

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: Verantwoording en vergelijking van de overheidssteun in Vlaanderen aan warmtekrachtkoppeling en fotovoltaïsche zonne-energie

Richting: 2de masterjaar handelsingenieur - technologie-, innovatie- en milieumanagement

Jaar: 2009

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,

SCHREURS, Eloi

Datum: 14.12.2009

Verantwoording en vergelijking van de overheidssteun in Vlaanderen aan warmtekrachtkoppeling en fotovoltaïsche zonne- energie

Eloi Schreurs

promotor :
Prof.dr.ir Frans LEMEIRE

Voorwoord

Met deze masterproef besluit ik mijn studie tot Handelsingenieur aan de Universiteit Hasselt. De man die ongetwijfeld de grootste bijdrage heeft geleverd tot de vervolmaking van deze eindverhandeling, is mijn promotor prof. dr. ir. Frans Lemeire. Een speciaal woord van dank gaat bijgevolg uit naar hem. Zonder zijn deskundige uitleg en uitgebreide documentatie was ik er nooit in geslaagd deze opdracht tot een goed einde te brengen.

Daarnaast wil ik nog enkele mensen bedanken die tijd hebben vrij gemaakt om mij verder op weg te helpen met deze scriptie. In de eerste plaats heb ik het dan over prof. Annick Dexters, werkzaam bij de KHLim en Cogen Vlaanderen. Dankzij haar grondige kennis van WKK's kreeg ik een beter idee in welke richting WKK's zullen evolueren. Hetzelfde geldt voor prof. Jean Manca, werkzaam aan de Universiteit Hasselt en IWT, maar op het gebied van fotovoltaïsche zonne-energie. Jo Neyens, aangesloten bij ODE en BelPV, verrijkte mij met zijn kennis over de meest recente stand van zaken op het gebied van PV zonne-energie.

Tenslotte wil ik mijn dankbaarheid uiten ten opzichte van mijn ouders en mijn vriendin. De mentale steun die ik van hen kreeg, heeft een klimaat gecreëerd waarbij ik in alle rust aan deze masterproef kon werken.

Samenvatting

Er liggen twee grondslagen aan de basis van deze masterproef. Enerzijds streeft men op dit moment wereldwijd naar het tegengaan van de klimaatverandering. Dit fenomeen wordt ondertussen erkend door een overgrote meerderheid van de academische wereld en is een gevolg van een te hoge emissie van broeikasgassen. De mens is grotendeels verantwoordelijk voor deze evolutie, aangezien er een teveel aan deze gassen is ontstaan door menselijke activiteiten. Broeikasgassen komen onder andere vrij bij de verbranding van fossiele brandstoffen. Deze brandstoffen worden gebruikt voor transport en elektriciteitsproductie. De kosten van de klimaatverandering kunnen hoog oplopen naarmate maatregelen die deze trend bedwingen uitblijven.

Het is aan de overheden op verschillende niveaus om deze maatregelen uit te vaardigen. De taak van de overheid in de EU bestaat er namelijk in het maatschappelijk optimum te bereiken in een vrije markteconomie. Dit betekent dat technologieën die een hoger doel hebben (zoals de negatieve effecten van de klimaatverandering tegenhouden) maar nog niet kunnen concurreren met de gevestigde technologieën, de nodige steun moeten ontvangen van de overheid. Het is echter belangrijk dat dit belastingsgeld op een optimale manier wordt verdeeld. Zo komen we bij het tweede beginsel van deze masterproef: een efficiënte en effectieve besteding van overheidsmiddelen. In de huidige tijd van een economische crisis en oplopende overheidstekorten is dit zeker van belang.

Een aanzienlijke hoeveelheid broeikasgassen komt in Vlaanderen onder meer vrij bij de productie van warmte en elektriciteit. Volgens het Vlaams Klimaatplan stond de energievoorziening in 2004 in voor één vijfde van de totale broeikasgasemissies. Een belangrijk middel dat de Vlaamse overheid wil hanteren om dit te veranderen is warmtekrachtkoppeling (WKK), het gezamenlijk opwekken van warmte en elektriciteit. De hoogwaardige warmte die vrijkomt bij de verbranding van een brandstof wordt eerst aangewend om elektriciteit te produceren, waarna de laagwaardige restwarmte wordt gebruikt om te voorzien in een warmtevraag. Dit levert een primaire energiebesparing en een betere brandstofbenutting op ten opzichte van een gescheiden opwekking.

Fotovoltaïsche (PV) zonne-energie is een technologie die gebruik maakt van zonnestraling om elektriciteit te produceren. Door de specifieke eigenschappen van halfgeleiders kan invallend licht rechtstreeks omgezet worden in elektriciteit. Zowel WKK als PV zonne-energie zullen de uitstoot van broeikasgassen verminderen en ontvangen daarvoor steun van de overheid. We willen met deze masterproef echter onderzoeken in hoeverre de overheidssteun aan deze technologieën in Vlaanderen verantwoord is. Dit doen we aan de hand van drie parameters, namelijk de marktsituatie, de kosten en de argumenten voor overheidstussenkomst.

III

PV zonne-energie is de voorbije jaren aan een steile opmars begonnen in Vlaanderen met jaarlijkse groeipercentages van 200% en meer. Dit is vooral te danken aan een grootschalige implementatie van kleine PV-installaties bij particulieren. Desondanks neemt PV zonne-energie minder dan 0,1% van de Vlaamse elektriciteitsproductie in. Afhankelijk van de kostenevolutie zou een aandeel van enkele procenten mogelijk zijn, waardoor er nog een ruime groeimarge is. WKK daarentegen is een gevestigde waarde en heeft een marktaandeel van meer dan 10%. Dit aandeel bestaat bijna uitsluitend uit bedrijven met een grote warmtevraag. Na verschillende jaren van gestage groei lijken deze WKK's bijgevolg de fase van volwassenheid bereikt te hebben. Groeimogelijkheden zijn vooral te vinden bij kleinere vermogens in de tertiaire sector en eventueel bij residentiële toepassingen.

Deze WKK-installaties hebben echter het nadeel dat de investeringskost per kW sterk stijgt naarmate de installatie kleiner wordt. Vooral bij WKK's met turbines worden de schaalvoordelen pas zichtbaar vanaf een bepaalde grootte. Bovendien moet men rekening houden met een aanzienlijke werkings- en onderhoudskost. De kosten voor brandstof, in Vlaanderen meestal aardgas, zijn de laatste jaren sterk gestegen. Het wegvallen van deze kosten is één van de grootste voordelen van PV zonne-energie. Onderhoud is evenmin vereist. De technologie heeft echter zeer hoge investeringskosten per kW. Er kan evenwel worden aangehaald dat deze kosten een dalende trend volgen en dat het verschil minder groot is voor kleine installaties.

Een belangrijke reden waarom overheden deze technologieën moeten ondersteunen zijn de externe kosten die de huidige energievoorziening met zich meebrengt. Naast de klimaatverandering zijn ook een aantasting van de volksgezondheid en milieuverontreiniging negatieve gevolgen van de klassieke energievoorziening. Daarnaast zijn er nog andere argumenten die pleiten voor een tussenkomst door de overheid. We sommen ze hier even op:

- Technologisch effect
- Technologisch multiplicatoreffect
- Sociaal-economisch multiplicatoreffect
- Transgenerationele solidariteit
- Transnationale solidariteit
- Decentrale energieopwekking
- Verminderde afhankelijkheid

Enkele subsidies worden uitgereikt aan iedere eigenaar van WKK- en PV-installaties. Een overtollige productie van elektriciteit kan tegen een vergoeding naar het net worden gestuurd, zolang deze hoeveelheid op jaarbasis het verbruik niet overtreft. Daarnaast ontvangen beide technologieën ook

steun van een certificatensysteem. Voor PV zonne-energie wordt een prijs van 450 EUR per groenestroomcertificaat (1 MWh) gegarandeerd, de gemiddelde prijs van een warmtekrachtcertificaat (primaire energiebesparing van 1 MWh) bedraagt 41 EUR. De verdere subsidieregeling wordt onderverdeeld in bedrijven en particulieren, aangezien dit de twee grootste groepen van eigenaars zijn. Bedrijven kunnen genieten van een verhoogde investeringsaftrek en de mogelijkheid tot een ecologiepremie voor zowel WKK- als PV-systemen. Particulieren ontvangen voor beide technologieën een belastingvermindering, een gemeentelijke premie wordt enkel aan PV-installaties gegeven.

Na een grondige analyse komen we tot de conclusie dat het energiesubsidiebeleid in Vlaanderen op een meer coherente en kostefficiënte manier gevoerd kan worden. Er wordt op dit moment op te veel niveaus beslist over steunmaatregelen, terwijl er geen noemenswaardige argumenten zijn die aantonen dat dit een meerwaarde oplevert. De beslissingen over de subsidies voor milieuvriendelijke energietechnologieën zouden op één niveau genomen moeten worden. Eén verbruikerssubsidie en één investeringssubsidie die wordt aangepast aan de hoedanigheid (bedrijf – particulier) zouden de situatie bovendien veel eenvoudiger maken. De synergievoordelen die hierdoor ontstaan, zouden voor een betere besteding van overheidsgeld moeten zorgen.

Over de grootte van de subsidiebedragen voor PV zonne-energie kan eveneens worden gediscussieerd. De Vlaamse Regering besliste onlangs de gegarandeerde prijs van de groenestroomcertificaten voor PV zonne-energie vanaf 2010 stelselmatig te laten afnemen. Over de grond van de beslissing kan geen twijfel bestaan, maar over de werkwijze kan men zijn bedenkingen hebben. Terwijl de prijs van PV zonnepanelen snel evolueert, blijft de nadruk liggen op de verbruikerssubsidies. Door middel van investeringssubsidies zou de evolutie in de kostprijs op de voet gevolgd worden. Bovendien zullen latere aanpassingen in de verbruikerssubsidies minder drastisch verlopen dan nu het geval is. Dit heeft positieve gevolgen voor de overheid, de PV-sector en de consument.

Door de financiële en economische crisis dienen overheden wereldwijd stimuleringsprogramma's uit te vaardigen om de economische groei te ondersteunen. Door te investeren in milieuvriendelijke technologieën zoals WKK en PV zonne-energie worden bijgevolg twee problemen tegelijkertijd aangepakt, namelijk het gebruik van fossiele brandstoffen verminderen en de economie uit het slop halen. Naast een degelijk subsidiëringsbeleid moet de overheid potentiële consumenten echter ook informeren over de mogelijkheden die er zijn. Dit moet op een meer proactieve manier gebeuren dan nu het geval is, waarbij ze zelf initiatief neemt om particulieren en bedrijven te informeren. Hierbij moeten vooral de vele voordelen van de technologieën en het economische aspect benadrukt worden.

Lijst van tabellen

Tabel 2.1: Uitstoot van broeikasgassen in Vlaanderen

Tabel 4.1: Vergelijking WKK met turbines

Tabel 4.2: Temperatuur van verschillende warmtebronnen bij zuigermotoren (in °C)

Tabel 4.3: Vergelijking tussen Otto- en Dieselmotoren

Tabel 5.1: Aandeel diffuus licht bij verschillende weersomstandigheden

Tabel 6.1: Totaal aantal groenestroomcertificaten voor PV zonne-energie

Tabel 6.2: Aantal PV-installaties in Vlaanderen dat in aanmerking komt voor GSC

Tabel 7.1: Onderhoudskost van verschillende soorten WKK's (in euro/MWh_e)

Tabel 7.2: Kostenevolutie aardgas voor middelgrote bedrijven (in EUR/MJ)

Tabel 7.3: Prijsevolutie van aardgas in het scenario 'Hoge prijsstijging' (in EUR/MJ)

Tabel 7.4: Prijsevolutie van aardgas in het scenario 'Gemiddelde prijsstijging' (in EUR/MJ)

Tabel 7.5: Prijsevolutie van aardgas in het scenario 'Lage prijsstijging' (in EUR/MJ)

Tabel 7.6: Prijsevolutie van PV zonnepanelen in het progressief scenario (in EUR/kWp)

Tabel 7.7: Prijsevolutie van PV zonnepanelen in het gematigd scenario (in EUR/kWp)

Tabel 7.8: Prijsevolutie van PV zonnepanelen in het vertraagd scenario (in EUR/kWp)

Tabel 8.1: Overzicht voordelen

Tabel 9.1: Aantal uitgereikte groenestroomcertificaten per technologie per jaar

Tabel 9.2: Gemiddelde jaarprijs warmtekrachtcertificaten (in EUR)

Tabel 9.3: Aantal uitgereikte warmtekrachtcertificaten per jaar

Tabel 10.1: Gewaarborgde certificatensteun tot en met 2009

Tabel 10.2: Gewaarborgde certificatensteun vanaf 2010

Lijst van figuren

Figuur 2.1: Elektriciteitssector in Vlaanderen

Figuur 4.1: Schema verschil WKK – gescheiden opwekking

Figuur 4.2: Gescheiden opwekking van warmte en elektriciteit

Figuur 4.3: Gezamenlijke opwekking van warmte en elektriciteit in theorie

Figuur 4.4: Gezamenlijke opwekking van warmte en elektriciteit in praktijk

Figuur 4.5: Schema van WKK-installatie met gasturbine

Figuur 4.6: Schema van WKK-installatie met tegendrukstoomturbine

Figuur 4.7: Schema van WKK-installatie met condensatiestoomturbine

Figuur 4.8: Schema van WKK-installatie met gecombineerde cyclus

Figuur 4.9: Basisschema van WKK-installatie met zuigermotor

Figuur 4.10: Schema van een WKK-installatie met microturbine

Figuur 4.11: Schema van een Stirlingmotor

Figuur 4.12: Schema van een brandstofcel

Figuur 5.1: Ontstaan van depletion zone

Figuur 5.2: Forward en reversed biased

Figuur 5.3: PN junctie

Figuur 5.4: Werking van een zonnecel

Figuur 6.1: Totaal opgesteld elektrisch vermogen WKK met motoren (in MWe)

Figuur 6.2: Totaal opgesteld elektrisch vermogen WKK-installaties tot 2006 (in MWe)

Figuur 6.3: Totale elektriciteitsproductie WKK-installaties tot 2006 (in GWh)

Figuur 6.4: Totaal opgesteld vermogen PV-zonnepanelen tot 2008 (in kWp)

Figuur 7.1: Kostprijs van kleinschalige WKK-modules en –installaties (in \$/kWe)

Figuur 7.2: Kostprijs van verschillende soorten middelgrote WKK's (in euro/kWe)

Figuur 7.3: Richtprijzen voor PV zonne-energie (in euro/kWp)

Figuur 8.1: Experience curve

Figuur 9.1: Werking van het groenestroomcertificaten-systeem

Figuur 9.2: Gemiddelde prijs voor een groenestroomcertificaat (in EUR)

Figuur 9.3: Aantal groenestroomcertificaten afkomstig van PV-zonnepanelen (in dienst genomen na 1/1/2006)

Lijst van gebruikte afkortingen en symbolen

BAU: business as usual

BBP: bruto binnenlands product

BNP: bruto nationaal product

CH₄: methaan

CO: koolstofmonoxide

CO₂: koolstofdioxide

CREG: Commissie voor de Regulering van de Elektriciteit en het Gas

EU: Europese Unie

GSC: groenestroomcertificaten

IPCC: International Panel for Climate Change

IWT: Instituut voor de aanmoediging van innovatie door Wetenschap & Technologie in Vlaanderen

KHLim: Katholieke Hogeschool Limburg

KWS: koolwaterstoffen

NO_x: stikstofoxiden

ODE: Organisatie voor Duurzame Energie

OPEC: Organization of Petroleum Exporting Countries

PEB: primaire energiebesparing

PV: fotovoltaïc (fotovoltaïsch)

RPE: relatieve primaire energiebesparing

SO₂: zwaveldioxide

STEG: stoom- en gasturbine

VITO: Vlaams Instituut voor Technologisch Onderzoek

VN: Verenigde Naties

VREG: Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt

WKC: warmtekrachtcertificaten

WKK: warmtekrachtkoppeling

k = kilo = 10^3

M = mega = 10^6

G = giga = 10^9

T = tera = 10^{12}

J = Joule

W = Watt = J/s

Wh = Wattuur = 3600 J

Wp = Wattpiek = nominaal output vermogen van zonnecellen bij standaard omstandigheden (loodrechte zonne-inval van 1000 W/m^2 en celtemperatuur van 25°C)

EUR = euro

e (achtervoegsel) = elektrisch

q (achtervoegsel) = thermisch

η = referentierendement

α = rendement

Inhoudsopgave

Voorwoord	I
Samenvatting	II
Lijst van tabellen	V
Lijst van figuren.....	VI
Lijst van gebruikte afkortingen en symbolen.....	VIII
Inhoudsopgave	X
Hoofdstuk 1: Inleiding en probleemstelling.....	- 1 -
1.1 Inleiding	- 1 -
1.2 Praktijkprobleem	- 6 -
1.3 Centrale onderzoeksvraag	- 7 -
1.4 Deelvragen	- 7 -
1.5 Onderzoeksopzet	- 8 -
Hoofdstuk 2: Situering.....	- 9 -
2.1 Bevoegdheden	- 9 -
2.1.1 Federaal	- 9 -
2.1.2 Gewestelijk	- 9 -
2.2 Elektriciteitssector in Vlaanderen	- 9 -
2.2.1 Producenten.....	- 10 -
2.2.2 Transport.....	- 11 -
2.2.3 Distributie.....	- 11 -
2.2.4 Leveranciers.....	- 11 -
2.2.5 CREG	- 12 -
2.2.6 VREG	- 12 -
2.3 Energiecijfers	- 12 -
Hoofdstuk 3: Thermodynamische aspecten	- 14 -
3.1 Energie	- 14 -

3.2 Hoofdwetten van thermodynamica	- 17 -
3.2.1 Nulde hoofdwet van de thermodynamica.....	- 17 -
3.2.2 Eerste hoofdwet van de thermodynamica.....	- 17 -
3.2.3 Tweede hoofdwet van de thermodynamica.....	- 17 -
3.2.4 Derde hoofdwet van de thermodynamica	- 18 -
3.2.5 Vierde hoofdwet van de thermodynamica.....	- 19 -
3.3 Reversibele en irreversibele processen	- 19 -
3.4 Exergie.....	- 20 -
3.5 Rendementsbepalingen	- 20 -
3.6 Thermische motoren	- 22 -
3.7 Relevantie voor WKK.....	- 23 -
Hoofdstuk 4: Warmtekrachtkoppeling	- 25 -
4.1 Inleiding	- 25 -
4.2 Werking	- 25 -
4.3 Kwalitatieve WKK	- 29 -
4.4 Soorten WKK	- 30 -
4.4.1 WKK met turbines.....	- 30 -
4.4.2 WKK met zuigermotoren	- 34 -
4.4.3 Andere soorten WKK	- 37 -
Hoofdstuk 5: Fotovoltaïsche zonne-energie	- 42 -
5.1 Inleiding	- 42 -
5.2 Werking	- 43 -
5.3 Soorten zonnecellen.....	- 46 -
5.3.1 Kristallijne zonnecellen	- 46 -
5.3.2 Dunne film zonnecellen.....	- 47 -
5.3.3 Andere soorten zonnecellen	- 48 -
5.4 PV-systemen.....	- 48 -
5.4.1 Modules.....	- 49 -
5.4.2 Invertoren	- 49 -
5.4.3 Andere componenten	- 50 -

Hoofdstuk 6: Marktsituatie	- 52 -
6.1 WKK	- 52 -
6.1.1 WKK met turbines.....	- 52 -
6.1.2 WKK met motoren	- 53 -
6.1.3 Overzicht	- 54 -
6.2 PV Zonne-energie	- 56 -
Hoofdstuk 7: Kosten.....	- 59 -
7.1 WKK	- 59 -
7.1.1 Huidige kosten	- 59 -
7.1.2 Toekomstige evolutie	- 62 -
7.2 PV Zonne-energie	- 65 -
7.2.1 Huidige kosten	- 65 -
7.2.2 Toekomstige kosten	- 66 -
Hoofdstuk 8: Argumenten voor overheidstussenkomst.....	- 69 -
8.1 Vermijden externe kosten.....	- 69 -
8.2 Technologisch effect.....	- 70 -
8.3 Technologisch multiplicatoreffect	- 73 -
8.4 Sociaal-economisch multiplicatoreffect	- 73 -
8.5 Transgenerationele solidariteit.....	- 75 -
8.6 Transnationale solidariteit.....	- 75 -
8.7 Decentrale energieopwekking.....	- 76 -
8.8 Verminderde afhankelijkheid	- 77 -
8.9 Overzicht.....	- 78 -
Hoofdstuk 9: Steunmaatregelen	- 79 -
9.1 Algemeen	- 79 -
9.1.1 Groenestroomcertificaten (PV).....	- 79 -
9.1.2 Warmtekrachtcertificaten (WKK).....	- 83 -
9.1.3 Valorisatie elektriciteit (WKK en PV)	- 85 -
9.2 Bedrijven.....	- 86 -
9.2.1 Verhoogde investeringsaftrek (WKK en PV)	- 86 -

9.2.2 Ecologiepremie (WKK en PV)	- 87 -
9.3 Particulieren.....	- 88 -
9.3.1 Belastingvermindering (WKK en PV).....	- 88 -
9.3.2 Premie van de gemeente (PV)	- 89 -
9.4 Onrechtstreekse steunmaatregelen	- 89 -
Hoofdstuk 10: Nieuw Vlaams energiesubsidiebeleid	- 91 -
Hoofdstuk 11: Conclusies.....	- 93 -
11.1 Marktsituatie	- 93 -
11.2 Kosten.....	- 94 -
11.3 Argumenten voor overheidstussenkomst.....	- 95 -
11.4 Steunmaatregelen	- 97 -
11.5 Slotconclusie	- 99 -
Hoofdstuk 12: Aanbevelingen	- 103 -
12.1 Voor de overheid	- 103 -
12.2 Voor verder onderzoek	- 105 -
Referentielijst.....	- 107 -
Bijlagen	

Hoofdstuk 1: Inleiding en probleemstelling

1.1 Inleiding

Sinds enkele decennia wordt er steeds bewuster met energie omgesprongen. De eerste oliecrisis in 1973 was één van de katalysatoren voor dit verhoogd bewustzijn. In een politieke actie gericht tegen het Westen schroefden de Arabische olieproducerende landen hun productie sterk terug en verhoogden de olieprijs met 70%. De prijs voor een vat olie steeg hierdoor explosief. Door de prijsafspraken van de OPEC kwam de prijs naderhand nooit meer terug op het oorspronkelijke niveau. De prijzen van andere energiebronnen zoals aardgas en elektriciteit stegen eveneens als gevolg van deze crisis. Westerse mogendheden zagen plots in dat ze voor hun huidige levensstandaard en -kwaliteit afhankelijk waren geworden van energiebronnen die ze zelf niet of nauwelijks konden produceren. Sindsdien is het energiethema nooit meer echt uit de aandacht geweest en vandaag is het actueler dan ooit. Iedereen lijkt te beseffen dat er nood is aan een grondige verandering in onze huidige manier van energievoorziening. Hier zijn verschillende oorzaken voor. (Van Poeck, 2007)

Eenzijds is er het economische aspect. De voorraad aan fossiele brandstoffen is eindig, maar niemand weet hoe groot de voorraad op dit moment werkelijk is. Door deze onzekerheid is het niet duidelijk wanneer het moment van 'peak oil' zich zal voordoen. 'Peak oil' is de piek in de wereldproductie van olie waarna het aanbod aan olie steeds kleiner zal worden. Dit verschijnsel is te wijten aan het feit dat er minder nieuwe olievelden gevonden worden en dat bijna alle ontdekte velden reeds ontgonnen worden. Sommigen zijn ervan overtuigd dat dit moment zich al heeft voorgedaan, terwijl anderen het achter 5 tot zelfs 30 jaar pas verwachten. Het valt alleszins met grote waarschijnlijkheid te zeggen dat het aanbod aan fossiele brandstoffen in de toekomst zal dalen. Tegelijkertijd neemt de vraag uit grote landen zoals China en India stevig toe. Door de sterke economische groei van deze landen zal ook de vraag naar energie van hun bevolking, goed voor één derde van de wereldbevolking, toenemen. Uit de wet van vraag en aanbod weten we dat door deze twee trends de prijs voor fossiele brandstoffen ongetwijfeld verder zal stijgen, waarmee er definitief een einde komt aan de periode van relatief lage olie- en andere energieprijzen. (Peak Oil België, 2008)

Anderzijds speelt ook het sociale aspect een rol. Bij de verbranding van fossiele brandstoffen komen allerlei schadelijke stoffen vrij. Doordat ze op deze manier extern worden toegevoegd aan het milieu, zorgen ze er onder andere voor dat de natuurlijke cycli van elementen zoals koolstof, stikstof en zwavel ontregeld worden. Deze stoffen hebben een effect op verschillende componenten van ons leefmilieu. Gevolgen van verstoringen van deze cycli zijn bijvoorbeeld het ontstaan van smog en zure

regen. De vervuiling die hiermee gepaard gaat kan de volksgezondheid in gevaar brengen. Het is daarom belangrijk dat dit zoveel mogelijk wordt vermeden. Enkele van deze stoffen, waaronder CO₂ en N₂O, behoren bovendien ook tot zes in het Kyoto-protocol bepaalde broeikasgassen. De broeikasgassen in de atmosfeer absorberen vooral infrarode straling van het aardoppervlak, die dan wordt teruggekaatst, maar nemen minder inkomende straling van de zon op. Dit verhoogt de evenwichtstemperatuur op aarde en wordt het broeikaseffect genoemd. Gestegen emissies van deze gassen ten gevolge van menselijke activiteiten versterken dit effect.¹ Het overgrote deel van de wetenschappers acht het dan ook bewezen dat er een verband is met de temperatuurstijgingen van de laatste decennia. Ze stellen dat het zeer onwaarschijnlijk is dat dit alleen te verklaren valt door natuurlijke factoren. Dit versterkte broeikaseffect brengt een klimaatsverandering teweeg die een behoorlijke impact heeft op mens en natuur. (FOD VVVL, 2008a)

De klimaatsverandering doet zich in verscheidene vormen voor. Het meest opvallend is de wereldwijde temperatuurstijging. Deze is meer uitgesproken boven land en op meer noordelijke golflijnges. Ook een hoger zeeniveau en een kleinere hoeveelheid sneeuw en ijs wijzen op meer warmte. Bovendien zijn er aanwijzingen dat er zich steeds meer extreme weersomstandigheden (stormen, droogtes, overstromingen, ...) voordoen door de klimaatverandering. De gevolgen voor biologische en fysische systemen bij een ongewijzigd scenario zijn onmiskenbaar. Grote wijzigingen in de structuur en functie van het ecosysteem hebben een negatief effect op de biodiversiteit, water- en voedselvoorziening. De landbouwopbrengsten stijgen licht in gematigde klimaten, maar dalen in warme klimaten door extreme droogte. Laaggelegen kustgebieden krijgen meer te maken met overstromingen door het stijgende zeeniveau, terwijl 20 tot 30% van alle plant- en diersoorten wordt bedreigd met uitsterving. De beschikbaarheid van zuiver water en het potentieel voor waterkrachtenergie komt in het gedrang. Daarenboven wordt de bevolking van minder ontwikkelde landen in Afrika en Azië meer getroffen door de voorgaande veranderingen, terwijl ze veel minder bijdragen aan de uitstoot van vervuilende stoffen dan ontwikkelde landen. (IPCC, 2007)

Alhoewel sommige veranderingen nu reeds onomkeerbaar lijken te zijn, blijft een snelle en kordate reactie nodig om het tij te doen keren. De kosten om tot een stabilisatie van de CO₂-concentratie te komen, zouden op dit moment beperkt blijven tot jaarlijks 1% van het BBP. Bij het uitblijven van een reactie kan de schade oplopen tot een vermindering van welvaart tot 20% van de consumptie per capita. Bepaalde effecten zoals bijvoorbeeld de grote hoeveelheden CH₄ die vrijkomen bij het ontdooien van de permafrost in Rusland en Groenland en de oceanen die door hun gestegen temperatuur steeds minder CO₂ opnemen, zorgen ervoor dat de situatie na verloop van tijd nog verergerd. De kosten die nu opgelopen worden door te investeren in milieuvriendelijke technologieën

