen in aantal om te komen tot nul). Accidenten zijn accuut en punctueel (een moment, een plaats) met effecten die zich uitspreiden op een onvoorspelbare wijze vanaf het punt van impact (accident; atoombom). Risicoschatting van de nucleaire optie is meer extreem dan risicoschatting van de schade van klimaatverandering. De kansen op afzonderlijke nucleaire catastrofes zijn veel kleiner maar de gevolgen van één enkele gebeurtenis is onoverzichtelijk. Men kan leren van accidenten, bijna-accidenten en incidenten die gebeurd zijn en voortdurend gebeuren. Hoewel de leerprocessen niet zo gestructureerd zijn en gekenmerkt door tegenovergestelde interpretaties (nucleaire verdedigers versus nucleaire critici), schat de meerderheid van het publiek de nucleaire risico's hoger in dan de opbrengsten aan elektriciteit die atoomcentrales kunnen leveren gedurende de beperkte duur van hun werking [Turkenburg 2004; Eurobarometer 2007]. Nucleaire advocaten noemen deze houding “hinderpalen van publieke aanvaarding” [IEA 2006a: 134] en de nucleaire sector investeert en investeert handenvol geld om het publiek en de politiek te overtuigen van mening te veranderen. Maar wie moet hier van mening veranderen; welke partij is feitelijk risico irrationeel?

Mensen, huishoudens, bedrijven, zijn vertrouwd met het schatten en evalueren van risico's en met het toewijzen van hun schaarse middelen voor het minimaliseren van persoonlijke schade die risico's hen zouden kunnen toebrengen. De staat zorgt er soms ook voor dat de gemeenschap niet is blootgesteld aan te hoge en aan onaanvaardbare risico's, b.v. de verplichte autoverzekering, verplichte bijdragen aan fondsen tegen natuur rampen.

In het aangaan van een brand of schadeverzekering voor een woning of andere eigendom aanvaardt de eigenaar vrijwillig jaarlijks een bedrag te betalen aan een verzekeringsonderneming. Hij hoopt bovendien van die onderneming nooit geld te moeten ontvangen, want het psychologisch verlies van persoonlijke bezittingen in bijvoorbeeld een brand is hoger dan de geldbetalingen die men ontvangt als schadevergoeding. De verwachte financiële uitkomst van dit proces van risico schatting, evaluatie en beheer, is negatief voor alle klanten van de verzekerings maatschappijen. Toch is bijna iedereen klant en bereid tot het betalen van een risicopremie om erge gevolgen te voorkomen.

De houding van de burgers die atoomenergie verwerpen als een valabele oplossing is gebaseerd op deze rationele logica: bereid zijn om jaar na jaar een klein financieel verlies te boeken (afzien van elektriciteit uit atoomcentrales tegen lage prijzen) voor het vermijden van erge gevolgen die de nucleaire activiteiten kunnen veroorzaken. Dit is perfect rationeel gedrag en zelfverklaarde rationalisten die dit brandmerken als een soort hinderpaal zouden er beter uit leren in plaats van het te bestrijden.

Wanneer het gemeenschappelijk goed van een samenleving vereist dat alle leden van de samenleving een verzekering aangaan, moet de verzekering worden verplicht. Dit gebeurt wanneer individuele leden van een samenleving belangrijke risico's kunnen veroorzaken en omvangrijke schade voor andere leden van de samenleving. Het opzetten van nucleaire activiteiten zoals ook het uitstoten van broeikasgassen, zijn voorbeelden van dergelijke gevallen.

De verplichte verzekering in het geval van nucleaire activiteiten wordt het meest efficiënt georganiseerd door een verplichte stop en een totaal verbod op deze activiteiten (zoals bijvoorbeeld het verbod op de aanmaak van stoffen die de stratosferische ozonlaag aantasten – zie het Montreal Protocol). Voor nog bestaande nucleaire activiteiten en deze in afbouw is de verplichte, sluitende omniumverzekering een tijdelijke oplossing, en te betalen door hen die voordeel halen uit de financiële opbrengsten van de nucleaire activiteiten. In het geval van broeikasgas-emissies moet de verzekeringspremie in verhouding staan tot de uitstoot van iedere afzonderlijke emissie, of emissies moeten een prijs krijgen.

