

Auteursrechterlijke overeenkomst

Opdat de Universiteit Hasselt uw eindverhandeling wereldwijd kan reproduceren, vertalen en distribueren is uw akkoord voor deze overeenkomst noodzakelijk. Gelieve de tijd te nemen om deze overeenkomst door te nemen, de gevraagde informatie in te vullen (en de overeenkomst te ondertekenen en af te geven).

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling met

Titel: Kernenergie : analyse van de argumenten pro-kernuitstap

Richting: master in de toegepaste economische wetenschappen - marketing

Jaar: 2008

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Ik ga akkoord,

NEVEN, Erik

Datum: 5.11.2008

Kernenergie

Analyse van de argumenten pro-kernuitstap

Erik Neven

promotor :
Prof.dr.ir. Frans LEMEIRE

Woord vooraf

Deze eindverhandeling, die het sluitstuk van mijn studies vormt, kwam mede tot stand dankzij de hulp van enkele mensen. Ik maak in dit voorwoord dan ook gebruik van de gelegenheid om al diegenen te bedanken die mij hebben bijgestaan in het schrijven ervan.

In de eerste plaats denk ik hierbij aan mijn promotor Prof. Dr. Ir Frans Lemeire, die mij steeds professioneel begeleid heeft. Zijn brede expertise en interesse waren een grote inspiratiebron, ook buiten het kader van deze eindverhandeling.

Verder wil ik Bart Martens en Tinne Van der Straeten bedanken om de standpunten van sp.a, respectievelijk Groen! nader toe te lichten. Ook wil ik alle mensen bedanken die tijd hebben vrijgemaakt om een vragenlijst in te vullen.

Tenslotte wil ik mijn vriendin en mijn zus bedanken voor de praktische en morele steun bij dit project.

Samenvatting

In 2003 werd door het parlement de wet op de kernuitstap goedgekeurd. Concreet betekent dit dat tussen 2015 en 2025 de zeven Belgische kernreactoren gesloten worden. Een dergelijke maatregel zal een drastische ommekeer in de energievoorziening voor de komende decennia teweegbrengen. Toch bestaan er twijfels of deze maatregel wel goed doordacht en weloverwogen is.

Garantie tot bevoorradingszekerheid is één van de grote pijlers in het betoog van de voorstanders van de kernuitstap. Volgens hen zullen de gerealiseerde en lopende investeringen in alternatieve productiecapaciteit volstaan om de kerncentrales te sluiten. Binnen deze discussie is het belangrijk om eerst het elektriciteitsverbruik in België te analyseren. De elektriciteitsvraag is de afgelopen jaren sterk gestegen en het merendeel van de projecties toont aan dat de vraag verder zal stijgen in de toekomst.

Kernenergie is momenteel erg belangrijk voor de Belgische elektriciteitsproductie: het aandeel van kernenergie in de elektriciteitsproductie bedraagt ongeveer 55 %. Wanneer vanaf 2015 tot 2025 alle kerncentrales sluiten zal men ongeveer 55 % van de elektriciteitsproductie moeten vervangen, ofwel moet het elektriciteitsverbruik drastisch inkrimpen. Klassieke thermische centrales, die momenteel ongeveer 39 % van de elektriciteitsproductie uitmaken, zijn praktisch uitgesloten als alternatief. De stijging in CO₂-uitstoot die hiermee gepaard gaat zou dan immers te hoog zijn om de verplichtingen inzake het Kyoto-protocol, die België aanging, na te komen. Ook het beperkte aanbod van fossiele brandstoffen en de daarmee gepaard gaande hoge prijzen spelen in het nadeel van de klassieke thermische centrales als alternatief. Het elektriciteitstekort zal idealiter door een combinatie van verschillende bronnen van hernieuwbare energie opgevangen moeten worden. Gezien het beperkte aandeel dat deze energiebronnen vandaag de dag in de elektriciteitsproductie vertegenwoordigen zullen er nog grote investeringen nodig zijn.

In hoofdstuk 3 worden de verschillende manieren van elektriciteitsproductie besproken die gebruikt worden voor de elektriciteitsproductie in België. Er wordt aangetoond dat klassieke thermische centrales goedkoop maar vervuilend zijn. Gasturbines vormen hier enigszins een uitzondering op, de gebruikte brandstoffen zijn zeer zuiver in vergelijking met de andere fossiele brandstoffen. Bij een stoom- en gascentrale (STEG) gebruikt men het verbrandingsgas dat de gasturbine verlaat voor een tweede thermische

centrale. Doordat men gebruik maakt van een gecombineerde cyclus in plaats van een eenvoudige cyclus kan het rendement aanzienlijk hoger zijn.

Veel voorstanders van de kernuitstap zien een groot potentieel in warmtekrachtkoppeling (WKK). De warmte die ontstaat bij de elektriciteitsproductie gaat men bij deze centrales nog gebruiken voor een achtergeschakeld proces, bijvoorbeeld het verwarmen van een gebouw. Zo ontstaat er een rendementsstijging. Bovendien wordt er in totaal, bij de elektriciteitsproductie en de warmteproductie, ook minder CO₂ uitgestoten. Het WKK potentieel wordt vaak overschat omdat de geproduceerde warmte niet altijd nuttig gebruikt kan worden. De warmte kan immers niet voor onbeperkte tijd opgeslagen worden omdat er steeds verliezen zijn.

Elektriciteitsproductie uit windkracht wordt ook vaak als een alternatief voor kernenergie aangehaald. Toch blijft windenergie, met een totaal geïnstalleerd vermogen van 287 MW in 2007, slechts van beperkt belang in België. De huidige elektriciteitsproductie uit windenergie bedraagt dan ook slechts ongeveer een procent van de totale productie. Er bestaan verschillende studies die het potentieel van windenergie in België onderzoeken. Van eensgezindheid onder de onderzoekers is er geen sprake. De gevonden resultaten zijn echter niet noodzakelijk tegenstrijdig. De discrepanties kunnen verklaard worden door verschillen in hypothesen die men aanneemt rond enkele parameters.

In België is momenteel een groot deel van de elektriciteitsproductie uit hernieuwbare energiebronnen afkomstig uit biomassa. Het potentieel voor elektriciteitsproductie uit biomassa is niet eenvoudig in te schatten omwille van onzekere en onvolledige gegevens over de biomassastromen. Fotovoltaïsche omzetting, brandstofcellen en hydraulische centrales zijn andere vormen van hernieuwbare energiebronnen. Het op korte termijn te valoriseren potentieel in België is echter beperkt voor deze energiebronnen.

Kernenergie als energiebron wordt in hoofdstuk 4 besproken. Na een uiteenzetting van de werking van een kerncentrale wordt aangetoond dat kernenergie ook op globaal niveau een belangrijke energiebron is. Vooral in de ontwikkelde, westerse landen wordt er in grote mate gebruik gemaakt van deze energiebron. Verder wordt er in hoofdstuk 4 een overzicht gegeven van de verschillende typen kernreactoren die er doorheen de

geschiedenis ontwikkeld zijn. De evolutie gaat vandaag nog steeds voort met de ontwikkeling van kernreactoren van de vierde generatie.

Een beperking van kernenergie, die vaak door sceptici wordt aangehaald, is het eindig karakter van de grondstof uranium. Uranium is slechts in beperkte mate aanwezig op onze planeet en zal dus ooit uitgeput raken. Deze bewering moet echter genuanceerd worden.

Indien men vandaag een nieuwe kerncentrale bouwt is er gegarandeerd genoeg uranium om de productie te garanderen gedurende de hele levensduur van de centrale.

Na het kernongeval in Tsjernobyl rezen er veel vragen over de technische veiligheid van kerncentrales. Een dergelijk ongeluk is erg onwaarschijnlijk in een Belgische centrale omwille van het verschil in technologie tussen de Russische RBMK-centrale die in Tsjernobyl gebruikt werd en de PWR-centrales die men in België gebruikt. In vergelijking met andere industriële activiteiten heeft kernenergie een behoorlijk positieve veiligheidsbalans, ongelukken zijn eerder zeldzaam. Dit komt doordat er in deze industrie een ware veiligheidscultuur heerst. Er werden door verschillende instanties vele maatregelen genomen om de risico's van een kernongeval zo goed mogelijk te beperken. Naast de technische veiligheid moet men bij de toepassing van kernenergie ook rekening houden met het risico van proliferatie en terrorisme. Proliferatie is de ongecontroleerde verspreiding van nucleaire technologie, kennis en materiaal voor militaire en niet-vreedzame toepassingen. Ook hier werden er vele maatregelen genomen om de veiligheid te garanderen en zijn de risico's zeer miniem.

Radioactief afval wordt aanzien als één van de meest ernstige problemen die kernenergie met zich meebrengt. Het gevaar bevindt zich in het stralingsgevaar dat uitgaat van het kernafval. Bij deze kwestie komt er zowel een ethisch als een technisch aspect kijken. Men is continu op zoek naar nieuwe technologieën om bijvoorbeeld de productie van radioactief afval te minimaliseren of de levensduur van het afval te verminderen. De ethische kwestie handelt over de vraag of wij zonder scrupules radioactief afval kunnen overdragen aan honderden generaties na ons. Het probleem van het radioactief afval kan men langs drie wijzen benaderen. Het kan gaan om de kwantiteit van het afval, de kwaliteit maar ook de perceptie van het publiek is van belang. De kwantiteit is niet noodzakelijk een probleem. Radioactief afval vertegenwoordigt slechts 1 % van de totale hoeveelheid toxisch afval dat in Europa

jaarlijks geproduceerd wordt. Van die 1 % is slechts een fractie hoogradioactief. Ook het kwaliteitsprobleem van het nucleair afval moet men nuanceren. Ander industrieel toxisch afval kan minstens even gevaarlijk zijn en gevaarlijk blijven voor vele jaren, zo niet tot het oneindige.

Een argument dat tegenstanders van kernenergie vaak aanhalen is dat het een erg dure energiebron is. Uit verschillende onderzoeken is echter gebleken dat kernenergie zeker competitief te noemen is in vergelijking met andere energiebronnen. Oorzaak van deze tegenstrijdige bevindingen is de methodologie die men gebruikt voor de kostenberekening. De meeste studies zijn het erover eens dat kernenergie een zeer lage externe kost heeft.

Tegenstanders van kernenergie weigeren soms bovenstaande wetenschappelijke bevindingen te aanvaarden. Vooral sp.a en Groen! zijn gekend om hun tegenstrijdige interpretaties. Om een beter begrip hiervan te verkrijgen werden er twee diepte-interviews afgenomen. Voor Groen! werd parlementslid en vice-voorzitter van de partij, Tinne Van der Straeten, geïnterviewd. Voor Sp.a werd, Vlaams volksvertegenwoordiger en senator, Bart Martens geïnterviewd. Beiden hebben een grote expertise met betrekking tot kernenergie en zijn dus zeer geschikt om de standpunten van hun partij toe te lichten. Uit de interviews kan besloten worden dat er bij beide partijen een zekere aprioristische stemming rond kernenergie heerst.

Om een idee te krijgen van welke argumenten nu echt leven bij de voorstanders van de kernuitstap werd een vragenlijst afgenomen. Hieruit werd een schaal afgeleid die de hiërarchie weergeeft van de argumenten. Zowel de voorstanders als de tegenstanders geven aan dat zij het afvalprobleem het grootste nadeel van kernenergie vinden. Een opvallend verschil tussen de tegenstanders en voorstanders van kernenergie is de plaats die aan vervuiling, omschreven als de uitstoot van schadelijke stoffen tijdens de elektriciteitsproductie, wordt gegeven. Blijkbaar percipiëren veel tegenstanders van kernenergie vervuiling, in de vorm van uitstoot van schadelijke stoffen, als een ernstig nadeel van kernenergie. We kunnen besluiten dat de hiërarchie toegekend door tegenstanders van de kernuitstap beter aansluit met de wetenschappelijke vaststellingen dan de hiërarchie die werd bekomen voor de voorstanders van de kernuitstap.

Inhoudsopgave

Woord vooraf

Samenvatting

Lijst van afkortingen

1

Hoofdstuk 1: Probleemstelling

3

1.1 Praktijkprobleem: omschrijving en situering

3

1.2 Centrale onderzoeksvraag

6

1.3 Deelvragen

7

1.4 Methodologie en onderzoeksopzet

7

Hoofdstuk 2: Energieverbruik

11

2.1 Energieverbruik in België

11

2.2 De elektriciteitsmarkt in België

17

2.3 Stroomuitwisseling

19

Hoofdstuk 3: Elektriciteitsproductie in België

21

3.1 Aandeel van de verschillende energiebronnen in de Belgische elektriciteitsproductie

21

3.2 Overzicht van de verschillende energiebronnen en elektriciteitscentrales

24

3.2.1 Productie via klassieke thermische centrales

24

3.2.2 Productie via gasturbines en STEG-eenheden

29

3.2.3 Productie via warmtekrachtkoppeling (WKK)

29

3.2.4 Productie via windkracht

32

3.2.5 Productie via fotovoltaïsche omzetting

37

3.2.6 Hydraulische centrale

39

3.2.7 Brandstofcellen

40

3.2.8 Biomassa

42

3.2.9 Kernfusie

45

Hoofdstuk 4: Kernenergie

47

4.1 Elektriciteitsproductie via kerncentrales

47

4.2 Belang van kernenergie in de elektriciteitsproductie

49

4.3 Kerncentrales van de derde en vierde generatie

52

4.4 De grondstof uranium

55

Hoofdstuk 5: Veiligheid van kerncentrales

57

5.1 Technische veiligheid van kerncentrales

57

5.2 Risico's van proliferatie en terrorisme

60

Hoofdstuk 6: Radioactief afval

65

6.1 Ioniserende straling

65

6.2 Soorten radioactief afval

66

6.3 Verwerking van radioactief afval

70

6.4	Beheer en opslag van radioactief afval	71
Hoofdstuk 7: Kost van kernenergie		75
7.1	Kostprijscalculatie van de Vlaamse Milieumaatschappij	75
7.2	Kostprijscalculatie door de commissie AMPERE	76
Hoofdstuk 8: Diepte-interviews		80
Hoofdstuk 9: Hiërarchie van de argumenten		89
9.1	Voorstanders van kernenergie	90
9.2	Tegenstanders van kernenergie	91
9.3	Respondenten zonder uitgesproken mening	92
9.4	Bespreking van de resultaten en conclusies	93
Lijst van geraadpleegde werken		95
Lijst van figuren		101
Lijst van tabellen		102
Bijlagen		103
	Bijlage 1: Overzicht van de zes vierde generatie kernreactoren	104
	Bijlage 2: Vragenlijst	105
	Bijlage 3: Interview met Tinne Van der Straeten	107
	Bijlage 4: Interview met Bart Martens	113

Lijst van afkortingen

ABWR	Advanced Boiling Water Reactor
AP1000	Advanced Pressurized Water Reactor
BBL	Bond Beter Leefmilieu
BP	British Petrol
Bq	Becquerel
Commissie AMPERE	Commissie voor de Analyse van de Productiemiddelen van Elektriciteit en de Reoriëntatie van Energievectoren
CREG	Commissie voor de Regulering van Elektriciteit en Gas
dB	Decibel
EWEA	European Wind Energy Association
EPIA	European Photovoltaic Industry Association
EPR	European Pressurized Water Reactor
ESBWR	Economic and Simplified Boiling Water Reactor
FANC	Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle
G	Giga (SI-prefix voor miljard)
GIF	Generation-IV International Forum
HSK	Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate
HTR-PM	High Temperature Reactor Pebble-bed Module
IAEA	International Atoomenergie Agentschap
J	Joule (SI-eenheid van energie)
M	Mega (SI-prefix voor miljoen)
MONA	Mols overlegorgaan nucleair afval
NEA	Nuclear Energie Agentschap
NIRAS	Nationale Instelling voor Radioactief Afval en Verrijkte Splijtstoffen (België)
ODE	Organisatie voor Duurzame Energie
OESO	Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling
PaLoFF	Partenariat Local de Fleurus Farciennes
PBMR	Pebble Bed Modular Reactor
ppm	Parts per Million
Pu	Plutonium
PV	Photovoltaic system

PWR	Pressured Water Reactor
REG	Rationeel energiegebruik
RBMK-reactor	Russische afkorting voor 'vermogenreactor met kokend water'
SCK	Studiecentrum voor Kernenergie
STEG	Stoom-en gasturbine centrales
STEM	Studiecentrum voor Techniek, Energie en Milieu
STOLA	Studie-en overleggroep laagradioactief afval
T	Tera (SI-prefix voor een biljoen)
TELERAD	Telemeting Radioactiviteit
TERES	The European Renewable Energy Study
toe	Ton oil equivalent (per definitie gelijkgesteld aan 42GJ)
TWh/j	Terawattuur per jaar
U	Uranium
URF HADES	Underground Research Facility for High-Activity Disposal Experimental Site
VITO	Vlaams Instituut voor Technologisch Onderzoek
viWTA	Vlaams Instituut voor Wetenschappelijk en Technologisch Aspectenonderzoek
VMM	Vlaamse Milieumaatschappij
W	Watt (SI-eenheid van vermogen)
WEO	World Energy Outlook
WKK	Warmtekrachtkoppeling
Wp	Wattpiek
WWF	Wereld Natuur Fonds

Hoofdstuk 1: Probleemstelling

1.1 Praktijkprobleem: omschrijving en situering

In 2003 werd door het parlement de wet op de kernuitstap goedgekeurd. De paarsgroene-regering Verhofstadt-1 legde zo de basis voor een drastische ommekeer in de energievoorziening voor de komende decennia. De wet stipuleert dat de nucleaire centrales veertig jaar na datum van hun industriële ingebruikname gedeactiveerd zullen worden. Concreet betekent dit dat tussen 2015 en 2025 de zeven Belgische kernreactoren gesloten worden. Tabel 1.1 geeft een overzicht van het uittredingsschema.

Tabel 1.1: Wettelijk schema sluiting Belgische kerncentrales (Bron: Wet op de kernuitstap van 31.01.2003 (BS 28.02.2003))

Kernreactor	Datum industriële ingebruikname	Datum sluiting
Doel 1	15.02.1975	2015
Tihange 1	01.10.1975	2015
Doel 2	01.12.1975	2015
Doel 3	01.10.1982	2022
Tihange 2	01.02.1983	2023
Doel 4	01.07.1985	2025
Tihange 3	01.09.1985	2025

Opmerkelijk is dat er een achterpoortje in de wettekst werd ingebouwd. Zo kan de sluiting van de centrales uitgesteld worden bij onvoorziene externe gebeurtenissen of bij bevoorradingsproblemen veroorzaakt door buitenlandse situaties. In deze gevallen kan men de kernuitstap dus voor onbepaalde tijd uitstellen zonder een wetswijziging door te voeren. Maar ook zonder dit achterpoortje is de kernuitstap niet noodzakelijk onomkeerbaar. Iedere politieke beslissing kan immers door een andere ongedaan gemaakt worden.

Aan de goedkeuring van het wetsontwerp gingen vele ideologische discussies vooraf en van eensgezindheid onder de politieke partijen was op geen moment sprake. Zelfs binnen de meeste partijen kwam men moeilijk tot een consensus en waren er vaak

tegenstellingen. Men kan zich ernstige vragen stellen over het standpunt dat bepaalde partijen in dit debat innamen. Zo stemde de VLD in met de kernuitstap, hun politieke achterban bleek echter nooit echt overtuigd te zijn. Luc Barbé, toenmalig kabinetschef van staatssecretaris voor energie en duurzame ontwikkeling (2005, p. 3), schrijft hierover het volgende: "tijdens de eindstemmingen al hadden de liberalen en de PS laten merken dat het niet van harte was, dat ze een punt uit het regeerakkoord uitvoerden, maar er eigenlijk niet in geloofden". Het is op zijn minst zorgwekkend dat slechts drie partijen (Agalev, Ecolo en sp.a) volledig achter deze wet stonden. De andere partijen bleken dus niet echt overtuigd te zijn dat de kernuitstap wel degelijk de beste keuze was. Bovendien waren de Vlaamse oppositiepartijen CD&V, NVA en Vlaams Blok (nu Vlaams Belang) tegen de uitstap uit kernenergie. Dit debat is veel te belangrijk om als electorale inzet te dienen, het heeft een grote impact op de energievoorziening van de volgende generaties en dus ook op vele aspecten van onze samenleving.

De energiepolitiek moet zowel ecologisch, sociaal als economisch verantwoord zijn en zou op een harmonieuze wijze de drie P's (people, planet, profit) van de duurzame ontwikkeling moeten combineren. Indien men hier niet in slaagt kan men de energiepolitiek niet maatschappelijk verantwoord noemen. Voor '**people**' is het essentieel dat de voorzieningszekerheid gegarandeerd kan worden tegen een aanvaardbare prijs. In de zogenoemde welvaartsmaatschappij zou het ondenkbaar zijn dat er bepaalde groepen mensen niet langer in staat zijn de energiefactuur te betalen als gevolg van het gekozen energiebeleid. Voor '**profit**' is het noodzakelijk dat onze bedrijven competitief kunnen blijven, bovendien is een stabiel klimaat met voldoende zekerheid essentieel. Ten slotte moet er ook de nodige aandacht aan '**planet**' besteed worden, hierbij denken we in de eerste plaats aan het Kyoto-objectief waartoe ons land zich heeft verbonden. Met dit in het achterhoofd kan men zich de vraag stellen of er in de parlementaire vergaderingen niet te zeer gefocust werd op slechts één onderdeel van de drie P's toen men voor de kernuitstap koos.

De wet op de kernuitstap kwam er mede doordat de publieke opinie in België destijds voor een kernuitstap pleitte. De meest gangbare definitie van een democratie stelt dat de meerderheid van het volk beslist. Bij zulk een complexe en technische materie als de kernuitstap kan de democratie echter in vraag getrokken worden. Het probleem bestaat erin dat er een gebrek aan expertise is bij de modale burger, bovendien kan er

sprake zijn van misleidende voorlichting. In het rapport 'kernenergie en maatschappelijk debat' dat in opdracht van het Vlaams Instituut voor Wetenschappelijk en Technologisch Aspectenonderzoek (viWTA) werd uitgevoerd komen de auteurs tot de conclusie dat er nooit een gestructureerd maatschappelijk debat gevoerd werd. Verder stellen ze het volgende (2004, p. 19): "deze debatten waren echter vaak technisch van aard, zodat de publieke en de mediabelangstelling doorgaans eerder gering was". "Het afvalbeleid, en vooral de keuze omtrent een vestigingsplaats voor een berging van laagradioactief afval, stond volop in de publieke belangstelling".

Men kan dus stellen dat de publieke opinie niet voldoende geïnformeerd werd en dat er vooral een angstbeeld rond kernenergie hing. Zo kan men bijvoorbeeld in een factsheet uitgegeven door onder andere Greenpeace, het Wereld Natuur Fonds (WWF) en de Bond Beter Leefmilieu (BBL) het volgende lezen in verband met kernenergie (2005, p. 1): "Radioactieve straling is schadelijk. Het gevaar van straling kent geen ondergrens: elke dosis verhoogt de kans op gezondheidsschade". Nochtans zijn er tal van industriële toepassingen op radioactiviteit en ook in de geneeskunde wordt er massaal gebruik van gemaakt. Denken we bijvoorbeeld aan de sterilisatie van medische of farmaceutische producten en de ionisatie van voedingsmiddelen. Er heerst een taboesfeer rond radioactiviteit, maar het is een natuurlijk verschijnsel. 87 % van alle radioactieve straling komt van een natuurlijke bron, slechts 13 % is afkomstig van een kunstmatige bron, kerncentrales zijn slechts voor 0,1 % van alle radioactieve straling verantwoordelijk (Nucleaire Actualiteit, 2003).

Een democratisering van de wetenschap is ondenkbaar. Men moet voorzichtig zijn om de publieke opinie naar voren te schuiven als argument voor de kernuitstap. Een dergelijk debat vraagt een pragmatische benadering en geen ideologische discussie. Het nucleaire debat is van zeer groot belang voor ons land, daarom kunnen we ons hier geen drogredenen veroorloven.

Het bovenstaande doet de vraag rijzen of de wet op de kernuitstap goed doordacht en weloverwogen is. De nadruk in deze eindverhandeling zal dan ook liggen op de argumenten van de tegenstanders van kernenergie.

Het is belangrijk om op te merken dat de publieke opinie ondertussen gewijzigd is in het voordeel van kernenergie. In 2006 was slechts 32 % van de Belgen tegenstander

van kernenergie (Eurobarometer rond energietechnologieën, 2007), daarnaast gelooft 74 % dat kerncentrales veilig zijn (Eurobarometer nuclear safety, 2007).

1.2 Centrale onderzoeksvraag

De nadruk in deze thesis ligt vooral op de argumenten van de tegenstanders van het gebruik van kernenergie. Hun visie krijgt speciale aandacht omdat het a priori verwerpen van een dergelijke mogelijkheid die de natuur de mensheid biedt, op het eerste gezicht tegen elke vorm van logica indruist. De mensheid staat van nature wantrouwig tegenover verandering en het onbekende. Het verzet tegen kernenergie als nieuwe technologie is daar een mooi voorbeeld van. Doorheen de geschiedenis kunnen we vele analogieën vinden die alle in zekere zin steunen op obscurantisme. Er zijn talrijke voorbeelden van mythen die eigenlijk de verdoemenis van de kennis prediken, denken we bijvoorbeeld aan het verhaal van Kaïn en Abel dat in de bijbel terug te vinden is. Hoewel de stap van veeteelt naar landbouw een vooruitgang voor de mensheid betekende, stuit de landbouw op grote tegenstand in deze mythe. Kaïn was een landbouwer en Abel een veeteler. Beiden offerden ze een deel van hun oogst. God was tevreden met het offer van Abel, maar hij keurde het offer van Kaïn af omdat Kaïn zich onafhankelijker van God maakte door voor landbouw te kiezen. Uit jaloezie doodt Kaïn zijn broer, daarop wordt hij vervloekt en verdoemd tot zwerven. Kaïn werd echter onafhankelijker van God en stichtte de eerste stad. De toekomst was dus duidelijk voor Kaïn en voor de technologische vooruitgang. Een ander voorbeeld is het verzet van de gilden tegen vernieuwing en nieuwe technologieën. De gilden verplichtten hun leden om een bepaalde technologie toe te passen. Het was dus verboden om vernieuwende technologieën toe te passen in de productie.

Deze thesis is in de eerste plaats bedoeld om een breder inzicht te krijgen in de motieven van de voorstanders van de kernuitstap. De centrale onderzoeksvraag zullen we dan ook als volgt formuleren:

Wat zijn de motieven van de voorstanders van de kernuitstap?

1.3 Deelvragen

Deze erg ruime vraag kunnen we uitsplitsen naar enkele meer specifieke deelvragen. Deze deelvragen zullen een breder inzicht in de hierboven geschetste problematiek mogelijk maken.

- Wat zijn de voornaamste argumenten pro kernuitstap?
- Worden deze argumenten wetenschappelijk onderbouwd of zijn zij eerder in tegenspraak met de heersende wetenschap?
- Wat is de hiërarchie van belangrijkheid die de voorstanders van de kernuitstap toekennen aan deze argumenten?
- Wat is de hiërarchie van belangrijkheid die de tegenstanders van de kernuitstap toekennen aan deze argumenten?

Zoals eerder werd aangehaald is de kernuitstap niet onomkeerbaar. De toekomstige beleidsvoerders zullen bepalen of de kernuitstap effectief zal worden uitgevoerd. Deze eindverhandeling kan een breder inzicht geven in de bezieling van de voorstanders van de kernuitstap en kan zo een hulpmiddel vormen voor de beleidsvoerders van de toekomst. Momenteel is er een gebrek aan informatie over kernenergie, althans in een vorm die voor niet-deskundigen verstaanbaar is. Informatiecampagnes zouden zich moeten richten op de grootste bekommernissen van de critici om zo halve waarheden en taboes over kernenergie de wereld uit te helpen. Informatiecampagnes en publieke debatten spelen een grote rol bij het beter informeren van de Belgische burgers. Uit een Europees onderzoek bleek dat hoe meer het publiek geïnformeerd wordt rond kernenergie, hoe hoger de publieke acceptatie van kernenergie is (Eurobarometer nuclear safety, 2007).

1.4 Methodologie en onderzoeksopzet

Deze eindverhandeling zal in de eerste plaats steunen op een literatuurstudie, daarnaast worden diepte-interviews bij bevoorrechte getuigen afgenomen en worden er vragenlijsten afgenomen. In het literatuuronderzoek wordt nagegaan wat min of meer wetenschappelijk vaststaat en hoe met deze feiten wordt omgegaan door de voor- en tegenstanders van kernenergie. Aan de hand van deze literatuurstudie wordt een interview afgenomen bij sp.a en Groen! om de partijen hun tegengestelde interpretaties van de wetenschappelijke gegevens toe te lichten. Hiermee hopen we een bijdrage te

kunnen leveren tot het antwoord op deze controversiële standpunten, die van belang zijn voor het beleid om op gebied van energieopwekking te komen tot een maatschappelijk optimum.

Een antwoord rond dit debat hoeft niet eenduidig te zijn. Binnen de economische wetenschappen heeft men de gewoonte in een probleemstelling drie verschillende aspecten te ontwaren:

De **normatieve aspecten** hebben te maken met de vraag **hoe** men zou moeten handelen. Hoewel dit erg subjectief kan zijn, bestaan er toch enkele algemeen aanvaarde waarden die een kader vormen. Al naargelang de heersende visie binnen een maatschappij kunnen er andere accenten gelegd worden, bijvoorbeeld liberaal, socialistisch, ecologisch of humanistisch. Het normatieve kader dat binnen een maatschappij heerst moet in overweging genomen worden bij het oordelen over het al dan niet verantwoord zijn van de kernuitstap. Men kan zich dan afvragen welke normen tot een kernuitstap leiden en welke normen niet.

De **wetenschappelijke aspecten** geven een antwoord op de vraag hoe mens en materie zich gedragen. Men bevindt zich dan respectievelijk in de menswetenschappen en in de natuurwetenschappen. Energieverbruik en energievoorraden zijn hierbij van groot belang binnen het debat rond de kernuitstap.

Het derde luik omvat de **wiskundige aspecten**. Men gaat hierbij kijken wat de noodzakelijke gevolgen zijn van de normatieve en wetenschappelijke aspecten door zuiver te redeneren. Het is belangrijk dat het debat rond kernenergie de drie aspecten behandelt.

Men moet het normatieve kader dat binnen onze maatschappij heerst in het achterhoofd houden en op basis van wetenschappelijke waarnemingen en zuiver wiskundige redeneringen tot een beleid op gebied van energieopwekking komen dat maatschappelijk optimaal is. Men zal dus tot verschillende conclusies komen afhankelijk van de bovenstaande aspecten. Een voorbeeld kan dit verder verduidelijken: stel dat men als norm vooropstelt dat de negen miljard mensen in 2020 allen recht hebben op het comfort dat men nu in het Westen heeft. Wanneer men dan de bewezen

externaliteiten van de verschillende energievormen en de drang van alle mensen naar comfort zoals in het Westen in beschouwing neemt, dan zal dit wiskundig gezien enkel met kernenergie mogelijk zijn. Indien men andere normen vooropstelt, zoals bijvoorbeeld milieubescherming, komt men tot andere wiskundige conclusies. Het is dan ook niet de bedoeling om in deze eindverhandeling te komen tot een ja-nee antwoord op de vraag of een kernuitstap haalbaar is in België.

Het is belangrijk om een idee te hebben van de hiërarchie van belangrijkheid die voorstanders respectievelijk tegenstanders van kernenergie toekennen aan de verschillende argumenten contra kernenergie. Het is dan tevens mogelijk te analyseren welke groep het dichtst bij de wetenschappelijke vaststellingen aanleunt. Om deze hiërarchie te bepalen werd een vragenlijst afgenomen waarin de constante som schaal gebruikt wordt (zie bijlage 2). Respondenten werden gevraagd om 100 punten te verdelen over de argumenten contra kernenergie op een zodanige manier dat de puntentoe wijzing weergeeft hoe sterk men vindt dat elk argument tegen kernenergie spreekt. Indien men een score nul toekent aan een item betekent dit dus dat men dat item geen relevant nadeel van kernenergie vindt. Als een item dubbel zo nadelig gepercipieerd wordt dan een ander zal dat item dubbel zoveel punten toegewezen krijgen. Na het afnemen van de vragenlijsten kan men de items op een schaal plaatsen door de punten die door iedere respondent gegeven zijn op te tellen en vervolgens te delen door het aantal respondenten. Men berekent dus een gemiddelde score per item. Er werd een onderscheid gemaakt tussen drie groepen respondenten: tegenstanders van kernenergie, voorstanders van kernenergie en respondenten zonder een uitgesproken mening omdat ze niet voldoende van de problematiek op de hoogte zijn. Bijgevolg bekomen we drie schalen. De constante som schaal heeft een absoluut nulpunt; tien punten is dubbel zoveel als vijf punten en het verschil tussen vijf en zeven is even groot als het verschil tussen 50 en 52. De bekomen gemiddelden kunnen we dus met elkaar vergelijken en zo bekomen we een hiërarchie. Een inzicht in deze hiërarchie kan nuttig zijn voor toekomstige beleidsvoerders om de publieke opinie gericht te informeren.

Er werden 69 vragenlijsten via het internet afgenomen en 31 vragenlijsten werden schriftelijk ingevuld. Er waren echter zeven vragenlijsten onbruikbaar omdat niet voldaan was aan de voorwaarde dat de som van de toegekende scores 100 moest zijn. Deze vragenlijsten werden bijgevolg niet gebruikt. Belangrijk om op te merken is dat

deze analyse geenszins statistische inferentie tot doel heeft. Er werd dus niet beoogd om een representatieve steekproef samen te stellen. Het gaat hier eerder om een verkennend onderzoek.

Aangezien argumentatieanalyse een belangrijk luik van deze thesis vormt is het belangrijk enkele kritische reflecties hieromtrent in beschouwing te nemen. Bij klassieke vormen van argumentatieanalyse gaat men de juistheid en relevantie van de argumenten nagaan. Rip et al (1994) wijzen er echter op dat een dergelijke werkwijze niet aan te raden valt bij complexe maatschappelijke debatten waar net de wetenschap in vraag gesteld wordt. Men kan dan in het debat over de kernuitstap moeilijk a priori een uitspraak doen over de correctheid van de aangehaalde argumenten. Een alternatief om argumenten naar hun waarde te beoordelen is het begrip 'robuustheid van argumenten'. Stirling (1999, p. 27) definieert dit concept als volgt: "The capacity to sustain performance under external perturbation by maintaining an established internal structure". De keuze voor de nadruk op robuuste argumenten in deze thesis houdt in dat de besproken argumenten verdedigbaar moeten zijn tegen externe aanvallen en geldig blijven onder wijzigende omstandigheden.

Hoofdstuk 2: Energieverbruik

Volgens voorstanders van kernenergie zal in 2015 het licht uitgaan in België, men zal niet meer kunnen voorzien in de energievraag van ons land. Dit wordt ten stelligste ontkend door tegenstanders van kernenergie. Volgens hen zullen de gerealiseerde en lopende investeringen in alternatieve productiecapaciteit volstaan om de kerncentrales te sluiten. De garantie tot bevoorradingszekerheid is één van de grote pijlers in hun betoog voor de kernuitstap. Alvorens tot een analyse van de alternatieve productiecapaciteit over te gaan wordt in dit hoofdstuk het energieverbruik uitgebreid besproken.

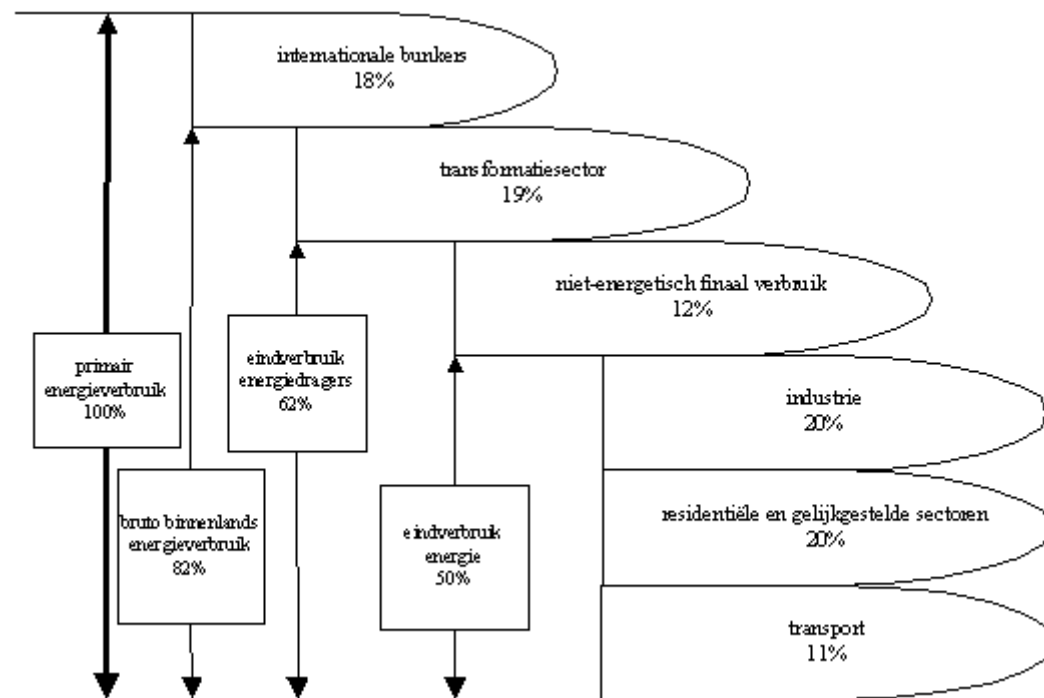
Het hoofdstuk start met een overzicht van het huidig energieverbruik in België. Verder wordt een beeld gegeven van de gebruikte energiebronnen die vandaag de dag in België worden gebruikt om aan de energievraag te beantwoorden. Daarna spitsen we ons toe op de elektriciteitsmarkt. Ook hier wordt een beeld gegeven van de totale vraag, verder wordt er ingegaan op projecties van de toekomstige elektriciteitsvraag. Daarnaast wordt het aandeel van elektriciteit in het totaal energiegebruik besproken. Het hoofdstuk sluit af met een korte analyse van de stroomuitwisseling die België met zijn buurlanden heeft.