¹ Bijlage 1: Figuren uit het IPCC-rapport

worden terugbetaald door een vermindering van toekomstige kosten. Inspanningen om emissies later snel en drastisch te laten dalen, zullen veel duurder uitkomen. (Stern, 2006)

Eén manier om met het probleem om te gaan, is er zich aan aan te passen. Geschonden sectoren kunnen maatregelen en strategieën uitvoeren waardoor ze minder geraakt worden door de klimaatverandering, zowel op korte als lange termijn. Gezien de vele bijkomende nadelen is het echter een betere optie om onmiddellijk de oorzaak van het probleem aan te pakken, namelijk de uitstoot van schadelijke stoffen. Volgens het rapport van het International Panel for Climate Change (IPCC) is er een groot economisch potentieel beschikbaar om de groei aan broeikasemissies tegen te houden en mogelijk zelfs om te keren. Dit dient gerealiseerd te worden door een reeks aan maatregelen en technologieën te implementeren in de sectoren die de meeste schadelijke stoffen uitstoten. Niet enkel de externe kosten zouden hierdoor verminderen maar tevens zou de energiebevoorrading meer verzekerd zijn. De beste manier om dit te bereiken is volgens het IPCC via internationaal gecoördineerde acties zoals bijvoorbeeld het Kyoto-protocol. (IPCC, 2007)

De aanzet voor dit protocol werd gegeven op de VN-Klimaatconferentie van 1992 in Rio de Janeiro. Hier werd het 'Raamverdrag inzake klimaatverandering' afgesloten dat geratificeerd werd door 186 landen, waaronder alle belangrijke industriële en opkomende landen ter wereld. Het verdrag had als doelstelling de concentraties van alle broeikasgassen in de atmosfeer te stabiliseren op een niveau waarop gevaarlijk antropogene verstoring van het klimaatsysteem wordt voorkomen. Dit niveau diende bereikt te worden binnen een tijdsbestek dat toereikend is om ecosystemen in staat te stellen zich op natuurlijke wijze aan te passen aan de klimaatverandering, te verzekeren dat de voedselproductie niet in gevaar komt en de economische ontwikkeling op duurzame wijze evolueert. In 1997 is dit op een top in Kyoto verder uitgewerkt in gekwantificeerde doelstellingen inzake emissiebeperkingen voor ontwikkelde landen. Tijdens de periode 2008-2012 zou de uitstoot van broeikasgassen met 5,2% verminderd moeten zijn ten opzichte van het referentiejaar 1990. De verschillende ontwikkelde landen kregen gedifferentieerde doelstellingen toegewezen. Ze moeten deze doelstellingen bereiken aan de hand van nationale programma's, die ze zelf dienen op te stellen. (FOD VVVL, 2008b)

Voor hun verplichtingen te vervullen kunnen de landen gebruik maken van de zogenaamde 'flexibiliteitsmechanismen' die in het Kyoto-protocol zijn voorzien. Deze marktinstrumenten zijn telkens gebaseerd op de samenwerking met andere landen. Eerst is er de emissiehandel, die de mogelijkheid geeft uitstootrechten te kopen bij landen wiens emissies lager liggen dan de voorziene doelstellingen. De gezamenlijke uitvoering (Joint Implementation) laat een land toe te investeren in projecten voor emissievermindering in een ander industrieland in ruil voor bijkomende uitstootrechten. Tenslotte volgt het mechanisme voor schone ontwikkeling (Clean Development Mechanism) hetzelfde principe als bij de gezamenlijke uitvoering, alleen gebeurt de investering in een ontwikkelingsland. Deze mechanismen

zijn belangrijk voor landen met een kleiner potentieel aan emissiebeperkingen zoals België, die op deze manier niet gedwongen worden onrendabele investeringen in eigen land te doen. Bovendien kunnen landen waar emissierechten relatief duur zijn deze rechten opkopen van landen waar ze relatief goedkoper zijn. Dit laat ze toe op een zo economisch mogelijke manier zijn reductiedoelstellingen te behalen. (FOD VVVL, 2008c)

De huidige, financiële crisis zette sommige mensen ertoe aan vergelijkingen te maken met de 'Grote Depressie' uit het begin van de jaren '30. Een crisis in het Amerikaanse financieel systeem, die gepaard ging met de beurscrash van 1929, was ook toen de aanzet voor een periode van neerwaartse groei en hoge werkloosheid. De wereldeconomie geraakte in een recessie en het was niet tot aan het hervormingsplan van de Amerikaanse president Roosevelt in 1933 dat ze terug begon te groeien. De stimulerende maatregelen in deze sociale programma's staan bekend onder de noemer 'New Deal'. De economen en het Milieuprogramma van de Verenigde Naties haalden inspiratie uit deze geschiedenisles en pleiten voor een groene versie van de New Deal. Zo willen ze twee uitdagingen tegelijkertijd aanpakken: de klimaatverandering en de duurzame ontwikkeling van de wereldeconomie. Ze noemden dit het 'Initiatief Groene Economie'. (Ki-Moon, 2008)

Dit initiatief krijgt de steun van Duitsland, Noorwegen en de Europese Commissie en vloeit voort uit het inzicht dat voornaamste wereldproblemen met elkaar te maken hebben. Eerst waren er de stijgingen van de olie- en grondstoffenprijzen, die mee de voedselcrisis veroorzaakten, wat op zijn beurt bijdroeg aan de financiële crisis. Het komt er allemaal op neer dat de mensen veel te snel willen gaan voor de wereld. We verbruiken meer van de natuurlijke rijkdommen op deze aarde dan de natuur aankan. Maar de oplossing is niet ver te zoeken. In plaats van de planeet op te gebruiken, moeten we ze beheren en er in investeren. Net als het IPCC vindt de VN immers dat er grote economische, sociale en ecologische voordelen liggen in investeringen in de natuurlijke infrastructuur. Deze actie is gebaseerd op drie steunpilaren: het waarderen van de diensten van de natuur, het creëren van groene jobs door middel van het beleid en instrumenten ter beschikking stellen om de overgang naar een groene economie te versnellen. Alleen duurzame ontwikkeling en de daarbij horende CO₂-arme samenleving biedt de wereld de kans op welzijn en welvaart voor iedereen. (UNEP, 2008)

Een studie besteld door de Europese Commissie geeft de resultaten voor drie mogelijke beleidsopties. Het eerste scenario gaat uit van een volledige implementatie van alle Europese richtlijnen op het gebied van energie-efficiëntie. Europese en nationale overheden sturen consumenten in de richting van een meer efficiënte energieoplossing. Het meeste resultaat kan hiermee geboekt worden bij de residentiële en dienstensector. Het labelen van energie-efficiënte producten wordt in dit scenario als

essentieel aanzien.² Het belang van de gezamenlijke opwekking van warmte en elektriciteit vergroot aanzienlijk ten opzichte van het Business As Usual (BAU)-scenario. In het tweede scenario gaat men voor een massale toepassing van regels ten voordele van hernieuwbare energie. Dit houdt in dat niet alleen de huidige Europese richtlijnen strikt gevolgd moeten worden, op het gebied van biomassa in de industrie wordt een significante bijkomende bijdrage verwacht. Men stuurt eveneens aan op een aanzienlijke penetratie van zonneboilers in de residentiële sector. De combinatie van de twee vorige scenario's levert het derde scenario op. In alle drie scenario's en het BAU-scenario wordt er uitgegaan van dezelfde veronderstellingen qua bevolkingsgroei, BBP en sectoriële ontwikkeling. (Capros en Mantzos, 2006; Europa Parlement Bureau Nederland, 2008)

De resultaten voor de 'energie-efficiëntie'-case geven aan dat er heel wat potentieel ligt in dit scenario. In 2020 zou de energieconsumptie terug op het niveau van 2000 liggen, terwijl het BBP met 53% is toegenomen. In 2030 zou het zelfs 7% gedaald zijn met een BBP-groei van 79%.³ Positief nieuws is er eveneens voor de CO₂-emissies, die in 2020 met 10% en in 2030 met 16% zouden terugvallen. De nu al hoge energieafhankelijkheid zou echter licht negatief evolueren. Door de grootschalige implementatie van warmtekrachtkoppeling wordt er minder gebruik gemaakt van kernenergie en steenkool, maar des te meer van aardgas en olie. Het 'hernieuwbare energie'-scenario resulteert in de eerste plaats in een wijziging van de energiemix. Hernieuwbare energie stijgt in 2030 tot 24% ten koste van alle andere alternatieven, vooral steenkool en kernenergie. CO₂-emissiedalingen zijn minder uitgesproken dan in het eerste scenario: -9% in 2020 en -11% in 2030. De energieafhankelijkheid neemt in dit scenario echter wel af. In het ideale scenario van een combinatie van energie-efficiënte en hernieuwbare energie-maatregelen neemt het aandeel van hernieuwbare energie zelfs nog meer toe dan in het tweede scenario. Het heeft bovendien een erg gunstig effect op de CO₂-emissies, vooral op lange termijn. Deze zouden met 29% gedaald zijn in 2030. De resultaten voor energieafhankelijkheid zijn vergelijkbaar met het tweede scenario. (Capros en Mantzos, 2006)

"Er is een cruciale rol voor de overheden weggelegd. Als ze de juiste besluiten nemen, binnen een wereldomvattend raamwerk, dan kunnen we de economische groei aanwakkeren en die in een CO₂-arme richting sturen. Als we het goed aanpakken, dan kunnen onze inspanningen om de financiële crisis te bedwingen bijdragen aan onze inspanningen om te klimaatverandering tegen te gaan. De huidige crisis draagt opportuniteiten in zich voor de toekomst; economische kansen, uitgedrukt in

² Ondertussen is reeds gebleken dat het "A-G" label voor huishoudproducten een zeer effectief middel is voor het vergroten van de energie-efficiëntie. De Europese Commissie wil deze maatregel verder uitbreiden naar andere industriële en commerciële producten en heeft daartoe voorstellen voorgelegd aan het Europees Parlement.

³ Bijlage 2: Verschillende energiescenario's (Capros en Mantzos, 2006)

banen en groei. Groene groei is een oplossing voor de armoede én een oplossing voor de klimaatverandering. Voor de armen der aarde is het de sleutel tot ontwikkeling. Voor de rijken is het het pad naar de toekomst." Secretaris-generaal van de Verenigde Naties Ban Ki-Moon verdedigt het 'Initiatief Groene Economie' als beginpunt van een betere wereld, maar hij benadrukt tegelijkertijd dat het niet zal lukken zonder de medewerking en steun van overheden wereldwijd. (Ki-Moon, 2008)

1.2 Praktijkprobleem

Zoals vermeld in de vorige paragraaf kreeg ieder ontwikkeld land in het kader van het Kyoto-protocol zijn eigen welbepaalde doelstelling mee. Voor België betekende dit dat het tegen 2012 zijn emissies met 7,5% verminderd moet hebben ten opzichte van het referentiejaar 1990. Het land kampt weliswaar met enkele nadelen om dit te bereiken. Ten eerste is er de complexe staatsstructuur op het vlak van energie. Het energiebeleid is verdeeld over het federale en het gewestelijke niveau, waardoor er veel overleg en consensus nodig is om tot een coherent beleid te komen. Verder is er het beperkte potentieel voor hernieuwbare energie. België heeft geen grote waterlopen die voor waterkrachtenergie kunnen zorgen, heeft maar een gemiddeld aantal uren zonneshijns op Europees gebied en is, buiten het kleine kustgebied, niet bepaald winderig. Het feit dat we één van de meest dichtbevolkte landen ter wereld zijn levert in dit aspect ook niet veel voordeel op. Het is geen sinecure om deze ambitieuze doelstelling te halen. Het is daarom des te belangrijker dat de maatregelen van de verschillende overheden op elkaar zijn afgestemd en dat de middelen rechtvaardig en kostefficiënt worden verdeeld over de mogelijke opties om tot een emissiebeperking te komen.

In het nationaal lastenverdelingsakkoord werd per gewest afgesproken in welke mate de broeikasgasemissies moeten veranderen ten opzichte van het referentiejaar 1990. Het Brusselse Gewest mag zijn uitstoot met 3,475% zien verhogen, terwijl het Vlaams en het Waals Gewest zich ertoe verbinden hun emissies met respectievelijk 5,2 en 7,5% te verminderen. Dit engagement geldt voor de periode 2008-2012. Eén van de sectoren die het bij de goedkeuring van het Vlaams Klimaatbeleidsplan 2006-2012 niet goed deed was deze van de elektriciteitsproductie. Het energieverbruik bij de productie van elektriciteit en warmte (exclusief gebouwenverwarming) staat in voor één vijfde van totale hoeveelheid broeikasgasemissies. In 2004 stond het niveau van de emissies in deze sector 5% boven het niveau van 1990. De Vlaamse overheid diende dus verscheidene maatregelen door te voeren om voor een trendbreuk te zorgen. De belangrijkste doelstelling die hierbij werd gesteld, was dat tegen 2010 25% van de elektriciteit uit milieuvriendelijke energiebronnen opgewekt moet worden. Het grootste deel hiervan (19%) wordt ingenomen door warmtekrachtkoppeling (WKK), de overige 6% moet uit hernieuwbare energiebronnen komen.

WKK's wekken in één installatie zowel warmte als elektriciteit op. In vergelijking met de klassieke gescheiden opwekking besparen ze op de brandstof die nodig is om warmte en elektriciteit te produceren. Ze springen dus efficiënter met de gegeven energie om. Hernieuwbare energiebronnen springen voort uit bronnen en krachten die ons door de natuur worden gegeven. We denken hierbij aan biomassa, windenergie, waterkracht, geothermisch energie, zonne-energie, enzovoort. Geen enkele van deze technologieën kan echter op dit moment al concurreren met conventionele manieren van elektriciteitsopwekking zoals bijvoorbeeld klassieke thermische centrales die op fossiele brandstoffen werken. Zoals we reeds in de inleiding konden lezen, zorgen deze methodes voor verschillende problemen. De taak van de overheid bestaat erin het maatschappelijk optimum te bereiken. Ze moet dus ingrijpen om het gebruik van energie-efficiëntere, milieuvriendelijkere technologieën van elektriciteitsproductie te stimuleren. Dit kan ze doen op verschillende manieren: door informatieverstrekking, door fiscale stimuli, door rechtstreekse subsidies, ... Deze steun moet echter in lijn blijven met de kosten en baten van de technologie, zodat er geen overmatige subsidiëring ontstaat. Het is noodzakelijk dat dit onderzocht en gecontroleerd wordt.

1.3 Centrale onderzoeksvraag

Het is de bedoeling het onderzoek te beperken tot twee milieutechnologieën, namelijk zonne-energie en warmtekrachtkoppeling. We gaan controleren of de steun voor deze technologieën in lijn is met de kosten en baten die ermee gepaard gaan. Er dient benadrukt te worden dat we enkel een uitspraak doen over het gebruik van deze technologieën, niet over de andere delen van de levenscyclus zoals de productie of de recyclage. We komen zo tot de volgende centrale onderzoeksvraag:

"Wat zijn de verantwoordingselementen voor de overheidssteun in Vlaanderen aan warmtekrachtkoppeling (WKK) en fotovoltaïsche (PV) zonne-energie?"

1.4 Deelvragen

Om tot een antwoord te komen op de centrale onderzoeksvraag, maken we gebruik van enkele deelvragen. Deze worden als volgt geformuleerd:

"Wat is de marktsituatie in Vlaanderen voor WKK en PV zonne-energie?"

"Wat zijn de kosten verbonden aan WKK en PV zonne-energie?"

"Wat zijn de argumenten voor overheidstussenkomst verbonden aan WKK en PV zonne-energie?"

"Welke overheidssteun wordt er in Vlaanderen aan WKK en PV zonne-energie gegeven?"

"Hoe zou de overheidssteun rechtvaardiger verdeeld kunnen worden?"

1.5 Onderzoeksopzet

Het doel van deze masterproef is een kwalitatief onderzoek te voeren naar het energiesubsidiebeleid in Vlaanderen ten opzichte van warmtekrachtkoppeling en fotonvoltaïsche zonne-energie. Hierbij wordt er gezocht naar de elementen die de steunmaatregelen ten voordele van deze technologieën kunnen verantwoorden. Wanneer zou blijken dat de overheidsmiddelen niet op een optimale manier besteed worden, zullen we aanbevelingen doen hoe dit efficiënter kan gebeuren.

In hoofdstuk 2 geven we eerst een overzicht van de situatie in België en Vlaanderen met betrekking tot de bevoegdheden, de elektriciteitssector en het energieverbruik. We gaan verder met enkele thermodynamische aspecten in hoofdstuk 3. Dit zal nodig zijn om de voordelen van WKK in hoofdstuk 4 goed te kunnen begrijpen. In hoofdstuk 5 bespreken we, net als bij WKK, de werking en de verschillende modellen van PV zonne-energie. Hiermee sluiten we het inleidend gedeelte van deze masterproef af.

Daarna beginnen we met de bespreking van de deelvragen. In hoofdstuk 6 wordt de marktsituatie in Vlaanderen voor WKK en PV zonne-energie overlopen, waarna we in hoofdstuk 7 verder gaan met de kostensituatie voor beide technologieën. Alle argumenten voor overheidstussenkomst worden besproken in hoofdstuk 8. In het volgende hoofdstuk eindigen we de literatuurstudie met een overzicht van alle steunmaatregelen van overheden op de verschillende niveaus.

De laatste twee hoofdstukken zijn persoonlijke bijdrages aan deze masterproef. Nadat we eerst korte besluiten hebben getrokken per hoofdstuk, komen we in hoofdstuk 11 tot een brede, algemene slotconclusie. Hier vloeien enkele aanbevelingen voor de overheid en voor verder onderzoek uit voort in hoofdstuk 12.

Hoofdstuk 2: Situering

2.1 Bevoegdheden

Het Belgische energiebeleid is verdeeld over de federale en gewestelijke overheden. Om een duidelijk beeld te krijgen van wie welke verantwoordelijkheden draagt, geven we eerst een overzicht van de bevoegdheden van de verschillende overheden. (FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, 2009a)

2.1.1 Federaal

De federale overheid is verantwoordelijk voor:

- het uitrustingsprogramma in de elektriciteitssector
- de kernbrandstofcyclus
- de grote infrastructuren voor opslag, vervoer en productie van energie
- de tarieven

2.1.2 Gewestelijk

De gewestelijke (Vlaamse) overheid is bevoegd voor:

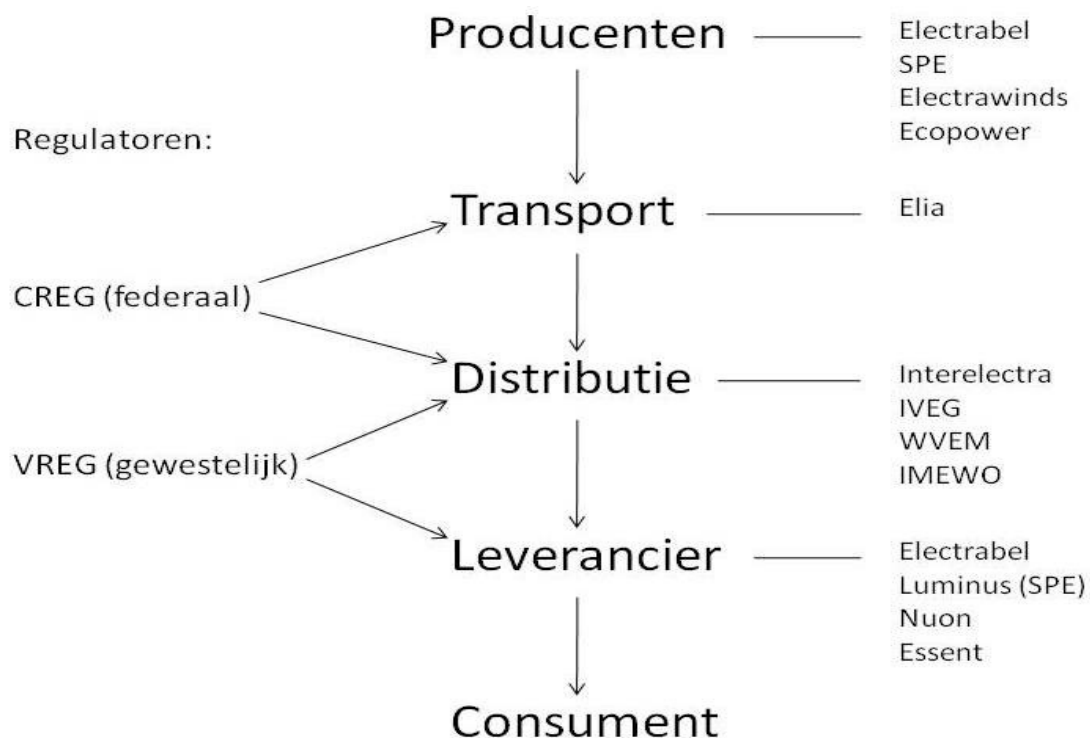
- de distributie van elektriciteit en gas
- het plaatselijk vervoer van elektriciteit door middel van netten waarvan de nominale spanning lager is dan of gelijk aan 70000 volt
- de nieuwe energiebronnen met uitzondering van deze die verband houden met de kernenergie
- het rationeel energiegebruik (REG)

2.2 Elektriciteitssector in Vlaanderen

Op 1 juli 2003 is de elektriciteitsmarkt in Vlaanderen vrij gemaakt. Concreet betekent dit dat gezinnen en bedrijven sinds die datum vrij kunnen kiezen bij welk bedrijf ze hun elektriciteit aankopen. Voordien was men verplicht de stroom aan te kopen bij de intercommunale⁴ van zijn gemeente. Het gebrek aan

⁴ Een intercommunale is een samenwerkingsverband tussen verschillende gemeenten.

concurrentie zorgde er echter voor dat elektriciteitsprijzen in Vlaanderen vaak hoger lagen dan in het buitenland. Doordat de consumenten nu kunnen kiezen uit verschillende leveranciers, zouden er scherpere prijzen en een betere service moeten ontstaan. Het netbeheer is nog steeds in handen van de elektriciteitsintercommunales of -regies, die een monopolie hierop blijven behouden. Dit werd gedaan om te voorkomen dat er verschillende netten naast elkaar werden aangelegd. Met behulp van figuur 2.1 wordt de rol van de verschillende stakeholders uitgelegd. (VREG, 2009a)



Figuur 2.1: Elektriciteitssector in Vlaanderen

2.2.1 Producenten

Er wordt in België grotendeels op twee manieren elektriciteit opgewekt: via nucleaire thermische centrales en via klassieke thermische centrales. Bij thermische centrales gebeurt de omzetting van brandstof naar elektriciteit onrechtstreeks. Via een bepaalde brandstof (uranium bij nucleaire, fossiele brandstoffen bij klassieke thermische centrales) wordt er warmte opgewekt, die water doet verdampen. De geproduceerde stoom drijft een turbine aan die gekoppeld is aan een alternator. Op deze manier wordt mechanische energie omgezet in elektriciteit. In bijlage 3 vindt u enkele voorstellingen van deze elektriciteitscentrales. Twee spelers domineren de Belgische

elektriciteitsmarkt: Electrabel en SPE. Zij staan in voor meer dan 90% van de elektriciteitsproductie in België. Andere, kleinere producenten zijn Electrawinds en Ecopower.

2.2.2 Transport

De elektriciteit die in de centrales wordt geproduceerd, gaat dan naar het transmissienet. Dit hoogspanningsnet met een spanning van meer dan 70 kV vervoert de stroom naar grote industriële verbruikers en de distributienetten. In België werd een wettelijk monopolie gecreëerd voor Elia. Naast het transport binnen België staat dit bedrijf eveneens in voor de overdracht van energie tussen buurlanden via het Belgisch net en het evenwicht tussen het verbruik en de productie van elektriciteit.

2.2.3 Distributie

Wanneer de elektriciteit van het transmissie- op het distributienet wordt geplaatst, verlaagt men het spanningsniveau voor een verdere verdeling van de elektriciteit. Dit wordt gedaan door de intercommunales, die het monopolie hebben over deze marktpositie. De distributienetbeheerders worden onderverdeeld in twee groepen: de zuivere en de gemengde netbeheerders. Bij zuivere netbeheerders zijn enkel de gemeenten aandeelhouders. Voorbeelden van deze intercommunales zijn WVEM, Interelectra en IVEG. Deze drie hebben hun operationele activiteiten onlangs gebundeld in Infrax. Bij gemengde netbeheerders kan ook een elektriciteitsproducent of –leverancier aandeelhouder zijn. Zij hebben hun operationele activiteiten samengebracht in Eandis. De netbeheerder beheert, bouwt en onderhoudt voor een bepaald grondgebied het distributienet voor elektriciteit en vervoert op vraag van de leverancier de stroom tot bij de eindafnemer. De netbeheerders zijn onder andere verantwoordelijk voor het verzorgen van nieuwe aansluitingen, de installatie van elektriciteitsmeters en de efficiënte, veilige en betrouwbare werking van het distributienet.

2.2.4 Leveranciers

Leveranciers verkopen elektriciteit aan de netgebruikers. Ze moeten hiervoor een leveringsvergunning hebben gekregen van de VREG. Ze zijn verantwoordelijk voor het voorzien van energie voor hun klanten. Dit moeten ze doen door elektriciteit zelf op te wekken of door er te kopen van producenten of op de elektriciteitsbeurs Belpex. Leveranciers die geen producent zijn, worden traders van elektriciteit genoemd. Gegevens over het verbruik van de klanten worden aangeleverd door de netbeheerders en dienen verwerkt te worden voor de facturatie. De belangrijkste elektriciteitsleveranciers in Vlaanderen zijn Electrabel, Luminus (dat geïntegreerd is bij producent SPE), Nuon en Essent. (VREG, 2009b)

2.2.5 CREG

De Commissie voor de Regulering van de Elektriciteit en het Gas (CREG) is de federale regulator voor de elektriciteitsmarkt. Dit orgaan heeft enerzijds een raadgevende taak ten aanzien van de overheid inzake de organisatie en werking van de elektriciteits- en gasmarkt en een algemene taak van toezicht en controle op de toepassing van de betreffende wetten en reglementen anderzijds. Haar taken bestaan er onder andere in zowel op eigen initiatief als op vraag van de minister onderzoeken en studies uit te voeren in verband met de elektriciteitsmarkt en de tarieven van het transmissie- en distributienet goed te keuren. Ze moet bovendien ook controle uitoefenen op de netbeheerders en een permanente monitoring voorzien van de elektriciteitsmarkt, zowel op het vlak van prijzen als van marktwerking. (CREG, 2009)

2.2.6 VREG

De regulator op gewestelijk niveau is de Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt (VREG). De VREG staat in voor de regulering, controle en bevordering van de transparantie op de elektriciteits- en gasmarkt in het Vlaams Gewest. Concrete taken hierbij zijn de controle op de naleving van de Vlaamse energiewetgeving en de regulering van de toegang tot het gebruik van het distributienet. Verder dient de VREG klachten te behandelen, te bemiddelen bij geschillen en is ze verantwoordelijk voor de certificering van milieuvriendelijke technologieën en het faciliteren van de handel hierin. Ten slotte moet ze ook informatie verlenen aan alle verbruikers en de overheid adviseren inzake beleidsrelevante aangelegenheden met betrekking tot de elektriciteits- en gasmarkt. (Vlaamse overheid, 2009a)

2.3 Energiecijfers

De Europese Commissie geeft elk jaar een 'Energy Pocket Book' uit, waarin een overzicht wordt gegeven van de belangrijkste energiecijfers van alle lidstaten. Hieruit blijkt dat bruto binnenlandse energieconsumptie in België in 2006 ongeveer 60 Mtoe bedroeg. Dit cijfer blijft al 10 jaar vrij stabiel. De belangrijkste brandstoffen van deze totale consumptie zijn olie (40%), aardgas (25%), uranium (20%) en vaste fossiele brandstoffen zoals steenkool (bijna 10%).

