



Zekerheid van Bevoorrading met Elektriciteit, en Lange-Termijn Toegang tot Primaire Energiedragers¹

Prof.dr. Aviel Verbruggen
Universiteit Antwerpen

Februari 2009

Overzicht

Executive Summary	2
Inleiding	4
Deel A: Analyse kader voor deze studie	5
Het begrip “Zekerheid van Bevoorrading”	5
Elektriciteit en zekerheid van bevoorrading.....	5
Kader waarin elektrische productiemiddelen functioneren.....	7
Deel B: Zekerheid van bevoorrading met Inputs voor de elektriciteitsproductie	10
Beschikbaarheid van aardgas op middellange en lange termijn	11
De rol van atoomenergie en de voorraden uranium	18
Epiloog: Klimaat- en energiebeleid: taksombouw als onmisbare trap.....	20
Bibliografie.....	21

¹ Aviel.verbruggen@ua.ac.be

L'étude est aussi disponible en français comme: « Sécurité d'approvisionnement en électricité, et accès à long terme aux sources d'énergie primaire » La traduction est réalisée par David Hernalsteen, parmi les SPP Développement durable.

Executive Summary

Zekerheid van bevoorrading met elektriciteit is een begrip waarin de tijdsdimensie bepalend is. Omdat elektriciteit niet stockeerbaar is en bevoorrading een synchroon evenwicht tussen vraag en aanbod vereist, betekenen kortstondige onderbrekingen een totale uitval (black-out). Om dit te voorkomen, moet de bevoorrading op korte, middellange en lange termijn worden gestroomlijnd, respectievelijk door voldoende capaciteiten operationeel te houden, door voldoende capaciteiten beschikbaar te hebben en door gepaste investeringen uit te voeren en lange-termijn contracten af te sluiten. Naast de tijd bepalen vooral de productiewijzen van elektriciteit en de daarbij gebruikte primaire energievormen de hoogte van de zekerheid. De complexiteit van het begrip zekerheid van bevoorrading maakt dat de landen van de EU verschillende definities hanteren.

De zekerheid in de zeer korte termijn wordt uitgedrukt in kwantitatief berekende variabelen uit de verhouding tussen grootte en structuur van de vraag naar elektriciteit en grootte en structuur van het aanbod (productiemiddelen met hun gedetailleerde eigenschappen). Zekerheid is geen resultaat van alleen aanbod, maar ook van vraagbeheer. Aan de aanbodkant gaat het niet louter over de absolute grootte van het gehele park, maar ook over type, schaal en opstelling van de productie eenheden. Zekerheid dat ze kunnen werken op lange termijn is ook niet langer alleen een zaak van het voeden met primaire energie, maar evenzeer van welke schadelijke emissies, hinder, gevaren en risico's, de productie veroorzaakt. Om de gecombineerde uitdagingen aan te gaan zullen belangrijke technologische en maatschappelijke veranderingen plaatsvinden in de komende jaren, waarin de elektriciteitsvoorziening een actieve rol zal vervullen. Bepaalde ontwikkelingen zullen de bevoorrading bemoeilijken, andere zullen ze verbeteren. Als zuivere energievorm in het eindgebruik zal elektriciteit verder groeien in marktaandeel.

België is vandaag voor praktisch alle commerciële energiegebruik afhankelijk van invoer uit het buitenland, en voor een aanzienlijk deel vanuit landen buiten de EU. In de toekomst zal deze afhankelijkheid verminderen door een grotere efficiëntie van het energiegebruik en door een verhoogd beroep op binnenlandse hernieuwbare energie. Bij een drastisch klimaatbeleid zal de onafhankelijkheid van de nationale elektriciteitsbevoorrading stijgen van minimaal (vandaag ~5%), naar significant (~25%) tot wellicht overwegend (>50%). Maar door de schaal, geografie, ligging en verstedelijking van het land zal invoer uit het buitenland een belangrijke rol blijven spelen. Dit geldt ook voor duurzaam voortgebrachte elektriciteit.

Toekomstige bevoorrading hangt voor een deel af van het succes van de opvang en opslag van koolstofdioxide aan grootschalige omzettingsprocessen. Indien dit technisch, economisch en milieukundig goed inpasbaar wordt, zullen steenkolen in de toekomst een belangrijke rol blijven spelen, maar meer in het buitenland dan in België. In ons land zal aardgas (eventueel ook met opvang en opslag van de gevormde koolstofdioxide) de eerste fossiele brandstof in de elektriciteitsopwekking blijven. Voor de koolstofarme productie wedijveren atoomenergie en hernieuwbare opwekking.

Door de gunstige eigenschappen van aardgas voor het eindgebruik is het een veel gevraagde energiedrager voor stationaire toepassingen (gebouwen, industrie, omzetting naar elektriciteit), en als grondstof in de chemie. Wanneer schaarste in de aardgas-

bevoorrading zou optreden, kan de omzetting ervan naar elektriciteit in grootschalige centrales (STEGs) als eerste op de lijst staan om te worden gerationeerd. Dit vooral in landen die een beperkt gedeelte van de elektriciteit opwekken op basis van aardgas. Om een lange termijn zekerheid te bekomen doen landen een beroep op gasstockage, lange termijn leveringscontracten, productie en import aanpasbaarheid en diversificatie in de leveranciers. Op al deze punten scoort de Belgische aardgasvoorziening goed, mede door de uitbouw van het aardgasplatform in Zeebrugge.

In de literatuur en in de discussie over mondiaal beschikbare voorraden aan fossiele brandstoffen heerst een grote begripsverwarring. Ook de gepubliceerde gegevens over reserves en resources verschillen naargelang de publicerende instantie, want reserves zijn een hoofdzakelijk technologisch-economisch bepaalde grootte, behept met veel onzekerheid. Ook hebben de eigenaars van de voorraden en de explorerende en exploiterende ondernemingen er geen belang bij detailkennis te delen met derden. De geologische diensten van Duitsland publiceren voor conventionele resources aan aardgas een hoeveelheid van 207 Triljoen m³ en als niet-conventionele resources een hoeveelheid van 1533 Triljoen m³ (o.a. massale voorraden hydraten in de oceaandiepten). Wanneer de prijs van het gas stijgt worden de uitgaven voor technologische ontwikkeling en de kosten van exploitatie van niet-conventionele bronnen betaalbaar. Dit beantwoordt aan de vastgestelde sequentie waarmee ondernemingen natuurlijke rijkdommen ontginnen. Ze beginnen met de voor de hand liggende, nabije en goedkope voorraden aan te breken. De aangebroken bronnen blijven ze exploiteren tot de (korte termijn) marginale kostprijs van verdere ontginning uitstijgt boven de lange-termijn kostprijs van nieuwe ontginningen. Peak-oil en peak-gas zijn transiënte verschijnselen, die niet van grote betekenis zijn voor de energiehuishouding van de komende decennia. Om het met een metafoor te stellen: de uitdagingen waarvoor de wereld, en op de eerste plaats de industrielanden waaronder België, op energievak staan, situeren zich niet aan de toevoerkraan van de fossiele brandstoffen. Wat de kraan levert, zal in de toekomst wat vuiler en bovendien wat duurder worden, maar de kraan kan blijven lopen in de lange-termijn toekomst. De echte uitdaging bevindt zich aan de kant van de afloop: de atmosfeer is oververzadigd met broeikasgassen, in het bijzonder koolstofdioxide.

Vandaag leveren zeven atoomcentrales in België en participaties in Franse nucleaire capaciteit meer dan de helft van de elektriciteit voor België. De beschikbaarheid van uranium op de middellange termijn is vergelijkbaar met deze van aardgas: gradatie van de diverse uraniumbronnen, natuurlijke sequentie van exploitatie, en mogelijkheid grotere voorraden aan te snijden als de marktprijs van het erts voldoende stijgt en mee de technologische innovatie voor ontginning kan aandrijven. De rol van atoomenergie in de bevoorrading wordt vooral bepaald door de lange-termijn verhoudingen van de diverse opties van stroomvoorziening (hernieuwbaar, atoom en fossiele brandstoffen) en van een vergaande verhoging van de energie-efficiëntie in een toekomst van een dringend en drastisch klimaatbeleid.