2.1 Energieverbruik in België

Er bestaan meerdere maatstaven om het energieverbruik in een land te meten. Alvorens de situatie in België te overlopen worden eerst de verschillende concepten toegelicht.

Het primaire energieverbruik geeft het verbruik van energie weer door alle sectoren en kan uitgedrukt worden in toe (ton olie equivalent). Eén toe wordt per definitie gelijkgesteld aan 42 GJ. Het primaire energieverbruik kan verder opgedeeld worden in internationale bunkers en bruto binnenlands energieverbruik. De internationale bunkers zijn de brandstofleveringen aan de internationale luchtvaart en zeeschepen. Als men dit aftrekt van het primaire energieverbruik blijft het bruto binnenlands energieverbruik over. Het bruto binnenlands energieverbruik kan dan verder opgesplitst worden in het eindverbruik van energiedragers en het verbruik van energiedragers binnen de transformatiesector. In de transformatiesector zet men een bepaalde energievorm om

in een andere, bijvoorbeeld de omzetting van ruwe aardolie in kerosine of elektriciteit. De energie die gebruikt wordt voor deze transformatieprocessen wordt gedefinieerd als het verbruik van energiedragers in de transformatiesector. Het eindverbruik van energiedragers wordt verder opgesplitst in het energetisch en het niet-energetische eindverbruik. Het niet-energetische eindverbruik stelt het gebruik voor van energiedragers om andere eigenschappen dan hun energiewaarde, bijvoorbeeld als smeermiddel. Het energetische eindverbruik kan tenslotte uitgesplitst worden naar de verschillende sectoren: industrie, transport, huishoudelijke en gelijkgestelde sectoren (tertiaire sector en landbouw) (Vito, 2002).



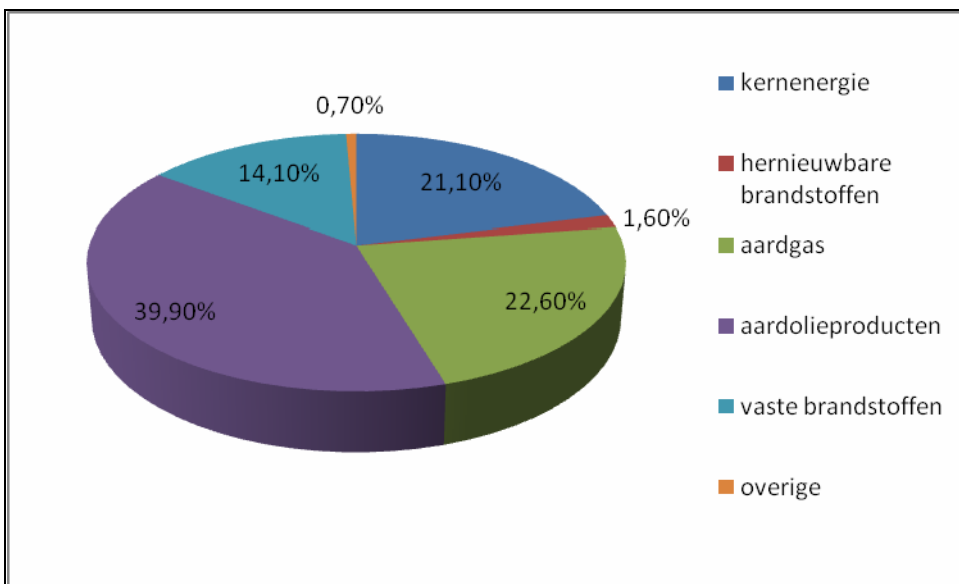
Figuur 2.1: Structuur van de energiestromen (Bron: Vito, 2002)

Tabel 2.1 geeft het primaire energieverbruik in België weer, uitgesplitst naar het marktaandeel van de verschillende energiebronnen. Het primaire energieverbruik fluctueerde de afgelopen jaren lichtjes. Vanaf 2003 kunnen we echter jaarlijks een daling vaststellen.

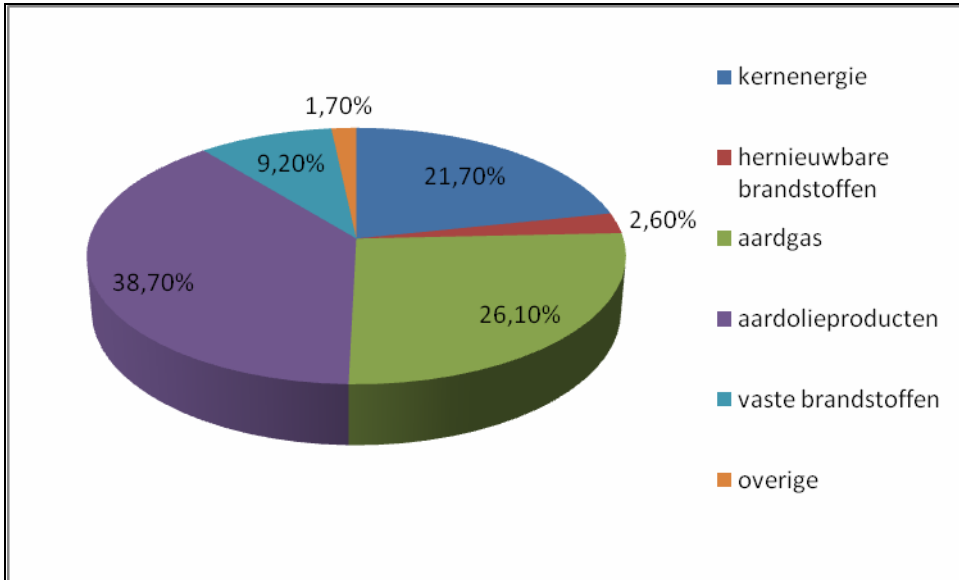
Tabel 2.1: Evolutie primaire energieverbruik in België (Bron: FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, 2007)

	TOTAAL in ktoe	Vaste brand- stoffen		Aardolie en aardolie- producten		Aardgas		Hernieuwbare brandstoffen		Kernenergie		Overige	
			%		%		%		%		%		%
2000	59407	8382	14,1 %	23690	39,9 %	13405	22,6 %	969	1,6 %	12548	21,1 %	413	0,7 %
2001	58857	7718	13,1 %	24033	40,8 %	13216	22,5 %	989	1,7 %	12077	20,5 %	824	1,4 %
2002	56282	6539	11,6 %	22338	39,7 %	13414	23,8 %	963	1,7 %	12340	21,9 %	688	1,2 %
2003	58939	6210	10,5 %	24153	41,0 %	14441	24,5 %	1210	2,1 %	12345	20,9 %	580	1,0 %
2004	57721	6427	11,1 %	22448	38,9 %	14610	25,3 %	1201	2,1 %	12328	21,4 %	707	1,2 %
2005	56205	5454	9,7 %	22227	39,5 %	14152	25,2 %	1385	2,5 %	12401	22,1 %	586	1,0 %
2006	56047	5167	9,2 %	21708	38,7 %	14614	26,1 %	1469	2,6 %	12154	21,7 %	935	1,7 %

Op figuur 2.2 kan men zien dat aardolie veruit de belangrijkste energiebron is, gevolgd door aardgas en kernenergie. Ook de vaste brandstoffen, bijvoorbeeld steenkool, zijn een veel gebruikte energiedrager in ons land. Het marktaandeel van de vaste brandstoffen daalde echter van 14,1 % in 2000 tot 9,2 % in 2006. Deze daling kan men verklaren door een daling van de vraag in de drie sectoren die deze energiebron het meest gebruiken, namelijk de staalnijverheid, de cokesfabrieken en de elektriciteitsproductie (FOD economie, 2007). Uitgedrukt in marktaandelen blijken de hernieuwbare energiebronnen eerder marginaal te zijn. Toch kan men een stijging in dit marktaandeel waarnemen: in 2000 bedroeg het marktaandeel van de hernieuwbare brandstoffen 1,6 %, in 2006 was dit tot 2,6 % gestegen. Kernenergie stond in 2006 in voor maar liefst 21,7 % van het primaire energieverbruik in ons land. Er zijn dus nog grote investeringen in alternatieve productiecapaciteit vereist als men de kernreactoren wenst te sluiten.



Figuur 2.2: Marktaandelen energiedragers 2000 (Bron: FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, 2007)



Figuur 2.3: Marktaandeelen energiedragers 2006 (Bron: FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, 2007)

Tabel 2.2 geeft het finaal energieverbruik per sector en per energiedrager weer. Deze uitsplitsing naar de verschillende sectoren kan interessant zijn om te bepalen waar men zich op moet focussen bij het nemen van maatregelen voor energie-efficiëntie. Net zoals bij het primaire energieverbruik kunnen we nu ook bij het finaal energieverbruik een daling vaststellen van 2003 tot 2005. Uit tabel 2.2 blijkt dat deze daling vooral tot de industrie terug te brengen is en dan meer bepaald tot de ijzer- en staalindustrie. Van 2000 naar 2005 was er binnen de ijzer- en staalindustrie een daling van 31,7 % in het finaal energieverbruik. Deze daling kan verklaard worden door de sterke terugval van deze industrie in België. De geleidelijke sluiting van Cockerill Sambre is hier een sprekend voorbeeld van. In het jaarverslag van 2005 van de beroepsvereniging van staalondernemingen die in België staal produceren of verwerken stond te lezen dat er 11,1 % minder staal geproduceerd was in 2005 dan een jaar voordien. De lichte terugval van de energievraag van 2003 tot 2005 kan dan ook deels verklaard worden door de krimpende ijzer- en staalindustrie. Als we naar het huishoudelijk of het hieraan gelijkgestelde segment kijken zien we een lichte stijging in het finaal energieverbruik. Toch lijkt dit te stagneren tot ongeveer 15000 ktoe per jaar.

Tabel 2.2: Finaal energieverbruik per sector en per energiedrager (Bron: FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, 2007)

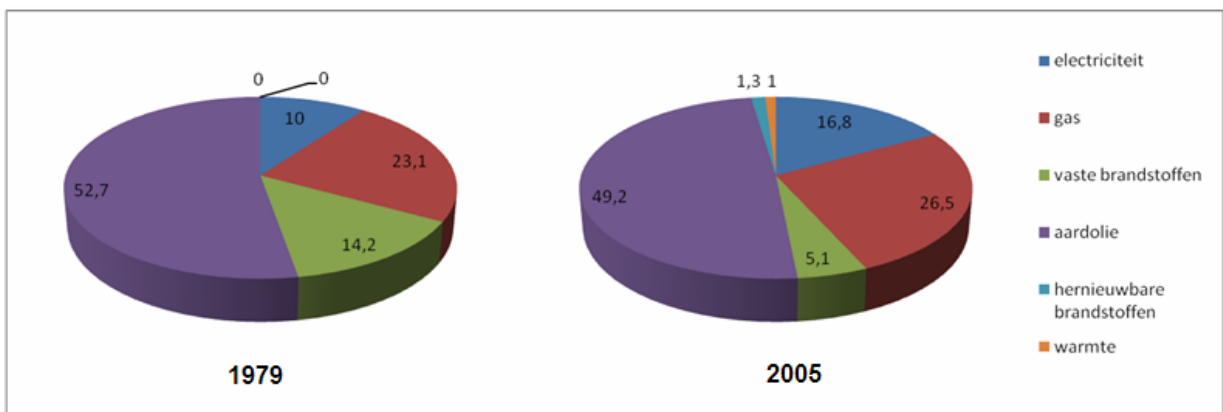
ENERGIE-DRAGER	Elektriciteit			Gas			Vaste brandstof			Petroleum			Hemionwbare brandstof			Warmte			TOTAAL		
	2003	2004	2005	2003	2004	2005	2003	2004	2005	2003	2004	2005	2003	2004	2005	2003	2004	2005	2003	2004	2005
IJzer en staal	603	607	516	1381	1383	1219	2085	1875	1620	31	31	33				16	16	15	4116	3912	3403
Andere industrieën	2834	2864	2874	3665	3666	3279	305	337	328	1400	1145	1165	261	297	346	388	386	357	8853	8695	8349
Vervoer	128	130	146							10066	9817	9689							10194	9947	9835
Huishoudelijk of gelijkgesteld Niet-energetisch gebruik	3286	3330	3361	5281	5548	5530	178	196	148	6242	5832	5804	194	198	203	60	60	56	15241	15164	15102
				847	856	888				4193	3472	3566							5040	4328	4454
TOTAAL	6851	6931	6897	11174	11453	10916	2568	2408	2096	21932	20297	20257	455	495	549	464	462	428	43444	42046	41143

in ktoe

2.2 De elektriciteitsmarkt in België

De energiebronnen die hierboven aan bod kwamen worden primaire energiebronnen ofwel primaire energiedragers genoemd. Daarnaast zijn er ook de secundaire of intermediaire energiedragers. Dit zijn energievormen die door toestellen, apparaten, machines, auto's en installaties direct kunnen worden omgezet naar energievormen die mensen een 'energiedienst' leveren (eindgebruik van energie). Het betreft onder andere elektriciteit, gereinigd aardgas, petroleumproducten en vaste brandstoffen zoals gereinigde steenkool (Brouwers, Couder, & Verbruggen, 2006).

Elektriciteit is wellicht de energiedrager met de grootste invloed op onze manier van leven. Voor de meeste toepassingen is elektriciteit gebruiksvriendelijker dan andere energiedragers zoals vaste brandstoffen of petroleumproducten. Het is veel makkelijker te sturen: met een simpele druk op een knop kan je het uit of aanzetten. Elektriciteit kan veel makkelijker gestuurd worden door computers en bovendien is het algemeen gesproken veiliger en flexibeler dan andere energiedragers. Voorlopig blijft aardolie echter overheersen in het totaal finaal energiegebruik met 49,2 % in 2005, gevolgd door gas 26,5 %, elektriciteit 16,8 %, vaste brandstoffen 5,1 %, hernieuwbare brandstoffen 1,3 % en warmte 1,0 %. Figuur 2.4 vergelijkt het aandeel van de secundaire energiedragers in het totaal finaal energiegebruik tussen het jaar 1979 en 2005.



Figuur 2.4: Aandeel secundaire energiedragers in finaal energieverbruik (Bron: FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, 2007)

We merken op dat het aandeel dat elektriciteit inneemt in het totaal finaal energiegebruik met 68,8 % gestegen is over de beschouwde periode. Elektriciteit wordt

dus steeds belangrijker in ons leven en kan een belangrijke rol spelen als alternatieve energiedrager voor aardolie en gas. De almaar stijgende olieprijs zullen deze trend zeker versnellen. Nu al bestaan er auto's op elektriciteit en ook elektrische verwarmingsmogelijkheden worden steeds populairder. Daarnaast is de sterke daling van de vaste brandstoffen (kolen, cokes en koolteer) opmerkelijk, dit kan verklaard worden door het krimpen van de staal- en ijzerindustrie in ons land. In deze sector worden immers zeer grote hoeveelheden vaste brandstoffen gebruikt.

Tabel 2.3: Overzicht Belgische elektriciteitsmarkt (Bron: Fod Economie, KMO, Middenstand en Energie, 2007)

Brutoproductie⁽²⁾ per jaar	2002 in GWh	2003 in GWh	2004 in GWh	2005 in GWh	2006 in GWh
Kernenergie	47360	47379	47312	47596	46645
Waterkracht	359	246	316	288	359
Pompcentrale	1130	1068	1290	1316	1269
Geothermie, zon, windkracht, enz.	57	89	129	228	349
Hernieuwbare- en recuperatiebrandstoffen	1655	1609	1760	2250	2543
Klassieke thermische (fossiele brandstoffen)	31500	34224	34634	35348	33847
Totaal Brutoproductie	82061	84615	85441	87026	85012
Eigenverbruik van de centrales	3917	3810	3905	3630	3591
Totaal nettoproductie	78144	80805	81536	83396	81421
Invoer	16658	14664	14567	14328	18864
Uitvoer	9070	8254	6789	8024	8594
Energie opgenomen door het pompen	1525	1446	1696	1775	1690
Opgevraagde energie	84207	85769	87618	87925	90001

⁽²⁾ met inbegrip van de autonome producenten en de zelfproducenten

Tabel 2.3 geeft een overzicht van de elektriciteitsmarkt in België van 2002 tot 2006. De totale vraag naar elektriciteit is ieder jaar gestegen in de beschouwde periode en bedroeg 90 TWh in 2006. Dit staat in sterk contrast met de fluctuerende primaire energievraag die hierboven besproken werd en wijst er dus op dat elektriciteit een steeds belangrijker energiedrager wordt. Ook de brutoproductie van de elektriciteitscentrales steeg bijna elk jaar, enkel in 2006 was er een daling vast te stellen. De totale brutoproductie van de elektriciteitscentrales bedroeg 85,012 TWh in 2006. Als men hier het eigenverbruik van de centrales van aftrekt bekomt men de nettoproductie, deze bedroeg 81,421 TWh. In geen enkel jaar kon de totale nettoproductie voorzien in de totale vraag. Er vond dus steeds een netto- invoer van elektriciteit plaats in de beschouwde periode.

De zeven kernreactoren in België worden uitsluitend gebruikt voor de opwekking van elektriciteit. In een factsheet uitgegeven door Greenpeace (2005) beweert men dat kernenergie een marginale energiebron is omdat ze slechts voor een klein deel in ons energieverbruik voorziet. Een dergelijke bewering moet sceptisch bekeken worden. Men moet het belang van kernenergie bekijken in relatie met het elektriciteitsverbruik en niet met het totale energieverbruik. Een daling van de totale energievraag is niet relevant om te oordelen over het belang van kernenergie. Men zou moeten kijken naar de evolutie van de elektriciteitsvraag.

Verschillende studies hebben gedetailleerde projecties voor de Belgische elektriciteitsvraag onderzocht. Deze projecties kunnen sterk verschillen omdat ze sterk afhankelijk zijn van hypothesen die men aanneemt rond enkele essentiële parameters zoals de elektriciteitsprijzen, de economische groei en de technologische ontwikkelingen. Het merendeel van deze projecties toont aan dat de elektriciteitsvraag in België verder zal stijgen in de toekomst. Zo voorziet het Federaal Planbureau een gemiddelde groeivoet van 1,1 % per jaar tot 2012 (Federaal Planbureau, 2007).

2.3 Stroomuitwisseling

Zoals eerder al werd vermeld heeft België met een netto-invoer van elektriciteit te maken. Er wordt dus meer elektriciteit ingevoerd dan uitgevoerd. Aviel Verbruggen, professor aan de Universiteit Antwerpen en voorzitter van STEM (Studiecentrum Technologie, Energie en Milieu), benadrukt in een interview met Radio Centraal (2007) dat stijgingen in de elektriciteitsimport niets te maken hebben met een structureel capaciteitsprobleem in België. Volgens Verbruggen hebben dergelijke importstijgingen alles te maken met de elektriciteitsprijs. Hoewel er doorgaans voldoende capaciteit in België is, voert men elektriciteit in omwille van de voordeligere prijs bij de buurlanden. Nu kan men zich echter de vraag stellen of dit niet geheel zal veranderen bij een sluiting van de kerncentrales. Wanneer kernenergie zou wegvallen is het erg waarschijnlijk dat het invoersaldo nog verder zal stijgen omwille van capaciteitsproblemen. Volgens een studie van de Commissie voor de Regulering van de Elektriciteit en het Gas (CREG) is er onvoldoende geïnvesteerd in alternatieve productiemogelijkheden en zal België te kampen hebben met een ontoereikende productiecapaciteit (CREG, 2007).

Het is dus zeer relevant om naast het aandeel van de verschillende energiebronnen in de Belgische elektriciteitsproductie ook het aandeel van de verschillende energiebronnen in de uiteindelijke elektriciteitsvraag in beschouwing te nemen. Wanneer men om ethische en/of economische overwegingen een kernuitstap doorvoert zou het immers niet rationeel zijn om elektriciteit in te voeren die afkomstig is van een buitenlandse kerncentrale. Niets weerhoudt Suez, de eigenaar van Electrabel, ervan om net over de grens met Frankrijk nog een kerncentrale bij te bouwen en dan van daaruit elektriciteit naar België door te voeren.

Tabel 2.4 geeft een overzicht van de elektriciteitsuitwisselingen in België van 2000 tot 2006. Het totaal volume van de elektriciteitsuitwisselingen (import + export) bedroeg ongeveer 27 TWh in 2006. België heeft in alle weergegeven jaren een hogere import dan export van elektriciteit, er vindt dus steeds een netto-invoer van elektriciteit plaats.

Tabel 2.4: Overzicht Belgische elektriciteitsuitwisselingen (in GWh) (Bron: Eurostat, 2007)

GWh	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Import	11645	15818	16658	14664	14567	14328	18864
Export	7319	6712	9070	8254	6789	8024	8594
Saldo	4326	9106	7588	6410	7778	6304	10270

België voert vooral elektriciteit in vanuit Frankrijk. In 2005 was 48 % van de ingevoerde elektriciteit afkomstig uit Frankrijk. Daarnaast werd er elektriciteit vanuit Nederland ingevoerd, goed voor 35 % van de totale import. Een kleinere fractie (17 %) was afkomstig van Luxemburgse centrales. Hierbij dient opgemerkt te worden dat zowel Frankrijk als Nederland gebruik maken van kernenergie. Op 31 december 2006 bedroeg het aandeel van kernenergie in de totale Franse elektriciteitsproductie maar liefst 78,1 % (IAEA, 2006).

Wat de uitvoer van elektriciteit betreft, is vooral Nederland het belangrijkste land. In 2005 was 55 % van de totale export voor Nederland. Daarnaast werd er naar Frankrijk (28 % van de totale export) en Luxemburg (17 % van de totale export) uitgevoerd (Eurostat, 2007). Aangezien de import steeds groter was dan de export had België in 2005 dus tegenover ieder land een netto-invoersaldo.

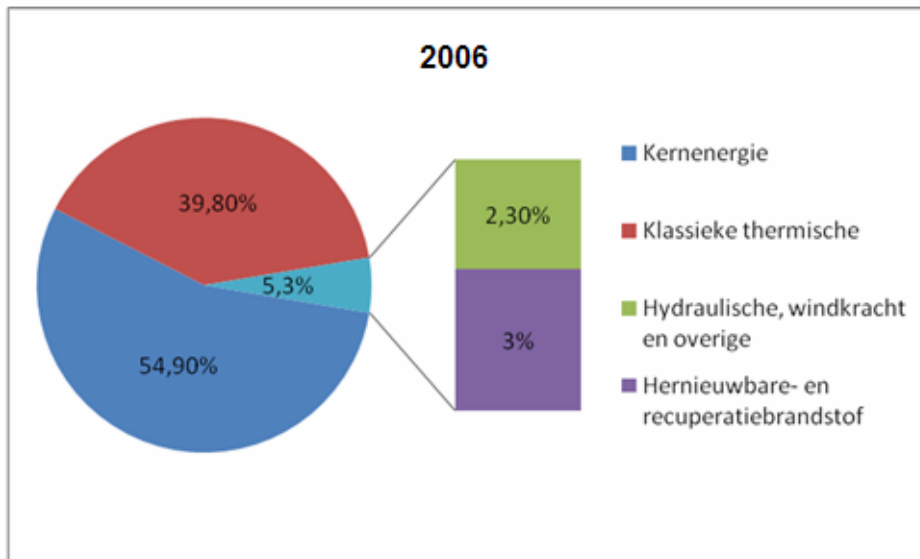
Hoofdstuk 3: Elektriciteitsproductie in België

Om een beter inzicht te krijgen in de relevantie van kernenergie voor België, wordt er eerst ingegaan op het aandeel van de verschillende energiebronnen in de Belgische elektriciteitsproductie. Daarna volgt een analyse van de verschillende energiebronnen en bijhorende elektriciteitscentrales die relevant zijn voor België. Er wordt tevens aandacht besteed aan het potentieel van de alternatieve energiebronnen voor België.

3.1 Aandeel van de verschillende energiebronnen in de Belgische elektriciteitsproductie

De meest courante manier om elektriciteit op te wekken is via een draaiende generator. Om de generator te laten draaien zijn er verschillende technieken beschikbaar. Met behulp van turbines kan men de mechanische energie uit wind of water gebruiken om de generator te laten draaien. De as van de turbine wordt aan een generator gekoppeld en op deze manier wordt de energie omgezet in elektriciteit (Cohen, 1990). De turbine kan ook aangedreven worden door stoom. De grote vraag is dan hoe men de hitte gaat creëren om het stoom te verkrijgen. In principe kan men deze hitte bekomen door eender welke brandstof te verbranden. De meeste centrales maken gebruik van fossiele brandstoffen zoals kolen, gas of olie, maar ook biomassa kan gebruikt worden. De nucleaire reactor is hier een alternatief voor, men maakt dan gebruik van nucleaire energie. Daarnaast zijn er ook technieken om elektriciteit op te wekken zonder gebruik te maken van een draaiende generator zoals brandstofcellen en fotonvoltaïsche cellen.

Figuur 3.1 toont het aandeel van de verschillende energiebronnen in de Belgische elektriciteitsproductie. Kernenergie is met 54,9 % veruit de belangrijkste energiebron voor de Belgische elektriciteitsproductie. De klassieke thermische centrales zijn de centrales die op fossiele brandstoffen werken, vooral gasachtige brandstoffen worden hier vaak gebruikt. In 2006 stonden de klassieke thermische centrales in voor 39,8 % van de totale bruto elektriciteitsproductie in ons land. De verschillende vormen van hernieuwbare energie (biogas, waterkracht, met uitzondering van pompen, windkracht en biomassa) werden samengevoegd met de productie uit recuperatie (huishoudelijk en industrieel afval) en vormden in 2006 slechts 5,3 % van het brutototaal.



Figuur 3.1: Aandeel energiebronnen in elektriciteitsproductie (Bron: FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, 2007)

Tabel 3.1 vergelijkt de aandelen van de energiebronnen in de totale elektriciteitsproductie in België voor 1979 en 2006. Het aandeel van de klassieke thermische centrales die gebruikmaken van fossiele brandstoffen is sterk gedaald over deze periode. Dit werd mogelijk gemaakt door het stijgend aandeel van kernenergie.

Tabel 3.1: Aandeel energiebronnen in elektriciteitsproductie (Bron: FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, 2007)

In % van de nettoproductie	1979	2006
Kernenergie	21,8	54,9
Klassieke thermische (fossiele brandstoffen)	77,1	39,8
Hernieuwbare- en recuperatiebrandstoffen	0	3,0
Hydraulische energie, pompcentrales, windkrachtenergie	1,1	2,3

Wanneer vanaf 2015 tot 2025 alle kerncentrales sluiten zal men ongeveer 55 % van de elektriciteitsproductie moeten vervangen, ofwel moet het elektriciteitsverbruik drastisch inkrimpen. Rationeel energiegebruik (of REG) en energiebewustzijn zijn twee

basisvoorwaarden om het energieverbruik, maar ook het elektriciteitsverbruik fors te kunnen reduceren. Aanzetten tot rationeel energiegebruik vereist een heel gamma aan maatregelen om energie spaarzamer en efficiënter te benutten, essentieel daarbij is een attitudeverandering bij de gebruikers. De energiebehoefte wordt beïnvloed door een groot aantal externe factoren. Zo zorgt de ruimtelijke ordening in België voor een niet-efficiënt gebruik van energie. De bedrijven en woningen zijn immers sterk verspreid, bijgevolg zijn er grote inefficiënties in het verkeer. Een doordachte ruimtelijke ordening had er voor kunnen zorgen dat het openbaar vervoer een meer centrale positie kon innemen en er dus minder privé-wagens nodig waren. (viWTA, 2004)

Het verleden kan men hier echter niet eenvoudig corrigeren, men moet de ruimtelijke ordening dus als gegeven beschouwen. Daarnaast bepaalt de wijze waarop we onze huizen en woonwijken bouwen, verwarmen en isoleren in grote mate de energiebehoefte. In huishoudens is er nog een groot potentieel om energie te besparen, doordat de bevolking onvoldoende energiebewust is blijft dit echter onbenut. Er is dus nog heel wat potentieel om het energie- en elektriciteitsverbruik terug te dringen. Toch bestaan er twijfels of deze ingrepen zwaar genoeg kunnen wegen (viWTA, 2004).

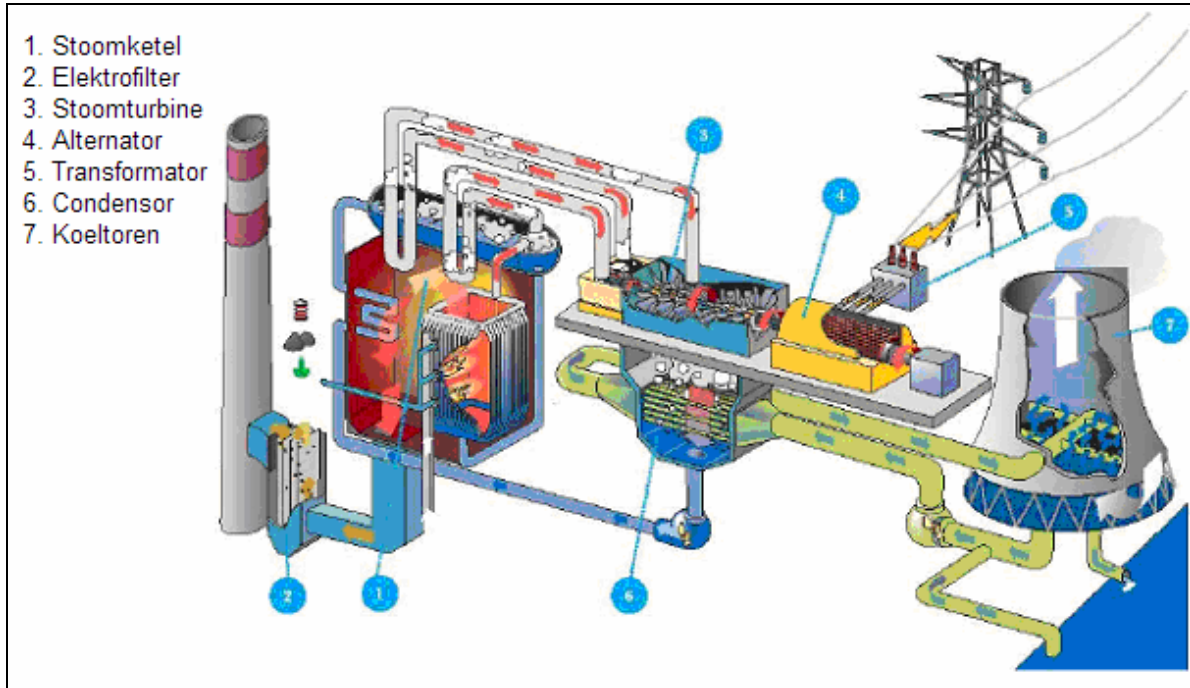
Hoewel deze ingrepen automatisch ook voor een daling in CO₂-uitstoot zorgen zal deze daling niet volstaan om het resterende elektriciteitstekort op te kunnen vangen met klassieke thermische centrales. De stijging in CO₂-uitstoot die hiermee gepaard gaat zou dan immers te hoog zijn om de verplichtingen inzake het Kyoto-protocol, die België aanging, na te komen. Ook het beperkte aanbod van fossiele brandstoffen en de daarmee gepaard gaande hoge prijzen spelen in het nadeel van de klassieke thermische centrales als alternatief. Het elektriciteitstekort zal idealiter door een combinatie van verschillende bronnen van hernieuwbare energie opgevangen moeten worden (windenergie, fotovoltaïsche energie, waterkracht, biomassa,...). Gezien het beperkte aandeel dat deze energiebronnen vandaag de dag in de elektriciteitsproductie vertegenwoordigen (figuur 3.1) zullen er nog grote investeringen nodig zijn. Daarnaast zijn deze alternatieve bronnen vaak niet beschikbaar bijvoorbeeld bij windstilte of bij een gebrek aan zon in de winter. De hierboven geschetste problematiek zal nog uitvoerig aan bod komen.

3.2 Overzicht van de verschillende energiebronnen en elektriciteitscentrales

In hetgeen nu volgt zullen de verschillende manieren van elektriciteitsproductie besproken worden die gebruikt worden voor de elektriciteitsproductie in België. Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen elektriciteitsproductie uit hernieuwbare (of recurrente) en niet hernieuwbare (of niet-recurrente) energiebronnen. Hernieuwbare energiebronnen zijn energiebronnen die quasi onuitputtelijk zijn en telkens opnieuw gebruikt kunnen worden voor het opwekken van energie. Niet-hernieuwbare energiebronnen daarentegen zijn eindig (VREG,z.d).

3.2.1 Productie via klassieke thermische centrales

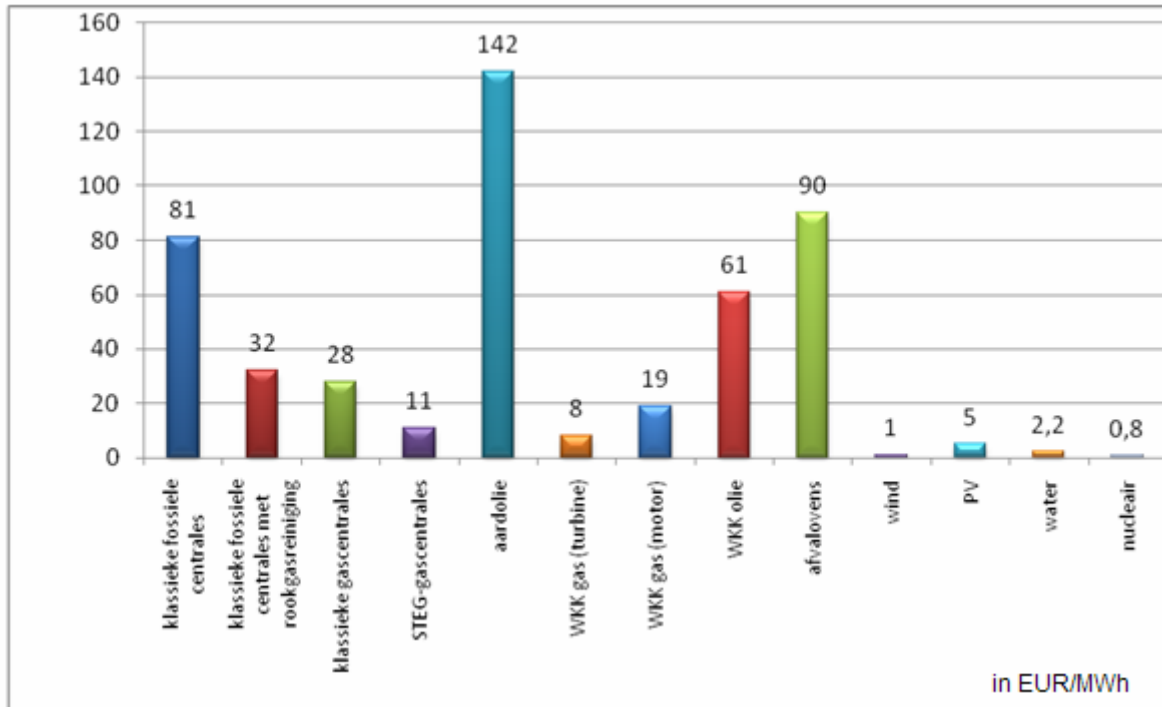
Bij klassieke thermische centrales (zie figuur 3.2) worden fossiele brandstoffen in een vuurhaard verbrand. In de stoomketel lopen buizen met water, dat door de hitte omgezet wordt in stoom. Deze stoom wordt vervolgens gebruikt om de generator te laten draaien. De stoom zal de turbine opnieuw verlaten en wordt in een condensor omgezet in water (gecondenseerd). In de condensor wordt het stoom in contact gebracht met duizenden buisjes die gevuld zijn met koelwater. Het koelwater wordt in een spaarbekken in de koeltoren opgevangen en wordt opnieuw naar de condensor geleid. Een deel van het koelwater verdampt en zorgt voor de witte damp die typerend is voor de koeltoren. Een klassieke thermische centrale heeft een elektrisch rendement van ongeveer 40 %. Dit betekent dat ongeveer 40 % van de energie in de brandstof omgezet wordt in elektriciteit. Er zijn ook een aantal klassieke thermische centrales die geen gebruik maken van een stoomturbine. Een voorbeeld hiervan is de dieselcentrale, hier wordt zware stookolie verbrand in dieselmotoren die aan een generator gekoppeld zijn. Het voordeel van dieselcentrales is dat ze snel kunnen opstarten en dus plotse stijgingen in het elektriciteitsgebruik kunnen opvangen. Een belangrijk nadeel is echter dat hun energetisch rendement lager ligt (Brouwers, Couder, & Verbruggen, 2006).



Figuur 3.2: Overzichtsschema van een klassieke thermische centrale (Bron: brochure 'electrabel – europees producent van elektriciteit', 2005)

Het grote voordeel van de klassieke thermische centrales is dat ze relatief goedkoop zijn. Zowel in aanbouw als in productie zijn de klassieke thermische centrales goedkoper dan de meeste alternatieven. Dit is dan ook de hoofdreden waarom de klassieke thermische centrales een groot deel van de Belgische elektriciteitsproductie vertegenwoordigen. Kosten die voor de kostprijs te bepalen in beschouwing genomen worden zijn investeringskosten, uitbatingskosten, transportkosten, onderhoudskosten, aankoopkosten van brandstoffen, ... Dit worden de interne kosten van de elektriciteitsproductie genoemd. Daarnaast moet men ook rekening houden met de externe kosten van de elektriciteitsproductie om een correcte kostenanalyse te bekomen. Externe kosten kunnen sterk verschillen voor de diverse elektriciteitscentrales en de gebruikte energiebronnen. De maatschappelijke kosten die het gebruik van fossiele brandstoffen met zich meebrengt bestaan vooral als gevolg van de uitstoot van schadelijke stoffen die zowel schadelijk zijn voor het milieu als voor de mens. Voorbeelden hiervan zijn zwaveloxiden en stikstofoxiden, deze veroorzaken zure regen (Brouwers, Couder, & Verbruggen, 2006). Bij het verbranden van fossiele brandstoffen komt bovendien CO₂ vrij. Door de hoge CO₂-uitstoot zal er een versnelling van het broeikas effect plaatsvinden en dit kan op zijn beurt tot een klimaatverandering leiden. Figuur 3.3 geeft een overzicht van de externe kosten per

combinatie van technologie en gebruikte energiebron. De klassieke thermische centrale scoort hier duidelijk slechter dan andere technologieën.