De totale Belgische elektriciteitsproductie bedroeg 85 TWh in 2006. Eerder zagen we al dat de elektriciteitsproductie in België vooral in thermische centrales gebeurt.⁵ 55% van de totale Belgische

⁵ Zie paragraaf 2.2.1 Producenten

elektriciteitsproductie gebeurde met behulp van kernenergie. Fossiele brandstoffen stonden in voor 39% van de elektriciteitsproductie. Het grootste deel van deze productie werd ingenomen door klassieke thermische centrales. De overige 6% van de elektriciteitsproductie kwam voornamelijk van hernieuwbare energie zoals waterkracht-energie en biomassa. (Europese Commissie, 2008)

Om zijn Kyoto-doelstelling te bereiken moet Vlaanderen in de periode 2008-2012 de broeikasgasemissies met 5,2% doen dalen ten opzichte van het referentiejaar 1990. In de onderstaande tabel zien we dat het sinds enkele jaren in de goede richting gaat voor het behalen van deze doelstelling. In 2006 kwam de totale uitstoot van broeikasgassen voor het eerst onder het niveau van 1990. Dit was vooral te danken aan de dalende emissie van de vijf kleinere broeikasgassen, want de CO₂-uitstoot lag in 2006 bijna 10% hoger dan in 1990. In totaal stond CO₂ in voor 87% van de totale broeikasgasuitstoot in Vlaanderen. (Departement van Leefmilieu, Natuur en Energie, 2008)

	1990 (kton CO ₂ - eq)	2004 (kton CO ₂ - eq)	2005 (kton CO ₂ - eq)	2006 (kton CO ₂ - eq)	Evolutie 1990-2006 (%)	Evolutie 2004-2006 (%)
CO ₂	67.856	77.937	76.923	74.163	+9,3%	-4,8%
Alle broeikasgassen (*)	86.986	90.055	88.596	85.032	-2,2%	-5,6%

Tabel 2.1: Uitstoot van broeikasgassen in Vlaanderen (Vlaamse overheid, 2006)

Door het grote aandeel van kernenergie in de elektriciteitsproductie doet België het in de Europese Unie nochtans goed op het vlak van CO₂-uitstoot per geproduceerde kWh. Met 307 gr CO₂/kWh staat België achter Frankrijk en Zweden, maar voor de belangrijkste andere lidstaten. Ondanks dit positief nieuws was de elektriciteitsproductie in 2004 nog steeds verantwoordelijk voor 21% van de broeikasgasemissies in Vlaanderen. Daarmee had ze, op de industrie na, de grootste uitstoot van alle sectoren. In tegenstelling tot de industrie waren de totale emissies van deze sector echter nog met 5% gestegen ten opzichte van het referentiejaar 1990. Gezien de slechte situatie streeft de Vlaamse overheid zeer ambitieuze doelstellingen na op het vlak van de elektriciteitsproductie. Tegen 2010 moet 25% van de elektriciteit op een milieuvriendelijke manier worden opgewekt, waarvan 6% via hernieuwbare energiebronnen en 19% via warmtekrachtkoppeling. In bijlage 4 vindt u het volledige cijfermateriaal. (Vlaamse overheid, 2006)

Hoofdstuk 3: Thermodynamische aspecten

Het woord thermodynamica komt van de Griekse woorden *therme* (warmte) en *dynamis* (kracht). Terwijl verschillende aspecten van de thermodynamica al interesse opwekten sinds de oudheid, begon de formele studie ervan pas in het begin van 19de eeuw. Er werd toen onderzocht hoeveel capaciteit warme lichamen hebben om arbeid voort te brengen. Vandaag is het studiegebied van de thermodynamica verder uitgebreid tot energie in het algemeen en verbanden tussen de eigenschappen van deeltjes.

Thermodynamisch onderzoek kan onderverdeeld worden in twee groepen. Enerzijds zijn er de wetenschappers, meer bepaald fysici, die vooral meer inzicht willen krijgen in het fysisch en chemisch gedrag van deeltjes en hiervoor gebruik maken van thermodynamische principes. Anderzijds zijn er de ingenieurs die voornamelijk geïnteresseerd zijn in het bestuderen van systemen en de manier waarop zij interageren met hun omgeving. Zij wenden de principes van de thermodynamica aan om problemen te analyseren en oplossingen te formuleren die tegemoet komen aan menselijke behoeftes. Het resultaat hiervan is een verbeterd ontwerp en betere prestaties, onder andere op het gebied van motoren, pompen en alternatieve energiesystemen. (Moran en Shapiro, 1998)

3.1 Energie

Energie is een fundamenteel concept voor de thermodynamica. Çengel en Boles (2002) noemen thermodynamica zelfs de wetenschap van de energie. Energie bestaat in verschillende vormen, zoals chemische energie, elektrische energie, magnetische energie,... De som van al deze soorten energie vormt de totale energie van een systeem.

Kinetische energie (KE) is de totale energie die een systeem bezit als gevolg van zijn beweging ten opzichte van een referentiekader. Wanneer een lichaam een versnelling ondergaat door een resulterende kracht, kan de arbeid die verricht wordt op het lichaam beschouwd worden als een transfer van energie naar het lichaam. Hier wordt deze energie opgeslagen als kinetische energie. In formulevorm ziet dit er als volgt uit:

$$KE = \sum m_i v_i^2 / 2$$

m_i : massa (in kg)

v_i : snelheid (in m/s)

Kinetisch energie kan worden opgedeeld in twee soorten energie. Enerzijds onderscheidt men microscopisch energie. Microscopische vormen van energie zijn gerelateerd aan de moleculaire structuur van het systeem en de mate van moleculaire activiteit. Dit manifesteert zich vooral in de vorm van warmte.

$$Q = KE_{mi} = \sum m_i v_i^2 / 2$$

m_i : massa van de elementaire deeltjes (in kg)

v_i : snelheid van de elementaire deeltjes (in m/s)

Anderzijds is er macroscopische energie. Macroscopische energie is de energie die een systeem als geheel bezit ten opzichte van een ander referentiekader. Dit kan als volgt worden geschreven:

$$KE_{ma} = mv^2 / 2$$

m : massa van het object (in kg)

v : snelheid van het object (in m/s)

Potentiële energie (PE) is de mogelijkheid tot energie die een systeem bezit. Potentiële energie bestaat in verschillende vormen. De bekendste vorm is ongetwijfeld gravitationele energie, de energie die een systeem bezit als gevolg van zijn hoogte in gravitationeel veld. In een formule wordt dit:

$$PE_{gr} = mgh$$

g : gravitationele versnelling (in m/s²)

h : hoogte van het centrum van het systeem tov een arbitrair bepaald referentiepunt (in m)

Andere vormen van potentiële energie zijn onder andere elektrische en kernenergie. Elektrische energie kan verder onderverdeeld worden in elektrostatische en elektrodynamische energie. Chemische energie is een voorbeeld van elektrostatische energie, terwijl elektromagnetische straling en elektrische geleiding elektrodynamische vormen van energie zijn. (Çengel en Boles, 2002)

Met behulp van de Einsteins relativiteitstheorie kunnen we het principe van energie nog verder veralgemenen. In 1905 ontdekte hij namelijk dat de natuurkundige grootheid 'massa' equivalent is met 'energie'.

$$E = mc^2$$

E : totale energie (in J)

m : massa (in kg)

c : lichtsnelheid = 299.792.458 m/s (MIRA, 2007a)

Wanneer we nu weten dat een som uitgeschreven kan worden als:

$$(1 + x)^n = 1 + \frac{nx}{1!} + \frac{n(n-1)x^2}{2!} + \dots$$

Als $x \ll 1$: $(1 + x)^n \cong 1 + nx$

Bovendien kan ook volgens Einstein de massa m geschreven worden als:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = m_0 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

Als we de twee laatste principes toepassen op de relativiteitstheorie, wordt deze hervormd tot:

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cong m_0 c^2 + \frac{1}{2} m_0 v^2$$

Hierbij is het eerste deel ($m_0 c^2$) de rustmassa, equivalent met de potentiële kernenergie, terwijl het tweede deel de kinetische energie van een bepaalde massa voorstelt. We merken op de kinetische energie bijzonder klein is ten opzichte van de potentiële energie.

Sinds de invoering van het *Système International d'Unités*, het internationaal aanvaarde eenheidssysteem, wordt de Joule als eenheid van arbeid en energie gebruikt.⁶ Eén Joule is de hoeveelheid energie die nodig is om 1 meter lang een kracht van 1 Newton uit te oefenen. Vermogen is de hoeveelheid energie die er per tijdseenheid wordt gebruikt. De eenheid van vermogen is Watt (W), waarbij $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$. Voor een hoeveelheid elektriciteit aan te duiden, maakt men vaak gebruik van de eenheid kiloWattuur (kWh). Eén kWh is de hoeveelheid energie die nodig is om één uur lang (3600 s) een vermogen van één kW uit te oefenen. Eén kWh is dus gelijk aan 3600 kJ. (MIRA, 2007a; Çengel en Boles, 2002)

⁶ Arbeid is het leveren van energie; men gebruikt dus dezelfde eenheidsmaat.

3.2 Hoofdwetten van thermodynamica

3.2.1 Nulde hoofdwet van de thermodynamica

“Als twee lichamen in thermisch evenwicht zijn met een derde lichaam, dan zijn ze ook in thermisch evenwicht met elkaar.”

Het lijkt een beetje belachelijk dat zo'n duidelijk feit als één van de hoofdwetten van de thermodynamica wordt bestempeld. Deze conclusie kon echter niet getrokken worden uit de andere wetten en het dient als basis voor de geldigheid van temperatuurmetingen. Deze wet werd pas 50 jaar na de eerste en de tweede hoofdwet geformuleerd. Ze zou echter vóór deze twee wetten moeten komen en kreeg daarom het etiket 'nulde' opgeplakt. (Çengel en Boles, 2002)

3.2.2 Eerste hoofdwet van de thermodynamica

“Energie kan niet gecreëerd of vernietigd worden; het kan enkel van vorm veranderen.”

Deze wet staat ook wel bekend als het 'behoud van energie'-principe en is het beginpunt voor het onderzoek naar de relatie tussen de verschillende vormen van energie. Het principe is gemaakt op basis van experimenteel bewijs. Aangezien er onvermijdelijke, experimentele onzekerheden bestaan, is het niet mogelijk de wet te bewijzen op basis van metingen. Doordat een groot overzicht van experimentele onderzoeken deze conclusie ondersteunt, wordt dit fundamenteel principe aanvaard.

Een gevolg van deze wet is dat het bestaan en de definitie van de totale energie E wordt onderkend. Verder kunnen we er gebruik van maken voor de energieverandering in een systeem te meten. De netto verandering in een systeem tijdens een proces is immers gelijk aan het verschil tussen de totale inkomende energie en de totale uitgaande energie van het systeem tijdens dat proces. Deze relatie staat bekend als de energiebalans en is toepasbaar op elk soort systeem dat eender welk proces ondergaat. In formulevorm wordt dit geschreven als:

$$E_{\text{in}} - E_{\text{uit}} = \Delta E_{\text{systeem}} \text{ (Çengel en Boles, 2002)}$$

3.2.3 Tweede hoofdwet van de thermodynamica

Het gedrag van fysische processen is het onderwerp van de tweede hoofdwet. De eigenschap van entropie is een belangrijk concept bij deze wet. Entropie wordt beschouwd als de mate van moleculaire wanorde in een systeem. Naarmate het systeem meer wanordelijk wordt, is de positie van de

moleculen minder voorspelbaar en neemt de entropie toe. Het is niet verwonderlijk dat de entropie van een gas hoger is dan dat van een systeem in vaste toestand.

Deze wet laat een kwalitatieve evaluatie van thermodynamische systemen toe. Dit is vooral belangrijk voor ingenieurs, die willen weten op welke manier energie degradeert tijdens een proces. Bovendien voorspelt de wet tevens de rechtlijnige natuur van fysische processen. Net zoals bij de eerste hoofdwet kan deze wet niet bewezen worden, maar heeft experimenteel bewijs altijd de geldigheid ervan ondersteund. Daarom wordt ook deze wet algemeen aanvaard.

“Het is onmogelijk een apparaat te construeren dat in een cyclus opereert en geen effect heeft op de omgeving buiten een transfer van warmte van een lichaam met lagere temperatuur naar een lichaam met een hogere temperatuur.”

Deze verklaring wordt de *Clausius verklaring van de tweede hoofdwet van de thermodynamica* genoemd. Ze plaatst beperkingen op de werking van koelkasten en warmtepompen. Ze wilt eigenlijk zeggen dat deze cyclische toestellen van een externe energie voorzien moeten zijn om de transfer van warmte door te laten gaan.

“Het is onmogelijk een apparaat te construeren dat in een cyclus opereert en geen effect heeft op de omgeving buiten een transfer van warmte naar een equivalente hoeveelheid netto positieve arbeid.”

Deze verklaring noemt men de *Kelvin-Planck verklaring van de tweede hoofdwet van de thermodynamica*. Ze plaatst beperkingen op de werking van thermische motoren. Ze zegt eigenlijk dat er bij cyclische thermische motoren altijd enige transfer van warmte plaatsvindt van de motor naar een lage-temperatuur reservoir. Dit heeft als gevolg dat een thermische motor nooit een efficiëntie van 100% kan bereiken. (Black en Hartley, 1991)

De belangrijkste conclusie uit deze wet is dat bij thermodynamische processen de mate van entropie altijd toeneemt. Terwijl de eerste hoofdwet verklaarde dat de kwantiteit aan energie tijdens een thermodynamisch proces altijd behouden blijft, geeft de tweede wet aan dat de kwaliteit van de energie tijdens dat proces altijd zal afnemen. Deze twee wetten worden dan ook als de meest voorname aanzien.

3.2.4 Derde hoofdwet van de thermodynamica

“De entropie van een pure kristallijne substantie bij de absolute nultemperatuur is nul.”

Als gevolg van deze wet wordt er een absoluut referentiepunt gecreëerd voor de bepaling van de entropie en is men bijgevolg in staat een waarde te geven aan de hoeveelheid entropie in een

systeem. Terwijl de entropie nul wordt bij de absolute nultemperatuur, zal de energie van het systeem niet nul bedragen omwille van de nulpuntsenergie. De derde hoofdwet kan erg handig zijn bij de thermodynamische analyse van chemische reacties. (Çengel en Boles, 2002)

3.2.5 Vierde hoofdwet van de thermodynamica

“In een systeem in evenwicht is er een verband tussen de druk p , het volume V en de temperatuur T .”

Voor een ideaal gas wordt dit uitgedrukt in de wet van Boyle-Gay Lussac:

$$pV = nRT$$

n : aantal mol

R : 8,317 J/(mol K), ook wel gekend als de gasconstante

Voor een niet-ideaal gas is een goede benadering de wet van Van der Waals:

$$(p + a/V^2)(V - b) = RT$$

Dit is de formule voor 1 mol van een bepaald gas. De waarde van a en b is verschillend voor ieder gas. (Lemeire, 2002)

3.3 Reversibele en irreversibele processen

Een reversibel proces wordt gedefinieerd als een proces dat omgedraaid kan worden zonder enig spoor na te laten op de omgeving. Zowel het systeem als de omgeving worden teruggebracht naar hun initiële staat op het einde van dit omgedraaid proces. Dit soort processen komt echter nooit voor in de natuur, ze zijn enkel een ideale voorstelling van echte processen. Reversibele processen kunnen beschouwd worden als theoretische limieten voor de overeenstemmende irreversibele processen.

De reversibele processen kunnen verder ingedeeld worden in twee groepen. Intern reversibele processen zijn processen waarbij tijdens het proces geen irreversibele factoren voorkomen binnen de grenzen van het systeem. Het systeem ondergaat enkele evenwichtstoestanden tijdens het proces. Wanneer het proces wordt omgedraaid, worden exact dezelfde evenwichtstoestanden doorlopen om terug te komen tot de begintoestand. Extern reversibele processen zijn processen waarbij tijdens het proces geen irreversibele factoren voorkomen buiten de grenzen van het systeem.

Alle processen in de natuur zijn irreversibel. Dit betekent dat het nooit voorvalt dat een proces terugkeert naar zijn begintoestand, zonder dat dat enig effect heeft op het systeem of de omgeving.

Factoren die processen irreversibel maken zijn onder andere wrijving, warmtetransfer, elektrische weerstand en chemische reacties. (Çengel en Boles, 2002)

3.4 Exergie

De tweede hoofdwet van de thermodynamica liet ons kennis maken met het concept kwaliteit bij energie. Het is voor de mens belangrijker om het arbeidspotentieel van een bepaalde energiebron te weten dan de totale hoeveelheid energie. Het kwaliteitsvolle, hoogwaardige deel van de energie kan volledig omgezet worden in bruikbare energie. Het was daarom aangewezen een nieuwe eigenschap te introduceren die bepaalt hoeveel het nuttige arbeidspotentieel van een hoeveelheid energie bedraagt in een bepaalde toestand. Deze eigenschap werd exergie genoemd.

Men mag exergie echter niet verwarren met de totale hoeveelheid arbeid die een apparaat kan verrichten. De exergie stelt eerder een bovenste limiet aan de hoeveelheid arbeid die een apparaat kan verrichten zonder thermodynamische wetten te overtreden. Deze limiet zal nooit bereikt worden in natuurlijke processen, omdat we in de vorige paragraaf hebben gezien dat er altijd irreversibele factoren zullen optreden. Dit betekent dat er steeds een bepaalde hoeveelheid exergie verloren zal gaan. Een gevolg hiervan is dat de prestaties van een systeem gemaximaliseerd kunnen worden door de irreversibele factoren in het systeem te minimaliseren. (Çengel en Boles, 2002)

Er bestaat dus duidelijk een verschil tussen de exergie-inhoud van bepaalde energievormen. Terwijl mechanische energie zoals arbeid volledig omgezet kan worden in andere energievormen, bevat thermische energie slechts een fractie $1 - T_0/T$ (Carnotfactor) exergie. Naarmate de warmte op lagere temperatuur beschikbaar is, daalt de exergie-inhoud van de warmte nog verder. Het deel van de energie dat geen exergie bevat, wordt anergie genoemd. Dit deel kan niet meer worden omgezet in exergie en is dus van een merkkelijk lagere kwaliteit. (Cogen Vlaanderen, 2006)

3.5 Rendementsbepalingen

Voor een goed begrip van de verschillende rendementen die in dit eindwerk gebruikt zullen worden, is het noodzakelijk dat we eerst de definities van deze prestatie maatstaven aangeven. Dit maakt het gemakkelijker vergelijkingen te maken tussen verschillende technologieën. In de vorige paragraaf zagen we echter dat er een verschil is in de kwaliteit van energie. De meest accurate en eerlijke vergelijking gebeurt dus op basis van het exergetisch rendement. (Cogen Vlaanderen, 2006)

- Energetisch rendement

$$\eta_{WKK} = \eta_e + \eta_q = \frac{P_e + P_q}{w_f \cdot H_u}$$

P_q : nuttig thermisch vermogen geleverd door het systeem (in Watt)

P_e : netto elektrisch vermogen geleverd door het systeem (in Watt)

w_f : massadebiet van het systeem (in kg/s)

H_u : onderste verbrandingswaarde van de brandstof (in J/kg)

- Carnotrendement, het maximale rendement dat een thermische arbeidsmachine kan bereiken

$$\eta \equiv 1 - \frac{T_0}{T_1}$$

T_0 : omgevingstemperatuur

T_1 : temperatuur van de hoge-temperatuursbron (Ampere Commissie, 2000)

- Exergetisch rendement

$$\zeta_{WKK} = \frac{P_e + P_q \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T}\right)}{E_f}$$

E_f : energieflex van de brandstof

met $E_f = w_f \times \epsilon_f$

ϵ_f : specifieke exergie (exergie-inhoud per massa-eenheid) van de brandstof

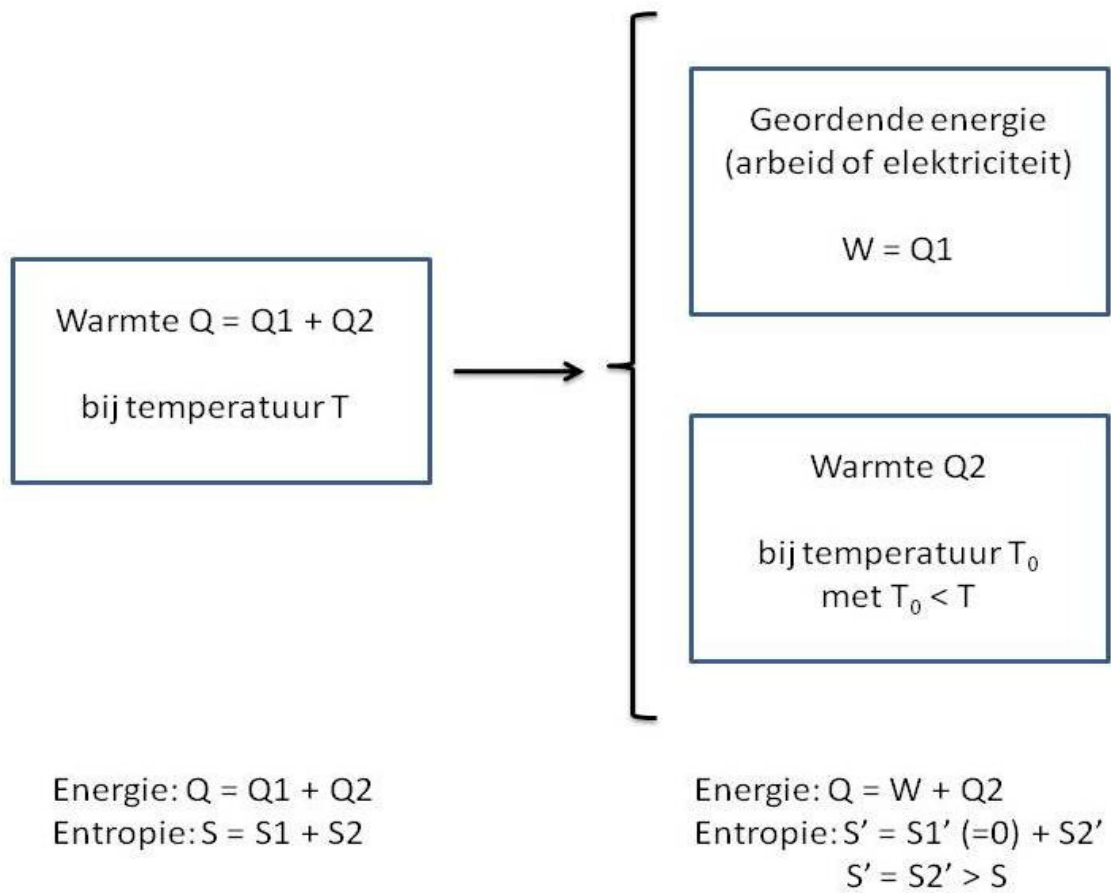
- Kracht-warmteverhouding of Power to Heat-Ratio (PHR)

$$PHR = \frac{P_e}{P_q}$$

3.6 Thermische motoren

Warmte is een ongeordende vorm van energie, potentiële en macroscopische kinetische energie zijn totaal geordende vormen van energie. Door de tweede hoofdwet van de thermodynamica weten we dat een proces altijd naar meer wanorde streeft. Het is dus gemakkelijk om bijvoorbeeld potentiële energie om te zetten naar warmte. Warmte kan echter ook omgezet worden naar geordende vormen van energie met behulp van thermische motoren.

Dit kan gebeuren door slechts een deel van de beschikbare warmte om te zetten naar geordende energievormen. Dit is noodzakelijk doordat de tweede hoofdwet stelt dat de mate van entropie in het hele systeem steeds toeneemt. De daling in de entropie van het ene deel dient gecompenseerd te worden door een grotere stijging in de entropie van een ander deel van de warmte. We stellen dit op de volgende pagina schematisch voor. (Lemeire, 2002)



S_1 : entropie van warmte Q_1 bij temperatuur T

S_2 : entropie van warmte Q_2 bij temperatuur T

S_1' : entropie van geordende energie W met waarde Q_1

S_2' : entropie van warmte Q_2 bij temperatuur T_0

1^{ste} wet van de thermodynamica: $Q = Q_1 + Q_2 = W + Q_2$

2^{de} wet van de thermodynamica: $S_1 + S_2 < S_2'$ (aangezien $S_1' = 0$)

3.7 Relevantie voor WKK

De energievraag van een gebouwen en bedrijven bestaat voornamelijk uit twee soorten energie: warmte en elektriciteit. Warmte kan dienen om te voorzien in de vraag naar stoom, warme lucht en warm water. Elektriciteit wordt gebruikt om toestellen en machines draaiende te houden. We zullen

echter aantonen dat dit zowel op energetisch als exergetisch vlak momenteel op een niet erg efficiënte manier gebeurt.

Het produceren van warmte voor een gebouw of bedrijf gebeurt bijna altijd op lokaal niveau. Dit is te wijten aan het feit dat warmte niet goed te transporteren is. Meestal maakt men bij het verwarmen gebruik van een centraal gelegen ketel of boiler. Deze gaat een (dikwijls fossiele) brandstof verstoffen om thermische energie te creëren. Zo ontstaat er warme lucht of warm water, dat doorheen een buizensysteem wordt gestuurd om het hele gebouw te verwarmen. Dat betekent dat een energievorm van hoge kwaliteit, brandstof, wordt omgezet in een energievorm van lage kwaliteit, warmte op lage temperatuur (80 à 90°C). Aangezien moderne ketels een energetisch rendement van 90% en meer hebben, gaat er niet veel energie verloren. De exergie-inhoud wordt echter drastisch gedegenereerd tot circa 5% van de oorspronkelijke exergie-inhoud. Er is dus sprake van een aanzienlijk verlies in de intrinsieke kwaliteit van de brandstof. Warmte opwekken via CV-ketels is een exergetisch zeer inefficiënt proces. (Ampere Commissie, 2000; Cogen, 2006)

Terwijl de warmteproductie vooral lokaal gebeurt, is de elektriciteitsproductie in Vlaanderen een meer centraal gebeuren. In paragraaf 2.2.1 Producenten legden we reeds het principe uit waarbij water wordt verwarmd tot stoom om een turbine aan te drijven. Door de matige temperatuur (250 à 300°C) waarbij dit gebeurt, hebben kerncentrales gemiddeld slechts een energetisch rendement van 35%. Doordat de opwekking bij klassieke stoomcentrales gemiddeld gezien op hogere temperatuur (ca. 540°C) gebeurt dan bij kerncentrales, is het rendement ook hoger, namelijk rond 40%. De nieuwste eenheden van deze centrales, de zogenaamde STEG's, hebben zelfs een relatief hoog rendement van 55%. (Ampere Commissie, 2000)

Nadat de stoom gebruikt is om elektriciteit op te wekken, wordt het terug omgezet in water. Dit water wordt opnieuw gebruikt in het begin van de cyclus, maar dient daarvoor eerst gekoeld te worden. In beide soorten elektriciteitscentrales doet men dit via koelcircuits (stoomcondensators, koeltorens,...) en/of via uitlaatgassen. Zo worden grote hoeveelheden warmte geloosd in de atmosfeer. We merken op dat bij de huidige elektriciteitsproductie er maar een energetisch rendement van 35 à 55% is, wat betekent dat 45 tot 65% van de oorspronkelijke energie verloren gaat. (Hoenraet, 1999)

Zowel bij de conventionele verwarming als bij de elektriciteitsproductie wordt er op dit moment te veel brandstof verspild. In het kader van een rationeel energiegebruik moeten we zuinig omspringen met de schaarse, beschikbare energiebronnen. Dit zal bijdragen tot een duurzame ontwikkeling, waarbij we een leefbare wereld doorgeven aan de generaties na ons en ze niet belasten met de negatieve gevolgen van onze huidige activiteiten. In het volgende hoofdstuk zal duidelijk worden gemaakt hoe WKK's inspelen op de zwaktes van onze huidige energievoorziening en zorgen voor een efficiëntere omzetting van energie. (Cogen Vlaanderen, 2006)

Hoofdstuk 4: Warmtekrachtkoppeling

4.1 Inleiding

De wetenschappelijke definitie van warmtekrachtkoppeling (WKK) of cogeneratie is:

"Cogeneratie is het thermodynamisch sequentieel produceren van twee of meer nuttige energievormen uitgaande van één enkele primaire energiebron."