De toekomstbeelden van de atoomindustrie en van de hernieuwbare elektriciteitsproductie divergeren. Naast de grote verschillen in de geïntegreerde productieparks, zijn ook de elektrische netwerken die de verschillende productieparks onderling verbinden en toeleveren aan de eindgebruikers van een andere soort. Een voorziening gebaseerd op atoomcentrales vertoont een gebruiks-expansief karakter, terwijl de transitie naar een praktisch volledige hernieuwbare energie-economie de efficiëntie van het energiegebruik

zal vereisen en ook de vraag naar elektriciteit zal minimaliseren. De risico's verbonden aan de divergerende paden zijn ook sterk verschillend. Atoomenergie brengt specifieke risico's mee zoals incidenten, accidenten, radioactiviteit doorheen de gehele brandstofcyclus, radioactief afval, verspreiding van de technologische kennis en van de toegang tot atoomwapens. Hoewel het moeilijk is deze risico's goed in te schatten en in rekening te brengen, is dit wel een cruciale component in een studie over de zekerheid van bevoorrading met elektriciteit in een land dat in grote mate op atoomenergie een beroep doet of zou willen doen. Met een toenemende expansie van de atoomenergie in Europa en/of wereldwijd nemen de risico's bovendien toe.

De ombouw van een energie-economie die vandaag 88% van haar commerciële energie betreft uit fossiele brandstoffen, naar een koolstofvrije economie neemt als veiligste en zekerste pad dit van de hernieuwbare energiewinning. Deze dure keuze noodzaakt laag-intensieve energiegebruiken, die in een economisch goed draaiende maatschappij moeten worden geïnduceerd en onderhouden door hoge (en hoog blijvende, indien nodig stijgende) eindprijzen van de energie.

Zo ontstaat er een bijkomende vraag: hoe moeten de eindprijzen van energie hoog worden gehouden zonder dat ze ervoor zorgen dat dit tot sterkere impulsen leidt om het aanbod van onduurzame energie op te drijven? Het antwoord is hier te vinden bij het instrument van de taksombouw: de overheid verhoogt stelselmatig de eindprijzen van onduurzame energiedragers via aangepaste heffingen (na eerst de subsidies ervoor te hebben opgedoekt) en gebruikt de opbrengsten van deze heffingen om andere belastingen op duurzamere producten en diensten te verlagen, en om de transitie naar een hoog-efficiënte en hernieuwbare energie-economie te ondersteunen.

Inleiding

Deze korte nota behandelt het vraagstuk van de zekerheid in de elektriciteitsvoorziening voor de middellange tot lange termijn. In deel A komen de belangrijkste begrippen en het analysekader van het onderwerp aan bod. Deze situering is beknopt, maar lijkt toch nodig om een aantal bevindingen uit deel B te kaderen, en ze beter verstaanbaar te maken.

Deel B is toegespitst op de zekerheid van bevoorrading in de energiebronnen die worden omgezet in elektriciteit, en waar zich een probleem zou kunnen stellen voor België.

Omwille van de laatste beperking is enkel aandacht nodig voor aardgas en voor uranium. De bespreking is geplaatst in een context van besluitvorming waarbij de aan de gang zijnde bedreigende klimaatverandering dwingt tot dringende en drastische veranderingen in de energie-economie. Deze context werpt ook een geheel ander licht op aspecten van schaarste, risico's, overenigbaarheden, lock-in, e.d., die de zekerheid van bevoorrading met elektriciteit een nieuwe inhoud geven.

Deel A: Analysekader voor deze studie

Het begrip “Zekerheid van Bevoorrading”

Zoals de prospectieve studie zelf aangeeft, is het begrip zekerheid van bevoorrading niet eenduidig gedefinieerd. Breed omschreven is zekerheid van bevoorrading een uitdrukking voor de “beschikbaarheid van een energiedrager voor de eindgebruikers ervan tegen een betaalbare marktprijs”. (EU CEC. COM(2008) 769 final, p.3). Om deze algemene definitie concreet te maken moet met veel factoren worden rekening gehouden, zoals:

- De termijnen waarbinnen de beschikbaarheid geldt, zoals:
 - zeer korte termijn of accidentele kortstondige onderbrekingen in de leveringen;
 - korte termijn van enkele dagen tot maximum weken waarbij noodsystemen een gedeeltelijke beschikbaarheid kunnen leveren
 - de middellange termijn, vanaf de korte termijn tot de periode dat nieuwe investeringen een aangepaste bevoorradingssituatie kunnen scheppen
 - de lange termijn waarin bevoorrading afhankelijk is van beschikbare en ontgonnen fysische voorraden (fossiele brandstoffen; uranium) of natuurlijke stromen (hernieuwbare bronnen), en van tot stand gebrachte investeringen en institutionele verbanden (contracten, samenwerkingsverbanden, wettelijke regelingen, internationale verdragen)
- De technico-economische eigenschappen van de besproken energiedrager, waarmee een specifieke waaier is verbonden van factoren die de beschikbaarheid van de energiedrager tegen bepaalde prijzen beïnvloeden. Voor de bespreking is een onderscheid tussen elektriciteit, aardgas, steenkolen en uranium wenselijk. Zoals de prospectieve studie aangeeft, is het belang van aardolie in de productie van elektriciteit onbelangrijk geworden, en wordt deze energiedrager daarom niet in die hoedanigheid onderzocht. Er bestaan wel indirecte relaties tussen aardolie en de andere energiedragers, zoals verder in deze nota wordt toegelicht.

De complexiteit van het begrip zekerheid van bevoorrading maakt dat de landen van de EU verschillende definities hanteren. Bijvoorbeeld om een gedeeltelijke onderbreking in de gasbevoorrading te definiëren, hanteren de lidstaten drempels van 10% tot 30% van het gemiddelde gasgebruik en duurtijden van 2 dagen tot 6 maanden (EU CEC. COM(2008) 769 final, p.5).

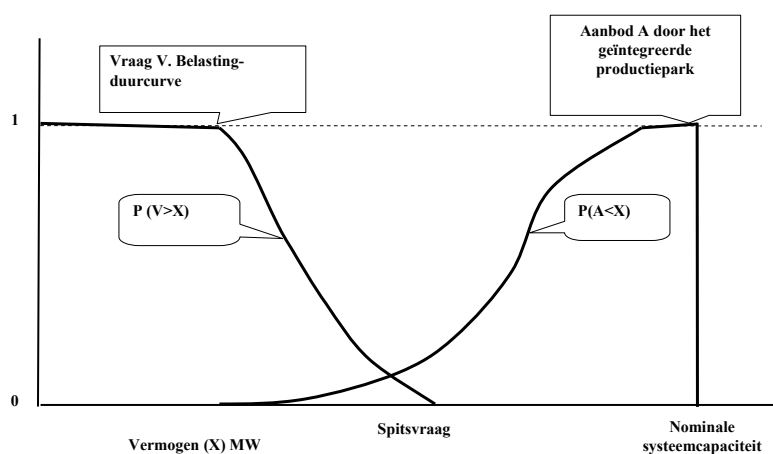
Elektriciteit en zekerheid van bevoorrading

Elektriciteit is een niet-stockeerbare secundaire energievorm die in praktisch reële tijd wordt geconverteerd vanuit andere energiedragers. Dit noodzaakt zeer specifieke voorzieningen voor het vrijwaren van een voldoende (in rijke landen betekent ‘een voldoende’ de facto ‘een hoge’) graad van zekerheid in de bevoorrading op de zeer korte en korte termijn. Dit is niet het voorwerp van de studie omdat deze zich richt op de

middellange termijn, maar er bestaan wel dwarsverbanden tussen de zekerheden over de vier onderscheiden termijnen. Als het tijdperspectief ook nieuwe investeringen in belangrijke capaciteiten insluit, vloeien middellange en lange termijn in elkaar over.