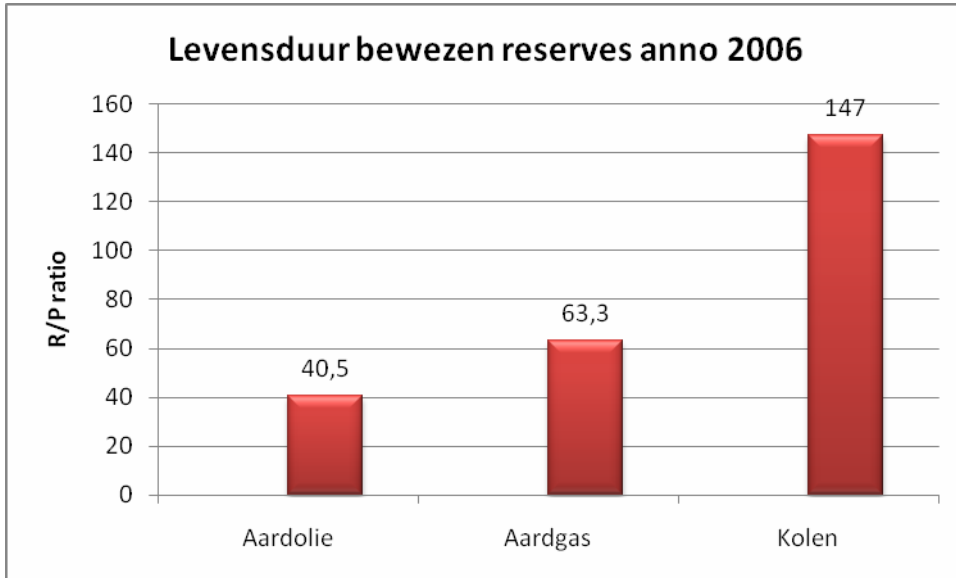
Figuur 3.3: Overzicht externe kosten (Bron: De Nocker, Torfs, & Schrooten, 2004)

Tabel 3.2 geeft een overzicht van de interne kosten per combinatie van technologie en gebruikte energiebron. De gebruikte cijfers zijn gevonden door toepassing van de 'levelised lifetime cost approach' Hierbij wordt er een annuïteit berekend (een bedrag dat jaarlijks hetzelfde blijft) die weergeeft wat de investeerder jaarlijks zou moeten betalen. Indien men de som van deze verdisconteerde annuïteiten zou nemen bekomt men het totale investeringsbedrag. Bij deze berekening werden tevens de kosten voor ontmanteling en afvalberging in de totale investeringskost verrekend. Daarnaast wordt bij deze annuïteit de jaarlijkse vaste en variabele kost opgeteld. Door het bekomen bedrag te delen door de elektriciteitsoutput (men veronderstelt een bepaalde capaciteit), bekomt men een kost per geproduceerde eenheid output. Deze kost wordt de 'specifieke kost' genoemd. (Brouwers, Couder, & Verbruggen, 2006).

Tabel 3.2: Specifieke kosten (Bron: Brouwers, Couder, & Verbruggen, 2006)

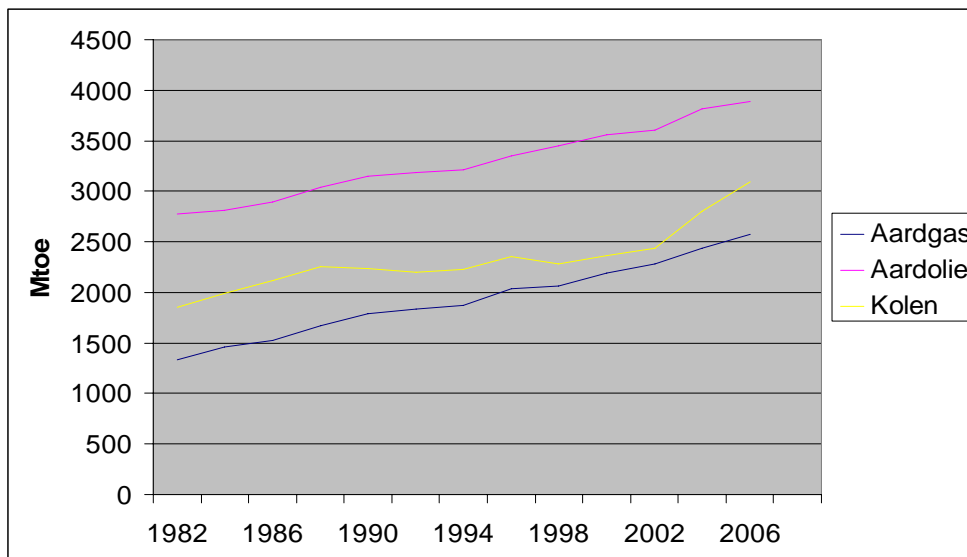
Kolengestookte centrales	25 - 50 EUR/MWh
Kerncentrales	21 - 31 EUR/MWh
Gasgestookte centrales	37 - 55 EUR/MWh
WKK	25 - 65 EUR/MWh
Windturbines (offshore is veel duurder dan onshore)	35 - 95 EUR/MWh
Biomassa	Sterk variabel

Een ander ernstig nadeel verbonden aan de klassieke thermische centrales is het eindige karakter van de fossiele brandstoffen. Hierdoor zal ook de prijs van de energiedragers stijgen naarmate zij het einde van de reserves naderen. Aardolie is hier een mooi voorbeeld van, het aanbod kan de vraag nauwelijks bijhouden en doordat men steeds dichterbij het einde van de reserves komt staat de prijs steeds vaker op een recordhoogte. De bewezen reserves voor een energiebron geven de hoeveelheid aan die op basis van de huidige geologische kennis en met de huidige technologie met hoge waarschijnlijkheid in de toekomst ontgonnen kunnen worden (British Petrol [BP], 2006). Als de bewezen reserves op het einde van een jaar gedeeld worden door de productie in dat jaar bekomt men de levensduur van de bewezen reserves. Deze ratio (reserves/productie) geeft het aantal jaar weer dat de reserve nog kan meegaan als de productie op hetzelfde niveau blijft doorheen de jaren. Figuur 3.4 geeft een overzicht van de levensduur van de bewezen reserves van verschillende energiedragers. Deze figuur is gebaseerd op cijfers uit het *statistical review of world energy 2007* van BP en geeft de situatie weer zoals die op het einde van 2006 was.



Figuur 3.4: Levensduur bewezen reserves anno 2006 (Bron: BP, 2007)

De assumptie dat de productie in de toekomst op hetzelfde niveau zal blijven is echter onrealistisch. De verdere ontwikkeling van landen zoals China en India zullen ongetwijfeld voor een verdere stijging van de vraag naar fossiele brandstoffen leiden. De productie zal bijgevolg ook moeten stijgen. Figuur 3.5 toont de evolutie van de wereldvraag naar de voornaamste fossiele brandstoffen. Er is een duidelijke stijging waarneembaar doorheen de jaren en die zal ongetwijfeld voortgezet worden in de toekomst.



Figuur 3.5: Evolutie wereldverbruik energiedragers (Bron: BP, 2007)

3.2.2 Productie via gasturbines en STEG-eenheden

Gasturbines vallen ook onder de klassieke thermische centrales, hier wordt er meestal aardgas gebruikt als brandstof. Ze worden hier apart vermeld omdat zij minder vervuilend zijn dan de andere klassieke thermische centrales. Aardgas is een zeer zuivere brandstof in vergelijking met de andere fossiele brandstoffen, dit wil zeggen dat het geen onzuiverheden zoals zwavelcomponenten bevat. Daarnaast is aardgas een brandstof met een zeer hoog waterstofgehalte, de productie aan CO₂ is daardoor veel lager dan bij andere gebruikelijke brandstoffen zoals bijvoorbeeld steenkool. De CO₂-uitstoot van een gasturbine bedraagt ongeveer 350kg/MWh. Voor een kolencentrale is dit ongeveer 750 tot 800 g/kWh (AMPERE, 2000). Gasturbines hebben dan ook een lagere externe kost dan de andere klassieke thermische centrales (zie figuur 3.3). Een ander voordeel van de gasturbine is dat zij net als de dieselcentrales een korte opstarttijd hebben en dus uitermate geschikt zijn om pieken in het elektriciteitsgebruik op te vangen. Het rendement van deze turbines ligt tussen 35 en 40 % (AMPERE, 2000) en is dus vergelijkbaar met de andere klassieke thermische centrales.

Wanneer het verbrandingsgas de gasturbine verlaat heeft het nog steeds een erg hoge temperatuur (550° C tot 640° C). Bij een STEG-centrale zal men dit gas gebruiken voor een tweede thermische cyclus. Hier wordt water in een stoomcyclus verwarmd, de stoom zal vervolgens een turbine en een alternator aandrijven. Men spreekt daarom van een stoom- en gasturbine (STEG). Doordat men gebruik maakt van een gecombineerde cyclus in plaats van een eenvoudige cyclus is ook het rendement aanzienlijk hoger. STEG-centrales hebben een rendement van meer dan 50 % en in de nabije toekomst verwacht men dat tot ongeveer 60 % kan stijgen. De opstartsnelheid is echter aanzienlijk lager bij de STEG-centrale, hierdoor is ze minder geschikt om pieken in het elektriciteitsgebruik op te vangen (AMPERE, 2000). Volledigheidshalve dient hier opgemerkt te worden dat er ook bijzondere STEG-centrales bestaan waarbij het mogelijk is om enkel de gasturbine snel op te starten.

3.2.3 Productie via warmtekrachtkoppeling (WKK)

Warmtekrachtkoppeling staat voor de energieconversietechniek waarbij de gelijktijdige omzetting in twee bruikbare energievormen wordt nagestreefd: elektriciteit en warmte

(AMPERE, 2000). WKK kan toegepast worden bij elke technologie die zowel elektriciteit (arbeid) als warmte produceert. De warmte die ontstaat bij de elektriciteitsproductie gaat men bij deze centrales nog gebruiken voor een achtergeschakeld proces, bijvoorbeeld het verwarmen van een woning. Zo ontstaat er een rendementsstijging. Bovendien wordt er in totaal (elektriciteitsproductie plus warmteproductie) ook minder CO₂ uitgestoten.

Het rendement van een elektrische centrale wordt als volgt gedefinieerd:

$$\eta \equiv \frac{\text{de bruikbare arbeid}}{\text{de oorspronkelijke ter beschikking gestelde warmte}} = \frac{W}{Q_1}$$

In de praktijk worden de volgende rendementen behaald:

Gasturbines:	~ 30-40 %
Moderne kolencentrale:	~ 40-45 %
Kerncentrale:	~ 33 %
STEG-centrale:	~ 55-60 %

Dit is het thermisch rendement, het geeft de mogelijkheid van de thermische cyclus weer om arbeid (elektriciteit) te produceren. Afhankelijk van het geval wordt er dus 40 tot 65 % van de oorspronkelijke energie onbenut afgevoerd naar de omgeving. Bij WKK gaat men proberen de anders weggegooidde warmte zo goed mogelijk te recupereren. Belangrijk hierbij is dat men zo min mogelijk in de thermodynamische cyclus ingrijpt om zo het arbeidsrendement zo min mogelijk te penaliseren. Op deze manier zorgt WKK voor een rendementsstijging van de centrale (AMPERE, 2000).

Men kan WKK dus bekijken als een manier om warmte te recupereren in elektrische centrales. Een andere zienswijze is WKK beschouwen als een slimme manier om warmte te produceren. Arbeid kan integraal in warmte worden omgezet, maar warmte kan slechts in beperkte mate in arbeid worden omgezet. Hierdoor is arbeid een waardevollere energievorm dan warmte. Men zegt ook dat arbeid een hogere kwaliteit heeft dan warmte. De kwaliteit van de energie-inhoud van een toestand noemt men exergie. Exergie wordt ook gedefinieerd als 'de maximale hoeveelheid arbeid die een systeem kan leveren'. Zo hebben brandstoffen vóór de verbranding en elektriciteit een hoge kwaliteit. De kwaliteit van de naar de omgeving afgevoerde warmte in een elektrische centrale is heel klein. In plaats van hoogwaardige brandstof te laten

degraderen tot warmte op lage temperatuur (centrale verwarming) zou men beter tijdens deze degeneratie een turbine tussenschakelen. Vanuit deze zienswijze is WKK dus een slimme methode om warmte te produceren met elektriciteit als bijproduct.

WKK heeft alleen maar energetisch zin als men de geproduceerde warmte ook nuttig gebruikt. Als men deze gerecupereerde warmte niet nuttig gebruikt zal de centrale een lager rendement hebben dan een standaard STEG-centrale.

Een beperking van WKK is dat steeds zowel warmte als elektriciteit geproduceerd wordt in dezelfde verhouding. De vraag naar warmte en elektriciteit volgt echter niet steeds diezelfde verhouding. Het kan soms voorkomen dat er enkel behoefte aan warmte is en niet aan elektriciteit. Men moet dus voldoende aandacht besteden aan de locatie van de WKK-centrale, namelijk in de nabijheid van een grote warmteafnemer.

Wanneer men het WKK potentieel in België wil analyseren moet men enkele kritische kantekeningen maken. Sommige bronnen beschouwen iedere klassieke thermische centrale waar een minimale stoomaftap bestaat om in een thermisch proces te gebruiken als WKK. In principe is hier niets mis mee, men moet dan wel het thermisch vermogen als maatstaf voor het geïnstalleerd WKK vermogen gebruiken en niet het elektrisch vermogen. Nog beter is dat men hierbij ook de verhouding warmte en elektriciteit geeft die in de centrale geproduceerd wordt. Het WKK potentieel wordt bovendien vaak overschat omdat de geproduceerde warmte niet altijd nuttig gebruikt kan worden. De warmte kan immers niet voor onbeperkte tijd opgeslagen worden omdat er steeds afkoeleffecten zijn. In het AMPERE-rapport werd een uitgebreide analyse opgesteld van het WKK potentieel. Men kwam tot het resultaat dat het WKK marktpotentieel voor België ongeveer 2 GWe \pm 300 MWe bedraagt. Vaak worden er cijfers aangehaald die dit potentieel met een factor twee overschrijden. Zo komt men in het rapport Dekeuleneer van 15 december 1999 tot een WKK marktpotentieel van 4 GWe, hierbij wordt er echter geen uitgebreide analyse of argumentatie gemaakt zoals dit wel het geval is in het AMPERE-rapport. Men moet hier echter bij opmerken dat er al veel geïnstalleerd WKK vermogen is. Het nog aan te boren potentieel voor WKK is dus anno 2007 veel kleiner. Het AMPERE rapport spreekt over een WKK-marktpotentieel van ongeveer 1,1 GWe \pm 400 MWe dat nog aangeboord kon worden vanaf midden 2000 (AMPERE, 2000; Groupe de travail d'experts en matière de libéralisation du secteur de l'électricité, 1999).

3.2.4 Productie via windkracht

Ook bij een windturbine maakt men gebruik van een draaiende generator om elektriciteit te produceren. De wind zal de wieken doen ronddraaien. De mechanische energie die op deze manier ontstaat wordt via een alternator omgezet in elektrische energie.

Elektriciteitsproductie uit windkracht wordt vaak als het grote alternatief voor kernenergie aangehaald. Deze hernieuwbare energiebron wordt in enkele Europese landen reeds in grote mate toegepast. Figuur 3.6 geeft een overzicht van het geïnstalleerd windvermogen dat eind 2007 in Europa aanwezig was. Hierop is duidelijk zichtbaar dat vooral Duitsland en Spanje een sterk ontwikkeld windmolenpark hebben. Maar ook in Denemarken wordt er grootschalig gebruik gemaakt van windenergie.



Figuur 3.6: Geïnstalleerd windvermogen in Europa in MW (eind 2007) (Bron: European Wind Energy Association [EWEA], 2007)

Statistieken van de Europese Windenergie Associatie [EWEA] tonen aan dat het totaal geïnstalleerd windvermogen in Europa in 2007 met 18 % gestegen is in vergelijking met het jaar voordien (EWEA, 2007). Deze stijging is echter vooral tot stand gekomen dankzij de grote investeringen die in Spanje plaatsvonden. Spanje is verantwoordelijk voor meer dan 42 % van het totaal geïnstalleerd windvermogen dat in 2007 werd gerealiseerd.

Ook in België kenden we een stijging van het geïnstalleerd windvermogen in 2007. Toch blijft windenergie, met een totaal geïnstalleerd vermogen van 287 MW in 2007, slechts van beperkt belang in België (EWEA, 2007). Men moet steeds in het achterhoofd houden dat omwille van meteorologische factoren een windturbine slechts ongeveer 20 % van de tijd elektriciteit kan produceren. Dit betekent dat door onregelmatige windsnelheden de effectieve elektriciteitsproductie slecht ongeveer 20 % van de capaciteit bedraagt (de Grootte, 2004).

Er bestaan verschillende studies die het potentieel van windenergie in België onderzoeken. Van eensgezindheid onder de onderzoekers is er geen sprake. De gevonden resultaten zijn echter niet noodzakelijk tegenstrijdig. De discrepanties kunnen verklaard worden door verschillen in hypothesen die men aanneemt rond enkele parameters. Een grote bepalende factor is onder andere de oppervlakte die men geschikt acht om windturbines op te plaatsen, maar ook het gekozen tijdsbestek kan een invloed hebben. Windmolenparken vereisen grote oppervlakten omdat windturbines op ongeveer vijf diameters van de wiekercirkel van elkaar geplaatst moeten worden om elkaar niet te hinderen (AMPERE, 2000). Onderzoekers kunnen andere assumpties aannemen wat betreft vereiste gemiddelde windsnelheid en geschiktheid van het landschap (natuurgebieden zijn bijvoorbeeld uitgesloten) en vertrekken zo van verschillende oppervlakten die men geschikt acht voor het plaatsen van windturbines. In een studie van 1984 schat men het potentieel voor België op ongeveer 38 TWh per jaar, bij ongeveer 15 GW geïnstalleerd vermogen (Dewilde, 1984, in AMPERE 2000). Men hield hier echter geen rekening met ruimtelijke beperkingen doordat de plaats bijvoorbeeld reeds ingenomen is of doordat deze fysisch ongeschikt is voor het plaatsen van een windturbine. Bij een dergelijk theoretisch cijfer kan men zich dan ook ernstige vragen stellen. In een studie uitgevoerd door EWEA (1990, in AMPERE 2000) schat men het potentieel in België op ongeveer 2,7 TWh per jaar, dit komt neer op een

geïnstalleerd vermogen van ongeveer 1,1 GW. In deze studie werd wel rekening gehouden met ruimtelijke beperkingen. De Groote et al. (1995, in AMPERE 2000) stelden een potentieel van 1665 GWh per jaar voorop. In deze studie bekeek men echter enkel het realiseerbaar potentieel op land tegen 2010, de resultaten zijn dus niet noodzakelijk in tegenspraak met de voormelde studies. De Commissie AMPERE (2000) schat het realiseerbaar potentieel van windenergie op 1,5 GW voor België. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen onshore en offshore potentieel. De Commissie voorziet dat tegen 2020 ongeveer 1 GW op zee installeerbaar is, met een productie van 3 TWh per jaar. Op het vasteland verwacht men dat tegen 2020 ongeveer 500 MW installeerbaar is, met een productie van 1,2 TWh per jaar tot 2,4 TWh per jaar. Als de bruto elektriciteitsproductie op hetzelfde niveau van 2006 zou blijven, komt het aandeel van windenergie in de elektriciteitsproductie neer op 5 tot 6,5 % tegen 2020. Bij haar analyse houdt de Commissie AMPERE rekening met ruimtelijke beperkingen. Er werd zowel rekening gehouden met vereiste windsnelheden als met beschikbaarheid en fysieke geschiktheid. Als criterium voor economische haalbaarheid neemt men een jaargemiddelde windsnelheid hoger dan zeven meter per seconde op 50 meter hoogte voor een landlocatie. Voor locaties op zee stelt men de voorwaarden dat de waterdiepte minder dan 20 meter moet zijn en de afstand tot de kust maximaal 30 kilometer bedraagt. We kunnen besluiten dat de Commissie AMPERE zeer realistische hypothesen aanneemt en een potentieel vooropstelt dat tussen bovenvermelde studies ligt. In een informatiebrochure die uitgegeven werd door onder andere Greenpeace en de Bond Beter Leefmilieu (2005) verwijst men naar een studie waarin aangetoond wordt dat offshore windenergie een derde van de elektriciteitsvraag in België zou kunnen voorzien. Er werd echter geen referentie voorzien, bijgevolg kon deze studie niet geraadpleegd worden voor deze eindverhandeling.

In 1999 stelde Hoenraet dat een windcentrale met een groot vermogen ondenkbaar zou zijn in België omwille van de te hoge kostprijs. Anno 2008 is de dure windenergie meer rendabel geworden omwille van stijgende energieprijzen en een evolutie in de technologie. Toch blijft het nog steeds een relatief dure technologie om elektriciteit te produceren. De kosten van een windturbine zijn onder andere afhankelijk van de locatie. Offshore windturbines zijn duurder dan onshore windturbines. Daarnaast heeft ook de jaargemiddelde windsnelheid een impact, hoe hoger deze windsnelheid is, hoe voordeliger windenergie kan zijn. Het grootste potentieel voor windenergie in België is offshore gesitueerd. Bovendien is de jaargemiddelde windsnelheid aan de lage kant.

Windenergie in België is bijgevolg erg duur, duurder dan windenergie in Denemarken bijvoorbeeld. In tabel 3.2 werd reeds aangegeven dat windenergie een erg hoge specifieke kost heeft in vergelijking met andere energiebronnen. Om bovenvermelde redenen mogen we bovendien aannemen dat de kost van Belgische windenergie zich aan de bovenkant van de weergegeven range bevindt. De Commissie AMPERE (2000) heeft zich ook over het kostenvraagstuk gebogen en kwam eveneens tot de conclusie dat windenergie een relatief dure optie is voor België. In het rapport benadrukt men dat de kapitaalkost de belangrijkste kost is bij windturbines. Een windenergiesysteem zou ongeveer 1000 Euro per geïnstalleerde kW kosten (Milborrow, 1999, in AMPERE 2000). Om tot een uiteindelijke kostprijs per geproduceerde kWh te komen neemt de Commissie AMPERE eveneens assumpties aan over de rentelast en de hoeveelheid geproduceerde energie. De hoeveelheid geproduceerde energie hangt vooral af van de jaargemiddelde windsnelheid. Tabel 3.3 geeft een overzicht van de kostprijs van een offshore windturbinepark van 300 MW. Men gaat hierbij uit van een jaargemiddelde windsnelheid van 8,4 m/s en een interestvoet van 5 %. De kostprijs zou dan neerkomen op ongeveer 5,1 Eurocent/kWh (Kühn et al, 1999 in AMPERE 2000).

Tabel 3.3: Kostprijsstructuur offshore windturbinepark (Bron: Kühn et al, 1999 in AMPERE 2000)

Ontwerpgegevens	
Vermogen	300 MW = 100 x 3 MW
Windturbines	Kvaerner turbine WTS 80M (3 MW, 80 m)
Fundering	Paal per turbine
Netverbinding	AC kabel onder zee 24/150 kV
Parkrendement	93 % (uniforme verdeling 10 D)
Transmissierendement	96 %
Beschikbaarheid	96,5 %
Netto jaarlijkse opbrengst	787 GWh/j
Locatie	
Plaats	Noordzee nabij IJmuiden
Jaargemiddelde windsnelheid	8,4 m/s
Afstand kust	11,4 – 18,6 km
Waterdiepte	14 – 19 m

Kostprijs	
Windturbines	170 MEUR
Funderingen en installatie	118 MEUR (incl. 25 MEUR installatiekost)
Netverbinding	77 MEUR (incl. 47 MEUR parkbekabeling)
Project management	2 % van totale investeringskost
Volledige kapitaalskost	372 MEUR (1,24 EUR/W)
Exploitatiekost	9 MEUR/j
ontmanteling	10 % van investeringskost
Economische levensduur	20 jaar
Reële intrestvoet	5 %
Productiekost	51 EUR/MWh

Het grote voordeel van windenergie is dat er geen schadelijke stoffen worden uitgestoten bij de productie van elektriciteit. Daarnaast is wind één van de weinige eigen energiebronnen in Vlaanderen (De Grootte, 2004). Windenergie is een hernieuwbare energiebron, deze energiebron zal dus in tegenstelling tot de fossiele brandstoffen nooit uitgeput raken. Een ander vaak aangehaald voordeel is dat windenergie gedecentraliseerd is, hierdoor zouden transport- en transformatieverliezen vermindert worden. Toch moet men hier onmiddellijk opmerken dat dit niet steeds het geval is. Een windmolenpark in de Noordzee dat op 30 kilometer van de kust ligt brengt immers ook enige transportproblemen met zich mee.

Er zijn echter ook enkele nadelen verbonden aan windenergie. De meest aangehaalde nadelen zijn geluidshinder, vogelsterfte en esthetische impact op de omgeving. Op een afstand van 150 tot 200 m kan een windturbine tot 45 dB geluid maken. Het komt er dus op aan de windturbines ver genoeg van woninggebieden te plaatsen indien men de geluidshinder wil beperken. De esthetische impact op de omgeving is erg subjectief, er zijn immers ook mensen die de windturbines niet storend maar eerder mooi vinden. Ook de vogelsterfte als gevolg van de windturbines kan gerelativeerd worden. Volgens ornitologen is de vogelsterfte als gevolg van windturbines verwaarloosbaar en zouden andere obstakels zoals hoge gebouwen, hoogspanningslijnen of vliegvelden zelfs een grotere impact hebben (AMPERE, 2000).

3.2.5 Productie via fotovoltaïsche omzetting

Fotovoltaïsche omzetting is een technologie waarbij zonlicht rechtstreeks omgezet wordt in elektriciteit. Het begrip fotovoltaïsch is niet toevallig gekozen, 'foto' verwijst immers naar licht en 'voltaïsch' verwijst naar volt. Het zijn de fotovoltaïsche (Engelse afkorting: PV) zonnecellen die voor de elektriciteitsproductie instaan. Het merendeel van de fotovoltaïsche zonnecellen wordt vervaardigd uit kristallijn silicium (European Photovoltaic Industry Association [EPIA], 2007). Hoewel deze grondstof overvloedig aanwezig is, blijft de productie van zonnecellen erg duur. De hoge kostprijs is dan ook de hoofdreden waarom zonne-energie nog niet op grote schaal is doorgebroken.

De kristallijn silicium zonnecellen worden voorlopig het meest gebruikt in fotovoltaïsche systemen. Het rendement van kristallijn silicium zonnecellen bedraagt ongeveer 13 %. Er zijn ook zonnecellen ontwikkeld met een rendement van 24-25 %, hierbij wordt gebruik gemaakt van gesofisticeerde micro-elektronicotechnieken. Deze zonnecellen moeten echter in gespecialiseerde laboratoria ontwikkeld worden en zijn zeer duur (AMPERE, 2000). Daarnaast werden er ook enkele andere zonnecellen ontwikkeld zoals de zogenaamde dunne-film zonnecellen. Deze zonnecellen zijn goedkoper maar hebben een lager celrendement. Het marktaandeel van deze zonnecellen is voorlopig beperkt gebleven.

Men kan een onderscheid maken tussen twee fotovoltaïsche systemen. Een onafhankelijk fotovoltaïsch systeem werkt autonoom, het is niet aan het elektriciteitsnet gekoppeld. Het systeem bevat dan een batterij voor elektriciteitsopslag. Toepassingen hiervan vindt men bij verkeersborden, straatlantaarns, maar ook bij afgelegen woningen. Een netgekoppeld systeem daarentegen is rechtstreeks aan het elektriciteitsnet gekoppeld en kan elektriciteit aan het net leveren.

Zoals reeds eerder vermeld werd, is fotovoltaïsche zonne-energie een erg dure energiebron. De meeste studies zijn het erover eens dat de kWh-productiekosten veel hoger liggen dan die van fossiele en zelfs andere hernieuwbare energiebronnen (De Ruyck 1996 in AMPERE 2000, TERES 1 1993 in AMPERE 2000, AMPERE 2000, De Groote 2004). Fotovoltaïsche zonne-energie heeft op lange termijn een zeer groot (theoretisch) potentieel, maar zal nog sterk in kostprijs moeten dalen om te kunnen

concurreren met andere energiebronnen. De Europese Fotovoltaïsche Industrie Associatie [EPIA] verwacht dat de kostprijs in de nabije toekomst zal dalen en dat zonne-energie op termijn in bepaalde omstandigheden wel competitief kan zijn (2007). Zo kunnen technologische verbeteringen, zoals de dunne-film zonnecellen, een kostprijddaling inhouden. Maar ook het verder doorlopen van de leercurve kan kostprijddalingen met zich meebrengen. Naarmate men meer ervaren wordt in de productie van zonnecellen zal de kostprijs om deze te produceren dalen. Verder wijst EPIA erop dat er nog onuitgeputte schaalvoordelen zijn in de productie van zonnecellen. Wanneer de vraag naar zonnecellen verder stijgt, kunnen grotere productie-eenheden uitgebraat worden en zullen de schaalvoordelen zich vertalen in kostprijddalingen.

Naast voor de hand liggende voordelen zoals het hernieuwbare karakter van zonne-energie en de zeer beperkte impact op het milieu vermeld EPIA in haar studie dat zonne-energie veel werkgelegenheid met zich meebrengt. De productie, installatie maar ook verkoop en promotie van zonnepanelen maakt de fotovoltaïsche sector arbeidsintensief. Wat EPIA hier aanhaalt als een voordeel zal door vele economen met argwaan bekeken worden. In onze markteconomie streven we immers een zo hoog mogelijke efficiëntie na. Doorheen de gehele geschiedenis werd er steeds gestreefd naar hogere efficiëntie, in die zin dat men met minder arbeidskrachten zo veel mogelijk output wou produceren. EPIA gaat hier net het omgekeerde prediken. Ook in andere studies werd de creatie van jobs aangehaald als een voordeel van zonne-energie (De Grootte, 2004; Organisatie voor Duurzame Energie Vlaanderen [ODE], 2004).

Verschillende onderzoeken naar het potentieel van fotovoltaïsche zonne-energie in België komen tot zeer uiteenlopende resultaten. Eén ding is zeker, in België wordt er voorlopig nog maar zeer beperkt gebruik gemaakt van fotovoltaïsche zonne-energie. Voor de nabije toekomst lijkt daar geen verandering in te komen. Volgens cijfers van EPIA (2007) werd er in 2006 minder dan twee MWp vermogen in België geïnstalleerd. Het piekvermogen van een fotovoltaïsche installatie, bij standaardcondities, wordt uitgedrukt in Wattlepiek (Wp). Twee MWp komt dus neer op twee MW vermogen, wanneer aan de standaardcondities van temperatuur, atmosferische druk en andere factoren wordt voldaan. Men mag aannemen dat hellend opgestelde netgekoppelde systemen jaarlijks ongeveer 750-800 kWh wisselstroom per geïnstalleerde kWp produceren (AMPERE, 2000). Als we veronderstellen dat het geïnstalleerd vermogen hieraan voldoet bedroeg de extra capaciteit in 2006 dus minder dan 1,55 GWh.

3.2.6 Hydraulische centrale

Hydraulische centrales maken gebruik van waterkracht voor opwekking van elektriciteit. De mechanische energie die door de waterkracht ontstaat kan via turbines omgevormd worden tot elektrische energie. Ook bij deze centrale wordt er dus gebruik gemaakt van een draaiende generator om elektriciteit op te wekken.

In België maakt men gebruik van twee verschillende toepassingen. Enerzijds zijn er centrales waarbij men gebruik maakt van het hydraulisch vermogen van een waterloop. België heeft een relatief vlak landschap zonder bergen, bijgevolg is de valhoogte beperkt tot maximaal tien meter. Men kan dan ook geen bergcentrales bouwen waarbij men gebruik maakt van een grote valhoogte. In België zijn er een dertigtal vlaktecentrales werkzaam, deze werden gebouwd aan waterlopen met een hoog debiet (AMPERE, 2000). Deze waterkrachtcentrales, die vooral op de Maas en in de Ardennen gelegen zijn, hebben een beperkt vermogen. Daarnaast zijn er in België twee accumulatiecentrales of pompcentrales werkzaam. Deze centrales hebben een groter vermogen en vertegenwoordigen met hun totaal vermogen van ongeveer 1300 MW dan ook het overgrote deel van de Belgische hydro-elektriciteit (78 % in 2006). Bij een accumulatiecentrale wordt tijdens periodes van gering elektriciteitsverbruik (daluren) water opgepompt van een laaggelegen reservoir naar een hoger gelegen spaarbekken. Tijdens periodes van grote elektriciteitsvraag zal men het water uit de spaarbekken opnieuw naar onder laten stromen om daar de turbines aan te drijven en zo elektriciteit te genereren. Strikt genomen is elektriciteit van deze centrales geen echte hydro-elektriciteit omdat het water eerst naar boven gepompt moet worden.

Hydraulische centrales hebben een rendement van ongeveer 85 %, dit is erg hoog in vergelijking met andere elektriciteitscentrales (Hoenraet, 1999). Daarnaast hebben kleine waterkrachtcentrales zoals we die in België kennen slechts een zeer beperkte invloed op het milieu. Taferelen zoals in China plaatsvonden om de bouw van de Drieklovendam te verwezenlijken zijn zeker niet van toepassing op de Belgische situatie. Voor de Drieklovendam moesten ongeveer een miljoen Chinezen gedwongen verhuizen, ook was er een grote impact op het milieu. Dit gigantisch project is echter onvergelijkbaar met Belgische centrales, de centrale is groot genoeg om aan de gehele Belgische elektriciteitsvraag te voldoen. Ook de indirecte emissies die gepaard gaan

met de kleine Belgische hydraulische centrales zijn zeer beperkt (Torfs et al., 1999). Een nadeel is echter dat de investeringskost bij hydraulische centrales erg hoog is in vergelijking met thermische centrales. Voor een centrale met een vermogen van ongeveer 1 MW bedraagt de investeringskost 2 EUR/W (Constant et al., 1997). De kostprijs van de geproduceerde elektriciteit zou ongeveer 90 EUR/MWh bedragen (Van Nypelseer, 1997).

In België kan er, mede door de geografie, slechts zeer beperkt gebruik gemaakt worden van hydraulische centrales. In 2006 stond hydro-elektriciteit dan ook slechts in voor 1,92 % van de totale bruto-elektriciteitsproductie. Het grootste deel hiervan was echter afkomstig van pompcentrales. Strikt genomen vallen deze centrales niet onder hydro-energie en is het aandeel van de echte hydro-elektriciteit dus nog lager.

3.2.7 Brandstofcellen

Een brandstofcel zet de chemische energie van een brandstof, meestal waterstof, op elektrochemische wijze om naar elektriciteit. De chemische energie van de brandstof wordt direct omgezet in elektriciteit door reactie met een oxidans. Naast elektriciteit komt hierbij ook warmte en water vrij (AMPERE, 2000).

Brandstofcellen hebben enkele onmiskenbare voordelen ten opzichte van andere technieken voor elektriciteitsopwekking. Het elektrisch rendement is zeer hoog bij deze technologie en bedraagt ongeveer 60 tot 70 %. Doordat de brandstofcel ook warmte produceert kan ze tevens als WKK-installatie dienen. Het grote voordeel in vergelijking met andere WKK-installaties is dat het elektrisch rendement niet zo sterk gepenaliseerd wordt. Doordat de brandstofcel geen bewegende onderdelen bevat is deze geruisloos en slechts gering onderhevig aan slijtage. Ook de modulaire opbouw is een voordeel omdat er zo voor ieder gewenst vermogen een oplossing kan gevonden worden. Misschien wel het belangrijkste voordeel is de beperkte impact op het milieu. Wanneer waterstof als brandstof wordt gebruikt is water het enige reactieproduct dat de brandstofcel verlaat. Op gebied van uitstoot van schadelijke emissies is dit dus een zeer zuivere technologie die het milieu niet belast.

Het grote voordeel van de brandstofcellen, het schone karakter, wordt tenietgedaan als de gebruikte brandstof gewonnen wordt met behulp van niet-schone technieken. De

meest gebruikte brandstof voor de brandstofcel is waterstof. Momenteel wordt waterstof echter hoofdzakelijk gewonnen via technieken die gebruik maken van fossiele brandstoffen en alzo het milieu belasten. Het is contraproductief om waterstof op te wekken met deze milieubelastende technieken om het vervolgens te gebruiken als een zogenaamde propere brandstof voor de brandstofcel. Het is efficiënter om de gebruikte fossiele brandstoffen rechtstreeks aan te wenden om elektriciteit te produceren.

Waterstof is geen natuurlijke energiebron die we vrij in de natuur kunnen ontginnen. Meer dan 95 % van het waterstof wordt geproduceerd via een proces waarbij men gebruik maakt van aardgas (Nucleaire Actualiteit, 2007). Men kan dan besluiten dat de elektriciteit geproduceerd via brandstofcellen ook opgewekt werd door gebruik te maken van fossiele brandstoffen. Wanneer men in de toekomst grootschalig gebruik wil maken van brandstofcellen als energiebron moet men waterstof produceren via een proces dat geen gebruik maakt van fossiele brandstoffen. Een mogelijke oplossing is het produceren van waterstof via elektrolyse van water. Men zou dan wel gebruik moeten maken van propere elektriciteit bij de elektrolyse, anders wordt het probleem gewoon verschoven. Het rendement bij deze productiemethode is echter te laag om efficiënt te zijn. Men gebruikt de hernieuwbare elektriciteit beter rechtstreeks in plaats van deze aan te wenden voor de productie van waterstof. Verder wordt er onderzoek gedaan naar andere productieprocessen zoals biologische productie met behulp van micro-organismen. Het rendement van deze productietechnieken is voorlopig echter zeer laag en de kosten zijn te hoog (Nucleaire Actualiteit, 2007). Een andere oplossing, die meer realistisch is op korte termijn, is het gebruik van kernenergie voor de productie van waterstof. Wanneer men kerncentrales zou aanwenden voor de productie van waterstof is de geproduceerde elektriciteit via de brandstofcellen globaal bekeken properder. Kernenergie weegt immers minder zwaar door op het milieu dan technologieën met fossiele brandstoffen zoals aardgas.