De risico's van atoomenergie zijn onaanvaardbaar, zeker in verhouding tot de geringe voordelen van deze massaproductie van elektriciteit in een maatschappij die aan energie obesitas lijdt. De verantwoordelijke beslissing is deze technologie af te sluiten en haar overblijfselen zo veilig als mogelijk te begraven. Aan de tegenovergestelde kant staan efficiëntie/hernieuwbare elektriciteit aan het begin van hun ontwikkeling om het gebruik en de productie van elektriciteit op een geheel andere leest te schoeien. Zou het voor deze ontlukende optie verstandig zijn zich in te laten met een partner die geen lang leven meer beschoren is. Hoewel huwelijken tussen partners waarvan de ene aan het begin van het

leven staat en de andere aan het einde ervan bij mensen nu en dan plaats vinden, is een gezamenlijke lange termijn toekomst niet mogelijk.

#### **4.2.5 Onderzoek en ontwikkeling, en productiemogelijkheden: dringende en drastische veranderingen nodig**

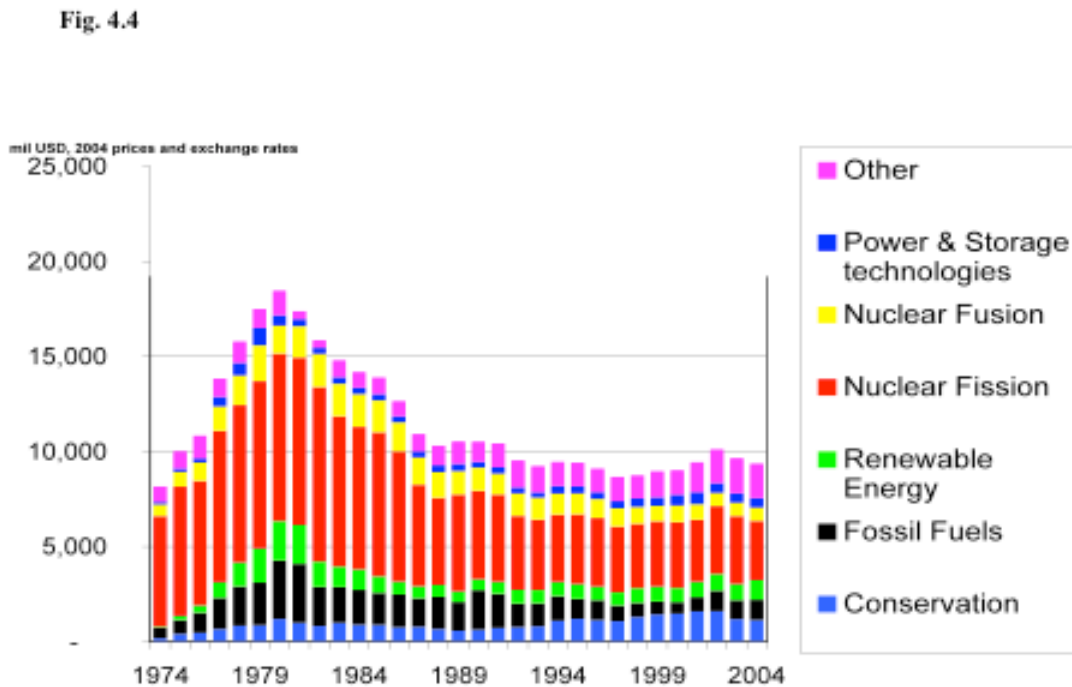
Zij die kritiek uitoefenen op de beperkte ontplooiing en de nog schamele prestaties van hernieuwbare energie in de overbemeten en obese energiesystemen van vandaag, dragen zelf de verantwoordelijkheid van deze betreuenswaardige situatie. Het zijn precies deze critici die de gelden voor onderzoek, ontwikkeling en demonstratie op de atoomenergie hebben verweerd en verloren. Zij hebben de energietechnologie departementen de vorm gegeven die ze vandaag hebben met alle gewicht op centrale aanbod opties en bijna geen aandacht en kennis van efficiëntie en kleinschalige technologie om hernieuwbare energie uit de omgeving te winnen. Het andere punt van kritiek, namelijk een tekort aan productiecapaciteiten voor het snel ontplooiën van de hernieuwbare energie opties op korte termijn, is in hetzelfde bedje ziek.