Bij de planning van elektrische productieparken hanteren we maatstaven van leveringszekerheid, zoals LOLP, LOLE en combinaties hiervan. Figuur 1 toont dat deze maatstaven afhankelijk zijn van de onderlinge verhouding tussen twee kansverdelingen: deze over de vraag (de verwachte belastingduurcurven) en deze over het aanbod (de convolutie van de kansverdelingen van de beschikbaarheid van de in de toekomst aanwezige productiecapaciteiten). Het overlappende gedeelte tussen de twee kansverdelingen geeft een visueel beeld van de zekerheid in de bevoorrading: hoe groter de oppervlakte van de overlapping, hoe groter de kans op een onderbreking in de leveringen. Hieruit blijkt ook hoe verschuivingen (in omvang en in structuur) van de toekomstige vraag naar elektriciteit de zekerheid kunnen beïnvloeden. Voor een inzicht in deze zekerheid lijkt een analyse van de vraag, van haar determinanten (ook in de komende jaren van een verstrengd klimaatbeleid) en van de middelen om deze vraag mee te richten, belangrijker dan een te sterke fixering op de aanbodzijde.

Figuur 1: Zekerheid van bevoorrading met elektriciteit: resultaat van het verloop van de vraag naar elektriciteit tegenover het aanbod van een geïntegreerd productiepark



Bij de studies van de bevoorradingszekerheid die ieder Europees land voor de nationale situatie van de vraag naar elektriciteit en voor de centrale productiemiddelen op het eigen grondgebied doorvoert, zijn vele kanttekeningen nodig, zoals:

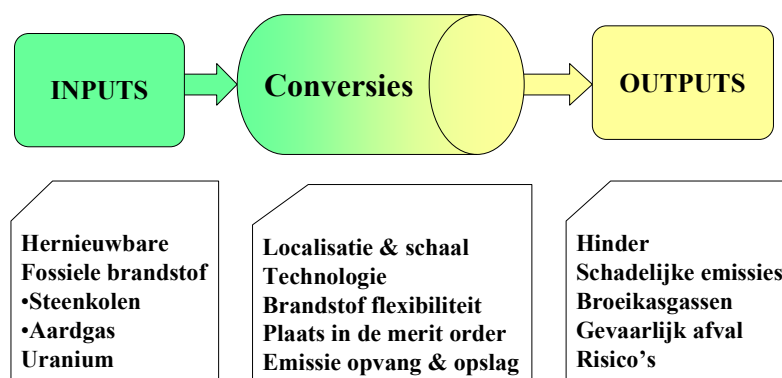
- Meer en meer ontwikkelen gedeelten van het Europese elektrische systeem zich tot regionale, nationale grensoverschrijdende systemen, ondermeer door sterke aanmoediging vanuit de Europese Commissie in haar streven naar een interne markt voor elektriciteit. Dit is ook de situatie voor België, ook bevorderd door de transitpositie die het land geografisch inneemt en door de overname van de

- grootste producent van elektriciteit op Belgisch grondgebied door een Franse groep met internationale investeringen.
- De meeste onderbrekingen in de toegang tot elektriciteit waardoor eindgebruikers worden getroffen zijn geen gevolg van een tekort aan productiecapaciteit, maar van defecten en accidenten in de distributienetten of in de transformatoren. Deze problematiek krijgt ook meer en meer aandacht, ondermeer door de groei in lokale en variabele productiemiddelen die bijkomende eisen stellen aan deze netten.
 - Het functioneren van elektrische productiemiddelen vindt plaats in een ruimer kader dan dat van de technische centrales zelf (zie hierna).

Kader waarin elektrische productiemiddelen functioneren

Figuur 2 geeft een schets van drie hoofdcomponenten die van belang zijn voor de bevoorradingszekerheid van elektriciteit op de middellange en lange termijn. De schets is gebaseerd op het elementaire systeemtrio “inputs – conversie – outputs”. De omzettingen van energie en materie van inputs tot outputs worden beheerst door de hoofdwetten van de thermodynamica.

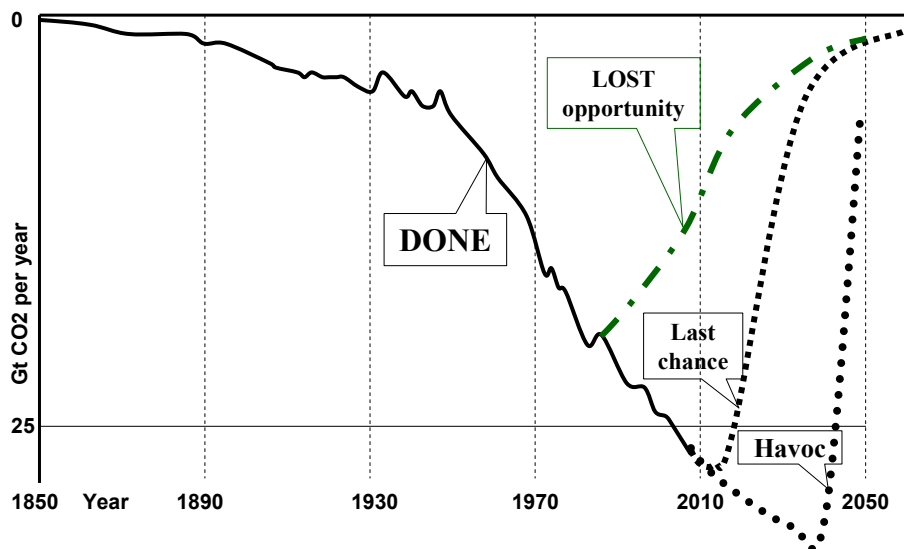
Figuur 2: Systeemmodel van elektriciteitsproductie ter duiding van bestanddelen die de zekerheid van bevoorrading beïnvloeden



Vooraleer ik de bevoorrading met de voor België belangrijkste inputs uranium en aardgas meer in detail bespreek, is een toelichting van de componenten in hun samenhang nodig. De impact van een bepaalde inputfactor op de bevoorradingszekerheid kan immers sterk veranderen met de toegepaste conversiemethoden, en vooral met evaluatie van de effecten, impact en gevolgen van bepaalde outputfactoren. Sommige van deze elementen zijn ook vatbaar voor significante wijzigingen in de komende jaren. Voorbeelden:

- Nieuwe productiemiddelen van elektriciteit kunnen in de toekomst vooral bestaan uit meer kleinschalige, decentraal opgestelde groepen (warmte-kracht, hernieuwbare energie). Deze groepen zijn sterker afhankelijk van de netwerk configuratie, en hun productie is vooral voor het Belgische eindgebruik en minder of niet voor export bestemd. Door de wet van de grote aantallen biedt een vermogen opgesteld in talrijke kleine onafhankelijke eenheden meer leveringszekerheid dan ditzelfde vermogen in een enkele eenheid vervat.
- Verweven met het vorige punt is de aard van gebruikte technologie en input energievormen. Variabele en tijdsongebroken (intermittent) vermogens bieden minder bevoorradingszekerheid dan productiemiddelen die de operator kan sturen en moduleren op grond van beschikbare energievoorraden.
- Voor de toekomst van doorslaggevend belang is de waardering en houding die de rijke industrielanden zullen aannemen ten opzichte van het derde luik van het “inputs – conversie – outputs” trio, in het bijzonder tegenover de risico’s van klimaatverandering en van het gebruik en de verspreiding van atoomtechnologie. De technologisch-industriële mogelijkheden van de conversietechnologieën om op deze risico’s te kunnen anticiperen en antwoorden, vormen een feedback die de aanvaarding van deze technologieën in de toekomst mee zal bepalen. Zo kan de techniek van koolstofdioxide opvang en opslag de inzet van fossiele brandstoffen voor de productie van elektriciteit bestendigen. Het reduceren van de atoomrisico’s onder het niveau dat als verzekerbare risico’s worden aanvaard door een mondiaal gestructureerde en financieel solide verzekeringssector, zal de weerstand tegen de atoomtechnologie doen afnemen.