Een kort voorbeeldje kan het verschil tussen kernenergie en hernieuwbare elektriciteit als productiemethode voor waterstof verder illustreren. Stel dat men een kleine fabriek wil runnen met een capaciteit van $300 \text{ m}^3 \text{ H}_2/\text{h}$ en waar men gebruik maakt van elektrolyse van water bij de productie. Indien men gebruik maakt van windturbines voor het opwekken van de nodige elektriciteit, heeft men twee enorme windturbines nodig met een diameter van 80 meter. De bekomen 300 m^3 waterstof zou een tiental auto's op waterstof voor ongeveer 200 km kunnen laten rijden. Intuïtief lijkt het

meteen logisch dat het efficiënter zou zijn de gebruikte elektriciteit rechtstreeks aan te wenden voor elektrische auto's. Wanneer men een kernreactor met een vermogen van 600 MW zou aanwenden voor de productie, kan men op een geheel andere schaal produceren. In dit geval kan men 80000 m³ waterstof per uur produceren wat zeker vergelijkbaar is met de productiecapaciteit van vergelijkbare thermische centrales op aardgas. Bovendien kan men een deel van de vrijgekomen warmte gebruiken voor de productie van elektriciteit (Nucleaire Actualiteit, 2007).

België bevindt zich trouwens in een ideale positie om een dergelijke waterstofproductie in werking te nemen. De chemische industrie is sterk ontwikkeld in Vlaanderen en ook daar is er een grote vraag naar waterstof. Dit heeft trouwens tot gevolg gehad dat we in België het meest ontwikkelde transportnetwerk voor waterstof in de wereld hebben. De nodige know-how die hiervoor vereist is, is dus in voldoende mate aanwezig. Daarnaast beschikt België ook over een grote know-how op gebied van kernenergie en het uitbaten van kerncentrales. Een dergelijke waterstofeconomie zou een geweldige boost kunnen geven aan het economisch klimaat in België. Naast de chemiesector is een goed ontwikkelde waterstofproductie immers ook aantrekkelijk voor de grote autofabrikanten. De autoconstructeurs zijn aan een wedloop begonnen om auto's op waterstof te commercialiseren. België zou een zeer aantrekkelijke kandidaat kunnen worden voor het opstarten van de eerste fabrieken die auto's op waterstof produceren (Nucleaire Actualiteit, 2007).

Op dit ogenblik wordt er slechts zeer beperkt gebruik gemaakt van de technologie omwille van de hoge kostprijs. Brandstofcellen kunnen zelden als een economisch rendabele investering bekeken worden, het commercieel aanbod is bijgevolg erg beperkt (AMPERE, 2000). In meerdere steden lopen er anno 2008 pilotprojecten met stadsbussen op waterstof. In Luxemburg rijdt reeds een groot deel van de stadsbussen op waterstof, maar ook steden als Amsterdam, Londen en Hamburg hebben reeds stadsbussen op waterstof in gebruik.

3.2.8 Biomassa

Biomassa kan men eveneens plaatsen onder de hernieuwbare energiebronnen. Het is een erg ruim begrip met meerdere bronnen en verschillende technologieën. In een informatiebrochure van de Organisatie voor Duurzame Energie [ODE], definieert men

biomassa als het geheel van alle organische materialen en hernieuwbare grondstoffen van plantaardige of dierlijke oorsprong die bestemd zijn voor industriële toepassingen, op uitzondering van voeding, of voor energieopwekking (Informatiebrochure biomassa, 2001). De Commissie AMPERE (2000) onderscheidt voor de Belgische context de volgende bronnen:

- energetische teelten;
- houtresidu's;
- slib uit de waterzuivering;
- bermmaaisel;
- landbouwresidu's;
- huishoudelijk en bedrijfsafval (enkel indien hernieuwbaar);
- stortgas;
- industrieel afval;
- mest uit de veeteelt.

Van het huishoudelijk en het bedrijfsafval kan men enkel de hernieuwbare fractie onder de term biobrandstof plaatsen. Hierbij denken we bijvoorbeeld aan organisch biologisch afval, papier of textiel.

Al deze bronnen van biomassa worden uiteindelijk omgezet in bio-energie, in de vorm van warmte, elektriciteit of afgeleide brandstoffen. De verschillende bronnen hebben elk een ander omzetrendement. Enerzijds kan dit verklaard worden door de bronnen zelf, anderzijds wordt dit verklaard door de gebruikte conversietechniek.

Men kan drie stappen in het proces van biomassa tot energie voor eindgebruik onderscheiden. Eerst moet er biomassa geproduceerd worden (via energieteelten of organische afvalstromen), vervolgens moet de biomassa verzameld, gedroogd en getransporteerd worden. In de laatste fase wordt de biomassa omgezet in bio-energie. Er zijn verschillende technieken om de energie in biomassa om te zetten in warmte, elektriciteit of afgeleide brandstoffen. Bij rechtstreekse verbranding van biomassa komt energie vrij onder de vorm van warmte, deze kan gebruikt worden om elektriciteit op te wekken. Het grootste nadeel van een dergelijk verbrandingsproces is de mogelijke uitstoot van schadelijke stoffen. Toch is het verbranden van biomassa minder schadelijk dan de klassieke fossiele brandstoffen. Welke schadelijke pollutanten uiteindelijk uitgestoten worden en hoeveel, hangt af van de samenstelling van de brandstof en van

de gebruikte verbrandingsinstallatie. Biomassa is CO₂-neutraal omdat de gebruikte brandstoffen tijdens hun groei deze CO₂ eerst uit de lucht hebben opgenomen. Een andere techniek bestaat erin om biomassa om te zetten in een brandbaar gas dat gebruikt kan worden in een gasmotor of een gasturbine. Nog een andere techniek is het winnen van bio-olie uit energiegewassen. Deze olie kan men dan gebruiken om als brandstof te dienen in een stoomketel, motor of turbine (ODE, 2001)

Het potentieel voor elektriciteitsproductie uit biomassa is niet eenvoudig in te schatten omwille van onzekere en onvolledige gegevens over de biomassastromen. De meeste studies komen tot een potentieel van tussen één en twee TWh per jaar (ODE, 2001). De Commissie AMPERE (2000) kwam tot een iets grotere spreiding en schatte het potentieel in op 0,92 tot 3,5 TWh per jaar. Dit is niet meer dan enkele percenten van het totale elektriciteitsverbruik in België. Het grootste potentieel verwacht men bij houtafval, mest, huishoudelijk afval en energieteelten (ODE, 2001).

In België is momenteel het grootste deel van de elektriciteitsproductie uit hernieuwbare energiebronnen afkomstig uit biomassa. Vlaamse elektriciteitsproducenten die hernieuwbare energiebronnen gebruiken kunnen bij de VREG [Vlaamse Regulator van de Elektriciteits- en Gasmarkt] groenestroomcertificaten aanvragen voor de elektriciteit die uit hernieuwbare energiebronnen wordt geproduceerd. Sinds het in werking treden van dit systeem in 2002 zijn er reeds voor 52 verschillende productie-installaties voor biomassa dergelijke certificaten uitgereikt. Het overgrote deel van de uitgereikte groenestroomcertificaten was trouwens voor biomassa-installaties. Het geïnstalleerd vermogen van de productie-installaties voor biomassa in Vlaanderen die een groenestroomcertificaat kregen toegekend bedraagt 220 MW (ODE, z.d.).

Biomassa vormt één van de beloftevolle opties voor België om in de toekomst minder afhankelijk te worden van ingevoerde, fossiele brandstoffen en bovendien de uitstoot van schadelijke emissies te beperken. Toch zijn er ook enkele nadelen verbonden aan deze energiebron. De energieteelten die men gebruikt om biomassa te produceren zijn eveneens schadelijk voor het milieu. Men kan hierbij denken aan het gebruik van bemesting of pesticiden in de landbouw. Het zou ook niet mogen dat de energieteelten tot een verdere ontbossing leiden. Vooral in Brazilië, één van de grootste producenten van energiegewassen, is dit een ernstige bedreiging geworden waar men zeker rekening mee moet houden.

3.2.9 Kernfusie

Hoewel kernfusie momenteel nog niet relevant is voor de energieproductie, wordt hier volledigheidshalve toch kort op ingegaan. Kernfusie is zeer aantrekkelijk omdat het een quasi oneindige energiebron is die inherent veilig is en bovendien erg milieuvriendelijk kan zijn. Deze beloftevolle energiebron bevindt zich vandaag nog in een experimentele fase. Kernfusie is eigenlijk net het omgekeerde van een kernsplitsing. Bij fusie smelten twee lichte atomen samen tot een zwaarder atoom, hierbij komt een grote hoeveelheid energie vrij.

Kernfusie is de energiebron van onze zon en van andere sterren. De meest efficiënte reactie om kernfusie op aarde toe te passen is de reactie tussen deuterium en lithium. Deze brandstoffen zijn in voldoende mate aanwezig op aarde om voor miljarden jaren in de energievoorziening te voorzien. Eén kilogram fusiebrandstof bevat evenveel energie als tien miljoen kilogram kolen. Men kan dus stellen dat kernfusie een quasi onuitputtelijke energiebron kan zijn.

Bovendien heeft kernfusie slechts een zeer beperkte impact op het milieu. In tegenstelling tot kernsplitsing wordt er bij kernfusie geen hoogradioactief afval geproduceerd. De hoeveelheid radioactief afval uit een fusiecentrale is zeer beperkt. Na ongeveer 50 jaar is de radioactiviteit hiervan reeds sterk gedaald. Daarnaast komen er geen broeikasgassen vrij bij kernfusie, enkel helium komt vrij, een ongevaarlijk gas.

Kernfusie kan inherent veilig genoemd worden omdat het geen kettingreactie is. Er komen geen deeltjes vrij die een nieuwe kernfusie kunnen veroorzaken. Het proces kan dus niet uit de hand lopen. Men kan de reactie heel snel stoppen door eenvoudigweg de brandstof toevoer uit te schakelen. Het proces vindt plaats bij extreem hoge temperaturen. De temperatuur is zo hoog dat er geen enkel materiaal tegen bestand is. Daarom moet men het reactiemateriaal altijd laten zweven zodat het niets raakt. Hiervoor maakt men gebruik van magnetische velden.

Om de wetenschappelijke en technische haalbaarheid van kernfusie aan te tonen is een internationaal samenwerkingsproject opgericht. Dit veelbelovend onderzoeks- en ontwikkelingsproject staat bekend als het ITER-project. De partners in dit project zijn de Europese Unie, Japan, China, India, Korea, Rusland en de Verenigde Staten.

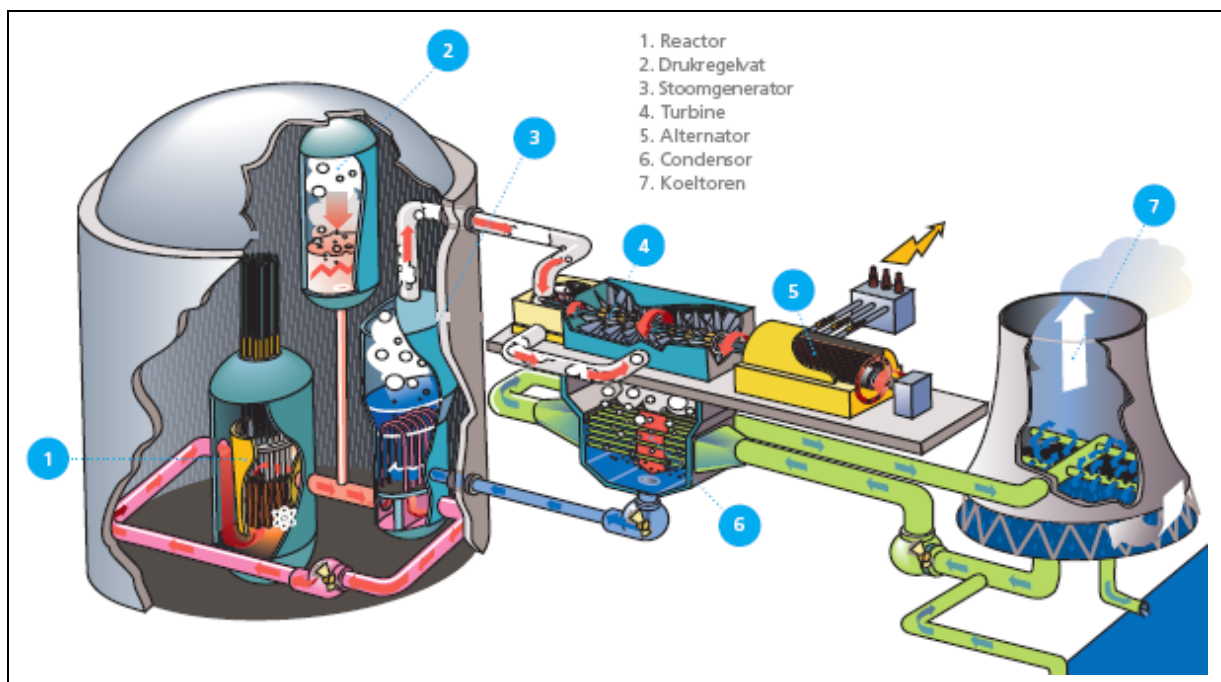
Het ITER-project heeft tot doel de haalbaarheid aan te tonen van kernfusie als een toekomstige commercieel bruikbare energiebron op aarde. De internationale ITER-reactor wordt in het Zuid-Franse Cadarache gebouwd. De voorbereidingen voor de constructie zijn reeds in 2007 van start gegaan. Als alles zoals gepland verloopt, zal de reactor tegen 2016 operationeel kunnen zijn. Dit veelbelovende project is een laatste experimentele fusieonderzoeksmachine, daarna zal men overgaan tot de ontwikkeling van een eerste industrieel demonstratiemodel. Het blijft voorlopig erg moeilijk om voorspellingen te doen naar het tijdstip waarop kernfusie commercieel kan worden aangewend (ITER, z.d.).

Hoofdstuk 4: Kernenergie

Aangezien kernenergie het centrale thema van deze eindverhandeling vormt, wordt deze technologie en de betekenis ervan in de wereld in dit apart hoofdstuk besproken. Er wordt tevens aandacht besteed aan de kerncentrales van de toekomst. Het hoofdstuk eindigt met een bespreking van de grondstof uranium.

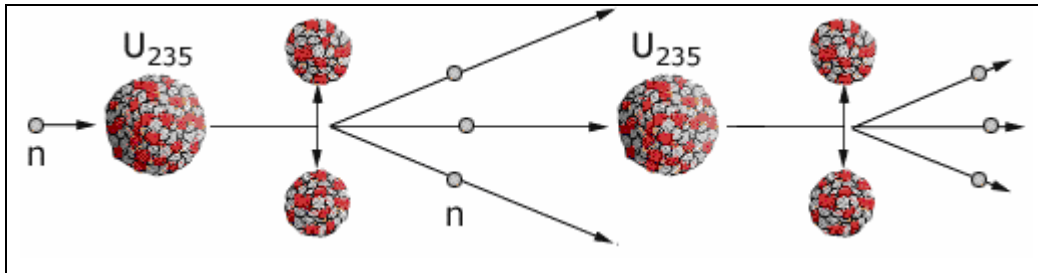
4.1 Elektriciteitsproductie via kerncentrales

Zoals de klassieke thermische centrales die in hoofdstuk 3 aan bod kwamen, maken ook de kerncentrales gebruik van warmte om stoomturbines te laten draaien. Het verschil zit in de manier waarop de stoom geproduceerd wordt om de generator aan te drijven. Bij de klassieke thermische centrales worden er fossiele brandstoffen verbrand om stoom op te wekken. Bij een kerncentrale werkt men op basis van een kernsplijting. De kerncentrales in België zijn zogenaamde PWR-centrales (Pressurized Water Reactor). Deze centrales hebben een elektrisch rendement van ongeveer 35 % (Brouwers, Couder, & Verbruggen, 2006).



Figuur 4.1: Overzicht van de werking van een PWR-centrale (Bron: Electrabel brochure 'kerncentrales solide en veilig', 2007)

In de kernreactor laat men een neutron botsen met een uranium atoom (^{235}U). Hierdoor zal het atoom zich splitsen in 2 nieuwe splitsfragmenten. Wanneer een uranium atoom (^{235}U) gespleten wordt komt er een grote hoeveelheid energie vrij. Een groot deel van deze energie komt vrij in de vorm van warmte, ook komen er enkele neutronen vrij. Deze neutronen kunnen dan andere atomen treffen, zo kan er als het ware een kettingreactie ontstaan.



Figuur 4.2: Splitsingsproces (Bron: Electrabel brochure 'kerncentrales solide en veilig', 2007)

Als er gemiddeld meer dan één van de vrijgekomen neutronen een nieuwe splijting zou veroorzaken, dan zou de kettingreactie te snel verlopen en kan de reactorkern ontploffen. Daarom wordt een deel van de vrijgekomen neutronen geabsorbeerd door regelstaven, zodat gemiddeld juist één van de vrijgekomen neutronen een nieuwe splijting veroorzaakt.

De warmte die vrijkomt bij de splitsing wordt gebruikt om water te verwarmen dat in een gesloten kringloop langs de splijtstofstaven stroomt. Deze eerste kringloop wordt de primaire kringloop genoemd. Het water zal hier een temperatuur van 280 °C à 300 °C bereiken. Het drukregelvat zorgt voor een hoge druk zodat het water niet gaat koken.

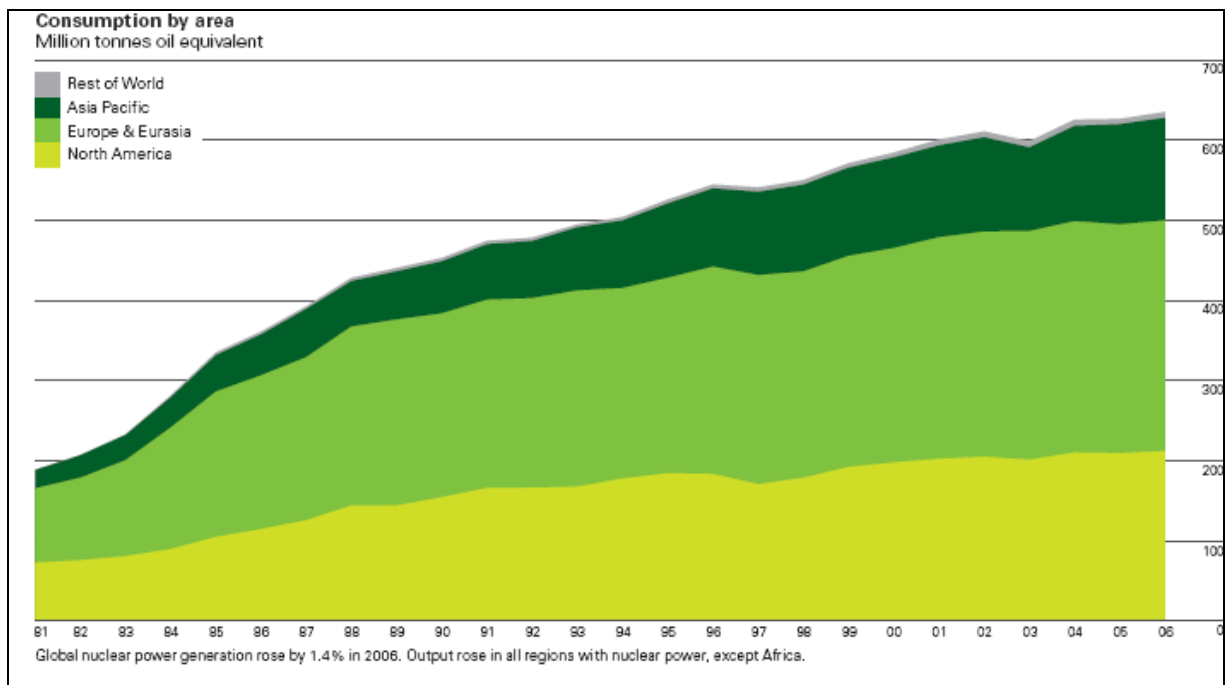
De primaire kringloop zal vervolgens warmte afgeven aan de secundaire kringloop, dit is een tweede gesloten kringloop met water. De stoomgenerator fungeert als een warmtewisselaar. Het water in de secundaire kringloop zal op deze manier overgaan tot stoom. Deze stoom wordt vervolgens gebruikt om de turbines van de centrale aan te drijven.

Tenslotte koelt deze stoom af en verandert terug in water. Dit gebeurt in de condensor, door een derde kringloop met koelwater. De koeltoren, die ook in klassieke thermische

centrales wordt gebruikt, zal het opgewarmde koelwater terug afkoelen (Electrabel, 2007).

4.2 Belang van kernenergie in de elektriciteitsproductie

Zoals in hoofdstuk 1 aangegeven werd, speelt kernenergie een belangrijke rol in de Belgische elektriciteitsproductie. Maar ook elders in de wereld wordt er gebruik gemaakt van kernenergie. Vooral in de ontwikkelde, westerse landen wordt er in grote mate gebruik gemaakt van deze energiebron. Op figuur 4.3 is duidelijk zichtbaar dat Europa de absolute koploper is wat betreft kernenergie.



Figuur 4.3: Consumptie van kernenergie per geografische regio (Mtoe) (Bron: BP, Statistical Review, 2007)

In tabel 4.1 wordt een overzicht gegeven van het aandeel van kernenergie in de elektriciteitsproductie van enkele Europese landen eind 2006. Hieruit blijkt dat Frankrijk het hoogste percentage kernenergie gebruikt (78,1 %), gevolgd door België (54,4 %).

Tabel 4.1: Aandeel kernenergie in elektriciteitsproductie op 31 december 2006 (Bron: IAEA , 2006)

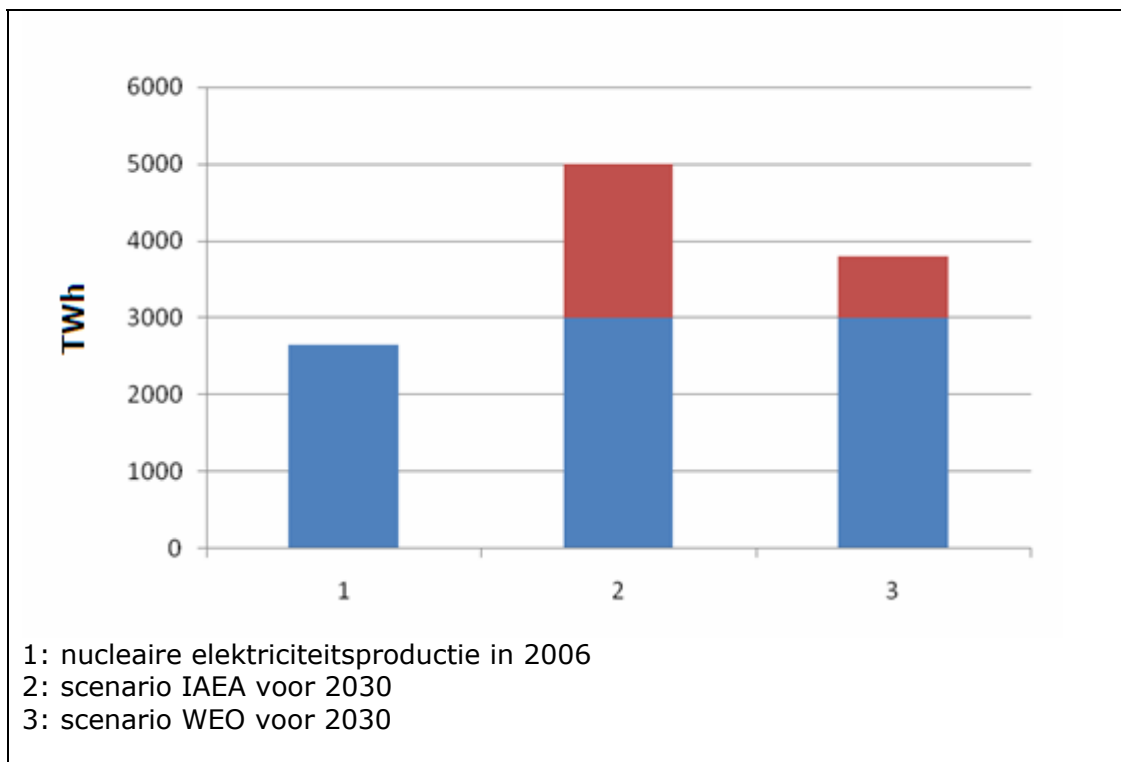
	Aantal installaties	Aandeel van kernenergie in de totale elektriciteitsproductie (in %)
Frankrijk	59	78,1
België	7	54,4
Zweden	10	48
Finland	4	28
Zwitserland	5	37,4
Verenigd Koninkrijk	19	18,4
Nederland	1	3,5
Spanje	8	19,8
Duitsland	17	31,8
Hongarije	4	37,7

Eind 2006 waren er wereldwijd 435 kernreactoren in gebruik. In 2006 was ongeveer 16 % van de wereldwijde elektriciteitsproductie afkomstig van kernenergie. Kernenergie is duidelijk aan een opmars bezig in vele landen. Vooral in Azië komt er jaarlijks veel nucleair vermogen bij. Van de 29 reactoren die in 2006 in aanbouw waren, bevonden er zich 17 in Azië (IAEA, 2006). In de Verenigde Staten waren er tegen eind 2006, 47 aanvragen om de uitbatingsvergunning te verlengen goedgekeurd. Ook in Frankrijk, Canada en Nederland werden dergelijke aanvragen goedgekeurd.

In 2006 werden er projecties van de nucleaire energie-expansie gepubliceerd door het Internationaal Atoomagentschap [IAEA] en door het Internationaal Energie Agentschap [IEA]. De projecties van deze twee studies zijn samengevat in figuur 4.4.

Het IAEA geeft zowel een hoge als een lage projectie. De lage projectie van het IAEA (blauw in figuur 4.4) veronderstelt dat er geen nieuwe kerncentrales zullen bijkomen behalve diegene die nu reeds in constructie zijn. Bovendien wordt er aangenomen dat de oude kerncentrales allemaal op schema buiten gebruik zullen genomen worden, dus dat de sluitingstermijnen niet uitgesteld worden. In dit scenario zal de nucleaire elektriciteitsproductie aangroeien tot 3100 TWh in 2030. De hoge projectie van het IAEA (rood in figuur 4.4) neemt ook toekomstige nucleaire projecten mee op in de berekening, waarvan men vrij zeker is dat deze in de toekomst uitgevoerd zullen worden. In dit scenario zal de nucleaire elektriciteitsproductie aangroeien tot 5040 TWh in 2030. Er zullen echter wel sterke regionale verschillen ontstaan. Vooral bij de lage projectie zijn de verschillen groot. West-Europa zou dan een sterke daling in het gebruik van kernenergie kennen, Azië daarentegen zou een sterke groei kennen.

Het IEA geeft in zijn 'World Energy Outlook 2006' (3 in figuur 4.4), zowel een referentiescenario als een alternatief scenario. In het referentiescenario (blauw in figuur 4.4) gaat men er vanuit dat er geen veranderingen in het energiebeleid en in de relevante trends zullen plaatsvinden. De geprojecteerde nucleaire elektriciteitsproductie onder dit scenario is bijna identiek aan het lage scenario van het IAEA. Het alternatief scenario (rood in figuur 4.4) veronderstelt dat er additionele maatregelen genomen zullen worden om de energietoevoer veilig te stellen en de CO₂-uitstoot te verminderen. Deze maatregelen hebben tot gevolg dat de vraag naar kernenergie zal stijgen, toch bereikt men niet het niveau dat de IAEA projecteert bij haar hoge projectie.



Figuur 4.4: Globale nucleaire elektriciteitsproductie in 2006 en projecties voor 2030 (Bron: IAEA, 2006)

4.3 Kerncentrales van de derde en vierde generatie

Doorheen de geschiedenis van de kerncentrales werden er vele verschillende typen kernreactoren ontwikkeld en de evolutie gaat vandaag nog steeds voort. De eerste kernreactor werd in 1942 gebouwd en toonde aan dat een kettingreactie zichzelf kon onderhouden op een beheerste manier. Het reactorvermogen bedroeg minder dan 1 W, elektriciteitsproductie was dan ook niet het doel van deze **experimentele centrale** (NRG, 2007). De kerncentrales van de eerste generatie waren louter bedoeld om de technologie te demonstreren.

De kerncentrales die vandaag in Europa gebruikt worden zijn bijna allemaal in de jaren zeventig, tachtig en negentig van de vorige eeuw gebouwd en zijn voorbeelden van de **tweede generatie**. Twee ernstige ongevallen met tweede generatie kernreactoren hebben een grote impact gehad op de evolutie. In 1979 was er een ernstig reactorongeval in de Amerikaanse kerncentrale Three Miles Island. Hoewel er geen dodelijke slachtoffers vielen en de milieuschade zeer beperkt bleef door goede beveiligingsmechanismen, werd duidelijk dat er meer aandacht aan veiligheid moest besteed worden. Op 26 april 1986 vond in Tsjernobyl een ramp plaats bij een kerncentrale van de tweede generatie. Uit onderzoek van de IAEA (IAEA, 1986, 1992) bleek dat de ramp het gevolg was van fouten in het reactorontwerp en van het niet naleven van veiligheidsvoorschriften. Deze ongevallen hadden enerzijds tot gevolg dat de bouw van nieuwe centrales sterk vertraagd werd. Anderzijds kreeg de internationale samenwerking op gebied van kernenergie een nieuwe impuls en werden de veiligheidssystemen voor bestaande reactoren verbeterd.

In de jaren negentig van de vorige eeuw werden de **derde generatie** reactoren ontworpen. Deze revolutionaire opvolgers van de tweede generatie zijn nu reeds in gebruik genomen in vele landen. Typische kenmerken van deze reactoren zijn:

- een gestandaardiseerd ontwerp voor elk type kernreactor;
- een eenvoudiger reactor-ontwerp;
- een langere operationele levensduur (ongeveer 60 jaar);
- een lagere kans op ernstige kernsmeltongevallen (hogere technische veiligheid);
- efficiënter gebruik van splijtstoffen (hogere opbrandwaarde).

(Brouwers, Couder, & Verbruggen, 2006)

Hierna wordt zeer beknopt ingegaan op vier typen kernreactoren van de derde generatie die momenteel commercieel leverbaar zijn (Blom, Lako, van Gemert, Scheepers, & Seebregts, 2007).

De EPR (European Pressurized Water Reactor) is een drukwaterreactor met een vermogen van ruim 1600 MW. Er werd een extra veiligheidssysteem ingevoerd om reactorongevallen beter te kunnen beheersen. Dit mechanisme wordt de 'core catcher' genoemd en bevindt zich onder het reactorvat. Wanneer de reactorkern volledig zou smelten zorgt de core catcher ervoor dat de insluiting van radioactieve stoffen in stand blijft en dat er dus geen radioactieve stoffen buiten de kerncentrale kunnen lekken.

De AP1000 (Advanced Pressurized Water Reactor) is net als de EPR een drukwaterreactor, maar heeft een kleiner vermogen van ongeveer 1100 MW. Een eerste centrale van dit type is momenteel in aanbouw in China, maar ook in de Verenigde Staten werden reeds vergunningsaanvragen gedaan voor dit type reactor. De nadruk ligt hier vooral op het vereenvoudigen van het reactorontwerp. Volgens Westinghouse (de fabrikant) heeft deze reactor ongeveer 50 % minder kleppen, 80 % minder buizen, 70 % minder kabel en 35 % minder pompen dan zijn voorgangers (Blom, Lako, van Gemert, Scheepers, & Seebregts, 2007).

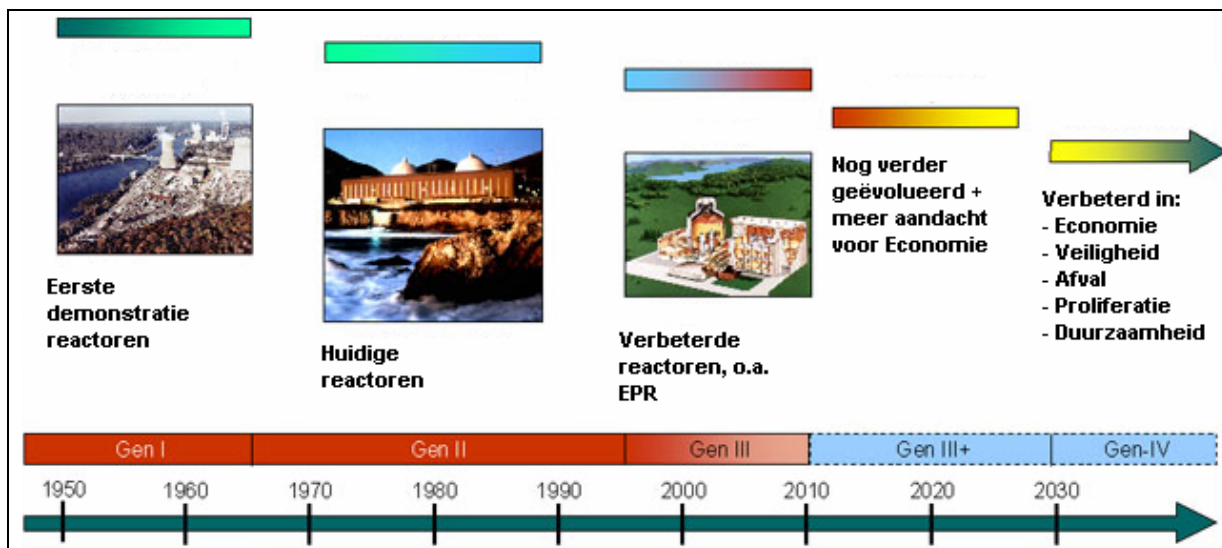
De ABWR (Advanced Boiling Water Reactor) is in tegenstelling tot de twee voorgaande types een kokendwaterreactor. Het grote verschil met een drukwaterreactor is dat bij een kokendwaterreactor de stoom in het reactorvat zelf wordt geproduceerd en dus niet via een aparte cyclus. Deze reactor werd door General Electric ontworpen en heeft een vermogen van 1350 tot 1600 MW.

De ESBWR (Economic and Simplified Boiling Water Reactor) heeft een vermogen van 1500 MW en werd tevens door General Electric ontworpen. De ESBWR is een kokendwaterreactor en maakt net zoals de ERP gebruik van een core catcher.

Daarnaast zijn er enkele Hoog Temperatuur Reactoren (HTR) ontwikkeld met een relatief klein vermogen (100 tot 200 MW). Deze reactoren behoren tot de **generatie 3+** en men verwacht dat deze tegen 2016 commercieel inzetbaar zullen zijn. De HTR is gebaseerd op een geheel nieuwe veiligheidsfilosofie. Zelfs bij verlies van koelmiddel zal de temperatuur in de splijtstof nooit het toegestane maximum van 1600 °C overschrijden (Brouwers, Couder, & Verbruggen, 2006). Men kan dus stellen dat deze reactor inherent veilig is. In China is men momenteel de eerste HTR-PM (High

Temperature Reactor Pebble-bed Module) centrale aan het bouwen. Dit is een gasgekoelde hoge temperatuur reactor, ontwikkeld om een hoger energetisch rendement en een eenvoudiger veiligheidsconcept te realiseren. Ook de Zuid-Afrikaanse PBMR (Pebble Bed Modular Reactor) valt onder de generatie 3+ reactoren. Men verwacht dat men tegen 2016 een eerste commerciële reactor van dit type kan bouwen. Ook hier streeft men naar een eenvoudiger veiligheidsconcept en een hoger energetisch rendement.

In 2000 hebben negen landen, onder leiding van de Verenigde Staten, de handen in elkaar geslagen om samen onderzoek te verrichten naar meer geavanceerde reactoren. Dit samenwerkingsverbond, het 'Generation-IV International Forum' (GIF), bestaat ondertussen uit twaalf landen en Euratom. De groep heeft zes veelbelovende reactortypen geselecteerd waar men verder onderzoek naar zal verrichten. Deze reactoren zijn bekend als de **vierde generatie** en men verwacht dat ze tegen 2030 commercieel inzetbaar zullen zijn (VROM, 2006). Reactoren van de vierde generatie zouden beter moeten presteren op gebied van veiligheid, duurzaamheid, economie, grondstoffengebruik, levensduur van het geproduceerd afval en proliferatie (minder geschikt maken als basis voor wapenproductie). In bijlage 1 is een tabel opgenomen met een overzicht van de zes reactortypen die onderzocht worden door het GIF.



Figuur 4.5: Ontwikkeling van kernreactoren in generaties (Bron: GIF, z.d.)

4.4 De grondstof uranium

Een beperking van kernenergie, die vaak door sceptici wordt aangehaald, is het eindig karakter van de grondstof uranium. Uranium is slechts in beperkte mate aanwezig op onze planeet en zal dus ooit uitgeput raken. Deze bewering moet echter genuanceerd worden.

Volgens het internationaal atoom- en energieagentschap [IAEA] is er nog voor vijftig jaar uranium beschikbaar tegen een competitieve prijs als de nucleaire elektriciteitsproductie op het niveau van 2004 blijft doorheen de jaren en men dezelfde technologie blijft gebruiken (nuclear technology review, 2007). Men kan echter aannemen dat er dankzij nieuwe technologieën (kerncentrales van de derde en vierde generatie), steeds minder splijtstoffen nodig zullen zijn. Daarnaast kan men door opwerking of recyclage van de brandstof, de uitputting van de reserves gevoelig uitstellen. Men gaat dan gebruikte splijtstof (uranium en plutonium) terugwinnen om weer te hergebruiken als brandstof voor de kerncentrales. Indien men dus vandaag een nieuwe kerncentrale bouwt is er gegarandeerd genoeg uranium om de productie te garanderen gedurende de hele levensduur van de centrale.