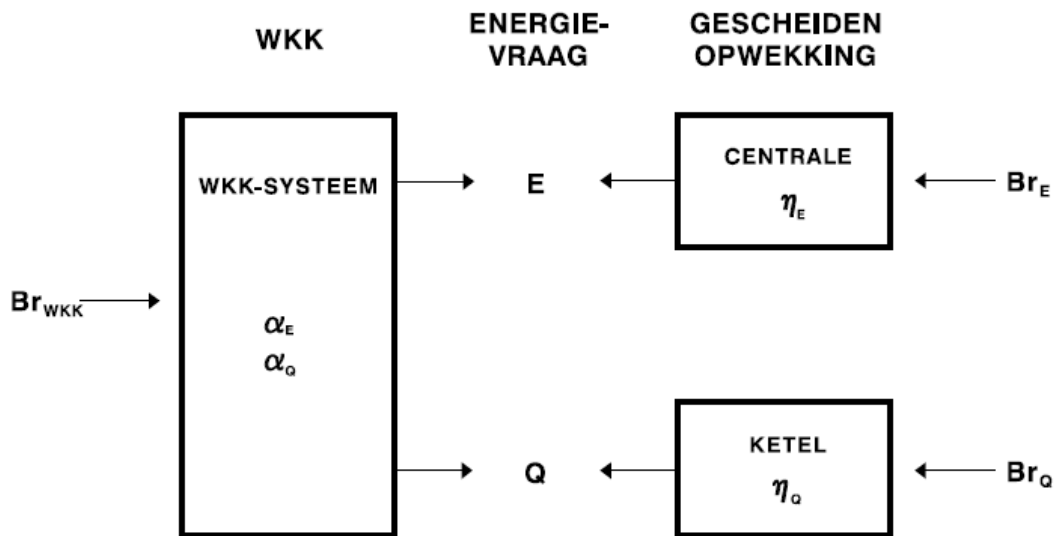
De energievormen waarover hier gesproken wordt, zijn meestal thermische en mechanische energie. In veel gevallen wordt deze mechanische energie gebruikt om een elektrische generator aan te drijven. Een duidelijkere omschrijving kan dus zijn:

"Warmtekrachtkoppeling is de gecombineerde productie van elektrische (mechanische) en nuttige thermische energie, uitgaande van dezelfde primaire energiebron."

Warmtekrachtinstallaties wekken dus zowel warmte als elektriciteit op. De hoogwaardige energie (warmte op hoge temperatuur, ca. 1200°C) die vrijkomt bij het verbranden van de brandstof, wordt eerst gebruikt om mechanische energie te produceren. Zoals hierboven vermeld wordt deze energie vaak aangewend om elektriciteit te produceren. De laagwaardige restwarmte (ca. 500°C) die hierna overblijft, wordt gebruikt om aan een specifieke warmtevraag te voldoen. (Cogen Vlaanderen, 2006)

4.2 Werking

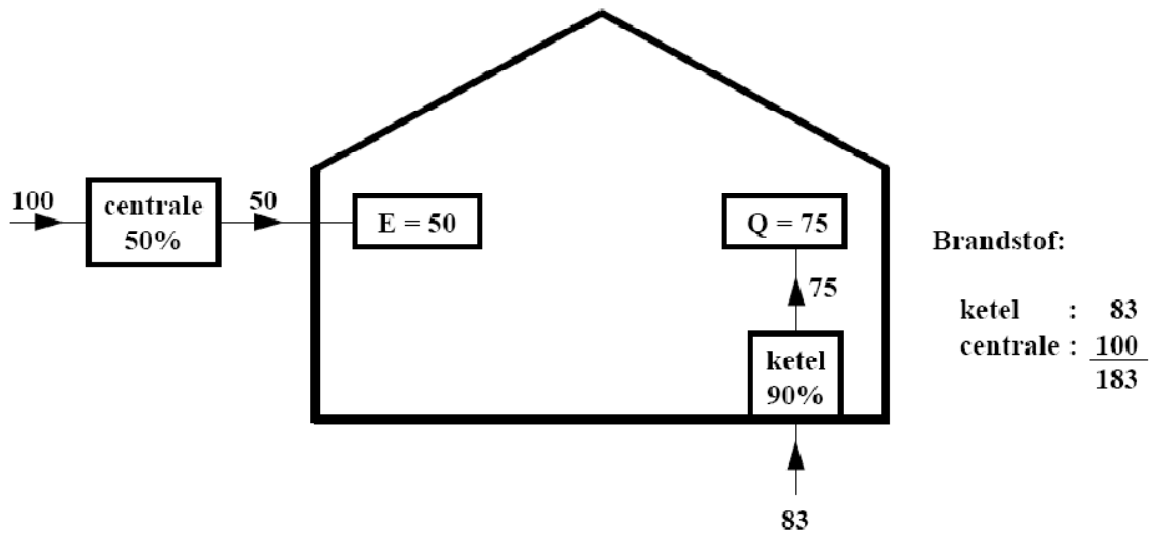
In vergelijking met CV-ketels worden bij WKK's exergie verliezen gecompenseerd doordat de hoogwaardige energie (warmte op hoge temperatuur) die vrijkomt bij het verbranden van een brandstof eerst wordt omgezet in mechanische energie. Deze energie drijft een alternator aan om elektriciteit te produceren. Daarna wordt de resterende laagwaardige warmte aangewend om aan een bepaalde warmtevraag te voldoen. De energie die aanwezig is in de brandstof wordt op deze manier veel beter benut. Het exergetisch rendement wat bekomen wordt, is veel hoger dan bij gescheiden opwekking van warmte en elektriciteit. Dit levert een primaire energiebesparing en een betere brandstofbenutting op ten opzichte van de gebruikelijke energieopwekking. Schematisch wordt dit zo voorgesteld:



Figuur 4.1: Schema verschil WKK – gescheiden opwekking

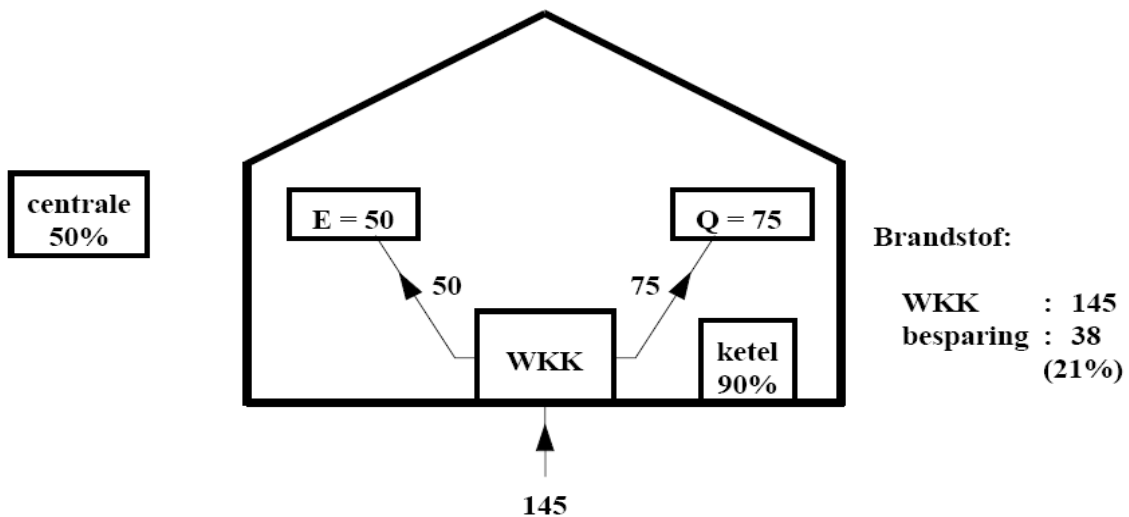
Centraal staat de vraag naar elektriciteit E en de vraag naar warmte Q . Br stelt het brandstofverbruik voor bij de WKK, de elektriciteitscentrale en de verwarmingsketel. De alpha-tekens bij het WKK-systeem staan voor het elektrisch en thermisch rendement van de installatie. Dit verschilt naargelang de gebruikte WKK-technologie, zoals we in de volgende paragrafen zullen zien. η_E en η_Q zijn respectievelijk het elektrisch en thermisch rendement bij gescheiden opwekking.

We vergelijken nu een gebouw waarbij warmte en elektriciteit gescheiden worden opgewekt, zoals tot nu toe vaak het geval is, met een gebouw waar er een warmtekrachtkoppeling geïnstalleerd is. In alle gevallen wordt er uitgegaan van een energievraag van 125 eenheden, waarvan 50 eenheden elektriciteit en 75 eenheden warmte. In figuur 4.2 stelt men de vraag naar brandstof voor bij een gescheiden opwekking. Dit wil zeggen dat de warmte in het gebouw geproduceerd wordt door een normale CV-ketel met een thermisch rendement van 90% en dat de elektriciteit wordt aangekocht bij een energieleverancier. We veronderstellen hierbij dat de elektriciteit bij de producent wordt opgewekt in een centrale met een elektrisch rendement van 50%. Er zouden 183 eenheden brandstof nodig zijn om aan deze vraag te voldoen.



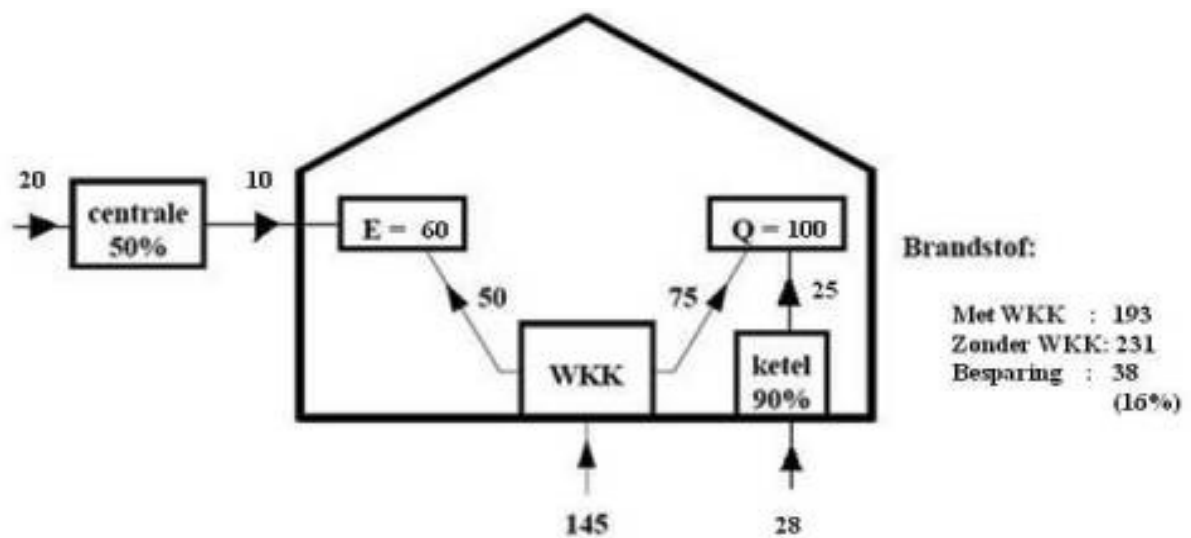
Figuur 4.2: Gescheiden opwekking van warmte en elektriciteit (Energik, 2008)

In figuur 4.3 staat de vraag naar brandstof bij een gezamenlijk opwekking van warmte en elektriciteit. We veronderstellen hierbij dat de WKK-installatie een thermisch rendement van 52% en een elektrisch rendement van 34% heeft. Uitgaande van deze assumpties zou er een brandstofhoeveelheid van 145 eenheden nodig zijn om aan de energiebehoefte te voldoen. In vergelijking met de eerste figuur blijkt dat men door het gebruik van WKK's theoretisch een brandstofbesparing van 38 eenheden of 21% kan realiseren ten opzichte van de klassieke energievoorziening. (VITO, 2008)



Figuur 4.3: Gezamenlijke opwekking van warmte en elektriciteit in theorie (Energik, 2008)

Deze situatie is echter niet realistisch. In de praktijk zal het niet mogelijk zijn een warmtekrachtinstallatie perfect af te stellen op de energievraag van de gebruikers. Er zal altijd nog wat energie 'van buitenaf' aangekocht moeten worden. In figuur 4.4 stellen we dat er 10 eenheden elektriciteit en 25 eenheden warmte extra nodig zijn om aan de energievraag te voldoen. De rendementen voor de opwekking ervan zijn dezelfde als in figuur 4.2. In vergelijking met de conventionele energievoorziening blijft de besparing van 38 eenheden, zoals we in figuur 4.3 hadden berekend, in absolute termen hetzelfde. De besparing dient nu echter vergeleken te worden met een totale brandstofbehoefte van 231 eenheden. De relatieve brandstofbesparing bedraagt dan 16%. Dit is een daling met 5% ten opzichte van het theoretische geval, maar nog steeds een aanzienlijke besparing.



Figuur 4.4: Gezamenlijke opwekking van warmte en elektriciteit in praktijk (Energik, 2008)

Een ander voordeel van warmtekrachtkoppeling is dat de brandstof niet noodzakelijk fossiel hoeft te zijn. Het is eveneens mogelijk een WKK aan te drijven met biobrandstoffen zoals biogas, bio-olie, biodiesel, hout, afval, mest, ... Dit heeft een dubbel voordeel. Enerzijds wordt er op een groene manier warmte en elektriciteit opgewekt. Anderzijds zorgen bio-WKK's er tevens voor dat de biomassa zo efficiënt mogelijk gebruikt wordt. Dit is vooral van belang wanneer de biobrandstof afkomstig is van een landbouwgewas zoals koolzaadolie. Als deze gewassen niet zo nuttig mogelijk gebruikt worden, is het beter voedsel te planten op de schaarse landbouwgrond. Een bijkomend voordeel voor de eigenaar van een bio-WKK-installatie is dat hij niet alleen kan rekenen op warmtekrachtcertificaten, maar ook op groenestroomcertificaten.⁷ (Energik, 2008)

⁷ Zie hoofdstuk 9: Steunmaatregelen

4.3 Kwalitatieve WKK

Het is belangrijk dat er door de installatie van een warmtekrachtkoppeling wel degelijk een primaire energiebesparing plaatsvindt ten opzichte van de klassieke situatie van een gescheiden opwekking van warmte en elektriciteit. Het Europese Parlement voerde daartoe richtlijn 2004/8/EG in ter bevordering van warmtekrachtkoppeling.⁸ Deze richtlijn heeft als doel het potentieel van WKK en de daarbij horende voordelen volop te benutten om zo de energieafhankelijkheid van Europa te verminderen en de Kyoto-doelstellingen te behalen. Er wordt een definitie bepaald van (hoogrenderende/kwalitatieve) warmtekrachtkoppeling, die gekoppeld wordt aan bepaalde referentierendementen. Aangezien het doel van de richtlijn erin bestaat tot een geharmoniseerde basisdefinitie te komen, heeft de Vlaamse Regering besloten de Europese definitie van kwalitatieve warmtekrachtkoppeling over te nemen.

“Een kwalitatieve WKK-installatie levert een relatieve primaire energiebesparing (RPE) van ten minste 10% op ten opzichte van de referenties voor de gescheiden productie van warmte en elektriciteit. Voor de productie afkomstig van micro- en kleinschalige WKK-eenheden (kleiner dan 1 MW) geldt dat de relatieve primaire energiebesparing minstens 0% moet bedragen.”

De relatieve primaire energiebesparing wordt als volgt berekend:

$$RPE = 1 - 1 / [(\alpha_q/\eta_q) + (\alpha_e/\eta_e)]$$

α_q : het thermisch rendement van warmtekrachtinstallatie

η_q : het thermisch rendement van de referentieketel

α_e : het elektrisch rendement van warmtekrachtinstallatie

η_e : het elektrisch rendement van referentiecentrale

De referentierendementen voor kwalitatieve WKK moeten volgens de Europese richtlijn gebaseerd zijn op enkele beginselen. Er moet onder andere rekening worden gehouden met de gebruikte brandstof, het constructiejaar van de installatie en het klimaat in de regio. De vergelijking moet worden gemaakt met de best beschikbare en economisch verantwoorde technologie van gescheiden opwekking van warmte en elektriciteit. De Vlaamse Regering legde deze referentierendementen kwantitatief vast in

⁸ Richtlijn Parlement en Raad nr. 2004/8/EG, 11 februari 2004 inzake de bevordering van warmtekrachtkoppeling op basis van de vraag naar nuttige warmte binnen de interne energiemarkt en tot wijziging van Richtlijn nr. 92/42/EEG betreffende de rendementseisen voor nieuwe olie- en gasgestookte centrale-verwarmingsketels, *Pb. L.* 21 februari 2004.

het Ministerieel Besluit van 6 oktober 2006⁹, rekening houdend met de beginselen in de Europese richtlijn. In bijlage 5 zijn ze te overlopen. Deze standaardrendementen moeten niet verward worden met de referentierendementen die zijn vastgelegd voor de bepaling van het aantal warmtekrachtcertificaten. Deze worden verder besproken in paragraaf 9.1.2 Warmtekrachtcertificaten.

4.4 Soorten WKK

4.4.1 WKK met turbines

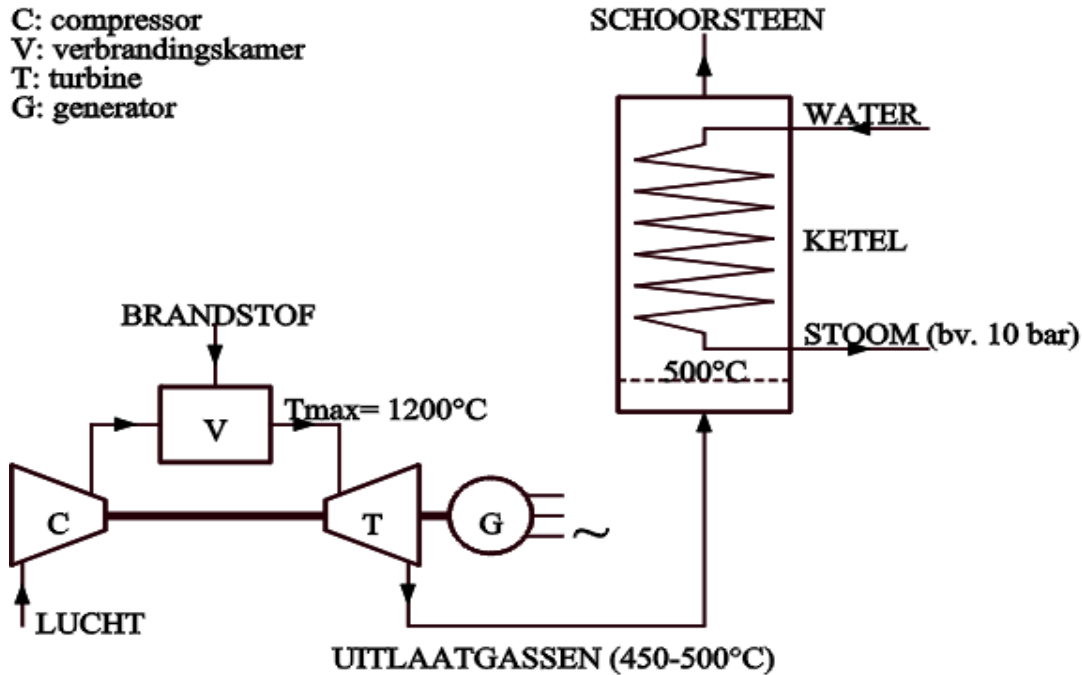
4.4.1.1 WKK met gasturbine

Het thermodynamische proces in een gasturbine wordt gekenmerkt door een Brayton-cyclus. Een compressor zuigt lucht aan en brengt deze onder hoge druk. Hierdoor stijgt de temperatuur van de lucht. De gecomprimeerde lucht wordt naar de verbrandingskamer gevoerd, waar er een brandstof toegevoegd en op constante druk verbrand wordt. Er ontstaan hete rookgassen die via de uitlaat de kamer verlaten. Hoe hoger de temperatuur is op dit moment, hoe hoger het cyclusrendement zal zijn. De maximumtemperatuur ligt rond 1200°C. De uitlaatgassen drijven een turbine aan, waarna deze mechanische energie wordt omgezet tot elektriciteit. Nadat de gassen de turbine hebben verlaten, hebben ze nog steeds een aanzienlijke temperatuur (in de buurt van 500°C). Ze worden naar een boiler gestuurd, waar de overblijvende warmte benut wordt om stoom te creëren. De gassen kunnen ook rechtstreeks benut worden voor thermische processen. Als de WKK moet voldoen aan een grote warmtevraag, is er in de ketel eveneens een mogelijkheid tot bijstook. Er wordt dan extra brandstof toegevoegd aan de ketel.

Een gasturbine gebruikt meestal aardgas of lichte stookolie als brandstof. Er worden ook andere brandstoffen gebruikt, maar men moet oppassen dat deze geen componenten bevatten die corrosie of erosie kunnen veroorzaken bij de turbinebladen. Deze komen immers rechtstreeks in aanraking met de uitlaatgassen van de brandstof. (Energik, 2008; Cogen Vlaanderen, 2006)

Er zijn twee soorten gasturbines. Aëroderivative gasturbines zijn ontwikkeld in de vliegtuigtechnologie en zijn lichter, compacter, hebben een hogere verbrandingstemperatuur en een hoger rendement. Heavy duty of industriële gasturbines zijn robuuster, meer geschikt voor grote vermogens en minder kieskeurig qua brandstof. (Cogen Vlaanderen, 2004)

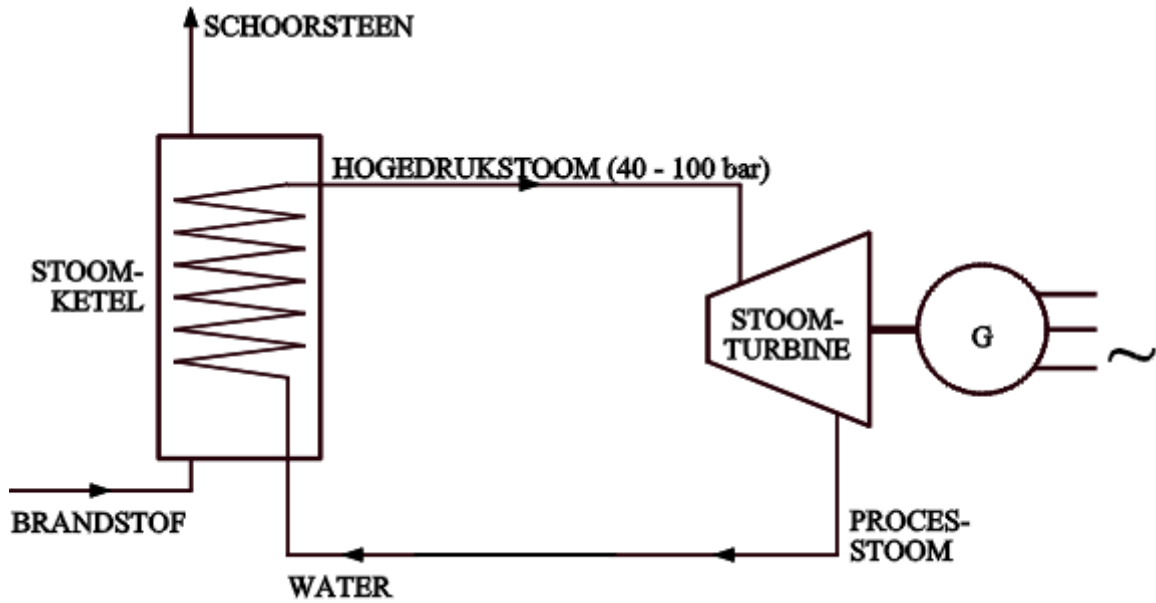
⁹ MB van 6 oktober 2006 inzake de vastlegging van de referentierendementen voor toepassing van de voorwaarden voor kwalitatieve warmtekrachtinstallaties, BS 1 december 2006.



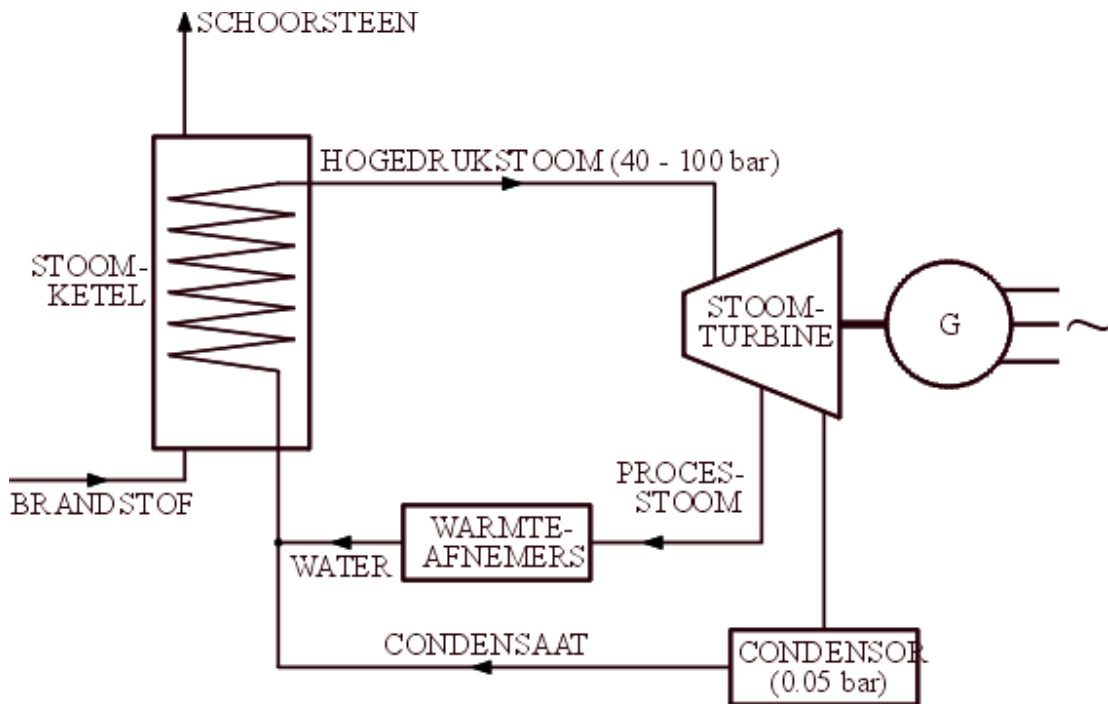
Figuur 4.5: Schema WKK-installatie met gasturbine (Energik, 2008)

4.4.1.2 WKK met stoomturbine

Een WKK met stoomturbine werkt volgens de Rankine-cyclus. In een warmtebron wordt een brandstof gebruikt om water om te zetten in stoom. Deze stoom wordt op hoge druk door een turbine gestuurd, waar hij expandeert. Zo wordt de turbine aangedreven. Zoals bij gasturbines is deze turbine gekoppeld aan een generator die stroom produceert. Wat er vervolgens gebeurt, is afhankelijk van het type stoomturbine. Bij tegendrukstoomturbines verlaat de stoom de turbine bij een druk die hoger is dan of minimum gelijk is aan de atmosferische druk. Daarna wordt de stoom gebruikt om te voorzien in een warmtevraag. Wanneer de stoom terug gecondenseerd is, wordt deze 'gerecycleerd' in het begin van het systeem. Condenserende stoomturbines daarentegen tappen in één of meerdere tussenstappen al tijdens de expansie stoom af om te voorzien in de warmtevraag. De overige stoom wordt naar een condensor gestuurd, waar het verder expandeert tot lage druk. Nadat de stoom gebruikt is voor de warmtevraag wordt ze gecondenseerd en samen met het overige condensaat gerecycleerd. Omdat het systeem gebaseerd is op uitwendige verbranding (vuurhaard en procesfluidum zijn gescheiden) kunnen bijna alle brandstoffen gebruikt worden bij deze technologie: aardgas, olie, biomassa, afval, geconcentreerde zonnestrallen, ... (Energik, 2008; Cogen Vlaanderen, 2006)



Figuur 4.6: Schema van WKK-installatie met tegendrukstoomturbine (Energik, 2008)

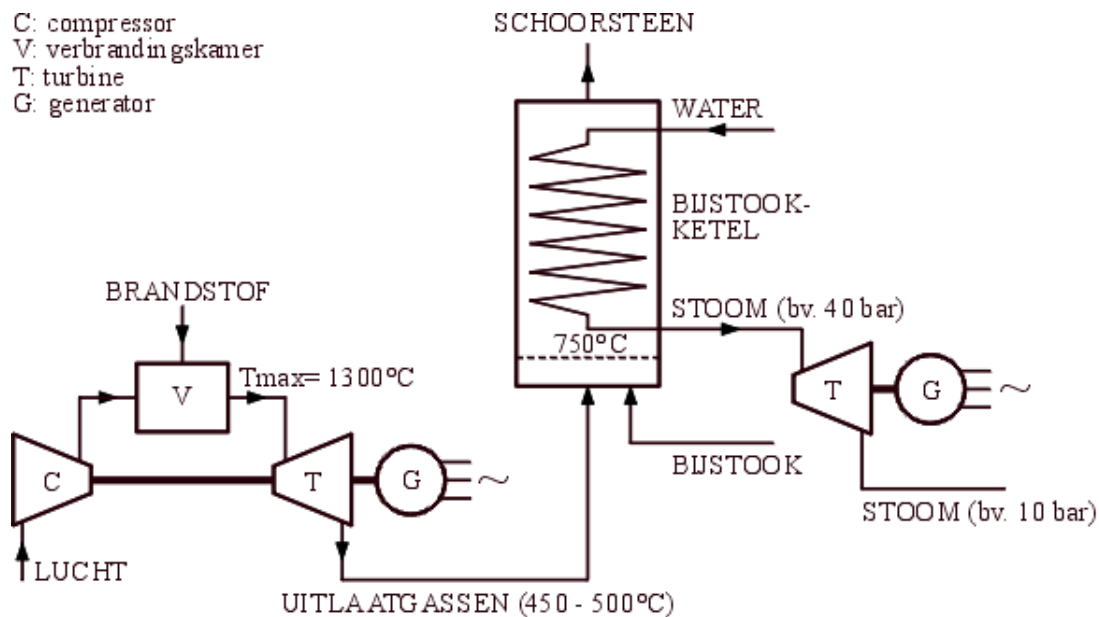


Figuur 4.7: Schema van WKK-installatie met condensatiestoomturbine (Energik, 2008)

Het verschil tussen tegendruk- en condensatiestoomturbines ligt in de totale brandstofbenutting. Deze is hoger bij tegendrukstoomturbines. Er is eveneens een verschil bij kracht-warmteverhouding. Bij tegendrukturbines valt deze waarde, in tegenstelling tot condensatieturbines, niet te regelen.