Figuur 3: CO₂ emissies dumping in de atmosfeer, met 3 scenario's: Lost opportunity in 1979-84; Last chance 2009-14; Havoc bij uitstel. {DONE curve gebaseerd op CAIT.WRI.org graph}



Vandaag staan vooral de risico's van de klimaatverandering voor het voetlicht. De ernst van de mogelijke gevolgen van steeds hogere concentraties van broeikasgassen in de atmosfeer (IPCC, 2007), doen de steun voor drastische en dringende vermindering van de uitstoot van broeikasgassen in de atmosfeer groeien. Meer en meer stemmen gaan op dat de wereld het stabilisatietraject van 430ppm CO₂-eq. (max. 450ppm) moet nastreven om zo de kansen te vergroten dat de stijging van de mondiaal gemiddelde temperatuur beneden 2°C blijft. Dit brengt de noodzaak mee van een erg drastische vermindering van de uitstoot van CO₂ op zeer korte termijn, zoals geschetst in figuur 3.

De industrielanden moeten, in overeenstemming met het klimaatverdrag en met het eigenbelang op langere termijn, de leiding nemen in de transitie van een onduurzame energie-economie naar een duurzame energie-economie.

Voor de elektriciteitssector zou dit inhouden dat deze sector koolstofvrij moet zijn tegen 2050 omdat er veel technologische opties bestaan om hernieuwbare elektriciteit te winnen. Om deze opties ook economisch inpasbaar en betaalbaar te houden, moeten de consumptie en productieprocessen minder intensief elektriciteit verbruiken, vooral door een sterk verhoogde efficiëntie van de gebruikte technieken en systemen (Verbruggen, 2008a). Zo ontstaat een terugkoppeling naar de elektriciteitsvraag (figuur 1) die drastisch krimpt en zo een belangrijke bijdrage levert voor de zekerheid van de bevoorrading van de resterende, meer essentiële behoeften.

De noodzaak fossiele brandstoffen in gebruik te beperken kan voor de elektriciteitssector ook grote groei-impulsen brengen. Bijvoorbeeld het terugschroeven van het gebruik van interne verbrandingsmotoren in voertuigen, kan als beste alternatief het gebruik van de elektrische voertuigen op de voorgrond brengen. Deze belangrijke transitie is mogelijk als de batterijen voor de opslag van chemische energie gemakkelijk wisselbaar met elektriciteit technologisch-economisch een verdere ontwikkeling kennen. Dergelijke ontwikkeling van batterijen zal ook een grote impuls geven aan variabele en decentrale hernieuwbare energiebronnen, wat de gekoppelde transities (elektrisch aangedreven mobiliteit en overgang op hernieuwbare energiebronnen) zal bespoedigen.

Deel B: Zekerheid van bevoorrading met Inputs voor de elektriciteitsproductie

De linkerzijde van Figuur 2 geeft een globaal overzicht van de belangrijkste energie-inputs voor de productie van elektriciteit sinds het toepassen en verspreiden van deze energiedrager over de wereld. Aardolie is daar niet bij vermeld omdat olie geen toekomstige rol van belang meer zal spelen voor de elektriciteitsproductie in de meeste landen, in het bijzonder ook niet in België.

Zoals de prospectieve studie vermeldt (p.47), is België vandaag voor praktisch alle commerciële energiegebruik afhankelijk van invoer uit het buitenland, en voor een aanzienlijk deel vanuit landen buiten de EU. In de toekomst zal deze afhankelijkheid verminderen door een grotere efficiëntie van het energiegebruik (waaronder doorgaans het gebruik van natuurlijke energie of zogenaamde passieve energiegebruiken worden gerekend, b.v. daglicht, natuurlijke ventilatie, verwarming en koeling), en door een verhoogd beroep op binnenlandse hernieuwbare energie.

Als het klimaatbeleid in dringende en drastische zin wordt doorgevoerd (Stern, 2006), zal de onafhankelijkheid van de nationale elektriciteitsbevoorrading stijgen van minimaal (vandaag ~5%), naar significant (~25%) tot wellicht overwegend (>50%). Maar door de schaal, geografie, ligging en verstedelijking van het land zal invoer uit het buitenland een belangrijke rol blijven spelen. Dit geldt ook voor duurzaam voortgebrachte elektriciteit, waarbij bepaalde landen van de EU en sommige EU buurlanden over betere troeven beschikken dan België. De EU streeft er ook naar de markt van de hernieuwbare energie te laten groeien als een Europese markt (EU CEC.COM(2008) 30 final).

Voor de aanwending van fossiele brandstoffen in de elektriciteitsproductie zal de klimaatverandering en het noodzakelijke klimaatbeleid de kaarten grondig herschikken, namelijk:

- Grootschalige nieuwe centrales op steenkolen of aardgas zijn enkel nog aangewezen indien hieraan een performante eenheid voor de opvang en opslag van koolstofdioxide wordt gekoppeld. Grootschalige fossiel gestookte eenheden zonder deze opvang en opslag betekenen een verdere vergrendeling van de energie-economie in een onduurzame productiewijze (lock-in). Wanneer investeerders hier niet bedachtzaam mee omgaan en toch grootschalig bouwen zonder CCS voorzieningen, zou dit kunnen leiden tot een voortijdige sluiting van deze nieuwgebouwde capaciteiten al na enkele jaren van de indienstneming. Ik acht deze waarschijnlijkheid vrij hoog.
- Het toerusten van fossiele elektrische centrales met koolstofdioxide opvang & opslag betekent een groot meergebruik van energie (waardoor ook extra emissies moeten worden opgevangen en opgeslagen) en een verhoging van de kostprijs van de productie (IPCC, 2005; EU CEC.SEC(2008) 2872). Dit maakt fossiele brandstoffen minder aantrekkelijk tegenover de CO₂-armere productievormen: hernieuwbare energie en atoomenergie

Atoomenergie krijgt sinds enkele jaren weer meer steun vanuit industriële en politieke middens. Vooral de laatste maanden lijkt de rehabilitatiecampagne door de nucleaire bedrijven sinds enkele jaren voorbereid en op gang getrokken, successen te boeken. Het is mogelijk dat de nucleaire optie een derde kans krijgt om een belangrijke rol in de energievoorziening te spelen (eventueel te ontwikkelen tot dominante speler in de productie van elektriciteit). Ik analyseer dit als een gevaarlijk pad voor een duurzame toekomst van de wereld, en als tegensteld aan een noodzakelijke duurzame ontwikkeling gebaseerd op het koppel energie-efficiëntie/hernieuwbare energie. De verdere uitdieping van deze vraagstelling behoort niet tot deze opdracht, en de geïnteresseerde lezer wordt verwezen naar Verbruggen (2008a, b).

Beschikbaarheid van aardgas op middellange en lange termijn

De voorraden aan steenkolen zijn nog zeer omvangrijk en bovendien mondiaal goed gespreid. Er bestaan geen studies ons gekend die de bevoorrading met steenkolen op middellange tot lange termijn (decennia tot ver in de volgende eeuw) als problematisch omschrijven qua uitputting van de voorraden.

De aandacht rond eindige voorraden fossiele brandstoffen spitst zich toe op de dragers aardolie en aardgas, waarbij vooral stellingen rond peak-oil regelmatig de pers halen. Een aantal kenmerken van de peak-oil discussie zijn overdraagbaar op aardgas.

Aardgas: verschillend van andere fossiele brandstoffen

Aardgas is verschillend van de fossiele dragers steenkolen en olie op een aantal belangrijke aspecten. Het is een gasvormige drager hoofdzakelijk bestaande uit methaan CH_4 . Door de hoge waterstof/koolstof verhouding en door de toegepaste hoog-efficiënte technieken veroorzaakt het bij verbranding de laagste specifieke uitstoot aan CO_2 van alle brandstoffen. Methaan dat vrijkomt in de atmosfeer is een veroorzaker van het versterkte broeikaseffect omdat een molecule methaan een werking van 23 moleculen CO_2 vertegenwoordigt. De meeste methaan emissies zijn echter niet met de winning en het gebruik van aardgas als energiedrager verbonden, maar met biologische processen. Door de gunstige eigenschappen van aardgas voor het eindgebruik is het een veel gevraagde energiedrager voor stationaire toepassingen (gebouwen, industrie, omzetting naar elektriciteit), en als grondstof in de chemie. Wanneer schaarste in de aardgas-bevoorrading zou optreden, kan de omzetting ervan naar elektriciteit in grootschalige centrales (STEGs) als eerste op de lijst staan om te worden gerationeerd. Dit vooral in landen die een beperkt gedeelte van de elektriciteit opwekken op basis van aardgas.