Bovendien kan men in de toekomst steeds meer andere brandstoffen gebruiken in de kerncentrales. Zo zou het theoretisch mogelijk zijn om alle elementen voorbij Fe in de tabel van Mendeljev te gebruiken als brandstof voor de centrale.

Politieke instabiliteit kan ernstige onderbrekingen in de aanvoer van essentiële grondstoffen

tot gevolg hebben. De oliecrisis van de jaren zeventig herinneren ons eraan hoe kwetsbaar de economie is als men volledig op fossiele brandstoffen moet rekenen bij de energievoorziening. Kernenergie heeft dit probleem in grote mate opgelost. Hoewel men bij kernenergie ook gebruik maakt van een ingevoerde fossiele brandstof (uranium), is deze energiebron minder kwetsbaar. De leveringszekerheid van uranium is immers veel hoger dan bij andere fossiele brandstoffen zoals aardolie. Dit komt doordat de voorraden uranium sterk geografisch verspreid zijn (J. Eyckmans en G. Pepermans, 2003). Een regionaal conflict kan de toevoer van uranium dus niet in gedrang brengen. Dit is niet het geval bij bijvoorbeeld aardolie, politieke conflicten in

het Midden-Oosten hebben al vaker voor toeleveringsproblemen en prijsinstabiliteit gezorgd.

Hoofdstuk 5: Veiligheid van kerncentrales

Na het kernongeval in Tsjernobyl rezen er veel vragen over de veiligheid van kerncentrales. Het vertrouwen van de publieke opinie in kernenergie was verdwenen. Men kan zich de vraag stellen of er reden is voor achterdocht. Kan een dergelijk rampscenario ook bij de Belgische centrales plaatsvinden? De aanslagen van 11 september 2001 waren opnieuw een opdoffer voor het veiligheidsgevoel. De vrees voor terroristische aanslagen op kerncentrales kwam vanaf toen volop in de belangstelling. Enerzijds bestaat het gevaar dat terroristen een kerncentrale als strategisch doelwit uitkiezen voor een aanslag. Anderzijds vreest men dat terroristen radioactief materiaal zullen gebruiken om een zogenaamde vuile bom te ontwikkelen.

5.1 Technische veiligheid van kerncentrales

Op 26 april 1986 vond in Tsjernobyl een ramp plaats bij een kerncentrale van de tweede generatie. Uit onderzoek van de IAEA (IAEA, 1986, 1992) bleek dat de ramp het gevolg was van fouten in het reactorontwerp en van het niet naleven van veiligheidsvoorschriften. Volgens Hoenraet (1999) is een dergelijk ongeluk onmogelijk in de Belgische centrales. De Russische RBMK die in Tsjernobyl gebruikt werd is technisch sterk verschillend van de Belgische PWR-centrales.

In een watergekoelde en met water gemodereerde PWR-centrale zal het water overgaan in stoom indien de reactor oververhit geraakt. Er ontstaan dan stoombellen, hierdoor is er plaatselijk geen moderator aanwezig om de neutronen af te remmen en zal de reactie niet in stand gehouden worden. De stoombellen doen 'vacuüms' ontstaan en bijgevolg daalt de dichtheid van het water. Een lage dichtheid van het water heeft een negatieve invloed op de reactiviteit en het vermogen van de reactor. Men kan dus stellen dat de PWR-centrale intrinsiek veiliger is omwille van een negatieve 'vacuümcoëfficiënt'. De RBMK-reactor daarentegen heeft een sterk positieve 'vacuümcoëfficiënt' en heeft de neiging om op hol te slaan. In een watergekoelde maar met grafiet gemodereerde RBMK-reactor zal aanwezigheid van stoom het aantal neutronen dat in de moderator terechtkomt doen stijgen doordat het water minder neutronen opslorpt. Hierdoor zal de reactiviteit en het vermogen van de reactor stijgen. Schommelingen in het stoomvolume moeten in deze centrales dan ook zeer geleidelijk gebeuren en moeten opgevangen worden door het inbrengen van regelstaven om zo

iedere stijging van de reactiviteit te compenseren (Hoenraet, 1999). In de nacht van het ongeval in Tsjernobyl stapte men bewust af van de veiligheidsvoorwaarde om het stoomvolume geleidelijk te laten veranderen. Dit experiment bleek fataal te zijn en lag aan de basis van het ongeval (IAEA, 1986, 1992). Bovendien werkte het noodstopsysteem van RBMK-reactoren niet snel genoeg. Het noodstopsysteem heeft ongeveer 20 seconden nodig voordat het echt werkzaam wordt. Bij de PWR-reactoren is er slechts 1 seconde nodig. Een ander element dat de PWR-reactoren veiliger maakt is de compacte reactor, deze is eenvoudiger te controleren. Daarnaast is het ontwerp eenvoudiger en zijn er minder mogelijkheden tot breuk (Hoenraet, 1999). We kunnen dus besluiten dat een 'Tsjernobylongeluk' onwaarschijnlijk is in de Belgische centrales.

In vergelijking met andere industriële activiteiten heeft kernenergie een behoorlijk positieve veiligheidsbalans, ongelukken zijn eerder zeldzaam. Dit komt doordat er in deze industrie een ware veiligheidscultuur heerst. In principe zal er altijd een risico blijven bestaan dat in de splijtstofcyclus een ongeval plaatsvindt waarbij radioactieve stoffen ongecontroleerd in de omgeving lekken. Om de kans hierop en de impact van een dergelijk ongeval te minimaliseren werd er een groot aantal organisatorische en technische maatregelen in gebruik genomen. Het IAEA speelt hierbij een grote rol, zij stellen onder meer veiligheidsstandaarden op.

De Belgische overheid heeft vele maatregelen genomen om de risico's van een kernongeval zo goed mogelijk te beperken. Zo werd het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle [FANC] opgericht. De FANC heeft ondermeer als opdracht de bescherming van de bevolking en het leefmilieu tegen het gevaar van radioactiviteit. Een belangrijk hulpmiddel dat de FANC in staat stelt zijn opdracht goed uit te voeren is het TELERAD-net. Het TELERAD-net is een systeem dat uit 212 meetstations bestaat die voortdurend de radioactiviteit in de lucht en het rivierwater meten. De meetstations zijn verspreid over het hele Belgische grondgebied. TELERAD is in de eerste plaats een waarschuwingssysteem dat toelaat abnormale situaties snel te kunnen detecteren. Er worden om de tien minuten metingen uitgevoerd wat dus betekent dat abnormale situaties zeer snel gedetecteerd kunnen worden (TELERAD, z.d.). Daarnaast worden de niveaus van radioactiviteit van de lucht, de regen, het drinkwater, de bodem, de kustzone en de voedselketen jaarlijks gecontroleerd. Een andere maatregel die genomen werd om de bevolking en het leefmilieu zo goed mogelijk te beschermen is de ontwikkeling van noodplannen. Dit stelt de overheid in staat om snel te kunnen

handelen bij een ongeluk. Bij een ongeval moet de exploitant onmiddellijk het crisiscentrum van de federale overheid in Brussel op de hoogte brengen. Het crisiscentrum zal dan alle informatie bundelen en de nodige stappen ondernemen. De bevolking in de bedreigde zone zal dan gealarmeerd worden via sirenes en politiewagens. Men zal dan tevens vragen om te schuilen en om radio en televisie te raadplegen voor meer informatie. In een straal van 20 km rond een kernreactor werd door de overheid jodiumtabletten verspreid bij de bevolking. Radioactief jodium vormt immers de grootste bedreiging wat betreft radioactieve straling bij een ernstig reactorongeval. Het jodium stapelt zich op in de schildklier en kan schildklierkanker veroorzaken. Door onmiddellijk na het ongeval stabiel jodium in te nemen kan men zich hiertegen beschermen. De kerncentrale van Doel ligt midden in een zeer belangrijke industriële omgeving, daarom werden er ook bedrijfsspecifieke noodplannen opgesteld die de economische gevolgen in beschouwing nemen.

Ongevallen in de splijtstofcyclus kunnen zowel risico's inhouden voor het personeel als voor de bevolking. De mijnwerkers in de uraniummijnen lopen het hoogste risico om bij een ongeval in de splijtstofcyclus te overlijden. Het gaat hierbij vooral om soortgelijke ongevallen als bij de mijnbouw van andere delfstoffen. Bovendien is het risico niet hoger dan bij andere delfstoffen waarbij men dezelfde mijnbouwmethode toepast. Bij de andere onderdelen van de splijtstofcyclus zijn de risico's voor het personeel vergelijkbaar met die van de lichte industrie. Het risico van ongevallen wordt bepaald door het uitvoeren van veiligheidsanalyses. De risico's op overlijden door ongevallen bij de verschillende processen van de splijtstofcyclus zijn voor de bevolking extreem klein. De risico's van andere ongevallen of gevaren zijn veel groter voor de bevolking. Tijdens de afgelopen 30 jaar zijn er vanuit België honderden transporten met gebruikte splijtstoffen naar La Hague uitgevoerd. Geen enkel incident met gevolgen voor de mens of het milieu heeft zich ooit voorgedaan (Hoenraet, 1999).

Men kan een evolutie vaststellen in de veiligheid van de kernreactoren en nieuwe generatie kerncentrales bieden mooie vooruitzichten wat betreft veiligheid. Bij de verschillende reactortypen zijn verschillende veiligheidsfilosofieën van toepassing. De veiligheidsfilosofie van derde generatie reactoren is dezelfde als die van tweede generatie reactoren waarbij aanvullende veiligheidssystemen werden aangebracht. Zij gaan uit van een 'defense-in-depth' veiligheidsfilosofie, waarbij gebruik gemaakt wordt van actieve en passieve veiligheidssystemen. Actieve veiligheidssystemen worden pas

geactiveerd wanneer er zich een situatie voordoet die de veiligheid bedreigt. Passieve systemen daarentegen zijn permanent werkzaam omdat zij gebruik maken van altijd aanwezige voorwaarden zoals de zwaartekracht (Blom, Lako, van Gemert, Scheepers, & Seebregts, 2007). Bij de generatie 3⁺ reactoren stapt men af van actieve veiligheidssystemen en maakt men enkel nog gebruik van passieve veiligheidssystemen. Dit is dus een andere veiligheidsfilosofie. De intrinsieke veiligheid van de reactor en de gebruikte splijtstof maakt het hierbij onmogelijk dat een ongecontroleerde toename van de reactiviteit plaatsvindt. Bij het uitvallen van de koeling zal de reactor zichzelf uitschakelen en wordt het smelten van de kern fysiek onmogelijk. Dit type reactor biedt dus een zeer hoge veiligheidsgraad en zal in de nabije toekomst zijn commerciële intrede vinden. Het argument dat kerncentrales technisch onveilig zijn en een analogie met Tsjernobyl wordt dan ook steeds minder relevant.

5.2 Risico's van proliferatie en terrorisme

Naast de technische veiligheid moet men bij de toepassing van kernenergie ook rekening houden met het risico van proliferatie en terrorisme. **Proliferatie** is de ongecontroleerde verspreiding van nucleaire technologie, kennis en materiaal voor militaire en niet-vreedzame toepassingen (Blom, Lako, van Gemert, Scheepers, & Seebregts, 2007).

In augustus 1945 werden de Japanse steden Hiroshima en Nagasaki aangevallen met nucleaire wapens. Dit was meteen de eerste kennismaking die de wereld met kernenergie had. De Verenigde Staten [VSA] hadden op dat moment een monopolie over de technologie en deden hun best om dit ook de jaren na de tweede wereldoorlog zo te houden. Ze konden echter niet voorkomen dat de toenmalige Sovjet-Unie [USSR] ook een kernwapen ontwikkelde. Daarna volgde het Verenigd Koninkrijk [VK]. Begin jaren 60 ontwikkelde ook Frankrijk en China een nucleair wapen. Er zijn verschillende initiatieven genomen om de verspreiding van nucleaire technologie, kennis en materiaal aan internationaal toezicht te onderwerpen. Het Non-proliferatieverdrag uit 1968 is hierbij het belangrijkste. Tijdens het opstellen van het verdrag hadden enkel de vijf bovenvermelde landen beschikking over een kernwapen. In het verdrag werd overeengekomen dat enkel deze vijf landen kernwapens mochten bezitten en de technologie niet verspreid mocht worden naar andere landen. Toch kent het verdrag

het recht toe aan andere landen om nucleaire technologie voor vreedzame doeleinden te gebruiken. Ondanks dit verdrag beschikken anno 2008 nog enkele andere landen over een nucleair wapen. Zo zouden India, Pakistan, Israël en Noord Korea nu ook toegang hebben tot een nucleair wapen.

Naast het non-proliferatieverdrag werden er nog enkele andere internationale initiatieven gelanceerd. Zo begon men in 2003 met het Proliferation Security Initiative. Het doel hiervan is het onderscheppen en voorkomen van illegale transporten van massavernietigingswapens of materialen die voor de productie hiervan kunnen dienen. Verder begon het IAEA in 2006 met de invoering van een systeem waarbij de lidstaten splijtstof in bruikleen krijgen. Na gebruik in de kerncentrales wordt het dan teruggegeven. Men zou hiermee willen bereiken dat op lange termijn alle verrijking- en opwerkingsinstallaties onderworpen kunnen worden aan internationaal toezicht. Tenslotte mogen we binnen Europa ook het Euratom-verdrag niet vergeten, dit verdrag bindt alle vreedzame nucleaire activiteiten in de Europese Unie aan regels (Blom, Lako, van Gemert, Scheepers, & Seebregts, 2007). Al deze politieke instrumenten zorgen voor de nodige transparantie en garanderen dat de proliferatie strikt beperkt blijft.

Het is zeer twijfelachtig dat het proliferatieprobleem opgelost kan worden door het sluiten van commerciële kerncentrales. Eerst en vooral moet er opgemerkt worden dat met het sluiten van de bestaande kerncentrales de kennis omtrent deze technologie niet zal verdwijnen. De wetenschappelijke bevindingen binnen de kernfysica worden niet uitgewist met het sluiten van kerncentrales. Organisaties met slechte bedoelingen zullen nog steeds gebruik kunnen maken van deze kennis. Daarnaast dient men op te merken dat commerciële kerncentrales slechts zeer beperkt geschikt kunnen zijn om een kernwapen te produceren.

De grondstoffen die nodig zijn om een kernwapen te produceren zijn hoogverrijkt uranium of plutonium. De voor proliferatie gevoelige processen zijn beperkt tot de verrijking en de opwerking. Bij de verrijking zou men hoogverrijkt uranium kunnen produceren, dit is echter zeer complex en kan vele jaren in beslag nemen. Bij het opwerkingsproces zou men plutonium uit de gebruikte splijtstof kunnen halen om te gebruiken in een primitief kernwapen. Hoe slechter de kwaliteit van het plutonium, hoe moeilijker het is om een nucleair explosief te maken (Blom, Lako, van Gemert, Scheepers, & Seebregts, 2007).

De gebruikte splijtstoffen uit PWR-centrales ,die in België in gebruik zijn, kunnen echter niet gebruikt worden om plutonium met een voldoende hoge kwaliteit te produceren (Hoenraet, 1999). We kunnen dus besluiten dat de sluiting van commerciële kerncentrales niet zal leiden tot een vermindering van de aanmaak van kernwapens.

De kernreactoren van de derde generatie bieden geen pasklaar antwoord op het proliferatieprobleem. De situatie rond proliferatie zal niet wezenlijk veranderen door het in gebruik nemen van deze reactoren. Wel wordt er op dit gebied veel verwacht van de kernreactoren van de vierde generatie. Zij zouden aanzienlijke verbeteringen teweegbrengen op het gebied van non-proliferatie. Commerciële kerncentrales zouden dan gebruik maken van een technologie die niet toepasbaar is voor de productie van kernwapens. Een situatie zoals die vandaag in Iran voorkomt, waar de internationale gemeenschap niet met zekerheid kan vaststellen of de kerncentrale al dan niet gebruikt wordt voor de productie van een kernwapen, zal dan niet meer kunnen voorkomen.

Naast het proliferatierisico bestaat er ook het **risico van terrorisme**. Men vreest dan dat terroristen een kerncentrale als strategisch doel zullen gebruiken voor een aanslag of dat de terroristen radioactief materiaal gebruiken om een zogenaamde 'vuile bom' te maken.

Het grote gevaar bij een terroristische aanval op een kerncentrale is dat er hoogradioactieve stoffen ontsnappen en de omgeving besmetten. Door tussen de splijtingsproducten en de buitenwereld een voldoende aantal barrières in te bouwen voorkomt men dat deze producten ontsnappen als er iets misloopt.

De opeenvolgende barrières zijn zo doeltreffend dat de kerncentrales tot de best beveiligde gebouwen in België behoren. De kerncentrales in België zijn gebouwd om weerstand te bieden aan de volgende bedreigingen:

- Een aardbeving met een intensiteit van VII op de Mercalli-schaal. Een dergelijke aardbeving heeft zich nog nooit in België voorgedaan en aangenomen wordt dat er in België geen aardbevingen van deze intensiteit kunnen voorkomen.
- Overstromingen
- Het neerstorten van een burgerlijk vliegtuig van het Boeing-type of een F16.
- Zware branden of explosies

(Hoenraet, 1999)

Andere bronnen (Brouwers, Couder, & Verbruggen, 2006) geven aan dat de Belgische kerncentrales niet berekend zijn op een terreuraanslag met een groot volgetankt burgervliegtuig. Toch is het erg onrealistisch dat men een dergelijke aanslag op een kerncentrale zou uitvoeren. Het is immers zeer moeilijk om een groot burgervliegtuig op het reactorgebouw te laten crashen. Het reactorgebouw is namelijk niet hoog genoeg en bevindt zich tussen andere gebouwen van de kerncentrale. Uit een experiment met een Zwitserse kerncentrale bleek dat het reactorgebouw bestand was tegen de impact van een neerstortende Boeing 707 (Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate [HSK], 2003).

Overname door terroristen van een kerncentrale om ze vervolgens te saboteren lijkt realistischer. Maar ook hier zijn de nodige maatregelen genomen om grote schade te vermijden. Zo wordt er voorgeschreven om een tweede gescheiden controlekamer te voorzien, zodat men de reactor ook van daaruit kan uitschakelen. De gevolgen van sabotage worden trouwens beperkt doordat de veiligheidssystemen garanderen dat de reactor automatisch wordt uitgeschakeld bij verkeerde handelingen van een operator.

Ook opwerkingsfabrieken kunnen op het eerste gezicht een aantrekkelijk doelwit vormen, omwille van de grote hoeveelheid radioactieve stoffen die er aanwezig is. Dit materiaal bevindt zich echter sterk verspreid over verschillende systemen en gebouwen. Er kan dus slechts een deel van het materiaal geïsoleerd worden, waardoor de schade beperkt blijft bij een explosie of brand (Blom, Lako, van Gemert, Scheepers, & Seebregts, 2007). Toch worden ook bij deze installaties de nodige maatregelen genomen om schade van terroristische aanslagen tot een minimum te beperken.

Daarnaast kunnen ook de transporten van nucleair materiaal een strategisch doelwit voor terroristen vormen. Men kan dan als doel hebben de radioactieve stoffen te laten ontsnappen om vervolgens de omgeving te besmetten of het materiaal te stelen om voor andere sinistere doeleinden te gebruiken. Om dit te voorkomen werden er enkele maatregelen genomen. Zo zal bij elk transport vooraf een controle plaatsvinden van het vervoermiddel, de lading en de route. Ook zal er bij elk transport van nucleair materiaal politiebegeleiding aanwezig zijn. In Frankrijk, waar een groot deel van het gebruikte nucleair materiaal van België naartoe gaat, heeft men een systeem waarmee men alle transporten in real time kan volgen. Bovendien staat er steeds een interventieteam paraat om in te grijpen indien dit nodig zou zijn (Blom, Lako, van Gemert, Scheepers, &

Seebregts, 2007). Bij de vele transporten die over Belgisch grondgebied liepen is er nog nooit een incident geweest dat een ernstig gevaar voor mens of milieu inhield. De transportcontainers voor hoogradioactief afval zijn trouwens massieve, tonnen wegende omhulsels die de zwaarste impacten kunnen doorstaan.

Voor terroristische groeperingen is het praktisch onmogelijk om een kernwapen te ontwikkelen en te produceren. De grootte en complexiteit van de installaties maken het erg onwaarschijnlijk dat terroristen clandestien een dergelijk wapen kunnen produceren. Realistischer is de dreiging van een zogenaamde vuile bom. Hierbij zal men een hoeveelheid radioactief materiaal bij een conventioneel explosief plaatsen. De radioactieve stoffen zullen dan wijdverspreid worden bij een ontploffing. Men dient echter op te merken dat er voor de productie van een dergelijke bom geen materiaal uit de kerncentrales nodig is. Men kan ook buiten deze industrie dergelijk radioactief materiaal vinden, bijvoorbeeld in de medische sector. De sluiting van de kerncentrales zal dus ook dit risico niet de wereld uithelpen. Tot slot moet hierbij opgemerkt worden dat het erg onwaarschijnlijk is dat terroristen een dergelijk wapen zouden gebruiken. Biologische of chemische wapens zijn eenvoudiger te produceren voor terroristen en zij kunnen grotere schade aanbrengen.

Hoofdstuk 6: Radioactief afval

Radioactief afval wordt aanzien als één van de meest ernstige problemen die kernenergie met zich meebrengt. Het gevaar bevindt zich in het stralingsgevaar dat uitgaat van het kernafval. Bij deze kwestie komt er zowel een ethisch als een technisch aspect kijken. Men is continu op zoek naar nieuwe technologieën om bijvoorbeeld de productie van radioactief afval te minimaliseren of de levensduur van het afval te verminderen. De ethische kwestie handelt over de vraag of wij zonder scrupules radioactief afval kunnen overdragen aan honderden generaties na ons.

6.1 Ioniserende straling

Radioactiviteit is een fysisch verschijnsel waarbij onstabiele atoomkernen (radionucliden) uiteenvallen. Dit gaat gepaard met de uitzending van deeltjes of straling, ook wel ioniserende straling genoemd. Blootstelling aan deze straling kan cellen in levende wezens beschadigen. Een groot deel van de ioniserende straling waar wij dagelijks aan blootgesteld worden is van natuurlijke aard. Zo vormt de kosmische straling een belangrijke component van de natuurlijke straling. Dit is een continue stroom van deeltjes die met een hoge snelheid onze aarde bereiken. Een deel van deze straling vindt zijn oorsprong van buiten het zonnestelsel, het ander deel is afkomstig van de zon (Brouwers, Couder, & Verbruggen, 2006). Naast de kosmische straling zijn er ook andere natuurlijke stralingsbronnen zoals bijvoorbeeld de natuurlijke radioactiviteit van de aardbodem of de lucht. Er zijn immers een grote hoeveelheid natuurlijk radioactieve stoffen aanwezig in het leefmilieu. Naast de ioniserende straling van natuurlijke aard is er de ioniserende straling die zijn oorsprong vindt in de bedrijvigheid van de mens. De belangrijkste bronnen zijn de medische beeldvorming en in mindere mate de kerncentrales en bepaalde industrievormen.

Men kan verschillende soorten ioniserende straling onderscheiden. De belangrijkste soorten worden kort besproken.

- Alfastraling: de straling gaat uit van positief geladen heliumkernen (alfadeeltjes). Deze deeltjes zijn relatief groot en zwaar en kunnen gemakkelijk worden tegengehouden. Ze zijn niet erg doordringend, zo kunnen ze bijvoorbeeld niet door de huid van de mens dringen. Het gevaar gaat hier vooral

uit van inwendige besmetting doordat ze bijvoorbeeld geïnhaleerd worden of via het voedsel in het lichaam terechtkomen.

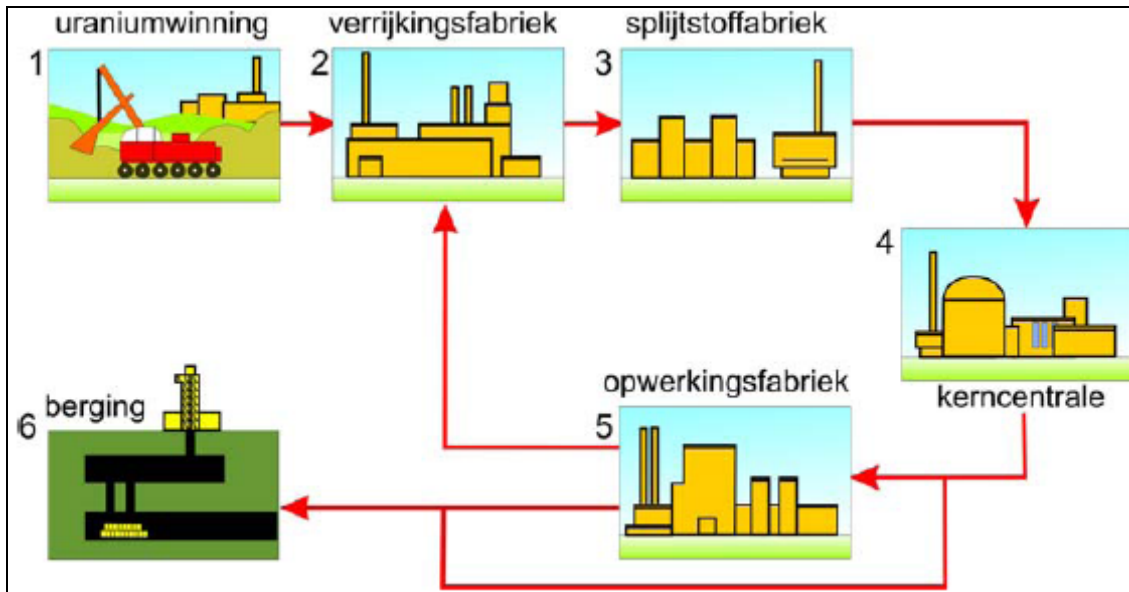
- Bètastraling: de straling gaat uit van negatief geladen elektronen of positief geladen positronen (bètadeeltjes). Doordat ze veel lichter zijn dan alfadeeltjes kunnen ze dieper doordringen in de materie.
- Gammastraling: deze straling ontstaat bij het uiteenvallen van een atoomkern. Ze hebben een sterk doordringend vermogen. Men kan ze tegenhouden door enkele centimeters tot een meter materiaal, afhankelijk van het gebruikte materiaal en de energie van de straling.
- Röntgenstraling: deze straling ontstaat door elektronenovergangen in de elektronenschil of door afremming van elektronen in materie. Deze straling is minder energierijk dan gammastraling en dringt dan ook minder sterk door in materie.

(Brouwers, Couder, & Verbruggen, 2006).

De eenheid van radioactiviteit is becquerel (Bq). Deze eenheid drukt uit hoeveel atoomkernen per seconde veranderen. Het komt vaak voor dat de radioactiviteit uitgedrukt wordt per oppervlakte (Bq/m^2), per volume (Bq/m^3) of per massa (Bq/kg). Een belangrijke eigenschap van radioactieve atoomkernen is hun halveringstijd. Dit is de tijd die nodig is om zijn radioactiviteit met de helft te laten verminderen. De halveringstijd kan sterk verschillen afhankelijk van de stof. Voor radioactief afval met een lange halveringstijd zal er dan ook een langetermijnoplossing gezocht moeten worden.

6.2 Soorten radioactief afval

Radioactief afval ontstaat in elke fase van de kerncyclus. De hoeveelheid en de radioactiviteit verschilt echter sterk voor elk van deze fasen. Figuur 6.1 geeft een overzicht van de splijtstofcyclus.



Figuur 6.1: De nucleaire splijtstofcyclus (Bron: Brouwers, Couder, & Verbruggen, 2006)

1. Ontginning van uraniumerts: reeds bij de uraniummijnen zijn er grote hoeveelheden radioactief afval.
2. Verrijking van uranium: het uranium moet eerst verrijkt worden om te kunnen gebruiken in kerncentrales. In deze verrijkingsinstallaties worden grote hoeveelheden verarmt uranium opgeslagen.
3. Produceren van reactorbrandstof: hier vindt de omzetting naar uraniumdioxide plaats en vervaardigt men brandstofstaven en splijtstofelementen.
4. De splijtstofelementen blijven ongeveer vier jaar in de reactor en fungeren daar als brandstof. Zo bevindt zich in de kern van een Belgische kernreactor van 1000MW ongeveer 80 ton uraniumsplijtstof.
5. Opwerkingsfabriek: hier kan men gebruikte splijtstof in zijn chemische componenten scheiden om er nog splijtbaar materiaal uit te halen. Deze vorm van recycling laat toe dat ongeveer 95 % van de gebruikte splijtstof opnieuw gebruikt kan worden als brandstof in kerncentrales. Er werd reeds 670 ton gebruikte splijtstof uit Doel en Tihange naar Frankrijk gebracht om daar opgewerkt te worden.
6. De niet-opgewerkte gebruikte splijtstof wordt voorlopig tijdelijk bovengronds opgeslagen. Voor de lange termijn is men echter op zoek naar andere oplossingen. Zo onderzoekt men of het mogelijk is dit afval op te bergen in een stabiele geologische laag.

(Brouwers, Couder, & Verbruggen, 2006)

In België is de Nationale Instelling voor Radioactief Afval en Verrijkte Spleijststoffen [NIRAS] belast met het beheer van het radioactief afval in België. Zij houden tevens een inventaris bij van alle installaties en sites waar radioactief afval wordt bewaard. Op de website van NIRAS (www.nirond.be) wordt een onderscheid gemaakt tussen drie soorten radioactief afval, deze worden hieronder besproken. De indeling in een categorie gebeurt op basis van het activiteitsniveau van het afval en op basis van de soort straling die het afval uitzendt. Deze factoren, en bijgevolg ook de verschillende categorieën, bepalen welke veiligheidsmiddelen vereist zijn tegen de straling.

- **Laagactieve afval:** dit is het minst gevaarlijk afval, een minimale afscherming volstaat om schadelijke effecten te vermijden. Voor de arbeiders die dit afval verwerken volstaan een beschermende overall en handschoenen. Het gaat hier vooral om materialen in een kerncentrale of ontmantelingsafval dat in aanraking is gekomen met radioactieve stoffen.
- **Middelactieve afval:** de verwerking van dit afval moet van op afstand gebeuren. De arbeiders die dit afval verwerken moeten steeds beschermd worden door betonmuren en loodglasvensters. Het gaat hier vooral om afval dat geproduceerd wordt bij de productie en de opwerking van kernbrandstof, maar ook bij ontmantelingsactiviteiten.
- **Hoogactieve afval:** dit afval geeft warmte af en vereist dezelfde veiligheidsmaatregelen als bij het middelactieve afval. Het grote verschil is dat de afscherming veel dikker is in geval van hoogactief afval. Het gaat hier hoofdzakelijk om de bestraalde brandstof zelf, maar ook bepaalde spleijtingsproducten van de opwerking van kernbrandstof vallen hieronder.

Ongeveer 80 % van het radioactieve afval in België vindt zijn oorsprong in bedrijven die, rechtstreeks of onrechtstreeks betrokken zijn bij de productie van elektriciteit uit kernenergie. Volgens het NIRAS is 75 % van het afval laagactief. Slecht 1 % zou hoogactief zijn, de overige 24 % zijn middelactief.

Alvorens het afval opgeslagen wordt, zal men het eerst conditioneren. NIRAS definieert dit zogenaamde conditioneren als het afval in een zodanige vorm omzetten zodat het op een veilige en economische wijze behandeld, opgeslagen en vervoerd kan worden. De inventarisgegevens van NIRAS geven een goed beeld van de actuele hoeveelheden

radioactief afval dat opgeslagen wordt in België. In 2006 werd er ongeveer 13800 m³ laagactief afval opgeslagen. Daarnaast werd er 3900 m³ middelactief afval en 266 m³ hoogactief afval in België opgeslagen. Het hoogradioactief afval vormt dus slechts een zeer kleine fractie van het totale radioactieve afval.

Het probleem van het radioactief afval kan men op drie wijzen benaderen. Het kan gaan om de kwantiteit van het afval, de kwaliteit maar ook de perceptie van het publiek is van belang. De kwantiteit is niet noodzakelijk een probleem. Radioactief afval vertegenwoordigt slechts 1 % van de totale hoeveelheid toxisch afval dat in Europa jaarlijks geproduceerd wordt (Hoenraet, 1999). Van die 1 % is slechts een fractie hoogradioactief. We kunnen dus niet stellen dat het volume het grote probleem is. Ook het kwaliteitsprobleem van het nucleair afval moet men nuanceren. Ander industrieel toxisch afval kan minstens even gevaarlijk zijn en gevaarlijk blijven voor vele jaren, zo niet tot het oneindige. Het Vlaams Instituut voor Wetenschappelijk en Technologisch Aspectenonderzoek [viWTA] liet in 2004 een studie verrichten om het maatschappelijk debat rond kernenergie in kaart te brengen. Eén van hun conclusies was dat de debatten vaak te technisch van aard waren en dat de publieke- en de mediabelangstelling eerder gering was. Wel was er steeds grote mediabelangstelling voor het afvalbeleid en de keuze omtrent een vestiging voor laagradioactief afval. Door de vaak negatieve berichtgeving ontstond er bij het publiek een angstbeeld omtrent nucleaire energie. De wetenschappelijke correctheid van deze mediaberichten was echter vaak twijfelachtig. Zo was er in 2002 bijvoorbeeld grote mediabelangstelling voor enkele vaten met radioactief afval bij Belgoproces die niet meer aan de kwaliteitsvereisten voldeden. Een aantal gecementeerde vaten vertoonden roestvorming met soms zelfs scheuren in het vat tot gevolg. In de media doken verschillende berichten op over 'lekkende vaten' en het gevaar daarvan. Het NIRAS benadrukte echter dat op geen enkel ogenblik de volksgezondheid of het milieu in gevaar was. De probleemvaten waren destijds door het SCK geproduceerd en voldeden niet aan de huidige acceptatiecriteria voor oppervlakteberging. Zij voldeden wel aan de acceptatiecriteria waarvoor zij destijds ontworpen waren namelijk zeeberging. De ijzeren vaten dienden niet als insluiting voor de radioactieve stoffen maar waren in de eerste plaats bedoeld om het transporteren efficiënter te maken. De radioactieve stoffen die in de vaten zaten waren gecementeerd, de radioactieve stoffen konden dus niet ontsnappen door de roest die op de vaten verscheen. Dergelijke zwaar

verontrustende berichten in de media hebben er toe bijgedragen dat kernenergie en dan meer bepaald nucleair afval in een zeer negatief daglicht kwamen te staan.

In brede lagen van de bevolking bestaat er grote onwetendheid wat betreft radioactiviteit. Het angstbeeld dat er bij velen heerst is vaak gebaseerd op halve waarheden. Men moet er naar streven het tekort aan elementaire kennis rond dit topic weg te werken zodat er een objectief debat gevoerd kan worden rond deze problemen. Men dient op te merken dat een sluiting van de kerncentrales niets aan het afvalprobleem zal veranderen. Het huidige probleem wordt daardoor helemaal niet opgelost.

6.3 Verwerking van radioactief afval

Zoals reeds eerder werd aangehaald wordt radioactief afval eerst voorbehandeld, of geconditioneerd, vooraleer het geborgen wordt. Deze conditionering gebeurt in twee fasen en zet het afval in een vorm om die het mogelijk maakt het materiaal op een veilige en economische wijze op te slaan en te vervoeren. De eerste stap in het conditioneringsproces bestaat erin het volume van het afval zo sterk mogelijk te reduceren. Vervolgens zal men het afval insluiten in een zogenaamde primaire verpakking om verspreiding te voorkomen (NIRAS, z.d.).

In de eerste fase van het conditioneringsproces zal men afhankelijk van de soort radioactief afval verschillende technieken toepassen om het volume van het afval zo sterk mogelijk te reduceren. Om het volume van **vloeibaar afval** te reduceren krijgt het materiaal een chemische of thermische behandeling. **Vast brandbaar afval** wordt tot as verwerkt door het bij een temperatuur van 900 °C te verbranden. **Niet-brandbaar afval** wordt onder zeer hoge druk samengeperst tot een meer compacte vorm. Indien het afval niet persbaar is wordt het versneden tot een formaat dat geschikt is voor de standaard opslagvaten (Blom, Lako, van Gemert, Scheepers, & Seebregts, 2007).

In de tweede fase van het conditioneringsproces zal men het radioactief afval, dat reeds sterk in volume is afgenomen, insluiten in stabiel materiaal. Men zal het afval vastzetten in cement, bitumen of glas en vervolgens insluiten in vaten.

Zoals in figuur 6.1 aangetoond wordt kan men gebruikte kernbrandstof, vooraleer men tot het conditioneringsproces overgaat, opwerken of recycleren tot herbruikbare kernbrandstof. Deze route maakt het mogelijk dat ongeveer 96 % van de splijtstof opnieuw gebruikt kan worden als kernbrandstof. Na de opwerkingsfase zal men het resterende afval conditioneren en tijdelijk opslaan totdat er een oplossing voor de lange termijn gevonden is voor het afval. Wanneer men opwerking toepast spreekt men van een gesloten cyclus. Indien men gewoon rechtstreeks overgaat tot conditionering, en dus de opwerkingsstap overslaat, spreekt men van een open cyclus. Wanneer men gebruik maakt van opwerking kan men de hoeveelheid hoogactief afval die per eenheid opgewekt elektrisch vermogen opgeslagen moet worden reduceren met een factor tien.

Langlevende radioactieve elementen kunnen een halveringstijd van honderdduizenden jaren hebben. Met de transmutatietechnologie probeert men radioactieve isotopen om te zetten naar isotopen met een kortere levensduur. Voor een aantal isotopen werkt transmutatie reeds, voor andere isotopen die in het nucleair afval zitten werkt de techniek echter nog niet. Voorlopig blijft het een erg dure techniek die nog verder ontwikkeld moet worden vooraleer ze grootschalig kan worden toegepast. Toch mag men dergelijke technologische ontwikkelingen niet uit het oog verliezen.