4.4.1.3 WKK met gecombineerde cyclus

Wanneer er gesproken wordt over gecombineerde cycli, gaat het bijna altijd over een gecombineerde Joule-Rankine cyclus.¹⁰ Dit zijn de zogenaamde stoom- en gasturbines (STEG). Zoals de naam zegt, wordt er een stoomturbine gekoppeld aan een gasturbine. De principiële werking van beide turbines blijft behouden. We zagen al in punt 4.4.1.1 dat de stoom die de gasturbine verlaat nog steeds een beduidende warmte-inhoud heeft. In plaats van deze te gebruiken voor de warmtevoorziening, gaat de STEG er nu een stoomturbine mee aandrijven. Meestal wordt er nog wat extra brandstof verstoofd om de stoomtemperatuur te verhogen. Hierdoor kan er opnieuw elektriciteit geproduceerd worden en wordt het elektrisch rendement danig verbeterd. Er kan zowel een tegendruk- als een condensatieturbine gebruikt worden. Het verschil met de STEG-elektriciteitscentrales is dat bij een WKK een deel van de stoom instaat voor het opvangen van een warmtevraag. Bij de andere STEG's wordt de volledige stoom gebruikt voor de elektriciteitsopwekking. Aangezien er een gasturbine gebruikt wordt, is de brandstof meestal aardgas of lichte stookolie. (Cogen Vlaanderen, 2006)



Figuur 4.8: Schema van WKK-installatie met gecombineerde cyclus (Energik, 2008)

¹⁰ Het is ook mogelijk een gecombineerde Diesel-Rankine cyclus te gebruiken. Hierbij wordt de gasturbine vervangen door een Dieselmotor.

4.4.1.4 Vergelijking tussen WKK's met turbines

		Gasturbine	Stoomturbine	Gecombineerde cyclus
Grootte		1-100MW	0,5-100MW	4-400MW
Installatietijd	Kleinere vermogens	9-14 maanden	12-18 maanden	12-18 maanden
	Grotere vermogens	2 jaar	3 jaar	2-3 jaar
Levensduur		15-20 jaar	25-35 jaar	15-25 jaar
Elektrisch rendement		30-40%	15-25%	35-45%
Brandstofbenutting		60-80%	60-85%	70-88%
Kracht-warmteverhouding		0,5-0,8	0,1-0,5	0,6-2

Tabel 4.1: Vergelijking WKK met turbines

De WKK's met gasturbine vallen in goede zin op door hun korte installatietijd. Ze hebben echter ook een relatief korte levensduur. WKK's met stoomturbine kunnen 10 tot 15 jaar langer actief blijven dan de gasturbinevarianten. Bij de stoomturbines springt verder vooral het lage elektrisch rendement in het oog. Deze WKK's worden dan ook best gebruikt in gebouwen met een grote warmtevraag. STEG's zijn meestal grote WKK-installaties, die naast het hoogste elektrisch rendement gemiddeld gezien ook het hoogste totale rendement van alle WKK's met turbines hebben.

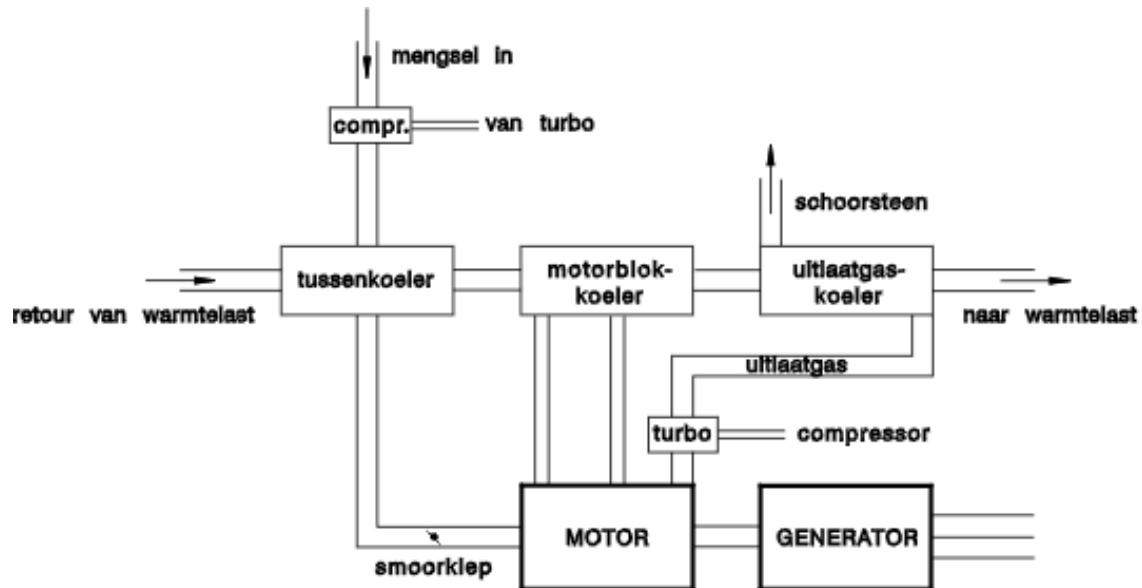
4.4.2 WKK met zuigermotoren

WKK's met zuigermotoren worden meestal gebruikt bij toepassingen waar er een vraag naar warm water bestaat en minder naar lagedrukstoom of hete rookgassen. Ze hebben ook vaak een kleiner vermogen dan WKK's met turbines. Ze hebben bijna allemaal een zuigermotor met inwendige verbranding, een Ottomotor of een Dieselmotor. Verder bespreken we de specifieke kenmerken van beide motoren, maar ze hebben tevens heel wat gemeenschappelijke eigenschappen die we eerst overlopen. (Cogen Vlaanderen, 2004)

4.4.2.1 Gemeenschappelijke kenmerken Otto- en Dieselmotoren

- Voordelen:
- Gekende technologie
 - Minder hoge investeringskost
 - Lange levensduur
 - Hoge beschikbaarheid (80-90%)

- Nadelen:
- Veel lawaai door vele bewegende onderdelen
 - Hoge onderhoudskosten
 - Vervuilende emissies (vooral bij Dieselmotoren)
 - Brandstofbenutting afhankelijk retourtemperatuur



Figuur 4.9: Basisschema van WKK-installatie met zuigermotor (Energik, 2008)

4.4.2.2 Specifieke kenmerken Otto- en Dieselmotoren

Eerst en vooral vergelijken we de werking van een Otto- en een Dieselmotor.

Zoals de naam al zegt, zijn Ottomotoren gebaseerd op de Ottocycclus. Er wordt een mengsel van brandstof en lucht aangezogen in een cilindervormige verbrandingskamer. Dit mengsel wordt samengedrukt en naar het einde toe ontstoken met een extern opgewekte vonk. Door de expansie wordt een zuiger achteruitgeduwd. Deze lineaire beweging wordt via een kruk- en drijfstaang omgezet in een roterende beweging (mechanische energie). Via een generator kan er nu elektriciteit worden geproduceerd.

De warmterecuperatie ligt echter wat moeilijker. Er zijn vier warmtebronnen in een gasmotor, die ieder op een verschillend temperatuurniveau zitten. In deze tabel zijn voor de eerste drie bronnen de maximale inlaattemperaturen gegeven en voor de uitlaatgassen de gemiddelde temperatuur.

Warmtebron	Temperatuur (°C)
Tussenkoeler	30 - 80
Smeerolie	75 - 95
Koelwater	75 - 120
Uitlaatgassen	400 - 550

Tabel 4.2: Temperatuur van verschillende warmtebronnen bij zuigermotoren (in °C)

Of men de warmtebron kan gebruiken, is dus afhankelijk van de temperatuur die nodig is om te voldoen aan de warmtevraag. Hoe hoger de benodigde temperatuur, hoe kleiner de kans wordt dat men alle warmtebronnen kan gebruiken. Dit betekent dat het thermisch vermogen en de totale brandstofbenutting daalt naarmate de retourtemperatuur stijgt. Zo ligt de brandstofbenutting bij een hoge retourtemperatuur van 110°C slechts op 50 à 60%.

Zoals de naam al zegt, zijn Dieselmotoren gebaseerd op de Dieselcyclus. Bij deze motoren wordt alleen lucht in de cilindervormige verbrandingskamer ingebracht. Men perst deze lucht samen tot een temperatuur die hoger is dan de ontstekingstemperatuur van de brandstof en voegt dan pas de brandstof toe. Dan volgt hetzelfde proces als bij de Ottomotor. De zuiger wordt teruggedrongen, er wordt een roterende beweging gevormd en elektriciteit kan opgewekt worden.

Het principe van de warmterecuperatie is hetzelfde bij de Dieselmotoren als bij de Ottomotoren. De warmtebronnen die gebruikt worden, zijn eveneens dezelfde. Een belangrijk verschil ligt echter in de temperatuur van de uitlaatgassen. Bij zwavelhoudende stoffen zoals diesel mag de temperatuur niet verder afkoelen dan 173°C, omdat bij deze temperatuur zwavelzuur ontstaat. Dit kan er voor zorgen dat er corrosie ontstaat. (Cogen Vlaanderen, 2004; Cogen Vlaanderen, 2006; Energik, 2008)

De overige verschillen tussen beide motoren vatten we samen in de volgende tabel.

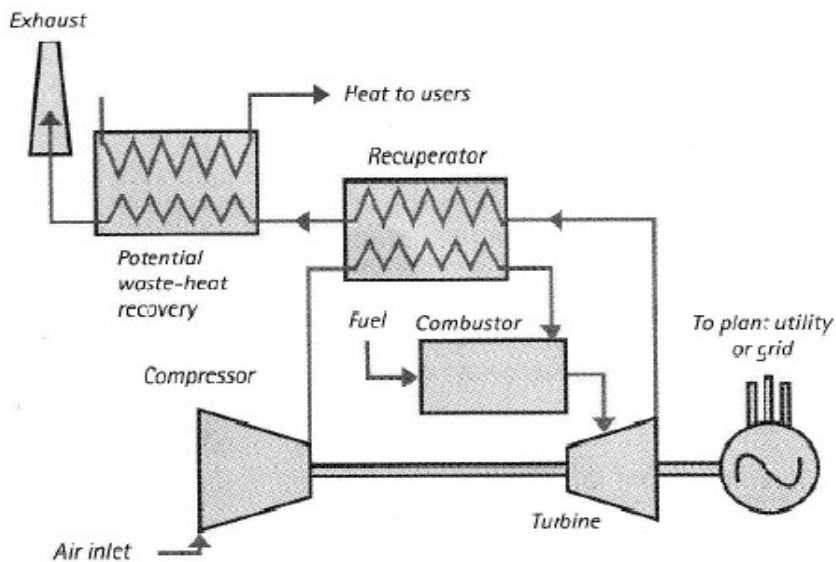
	Ottomotoren	Dieselmotoren
Brandstof	Aardgas Propan Biogas	Diesel Dual fuel Residuele fuel
Vermogen	15kW-10MW	75kW-50MW
Elektrisch rendement	30-40%	35-45%
Kracht-warmteverhouding	rond 0,6	rond 1

Tabel 4.3: Vergelijking tussen Otto- en Dieselmotoren

4.4.3 Andere soorten WKK

4.4.3.1 Microturbines

De werking van een microturbine is vrijwel hetzelfde als deze van een grote gasturbine. Net zoals deze laatste werkt de microturbine volgens de Brayton-cyclus. Lucht wordt aangezogen en samengedrukt in een compressor. Deze gecomprimeerde lucht wordt naar de verbrandingskamer gebracht, waar ze verder verhit wordt door de verbranding van een brandstof. De rookgassen die hierbij vrijkomen worden gebruikt om een turbine aan te drijven. Een deel van de mechanische energie die hierdoor ontstaat wordt gebruikt voor de compressor aan te drijven, het andere deel bij een generator die er op zijn beurt elektriciteit mee produceert.



Figuur 4.10: Schema van een WKK-installatie met microturbine (Cogen Vlaanderen, 2004)

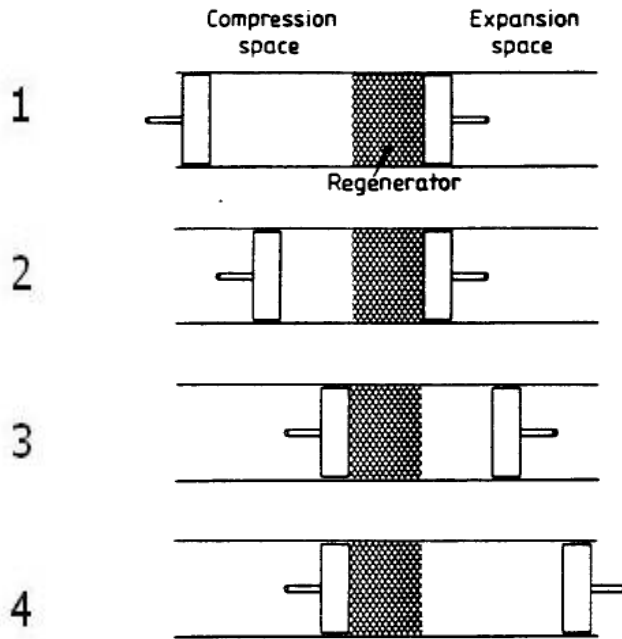
Zoals al vermeld werd, is de microturbine zowat het kleine broertje van de gasturbine. Dit uit zich in vermogensgroottes van 25 tot 250kW. Tussen 75 en 90% van de benodigde brandstof wordt nuttig aangewend. Zonder speciale maatregelen bedraagt het elektrisch rendement van een microturbine circa 15%, wat erg laag is. Daarom wordt meestal gebruik gemaakt van een recuperator. Via deze warmtewisselaar wordt de lucht die door de compressor wordt vrijgegeven eerst voorverwarmd door warmte die zich in de rookgassen bevindt. Hierdoor komt de lucht op een hogere temperatuur binnen in de verbrandingskamer, zodat er minder brandstof nodig om de rookgassen tot de gewenste temperatuur te brengen. Het elektrisch rendement van een microturbine mét recuperator bedraagt 25 à 30%, wat wel nog altijd duidelijk lager is dan bij een grote gasturbine.

In vergelijking met kleine gasmotoren heeft de microturbine echter nog steeds enkele aanzienlijke voordelen. Warmte is beschikbaar via één warmtebron (rookgassen), wat veel eenvoudiger dan de vier warmtebronnen van een gasmotor. Door het kleine aantal bewegende onderdelen is er bovendien niet veel onderhoud vereist, wat de kosten hiervan ook vermindert. De geluidsoverlast die kan ontstaan bij WKK's met zuigermotoren wordt eveneens ingeperkt. De grote luchtvermaat bij microturbinen brengt ook enkele voordelen met zich mee. Dat maakt het mogelijk om naderhand bij te stoken om zo de warmteproductie op te drijven. De emissies van NO_x en SO_x worden er tevens door beperkt. De uitstoot van KWS en CO wordt verminderd doordat microturbinen continu brandstof verbranden. Een laatste voordeel bestaat in zijn brandstofflexibiliteit. De microturbine kan verschillende soorten brandstoffen, zelfs met een lagere of niet-constante energie-inhoud, gebruiken voor zijn werking. Zo kunnen ze gassen met een methaangehalte van 30% verbranden, terwijl gasmotoren een methaangehalte van minstens 50% nodig hebben. Daarom worden ze veel gebruikt bij stortgasinstallaties. (Cogen Vlaanderen, 2004; Cogen Vlaanderen, 2006; Energik, 2008)

4.4.3.2 Stirlingmotoren

Een Stirlingmotor werkt op een verschillende manier van andere motoren, die hiervoor beschreven zijn geworden. Een cruciaal verschil ligt in de wijze waarop de brandstof verbrand wordt. Bij Otto- en Dieselmotoren gebeurt dit inwendig, terwijl dit bij Stirlingmotoren via een externe warmtebron gebeurt. Het arbeidsgas dat gebruikt wordt, meestal lucht of helium, verlaat de motor nooit.

De werking van de Stirlingmotor volgt de Stirlingcyclus en kan uitgelegd worden aan de hand van een figuur. De Stirlingcyclus verloopt tussen twee isothermen en twee isochoren. Van afbeelding 1 naar afbeelding 2 vindt er een isotherme compressie plaats, waarbij warmte wordt afgevoerd uit de motor. Van 3 naar 4 zien we een isotherme expansie. Hier wordt warmte extern toegevoegd aan de motor om de temperatuur constant te houden bij een groter volume. Van afbeelding 2 naar afbeelding 3 en van 4 naar 1 blijft het volume constant (isochoren), maar gebeurt er een verplaatsing waarbij het arbeidsgas zich door de regenerator verplaatst. Van 4 naar 1 geeft het gas zijn warmte af aan de regenerator, terwijl het van 2 naar 3 deze warmte weer opneemt. De regenerator is een zeer poreuze metallische structuur, die het rendement van de motor danig verhoogt. In theorie wordt het rendement zelfs gelijk aan het Carnotrendement. In de praktijk haalt het echter ongeveer de helft van het theoretische rendement. (Ampere Commissie, 2000)



Figuur 4.11: Schema van een Stirlingmotor (Cogen Vlaanderen, 2006)

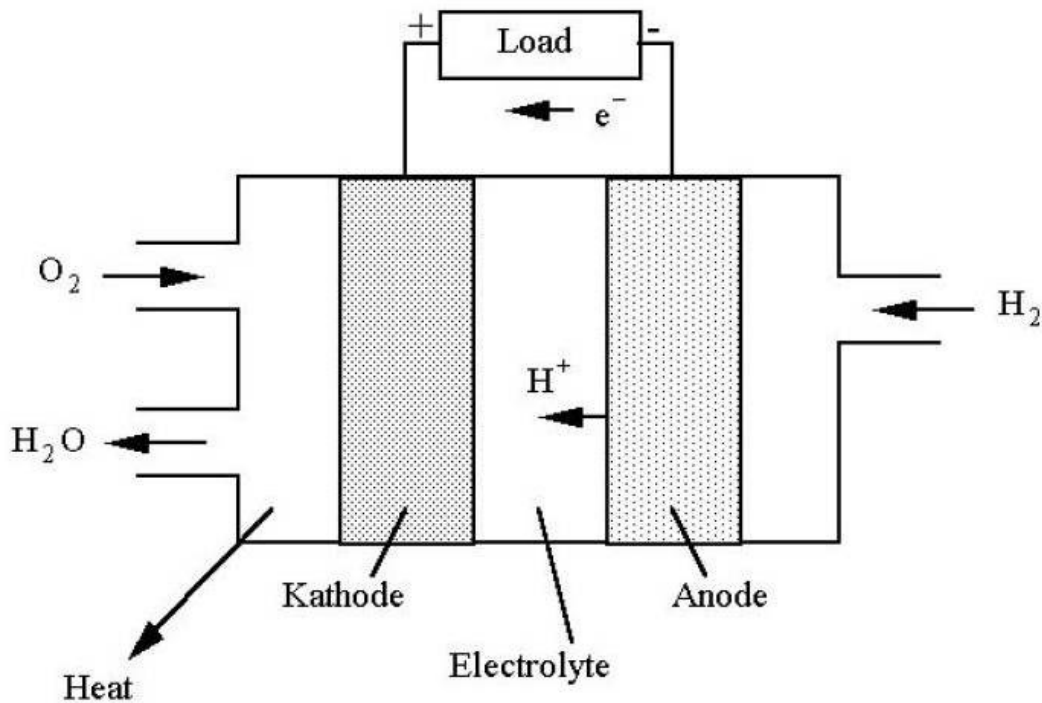
An sich hebben Stirlingmotoren een elektrisch rendement van 40%. Bij (kleinschalige) WKK-installaties worden ze echter dikwijls ingebouwd in een verwarmingsketel. Het grote voordeel hiervan is dat er meestal geen back-upketel meer nodig is, wat bij veel WKK-toepassingen wel het geval is. Een ongunstig gevolg daarentegen is dat het elektrisch rendement daalt naar 10 à 15%. Elektriciteit wordt derhalve eerder gezien als een bijproduct dat mooi is meegenomen. Door het beperkte aantal bewegende onderdelen creëren Stirlingmotoren weinig lawaai en vergen ze niet veel onderhoud. Doordat de brandstof continu uitwendig wordt verbrand, is de Stirlingmotor milieuvriendelijk en ook erg flexibel qua brandstoffen. Aardgas, benzine, diesel, kolen, biomassa, zelfs zonne- en kernenergie kunnen als warmtebron dienen bij deze motoren, wat natuurlijk een groot voordeel is. Een nadeel van de uitwendige verbranding is dat de motor maar traag opstart. (Cogen Vlaanderen, 2004)

4.4.3.3 Brandstofcellen

Een brandstofcel is een elektrochemisch systeem dat chemische energie rechtstreeks omzet in elektrische energie. Het toepassingsgebied van brandstofcellen is erg breed. Het wordt gebruikt in nichemarkten zoals de ruimtevaart, maar ook grootschalig zoals in de transportsector of als WKK-toepassing. Meestal dient waterstof als brandstof voor de opwekking van elektriciteit. Waterstof kan gewonnen worden uit aardgas door een 'reforming'-proces of door de elektrolyse van water.

De brandstofcel bestaat uit enkele onderdelen. Elke cel bezit twee elektroden, een positieve kathode en een negatieve anode. Daartussen zit een elektrolyt dat bepaalt van welk type brandstofcel er

sprake is. De werking van een brandstofcel gaat als volgt. Aan de anode wordt waterstof ingebracht en gesplitst in ionen en elektronen. Alleen ionen kunnen echter in het elektrolyt doordringen. De elektronen worden via een extern circuit naar de kathode geleid. Er ontstaat een potentieelverschil tussen de twee elektroden, waaruit elektriciteit geproduceerd kan worden. Dit spanningsverschil is minder dan 1V groot, waardoor verschillende brandstofcellen in serie en parallel worden geschakeld om een voldoende grote spanning en stroom te produceren. Dit wordt een 'stack' genoemd. De opgewekte elektriciteit is gelijkstroom, zodat er een omvormer noodzakelijk is om dit naar wisselstroom om te zetten. Aan de kathode komen de elektronen, de ionen en het ingebrachte zuurstof samen, waarbij er water wordt gevormd. Aangezien dit een exothermisch proces is, komt er warmte vrij die nuttig aangewend kan worden. (Cogen Vlaanderen, 2006)



Figuur 4.12: Schema van een brandstofcel (Cogen Vlaanderen, 2006)

Door het modulair karakter van deze WKK-technologie bestaan brandstofcellen zowel op kleine (enkele kW) als grote (enkele honderden kW) vermogensgroottes. Doordat de omzetting van chemische naar elektrische energie rechtstreeks gebeurt, wordt het elektrische rendement niet beperkt door het Carnotrendement. Er worden dan ook hoge (theoretische) rendementen van boven 50% behaald. De brandstofbenuttigingsgraad bereikt eveneens grote waarden van 85 à 90%. Daar komt dan nog eens bij dat er niet veel onderhoud vereist is en dat het apparaat weinig lawaai maakt. Toch zijn de brandstofcellen nog niet klaar voor massale commercialisatie omdat er nog onderzoek nodig is naar de

levensduur en betrouwbaarheid van het product. Bovendien zijn de cellen voorlopig nog erg duur. Desalniettemin blijft het veelbelovende WKK-technologie voor de toekomst. (Cogen Vlaanderen, 2006)

4.4.3.4 Organic Rankine Cycle

In paragraaf 4.4.1.2 WKK met stoomturbines vermeldden we reeds dat deze WKK's de Rankine-cyclus volgen. Het arbeidsfluidum dat hierbij gebruikt werd, was water. De stoom, die bij expansie over de turbine werd gespannen om ze aan te drijven, diende oververhit te worden om te vermijden dat te veel stoom zou condenseren in de turbine. Men kan echter ook organische vloeistoffen zoals toluen, ammoniak en pentaan als arbeidsmedium gebruiken. Het voordeel van deze stoffen is dat ze niet oververhit moeten worden, omdat ze minder of zelfs niet condenseren na expansie. Bovendien hebben deze stoffen een lagere verbrandingstemperatuur. Dit zorgt ervoor dat de benodigde temperatuur in vergelijking met klassieke stoomturbines minder hoog zal moeten oplopen, waardoor de warmterecuperatie en de prestaties van het systeem zullen verbeteren.