Aardgas wordt aan de eindgebruikers geleverd in gasvormige fase, en daarom zijn er aardgasnetten nodig voor de levering. Ook het Europees transport gebeurt grotendeels (90%) via pijpleidingen en voor een geringer deel via LNG. België (Fluxys, Zeebrugge) is wel een belangrijke draaischijf van de invoer van LNG voor Europa. Aardgas kan in vloeibare vorm (LNG, op temperatuur -162°C) en onder druk worden opgeslagen. Beide opslagvormen vergen energie om de natuurlijke gasfase hetzij vloeibaar te maken, hetzij

onder druk te brengen. De ontspanning van het gas kan worden benut als een bron van elektriciteitsproductie.

Door zijn specifieke eigenschappen en infrastructuur vormt aardgas een meer precaire inputschakel op het vlak van bevoorradingszekerheid dan aardolie en steenkolen die eenvoudiger te stockeren zijn en niet-leidinggebonden transporteerbaar. Het afsluiten van bepaalde hoofdadrs van de Russische gasaanvoer voor die Europa binnenstroomt in de maanden januari van 2006 en 2009, heeft dit geïllustreerd.

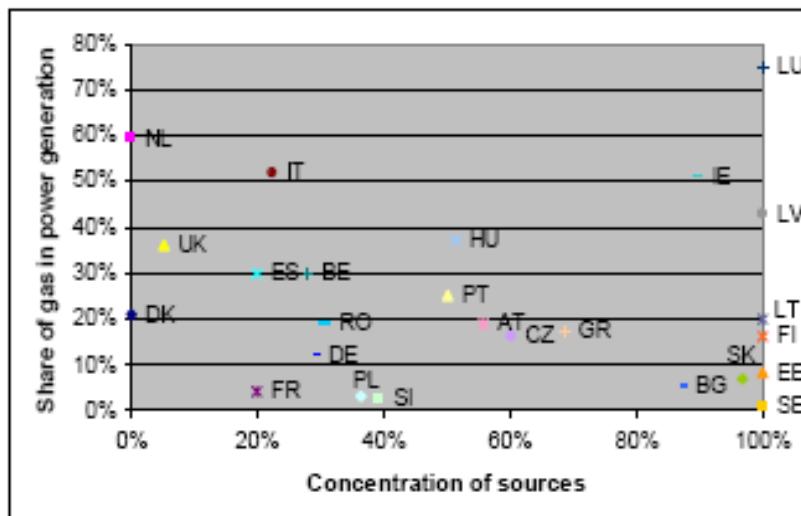
Voor de bevoorradingszekerheid met elektriciteit opgewekt vanuit aardgas treedt er een voorschakeling van een netgebonden energiedrager op. Dit heeft meer betekenis voor de korte termijn zekerheid dan voor de middellange en lange termijn zekerheid van levering. In de korte termijn kan lichte stookolie veel vormen van aardgasgebruik vervangen in de grotere verbrandingsinstallaties die zijn uitgerust voor dual fuel werking.

De zekerheid van gasvoorziening in een lidstaat van de EU wordt beïnvloed door factoren als de beschikbaarheid over eigen gasvelden, de geografische ligging van het land (bereikbaarheid vanuit diverse aanbieders), geologische mogelijkheden om aardgas ondergronds op te slaan, de maturiteit van de bestaande gasmarkt, verschillende niveaus van bestaande interconnecties en de verschillende gebruikssectoren van aardgas met hun graad van substitueerbaarheid (EU CEC. COM(2008) 769 final, p.4).

Om een lange termijn zekerheid te bekomen doen landen een beroep op gasstockage, lange termijn leveringscontracten, productie en import aanpasbaarheid en diversificatie in de leveranciers. Op al deze punten scoort de Belgische aardgasvoorziening goed, mede door de uitbouw van het aardgasplatform in Zeebrugge dat een Europese betekenis heeft. Hoewel de EU aanstuurt op meer co-ordinatie en solidariteit tussen de lidstaten om een gezamenlijk beleid te ontwikkelen voor een verhoogde zekerheid van ononderbroken aardgasleveringen, is er hierin nog een lange weg te gaan. Door het ijveren voor en steunen van pan-europese projecten, zoals een zuidelijke gascorridor naar de Kaukasus, en diversificatie van de LNG aanvoerbronnen, wil de EU de zekerheid van de Europese aardgasbevoorrading op een hoger peil brengen (EU CEC. COM(2008) 782 final, p.14).

Figuur 4 toont de positie van België tussen de andere EU lidstaten inzake gasgebruik voor de opwekking van elektriciteit, dit in functie van twee grootheden per land: het aandeel van aardgas als bron van elektriciteit en de concentratie van de herkomstbronnen van het aardgas. De positie van België, als land dat over geen eigen aardgasvelden beschikt, is evenwichtig en is te benijden door andere landen van de EU.

Figuur 4: Situering van België tussen de andere EU lidstaten op het gebied van aardgasgebruik voor de productie van elektriciteit



Aardgas “reserves” en “resources”

In de literatuur en in de discussie over mondiaal beschikbare voorraden aan fossiele brandstoffen heerst een grote begripsverwarring over de gebruikte terminologie (Al Marchohi and Verbruggen, 2008). Diverse gezaghebbende instituten gebruiken verschillende termen of kennen aan dezelfde termen een (licht) verschillende inhoud toe. Hier gebruik ik de classificatie van de Duitse instelling voor geologie en natuurlijke rijkdommen (afgekort BGR). Een eerste belangrijk onderscheid is dit tussen de reserves en de resources:

- Reserves zijn voorraden die kunnen worden onttrokken aan geologische formaties op een economische wijze tegen de huidige prijzen en met de bestaande technieken.
- Resources zijn aangetoonde voorraden die niet te onttrekken zijn tegen de huidige prijzen met de bestaande technieken, maar die in de toekomst winbaar zouden kunnen worden, alsook de voorraden die geologisch mogelijk zijn maar nog niet zijn aangetoond.

Voor de middellange tot lange termijn (komende 40 jaar) zijn vooral de reserves van belang. Ook binnen de reserves wordt er een gradatie aangebracht:

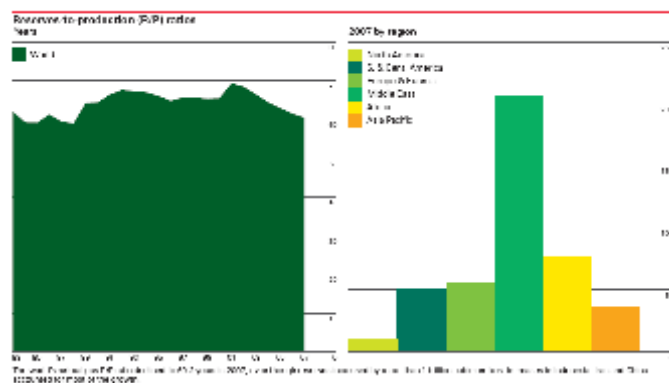
- Bewezen reserves zijn de voorraden waarvan de kans op ontginning hoger dan 90% wordt geschat (ook 1P reserves genoemd)
- Waarschijnlijke reserves hebben een kans op ontginning tussen 50 en 90%. Samen met de bewezen reserves vormen ze de 2P reserves (dus deze met een kans op ontginning >50%).
- Mogelijke reserves zijn het saldo van de vorige categoriën en dus de reserves met een geschatte kans op ontginning vandaag kleiner dan 50%.

Alle drie de categorieën reserves samen worden ook met 3P reserves aangeduid. De olieindustrie gebruikt voor aangekondigde reserves de 2P soort, maar financiële instellingen aanvaarden alleen de meer zekere 1P reserves als waarborg-zekerheid voor het verschaffen van kredieten voor de ontginning van geologische formaties.

Door een hogere stand van de prijzen en door de ontwikkeling van betere technieken voor exploratie en ontginning verschuiven delen van de resources naar reserves, terwijl ook de resources zelf verder kunnen toenemen.