Het is hoog tijd om van koers te veranderen en de aandacht te richten op de technologieën van de toekomst: efficiëntie/hernieuwbare elektriciteit. Ook hier zijn atoomenergie en hernieuwbare opties tegengesteld. Ongeveer 60 jaar geleden was het nucleaire een nieuwe technologie: krachtig voor atoomwapens, maar slapjes voor energie opwekking want alleen geschikt om op massale schaal water te koken. Achteraf blijkt het bovendien een zeer omslachtige, gevaarlijke en kostelijke weg te zijn om water te koken [Caldicott 2006]. Vandaag is de nucleaire technologie niet innovatief en de pep-talk over 'nieuwe' nucleaire generaties III+, IV, V, kan niet verbergen dat er voortdurende tekortkomingen zijn tussen belofde doorbraken en de feitelijke roestige toestand van de nucleaire technologie. De echte nieuwe energietechnologieën van vandaag en van de toekomst zijn van een zeer verschillende natuur dan het nucleaire impliceert: klein, mini, micro, nano-geschaald, intelligent gestuurd in reële tijd, licht van gewicht, aanpasbaar en flexibel. Efficiëntie en hernieuwbare elektriciteit surfen en profiteren beide van iedere stap vooruit in de nieuwste technologieën. De trein neemt meer en meer snelheid en iedere burger, organisatie en land moet trachten die niet te missen.

In de eerste decennia na Wereldoorlog II was wetenschap en onderzoek over energie bijna exclusief gericht op de ontwikkeling van atoomenergie in de meeste industrielanden met België als haantje de voorste [Laes e.a. 2005]. Behalve atoomenergie heeft geen enkele energietechnologie – en wellicht technologie in het algemeen – in zijn bestaan dergelijke omvang van subsidies en van steun van de wetenschappelijke, politieke, financiële en industriële belangen gekend. De oliecrisis van de jaren 1970 hebben andere energie-opties toegevoegd aan de portfolio van onderzoek, ontwikkeling en demonstratie maar atoomenergie bleef de dominerende positie innemen in het opslorpen van de fondsen (figuur 4.4) [IEA 2006b]. In de planning van de publieke budgetten voor de komende jaren, blijft de nucleaire technologie het meest gesubsidieerd. De voorstellen liggen klaar om deze onheilzame toestand voort te zetten in de lange termijn [IEA 2006a: 233-246], en het leeuwenaandeel van het geld te blijven vergooien aan een niet-duurzame energie toekomst. De aanzienlijke fondsen gespendeerd op onderzoek naar nucleaire fusie zijn in de vergetelheid terecht gekomen omdat het onderzoek niets oplevert tenzij telkens nieuwe beloften in het evenaren van de zon op aarde. Als het debiet van de geldkraan

naar deze megalomane projecten dreigt te verminderen, komen er weer andere beloften. “Omwille van de potentiële baten van fusie spenderen de IEA landen grote gedeelten van hun energie onderzoek en ontwikkelingbudgetten aan het onderzoeken van de haalbaarheid en het potentieel. Het is onwaarschijnlijk dat er iets zal ontwikkeld zijn voor 2050” [IEA 2006a: 246]. Is het geen hoog tijd om nauwlettender te kijken naar de niet-gehouden beloften en naar de toewijzing van de onderzoeksgelden?