De vermogensgroottes van Organic Rankine Cycles variëren tussen 2kW en 10MW. Door de lage verdampingswarmte is het elektrisch rendement van deze toestellen nogal laag, waardes schommelen tussen 10 en 30%. Andere nadelen zijn onder andere de hogere kostprijs van de organische vloeistoffen ten opzichte van water en de daarmee gepaard gaande extra kost bij vloeistofverlies. Daarenboven worden sommige van deze stoffen als gevaarlijk aanzien. De bijhorende veiligheidsvoorzieningen en gebruiksystemen kunnen eveneens voor extra kosten zorgen, evenals extra administratie. (Cogen Vlaanderen, 2006; Energik, 2008)

Hoofdstuk 5: Fotovoltaïsche zonne-energie

5.1 Inleiding

De zon is een onuitputtelijke bron van energie. De hoeveelheid zonnestrallen die ieder jaar het aardoppervlak bereiken, zijn voldoende om 10000 keer te voorzien in het jaarlijkse energiegebruik van de hele wereldbevolking. Dit geeft aan dat de zon een erg interessante energiebron kan zijn. Natuurlijk is de hoeveelheid energie die omgezet kan worden afhankelijk van de grootte en de sterkte van de instraling. Gebieden tussen de steenboks- en kreeftskeerkring genieten jaarlijks van de meeste zonnestraling en hebben een groot potentieel voor fotovoltaïsche zonne-energie. Dit geldt eveneens voor gebieden die weinig last hebben van verhinderende factoren zoals bomen en vooral wolken. Woestijnen zijn de plaats bij uitstek voor een maximale energieomzetting. (EPIA, 2008)

De aanwezigheid van wolken betekent echter niet dat er geen gebruik kan worden gemaakt van fotovoltaïsche zonne-energie. De zonnestrallen worden als het ware 'verstrooid' door de bewolking. Het resultaat hiervan, diffuus licht, wordt gedefinieerd als: "het gelijkmatig uit alle richtingen komende daglicht bij een volledig bewolkte hemel". Bij een heldere hemel is eveneens een klein deel van het instralende licht diffuus. Dit soort licht kan eveneens omgezet worden door fotovoltaïsche zonne-energie, maar minder goed dan directe instraling. In de onderstaande tabel is het aandeel van diffuus licht bij verschillende weersomstandigheden te vinden. In Vlaanderen bereikt jaarlijks ongeveer 60% van het daglicht ons als diffuus.

Weersomstandigheden	Aandeel diffuus licht
Blauwe lucht	10 - 20%
Mistig bewolkt	20 - 80%
Zwaar bewolkt	80 - 100%

Tabel 5.1: Aandeel diffuus licht bij verschillende weersomstandigheden

Het woord 'fotovoltaïsch' is een samenstelling van twee woorden. 'Phos' is het Griekse woord voor 'licht', terwijl 'Volta' de naam van de Italiaanse graaf is die de eerste elektrische batterij uitvond. Met fotovoltaïsch wilt men dus zeggen dat er licht omgezet wordt in elektriciteit. In het Engels wordt het woord 'photovoltaïc' gebruikt. De afkorting hiervan, PV, wordt heel vaak gebruikt wanneer men het heeft over fotovoltaïsche systemen. Vanaf nu zullen we dus praten over PV systemen en PV zonne-energie. (ODE, 2007)

5.2 Werking

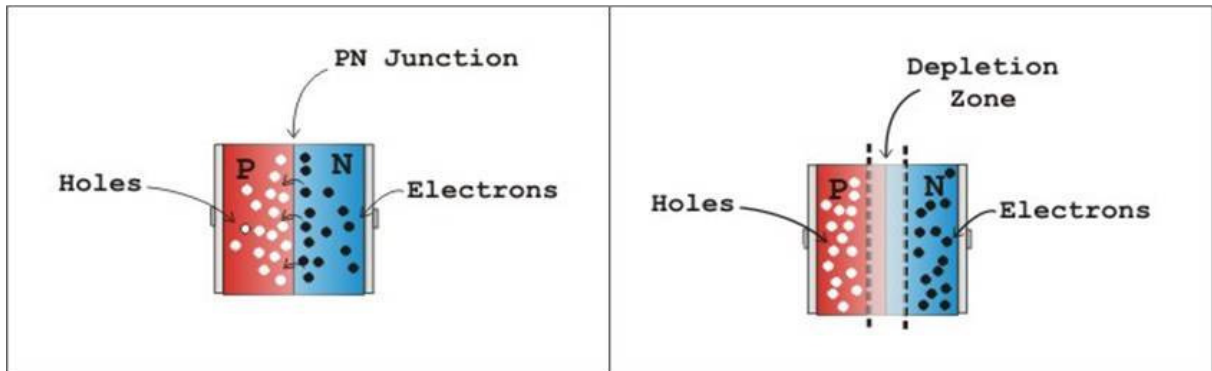
Een fotonvoltatische zonnecel zet licht rechtstreeks om in elektrische energie. Deze cellen worden geproduceerd uit dunne plaatjes halfgeleiders zoals silicium (Si), dat momenteel het meest gebruikt wordt voor deze toepassing. Silicium is het tweede meest voorkomende element op aarde. Wanneer licht invalt op deze halfgeleider, wordt een deel van zijn energie hierdoor geabsorbeerd. Deze energie slaat elektronen los, die dan vrij kunnen gaan bewegen. Deze beweging van elektronen is een elektrische stroom, die opgeslagen en verbruikt kan worden. Dit proces leggen we hier meer in detail uit. (ODE, 2007)

Doordat silicium bepaalde chemische eigenschappen heeft, kan op deze manier stroom gewonnen worden uit zonlicht. Een siliciumatoom heeft veertien elektronen, verdeeld over drie schillen. De twee binnenste schillen zijn volledig gevuld, maar de buitenste schil heeft slechts vier elektronen en is dus maar half gevuld. Een atoom zal echter altijd proberen de octetstructuur te bereiken. Het element zal daarom (covalente) verbindingen vormen met vier nabij gelegen Si-elektronen. Dit geeft aanleiding tot een kristallijne structuur. In zijn pure kristallijne vorm is silicium een slechte geleider voor elektriciteit. Er zullen onzuiverheden aan deze structuur moeten worden toegevoegd, voordat het materiaal goed geleidend kan worden. Dit noemt men het doperen van een halfgeleider. (Aldous, 2009)

Het doperen van een halfgeleider kan op twee manieren gebeuren. Enerzijds kan dit plaatsvinden via het toevoegen van een element met vijf elektronen op de buitenste schil, bijvoorbeeld fosfor. Dit deeltje vormt, net als silicium, een binding met de andere siliciumatomen. Maar omdat een fosforatoom vijf elektronen op zijn buitenste schil heeft, blijft er één elektron over. Deze elektron kan relatief vrij bewegen in de structuur. Dit wordt een N-type doping genoemd, omdat negatieve ladingen (elektronen) een elektrische stroom kunnen geleiden. De andere manier van doperen wordt bereikt door het toevoegen van een element met drie elektronen op de buitenste schil, bijvoorbeeld boor. Hierdoor ontstaan er gaten, waar elektronen van silicium in kunnen springen. Aangezien er een netto positieve lading is bij deze gaten, wordt dit een P-type doping genoemd. Apart zijn beide types halfgeleiders elektrisch neutraal.

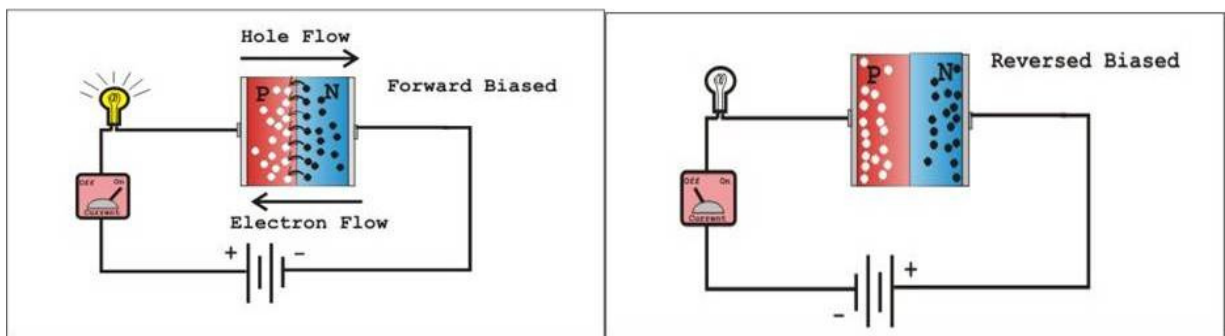
Wanneer deze twee types met elkaar in contact worden gebracht, ontstaat er vlakbij het raakvlak een verplaatsing van elektronen vanuit de N-kant van de junctie (de elektronenrijke plaats) naar de P-kant (de elektronenarme plaats). Hier vindt men de tweede wet van de thermodynamica in terug. De elektronen vormen combinaties met de gaten van het P-type. Dit proces stopt op een bepaald moment, er ontstaat een evenwicht. De elektronen die naar het P-type toe zijn bewogen, zorgen voor een overschot aan positieve ladingen in het N-type. Tegelijkertijd vullen deze elektronen de gaten in de P-kant, waardoor er een overschot aan negatieve ladingen op de P-type kant ontstaat. Deze

verstoring van het evenwicht zorgt ervoor dat er een elektrisch veld (depletion zone, figuur 5.1) ontstaat dat een verdere verplaatsing van ladingsdragers door de junctie verhindert. (Giancoli, 2005)

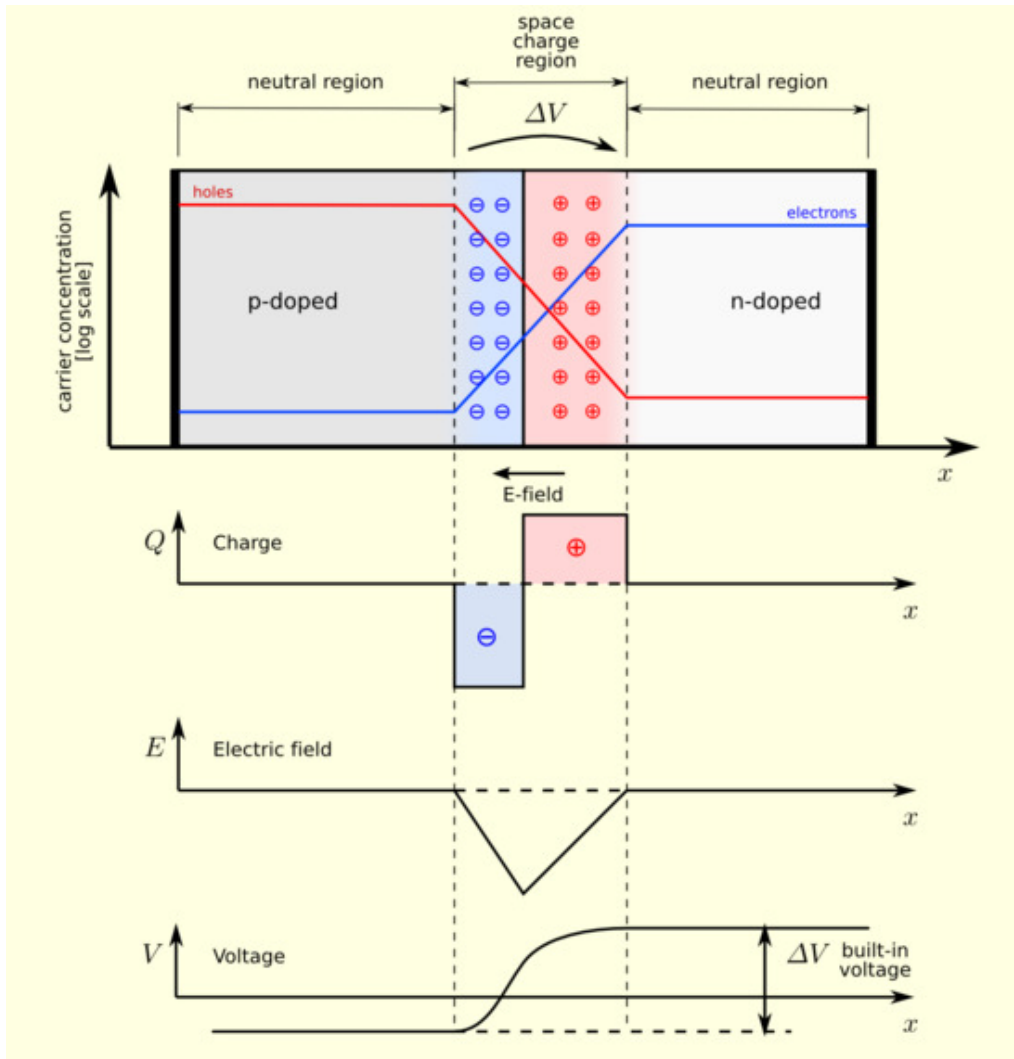


Figuur 5.1: Ontstaan depletion zone (Images SI, 2009)

Dit elektrisch veld gedraagt zich als een diode. Deze diode maakt dat elektronen slechts in één richting door de junctie kunnen stromen, namelijk van de N- naar de P-kant. Dit wordt duidelijk gemaakt in figuur 5.2. Wanneer men een externe vermogensbron aansluit op de diode, zal er alleen een elektronenstroom op gang komen wanneer de negatieve kant van de bron is gekoppeld aan de N-kant van de junctie. Gelijke ladingen stoten elkaar af, zodat de vrije elektronen in de richting van de PN junctie gaan. Aan de P-kant gebeurt hetzelfde met de vrije gaten. Als de spanning groter is dan deze van de depletion zone (meestal 0,7 V bij een siliciumdiode), zal er een elektrische stroom ontstaan. In dit geval is de PN junctie 'forward biased'. Wanneer de vermogensbron omgekeerd aangesloten wordt, zal de diode 'reversed biased' zijn.



Figuur 5.2: Forward en reversed biased (Images SI, 2009)



Figuur 5.3: PN junctie

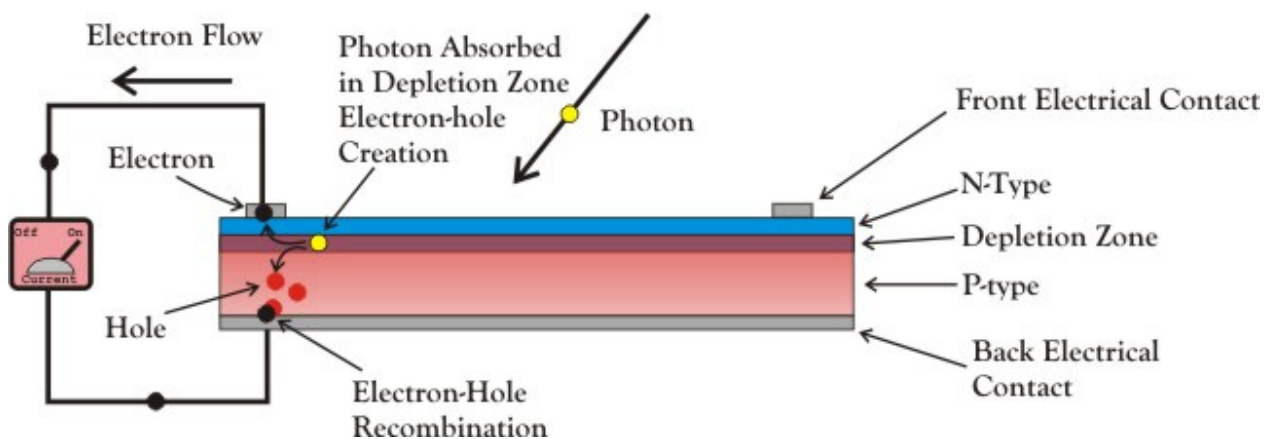
Zichtbaar licht maakt deel uit van het elektromagnetisch spectrum. Dit betekent dat licht zich in een golfbeweging voort beweegt en bijgevolg een bepaalde frequentie heeft. Zonlicht verplaatst zich als kleine pakketjes energie, fotonen genoemd. Het energieniveau van fotonen is echter niet afhankelijk van de intensiteit (m.a.w. het aantal fotonen per seconde), maar wel van de frequentie van de invallende elektromagnetische golf. De formule is als volgt:

$$E = hf$$

h : constante van Planck = $6,626075540 \cdot 10^{-34}$ Js

f : frequentie van de elektromagnetische golf (in Hz)

Om geabsorbeerd te worden door het silicium, moet het foton een bepaald energieniveau halen. Dit noemt men de band gap energie van een materiaal. Wanneer de energie van een foton groter is dan dit niveau, wordt de energie aan een elektron overgedragen. Dit elektron kan zich daardoor losmaken, waardoor er een vrij elektron en een gat ontstaat. Als dit in de buurt van het elektrisch veld gebeurt, zal het veld de elektronen in de richting van de N-kant sturen en de gaten in de richting van de P-kant. Dit veroorzaakt een verdere verstoring van de elektrische neutraliteit. Wanneer er nu een elektrisch geleidende draad wordt aangesloten, kunnen de elektronen zich via deze draad van de N-kant naar de P-kant bewegen. Ze worden namelijk aangetrokken door positieve ladingen (gaten) aan de P-kant. Op deze manier zorgt de elektronenstroom dus voor elektriciteit, terwijl het elektrisch veld voor een spanning zorgt. (Aldous, 2009)



Figuur 5.4: Werking van een zonnecel (Images SI, 2009)

5.3 Soorten zonnecellen

PV zonnecellen worden voornamelijk gemaakt uit kristallijne silicium. In 2007 bestond bijna 90% van de productie uit deze soort zonnecellen. In de toekomst zal echter meer nadruk worden gelegd op dunne film technologieën, die talrijke voordelen hebben ten opzichte van de klassieke, kristallijne zonnecellen. (EPIA, 2008)

5.3.1 Kristallijne zonnecellen

Monokristallijne zonnecellen zijn gemaakt van siliciumschijven. Ze worden uit een groot 'monokristal' gezaagd. Ze hebben een gelijkmatige donkerblauwe of donkergrijze kleur. Qua rendement halen de commercieel beschikbare zonnecellen gemiddeld 15%. Polykristallijne zonnecellen worden eerst

gegoten en dan gezaagd. Tijdens het stollen ontstaan de verschillende kristallen die ervoor zorgen dat de zonnecellen een ongelijkmatig verdeelde, gemarmerde donkerblauwe of donkerpaarse kleur hebben. Het rendement ligt iets lager dan dat van de monokristallijne variant, rond 13%. Het marktaandeel van 90% was in 2007 min of meer evenredig verdeeld over monokristallijne (42,2%) en polykristallijne (45,2%) zonnecellen.

De meerderheid van de kosten komt van de productie van het basismateriaal en het zagen tot siliciumschijven. Men focust zich bijgevolg vooral op dit aspect van het productieproces om de kostprijs van kristallijne zonnecellen te laten afnemen. Dit probeert men te doen door o.a. grotere cellen te produceren, de dikte van de cellen te verminderen en zaagverliezen te verminderen. Deze laatste optie kan men bereiken door siliciumlinten, de zogenaamde 'ribbons'. Deze worden rechtstreeks in de juiste breedte en dikte uit vloeibaar silicium getrokken. Door deze voortdurende verbeteringen, de grote stabiliteit en de hoge mate van betrouwbaarheid zal het marktleiderschap van deze zonnecellen op korte termijn niet in gevaar komen. (EPIA, 2008; ODE, 2007)

5.3.2 Dunne film zonnecellen

Zoals de naam al zegt, maken dunne film zonnecellen gebruik van extreem dunne lagen lichtgevoelig materiaal. Deze materie wordt aangebracht op goedkope stoffen als glas, roestvrij staal of plastic. De laatste twee materialen hebben bovendien het voordeel flexibel te zijn. Het gevolg hiervan is dat de productiekosten, zowel qua grondstoffen als qua arbeid, significant lager zijn dan bij kristallijne zonnecellen. Op dit moment zijn deze zonnecellen echter nog niet in staat om op het gebied van rendement te concurreren met de klassieke kristallijne zonnecel.

Er zijn reeds drie dunne film technologieën die commercieel beschikbaar zijn. Amorf silicium bestaat uit een netwerk van siliciumatomen zonder regelmatig geordend kristalrooster. Met deze soort zonnecellen kan men enerzijds het materiaalverbruik beperken en anderzijds het energieverbruik verminderen door het eenvoudige, continue productieproces. Het rendement is echter slechts de helft van dat van kristallijne zonnecellen. Koper-indium-diselenide CuInSe_2 (CIS) is een stof die men op glas kan aanbrengen om dunne film zonnecellen te creëren. Voor kleine oppervlakten levert dit een stabiel, relatief hoog rendement van 18% op. Naarmate de oppervlakte groter wordt, daalt het rendement echter snel. Bovendien is er een probleem met de beperkte voorraad van de component indium. Een vergelijkbaar resultaat komt naar voor bij cadmiumtelluride CdTe. Dit materiaal wordt al regelmatig gebruikt bij rekenmachines met zonnecellen. Een bijkomend probleem voor deze stof is dat cadmium een giftige stof is. (ODE, 2007)

5.3.3 Andere soorten zonnecellen

Concentrator zonnecellen werken met concentrerende spiegels en lenzen, meestal met een zonnevolgsysteem, om het zonlicht te concentreren op een kleine oppervlakte. Aangezien er slechts weinig materiaal vereist is, kan men gebruik maken van stoffen met een hoog rendement (30% en meer) zoals galliumarsenide GaAs. Het zonnevolgsysteem maakt de constructie echter vrij complex en in tegenstelling tot andere zonnecelsoorten is er een regelmatig onderhoud vereist. Naarmate de kost per eenheid van klassieke zonnecellen daalt, stijgt de relatieve kost van de spiegels en de lenzen en vermindert het kostenvoordeel. Bovendien kan dit systeem geen gebruik maken van diffuus licht, wat het alleen toepasbaar maakt in erg zonnige gebieden.

Voor de ontwikkeling van zonnecellen kan men eveneens gebruik maken van organische materialen. Deze kunnen aangebracht worden op goedkope, flexibele materialen zoals plastic. De Grätzel-cel van de gelijknamige Zwitserse professor is het meest bekende voorbeeld van organische zonnecellen. De productie is eenvoudig, vereist geen hoge temperaturen of dure apparatuur. Doordat er met vloeibaar materiaal wordt gewerkt, vormt er zich echter een probleem van stabiliteit. Bij hoge temperaturen kan de vloeistof beginnen koken, terwijl het bij lage temperatuur kan bevriezen. Het onderzoek focust zich daarom steeds meer op de vloeistofloze varianten van organische zonnecellen. (ODE, 2007)

5.4 PV-systemen

Om een gebouw te voorzien van elektriciteit via fotovoltaïsche zonne-energie is meer nodig dan enkel de zonnecellen. We bekijken in deze paragraaf uit welke onderdelen een PV-systeem bestaat. Hiervoor moeten we echter eerst een onderscheid maken tussen twee soorten PV-systemen.

- *Autonome PV-systemen* produceren elektriciteit voor een elektriciteitsverbruikers die niet gekoppeld zijn aan het elektriciteitsnet. Dit soort systemen kan rechtstreeks aangesloten worden op toepassingen of men kan werken via batterijen, die de energie opslaan voor gebruik op andere tijdstippen.
- *Netgekoppelde PV-systemen* leveren de geproduceerde elektriciteit wel rechtstreeks aan het elektriciteitsnet. Hiervoor dient de gelijkspanning van de zonnecellen eerst omgevormd te worden tot wisselspanning. Het elektriciteitsnet zorgt voor de (virtuele) opslag bij een overschot aan elektriciteit. (ODE, 2007)

5.4.1 Modules

Op zichzelf zijn zonnecellen breekbaar, de metaalcontacten vochtgevoelig en wekken ze slechts een kleine stroom en lage spanning op. Door ze onderling te verbinden via gesoldeerde strips kunnen ze samengebracht worden in een module. Bij een module worden de zonnecellen in serie of parallel aan elkaar geschakeld. Door gebruik te maken van modules kan men de hiervoor vernoemde nadelen doen verdwijnen.

De voorkant van deze module wordt bedekt met een lichtdoorlatende plaat, meestal van glas. De zonnecellen zijn hierdoor beschermd tegen water, dampen, krassen en hagel. Bovendien wordt de module gezuiverd bij regenweer. Bij de achterkant is eveneens de water- en dampdichtheid van belang, evenals de warmtegeleiding. Vaak wordt hiervoor ook glas gebruikt, maar door het grote gewicht van glas stapt men soms over naar speciale soorten folie. Door een aluminiumkader te bevestigen rond de module verzekert zich men van de stevigheid van het geheel.

Een standaard module bestaat uit 36 in serie geschakelde zonnecellen. Het vermogen hiervan schommelt rond 54Wp. Om kostenbesparingen te realiseren gaan producenten steeds grotere modules maken (72 cellen en meer). Ook het esthetische aspect wint gestaag aan belang. Kaderloze modules kunnen bijvoorbeeld in daken, gevels of zonneweringen worden ingebouwd. Modules met aan voor- en achterkant glas, ook wel semi-transparante modules genoemd, kunnen gebruikt worden als zonnewering bij glazen verandadaken of zelfs bij gewone verticale glazen gevels. De ontwikkeling van dunne film modules tenslotte kan ervoor zorgen dat zonnecellen vrij onzichtbaar worden aangebracht op allerlei 'dragere' zoals glasvlakken en dakpannen. (ODE, 2007)

5.4.2 Invertoren

De voornaamste taak van een inverter is het omzetten van gelijkstroom naar wisselstroom. Er zijn echter nog andere zaken waar een omvormer voor instaat. Het zoekt bijvoorbeeld de combinatie van spanning en stroom waarbij het vermogen maximaal is. Dit noemt men het maximum-vermogen-punt (MVP). De regelapparatuur in de inverter controleert verschillende waarden zodat de installatie op het juiste moment opstart en afsluit. Daarnaast staat het apparaat in voor de bewaking van de kwaliteit van de geproduceerde stroom. Het zorgt er bovendien ook voor dat er bij elke lichtinstraling een zo hoog mogelijk omzettingsrendement (minstens 90%) wordt gehaald. Er bestaan drie soorten invertoren, elk met zijn specifieke voor- en nadelen. (ODE, 2007)

- Een *centrale inverter* wordt aangesloten op alle ketens van PV-modules. Voordelen van deze inverter zijn de lage kosten, de gemakkelijke controle en het zeer hoge rendement. Een

serieschakeling van een groot aantal modules heeft echter als nadeel dat bij een defect van één module het opgewekte vermogen van het hele systeem sterk daalt.

- Bij een *serie-invertor* wordt er een invertor geplaatst per keten van PV-modules. Positief aan deze soort inventoren zijn de eenvoudige installatie, het hoge omzettingsrendement, de modulaire opbouw en een goede mogelijkheid tot analyse van meetgegevens. Aangezien er meerdere inventoren nodig zijn, ligt de kostprijs wel hoger.
- Zoals de naam al zegt, worden *module-invertoren* aangebracht aan elke PV-module van het systeem. Het grootste voordeel zijn de lagere installatiekosten en installatietijd door het gebruik van gewone wisselstroombekabeling. Bovendien is het systeemrendement voor geïntegreerde installaties vaak hoger. Deze technologie is echter nog in volle ontwikkeling. De betrouwbaarheid en de levensduur van deze mini-invertoren zijn daardoor nog onbekend.

5.4.3 Andere componenten

Naast de modules en inventoren kan een PV-systeem nog enkele andere componenten bevatten. Een batterij is vooral nodig bij autonome PV-systemen. Nu worden meestal 'loodzuur-batterijen' gebruikt, al vinden steeds meer batterijen die specifiek voor zonnetoepassingen ontworpen zijn hun ingang in de markt. Laatstvernoemde types hebben een levensduur tot 15 jaar. Een laadregelaar is de tussenschakel tussen de batterij en de PV-module. Deze component beschermt de batterij tegen overladen en ontladen. Het brengt eveneens informatie aan over de toestand van het systeem. (EPIA, 2007)

Onder bepaalde voorwaarden zijn PV-eigenaars verplicht een tweede kWh-meter te installeren.¹¹ Hierdoor wordt de opgewekte en verbruikte stroom apart gemeten. Ook een uitgebreider meetsysteem behoort tot de mogelijkheden. Dit wordt 'monitoring' genoemd. Het regelsysteem meet allerlei kenmerken van het PV-systeem en slaat deze gegevens op. Op deze manier kunnen eigenaars controleren of het systeem correct werkt. Er bestaan standaard meetsystemen (globale monitoring), maar ook zeer gedetailleerde en bijgevolg duurdere systemen (analytische monitoring) die veel informatie kunnen verschaffen over de opbrengstverliezen en de defecten van het PV-systeem.