Ook de gepubliceerde gegevens over reserves en resources verschillen naargelang de publicerende instantie. Voor aardgas vermeldt BP Statistical Review-2008 de volgende hoeveelheden bewezen reserves in Triljoen m³: 106,86 voor 1987; 146,46 voor 1997 en 177,36 voor 2007. Er is hier een trendmatige stijging van bewezen reserves over de laatste twintig jaar terwijl in de periode 1987-2007 het mondiaal jaarlijks verbruik van aardgas met 65% is gestegen. Als indicator van beschikbaarheid (casu quo dreigende uitputting) van fossiele brandstoffen publiceert BP ook de ratio “reserves/huidige jaarproductie” of de zogenaamde R/P ratio. Figuur 5 toont de gegevens uit de BP-2008 review. Het gaat hier om een rudimentaire maatstaf, waaraan in het debat teveel belang wordt gehecht als een weergave van uiteindelijke beschikbaarheid van de fossiele voorraden.

Figuur 5: Aardgas Reserves/Productie ratio [Bron:BP, 2008]



Ten eerste blijven reserves een hoofdzakelijk technologisch-economisch bepaalde grootheid die met veel onzekerheid is behept. Omdat de fossiele brandstoffen onder de grond op ontoegankelijke plaatsen vertoeven, blijft iedere schatting een proxy van de werkelijkheid: men schat reserves, men meet ze niet. Dit geeft aanleiding tot speculatieve

interpretaties in de twee richtingen: pessimistisch en optimistisch. Sinds tientallen jaren schommelen R/P ratio's van olie rond 40 jaar en van aardgas rond 60~65 jaar (BP, 2008). Deze opmerkelijke stabiliteit kan de loutere reflectie zijn van de planningshorizon van de olie & gasondernemingen voor het opzetten van grootschalige investeringen in exploratie, ontginning en transport van deze energiedragers.

Zou er een reden bestaan waarom dit soort ondernemingen zich nog meer vooruitziend zou opstellen dan alle andere ondernemingen in de wereld, en wat zou het nut daarvan kunnen zijn? Aard, omvang, ligging en ontwikkeling van reserves blijven ook gevoelige bedrijfsinformatie van deze bedrijven die ze niet zomaar op straat gooien. Met andere woorden: informatie inwinnen over reserves kost geld, en als bepaalde lange termijn informatie van weinig nut is voor de bedrijven vandaag, wordt deze informatie niet ingewonnen. En wie over de informatie beschikt, houdt die voor zichzelf. Daarbij komt nog dat de Westerse olie&gas ondernemingen zelf minder toegang hebben tot de eigenlijke natuurlijke hulpbronnen die na de oliecrisis van de jaren 1970 in handen zijn gekomen van nationale entiteiten. Deze laatste beschikken over veel minder kennis en middelen om de geologische toestand van hun ondergrond nauwkeurig in kaart te brengen. En ook hier spelen diverse strategische overwegingen mee om weinig tot geen informatie met derden te delen over de beschikbaarheid van natuurlijke rijkdommen in de ondergrond.

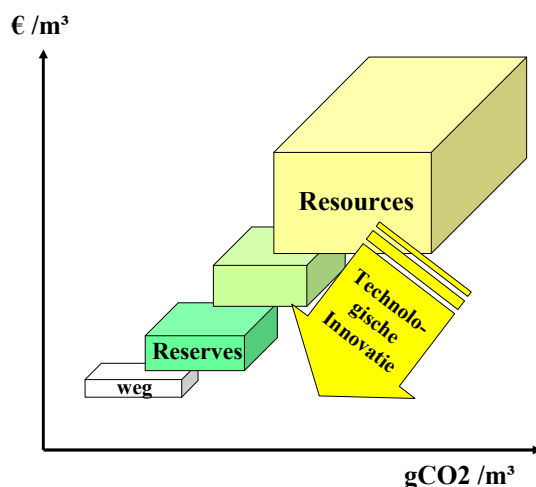
De Duitse BGR geeft per einde 2007 als conventionele reserves (te winnen tegen huidige prijzen met bestaande technieken) een hoeveelheid van 183 Triljoen m³ (dus slechts een beperkte hoeveelheid hoger dan de door BP-2007 gepubliceerde reserves). Voor de niet-conventionele winbare reserves is BGR kritischer: slechts 2 Triljoen m³ aardgas onder de vorm van aquifer gas, nu winbare hydraten en methaan onttrekbaar van steenkoolbedden. De niet-conventionele winning vereist speciale interventies, zoals het kunstmatig veroorzaken van spleten in de sedimentaire gesteenten of het inbrengen van een substantie om druk uit te oefenen op de aanwezige vloeistof (voor oliewinning). Naast de hogere kosten voor investeringen en energie, gaan deze versterkte vormen van ontginning ook gepaard met hogere emissies. Deze technieken zijn beter gekend en geïllustreerd bij de oliewinning dan bij de aardgaswinning, maar de tendensen van hogere kostprijs en bijkomende emissies zijn op hoofdlijnen ook van toepassing voor de winning van aardgas.

BGR (2008) publiceert ook data over de aardgas resources, de voorraden die nu niet winbaar zijn tegen de huidige prijzen en met de stand van de techniek. Als conventionele resources geeft BGR een hoeveelheid van 207 Triljoen m³ en als niet-conventionele resources een hoeveelheid van 1533 Triljoen m³ (o.a. massale voorraden hydraten in de oceaandiepten).

Figuur 6 geeft een schets van de gegevens van BGR in een assenstelsel met op de ordinaat de kostprijs van de gewonnen fossiele brandstof en op de abscis de emissies aan CO₂ die vrijkomen bij de winning van de opeenvolgende kwaliteiten van de voorraden. Links beneden geeft een balkje weer hoeveel aardgas er mondiaal de laatste veertig jaar werd opgestookt. Het volgende balkje zijn de beschikbare conventionele reserves (die de R/P ratio van 60 jaar reflecteren). Dan volgen twee grotere volumes van resources, met vooral de hoogst en meest rechts gelegen balk als volumineus. De kostprijs van de ontginning van deze volumes is significant hoger dan de nu geldende kostprijzen voor

aardgaswinning, en de emissies die bij de winning vrijkomen worden ook als gevoelig hoger geacht. Toch moet dit worden genuanceerd omdat technologische innovatie de positie van de resources balken kan doen verschuiven naar de oorsprong toe, zoals de pijl aangeeft. Hoe de technologische innovatie concreet zal verlopen, is nu onmogelijk in detail te omschrijven.

Figuur 6: Gradatie van brandstofvoorraden in functie van kostprijs en CO2 emissiefactor (toepassing aardgas)



De natuurlijke sequentie bij het ontginnen van natuurlijke rijkdommen

Zicht op figuur 6 verklaart de vastgestelde sequentie waarmee ondernemingen natuurlijke rijkdommen ontginnen. De leidraad hierbij is te beginnen met de voor de hand liggende, nabije en goedkope voorraden aan te breken. De aangebroken bronnen zal men blijven exploiteren tot de (korte termijn) marginale kostprijs van verdere ontginning uitstijgt boven de lange-termijn kostprijs van nieuwe ontginningen. Dit verschijnsel treedt op door bijvoorbeeld uitputting van bestaande bronnen of door het goedkoper worden van alternatieve bronnen (zoals bijvoorbeeld import uit het buitenland). Omdat de verhouding tussen korte termijn kostprijs van de eigen bronnen en de marktprijs van andere bronnen een dynamisch gegeven is (afhankelijk van een complex van variabelen), en omdat voorraden fossiel brandstoffen niet bederven of verdwijnen in rusttoestand, kan een exploitant of een land een fluctuerend uitbatingsschema over de tijd hanteren. Dit fenomeen is bijvoorbeeld vast te stellen in het historisch verloop van de oliewinning van de VSA.

De natuurlijke sequentie voor de ontginning is grafisch in figuur 6 weer te geven als de opgaande trap van links-onder in de richting van rechts-boven naarmate de goedkope en minst vervuilende bronnen uitgeput raken. Technologische innovatie zal de hoogte van de kostprijs-treden verlagen en de emissies reduceren, maar de fysische realiteiten van de geologische formaties en vindplaatsen kan de mens niet veranderen.