Figuur 4.4: Publieke subsidies voor onderzoek, ontwikkeling en demonstratie in IEA landen (Miljoen US\$-2004) [Bron: IEA 2006b]



### 4.3 Geen gemeenschappelijke toekomst

Voor het realiseren van een laag koolstof elektrisch systeem zijn er geen 1001 opties beschikbaar. Enkel twee antagonisten staan nu in de ring: atoomenergie en het koppel efficiëntie/hernieuwbare elektriciteit. Welke optie kan de backstop aanbodtechnologie voor elektriciteit zijn? De criteria van duurzame ontwikkeling [WCED 1987] vullen het aspect ‘onbeperkte bron’ van de backstop aanbodstechnologie aan. Op de weegschaal van duurzaamheid blijkt de prestatie van atoomenergie bijzonder licht te wegen (tabel 4.2), dit in tegenstelling tot de efficiëntie/hernieuwbare elektriciteit oplossingen (tabel 4.3). Daarom verkiest de overgrote meerderheid van de bevolking de hernieuwbare opties boven de atoomenergie [Eurobarometer 2007].

Om een derde kans voor atoomenergie te krijgen, willen haar advocaten een huwelijk arrangeren met de hernieuwbare energiesector. Er zijn vijf argumenten waarom de efficiëntie/hernieuwbare elektriciteit optie dit soort nucleaire avances best verwerpt. Ten eerste: atoomenergie is mede architect van een expansieve “Voortdoen- als-Gewoon” energie economie sinds de jaren 1950. Deze aanpak moet nu precies dringend en drastisch omkeren. Ten tweede, nucleaire en hernieuwbare energie vereisen een zeer verschillende ondersteuning vanuit fossielgestookte elektrische centrales; voor atoomenergie is de steun massaal en expanderend, voor hernieuwbare energie is die verspreid, flexibel en krimpend in de tijd. Ten derde, de elektrische netwerken voor het verspreiden van massale nucleaire outputs zijn van een totaal ander type dan de onderlinge verbinding tussen miljoenen verspreide kleinschalige bronnen van elektriciteit. Ten vierde, de risico's en de externaliteiten van atoomenergie maken deze technologie niet duurzaam en daarom zonder toekomst, terwijl efficiëntie/hernieuwbare elektriciteit opties aan het begin staan van hun ontwikkeling. Ten vijfde, de twee technologieën zijn ook mekaar's opponent voor de subsidies voor onderzoek, ontwikkeling en demonstratie, en voor de productiecapaciteiten om de diffusie van de technologie te versnellen.

De scheve verdeling in het voordeel van atoomenergie staat onder druk van de noodzaak het geld te besteden aan duurzame oplossingen. In plaats van stilletjes een beetje minder geld voor atoomenergie, is het beter de geldverspilling aan de dure en gevaarlijke nucleaire waterkokers helemaal stop te zetten. Efficiëntie en hernieuwbare energie benut technieken die de toekomst maken: micro-electronica, nieuwe materialen, meet regelsystemen, enz. Beter is het daar de centen en mensen in te zetten.

Atoomenergie en efficiëntie/hernieuwbare elektriciteit hebben geen gemeenschappelijke toekomst in het veilig stellen van “Onze Gemeenschappelijk Toekomst”. De atoom technologie heeft al twee keer alle kansen gekregen met ongeziene middelen in de menselijke geschiedenis om haar waarde te bewijzen en heeft telkens gefaald. De atoomenergie een derde kans geven zal opnieuw de schaarse onderzoek en ontwikkeling en demonstratiemiddelen verkwisten en de belemmeringen versterken tegen zijn duurzame opponent: elektriciteit efficiëntie en kleinschalige technieken om maximaal hernieuwbare elektriciteit uit de omgeving te winnen.