Om de PV-modules stevig vast te zetten op het dak is er een draagstructuur nodig, zodat het systeem beschermd is tegen zware weersomstandigheden. Verder is ook de beveiliging een aspect dat niet uit het oog verloren mag worden bij PV-systemen. Als er reeds een bliksembeveiliging is voorzien, kan

¹¹ Zie paragraaf 9.1.3 Valorisatie elektriciteit

men de draagstructuur en de modulekaders hier aan koppelen. Er kan ook een nieuwe, externe beveiliging geïnstalleerd worden. Vooral de beveiliging tegen 'eilandbedrijf' is cruciaal. Deze situatie doet zich voor wanneer het huishoudelijk of het openbare net onderbroken is door een stroompanne en de invertor toch verder stroom blijft leveren. Door geleiding van het materiaal kan er gevaar zijn voor de mensen die de elektriciteitsvoorziening willen herstellen. Daarnaast kan ook het systeem schade oplopen. (ODE, 2007)

Hoofdstuk 6: Marktsituatie

6.1 WKK

Sinds 1990 wordt er door VITO jaarlijks een inventarisatie gehouden van het totaal opgesteld vermogen aan WKK's in Vlaanderen. De laatste beschikbare WKK-inventaris is deze van het jaar 2007. Hieruit beschrijven we eerst de situatie per soort WKK, waarbij de WKK's met turbines en met motoren apart aan bod komen. Tenslotte geven we een algemeen overzicht van de situatie voor WKK's in Vlaanderen.

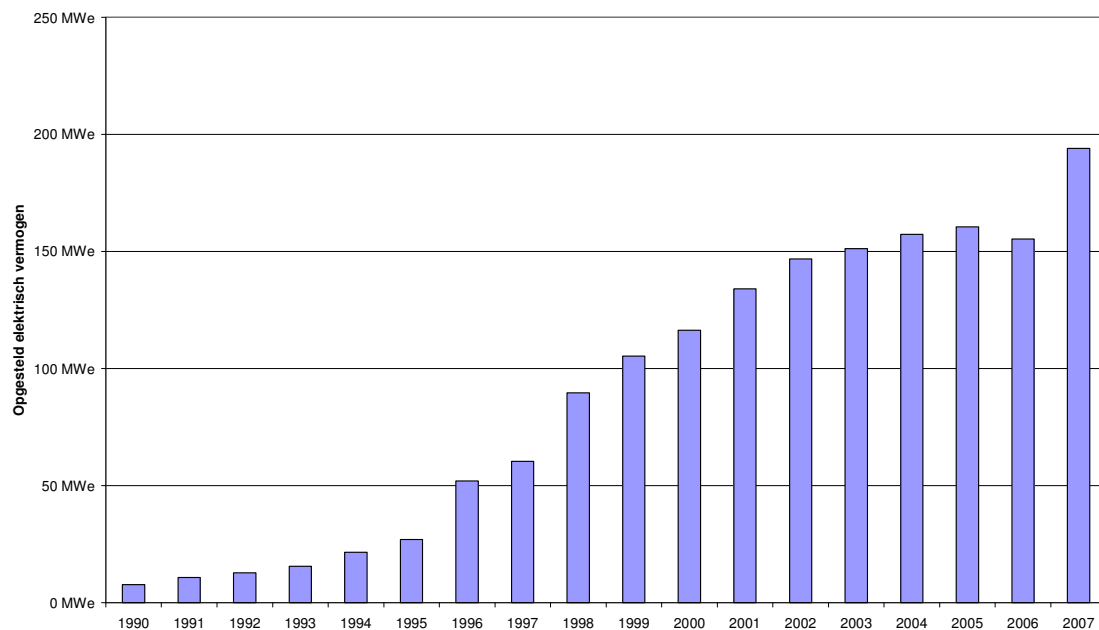
6.1.1 WKK met turbines

In 2007 bedroeg het totaal opgesteld elektrisch vermogen aan gasturbines 333,3 MW terwijl het opgesteld thermisch vermogen op 436 MW komt. Voor de STEG's kwam het totale opgestelde elektrisch vermogen op 864 MW en het totale opgestelde thermisch vermogen op 615 MW uit. Hier komt duidelijk het hoge elektrisch rendement van STEG's naar voren. In 2007 kwam er maar één relatief kleine gasturbine van 7 MWe bij in Vlaanderen. Het aantal gasturbines steeg hierdoor naar 10, terwijl het aantal STEG's (7) onveranderd bleef. De industrie, met de chemiesector op de eerste plaats, neemt bijna 90% van het opgestelde elektrisch vermogen van alle gasturbines en STEG's voor zijn rekening. De overige WKK's staan in de papier-, voedings- en kantoren/residentiële sector. Er is één installatie die zowel op aardgas als op raffinaderijgas kan werken, alle andere installaties hebben enkel aardgas als brandstof. Bij gasturbines en STEG's is het verschil tussen de relatieve primaire energiebesparing bij het totaal opgestelde vermogen en de kwalitatieve WKK's significant, 16,5% tegenover 22,3%. De relatieve energiebesparing werd berekend op basis van de Europese referentierendementen.

Voor WKK's met stoomturbines wordt er een onderscheid gemaakt tussen netgekoppelde en niet-netgekoppelde installaties. De niet-netgekoppelde installaties zijn aanwezig in de procesindustrie, de chemische industrie in het bijzonder, waar enkele grote machines aangedreven worden door de stoomturbines. In 2007 waren er in totaal 17 niet-netgekoppelde WKK's met stoomturbines. Zij stonden in voor een totaal opgesteld elektrisch vermogen van 91 MWe en een thermisch vermogen van 696 MW. Hier tegenover staan 23 netgekoppelde installaties met een totaal opgesteld elektrisch vermogen van 149,5 MW en een thermisch vermogen van 827 MW. Het lage elektrisch rendement van stoomturbines wordt hier duidelijk aangetoond. Net als bij de gasturbines kwam er maar één WKK met stoomturbine bij in 2007. Meer dan de helft van het elektrisch vermogen van de stoomturbines staat in

de chemiesector. Andere belangrijke sectoren zijn de voedings- en non-ferrosector en in mindere mate de papier- en afvalverwerkingssector. De niet-netgekoppelde installaties maken vooral gebruik van recuperatiestoom als brandstof. Deze brandstof wordt in meer dan 35% van alle stoomturbines gebruikt. Bijna de helft van alle WKK's werkt op meer dan één brandstof. Het resterende percentage wordt ingenomen door aardgas. De relatieve primaire energiebesparing bij Europese referentierendementen van kwalitatieve WKK's met stoomturbines bedraagt 21,9% tegenover een overall gemiddelde van 17,9%.

6.1.2 WKK met motoren

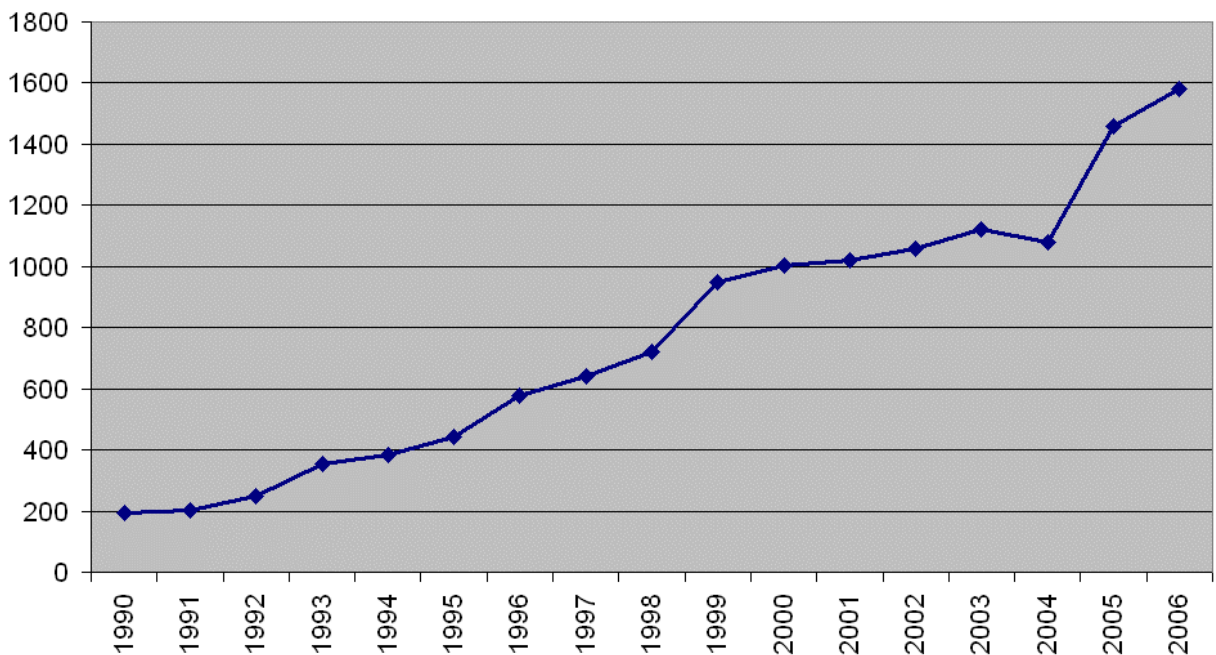


Figuur 6.1: Totaal opgesteld elektrisch vermogen WKK met motoren (in MWe) (VITO, 2009)

In het begin van de jaren '90 valt een bescheiden stijging van het totaal opgesteld elektrisch vermogen van WKK's met motoren op te merken. Vanaf 1995 stijgt deze grafiek meer uitgesproken. Deze stijging zet zich verschillende jaren door en begint pas vanaf 2002 opnieuw af te zwakken. De daaropvolgende jaren blijft het gecumuleerde vermogen hangen rond 150 MWe. Dit duurt tot het jaar 2006. In 2007 nemen we een serieuze verhoging tot bijna 200 MWe waar als gevolg van een groot aantal nieuwe installaties in de land- en tuinbouwsector. Het thermisch vermogen volgt dezelfde evolutie als het elektrisch vermogen. Deze soort WKK's worden vooral gebruikt in de industrie en de tuinbouwsector.

We merken bovendien op dat gemiddelde grootte van de gemiddelde WKK-installatie met motor blijft toenemen. Terwijl een WKK-project in 1990 gemiddeld nog een elektrisch vermogen van 266 kW (29 projecten) had en in 2000 van 813 kW (143 projecten), haalde een WKK-installatie in 2007 een gemiddeld vermogen van 1227 kW (159 projecten). Sinds 1995 is aardgas de meest gebruikte brandstof bij WKK's met motoren. Het aandeel van biogas stijgt gestaag sinds 2000 en neemt in 2007 de plaats van olie over als de tweede meest gebruikte brandstof. Het aandeel van aardgas in het opgesteld vermogen blijft echter zeven keer zo groot als dat van biogas. Het aantal WKK-motoren in samenwerking neemt af sinds 2004 en wordt in 2007 voor de eerste keer sinds lang ook in opgesteld vermogen voorbijgestoken door WKK's in eigen beheer. 70% van het totaal opgesteld vermogen bestaat uit kwalitatieve WKK-motoren. De relatieve primaire energiebesparing bij Europese referentierendementen van deze motoren is aanzienlijk hoger dan de gemiddelde besparing (23,3% tov 17,3%). (VITO, 2009)

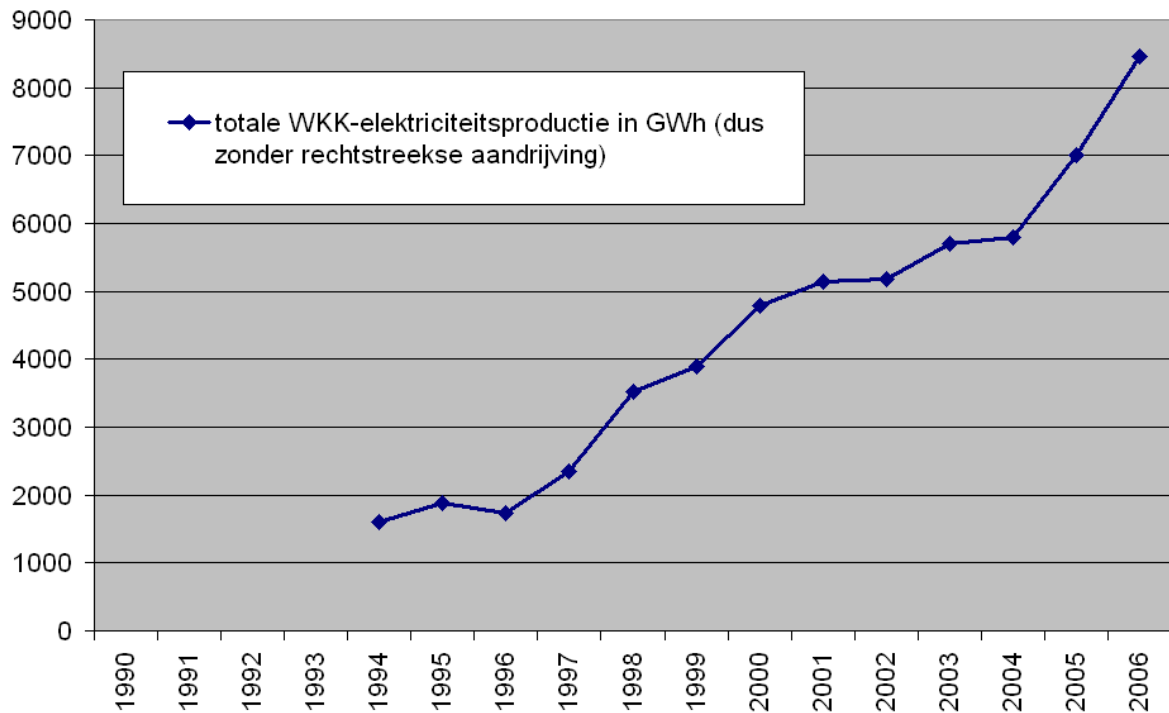
6.1.3 Overzicht



Figuur 6.2: Totaal opgesteld elektrisch vermogen WKK-installaties tot 2006 (in MWe) (VEA, 2009a)

Er waren in 2007 in Vlaanderen 7 grote STEG's met een totaal elektrisch vermogen van 864 MW, 10 gasturbines met een vermogen van 333,3 MWe, 40 stoomturbines met een vermogen van 240,5 MWe en 159 kleinere WKK-projecten met motoren met een vermogen van 195,1 MWe. Als we het totale opgestelde elektrisch vermogen van WKK's met turbines en met motoren samentellen, krijgen we een

totaal opgesteld elektrisch vermogen van 1634 MW. Dat is 52 MWe meer dan in 2006. Als we dit vergelijken met de evolutie van het totaal opgesteld elektrisch vermogen tot 2006 zien we dat de grafiek weer wat afvlakt na de relatieve sterke stijgingen in 2005 en 2006.¹² De stijging is grotendeels toe te schrijven aan de vele nieuwe WKK's met motoren. Dit vermogen zorgt voor een totale elektriciteitsproductie van 9750 GWh/jaar, waarvan 767 GWh/jaar uit bijkomende mechanische productie bestaat. Met een netto elektriciteitsproductie van 8983 GWh/jaar zien we dat ook hier de grafiek opnieuw wat minder sterk stijgt als de voorbije twee jaren. Dit stemt overeen met 14,7% van het bruto elektriciteitsverbruik in Vlaanderen. Qua thermisch vermogen ligt het totale opgestelde vermogen op 2810 MW, wat neerkomt op 16411 GWh/jaar warmteproductie. Voor de referenties van de Vlaamse overheid bedraagt het totale aandeel kwalitatieve WKK 63%, terwijl het volgens Europese normen 53% van het opgestelde vermogen bedraagt. (Vlaamse Milieumaatschappij, 2008)

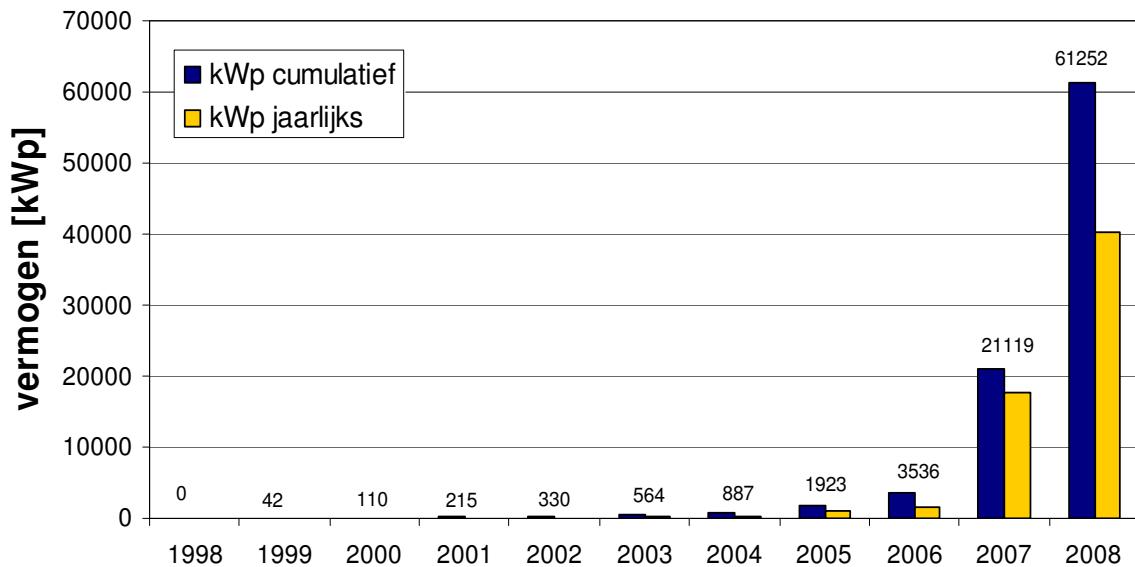


Figuur 6.3: Totale elektriciteitsproductie WKK-installaties tot 2006 (in GWh) (VEA, 2009a)

¹² De stijging in 2005 is echter grotendeels te danken aan een ministerieel besluit van 23/2/2005. Door dit besluit werden WKK-exploitanten verplicht om jaarlijks voor 1 mei de energiecijfers en het opgestelde vermogen mee te delen aan het VEA.

88,4% van het totaal opgestelde vermogen staat in de industrie. Andere relatief belangrijke sectoren zijn (in afnemende grootte-orde) de chemiesector, de tuinbouw, de voedings- en de papiersector. Mede dankzij het grote opgestelde vermogen van de STEG's is aardgas veruit de meest gebruikte brandstof met een aandeel van 81%. Dual fuel (het gebruik van meer dan één brandstof) neemt iets meer dan 10% in, terwijl recuperatiestoom voornamelijk door de niet-netgekoppelde stoomturbine-installaties ook een beperkt aandeel bezit. De totale primaire energiebesparing die WKK ons oplevert bedraagt 4576 GWh/jaar of 16,5 PJ volgens Vlaamse referentierendementen. In Europa gelden echter andere referentierendementen die de totale primaire energiebesparing doen uitkomen op 6736 GWh/jaar of 24,2 PJ. (VITO, 2009; VEA, 2009a)

6.2 PV Zonne-energie



Figuur 6.4: Totaal opgesteld vermogen PV-zonnepanelen tot 2008 (in kWp)

De markt van PV zonne-energie is duidelijk nog erg jong. In 1997 werden de eerste erkende zonnepanelen opgesteld. Sinds de overheid is begonnen met investeren in de marktontwikkeling van deze technologie, is de marktgroei stilaan op gang gekomen. De eerste jaren waren de gevolgen slechts nauwelijks zichtbaar. Het was pas vanaf het moment dat er groenestroomcertificaten (GSC) werden ingevoerd dat het opgesteld vermogen in een stroomversnelling kwam. Vanaf 2003 waren er de certificaten die men diende in te leveren bij transmissienetbeheerder Elia tegen 150 euro per certificaat, die voor een eerste impuls zorgden. Maar het was pas toen de PV-producenten in 2006 een

gegarandeerde minimumprijs van 450 euro per certificaat bij de distributienetbeheerders kregen¹³, dat de markt echt sterk begon te groeien. Van 3536 kWp geïnstalleerd vermogen in 2006, naar 21119 kWp in 2007, tot 61252 kWp in 2008: het gaat duidelijk erg snel voor PV zonne-energie. Er wordt verwacht dat ook in 2009 er nog een sterke groei waar te nemen is. Vanaf 1 januari 2010 daalt de gegarandeerde minimumprijs van zonnepanelen immers van 450 naar 350 euro per certificaat.¹⁴ Dit zal ervoor zorgen dat veel particulieren en bedrijven nog willen profiteren van de hoge minimumprijs en in 2009 PV-zonnepanelen zullen installeren. (ODE, 2009a)

Jaar	Aantal oude GSC	Aantal nieuwe GSC	Totaal aantal GSC
2003	68	0	68
2004	340	0	340
2005	613	0	613
2006	904	91	995
2007	1003	3550	4553
2008	1335	31470	32805
Totaal	4263	35111	39374

Tabel 6.1: Totaal aantal groenestroomcertificaten voor PV zonne-energie

Aan de hand van de groenestroomcertificaten kunnen we afleiden hoeveel elektriciteit er tot nu toe is geproduceerd door de PV-installaties. We gaan er hierbij van uit dat alle PV-producenten GSC zullen aanvragen voor de opgewekte stroom. De premies zijn zo hoog dat slechts weinig particulieren en bedrijven ze niet zullen aanvragen. Bovendien is het overgrote deel van de zonnepanelen pas opgesteld sinds de groenestroomcertificaten zijn ingevoerd, wat de veronderstelling nog versterkt. In werkelijkheid zal de productie echter ietwat hoger liggen dan de cijfers die hier worden gegeven. Eén certificaat stelt een elektriciteitsproductie van één MWh voor. Dat betekent dat volgens de GSC in 2006 bijna 1000 MWh zonne-energie werd geproduceerd, in 2007 was dit iets meer dan 4550 MWh en in 2008 werd er 32805 MWh stroom via zonnepanelen opgewekt. (VREG, 2009c)

¹³ Zie paragraaf 9.1.1 Groenestroomcertificaten

¹⁴ Zie hoofdstuk 10: Nieuw Vlaams energiesubsidiebeleid

Jaar	Aantal PV-installaties
1997	2
1998	3
1999	17
2000	23
2001	72
2002	108
2003	103
2004	171
2005	247
2006	417
2007	2713
2008	12703

Tabel 6.2: Aantal PV-installaties in Vlaanderen dat in aanmerking komt voor GSC

Het aantal PV-installaties volgt dezelfde trend als de elektriciteitsproductie en het opgesteld vermogen. Tot 2003 was er sprake van een trage groei. Tussen 2003 en 2006 versnelde de groei, waarna het aantal PV-installaties vervolgens spectaculair steeg vanaf 2006, grotendeels door toedoen van de vele kleine, particuliere investeringen in zonnepanelen. In november 2008 werd de 10000ste fotovoltaïsche installatie in Vlaanderen in dienst genomen. Tegen het eind van het jaar was dit verder gestegen tot 12703 installaties. Ook hier wordt verwacht dat de groei blijft aanhouden in 2009, terwijl in 2010 en de daaropvolgende jaren de groei waarschijnlijk minder sterk zal zijn. (VREG, 2008a; VREG, 2009d)

Hoofdstuk 7: Kosten

In dit hoofdstuk maken we een inschatting van de huidige en toekomstige kosten van WKK- en PV-installaties. Het is essentieel hierbij te onderkennen dat deze inschatting gebeurt op basis van cijfergegevens die beschikbaar zijn gesteld door producenten en belangenorganisaties. Vooral voor WKK's is het zeer moeilijk om eenduidige waardes te verschaffen, gezien de grote verschillen in de energievraag van projecten en tussen de technologieën onderling. Voor het voorspellen van de toekomstige kosten werd voor PV zonne-energie een beroep gedaan op de kennis van prof. Jean Manca, verbonden aan de Universiteit Hasselt en het IWT, en Jo Neyens, werkzaam bij ODE en secretaris van BelPV. Voor WKK was dit prof. Annick Dexters, verbonden aan de KHLim en Cogen Vlaanderen. Bij prof. Dexters en prof. Manca werd er een semi-gestructureerd interview afgenomen. De interviewnota's zijn te vinden in bijlage 6.

7.1 WKK

7.1.1 Huidige kosten

We delen de kosten van een WKK-project op in eenmalige investeringskosten en terugkerende werkings- en onderhoudskosten.

7.1.1.1 Investeringskosten

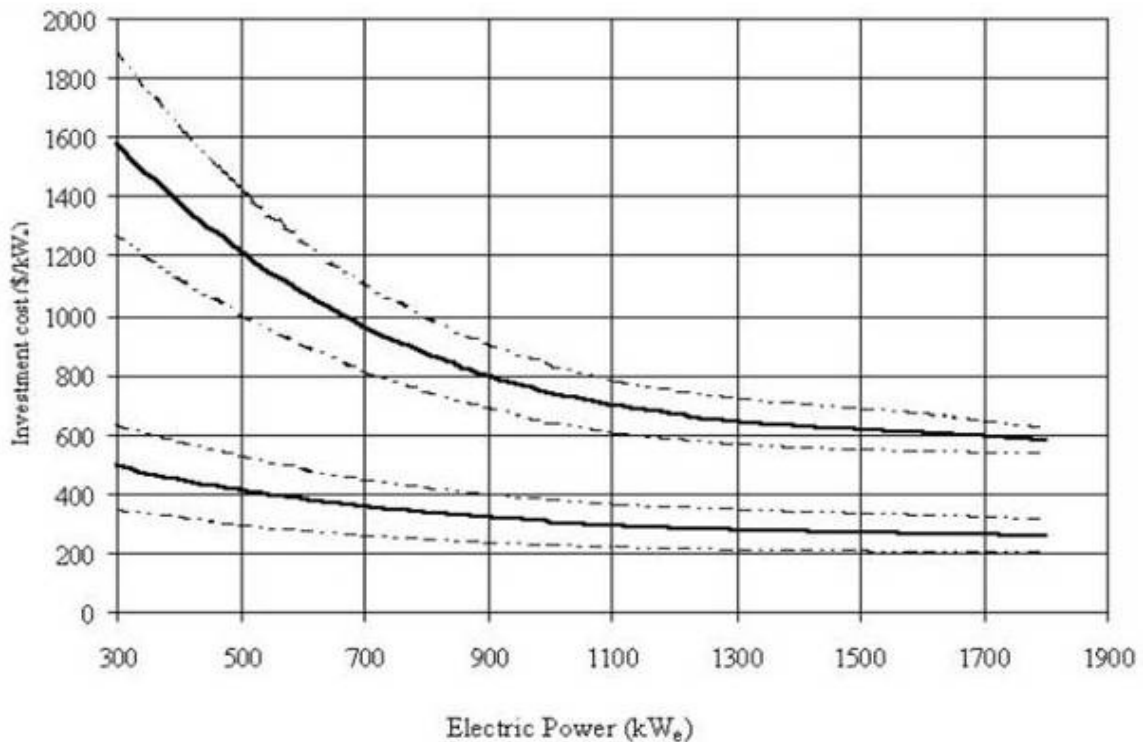
De investeringskosten kunnen eveneens verder worden onderverdeeld.

- Uitrustingskosten zijn alle kosten die gepaard gaan met de aankoop van de installatie en het vervoer naar de site. Deze kosten zijn afhankelijk van de gebruikte technologie en van de specificaties van de installatie. Voorbeelden zijn kosten voor onder andere het motorblok, de generator, een warmterecuperatiesysteem, een uitlaatgassysteem, filters, geluidsdemping, vervoer, ...
- Installatiekosten zijn afhankelijk per project. De belangrijkste kosten op dit gebied zijn installatievergunningen, aankoop van het terrein en sanering ervan indien nodig, bouwkunde, constructie en bouw van de uitrusting, documentatie en bouwtekeningen.
- Projectkosten zijn de ontwerpkosten en professionele dienstverleningskosten voor de analyse, planning en ontwikkeling van een WKK-systeem. Kosten van deze aard houden onder andere

in: kosten voor milieuvergunningen, milieustudies, het beheer van het project, gedetailleerd ontwerp, keuringen, inspecties, wettelijke kosten, opleidingskosten,...