Om een volgende fase in de ontginning van mondiale voorraden aan fossiele brandstoffen tot ontwikkeling te brengen, is een marktprijs signaal noodzakelijk. Als door toenemende onevenwichten in de olie of gasmarkten de vraag naar deze brandstoffen sterker groeit dan het aanbod kan leveren vanuit de voorraden van een gegeven kwaliteitsniveau die in ontginning zijn, zal de marktprijs een opwaartse druk ondervinden. De opwaartse prijsaanpassing kan gepaard gaan met belangrijke politieke en economische turbulenties die ook overdreven uitschieters van de prijzen meebrengen waarop zich bovendien speculatieve excessen kunnen enten. Maar na een aantal maanden of jaren stabiliseren de prijzen op een nieuw, hoger plateau. Maatschappelijk gezien geeft dit aanleiding tot technologische en economische aanpassingen om de nieuwe situatie te accommoderen.

Een dergelijke prijsplateau verhoging is opgetreden in twee stappen in de jaren 1970 (1973 en 1979) met aardolie in de toonaangevende positie, en met een plateau prijs van ca. \$20/bbl gedurende 20 jaar nadien. Een nieuwe aanpassing is in ontwikkeling sinds 2001, waarbij de prijs van aardolie op een niveau hoger dan \$20/bbl zal komen te liggen, b.v. stabiliseren rond \$40~45/bbl voor een langere periode. Dit zal opnieuw aanpassingen van de consumptie- en productiewijzen met zich meebrengen. Met de omvangrijke rijkdom en de voortschrijdende technologische ontwikkelingen zijn deze aanpassingen op zich niet bedreigend, en zullen ze de zekerheid van de energiebevoorrading versterken.

Deze analyse betekent ook dat de verschijnselen van peak-oil en van peak-gas eerder transiënte verschijnselen zijn, die niet van grote betekenis zijn voor de energiehuishouding van de komende decennia. Om het met een metafoor te stellen: de uitdagingen waarvoor de wereld, en op de eerste plaats de industrielanden waaronder België, op energievak staan, situeren zich niet aan de toevoerkraan van de fossiele brandstoffen. Wat de kraan levert, zal in de toekomst wat vuiler en bovendien wat duurder worden, maar de kraan kan blijven lopen in de lange-termijn toekomst. De echte uitdaging bevindt zich aan de kant van de afloop: de atmosfeer is oververzadigd met broeikasgassen, in het bijzonder koolstofdioxide. Dit gas ontstaat onvermijdelijk bij de oxidatie van koolstofhoudende brandstoffen, en de technieken om dit gas uit de rookgassen te verwijderen zijn nog niet commercieel beschikbaar en zullen niet economisch toepasbaar zijn voor de kleinschalige emissiebronnen.

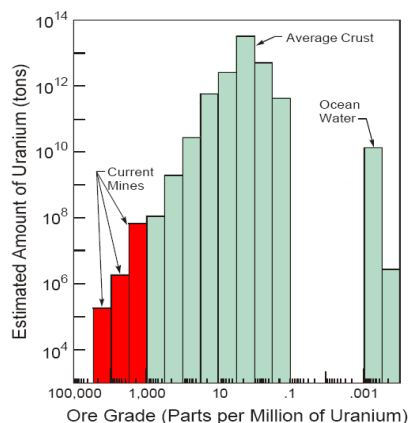
De beperkingen opgelegd door de eindige draagkracht van de atmosfeer dwingen tot dringende en ingrijpende reducties van de aanwending van fossiele brandstoffen. Deze beperkingen oefenen tegenovergestelde krachten uit op de vraag-aanbod evenwichten op de olie en gasmarkten dan deze actief in de periode 2001-medio 2008. Door het snel en drastisch terugdringen van de vraag naar fossiele brandstoffen zal de opwaartse druk op de prijzen verdwijnen. Dit kan maken dat een nieuwe stap in de ontginningsfase van olie en gasvelden die moeilijker en duurder zijn, niet kan worden gefinancierd, zodat ook het aanbod van fossiele brandstoffen gelimiteerd blijft. Zo komen privé-ondernemingen en publieke overheden in nieuwe verhoudingen tegenover mekaar te staan, zoals in de laatste sectie van deze nota wordt toegelicht.

De rol van atoomenergie en de voorraden uranium

Vandaag leveren zeven atoomcentrales in België en participaties in Franse nucleaire capaciteit (vnl. CHOOZ B1 en B2) meer dan de helft van de elektriciteit voor België. De bespreking van de toekomst op middellange termijn van de Belgische centrales valt buiten het bestek van deze nota. Twee elementen komen hier kort ter sprake: de beschikbaarheid van uranium op de middellange termijn, en de lange-termijn verhoudingen van de diverse opties van stroomvoorziening (hernieuwbaar, atoom en fossiele brandstoffen) en van een vergaande verhoging van de energie-efficiëntie in een toekomst van een dringend en drastisch klimaatbeleid.

Qua beschikbaarheid van uranium op de middellange termijn, volgen analyse en conclusie in grote lijnen het patroon zoals hierboven uitgewerkt voor aardgas: gradatie van de diverse uraniumbronnen, natuurlijke sequentie van exploitatie, en mogelijkheid grotere voorraden aan te snijden als de marktprijs van het erts voldoende stijgt en mee de technologische innovatie voor ontginning kan aandrijven. Figuur 7 geeft een goed beeld van de reserves en resources aan uranium en de aansnijding van de goedkopere delen ervan tot dusver. Zoals bij gas, zijn de voorraden uranium van lagere kwaliteit groter dan de gemakkelijk te winnen hoeveelheden.

**Figuur 7: Spreiding van uranium op aarde en ontginning van de meest dichte lagen
(Bron: American Nuclear Society, 2001)**

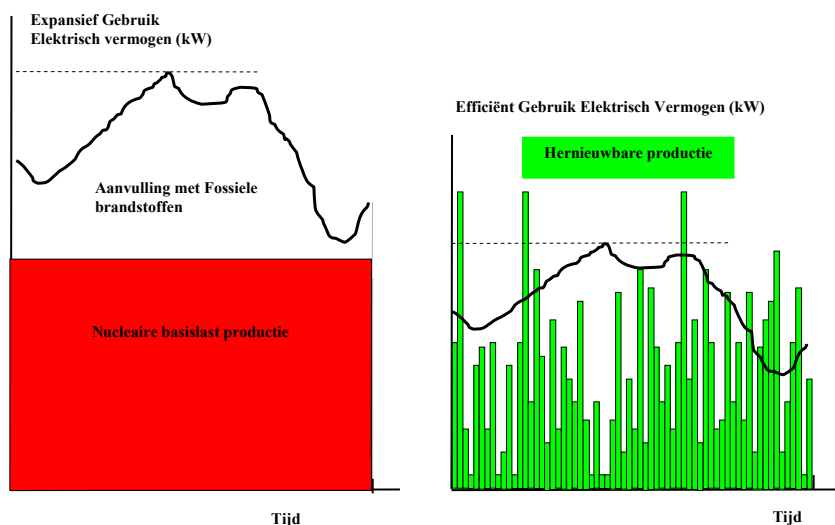


De lange-termijn verhoudingen tussen de drie hoofdbronnen/vormen van elektriciteits-opwekking in de toekomst liggen complex en zijn nog weinig het voorwerp geweest van expliciet gericht onderzoek. Wel zijn ze voortdurend aanwezig op de achtergrond van discussies over de te kiezen productiemiddelen voor de toekomst. Verbruggen (2008b) bespreekt de verhoudingen tussen hernieuwbare energie en atoomenergie als de twee belangrijke opties voor een lage-koolstof elektriciteitsproductie, met in de zijlijn (maar ook van groot belang) de efficiëntie in het gebruik van elektriciteit en de aanvullende

productie op basis van fossiele brandstoffen (aardgas). Figuur 8 (linkerhelft) geeft weer hoe een massale uitbouw van atoomenergie de expansieve vraag naar elektriciteit zou dekken, en welke deel van de vraag door aanvullende leveringen uit fossiele centrales (of uit stockeerbare hernieuwbare energie zoals biomassa of dam-hydro) tedecken is. Figuur 8 (rechterhelft) toont de wisselvalligheid van flow-gebaseerde hernieuwbare energie (b.v. zon, wind, stroom-hydro). Deze dure opties zijn enkel als dominante leveringsmodus betaalbaar als de intensiteit van het gebruik van elektriciteit sterk daalt. De noodzakelijke aanvullingen uit andere elektrische productiemiddelen zijn erg grillig, en vereisen specifieke installaties (decentraal opgestelde, flexibele vermogens).