6.4 Beheer en opslag van radioactief afval

Na de conditionering van het radioactief afval kan men overgaan tot het bergen van het afval. Voorlopig wordt het afval **tijdelijk opgeslagen** in Dessel, in een site van Belgoproces.

In het verleden dumpte België, net zoals vele andere landen, het geconditioneerd laagradioactief afval in de Atlantische oceaan. In totaal werd er in de periode 1967-1982 ongeveer 15800 m³ van dit afval via zeeberging geborgen. De vaten, waarin het geconditioneerd afval zat, waren speciaal ontworpen om tijdens hun afdaling naar de zeebodem niet te imploderen. De geselecteerde plaatsen in de Atlantische oceaan hadden een diepte van meer dan 4000 m, de druk op deze diepte is erg hoog. Bij de selectie van de dumpingsites lette men er ook op dat er geen belangrijke waterstromingen liepen. Inspectie, met op afstand bediende camera's, heeft aangetoond dat de vaten onbeschadigd de zeebodem bereikten. Het ging hier dus niet om hoogradioactief afval, maar enkel om afval met een relatief korte levensduur.

Bovendien is de oceaan een uitstekende barrière voor straling, de bovenste laag van de oceaan heeft een sterk absorberend vermogen ten aanzien van heel wat radio-elementen. Daarnaast moeten we in het achterhoofd houden dat de dilutiecapaciteit van de oceanen enorm is. De concentratie van radioactieve materialen zal snel oneindig klein worden bij een mogelijk lek. Er is trouwens van nature ongeveer 4,5 miljard ton uranium in de oceanen opgelost. Tot op heden hebben laboratorium-experimenten en -analyses van op de dumpingplaats genomen monsters geen onaanvaardbare besmetting van fauna of flora kunnen aantonen. Men bleef zelfs steeds ver onder de vooropgestelde normen. Ondanks deze vaststellingen besloot België vrijwillig om in 1982 te stoppen met zeebergiging. In 1993 tekende België de Conventie van Londen, dit hield een definitief verbod op zeebergiging in (Belgoproces, z.d.). Het verbod op zeebergiging kwam er dus niet als gevolg van milieuschade, of een dreiging hiervan, maar was eerder een politieke beslissing die door bepaalde drukkingsgroepen was afgedwongen.

Vanaf 1983 ging men in België dan noodgedwongen over tot een tijdelijke opslag van dit afval. In afwachting van een definitieve oplossing voor de berging, werd het afval tijdelijk opgeslagen op de site van Belgoproces in Dessel. De vaten met het verwerkte afval worden hier opgeslagen in speciale gebouwen. De gebouwen zijn zo ontworpen dat mens en milieu beschermd worden tegen mogelijke gevaren uitgaande van het afval. De drie soorten radioactief afval worden in aparte gebouwen opgeslagen. Omdat het hoogradioactief afval de meeste risico's inhoudt, slaat men dit afval op in bunkers van gewapend beton van 1,2 tot 2 m dik (NIRAS, 2006). Men kan stellen dat de opslag van radioactief afval veilig is, zowel op korte als op middellange termijn, toch is dit slechts een tijdelijke oplossing.

Het merendeel van het laag- en middelactief afval zal binnen een periode van 100 jaar vervallen tot niet-radioactief afval. Het hoogradioactief afval blijft echter nog voor duizenden jaren radioactief. Voor dit afval moet er dus een oplossing op lange termijn gevonden worden. Het zou niet mogen zijn dat toekomstige generaties hinder ondervinden van het afval dat wij nu produceren. De kwestie van **transgenerationale solidariteit** is dan ook één van de grote argumenten van de tegenstanders van kernenergie.

Van bij haar oprichting in 1980 deed NIRAS reeds onderzoek naar de mogelijkheden van berging van radioactief afval op lange termijn. Aanvankelijk ging NIRAS enkel uit van een wetenschappelijke en technische benadering. Men spitste zich toe op de veiligheid en haalbaarheid van potentiële bergingsprogramma's, maar er was geen overleg met de gemeenten. Tegen 2007 had men twee beloftevolle bergingsconcepten ontwikkeld, maar er was grote tegenstand door de publieke opinie en meer bepaald door de betreffende gemeenten. In 1998 nam NIRAS afstand van de zuivere ingenieursbenadering en verving ze deze door een participatieve benadering waarin ook de bekommernissen van de inwoners van de gemeenten aan bod kwamen. Men kwam zo tot de oprichting van drie zogenaamde partnerschappen: MONA in Mol, STOLA in Dessel en PaLoFF in Fleuris-Farciennes. Deze partnerschappen hadden elk de opdracht om een voorontwerp van berging te ontwikkelen. Deze maatschappelijke benadering verzekerde dat er tegemoet gekomen zou worden aan de voorwaarden die de lokale gemeenschap stelde.

Om het radioactief afval van mens en milieu te isoleren kan men opteren voor oppervlakteberging ofwel voor diepteberging. Bij oppervlakteberging worden de vaten met het afval geborgen in betonnen modules aan de oppervlakte ofwel net onder de oppervlakte. Bij diepteberging wordt het radioactief afval ingesloten in een stabiele constructie diep onder de grond. In België wordt vooral gedacht aan diepe kleilagen omdat dit stabiele geologische lagen zijn. Bovendien is de watercirculatie in klei zeer zwak en bezit klei de eigenschap dat hij verschillende elementen kan vastzetten (Hoenraet, 1999).

De drie lokale partnerschappen ontwikkelden voorontwerpen voor de berging en dienden deze in bij de gemeenteraad. De gemeenteraden van Dessel en Mol keurden de voorstellen goed, maar de gemeenteraad van Fleuris-Farciennes keurde de voorstellen van PaLoFF af. Bijgevolg waren Dessel en Mol de enige twee gemeenten die zich, onder bepaalde voorwaarden, kandidaat stelden om een bergingsinstallatie te aanvaarden. In juni 2006 besliste de regering dat het hoogradioactief afval geborgen zou worden in een oppervlakteberging in Dessel. Het voorontwerp van het partnerschap STOLA (later omgevormd tot STORA) waarin een oppervlakteberging werd uitgewerkt werd dus geselecteerd. NIRAS is de bouwheer van het project, maar zowel STORA als MONA worden nog steeds betrokken bij de uitvoering. Het partnerschap MONA wordt nog steeds betrokken omdat de gekozen locatie vlak bij de grens met Mol ligt. Het

partnerschap STORA zal erover waken dat de voorwaarden die ze vooropstelden nageleefd worden bij de uitvoering van het bergingsproject. Men kan hier dus over een geïntegreerd project spreken omdat naast de voorwaarden van technische aard ook allerlei voorwaarden op sociaal en economisch vlak in overweging genomen worden. De bouw van het project zal over een aantal jaren starten en zal ongeveer vijf jaar in beslag nemen. Daarna duurt het ongeveer 40 jaar vooraleer de opslagbunkers volledig gevuld zijn met hoogradioactief afval. Daarna worden de bunkers afgedekt met enkele natuurlijke lagen. Er is een ingenieus gangensysteem voorzien dat toekomstige controles en vernieuwingswerken aan de infrastructuur mogelijk maakt (monavzw, z.d.).

Hoofdstuk 7: Kost van kernenergie

Een argument dat tegenstanders van kernenergie vaak aanhalen is dat het een erg dure energiebron is. Uit verschillende onderzoeken is echter gebleken dat kernenergie zeker competitief te noemen is in vergelijking met andere energiebronnen. Oorzaak van deze tegenstrijdige bevindingen is de methodologie die men gebruikt voor de kostenberekening. De totale kost van een energiebron bekomt men door zowel de economische als de externe kosten in beschouwing te nemen. Omdat externe kosten moeilijk monetair kwantificeerbaar zijn bestaat er grote onenigheid over de hoogte ervan. Een benadering die men tracht te volgen om de monetaire waarde van externe kosten vast te stellen is de betalingsbereidheid inschatten om de negatieve effecten in kwestie te vermijden. Om een zo correct mogelijk beeld te krijgen van de kostprijs van kernenergie wordt hieronder een synthese gegeven van meerdere studies die alle uitgaan van een objectieve en wetenschappelijk gefundeerde methodologie.

7.1 Kostprijscalculatie van de Vlaamse Milieumaatschappij

In hoofdstuk drie kwam reeds kort de kostprijscalculatie van de Vlaamse Milieumaatschappij aan bod (Brouwers, Couder, & Verbruggen, 2006) waarin de verschillende energiebronnen met elkaar vergeleken werden. De gebruikte cijfers zijn gevonden door toepassing van de 'levelised lifetime cost approach'. Hierbij wordt er een annuïteit berekend (een bedrag dat jaarlijks hetzelfde blijft) die weergeeft wat de investeerder jaarlijks zou moeten betalen. Indien men de som van deze verdisconteerde annuïteiten zou nemen bekomt men het totale investeringsbedrag. Bij deze berekening werden tevens de kosten voor ontmanteling en afvalberging in de totale investeringskost verrekend. Daarnaast wordt bij deze annuïteit de jaarlijkse vaste en variabele kost opgeteld. Door het bekomen bedrag te delen door de elektriciteitsoutput (men veronderstelt een bepaalde capaciteit), bekomt men een kost per geproduceerde eenheid output. Deze kost wordt de 'specifieke kost' genoemd. In tabel 3.2 werd een overzicht gegeven van deze specifieke kosten. De bekomen kosten voor de verschillende energievoorzieningen worden met een spreiding gegeven omdat men afhankelijk van bepaalde hypothesen tot andere kostprijzen komt. De Vlaamse Milieumaatschappij kent in haar milieurapport van 2006 aan kernenergie de laagste specifieke kost toe. In datzelfde milieurapport worden enkele indicatieve waarden voor de externe kosten van elektriciteitsproductie per combinatie van technologie en

primaire energiebron gegeven. Ook hier wordt aan kernenergie de laagste externe kost toegekend. Men bekomt voor nucleaire elektriciteitsproductie een erg lage externe kost, ondanks de conservatieve inschatting van gezondheidsrisico's door de emissies van radioactieve stoffen in de volledige brandstofketen. Dit wordt verklaard doordat er zeer weinig uranium nodig is voor de productie van 1 MWh. Bovendien komen er bij elektriciteitsproductie bijna geen schadelijke emissies vrij. Bij de berekening van de externe kost nam men eveneens de risico's bij afvalberging en de risico's op ernstige ongevallen in beschouwing.

7.2 Kostprijscalculatie door de commissie AMPERE

De commissie AMPERE (2000) onderscheidt in zijn kostencalculatie drie categorieën kosten: brandstofkosten, niet-brandstofkosten (investeringskosten, onderhoud en werkingskosten) en externe kosten. Deze drie componenten worden gesommeerd om een vergelijking tussen de verschillende energievoorzieningen in België mogelijk te maken.

De commissie AMPERE gebruikte de volgende formule om tot de totale kostprijs te komen:

Kost in EUR/kWh =

Brandstofkost in EUR/GJ gedeeld door de efficiëntie van de centrale in kWh/GJ

+ Overige variabele kosten in EUR/kWh

+ Kapitaalkost en andere vaste kosten (uitgedrukt in een annuïteit in EUR/kW) gedeeld door het verwachte maximale aantal operationele uren per jaar

+ Externe kosten in EUR/kWh

Al de kosten die men in deze formule gebruikt zijn kosten voor belastingen en subsidies. Zij drukken dus de opportuïteitskost voor de maatschappij uit die de elektriciteitsproductie met zich meebrengt. Deze formule is zeer ruim en geeft de totale kost goed weer. Bij elke component van de formule kan men echter andere assumpties aannemen en bijgevolg tot andere kostencalculaties komen. Om tot een correcte kostencalculatie te komen is het belangrijk dat men correcte assumpties aanneemt. Om tot een correcte analyse op basis van deze formule te komen gaan we ieder onderdeel apart bekijken.

Het eerste onderdeel van de formule bestaat uit de **brandstofkosten**. De brandstofkosten van een kerncentrale maken een relatief klein deel uit van de totale kostprijs. Eyckmans en Pepermans (2003) stellen dat de kostprijs per kWh van een kerncentrale bestaat uit 20 % brandstofkosten, 60 % investeringskosten en 20 % onderhouds- en exploitatiekosten. Voor een steenkoolcentrale en een gascentrale bedraagt de brandstofkost respectievelijk 50 % en 70 % van de totale kostprijs.

De assumpties die men aanneemt omtrent de evolutie in brandstofprijzen zijn dus cruciaal in de kostencalculatie. De commissie AMPERE ging in haar berekening van 2000 onder andere uit van een olieprijs die niet sterk zou stijgen. Men nam aan dat de olieprijs in 2010 op 24,3 USD/vat zou staan. Op lange termijn ging men uit van een olieprijs van 31 USD/vat in 2020 en 37,2 USD/vat in 2030. Voor de gasprijs nam men de assumptie aan dat deze aan hetzelfde tempo als de olie zou stijgen. Anno 2008 kunnen we echter concluderen dat deze assumpties naar boven bijgesteld moeten worden. De olieprijs heeft reeds de kaap van 100 USD/vat overschreden. De brandstofkosten van installaties op basis van aardolie en gas werden dus sterk onderschat door de commissie. Aangezien brandstofkosten tot 70 % van de totale kostprijs van gascentrales kunnen uitmaken is dit een zeer relevante kwestie. Hierbij zou men rekening moeten houden wanneer men de resultaten van de kostprijsberekeningen per energiebron van de commissie AMPERE onderling vergelijkt. Wat betreft de brandstof voor de kerncentrales neemt de commissie dezelfde assumpties aan als het VITO gebruikte in een studie voor Electrabel. Men neemt hierbij aan dat de prijs van uranium de komende decennia zal stijgen. De prognoses wat betreft uraniumprijzen werden reeds in hoofdstuk vier besproken. De evolutie in de uraniumprijs heeft slechts een beperkte impact op de uiteindelijke kostprijs van kernenergie omdat de grondstofprijs van uranium slechts 1 % uitmaakt van de elektriciteitsprijs. Om eerder vermelde redenen verwacht men geen onverwachte, plotse stijgingen in de uraniumprijzen. We kunnen dus besluiten dat de commissie AMPERE een conservatief standpunt inneemt dat eerder in het nadeel van kernenergie spreekt en in het voordeel van de klassieke thermische centrales op basis van gas en aardolie.

De tweede component van de formule bestaat uit **overige variabele kosten**. Deze bestaan vooral uit onderhouds- en werkingskosten. De commissie AMPERE gaat bij haar berekeningen uit van een levensduur van de kerncentrales van 40 jaar.

De **vaste kosten** die de commissie in beschouwing neemt bestaan vooral uit de investeringskost. Deze investeringskost omvat naast alle kosten nodig om de kerncentrale op te starten eveneens de kosten voor de verbinding met het elektriciteitsnet, ontmanteling van de centrale, beheer van het nucleair afval en interestkosten. De investeringskost bij kerncentrales is hoog in vergelijking met andere centrales. Volgens de commissie bedraagt deze kost 1700 EUR/kW geïnstalleerd vermogen, terwijl dit voor steenkool- en gascentrales slechts 1300 EUR/kW, respectievelijk 500 EUR/kW bedraagt.

De laatste component van de formule die door de commissie AMPERE gebruikt werd, bestaat uit de **externe kosten**. Omdat externe kosten moeilijk monetair kwantificeerbaar zijn bestaat er grote onenigheid over de hoogte die men eraan zou moeten toekennen. De commissie baseert zich op een studie van de Europese Commissie die toonaangevend is op het gebied van externe kosten van elektriciteitsproductie. De studie (ExternE, 2000) houdt rekening met externe kosten die over de gehele levenscyclus van elektriciteit ontstaan. Net zoals de Vlaamse Milieumaatschappij bekomt ook de commissie AMPERE een zeer lage externe kost voor kernenergie. Ook hier ging men uit van een eerder conservatieve inschatting van gezondheidsrisico's over de gehele brandstofketen en werden de risico's op ernstige ongevallen ingecalculleerd.

Tabel 7.1 geeft een overzicht van de resultaten die de commissie AMPERE bekwam voor enkele soorten elektriciteitscentrales. Bij de berekeningen werd per CO₂-equivalent een kost van 18 EUR/ton aangerekend. Dit is een erg lage prijs en bijgevolg zijn de bekomen kostprijzen eerder gunstig voor de technologieën waarbij er een grote CO₂-uitstoot is.

Tabel 7.1: Economische en externe kost per technologie in cEUR/kWh (gebaseerd op het AMPERE-rapport)

	Economische kost (EUR/MWh)	Externe kost (EUR/MWh)		Totale kost (EUR/MWh)
		(CO ₂ -eq.)	(andere)	
Gasturbine	78,1	9,4	6,2	93,7
STEG-centrale	32,4	6,2	4,2	42,8
PWR nucleaire centrale	30,7	0,2	0,7	31,6
Windturbine aan kust	44,9	0,5	0,5	45,9
Windturbine in polders	64,9	0,5	0,5	65,9
Windturbine zee	58,3	0,5	0,5	59,3
Windturbine binnenland	77,8	1,0	2,0	80,8
Biomassa (afvalverbranding)	43,6	10,2	5,0	58,8
Poederkoolcentrale	34,0	14,9	9,2	58,1

Opvallend is dat volgens deze kostencalculatie windturbines in het binnenland gevoelig duurder zijn dan windturbines in zee. Dit is niet noodzakelijk tegenstrijdig met de bevindingen uit hoofdstuk drie, daar werd aangegeven dat windturbines in zee duurder zijn. Windturbines in zee vereisen een hogere investeringskost dan windturbines op land. Windturbines in zee zijn echter meer uren per jaar inzetbaar, bijgevolg produceren zij meer elektriciteit over een bepaalde periode. De commissie AMPERE neemt de assumptie aan dat windturbines 20 jaar meegaan, dit geldt zowel voor windturbines op land als in zee.

Hoofdstuk 8: Diepte-interviews

In het voorgaande werd nagegaan wat min of meer wetenschappelijk vaststaat wat betreft de argumenten pro-kernuitstap. Tegenstanders van kernenergie nuanceren of verwerpen bepaalde bevindingen echter op basis van hun eigen ervaringen. Ook bepaalde politieke partijen, en dan vooral Groen! en sp.a, houden er soms een andere mening op na. Om een beter inzicht te krijgen in de tegengestelde interpretaties van de wetenschappelijke bevindingen werd een diepte-interview afgenomen bij Bart Martens, vlaams volksvertegenwoordiger en senator. Daarnaast werd Tinne Van der Straeten, parlamentslid en vice-voorzitter van Groen!, geïnterviewd. Beiden werden door hun partij naar voren geschoven als meest geschikte respondenten voor dit interview.

Er werd op voorhand een vragenlijst doorgestuurd om een goede voorbereiding mogelijk te maken. In bijlage 3 en 4 staan de volledige interviews weergegeven, hieronder worden de belangrijkste punten en conclusies toegelicht.

Sommige antwoorden zijn duidelijk in strijd met de wetenschappelijke bevindingen die hierboven weergegeven staan. Andere antwoorden wijken slechts lichtjes af, vaak omwille van verschillen in hypothesen die men aanneemt voor bepaalde parameters. Nog andere antwoorden zijn in overeenstemming met de wetenschappelijke bevindingen. Het wordt aan de lezer overgelaten om, na het lezen van bovenstaande literatuurstudie, te oordelen over de wetenschappelijke gegrondheid van de gegeven antwoorden. Uit beide interviews kan er geconcludeerd worden dat er zowel bij Groen! als bij sp.a een zekere aprioristische stemming rond kernenergie hangt.

Bij de vraag om het **standpunt van Groen!** toe te lichten met betrekking tot kernenergie wordt het **afvalprobleem** als eerste naar voren geschoven. Groen! is in de eerste plaats tegen kernenergie omdat deze industrie nog steeds geen oplossing heeft gevonden voor het afvalprobleem en bijgevolg de komende generaties zwaar zal belasten. Bovendien is kernenergie, volgens Groen!, de industrie bij uitstek die haar winsten privatiseert en haar afval socialiseert.

De oplossing die momenteel in Mol-Dessel wordt voorgesteld is niet aanvaardbaar voor Groen!. Volgens Van der Straeten lijkt het hele afvalbeheer nog in zijn kinderschoenen

te staan. Deze industrie zou al gedurende vijftig jaar een oplossing voor haar afvalprobleem beloofd hebben, maar tot op de dag van vandaag is die er nog steeds niet. De kernuitstap kan volgens Groen! enkel herbekeken worden wanneer er een oplossing voor het afval gevonden is.

Een **vergelijking met de afvalproductie** van bijvoorbeeld de **chemische industrie**, zoals in hoofdstuk 6 uitgewerkt wordt, is volgens Van der Straeten belachelijk. Zij noemt deze vergelijking belachelijk omdat radioactief afval niet te vermijden is en er sowieso een oplossing voor gezocht moet worden. Andere energiebronnen, zoals windenergie bijvoorbeeld, zouden geen afvalstoffen produceren. Groen! wil dus een energiebeleid waar het afvalprobleem geminimaliseerd wordt.

In hoofdstuk 6 werd vermeld dat de chemische industrie een veel groter volume aan afval produceert dan het radioactief afval dat door kerncentrales geproduceerd wordt. Een deel van dat afval, zoals bijvoorbeeld arsenicum, blijft bovendien voor altijd toxisch. Toch kan dit volgens Van der Straeten het afvalprobleem binnen de kernindustrie niet relativiseren. Groen! is volgens haar tegen iedere vorm van afval, een vergelijking die kernafval naast chemisch afval plaatst vindt zij oneerlijk. Verder vermeldt Van der Straeten dat als er binnen de chemische sector een oplossing voor hun afval gevonden wordt, er geen afval meer is.

Wanneer gevraagd wordt of de oplossingen voor het afvalprobleem binnen de chemische sector realistischer zijn dan de oplossingen voor het afvalprobleem van kerncentrales, herhaalt Van der Straeten dat een vergelijking gewoon niet opgaat.

Voorstanders van kernenergie halen vaak aan dat kernenergie een **goedkope energiebron** is. Dit wordt echter sterk tegengesproken door Groen!. Van der Straeten haalt aan dat kernenergie enkel goedkoop is wanneer de centrales zijn afgeschreven. Dit is volgens haar dan ook de reden dat de elektriciteit die uit Doel stroomt goedkoop is. Volgens Van der Straeten zou het er heel anders uitzien als het volledige kostenplaatje, dus ook de kost van het bergen van het afval, gemaakt zou worden.

In hoofdstuk 7 werd geïllustreerd dat de **externe kosten** van kernenergie volgens de meeste studies zeer laag zijn. Van der Straeten gelooft echter niet dat deze studies correcte cijfers hanteren. Zij wijst erop dat de derdegeneratie kerncentrales die

momenteel in Finland gebouwd worden, een goede indicatie kunnen zijn van de externe kosten. Wanneer gevraagd wordt naar de link met de externe kosten, wijst Van der Straeten erop dat ze in Finland al miljarden over hun budget zitten en al een jaar achter op schema. Van der Straeten verwijst vervolgens naar een artikel in The Economist waarin gesteld zou worden dat het in een volledig vrije markt zeer moeilijk zou zijn voor kernenergie om te concurreren.

Kernenergie is niet ecologisch volgens Groen!, toch komen er veel minder schadelijke emissies vrij bij een kerncentrale dan bij bijvoorbeeld de klassieke thermische centrales. Er werd daarom gevraagd wat kernenergie dan niet ecologisch maakt. Volgens Van der Straeten gaat een discussie over CO₂ steeds over het klimaatsbeleid. Van der Straeten benadrukt dat als we spreken over klimaatsbeleid, we niet enkel moeten denken aan de energieproductie. Het is veel breder dan dat, er moet ook gekeken worden naar de manier waarop we ons verplaatsen, de manier waarop we onze gebouwen verwarmen... Dus als we aan een klimaatsbeleid doen is het voor Groen! zeker geen oplossing om gewoon overal kerncentrales te bouwen.

Van der Straeten benadrukt dat we naar een energiebeleid moeten gaan waarin de **energievraag naar beneden** gaat. De uitstap uit kernenergie steunt volgens Groen! op drie pijlers:

- energievraag doen dalen,
- efficiënt energieverbruik,
- en de energie anders opwekken.

In hoofdstuk 2 werd aangetoond dat ondanks een daling in de energievraag er een stijging waargenomen wordt in de elektriciteitsvraag. Net de elektriciteitsvraag is relevant als we het over kernenergie hebben. Er werd daarom gevraagd hoe Groen! de energievraag en dan meer bepaald de elektriciteitsvraag wil doen dalen. Van der Straeten wijst erop dat 10 tot 15 % van het elektriciteitsgebruik van de gezinnen uitsluitend te wijten is aan lekverlies, dus aan de standby-knoppen en dergelijke. De wetgever zou hier kunnen optreden door productnormen op te leggen zoals bijvoorbeeld terug een aan/uit-knop te verplichten bij DVD-spelers. Er moet echter opgemerkt worden dat de wet op de productnormen een Europese materie is. Er moet dus een Europees dossier ingediend worden waaruit blijkt dat de voorgestelde

maatregelen niet concurrentieverstorend zijn. Van der Straeten is echter van mening dat er relatief gemakkelijk een dergelijk dossier gemaakt kan worden.

Een onderzoek van de CREG wees er op dat er een **capaciteitsprobleem** zou kunnen ontstaan in België als de kerncentrales sluiten. De gerealiseerde en lopende investeringen in **alternatieve productiecapaciteit** zouden niet volstaan om de kerncentrales te sluiten. Volgens Van der Straeten is er in België voldoende potentieel voor alternatieve capaciteit. Het capaciteitsprobleem dat kan ontstaan is volgens haar te wijten aan de politiek. Veel mensen vergeten dat ons energiebeleid niet enkel gemaakt wordt door de bedrijven. We hebben een vrijgemaakte markt, maar de markt beweegt zich wel binnen een kader en dat kader wordt politiek bepaald. Als België zegt dat zij windmolens gaat bouwen in de Noordzee dan is dat een politieke beslissing. Als de kernuitstap eventueel wordt teruggedraaid dan is dat een politieke beslissing. We kunnen dus besluiten dat Groen! vindt dat er voldoende potentieel voor alternatieve capaciteit is, maar dat de politiek momenteel te weinig doet om het potentieel om te zetten in productiecapaciteit.

Volgens Groen! bevindt het **direct te valoriseren potentieel** zich vooral in windenergie, en dan vooral de offshore. Daarnaast wordt ook het potentieel van zon zeer hoog ingeschat. Het grootste potentieel moet volgens Groen! echter in besparing gezocht worden, in het naar beneden brengen van de vraag. Ook WKK heeft nog potentieel, als we bijvoorbeeld naar Nederland kijken, hebben wij in België nog een groot ongebruikt potentieel. We moeten naar een meer decentrale markt gaan.

Op de vraag of het voor Groen! mogelijk is om een kernuitstap door te voeren maar toch **kernenergie in te voeren vanuit Frankrijk** heeft Van der Straeten niet direct een antwoord. Volgens Van der Straeten heeft Frankrijk momenteel geen overschotten om uit te voeren en zou men bovendien ook kunnen invoeren vanuit andere landen. Er zouden volgens Van der Straeten voldoende alternatieven beschikbaar zijn om elektriciteit in te voeren die niet afkomstig is uit kerncentrales. Ons energiebeleid zou echter niet goed zijn als we afhankelijk zijn van invoer en dus moeten we zorgen dat er voldoende capaciteit in België is.

Volgens Groen! is het mogelijk om de **Kyoto-normen** te halen zonder kernenergie. Van der Straeten haalt het voorbeeld van Zweden aan, zij behalen zonder problemen

hun target. Wanneer gevraagd wordt of een vergelijking tussen België en Zweden mogelijk is wat betreft bijvoorbeeld de industrie, antwoordt Van der Straeten dat de industrie niet geheel vergelijkbaar is. Verder vermeldt ze dat er vanaf 2012 een systeem van verhandelbare emissierechten zal worden doorgevoerd, hierdoor zullen de verschillen tussen de landen op gebied van industrie uitgevlakt worden.

De **nieuwe generatie kerncentrales** zouden oplossingen bieden voor een groot aantal problemen. Als het SCK geld wil steken in deze projecten mag zij dat gerust doen van Groen!. Van der Straeten vindt alleen niet dat er overheidsgeld aan deze onderzoeken gespendeerd moet worden. Het SCK wordt deels gefinancierd door de bedrijfswereld. Groen! vindt dus dat ze dat geld moeten gebruiken voor onderzoeken naar kerncentrales van een nieuwe generatie, en geen overheidsgeld.

In hoofdstuk 3 werd kort ingegaan op **kernfusie**. Een scenario waarbij nog enkele decennia met kernenergie wordt verdergegaan totdat kernfusie beschikbaar wordt is geen optie voor Groen!. Volgens Van der Straeten is het kernfusieonderzoek een bodemloze put waar geld ingestoken wordt. Over kernfusie zegt men al meer dan 40 jaar dat het er binnen 40 jaar zal zijn. Groen! kan geen politieke beslissingen nemen op iets wat er misschien binnen 40 jaar gaat zijn en waarvan men al 40 jaar lang zegt dat het er binnen die termijn zal zijn.

Ook Bart Martens kreeg de openingsvraag om het **standpunt** van zijn partij in verband met kernenergie toe te lichten. Net zoals Groen! vindt ook **sp.a** het **radioactief afval** een groot probleem van kernenergie. Daarnaast haalt Martens het uitputtelijke karakter van **uranium**, de **kostprijs** en de **risico's** van kernenergie aan als argumenten tegen kernenergie. Om deze redenen pleit sp.a voor een geleidelijke uitstap uit kernenergie.

Sp.a vindt het ethisch onverantwoord dat wij de komende generaties opzadelen met radioactief afval. **Transgenerationale solidariteit** met betrekking tot kernenergie kan echter ook vanuit een ander gezichtspunt bekeken worden. Kernenergie is enkel massaal bruikbaar om elektriciteit op te wekken. Zelfs als bijvoorbeeld aardolie, steenkool of aardgas goedkoper zouden zijn, dan nog zouden we deze energiebronnen beter laten voor het nageslacht. Een dergelijk zienswijze gaat volgens Martens niet op. Volgens Sp.a zijn enkel onuitputtelijke energiebronnen verantwoord vanuit het oogpunt van transgenerationale solidariteit. Daarom willen zij het gebruik van fossiele

brandstoffen zoveel mogelijk beperken. Kernenergie is volgens sp.a alles behalve een energiebron die vanuit het standpunt van transgenerationale solidariteit gerechtvaardigd is. Kernenergie is absoluut geen onuitputtelijke bron. Kerncentrales draaien op uranium, en die grondstof moet België invoeren uit andere landen. Ook de **uraniumvoorraden** zijn eindig. Volgens Martens zijn de gekende reserves aan economisch exploiteerbaar uranium dermate beperkt dat kernenergie nooit een betekenisvol aandeel kan vormen in het beantwoorden van de wereldwijde energievraag.

Als antwoord op de openingsvraag haalde Martens onder andere aan dat kernenergie grote **risico's** met zich meebrengt voor een dichtbevolkt land als België. Er werd gevraagd of deze risico's meespelen bij de keuze om een kernuitstap door te voeren. Volgens Martens zijn alle kernreactoren inherent onveilig. Een Tsjernobyl-scenario is volgens hem zeker niet uitgesloten in onze westerse reactoren. Afgezien van het risico op ongevallen vormen nucleaire installaties, volgens Martens, gevaarlijke strategische doelwitten in oorlogen of bij terroristische aanslagen. Een doelgerichte crash van een groot passagierstoestel op de kerncentrale van Doel zou nooit eerder geziene gevolgen hebben.

Verder vindt sp.a kernenergie een **dure energiebron**. Elektriciteit die uit Doel stroomt is echter goedkoop. Volgens Martens lijkt kernenergie goedkoop, maar is het duur als het totale kostenplaatje bekeken wordt. Net zoals Van der Straeten haalt ook Martens de versnelde afschrijvingen van de huidige centrales aan als oorzaak voor de goedkope prijzen. Daarnaast wijst Martens erop dat het leeuwendeel van de kosten voor onderzoek en ontwikkeling in kernenergie betaald wordt door de overheid, de belastingbetaler dus. Tenslotte trekt sp.a in twijfel of de voorzieningen die de elektriciteitsproducenten aanleggen voor de ontmanteling van de kerncentrales zullen volstaan.

Ook aan Martens werd gevraagd of hij het eens is met de vele studies die aantonen dat kernenergie een zeer **lage externe kost** heeft. Volgens Martens zijn deze studies vertekend: "als de exploitanten van de kerncentrales zouden verplicht worden om zich te laten verzekeren om de schadekosten bij ongevallen integraal te kunnen uitbetalen (internaliseren van risicokosten), zou geen enkele centrale draaien".

Sp.a vindt, net zoals Groen!, dat het afvalprobleem niet gerelativeerd kan worden door een **vergelijking met ander toxisch afval** te maken. Martens wijst erop dat er na meer dan 50 jaar onderzoek nog geen enkele definitieve bergingsite voor hoogradioactief afval in gebruik is genomen.

Kernenergie **invoeren vanuit Frankrijk** is volgens sp.a verenigbaar met een kernuitstap. Europa evolueert steeds meer naar een ééngemaakte en gekoppelde markt. De koppeling van de markten zorgt voor een zeker evenwicht op de markt. Sommige energiebronnen kenmerken zich door een fluctuerend aanbod (wind, zonne-energie, maar ook kernenergie als centrales dicht gaan voor onderhoud) en door een goede marktkoppeling kan dit beter worden opgevangen. De lidstaten kiezen echter zelf hun energiemix. Sp.a vindt het niet onze verantwoordelijkheid om te bepalen welke bronnen Frankrijk aanwendt.

Er werd vervolgens gevraagd of een kernuitstap niet betekent dat België nog meer van invoer afhankelijk zal worden. Volgens sp.a zijn de geplande en reeds uitgevoerde investeringen meer dan voldoende om de productiecapaciteit van de eerste drie kerncentrales, die in 2015 sluiten, op te vangen. Bovendien mag België, volgens Martens, niet beschouwd worden als een eiland dat volledig voor haar eigen energiebehoefte moet instaan. We zullen immers steeds meer naar een ééngemaakte en gekoppelde markt evolueren.

Uit een studie van de CREG bleek echter dat België met een **ontoereikende productiecapaciteit** te maken zou krijgen. De studie van de CREG die stelt dat er een tekort in de elektriciteitsbevoorrading zou kunnen komen, is volgens sp.a te pessimistisch omdat heel wat aangekondigde investeringen waarvoor al bepaalde vergunningen werden bekomen niet mee in rekening werden gebracht. Daarnaast wordt België als een eiland beschouwd, wat niet in overeenstemming is met de werkelijkheid. Bovendien worden centrales voor gesloten beschouwd waarvan niet zeker is dat ze op die termijn wel zullen gesloten worden.

Sp.a is zeer kritisch als het gaat over de **nieuwe generatie kernreactoren**. Gen IV als technologie bestaat niet, het is een politiek concept volgens Martens. Het is een samenraapsel van verschillende technologieën (zes reactorconcepten) die al lang bestaan. Het GIF stelde een lijst van criteria op: minder afval, geen gebruik maken van

U₂₃₅, proliferatieveilig, inherent veilig, economisch rendabel. Er werden zes reactortypen geselecteerd voor verder onderzoek. Opmerkelijk is dat geen van deze typen voldoet aan de voorwaarden gestemd door het GIF. Gen IV reactoren bestaan niet en de datum van hun mogelijke beschikbaarheid wordt steeds naar achter verschoven. Gen IV is momenteel dromerij voor sp.a: "net zoals bij kernfusie of marsreizen zal het misschien theoretisch technologisch ooit mogelijk zijn, maar nog lang niet".

Ook **kernfusie** wordt sceptisch bekeken door sp.a. Er is geen garantie dat kernfusie binnen 50 jaar commercieel inzetbaar zal zijn. 50 jaar geleden werd ook gegarandeerd door sommigen dat kernfusie 'binnen 50 jaar' inzetbaar zou zijn. Sp.a is niets met energie die steeds 'binnen 50 jaar' inzetbaar zal zijn. Volgens Martens heeft de nucleaire industrie een traditie op dat vlak: bij de start van de eerste kerncentrales vertelde men ook dat een oplossing voor het afval 'binnen handbereid' was.

Opvallend is dat sp.a eerder terughoudend staat tegenover dergelijk technologisch onderzoek. In het verleden is de socialistische partij steeds een voortrekker van technologische vernieuwing geweest. Zo werden technologische ontwikkelingen in het verleden bekeken als een middel tot bevrijding van de slavernij. Martens weerlegt een dergelijke evolutie en benadrukt dat sp.a zeker niet vies is van technologische innovatie. Sp.a gelooft echter enkel in de ontwikkeling van schone technologieën. Sp.a kiest voor schone energievormen via een doorgedreven innovatiebeleid en de creatie van een thuismarkt die de afzet van de nieuw ontwikkelde producten in de aanloopfase stimuleert. Volgens Martens is kernenergie een technologie uit het verleden en zijn het juist de voorstanders van een verlengde levensduur van onze (verouderde) kerncentrales die de technologische innovatie geen kansen geven.

Net zoals Groen!, is ook sp.a van mening dat België tegemoet kan komen aan de **Kyoto-normen** zonder kernenergie. Sp.a wil zich concentreren op energiebesparing en het vervangen van steenkoolcentrales door gascentrales met WKK, om minder CO₂ uit te stoten.

Sp.a wil de kernuitstap opvangen door te zorgen voor **voldoende alternatieven** en daarnaast door de **elektriciteitsvraag** te **doen dalen**. Volgens Martens zijn de geplande en reeds uitgevoerde investeringen meer dan voldoende om in 2015 de eerste

drie kerncentrales te sluiten. Voor de vervanging van de kerncentrales die na 2015 zullen dichtgaan is het belangrijk te zorgen voor een zeker investeringsklimaat. Dat is van extreem belang voor de creatie van alternatieven. Volgens Martens is het onnodig in twijfel trekken van de kernuitstap nefast voor het investeringsklimaat. Sp.a gelooft dat er nog een groot elektriciteitsbesparingspotentieel in België is. In het sp.a klimaatplan staan 50 concrete maatregelen om het klimaatprobleem aan te pakken met heel wat maatregelen om de energievraag te beperken.

Steenkoolcentrales zijn erg vervuilend en hebben een hoge externe kost. Sp.a pleit er dan ook voor dat de oude kolencentrales in ons land uitgefaseerd worden. Martens wijst erop dat de externe kost gedeeltelijk wordt doorgerekend: binnenkort worden de CO₂-emissierechten geveild terwijl er ook op andere pollutanten heffingen aankomen. Waarschijnlijk zal deze 'internalisering' er voor zorgen dat er geen nieuwe kolencentrales zullen bijkomen, ondanks aankondigingen daarover in de pers.

In China zien we een reusachtige groei in de energievraag. Zij gebruiken steeds meer vervuilende technieken zoals steenkool en dergelijke om aan deze vraag tegemoet te komen. Wanneer we ons het normatieve kader opleggen dat iedereen in de wereld recht heeft op een zeker welvaartsniveau zal die energievraag nog verder groeien. Kernenergie zou hier een oplossing kunnen bieden. Voor sp.a is kernenergie echter evenmin aanvaardbaar in deze Chinese context. Volgens Martens zullen de geïndustrialiseerde landen het voortouw moeten nemen in de strijd tegen de klimaatverandering en zich engageren om de uitstoot van broeikasgassen drastisch te verminderen. De groei in China moet volgens Martens op een duurzame manier gebeuren. Daartoe moeten er nieuwe en efficiënte vormen van technologische en financiële samenwerking uitgewerkt worden om dergelijke landen toe te laten een koolstofarme economische ontwikkeling te verwezenlijken. De overdracht van schone technologie is hierin een heel belangrijk element. Ook in landen als China moet geïnvesteerd worden in de energiebronnen van de toekomst: windenergie, zonne-energie, waterkracht,... en in energie-efficiëntie. Voor sp.a is kernenergie absoluut geen 'conditio sine qua non' om de energievraag van China op te kunnen vangen. Tot slot wijst Martens erop dat kernenergie op wereldvlak eerder marginaal te noemen is. Kernenergie staat voor geen vijf procent in van de totale energiebehoefte.

Hoofdstuk 9: Hiërarchie van de argumenten

Het is belangrijk om een idee te hebben van de hiërarchie van belangrijkheid die voorstanders respectievelijk tegenstanders van kernenergie toekennen aan de verschillende argumenten contra kernenergie. Men kan dan vaststellen of voorstanders respectievelijk tegenstanders een andere perceptie hebben over de relevantie van de verschillende argumenten. Het is dan tevens mogelijk te analyseren welke groep het dichtst bij de wetenschappelijke vaststellingen aanleunt. Een inzicht in deze hiërarchie kan nuttig zijn voor toekomstige beleidsvoerders om de publieke opinie gericht te informeren.

Om deze hiërarchie te bepalen werd een vragenlijst afgenomen, waarin de constante som schaal gebruikt wordt (zie bijlage 2). Respondenten werden gevraagd om 100 punten te verdelen over de argumenten contra kernenergie op een zodanige manier dat de puntentoe wijzing weergeeft hoe sterk men vindt dat elk argument tegen kernenergie spreekt. In de vragenlijst werden zeven vaak aangehaalde, maar daarom niet noodzakelijk gegronde, argumenten contra kernenergie vermeld met een korte omschrijving:

- **Proliferatie en atoomwapens:** proliferatie is de ongecontroleerde verspreiding van nucleaire technologie, kennis en materiaal voor militaire en niet-vreedzame toepassingen. Volgens bepaalde critici werkt het gebruik van kerncentrales proliferatie en de ontwikkeling van atoomwapens in de hand.
- **Terrorismedreiging:** een kerncentrale kan een strategisch doelwit vormen voor terroristen, daarnaast kunnen terroristen radioactief afval stelen om een zogenaamde 'vuile bom' te maken.
- **Risico op ongevallen:** ongevallen in kernreactoren kunnen dramatische gevolgen hebben, denken we bijvoorbeeld aan het ongeval in Tsjernobyl.
- **Vervuiling:** uitstoot van schadelijke stoffen bij elektriciteitsproductie.
- **Kostprijs elektriciteit:** de prijs die de consument per kWh zal betalen.
- **Radioactief afval:** hoogradioactief afval kan duizenden jaren actief blijven.
- **Hoge externe kosten:** maatschappelijke kosten, bijvoorbeeld kosten van zure regen die ontstaat als gevolg van de uitstoot van schadelijke stoffen.

Indien men een score nul toekent aan een item betekent dit dat men dat item geen relevant nadeel van kernenergie vindt. Als een item dubbel zo nadelig gepercipieerd

wordt dan een ander, zal dat item dubbel zoveel punten toegewezen krijgen. Na het afnemen van de vragenlijsten werd een schaal opgesteld door de punten die door iedere respondent gegeven werden op te tellen en vervolgens te delen door het aantal respondenten. Men berekent dus een gemiddelde score per item. Er werd voor drie groepen respondenten een schaal opgesteld: respondenten die in vraag 1 aangaven dat ze voorstander van kernenergie zijn, respondenten die aangaven tegenstander van kernenergie te zijn en respondenten die aangaven dat zij geen uitgesproken mening hebben omdat ze niet voldoende op de hoogte zijn van de problematiek.

De constante som schaal heeft een absoluut nulpunt; tien punten is dubbel zoveel als vijf punten en het verschil tussen vijf en zeven is even groot als het verschil tussen 50 en 52. De bekomen gemiddelden kunnen we dus met elkaar vergelijken en zo bekomen we een hiërarchie die op een schaal uitgezet kan worden. De hiërarchie die toegekend werd door de drie groepen respondenten kunnen eveneens met elkaar vergeleken worden, maar men mag niet de toegekende waarden per item over de verschillende schalen gaan vergelijken. Wanneer voorstanders van kernenergie bijvoorbeeld vinden dat slechts één opgesomd argument relevant is, zou dit een score 100 krijgen. Indien tegenstanders van kernenergie alle argumenten even relevant vinden krijgt ieder item bijgevolg een score van 15,3. Het is dan niet correct om te beweren dat voorstanders van kernenergie het item met score 100, zes keer erger vinden dan de tegenstanders.

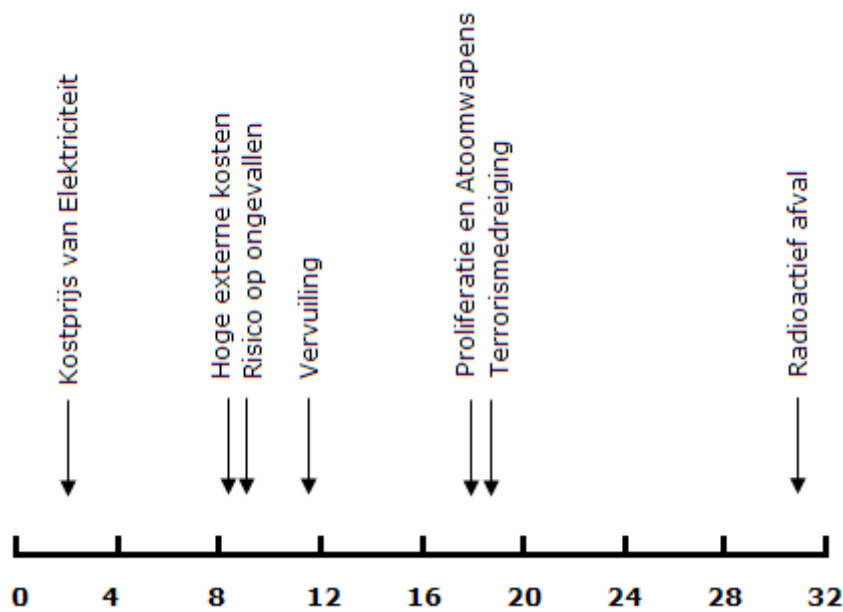
Er werden 69 vragenlijsten via het internet afgenomen en 31 vragenlijsten werden schriftelijk ingevuld. Er waren echter zeven vragenlijsten onbruikbaar omdat niet voldaan was aan de voorwaarde dat de som van de toegekende scores 100 moest zijn. Deze vragenlijsten werden bijgevolg niet gebruikt. Belangrijk om op te merken is dat deze analyse geenszins statistische inferentie tot doel heeft. Er werd dus niet beoogd om een representatieve steekproef samen te stellen.

9.1 Voorstanders van kernenergie

Er werden in totaal 32 bruikbare vragenlijsten ingevuld door voorstanders van kernenergie. Zij kenden de volgende hiërarchie aan de argumenten toe:

- 1 Radioactief afval (gemiddelde score: 30,126)
- 2 Terrorismedreiging (gemiddelde score: 18,999)
- 3 Proliferatie en atoomwapens (gemiddelde score: 18,532)

- 4 Vervuiling (gemiddelde score: 11,796)
- 5 Risico op ongevallen (gemiddelde score: 9,344)
- 6 Hoge externe kosten (gemiddelde score: 8,360)
- 7 Kostprijs van elektriciteit (gemiddelde score: 2,843)

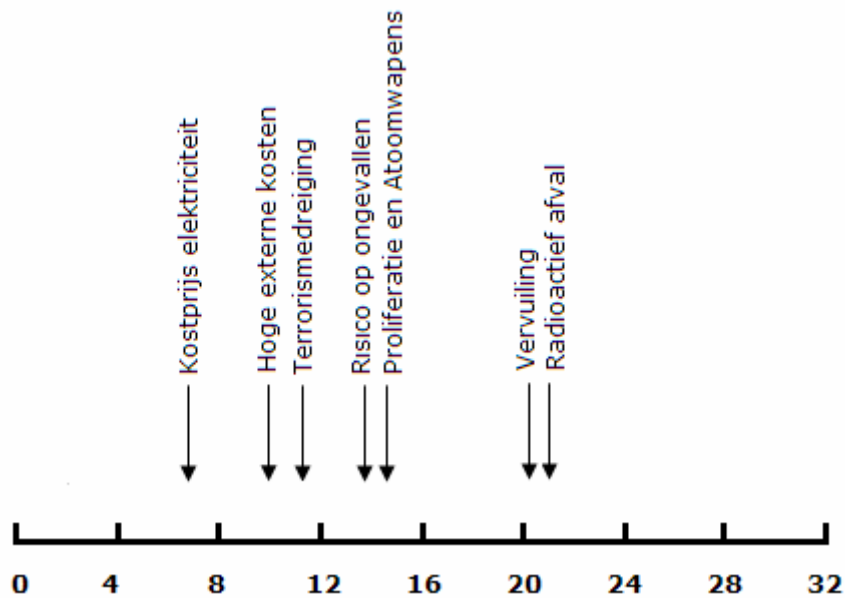


Figuur 9.1: Gepercipieerde hiërarchie van de argumenten voor voorstanders van kernenergie

9.2 Tegenstanders van kernenergie

Er werden in totaal 28 bruikbare vragenlijsten ingevuld door tegenstanders van kernenergie. Na het analyseren van de gegevens werd de volgende hiërarchie zichtbaar:

- 1 Radioactief afval (gemiddelde score: 21,000)
- 2 Vervuiling (gemiddelde score: 20,109)
- 3 Proliferatie en atoomwapens (gemiddelde score: 15,107)
- 4 Risico op ongevallen (gemiddelde score: 14,570)
- 5 Terrorismedreiging (gemiddelde score: 11,749)
- 6 Hoge externe kosten (gemiddelde score: 10,536)
- 7 Kostprijs van elektriciteit (gemiddelde score: 6,928)

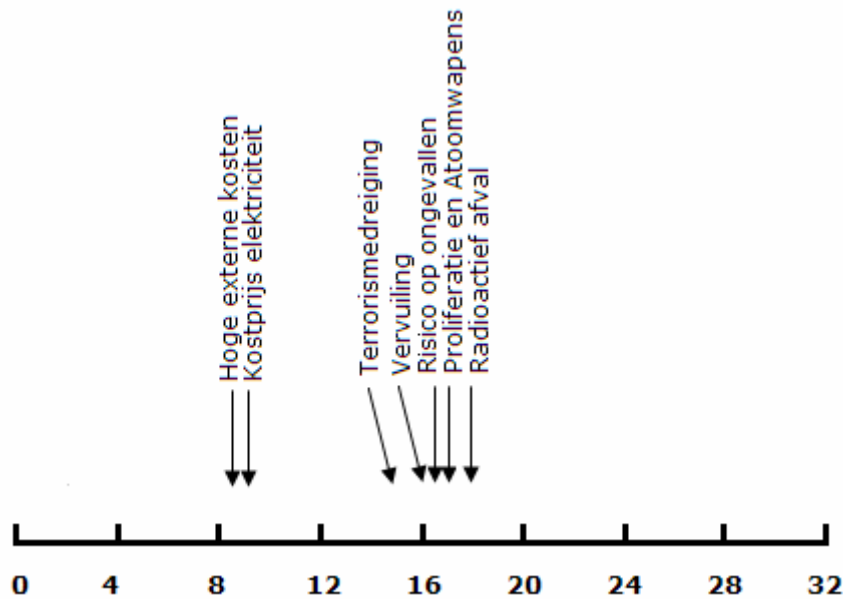


Figuur 9.2: Gepercipieerde hiërarchie van de argumenten voor tegenstanders van kernenergie

9.3 Respondenten zonder uitgesproken mening

De respondenten die geen uitgesproken mening hebben omdat zij niet voldoende op de hoogte zijn van de problematiek worden apart behandeld. Hierdoor wordt vermeden dat respondenten zonder een uitgesproken mening bij de andere twee categorieën onderverdeeld worden. Er waren in totaal 33 respondenten die geen uitgesproken mening hadden omdat zij niet genoeg over de problematiek op de hoogte zijn. Zij kenden de volgende hiërarchie toe aan de argumenten:

- 1 Radioactief afval (gemiddelde score: 17,409)
- 2 Proliferatie en atoomwapens (gemiddelde score: 16,697)
- 3 Risico op ongevallen (gemiddelde score: 16,606)
- 4 Vervuiling (gemiddelde score: 16,394)
- 5 Terrorismedreiging (gemiddelde score: 15,061)
- 6 Kostprijs van elektriciteit (gemiddelde score: 9,03)
- 7 Hoge externe kosten (gemiddelde score: 8,803)



Figuur 9.3: Gepercipieerde hiërarchie van de argumenten voor respondenten zonder uitgesproken mening

9.4 Bespreking van de resultaten en conclusies

Opvallend is de grote spreiding op de schaal van de voorstanders van kernenergie (figuur 9.1). Dit wijst erop dat zij bepaalde aangehaalde argumenten totaal niet steunen, hierdoor worden ze verplicht om een groot aantal punten toe te kennen aan de overige argumenten, die ze wel gedeeltelijk steunen. Respondenten die aangeven geen mening te hebben omdat ze niet voldoende op de hoogte zijn van de problematiek hebben de neiging om ieder argument te steunen. We zien bijgevolg een kleine spreiding op de schaal van deze groep respondenten. Wat betreft waargenomen spreiding op de bekomen schaal, bevinden de tegenstanders van kernenergie zich tussen de twee andere groepen. Toch heeft de schaal van de tegenstanders een aanzienlijk kleinere spreiding dan die van de voorstanders van kernenergie. Dit wijst erop dat zij meer argumenten sterker ondersteunen en dus minder punten kunnen toewijzen aan de voor hun belangrijkste argumenten.

De drie groepen respondenten geven aan dat het afvalprobleem het grootste probleem is van kernenergie. Dit is niet verwonderlijk, het afvalprobleem heeft veel media-aandacht gekregen en voorlopig is er nog geen oplossing in zicht.

Een opvallend verschil tussen de tegenstanders en voorstanders van kernenergie is de plaats die aan vervuiling, omschreven als de uitstoot van schadelijke stoffen tijdens de elektriciteitsproductie, wordt gegeven. Blijkbaar percipiëren veel tegenstanders van kernenergie vervuiling, in de vorm van uitstoot van schadelijke stoffen, als een ernstig nadeel van kernenergie. Deze vorm van vervuiling komt bij hen op de tweede plaats, met slechts een kleine achterstand op radioactief afval. De meeste voorstanders van kernenergie percipiëren vervuiling, zoals het in de vragenlijst werd gedefinieerd, als een minder relevant nadeel. In hoofdstuk 7 werd geïllustreerd dat kernenergie weinig schadelijke stoffen uitstoot bij de elektriciteitsproductie. De meeste studies zijn het er dus over eens dat kernenergie weinig vervuiling, zoals het in de vragenlijst werd gedefinieerd, met zich meebrengt.

Zowel de tegenstanders als de voorstanders van kernenergie plaatsen het argument 'kostprijs van elektriciteit' op de laagste plaats in de hiërarchie. Als we naar de kostprijs kijken die de consument uiteindelijk per kWh zal betalen, klopt het inderdaad dat kerncentrales een voordelige optie zijn. Ook het argument dat kerncentrales hoge externe kosten hebben werd bij beide groepen respondenten op dezelfde plaats in de hiërarchie geplaatst, namelijk op de voorlaatste plaats. In hoofdstuk 7 werd aangetoond dat de meeste studies de externe kosten van kernenergie zeer laag inschatten. We kunnen dus besluiten dat beide groepen respondenten een correcte keuze maken door dit argument zo laag te plaatsen in de hiërarchie.

Lijst van geraadpleegde werken

- Barbe, L. (2005). *Kernenergie in de wetstraat: Dissectie van de deals*. Opgevraagd op 15 januari 2008, via <http://www.lucbarbe.be>.
- Belgisch Staatsblad. (2003). *Wet op de kernuitstap*.
- Belgoprocess. (z.d.). *FAQ*. Opgevraagd op 18 maart 2008, via http://www.belgoprocess.be/08_faq/08_faq.html.
- Blom, Lako, van Gemert, Scheepers, & Seebregts. (2007). *Fact Finding Kernenergie*. SER - Commissie Toekomstige Energievoorziening.
- British Petrol. (2006). *Statistical Review of World Energy*.
- British Petrol. (2007). *Statistical Review of World Energy*.
- Brouwers, J., Couder, J., & Verbruggen, A. (2006). *Milieurapport Vlaanderen*.
- Cohen, B.L. (1990). *The nuclear energy option*. New York: plenum press.
- Commissie voor de Analyse van de Productiemiddelen van Elektriciteit en de Reoriëntatie van de Energievectoren [AMPERE]. (2000). *Syntheserapport van de commissie*. Brussel.
- Constant, M., Totte, M., Sintzoff, I., & van Nypelseer, J.M. (1997). *Etude de suivi du plan d'équipement. Potentiel de développement des énergies renouvelables*.
- CREG. (2007). *De ontoereikende productiecapaciteit van elektriciteit in België*. Brussel.
- De Groote, P. (2004). *Geo-economie: Economisch-geografische aspecten van onze wereldeconomie*. Leuven: Universitaire Pers Leuven.

- De Groote, W. (1995). *De mogelijkheden en belemmeringen voor hernieuwbare energie in Vlaanderen*. ODE.
- De Ruyk, J. (1996). *Potentieel van duurzame energiebronnen voor elektriciteitsproductie in België*. VUB.
- Dekeuleneer. (1999). *Rapport de Recommendations (en exécution de la décision du Conseil des Ministres du 2 Septembre 1999)*. Brussel.
- Dewilde, L., (1984). *Planning strategy for offshore wind energy 8000 MW in 2030*.
- Dossier isotopen. (2003). *Nucleaire actualiteit*, 52, p. 5.
- Electrabel. (2005). *Electrabel – Europees producent van elektriciteit* [informatiefolder].
- Electrabel. (2007). *Kerncentrales solide en veilig* [informatiefolder].
- Electrabel. (2007). *Productiebrochure* [informatiefolder]. Opgevraagd op 13 februari 2008, via http://www.electrabel.com/corporate/nuclear/publications_doel_nl.asp.
- EPIA. (2007). *Solar Generation IV*.
- Europese Commissie. (2000). *ExternE*.
- Europese Commissie. (2007). *Eurobarometer nuclear safety*.
- Europese Commissie. (2007). *Eurobarometer rond energietechnologieën*.
- Eurostat. (2007). *Overzicht Belgische elektriciteitsuitwisselingen*. Opgevraagd op 25 januari 2008, via <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>.
- EWEA. (2007). *Wind Map*. Opgevraagd op 16 januari 2008 via <http://www.ewea.org/index.php?id=180>.

- Eyckmans, J., & Pepermans, G. (2003). *Is er een toekomst voor kernenergie in België?* Opgevraagd op 20 maart 2008, via <http://www.kuleuven.be/ei/Public/publications/EIWP03-07.pdf>.
- FANC. (z.d.). *TELERAD: een 24-uurs toezicht*. Opgevraagd op 24 maart 2008, via www.telerad.fgov.be/nl/presentation.htm.
- Federaal Planbureau. (2007). *Economische vooruitzichten 2007-2012*.
- Federale Overheidsdienst economie. (2007). *Energie*. Opgevraagd op 21 december 2007, via http://economie.fgov.be/energy/balance_sheets/home_nl.htm.
- Friends of the earth Vlaanderen en Brussel. (2005). *Kernenergie is geen oplossing*. Opgevraagd op 25 januari 2008, via http://www.motherearth.org/energy/fiches_nl.php.
- Generation IV International Forum. (z.d.). *Evolution of nuclear power*. Opgevraagd op 14 januari 2008, via <http://www.gen-4.org/Technology/evolution.htm>.
- Hoenraet C. (1999). *Energiebronnen en kernenergie: vergelijkende analyse en ethische reflecties*. Leuven: Acco.
- IAEA. (1986). *Analyse Chernobyl: Summary report on the post-accident review meeting on the Chernobyl accident*.
- IAEA. (1992). *The Chernobyl accident: updating of INSAG-1*.
- IAEA. (2006). *Annual report*.
- IAEA. (2007). *Nuclear technology review*.
- IEA. (2006). *World Energy Outlook 2006*.
- ITER. (z.d.). *Kernfusie*. Opgevraagd op 21 maart 2008, via <http://www.iterbelgium.be/nl/kernfusie>.

- Kühn, M., et al. (1999). *Towards a mature offshore windenergy technology*.
- La voiture du futur roulera-t-elle à l'énergie nucléaire?. (2007). *Nucleaire Actualiteit*, 61, p. 5.
- Laes, E., Chayapathi, L., Meskens, G., & Eggermont, G., (2004). *Kernenergie en maatschappelijk debat*. Opgevraagd op 26 januari 2008, via <http://www.viwta.be/files/kernenergie.pdf>.
- Milborrow, D.J. (1999). *Cost, prices and values. Vol 2 of Wind Energy, the Facts*. Europese commissie.
- MONA. (z.d.). *Over het bergingsproject*. Opgevraagd op 3 maart 2008, via <http://www.monavzw.be>.
- NIRAS. (2006). *Een langetermijnoplossing voor het Belgische laag- en middelradioactief kortlevend afval* [informatiefolder].
- NIRAS. (2008). *radioactief afval: classificatie*. Opgevraagd op 28 februari 2008, via http://nirond.be/nederlands/6.4_classificatie_ned.html.
- NIRAS. (z.d.). *Verwerking radioactief afval*. Opgevraagd op 15 februari, via <http://www.niras.be>.
- NRG. (2007). *Publieksinfo kernenergie*. Opgevraagd op 13 februari 2008, via http://www.nrg-nl.com/public/kernenergie_nl/01.html.
- ODE. (2001). *Brochure biobrandstof* [informatiefolder].
- ODE. (2001). *Informatiebrochure biomassa* [informatiefolder].
- ODE. (2004). *Elektriciteit uit zonlicht*.

- ODE. (z.d.). *Quotumverhoging groenestroomcertificaten*. Opgevraagd op 22 februari 2008, via <http://news.ide.be>.
- Rip, A., Smit, W., & van der Meulen, B. (1994), "Radioactive waste disposal: taking societal views into account", in *Proceedings of the Workshop on Environmental and Ethical Aspects of Long-Lived Radioactive Waste Disposal*. Paris: OECD.
- Stirling, A. (1999), *On science and precaution in the management of technological risk*. Opgevraagd op 2 februari 2008, via <http://ftp.jrc.es/pub/EURdoc/eur19056en.pdf>.
- Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate. (2003). *Position of the Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate regarding the Safety of the Swiss Nuclear Power Plants in the Event of an Intentional Aircraft Crash*.
- Teres, I. (1993). *The European renewable Energy study*.
- Torfs, R., Schrooten, L., & De Nocker, L. (2004). *Internalisering van externe kosten voor de productie en de verdeling van elektriciteit in Vlaanderen*. VITO.
- Torfs, R., Wouters, G., D'Haeseleer, W., & Mathieu, Ph. (1999). *Emissies en energieverbruik van energiedragers*. VITO.
- Van Nypelseer, J.M. (1997). *De mogelijkheden voor uitbreiding van waterkracht in Wallonië*. Maastricht: Benelux Workshop Duurzame Energie.
- VITO. (2002). *Structuur van energiestromen*. Opgevraagd op 21 januari 2008, via <http://www.emis.vito.be/Energiebalans/index.asp?pageChoice=Structuur>.
- VIWTA. (2004). *Jaarverslag VIWTA*.
- VREG. (z.d.). *Begrippenlijst VREG*. Opgevraagd op 15 februari 2008, via http://www.vreg.be/nl/02_tools/04_begrippen/h.asp.
- VROM. (2006). *Randvoorwaarden voor nieuwe kerncentrales*.

- World Nuclear Association. (2008). *Generation IV Nuclear Reactors*. Opgevraagd op 5 maart 2008, via <http://www.uic.com.au/nip77.htm>.

Lijst van figuren

- Figuur 2.1: Structuur van de energiestromen
- Figuur 2.2: Marktaandelen energiedragers 2000
- Figuur 2.3: Marktaandelen energiedragers 2006
- Figuur 2.4: Aandeel secundaire energiedragers in finaal energieverbruik
- Figuur 3.1: Aandeel energiebronnen in elektriciteitsproductie
- Figuur 3.2: Overzichtsschema van een klassieke thermische centrale
- Figuur 3.3: Overzicht externe kosten
- Figuur 3.4: Levensduur bewezen reserves anno 2006
- Figuur 3.5: Evolutie wereldverbruik energiedragers
- Figuur 3.6: Geïnstalleerd windvermogen in Europa in MW (eind 2007)
- Figuur 4.1: Overzicht van de werking van een PWR-centrale
- Figuur 4.2: Splitsingsproces
- Figuur 4.3: Consumptie van kernenergie per geografische regio (in Mtoe)
- Figuur 4.4: Globale nucleaire elektriciteitsproductie in 2006 en projecties voor 2030
- Figuur 4.5: Ontwikkeling van kernreactoren in generaties
- Figuur 6.1: De nucleaire splijtstofcyclus
- Figuur 9.1: Gepercipieerde hiërarchie van de argumenten voor voorstanders van kernenergie
- Figuur 9.2: Gepercipieerde hiërarchie van de argumenten voor tegenstanders van kernenergie
- Figuur 9.3: Gepercipieerde hiërarchie van de argumenten voor respondenten zonder uitgesproken mening

Lijst van tabellen

Tabel 1.1:	Wettelijk schema sluiting Belgische kerncentrales
Tabel 2.1:	Evolutie primaire energieverbruik in België
Tabel 2.2:	Finaal energieverbruik per sector en per energiedrager
Tabel 2.3:	Overzicht Belgische elektriciteitsmarkt
Tabel 2.4:	Overzicht Belgische elektriciteitsuitwisselingen (in GWh)
Tabel 3.1:	Aandeel energiebronnen in elektriciteitsproductie
Tabel 3.2:	Specifieke kosten
Tabel 3.3:	Kostprijsstructuur offshore windturbinepark
Tabel 4.1:	Aandeel kernenergie in elektriciteitsproductie op 31 december 2006
Tabel 7.1:	Economische en externe kost per technologie (in cEUR/kWh)

Bijlagen

- Bijlage 1 Vergelijking van de zes vierde generatie kernreactoren
- Bijlage 2 Vragenlijst
- Bijlage 3 Interview met Tinne Van der Straeten
- Bijlage 4 Interview met Bart Martens

Bijlage 1: Overzicht van de zes vierde generatie kernreactoren

	Snelle of thermische reactor	Koelmiddel	Temperatuur (°C)	Druk*	Brandstof-cyclus	MWe	Gebruik	Datum verwachte ingebruik-name
De zeer hoge temperatuur reactor	Thermisch	Helium	1000	Hoog	Open	250	Elektriciteit Water stof	2020
De super-kritische water-gekoelde reactor	Snel of Thermisch	Water	510-550	Zeer hoog	Gesloten (snel), open(thermisch)	1500	Elektriciteit	2030
De gasgekoelde snelle reactor	Snel	Helium	850	Hoog	Gesloten	288	Elektriciteit Water stof	2030
De loodgekoelde snelle reactor	Snel	PB-Bi	550-800	Laag	Gesloten	50-150** 300-400 1200	Elektriciteit Water stof	2030
De natrium-gekoelde snelle reactor	Snel	Sodium	550	Laag	Gesloten	150-500 500-1500	Elektriciteit	2020
De gesmolten zout reactor	Epi-thermisch	Fluoride Zout	700-800	Laag	Gesloten	1000	Elektriciteit Water stof	2030

Tabel: Overzicht van de zes vierde generatie kernreactoren (Bron: World Nuclear Association, z.d.)

*Hoog = 7-15 Mpa, **'battery' model

Bijlage 2: Vragenlijst



Vragenlijst in verband met de eindverhandeling:

“De kernuitstap in vraag gesteld – een economische analyse”

In 2003 werd door het parlement de wet op de kernuitstap goedgekeurd. Concreet betekent dit dat tussen 2015 en 2025 de zeven Belgische kernreactoren gesloten worden. Hoewel de publieke opinie voor een kernuitstap pleitte blijkt uit onderzoek dat er nooit een uitgebreid maatschappelijk debat gevoerd werd. Er bestaan dan ook vermoedens dat de publieke opinie slecht geïnformeerd is omtrent kernenergie en dat er standpunten ingenomen worden op basis van halve waarheden. Deze korte vragenlijst heeft tot doel een beeld te krijgen van de hiërarchie die voorstanders, respectievelijk tegenstanders van kernenergie toekennen aan de argumenten contra kernenergie.

Indien de ondervraagde het op prijs stelt, dan kan hij/zij een samenvatting van de eindverhandeling met de resultaten van deze peiling in digitale vorm ontvangen.

Ja, ik stel het op prijs een samenvatting te ontvangen op volgend e-mailadres:

.....

Vraag 1: Bent u voorstander van kernenergie?

- Ja, ik ben voorstander van kernenergie
- Neen, ik ben tegenstander van kernenergie

Vraag 2: Verdeel 100 punten over de argumenten contra kernenergie zodanig dat de puntentoe wijzing weergeeft hoe sterk u vindt dat elk argument tegen kernenergie spreekt. Indien u een score 0 toekent aan een item betekent dit dus dat u dit geen relevant nadeel van kernenergie vindt.

Korte omschrijving van de items:

- **Proliferatie en atoomwapens:** proliferatie is de ongecontroleerde verspreiding van nucleaire technologie, kennis en materiaal voor militaire en niet-vreedzame toepassingen. Volgens bepaalde critici werkt het gebruik van kerncentrales proliferatie en de ontwikkeling van atoomwapens in de hand.
- **Terrorismedreiging:** een kerncentrale kan een strategisch doelwit vormen voor terroristen, daarnaast kunnen terroristen radioactief afval stelen om een zogenaamde 'vuile bom' te maken.
- **Risico op ongevallen:** ongevallen in kernreactoren kunnen dramatische gevolgen hebben, denken we bijvoorbeeld aan het ongeval in Tsjernobyl.
- **Vervuiling:** uitstoot schadelijke stoffen bij elektriciteitsproductie.
- **Kostprijs elektriciteit:** de prijs die de consument per kWh zal betalen.
- **Radioactief afval:** hoogradioactief afval kan duizenden jaren actief blijven.
- **Hoge externe kosten:** maatschappelijke kosten, bijvoorbeeld kosten van zure regen die ontstaat als gevolg van de uitstoot van schadelijke stoffen.

Proliferatie en atoomwapens	
Terrorismedreiging	
Risico op ongevallen	
Vervuiling	
Kostprijs elektriciteit	
Radioactief afval	
Hoge externe kosten	
SOM	100

Bijlage 3: Interview met parlementslid en Groen!-ondervoorzitter, Tinne Van der Straeten (interview afgenomen op 28 maart 2008)

Kan u het standpunt van Groen! in verband met kernenergie toelichten?

Groen! is tegen kernenergie, in de eerste plaats omdat deze industrie nog steeds geen oplossing heeft gevonden voor het afvalprobleem en bijgevolg de komende generaties zwaar zal belasten. Bovendien is kernenergie de industrie bij uitstek die haar winsten privatiseert en haar afval socialiseert en ik vind niet dat de komende generaties daar de last van moeten dragen. Ik heb onlangs Hades bezocht, de eventuele opslag voor hoogradioactief afval in Mol, en ik moet zeggen dat ik totaal niet ben overtuigd.

U vindt de oplossing die in Mol-Dessel voorgesteld wordt dus niet aanvaardbaar?

Wat wordt er eigenlijk in Dessel gedaan, wel er worden proeven gedaan met een simulatie. Ze hebben daar nu een gang uitgegraven waar de warmte die hoogradioactief afval afgeeft nagebootst zal worden. Ik moet zeggen, dat lijkt me allemaal nog zeer sterk in zijn kinderschoenen te staan. Deze industrie belooft al gedurende vijftig jaar een oplossing voor haar afvalprobleem, maar tot op de dag van vandaag is die er nog steeds niet.

Dus we kunnen besluiten dat het grootste probleem voor Groen! het kernafval is?

Inderdaad, en vanaf het moment dat daar een oplossing voor is kan het allemaal herbekeken worden.

Groen! vindt dat kernenergie niet economisch is, kernenergie zou dus duur zijn. Elektriciteit van kernenergie is echter goedkoop, hoe zou u dit verklaren?

De NIRAS heeft bekend gemaakt dat volgens haar theoretische schatting de kost van het kernafval acht miljard euro bedraagt. Ze hebben ook gezegd dat daar reeds provisies voor zijn aangelegd, maar dat zijn boekhoudkundige provisies, dus we weten nooit heel zeker of dat geld er ook effectief zal zijn. En bovendien zijn er niet voldoende provisies om die kost te kunnen dekken. Ik vraag aan u, acht miljard, is dat goedkoop? De afgelopen twintig jaar hebben de gezinnen met hoge elektriciteitsfacturen een versnelde afschrijving van de kerncentrales gefinancierd. En nu dat ze afgeschreven

zijn worden er daar monsterwinsten gemaakt en dat wordt niet doorgerekend. Dus ok, als we gewoon kijken wat er uit Doel stroomt, dan is kernenergie goedkoop. Maar als we het volledige kostenplaatje maken, dat wil dus ook zeggen de kost van het bergen van het afval, ziet het er minder gunstig uit.

De externe kosten van kernenergie zijn volgens de meeste studies zeer laag. Groen! spreekt dit echter tegen, op welke basis doet de partij dit?

Over welke studies heeft u het dan meer specifiek?

De Commissie AMPERE maakt bijvoorbeeld gebruik van een methode die door de Europese Commissie is voorgesteld. Het gaat dan over ExternE. Volgens die studie is kernenergie een van de energiebronnen met de laagste externe kosten.

Wel kijk een kerncentrale gaat op een bepaald moment ontmanteld moeten worden.

De kosten van de ontmanteling werden ook opgenomen bij de berekeningen van ExternE.

Kijk, ik geloof niet dat zij daar de correcte cijfers voor hanteren. Kijk eens naar de derde generatie kerncentrales die gebouwd worden in Finland, dat kan een goede indicatie zijn van de externe kosten. Ze zitten al miljarden over hun budget, ze zitten een jaar achter op schema en de kapitaalkost is enorm. Bovendien, volgens The Economist zou het in een volledig vrije markt zeer moeilijk zijn voor kernenergie om te concurreren.

Kernenergie is niet ecologisch volgens Groen!, toch komen er veel minder schadelijke emissies vrij bij een kerncentrale dan bij bijvoorbeeld de klassieke thermische centrales. Wat maakt kernenergie dan niet ecologisch?

Ik erger mij aan de discussie dat kernenergie goed zou zijn omdat er geen CO₂ vrijkomt. Als we spreken over CO₂ gaat het over klimaatsbeleid, en als we spreken over klimaatsbeleid moeten we niet enkel denken aan de energieproductie, het is veel breder dan dat. Bij klimaatsbeleid moeten we ook denken aan de manier waarop we ons verplaatsen, de manier waarop we onze gebouwen verwarmen. Dus als we aan een klimaatsbeleid doen is het zeker geen oplossing om gewoon overal kerncentrales te gaan bouwen. Wat ook een vergelijking is die vaak gemaakt wordt is die met de afvalproductie in de chemische industrie. Ik vind dit gewoon belachelijk. Voor mij is dat

belachelijk gewoon omdat radioactief afval niet te vermijden is en we hebben er sowieso een oplossing voor nodig. Als we kijken naar andere energiebronnen zoals windenergie bijvoorbeeld, dan zien we dat daar geen afvalstoffen vrijkomen. We moeten dus gaan naar een energiebeleid waar het afvalprobleem geminimaliseerd wordt.

Ik zou nog even willen ingaan op de vergelijking met de chemische industrie die u zonet aanhaalde. Wanneer er chemisch afval geproduceerd wordt zoals arsenicum, zal dit steeds toxisch blijven.

Ja, maar wij zijn als groenen sowieso tegen iedere vorm van afval tout cour, ik vind het geen eerlijke vergelijking om kernafval naast chemisch afval te plaatsen. Precies alsof het dan niet meer zo erg is.