De toekomstbeelden van de atoomindustrie en van de hernieuwbare elektriciteitsproductie divergeren. Naast de grote verschillen in de geïntegreerde productieparks, zijn ook de elektrische netwerken die de verschillende productieparks onderling verbinden en toeleveren aan de eindgebruikers van een andere soort. Belangrijk is ook te signaleren dat een atoomcentrales gebaseerde aanpak een gebruiks-expansief karakter bezit (IEA, 2006: 134, 242), terwijl de transitie naar een praktisch volledige hernieuwbare energie-economie de efficiëntie van het energiegebruik zal vereisen en ook de vraag naar elektriciteit zal minimaliseren. De risico's verbonden aan de divergerende paden zijn ook sterk verschillend. Atoomenergie brengt specifieke risico's mee zoals incidenten, accidenten, radioactiviteit doorheen de gehele brandstofcyclus, radioactief afval, verspreiding van de technologische kennis en van de toegang tot atoomwapens. Hoewel het moeilijk is deze risico's goed in te schatten en in rekening te brengen, is dit wel een cruciale component in een studie over de zekerheid van bevoorrading met elektriciteit in een land dat in grote mate op atoomenergie een beroep doet of zou willen doen. Met een toenemende expansie van de atoomenergie in Europa en/of wereldwijd nemen de risico's bovendien toe.

Figuur 8: Divergente ontwikkeling van elektrische productiesystemen, gebaseerd op respectievelijk atoomenergie of hernieuwbare energie



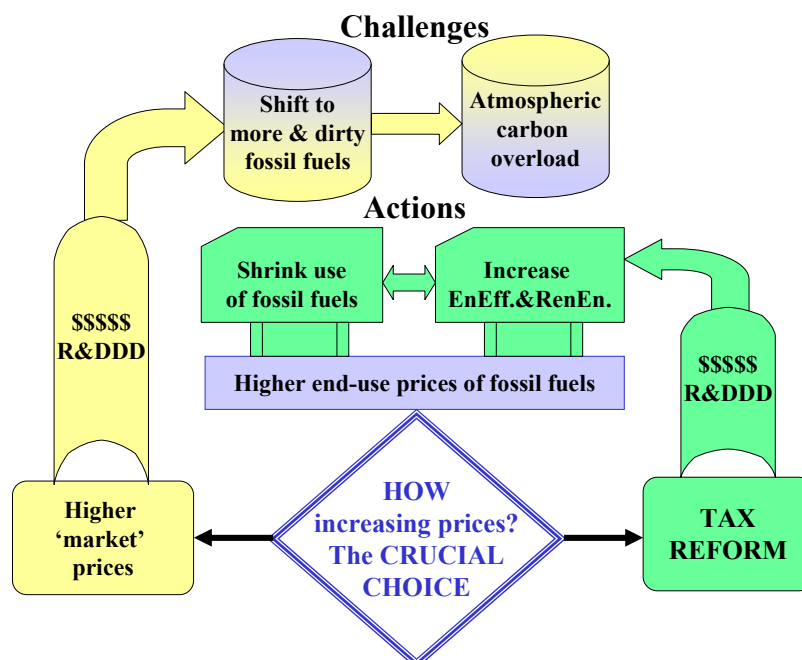
Epiloog: Klimaat- en energiebeleid: taksombouw als onmisbare trap

Bij de bespreking van de beschikbare voorraden fossiele brandstoffen of uranium is gesteld dat het aansnijden en tot ontwikkeling brengen van verder van de markt verwijderde bronnen, telkens gebeuren onder de stuwkracht van hogere marktprijzen voor het materiaal.

Bij de verwijzing naar de aan de gang zijnde dreigende klimaatveranderingen is gesteld dat de atmosfeer overladen is met koolstofdioxide, en dat het gebruik van fossiele brandstoffen aan afbouw toe is. De ombouw van een energie-economie die vandaag 88% van haar commerciële energie betreft uit fossiele brandstoffen, naar een koolstofvrije economie neemt als veiligste en zekerste pad dit van de hernieuwbare energiewinning. Deze dure keuze noodzaakt laag-intensieve energiegebruiken, die in een economisch goed draaiende maatschappij moeten worden geïnduceerd en onderhouden door hoge (en hoog blijvende, indien nodig stijgende) eindprijzen van de energie.

Zo ontstaat er een bijkomende vraag: hoe moeten de eindprijzen van energie hoog worden gehouden zonder dat ze ervoor zorgen dat dit tot sterkere impulsen leidt om het aanbod van onduurzame energie op te drijven? Het antwoord is hier te vinden bij het instrument van de taksombouw: de overheid verhoogt stelselmatig de eindprijzen van onduurzame energiedragers via aangepaste heffingen (na eerst de subsidies ervoor te hebben opgedoekt) en gebruikt de opbrengsten van deze heffingen om andere belastingen op duurzamere producten en diensten te verlagen, en om de transitie naar een hoog-efficiënte en hernieuwbare energie-economie te ondersteunen. Figuur 9 toont de bestanddelen van de hierboven ontwikkelde vraagstelling.

Figuur 9: Taksombouw als cruciale switch naar een duurzame energie-economie



Bibliografie.

- Al Marchohi, M., Verbruggen, A., 2008. Fossil Fuels: Reserves and Resources. University of Antwerp, mimeo, 25p.
- BP, 2008. Statistical Review of World Energy. June 2008, 45p.
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), 2007. Reserves, Resources and Availability of Energy Resources 2006.
- Craig, R., et al., 2001. Resources of the Earth; origin, use and environmental impact. Prentice Hall, New Jersey
- EU CEC. COM(2008) 30 final. 20 20 by 2020. Europe's climate change opportunity. Commission of the European Communities., 12p
- EU CEC. COM(2008) 769 final. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of Regions on the Directive 2004/67/EC of 26 April 2004 concerning measures to safeguard security of natural gas supply. Brussels, 13.11.2008, 13p.
- EU CEC. COM(2008) 782 final. Green Paper. Towards a secure, sustainable and competitive European energy network. Brussels, 13.11.2008, 15p.
- EU CEC. SEC(2008). Energy Sources, Production Costs and Performance of Technologies for Power Generation, Heating and Transport. Commission Staff Working Document, accompanying the Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of Regions, Second Strategic Energy Review: An EU Energy Security and Solidarity Action Plan. Brussels, 13.11.2008, 29p
- IEA – International Energy Agency, 2006. Energy Technology Perspectives. Scenarios and Strategies to 2050. Paris, 479p.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2005) Carbon Dioxide Capture and Storage, Special report, Summary for Policymakers, 53p.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) Climate Change 2007. Assessment Report Four. www.ipcc.ch
- Stern, N., 2006. STERN REVIEW: The Economics of Climate Change, Executive Summary, 27 (xxvii) p.
- Tsokounoglou, M., et al., August 2008. The end of cheap oil: Current status and prospects. Energy Policy 36: 3797-3806.
- Verbruggen, A., 2008a. De ware energiefactuur. Houtekiet, Antwerpen, 292p.
- Verbruggen, A., 2008b. Renewable and nuclear power: A common future? Energy Policy 36: 4036-4047.
- Verbruggen, A, Al Marchohi, M., 2009. The Relevance of Peak-oil for Climate Change Policy. University of Antwerp, mimeo draft.
- Watkins, G.C., 2006. Oil scarcity: What have the past three decades revealed? Energy Policy 34: 508-514.
- World Resource Institute, April 2006. Earth Trends Environmental Information.