De vergelijking met het toxisch afval wat in de industrie wordt geproduceerd kan wel het afvalprobleem binnen de kernindustrie relativeren. Toxisch afval dat voor altijd toxisch zal blijven heeft een veel groter volume dan het radioactief afval dat door kerncentrales geproduceerd wordt.

Neen, als er binnen de chemische sector een oplossing voor hun afval wordt gevonden dan is er geen afval meer.

Is die oplossing al voorlopig in zicht aan het komen?

Ze zijn er volgens mij wel heel sterk aan het werken. Maar bon, het gaat volgens mij gewoon niet op deze vergelijking. We moeten gaan naar een energiebeleid waarin de energievraag naar beneden gaat. Dit zal zeker niet gebeuren als de kerncentrales blijven draaien en 'en masse' elektriciteit blijven produceren. De uitstap uit de kernenergie steunt op drie pijlers: de vraag doen dalen, efficiënt energiegebruik en de energie anders opwekken.

Hoe zou Groen! de energievraag willen doen dalen, en dan meer bepaald de elektriciteitsvraag? Want de afgelopen jaren zien we een daling in de energievraag maar eerder een stijging in de elektriciteitsvraag. En net de elektriciteitsvraag is relevant als we het over kernenergie hebben.

10 tot 15 % van het elektriciteitsgebruik van de gezinnen is uitsluitend te wijten aan lekverlies, dus aan de standby-knoppen en dergelijke. Zo vindt u tegenwoordig bijvoorbeeld ook geen DVD-spelers meer met een aan/uit-knop, dat maken ze

tegenwoordig niet meer. De wetgever zou hier kunnen optreden door productnormen op te leggen zoals bijvoorbeeld terug een aan/uit-knop te verplichten. Dat is wat betreft het industriële.

Is het realistisch om zoiets door te voeren op nationaal vlak? Of moet dit op Europees niveau beslist worden?

De wet op de productnormen is een Europese materie, dus er moet een Europees dossier ingediend worden waaruit blijkt dat de voorgestelde maatregelen niet concurrentieverstorend zijn. Wat betreft spaarlampen is Philips bijvoorbeeld vragende partij om de gewone gloeilampen te verbieden. In de urgentie van het belangrijke klimaatsvraagstuk waar wij voorstaan is het volgens mij relatief gemakkelijk om een dergelijk dossier te maken en het is in het verleden ook al gebeurd. Als u een goed dossier kunt maken is het geen probleem. Efficiëntie van elektronische apparatuur moet sowieso prioriteit worden. We moeten zorgen dat er in de winkel enkel nog goede dingen te verkrijgen zijn. Dus er is nog potentieel om de elektriciteitsvraag te laten dalen.

Volgens Groen! is kernenergie overbodig, welke alternatieven ziet u dan? Een onderzoek van CREG wees er immers op dat er een probleem zou kunnen ontstaan op gebied van de productiecapaciteit in België.

De CREG wijst inderdaad op een tekort aan capaciteit, en volgens mij ligt dat aan de politiek. Veel mensen vergeten dat ons energiebeleid niet enkel gemaakt wordt door de bedrijven. We hebben een vrijgemaakte markt, maar de markt beweegt zich wel binnen een kader en dat kader wordt politiek bepaald. Als België zegt dat zij windmolens gaat bouwen in de Noordzee dan is dat een politieke beslissing. Als de kernuitstap eventueel wordt teruggedraaid dan is dat een politieke beslissing. Ik heb er een hekel aan dat er 101 studies besteld worden door politici, want die steken zich eigenlijk weg en durven niet beslissen. De studie van de CREG is bijzonder zinvol omdat het erop wijst dat er dringend opgetreden moet worden. Het is dus eerder een appel om het creëren van meer capaciteit.

Dus u zegt eigenlijk dat de politiek momenteel te weinig doet voor alternatieve capaciteit, maar dat er wel degelijk potentieel is.

Absoluut.

Van welke energiebronnen verwacht u dan het grootste potentieel?

Het direct te valoriseren potentieel bevindt zich in windenergie, en dan vooral de offshore. Ik spreek niet over percentages van 60 %, maar het snelste omdat die projecten op gang zijn. En dan denk ik dat het potentieel van zon ook zeer groot is, maar die technologie staat nog niet op punt. Maar het grootste potentieel moet in de eerste plaats in besparing gezocht worden, in het naar beneden brengen van de vraag. Ook WKK heeft nog potentieel, als we bijvoorbeeld naar Nederland kijken, hebben wij in België nog een groot ongebruikt potentieel. We moeten naar een meer decentrale markt gaan.

Is het voor Groen! mogelijk om een kernuitstap door te voeren maar toch kernenergie in te voeren vanuit Frankrijk?

Ten eerste Frankrijk heeft geen overschotten.

Voorlopig voeren we toch elektriciteit in vanuit Frankrijk?

We kunnen toch evengoed elektriciteit invoeren vanuit andere landen, daarnaast werkt Frankrijk aan een enorm groot windmolenpark in de Noordzee. Het zou goed zijn als België daar ook in zou participeren en dan van daaruit invoeren.

Volgens u zijn er dus alternatieven beschikbaar om elektriciteit in te voeren die niet afkomstig is van kerncentrales?

Er zijn zeker alternatieven beschikbaar, maar ons energiebeleid zou niet goed zijn als we afhankelijk zijn van invoer en dus daar moeten we vanaf raken.

Zijn de Kyoto-normen haalbaar zonder kernenergie?

Absoluut, kijk bijvoorbeeld naar Zweden, zij behalen zonder problemen hun target.

Is de industrie wel vergelijkbaar van beide landen? Want wij zitten toch met een grote industrie in de omgeving van Antwerpen bijvoorbeeld.

Ja en neen, de industrie is misschien niet geheel vergelijkbaar, maar een systeem van verhandelbare emissierechten zal vanaf 2012 doorgevoerd worden. Hierdoor zullen de verschillen tussen de landen op gebied van industrie uitgevlakt worden. We moeten naar een globaal klimaatsbeleid gaan. Dan gaat het er niet meer over of de industrie in Zweden vergelijkbaar is met de industrie in België maar dan gaan we in België een

beleid moeten voeren dat ook aandacht besteed aan transport en de manier waarop we onze huizen verwarmen.

Vindt u dat klassieke thermische centrales een deel van de oplossing kunnen vormen als kernenergie wegvalt?

In steenkool geloof ik absoluut niet, ook niet met CCS. Ik geloof wel in STEG-centrales, we moeten echt gaan naar nog efficiëntere STEG-centrales. Een kernuitstap zonder STEG zou volgens mij niet mogelijk zijn. Het gaat er niet om of een centrale vervuult, of CO₂ uitstoot zoals de STEG-centrales, maar uiteindelijk moeten we gaan naar een duurzaam niveau van vervuiling.

De nieuwe generatie kerncentrales zouden oplossingen bieden voor een groot aantal problemen, staat u voor deze centrales open?

Er zijn nu projecten om de vierdegeneratie kerncentrales te ontwikkelen. Als het SCK geld wil steken in deze projecten mag zij dat gerust doen van Groen!. Wij vinden alleen niet dat er overheidsgeld aan deze onderzoeken gespendeerd moet worden. Het SCK wordt deels gefinancierd door de bedrijfswereld. Wij vinden dus dat ze dat geld moeten gebruiken voor onderzoeken naar kerncentrales van een nieuwe generatie, en geen overheidsgeld. In het verleden is er reeds veel overheidsgeld aan deze industrie besteed, het wordt tijd dat er eens wat meer geld gestoken wordt in onderzoek naar hernieuwbare energiebronnen.

Wat denkt u van het scenario om nog enkele decennia met kernenergie verder te gaan totdat kernfusie beschikbaar wordt?

Over kernfusie zegt men al meer dan 40 jaar dat het er binnen 40 jaar zal zijn. Volgens mij is dat een bodemloze put waar geld ingestoken wordt.

Maar met het ITER-project heeft men nu toch heel concrete vooruitzichten?

Ja, maar kijk eens hoeveel geld dat daar al ingestoken is en hoeveel geld men er nog in zal steken. En voorlopig hebben ze nog altijd geen resultaten. Als er opeens een magische oplossing voor gevonden wordt dan zullen we dat wel zien. Maar we kunnen geen politieke beslissingen nemen op iets wat er misschien binnen 40 jaar gaat zijn en waarvan men al 40 jaar lang zegt dat het er binnen die termijn zal zijn.

Bijlage 4: Interview met Bart Martens, Vlaams volksvertegenwoordiger en senator sp.a (interview afgenomen op 23 mei 2008)

Kan u het standpunt van sp.a in verband met kernenergie toelichten?

Duurzame ontwikkeling betekent dat we vandaag geen maatregelen nemen die een gevaar betekenen voor de toekomst, voor onze kinderen en kleinkinderen en iedereen die daar op volgt. Daarom staan wij achter de geleidelijke uitstap uit de kernenergie, zoals beslist door het Parlement in 2003. Kernenergie is een technologie uit het verleden, na tientallen jaren onderzoek is er nog steeds geen veilige methode gevonden om van het radioactief afval af te geraken. Tegen 2060 zullen de ontginbare en betaalbare uraniumvoorraden bij het huidige verbruik zijn uitgeput. Vele generaties zullen dus de rekening betalen voor de energievoorziening van hooguit enkele generaties, terwijl ze er zelf nooit gebruik van zullen hebben gemaakt. Kernenergie is bovendien erg duur als we alle kosten meerekenen en houdt ernstige risico's in, zeker in een dichtbevolkt land als België. We moeten radicaal naar de toekomst kijken en investeren in toekomstgerichte energievormen en in rationeel energiegebruik.

U spreekt over transgenerationele solidariteit, wat is uw standpunt met betrekking tot de transgenerationele solidariteit vanuit het standpunt van voorstanders van kernenergie? Kernenergie is enkel massaal bruikbaar om elektriciteit op te wekken. Zelfs als bijvoorbeeld aardolie, steenkool of aardgas goedkoper zouden zijn, dan nog zouden we deze energiebronnen beter laten voor het nageslacht.

Vanuit het oogpunt van transgenerationele solidariteit, zijn enkel onuitputtelijke energiebronnen verantwoord. Fossiele brandstoffen zijn niet alleen eindig, de verbranding ervan draagt bovendien bij tot het broeikaseffect. Willen we de aarde ook voor de toekomstige generaties leefbaar houden, zullen we het broeikaseffect binnen de perken moeten houden en het gebruik van fossiele brandstoffen beperken. Kernenergie is volgens sp.a alles behalve een energiebron die vanuit het standpunt van transgenerationele solidariteit gerechtvaardigd is. Kernenergie is absoluut geen onuitputtelijke bron. Kerncentrales draaien op uranium, en die grondstof moet België invoeren uit andere landen. Ook de uraniumvoorraden zijn eindig. Uranium komt uit uraniumertsminen in Canada, Australië en Niger, en juist de uraniumontginning is zowat de meest vervuilende schakel in de nucleaire ketting. De uraniummijnbouw is nefast voor de gezondheid van de omwonenden en van de mijnwerkers. Van deze

grondstof kan slechts een fractie worden gebruikt, de rest van het erts is radioactief afval, dat meestal gedumpt wordt in de open lucht. Uranium is niet alleen radioactief, maar ook erg giftig, en daarom is de uraniumexploitatie nefast voor de lokale bevolking, meestal kwetsbare bevolkingsgroepen. Bovendien zaden we door het gebruik van kernenergie de toekomstige generaties op met hoogradioactief gevaarlijk kernafval, waar nog steeds geen oplossing voor gevonden is. Dat is bijzonder onethisch en alles behalve solidair met de toekomstige generaties. Tenslotte zijn de gekende reserves aan economisch exploiteerbaar uranium dermate beperkt dat kernenergie nooit een betekenisvol aandeel kan vormen in het beantwoorden van de wereldwijde energievraag.

U spreekt over de risico's van kerncentrales in een dichtbevolkt land als België, bedoeld u dan een Tsjernobyl-scenario? Is dit een risico waar rekening mee gehouden moet worden bij een kernuitstap?

Alle kernreactoren zijn inherent onveilig. De Tsjernobyl-reactor werd kort voor hij in 1986 ontplofte door de internationale nucleaire veiligheidsinstanties als veilig omschreven. Toch gebeurde het 'ondenkbare'. Ook in onze westerse reactoren kunnen zich zeer ernstige ongevallenscenario's voordoen. De omvang van de schade van een ernstig nucleair ongeluk, zeker in een dichtbevolkt gebied als België, is zo immens groot dat geen enkele verzekeringsmaatschappij het risico wil dragen om het te dekken. In de VS geldt voor de inplanting van kerncentrales de '10 miles'-regel. Kerncentrales moeten daar een afstand van minstens 10 mijl (ongeveer 16 km) van behuizing respecteren. De onderzoekscommissie die zich boog over de veiligheid van de nucleaire installaties in België, kwam in 1991 tot het besluit dat er in ons dichtbevolkte land eigenlijk geen nucleaire installaties zouden mogen gebouwd worden in een straal van minder dan 30 km van een bevolkingscentrum. Zo'n plaats bestaat er in België niet en de zeven kernreactoren bevinden zich in de nabijheid van twee van de grootste steden van ons land (Antwerpen en Luik). Bovendien ligt Doel vlakbij de chemische industrie van Antwerpen. Afgezien van het risico op ongevallen vormen nucleaire installaties gevaarlijke strategische doelwitten in oorlogen of bij terroristische aanslagen. Installaties voor energievoorziening vormen bij conflicten een belangrijk strategisch doelwit. Belgische kerncentrales mogen dan wel bestand zijn tegen de inslag van een klein sportvliegtuigje, maar zeker niet tegen de inslag van een groot passagiersvliegtuig. Een doelgerichte crash van een groot passagierstoestel op de kerncentrale van Doel zou nooit eerder geziene gevolgen hebben.

Sp.a vindt dat kernenergie niet economisch is, kernenergie zou dus duur zijn.

Elektriciteit van kernenergie is echter goedkoop, hoe zou u dit verklaren?

Kernenergie lijkt goedkoop, maar is duur als we het totale plaatje bekijken. De investeringen voor de huidige centrales zijn in het verleden versneld afgeschreven omdat de exploitant hoge tarieven mocht aanrekenen. De consument heeft dus jarenlang te veel betaald in een monopolie markt, waardoor Electrabel zijn kerncentrales versneld heeft kunnen afbetalen en nu onder de marktprijs kan concurreren in de vrijgemaakte markt. Bovendien is het leeuwendeel van de kosten voor onderzoek en ontwikkeling in kernenergie betaald door de overheid, de belastingbetaler dus. Nog steeds betaalt de Belgische belastingbetaler bijna 500 miljoen euro per jaar aan onderzoek en ontwikkeling naar kernenergie en het beheer van het kernafval. Ook zijn kerncentrales maar beperkt verzekerd, v er onder het bedrag dat een mogelijke kernramp zou kosten (anders zou geen enkel verzekeringsbedrijf een dergelijke polis willen afsluiten). Dit betekent dat de overheid de rest van het risico op zich neemt. In België moeten de elektriciteitsproducenten een bepaald bedrag voorzien voor de ontmanteling van de kerncentrales. Maar omdat er nog maar erg weinig ervaring is met het ontmantelen van kernreactoren kan men erg moeilijk inschatten hoeveel dat zal kosten. Aangezien men nog geen definitieve oplossing heeft voor het hoogradioactief afval dat momenteel nog bovengronds ligt af te koelen, is het maar zeer de vraag of de daarvoor voorziene bedragen zullen volstaan. In het Verenigd Koninkrijk blijken de werkelijke kosten aanzienlijk hoger te liggen dan wat in het verleden werd opzij gezet voor de ontmanteling.

De externe kosten van kernenergie zijn volgens de meeste studies zeer laag.

Sp.a spreekt dit echter tegen, op welke basis doet de partij dit?

Als de exploitanten van de kerncentrales zouden verplicht worden om zich te laten verzekeren om de schadekosten bij ongevallen integraal te kunnen uitbetalen (internaliseren van risicokosten), zou geen enkele centrale draaien.

Welke kritiek heeft uw partij op de bevindingen van de Commissie AMPERE (2000)?

De Commissie AMPERE ging uit van weinig voluntaristische scenario's op vlak van energiebesparing en hernieuwbare energie.

Sommige voorstanders van kernenergie relativeren het afvalprobleem door te stellen dat enkel het hoogradioactief afval een probleem vormt en dat dit afval slechts zeer beperkt is in hoeveelheid in vergelijking met ander toxisch afval dat voor altijd toxisch zal blijven. Wat vindt u van deze vergelijking?

Het probleem van kernafval kan niet gemarginaliseerd worden door dit te vergelijken met andere vormen van toxisch afval. Het is en blijft een (steeds groter wordend) probleem. Ondanks hoge investeringen in onderzoek naar de opslag en verwerking van hoogradioactief afval, is er na meer dan 50 jaar onderzoek in de hele wereld nog geen enkele definitieve bergingsite voor hoogradioactief nucleair afval in gebruik genomen. Dit hoogradioactief afval is meer dan 240.000 jaar actief (6800! generaties). Jaarlijks wordt er wereldwijd 10.000 m³ hoogradioactief afval gegenereerd. Niemand kan sluitende garanties geven dat de komende duizenden jaren geen radioactiviteit in de omgeving zal vrijkomen, met de nodige gevolgen voor milieu en gezondheid.

Vindt u dat het moet kunnen dat wij elektriciteit invoeren vanuit Frankrijk die afkomstig is van kerncentrales?

Europa evolueert steeds meer naar een ééngemaakte en gekoppelde markt. Dit is een goede zaak, de koppeling van de markten zorgt voor een zeker evenwicht op de markt. Sommige energiebronnen kenmerken zich door een fluctuerend aanbod (wind, zonne-energie, maar ook kernenergie als centrales dicht gaan voor onderhoud) en door een goede marktkoppeling kan dit beter worden opgevangen. De lidstaten kiezen echter zelf hun energiemix. In die zin moeten wij niet bepalen welke bronnen Frankrijk aanwendt. In het verleden heeft de Franse burger enorm veel geld moeten ophoesten voor investeringen in een nucleaire industrie en in de toekomst zullen zij dat eveneens moeten doen voor de sanering van het enorme nucleaire passief. Dit is echter een Franse, politieke keuze.

Zal een kernuitstap niet met zich meebrengen dat we nog meer van invoer afhankelijk worden?

De geplande en reeds uitgevoerde investeringen zijn meer dan voldoende om de productiecapaciteit van de eerste drie kerncentrales, die in 2015 sluiten, op te vangen. Kijk maar naar investeringen in warmtekrachtkoppeling, stoom- en gasturbines, alternatieve energiebronnen en windprojecten zoals op de Thorntonbank in de Noordzee. Bovendien mag België niet beschouwd worden als een eiland dat volledig

voor haar eigen energiebehoefte moet instaan. Europa evolueert steeds meer naar een ééngemaakte en gekoppelde markt.

De nieuwe generatie kernreactoren zouden een oplossing bieden voor verschillende problemen. Verwerpt sp.a deze reactoren resoluut of is verder onderzoek hiernaar verantwoord?

Gen IV als technologie bestaat niet, het is een politiek concept. Het is een samenraapsel van verschillende technologieën (zes reactorconcepten) die al lang bestaan. Sinds 2000 werken tien landen onder leiding van de VS binnen het Generation IV International Forum (GIF) samen aan het concept. Het GIF stelde een lijst van criteria op: minder afval, geen gebruik maken van U235, proliferatieveilig, inherent veilig, economisch rendabel. Er werden zes (nogal verschillende) reactortypen geselecteerd voor verder onderzoek. Opmerkelijk is dat geen van deze typen voldoet aan de voorwaarden gestemd door het GIF. Het gaat in essentie (drie van de zes reactortypen) om kweekreactoren. Dit zijn reactoren die plutonium (Pt) kunnen 'kweken' uit Uranium (U) 238. Belangrijkste reden is dat veel meer U238 beschikbaar is dan U235 (gebruikt in onze lichtwaterreactoren). Nu men begint te denken dat U235 uitgeput gaat geraken, begint men terug aan kweekreactoren te denken. Kweekreactorprojecten in de jaren '70 en '80 zijn desastreus geëindigd (behalve voor de productie van plutonium voor kernwapens). Voorbeelden zijn Kalkar (economisch mislukt) in Duitsland of Monju (ontploft) in Japan. De Franse Superphénix heeft nauwelijks gedraaid. Een van de belangrijkste argumenten tegen kweekreactoren is hun proliferatierisico: het intermediair plutonium kan worden gebruikt voor kernwapens. Gen IV reactoren bestaan niet en de datum van hun mogelijke beschikbaarheid wordt steeds naar achter verschoven: van 2030 naar 2040. De nucleaire industrie heeft een lange traditie van te optimistisch te zijn over dergelijke zaken, in de jaren '70 voorspelde men ook een oplossing voor nucleair afval die nu nog steeds niet in zich is. Gen IV is momenteel dromerij: net zoals bij kernfusie of marsreizen zal het misschien theoretisch technologisch ooit mogelijk zijn, maar nog lang niet. Onze energievoorziening op middellange termijn (2015-2025) afhankelijk maken van iets dat helemaal nog niet bestaat en waarvan het twijfelachtig is dat het ooit zal werken is waanzinnig. De datum van mogelijke beschikbaarheid verschuift steeds: van 2020 (Chirac) over 2030 naar 2040. En dan gaat het over voorspellingen van een sector die niet echt gekend is voor het realisme als het over technologische

evoluties gaat: de voorspelde oplossing voor radioactief afval uit de jaren '70 is er ook nog steeds niet.

Wat vindt u van een politiek waarbij we nog 40-50 jaar vasthouden aan kernenergie totdat kernfusie commercieel inzetbaar wordt?

Er is geen garantie dat kernfusie binnen 50 jaar commercieel inzetbaar is. 50 jaar geleden werd ook gegarandeerd door sommigen dat kernfusie 'binnen 50 jaar' inzetbaar zou zijn. We zijn niets met energie die steeds 'binnen 50 jaar' inzetbaar zal zijn. De nucleaire industrie heeft een traditie op dat vlak: bij de start van de eerste kerncentrales vertelde men ook dat een oplossing voor het afval 'binnen handbereid' was...

De socialistische partij is in het verleden steeds een voortrekker van technologische vernieuwing geweest. Zo stelde Jacquard dat technologie de bevrijding van slavernij kon betekenen. We kunnen nu vaststellen dat sp.a eerder een terughoudende houding aanneemt wat betreft technologie (onderzoek naar radioactieve toepassingen, onderzoek naar nieuwe generatie reactoren, onderzoek naar kernfusie...). Is er een bepaalde evolutie merkbaar?

Sp.a is zeker niet vies van technologische innovatie, maar gelooft enkel in de ontwikkeling van schone technologieën. Sp.a kiest voor schone energievormen via een doorgedreven innovatiebeleid en de creatie van een thuismarkt die de afzet van de nieuw ontwikkelde producten in de aanloopfase stimuleert. In de sterk groeiende markt van hernieuwbare energie en energiesparende producten en diensten, hebben we nu al toonaangevende bedrijven. Momenteel realiseert C-Power (met Dredging International) in de Noordzee het eerste offshore windturbinepark op een dergelijke diepte. Hierdoor gaat voor het Belgische Dredging een wereldmarkt aan zulke projecten open en kunnen onze baggeraars overal ter wereld op zee dergelijke windmolenparken aanleggen. De halfgeleidertechnologie van Imec en Umicore en de Lithium-ion batterijen van die laatste openen mogelijkheden voor onze bedrijven op de boomende markten van fotonvoltaïsche zonnecellen en batterijen in elektrische en hybride wagens. De waterstofgasbus die busbouwer Van Hool ontwikkelt samen met UTC Technologies - wereldleider op vlak van brandstofcellen - veroverd straks misschien ook heel Europa. Hansen Transmissions in Lommel is wereldleider in de productie van tandwielkasten voor windturbines. Sp.a wil dergelijke voorlopers maximaal stimuleren en zorgen voor

een stabiel investeringsklimaat. Een voorloperbeleid op gebied van innovatie in schone technologieën vergroot de kans dat onze bedrijven straks in de rest van de wereld een rol gaan spelen die het niveau van onze kleine regio ver overstijgt. Door ons land uit te bouwen tot een incubatie- en kraamkamer voor de ontwikkeling van nieuwe technologieën die huidige én toekomstige consumenten meer keuzemogelijkheden en onafhankelijkheid bieden, veel kansen opleveren voor onze hoogtechnologische industrie, veralgemeenbaar zijn op wereldvlak en in alle opzichten veilig, kunnen we werkelijk een wereld van verschil maken. Het zijn juist de voorstanders van een verlengde levensduur van onze (verouderde) kerncentrales die de technologische innovatie geen kansen geven.

Kan België tegemoet komen aan de Kyoto-normen zonder kernenergie?

Ja. Een studie van het Federaal Planbureau, besteld door Minister van Leefmilieu Bruno Touback toont dit ondubbelzinnig aan. De studie berekende of het mogelijk is, en tegen welke prijs, om ambitieuze CO₂-reductiedoelstellingen te behalen (een daling van 15-30% tegen 2020) zonder de sluiting van de kerncentrales na een levensduur van 40 jaar terug te draaien. De gevolgen voor het BNP waren verwaarloosbaar, terwijl er een positieve invloed op de werkgelegenheid wordt vastgesteld. Ook in het Verenigd Koninkrijk heeft men studies uitgevoerd naar de bouw van kerncentrales om CO₂ te besparen. Men concludeerde dat de kleine CO₂-besparing die dit zou opleveren gigantisch duur zou zijn in vergelijking met andere methoden om minder CO₂ uit te stoten, met name energiebesparing, het vervangen van oude, vervuilende steenkoolcentrales door moderne gascentrales met warmtekrachtkoppeling en het investeren in elektriciteit uit hernieuwbare bronnen.

Hoe zou men in België de kernuitstap het best opvangen?

Het licht zal niet uitgaan in 2015 wanneer de eerste 3 kerncentrales (Doel 1 en 2, Tihange 1) dichtgaan. De geplande en reeds uitgevoerde investeringen zijn meer dan voldoende om de productiecapaciteit van deze kerncentrales op te vangen. Het gaat dan om investeringen in warmtekrachtkoppeling en in hernieuwbare energie. Aan al deze investeringen moet je ook nog eens de offshore windprojecten toevoegen. C-Power, Eldepasco en Belwind zullen samen meer dan 2 miljard euro investeren in windenergie op de Noordzee, goed voor 162 turbines of 846 megawatt. Voor de vervanging van de kerncentrales die na 2015 zullen dichtgaan is het belangrijk te zorgen voor een zeker investeringsklimaat. Dat is van extreem belang voor de creatie

van alternatieven. En dat bereik je niet door onnodig de uitstap in twijfel te trekken. Daarbij komt nog dat alle studies aantonen dat het elektriciteitsbesparingspotentieel in België nog groot is. Door gewoon de zogenaamde 'economische maatregelen' (dit zijn alle maatregelen die zichzelf terugbetalen, de energiebesparing is gelijk aan de investering) uit te voeren zou België in 2012 14,6 % en in 2020 19,3 % elektriciteit besparen. Zonder dat we hiervoor onze levensstijl moeten veranderen. Onze eerste inspanning moet dus gaan naar de vermindering van de energieconsumptie. Niet enkel om milieuredenen maar ook om de financiële besparingen die gepaard gaan met energiebesparing en de verminderde afhankelijkheid van het buitenland voor uranium, aardolie en aardgas.

U zegt dat er voldoende capaciteit is (of zal zijn) om de kernuitstap op te vangen. Uit een studie van de CREG (september 2007) bleek echter dat België met een ontoereikende productiecapaciteit te maken zou krijgen. Bent u het hier mee eens? Doet de politiek momenteel te weinig voor hernieuwbare energie? Of zijn er gebreken aan de betreffende studie?

De studie van de CREG die stelt dat er een tekort in de elektriciteitsbevoorrading zou kunnen komen, is volgens ons te pessimistisch omdat heel wat aangekondigde investeringen waarvoor al bepaalde vergunningen werden bekomen (cf. T-Power, Marcinelle, Nuon, SPE in Visé) niet mee in rekening werden gebracht. Daarnaast wordt België als een eiland beschouwd, wat niet in overeenstemming is met de werkelijkheid. Bovendien worden centrales voor gesloten beschouwd waarvan niet zeker is dat ze op die termijn wel zullen gesloten worden. Maar wat door de studie bovenal aangetoond wordt, is dat er dringend geïnvesteerd moet worden in bijkomende productiecapaciteit, en dan liefst nog door andere marktspelers dan de dominante producent. Hiervoor is een stabiel investeringsklimaat noodzakelijk, waarbij men de wisselwerking moet nagaan tussen de milieubeschermingsmaatregelen, waaronder de allocatieplannen voor de CO₂-emissierechten, en de aantrekkingskracht van België voor potentiële investeerders in nieuwe productiecapaciteit voor elektriciteit. Naast duidelijkheid over de kernuitstap, moet de marktwerking verbeterd worden. Het is hierbij zeer belangrijk (ook volgens de CREG) dat maatregelen getroffen worden om de concurrentie op de elektriciteits- en gasmarkt te bevorderen. Door met een zogenaamde 'mottenballentaks' op afgeschreven kern- en steenkoolcentrales de winst af te romen, kunnen de concurrentievoordelen van de dominante marktspeler weggewerkt worden. Zo zullen nieuwe investeerders op onze markt durven investeren en met veiligere en

milieuvriendelijkere installaties voor een echte concurrentie kunnen zorgen. De opbrengsten van de mottenballentaks dienen dan gebruikt te worden om bestaande, kostprijsverhogende heffingen op stroom te vervangen, of om energiebesparing te ondersteunen. Als sp.a pleiten we verder voor een aanbesteding door de overheid in geval van verwacht tekort. Artikel 5 van de elektriciteitswet biedt aan de minister van energie de mogelijkheid om beroep te doen op de procedure van offerteaanvraag voor de bouw van nieuwe productie-installaties wanneer de bevoorradingszekerheid niet voldoende is gegarandeerd. Daarnaast is nood aan een stabiel investeringsklimaat voor groenestroomproductie. Dankzij het groenestroomcertificatensysteem, dat werd ingevoerd door het Elektriciteitsdecreet, kende de groenestroomproductie in Vlaanderen een sterke groei. In het Elektriciteitsdecreet werden echter maar groenestroomdoelstellingen ingeschreven tot 2010. In het regeerakkoord engageerde de Vlaamse Regering zich om in de loop van 2006 de groenestroomdoelstellingen vast te leggen voor de periode tot 2018. Ondertussen zijn we al een heel eind gevorderd in 2008 en is er nog steeds geen nieuwe doelstelling. De Vlaamse regulator VREG waarschuwde er onlangs voor dat potentiële investeerders aarzelen om te investeren in groene energie, omdat er nog geen duidelijkheid is over de regelgeving na 2010. Deze onzekerheid zorgde er volgens de VREG voor dat het geïnstalleerde vermogen aan groene energie vorig jaar veel minder spectaculair toenam dan de voorbije jaren. En investeerders zijn allergisch aan onzekerheid. Zeker als het gaat om grote investeringen in bijvoorbeeld windmolens of biomassa-installaties. Volgens de VREG is het aan de Vlaamse overheid om hierin klaarheid te scheppen. België zal, volgens het voorstel van de Europese Commissie dat nu op tafel ligt, 13 % van haar consumptie moeten betrekken uit hernieuwbare energiebronnen. Niet alleen omwille van de bevoorradingszekerheid maar ook in het kader van de strijd tegen de klimaatverandering, zullen we een serieus tandje moeten bijsteken op het vlak van hernieuwbare energieproductie. We moeten daarom maximaal investeren in schone en innovatieve technologieën.

Volgens vele studies is er nog besparingspotentieel in België wat betreft energieverbruik. We kunnen echter reeds enkele jaren een stijging in het elektriciteitsverbruik vaststellen (het energieverbruik daarentegen daalde wel lichtjes). De toornhoge olieprijsen zullen die trend enkel versterken. Met welke concrete maatregelen zou sp.a de elektriciteitsvraag willen inperken?

Er is in België zeker nog een enorm besparingspotentieel. In het sp.a klimaatplan staan 50 concrete maatregelen om het klimaatprobleem aan te pakken met heel wat maatregelen om de energievraag te beperken.

Samengevat:

- **Huisvesting:** We willen iedereen het recht geven op energiezuinig wonen. Voor de bestaande woningen moet er een grootschalig programma voor energie-renovatie (e-novatie) komen. Door bijkomende energiescans moet iedereen te weten kunnen komen hoe en waar ze energie kunnen besparen in hun woning. Huurders moeten het recht krijgen bepaalde energiebesparende investeringen te eisen van hun huisbaas. Sp.a wil ook dat er renteloze leningen komen voor dubbele beglazing én voor de isolatie van een dak. Nieuwe woningen moeten energiezuinig zijn. Daarom moeten er uitgebreide subsidies komen om de meerkost van energiezuinige nieuwbouwwoningen en passiefhuizen te compenseren. Passiefwoningen zijn zo gebouwd dat ze geen verwarmings- of koelinginstallatie meer nodig hebben. Nieuwe sociale woningen moeten passiefhuizen zijn. Nieuwe woonwijken en kantoorgebouwen moet men volgens scherpere normen bouwen.
- **Apparaten:** In huis zelf moeten onze apparaten tegen 2020 een vijfde energie-efficiënter worden. Daarvoor is Europese normering erg belangrijk. Tegen 2008 willen we nieuwe normen hebben voor veertien prioritaire productgroepen, van boilers over computers, televisies tot koelkasten en wastoestellen.
- **Wagenpark:** Ook de uitstoot door (vracht)wagens moet omlaag. We willen vooral dat bedrijfswagens minder gaan vervuilen. Vijf procent minder uitstoot per jaar is de doelstelling. Natuurlijk zal de hoofdaandacht op zuinigere wagens moeten liggen, maar we zullen ook extra kansen geven aan moderne technologieën, zoals hybride wagens of zogenaamde 'plug-in cars'. Dat zijn wagens die op batterij rijden maar een klassieke motor hebben voor grotere afstanden. Als we die snel kunnen introduceren in ons wagenpark, kunnen we de uitstoot ook versneld beperken.
- **Overheid:** De overheid moet het goede voorbeeld geven. Met energiezuinige nieuwe scholen (de recente selectie van 25 passiefscholen zijn daar een goed voorbeeld van) en zuinigere overheidsgebouwen slaan we een pak vliegen in één klap: de energiefactuur gaat naar beneden, het comfort voor leerlingen of personeel naar boven, en de gebouwen worden beter verlicht.
- **Onderzoek & ontwikkeling:** een ambitieus beleid voor onderzoek en ontwikkeling van schone elektriciteitsproductie en energie-efficiëntie. Vroeger is er massaal geïnvesteerd in steenkooltechnologie en kernenergie. Nu moeten we een

gelijkaardige inspanning doen naar hernieuwbare energiebronnen (wind, water, zon, warmtekracht, ...) en naar technologieën om energie te besparen of efficiënter in te zetten.

De klassieke thermische centrales (KTC's) zijn erg vervuילend en hebben een hoge externe kost, ook het principe van transgenerationale solidariteit speelt hier mee. Hoe staat sp.a tegenover deze KTC's? Kan de kernuitstap deels opgevangen worden door nieuwe KTC's?

Voornameijk steenkoolcentrales hebben een hoge externe kost. De oude kolencentrales in ons land moeten, net als de kerncentrales worden uitgefaseerd. Gelukkig wordt de externe kost (tenminste gedeeltelijk) doorgerekend: binnenkort worden de CO₂-emissierechten geveild terwijl er ook op andere pollutanten heffingen aankomen. Waarschijnlijk zal deze 'internalisering' er voor zorgen dat er geen nieuwe kolencentrales zullen bijkomen, ondanks aankondigingen daarover in de pers.

We zien in China een reusachtige groei in de energievraag. Zij gebruiken steeds meer vervuילende technieken zoals steenkool en dergelijke. Wanneer we ons het normatieve kader opleggen dat iedereen in de wereld recht heeft op een zeker welvaartsniveau zal die energievraag nog verder groeien. Kernenergie zou hier een oplossing kunnen bieden (en is het deels ook), is voor sp.a kernenergie in deze (Chinese) context wel aanvaardbaar?

Met de Klimaatsconferentie van Bali in december 2007 werd er een akkoord bereikt over een actieplan dat de bouwstenen bevat voor een toekomstig mondiaal post Kyoto regime voor klimaat. Hierbij wordt uitgegaan van het principe van *'gemeenschappelijke maar gedifferentieerde verantwoordelijkheden'*. De geïndustrialiseerde landen zullen het voortouw moeten nemen in de strijd tegen de klimaatverandering en zich engageren om de uitstoot van broeikasgassen drastisch te verminderen. Maar willen we de klimaatverandering binnen de perken houden, zullen ook de groei landen zoals China hun steentje moeten bijdragen in de strijd tegen de klimaatverandering. Dit wil niet zeggen dat landen zoals China geen recht hebben op een zeker welvaartsniveau. Deze groei moet echter op een duurzame manier gebeuren. Daartoe moeten er nieuwe en efficiënte vormen van technologische en financiële samenwerking uitgewerkt worden om dergelijke landen toe te laten een koolstofarme economische ontwikkeling te verwezenlijken. De overdracht van schone technologie is hierin een heel belangrijk

element. Ook in landen als China moet geïnvesteerd worden in de energiebronnen van de toekomst: windenergie, zonne-energie, waterkracht,... en in energie-efficiëntie. Kernenergie is absoluut geen 'conditio sine qua non' om de energievraag van China op te kunnen vangen. Op wereldvlak is kernenergie redelijk marginaal. Kernenergie staat voor geen vijf procent in van de totale energiebehoefte. De totale capaciteit van hernieuwbare energiebronnen is nu al groter dan die van kernenergie. België wordt met zijn 55 % kernenergie van de totale elektriciteitsproductie enkel voorafgegaan door Frankrijk. Vele landen hebben reeds beslist met kernenergie te stoppen of zijn er gewoon niet aan begonnen.