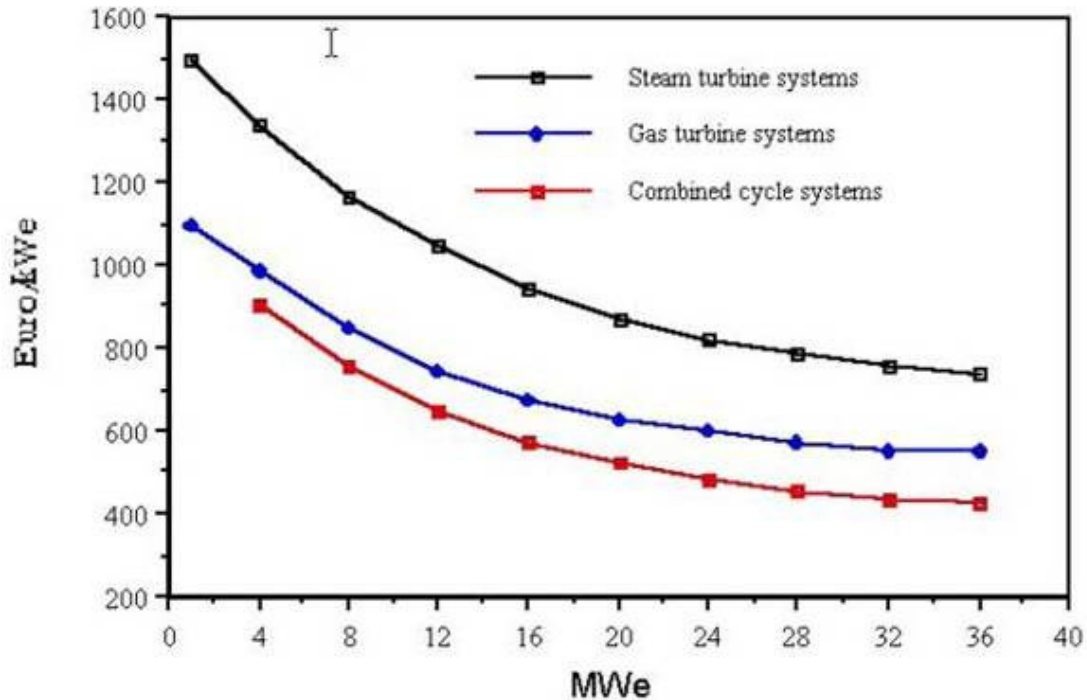
Het is aangewezen dat men voor de start van een project rekening houdt met onvoorziene omstandigheden en de daarbijhorende kosten. Zo is men bij het berekenen van de haalbaarheid beschermd tegen eventuele tegenslagen. Deze risicopremie bedraagt best zo'n 15 à 20% van de totale investeringskost.

Zoals we in de inleiding van dit hoofdstuk al aangaven, is het zeer moeilijk een inschatting te maken van de kosten die gepaard gaan met een WKK-project. Dit is vooral te wijten aan het feit dat WKK's altijd afgestemd worden op de specifieke vraag naar warmte en elektriciteit van de eigenaar. Een WKK-project met een grote nood aan thermische energie zal bijvoorbeeld voor bijstook in zijn installatie zorgen. Bovendien zijn er meerdere WKK-technologieën die onderling verschillen qua prijs. Dat verklaart waarom in de onderstaande figuur een 'onzekerheidszone' is aangebracht in de vorm van stippellijnen. Deze zorgen voor een marge van 20% rond de geschatte kostprijzen. De onderste lijn geeft de kosten voor enkel de WKK-module met zuigermotor weer, terwijl de bovenste lijn een inschatting maakt voor de complete WKK-installatie.



Figuur 7.1: Kostprijs van kleinschalige WKK-modules en -installaties (in \$/kW_e) (Cogen Vlaanderen, 2006)

Terwijl de vorige figuur een beeld gaf van de kosten bij een relatief kleine WKK-installatie, geeft de volgende figuur een ruwe schatting voor grotere WKK's en een idee van de verschillen tussen WKK's met stoomturbines, gasturbines en gecombineerde cycli.



Figuur 7.2: Kostprijs van verschillende soorten middelgrote WKK's (in euro/kWe) (Cogen Vlaanderen, 2006)

Het segment van de micro-WKK's, WKK's met een elektrisch vermogen kleiner dan 50 kW, zit nog volop in zijn ontwikkelingsfase. Er lopen op dit moment verschillende grootschalige demonstratie- en testprojecten in o.a. Nederland en Groot-Brittannië. Eerdere tests werden gebruikt om ervaring op te doen met de werking van micro-WKK's in praktijksituaties. Hierdoor kon het ontwerp van de installaties verder verbeterd worden. Een marktintroductie van micro-WKK's wordt echter pas in 2010 verwacht. Een schatting van 2000 à 2500 euro/kWe op basis van gegevens van de Duitse producent EAW¹⁵ is dan ook zeer voorlopig te noemen. De toekomstige kostenevolutie zal grotendeels afhangen van de marktadoptie en de steunmaatregelen van de overheid. (Cetinkaya & Lemmens, 2008)

7.1.1.2 Werkings- en onderhoudskosten

Deze kosten hangen in zekere mate af van beslissingen die in de ontwerp- en constructiefase worden genomen. Ze kunnen eveneens onderverdeeld worden in verschillende kostengroepen.

¹⁵ Bijlage 7: Prijslijst micro-WKK's

- Brandstofkosten zijn meestal de belangrijkste werkingskost, met een belang dat kan gaan tot 80% van de totale werkingskosten. In hoofdstuk 6 Marktsituatie zagen we dat in Vlaanderen aardgas veruit de meest gebruikte brandstof is van WKK-installaties. De prijs die ervoor wordt betaald, verschilt echter in functie van de grootte van de afnemer. Naarmate de afnemer groter is, worden de afnamevolumes groter en daalt de kostprijs per eenheid.
- Uitbatingskosten bestaan voornamelijk uit personeelskosten die nodig zijn voor de bediening en uitbating van het WKK-systeem. Deze kosten verhogen indien er gebruik wordt gemaakt van een afgassenketel of van een vaste brandstof. Kleinere uitgaven ten gevolge van uitbating zijn smeerolie, toevoegwater en chemicaliën.
- Onderhoudskosten zijn eveneens afhankelijk van op voorhand gekozen factoren. Zo zullen een zwaar brandstoftype en een vuile omgeving deze kosten doen toenemen, evenals het frequent opstarten en afzetten van de installatie. De beschikbaarheid van bekwaam personeel zal de onderhoudskost daarentegen doen dalen. In de onderstaande tabel vindt u een inschatting van de onderhoudskosten bij de voornaamste WKK-technologieën.

System	Onderhoudskost* (Euro/MWh _e)
Stoomturbine	2.3 – 1.5
Gasturbine	5.4 – 4.6
Gecombineerde cyclus	5.4 – 4.6
Zuigermotor	9.2 – 5.8

Tabel 2.1: Onderhoudskost van verschillende soorten WKK's (in euro/MWh_e)

- Andere werkingskosten hebben een marginaal belang. Deze omvatten onder andere verzekeringskosten, administratieve kosten, managementlonen, belastingen en intrest op een lening (indien nodig).

7.1.2 Toekomstige evolutie

7.1.2.1 Investeringskosten

We verwachten niet dat de investeringskosten in de toekomst in grote mate zullen wijzigen, daarom maken we geen scenario-analyse. Toch lijkt een licht stijgende trend meer waarschijnlijk. Hier zijn enkele argumenten voor te vinden, waarvan de twee belangrijkste zijn:

- Technologieën zoals motoren en turbines bestaan al erg lang. Ze worden gebruikt in auto's en elektriciteitscentrales en zijn volledig ontwikkeld. Bijgevolg kan men geen beroep meer doen op de experience curve, die stelt dat de directe kosten per eenheid dalen bij een stijging van productie van een technologie.¹⁶
- WKK-systemen zijn arbeidsintensief. Bij zowat alle aspecten van WKK's, van ontwerp tot installatie, zijn veel arbeidskrachten vereist. Dit vergt uiteraard in de eerste plaats veel personeelskosten. Deze kosten vertonen op lange termijn een licht stijgende trend.

7.1.2.2 Werkings- en onderhoudskosten

De werkingskosten van een WKK-systeem zijn grotendeels afhankelijk van de brandstofkosten. De meest invloedrijke factor zal dus de prijs van de brandstof zijn. Er zijn echter ook enkele andere factoren die een rol kunnen spelen in de toekomstige werkings- en onderhoudskosten.

- We gaan er nog steeds vanuit dat aardgas de belangrijkste brandstof is voor WKK-systemen. Hieronder wordt de wispelturige opwaartse trend van deze fossiele brandstof in België geschetst. We kiezen voor de gegevens voor middelgrote bedrijven omdat de meeste WKK's zich in dit soort bedrijven bevinden enerzijds en omdat de gegevens voor residentiële gebruikers en grote bedrijven niet volledig beschikbaar zijn anderzijds. (Eurostat, 2009)

Jaar	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Prijs	41.60	42.49	34.63	44.22	63.18	52.50	54.20	52.80	52.70	70.60	68.90	89.80
Evolutie		2%	-23%	22%	30%	-20%	3%	-3%	0%	25%	-2%	23%

Tabel 7.2: Kostenevolutie aardgas voor middelgrote bedrijven (in EUR/MJ)

Deze evolutie geeft natuurlijk geen garantie dat dit ook in de toekomst zal gebeuren. Toch zijn er tekens dat de stijgende trend richtinggevend zal blijven. De ontdekking van nieuwe aardgasvelden is een cruciale factor voor de aanbodzijde. De wereldwijde economische groei aan de ene kant en het aandeel van aardgas in de energievoorziening aan de andere kant zullen bepalen hoe de vraagzijde zal evolueren. We gaan uit van drie plausibele scenario's.

1. Hoge prijsstijging: Er worden weinig of geen nieuwe aardgasvelden gevonden. Aardgas neemt een steeds groter aandeel in als brandstof voor de wereldwijde energievoorziening. De prijs blijft min of meer stabiel tot 2010 (-1% per jaar), waarna de prijs spectaculair begint te stijgen. In de periode 2010-2015 zal dit gemiddeld 6% per jaar zijn, in 2015-2020 8% per jaar, in 2020-2025 10% per jaar, net zoals in de periode 2025-2030.

¹⁶ Zie paragraaf 8.2 Technologisch effect

Jaar	Prijs aardgas
2008	89,80
2010	88,01
2015	117,78
2020	173,06
2025	278,71
2030	448,87

Tabel 7.3: Prijsolutie van aardgas in het scenario 'Hoge prijsstijging' (in EUR/MJ)

2. Gemiddelde prijsstijging: Er worden enkele nieuwe, grote aardgasvelden ontdekt. Het aandeel van aardgas als brandstof voor de energievoorziening blijft stabiel. Na een lichte daling in de periode tot 2010 (-3% per jaar), versnelt de procentuele stijging in de daaropvolgende periodes. Tot 2015 blijft de stijging beperkt tot gemiddeld 4% per jaar. Daarna volgen periodes met stijgingspercentages van 5%, 6% en 7%.

Jaar	Prijs aardgas
2008	89,80
2010	84,49
2015	102,80
2020	131,20
2025	175,57
2030	246,25

Tabel 7.4: Prijsolutie van aardgas in het scenario 'Gemiddelde prijsstijging' (in EUR/MJ)

3. Lage prijsstijging: Er worden verschillende nieuwe aardgasvelden ontdekt. De vraag naar aardgas daalt doordat er wordt overgeschakeld naar andere manieren van energievoorziening. De prijs daalt sterk in 2009 en 2010, gemiddeld 6% per jaar. Ook daarna zal een verhoging van de prijzen slechts mondjesmaat op gang komen. De stijgingspercentages bedragen 2% in het tweede en 3% in het derde decennium.

Jaar	Prijs aardgas
2008	89,80
2010	79,35
2015	87,61
2020	96,72
2025	112,13
2030	129,99

Tabel 7.5: Prijsolutie van aardgas in het scenario 'Lage prijsstijging' (in EUR/MJ)

- Het (exergetisch) rendement van WKK-technologieën zit ongeveer aan zijn toppunt. Door optimalisatietechnieken zullen het thermisch en elektrisch rendement nog enkele procenten kunnen stijgen, maar zonder een 'disruptive technology' zoals de brandstofcellen zal het rendement geen significante stijging meer kennen. Hierdoor zal het brandstofverbruik van WKK's nauwelijks verder dalen.

- De uitbating en het onderhoud van een WKK-installatie is een arbeidsintensief proces. Een groot onderhoud kan tot enkele werkdagen van een onderhoudsteam in beslag nemen, terwijl er voor de uitbating extra personeel nodig kan zijn. Zoals we bij de investeringskosten al hebben aangegeven, verwachten we dat de personeelskosten in de toekomst zullen blijven toenemen.

7.2 PV Zonne-energie

7.2.1 Huidige kosten

Het grote voordeel van fotovoltaïsche zonne-energie is dat er nauwelijks werkingskosten mee gepaard gaan. De zon is voor iedereen gratis beschikbaar, wat maakt dat er geen brandstofkosten zijn. Ook op het gebied van onderhoud zijn er nagenoeg geen kosten. De technische componenten van de installatie vergen geen onderhoud, terwijl de zonnepanelen zelf gereinigd worden door de wind en de regen. Sommige installateurs raden wel aan na 4 à 5 jaar een check-up te doen. Uitbatingskosten zijn niet van toepassing. Er moet dus enkel rekening worden gehouden met de investeringskosten.

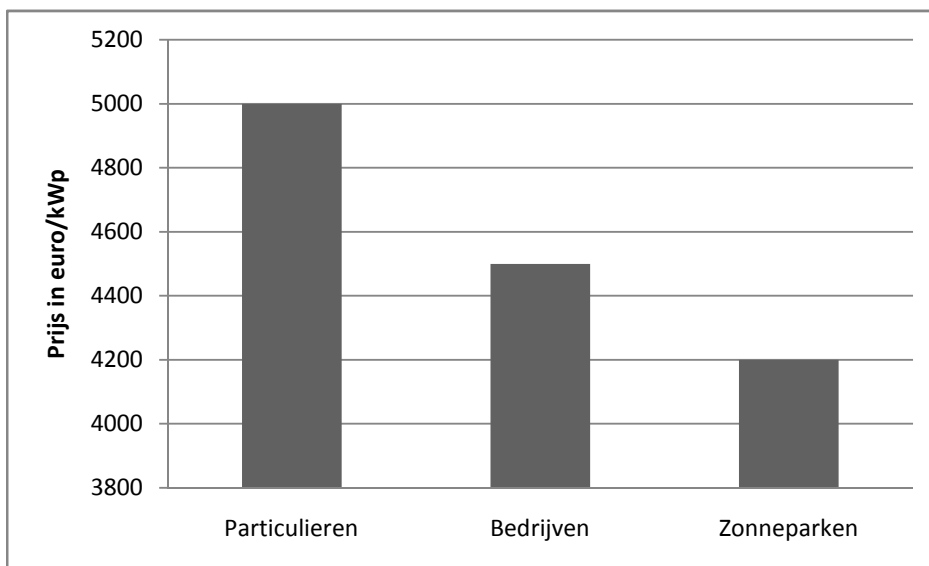
De investeringskosten van een PV-systeem bestaan uit de verschillende componenten van de installatie, die eerder al werden besproken in hoofdstuk 5 Fotovoltaïsche zonne-energie. Ongeveer 80% van de totale kost wordt ingenomen door de panelen zelf. Daarnaast brengt ook de invertor een significante kost met zich mee. Deze bedraagt een tiental procent van de totale kost. Verder zijn ook de plaatsingskosten en de kosten van de montage toebehoren van belang. Andere, kleine kosten zijn onder andere te wijten aan de keuring, kabels en connectoren.

De kosten van een PV-installatie zijn omgekeerd evenredig met de grootte van het systeem. Een grote installatie brengt schaalvoordelen met zich mee. We kunnen de kostprijs van PV-installaties best indelen naargelang de meest voorkomende groottes. Eerst en vooral zijn er de woningen van particulieren. Een normaal gezin verbruikt ongeveer 3000 kWh per jaar. Met een gemiddelde zonneshijn van 850 à 900 uur per jaar in België zou het PV-systeem een vermogen van ongeveer 3,6 kWp moeten hebben. De eerste groep wordt 'Particulieren' genoemd en heeft een vermogen van 1 tot 10 kWp.

De tweede groep zijn bedrijven die PV zonnepanelen installeren. We hebben het hier dan over KMO's en landbouwbedrijven die hun (plat) dak gebruiken voor een PV-systeem. We rekenen voor deze groep op een vermogen van 50 tot 200 kWp. Dit interval wordt gekozen op basis van de referenties van verschillende installateurs. De laatste groep is deze van de PV centrales, ook wel gekend als zonneparken. In Vlaanderen zijn er voorlopig slechts twee van deze centrales, één in Middelkerke (1,3

MW) en één in Lommel (2 MW). Er zijn echter nog twee parken in aanbouw, in Heusden-Zolder (4,5 MW) en in Veurne (2 MW). De laatste groep wordt 'Zonneparken' genoemd en hebben een vermogen van 1 tot 5 MW.

Op basis van de gegevens van Jo Neyens en de offertes van enkele PV-installateurs maken we de volgende indeling tussen de verschillende groepen. We hebben het hier over richtprijzen die begin 2009 van toepassing zijn. De prijzen verschillen van project tot project, van installateur tot installateur. Bovendien veranderen de prijzen van zonnepanelen in sneltempo, zoals we zullen zien in de volgende paragraaf.



Figuur 7.3: Richtprijzen voor PV zonne-energie (in euro/kWp)

7.2.2 Toekomstige kosten

We zagen daarnet reeds dat de zonnepanelen het grootste deel van de investeringskosten van een PV-systeem uitmaken. Het zal van deze kost afhangen hoe de prijzen van PV-installaties in de toekomst zullen evolueren. Sinds de marktintroductie zijn de productiekosten van een zonnepaneel sterk gedaald. Dit is te wijten aan enkele factoren zoals technologische innovaties en verbeteringen, stijgende rendementen van PV zonnecellen, de verlenging van de levensduur en schaalvoordelen.

Een voorbeeld van een technologische innovatie zijn de dunne film zonnecellen. Een technologische verbetering is dan weer te vinden in de evolutie van de dikte van de wafers. Door deze dikte in de periode 2004-2007 terug te brengen van 300 naar 180 μm is de hoeveelheid silicium gedaald van 12 g/Wp naar 9 g/Wp. Hoe minder silicium er verbruikt wordt bij de productie, hoe lager de kosten van de

zonnepanelen zullen liggen. Het gemiddelde rendement van kristallijne zonnecellen steeg de laatste jaren met 0,5% per jaar. Er wordt verwacht dat deze trend zich ook in de volgende jaren doorzet.

De levensduur van zonnepanelen gaat ook steeds verder in stijgende lijn. Terwijl er in de voorbije jaren 20 jaar als minimum levensduur werd voorzien, geven als maar meer leveranciers nu garanties tot 25 jaar. Bijgevolg zal de totale hoeveelheid geproduceerde stroom van het PV-systeem ook stijgen. Schaalvoordelen zijn de laatste belangrijke factor die de kosten van zonnepanelen hebben doen dalen en waarschijnlijk ook verder zullen laten afnemen in de toekomst. Door met grotere productievolumes te werken, kunnen bedrijven grotere hoeveelheden grondstof aankopen en betere interesten bekomen voor investeringen. Bovendien worden de vaste kosten relatief kleiner. (EPIA, 2007)

Om een inschatting te maken van de toekomstige kosten van PV zonne-energie, gaan we uit van drie scenario's, een progressief, gematigd en vertraagd scenario.¹⁷ In het progressief scenario wordt er verondersteld dat bestaande en bijkomende steunmechanismen het snelle groeitempo van de PV zonne-energiemarkt zullen blijven ondersteunen. In de volgende jaren wordt er een groei van 40% verwacht, in de periode 2011-2020 is dit nog altijd gemiddeld 28% en van 2021 tot 2030 wordt dit 18%. Door de vele schaalvoordelen en synergieën zal de prijs van zonnepanelen snel dalen. Bij een gemiddelde zonneshijnduur van 900 uur per jaar verwacht men dat de kost van PV zonnepanelen op de volgende manier zal evolueren.

Jaar	Kostprijs (EUR/kWp)
2007	4900
2010	3900
2020	2250
2030	1450

Tabel 7.6: Prijsevolutie van PV zonnepanelen in het progressief scenario (in EUR/kWp)

Dit betekent dat de kostprijs van de zonnepanelen tussen 2007 en 2010 jaarlijks gemiddeld met 7,5% afneemt, tussen 2010 en 2020 wordt dit 5,5%, terwijl in de periode 2020-2030 jaarlijks een niveau van gemiddeld 4,2% wordt bereikt.

Het gematigde scenario gaat uit van dalende steunmaatregelen van de overheid. Dit zorgt ervoor dat de groei sterker zal vertragen als in het progressieve scenario. De volgende jaren bedraagt de groei 30%, waarna dit in de twee volgende decennia daalt tot respectievelijk 21 en 12%. Een gevolg hiervan is dat de prijs per eenheid vermogen ook minder snel zal dalen. In de eerste periode daalt de kostprijs

¹⁷ De eerste twee scenario's zijn gebaseerd op het 'Solar Generation'-rapport van EPIA. (EPIA, 2007)

met 6% per jaar, in de tweede periode 4,6% per jaar en in de derde periode met 3,5% per jaar. De verwachte daling ziet er als volgt uit:

Jaar	Kostprijs (EUR/kWp)
2007	4900
2010	4070
2020	2550
2030	1780

Tabel 7.7: Prijsevolutie van PV zonnepanelen in het gematigd scenario (in EUR/kWp)

Tegen een achtergrond van een economische crisis en sterk oplopende overheidstekorten moet men echter ook rekening houden met een vertraagd scenario. Hierbij veronderstellen we dat de daling van de kosten de eerstvolgende jaren minder sterk zal zijn dan wordt verondersteld in de twee vorige scenario's. Voor de eerste periode gaan we uit van een afname van 4,5% per jaar. Ervan uitgaande dat de wereldwijde economische groei terug zal aantrekken, zal de daling maar licht verminderen in de periode 2010-2020. We kiezen voor 4% minder kosten per jaar. De periode 2020-2030 wordt gekenmerkt door slechts incrementele verbeteringen en heeft bijgevolg een laag dalingspercentage van 2% per jaar.

Jaar	Kostprijs (EUR/kWp)
2007	4900
2010	4270
2020	2840
2030	2320

Tabel 7.8: Prijsevolutie van PV zonnepanelen in het vertraagd scenario (in EUR/kWp)

Hoofdstuk 8: Argumenten voor overheidstussenkomst

8.1 Vermeden externe kosten

Externe kosten zijn de monetaire inschatting van de onbedoelde en onbeprijde welvaartsveranderingen die derden ondergaan als gevolg van een economische activiteit. Door onze huidige manier van energievoorziening maken we veel externe kosten. Bij de verbranding van fossiele brandstoffen komen er heel wat schadelijke stoffen vrij, die een invloed hebben op verschillende aspecten van ons leefmilieu. Deze materie verdwijnt in de atmosfeer, waar ze door iedereen wordt gedeeld, ook door de niet-verbruikers. Voorbeelden van deze schadelijke stoffen zijn CO₂, NO_x, SO₂, CO, roetdeeltjes, ... Deze stoffen brengen een ernstige vervuiling voor zowel mens als milieu met zich mee en moeten daarom zoveel mogelijk beperkt worden. (Broekx en De Nocker, 2004)

Het belangrijkste bestanddeel dat vrijkomt bij een energievoorziening door middel van fossiele brandstoffen is CO₂. Een gevolg van de wereldwijd snel gestegen emissies van CO₂ is het versterkte broeikaseffect, waardoor onze aarde in versneld tempo opwarmt. In hoofdstuk 1 Inleiding is reeds uitgebreid besproken welke nefaste gevolgen dit teweeg brengt. Als men onmiddellijk reageert zouden preventieve investeringen van 1% van het bruto nationaal product per jaar voldoende kunnen zijn om de ergste gevolgen van de klimaatverandering op te vangen. Als men dit niet doet, zouden de kosten kunnen oplopen tot 5 à 20% van het BNP. (Stern, 2004)

NO_x is de verzamelnaam voor de mono-stikstofoxiden NO en NO₂. Dit bestanddeel komt vrij bij zowat alle verbrandingsprocessen, vooral als gevolg van de verbranding van stikstof in de lucht. Grote hoeveelheden stikstof kunnen wortels van bomen en planten aantasten en nitraten in het grondwater doen toenemen. Bovendien kunnen andere vervuilende stoffen zoals ozon en fijn stof gevormd worden onder invloed van NO_x. Bij inademing reageren deze stoffen met weefsels in ons lichaam, waardoor er directe, tijdelijke effecten op de luchtwegen kunnen ontstaan. Vooral bij gevoelige mensen zoals astmapatiënten kunnen de symptomen vrij ernstig zijn en kan een ziekenhuisopname noodzakelijk zijn. Effecten die minder direct merkbaar zijn zoals een verminderde functie van de longen en een verminderde weerstand tegen infecties, kunnen aanleiding geven tot vroegtijdige sterfte.

Zwavel dioxide (SO₂) komt vrij bij de verbranding van zwavelhoudende brandstoffen zoals steenkool en olie. Een teveel van deze stof in de natuur zorgt voor de verstoring van de zwavelcyclus. Samen met onder andere ammoniak en mono-stikstofoxiden is deze stof verantwoordelijk voor het ontstaan van zure regen, dat gewassen en bepaalde materialen kan aantasten. CO is een kleurloos, reukloos en niet-irriterend gas dat ontstaat bij de onvolledige verbranding van fossiele brandstoffen. CO-

vergiftiging is de meest voorkomende oorzaak van dodelijke ongevallen door vergiftiging in België en zorgt elk jaar voor een honderdtal doden. (Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 2001; Gezondheid, 2009)

Zwevend stof, ook wel bekend als fijn stof, is een mengsel van vloeibare en vaste deeltjes van uiteenlopende samenstelling en afmeting in de lucht, dat ontstaat door verbrandingsprocessen in auto's (vooral dieselmotoren), elektriciteitscentrales en industriële stookinstallaties. De aanwezigheid van zwevend stof in de lucht heeft zowel op korte als op lange termijn negatieve effecten op de gezondheid van de mens. Het aantal ziekenhuisopnames ten gevolge van astma, luchtweg- en hartklachten neemt toe en de gemiddelde levensduur daalt, afhankelijk van de studie, met enkele maanden tot drie jaar. Zwevend stof leidt eveneens tot verwerking en vervuiling van gebouwen, waardoor er sneller nood is aan reiniging en onderhoud. (MIRA, 2007b)

Al deze externe kosten worden niet in rekening gebracht bij de berekening van de prijs van fossiele brandstoffen. Het is echter duidelijk dat deze kosten zo veel mogelijk beperkt moeten worden. Bij het gebruik van PV zonne-energie is er geen brandstof nodig, waardoor de uitstoot tot 0 wordt herleid. Bij WKK zal de vermindering van de emissies ongeveer gelijk zijn aan de brandstofbesparing ten opzichte van de referentiesituatie. De reductie zal schommelen tussen 0 en 30%. Een factor die in het voordeel van WKK's spreekt, is dat aardgas met voorsprong de meest gebruikte brandstof is.¹⁸ Aardgas staat bekend als de meest milieuvriendelijke fossiele brandstof. Het gas is niet zwavelhoudend, er kan dus geen SO₂ door ontstaan. Bovendien komt bij een energie-inhoud van 1 GigaJoule aardgas slechts 57,7 kg CO₂ vrij, terwijl dit ongeveer 75 kg is bij stookolie en 101 kg bij steenkool. (Jantzen en van der Woerd, 2003)

8.2 Technologisch effect¹⁹

In 1970 deed Gordon Moore van chipfabricant Intel de voorspelling dat het aantal transistoren op een computerchip door de technologische vooruitgang elke twee jaar zal verdubbelen. Bijna 40 jaar later blijkt dat zijn voorspelling nog altijd stand houdt. Dit zal natuurlijk niet bij elke technologie gebeuren, maar het toont wel aan dat bij voldoende investeringen een vrij onontwikkelde technologie kan evolueren zodat de verbeteringen significant zijn. Het betekent eveneens dat een bepaalde opkomende

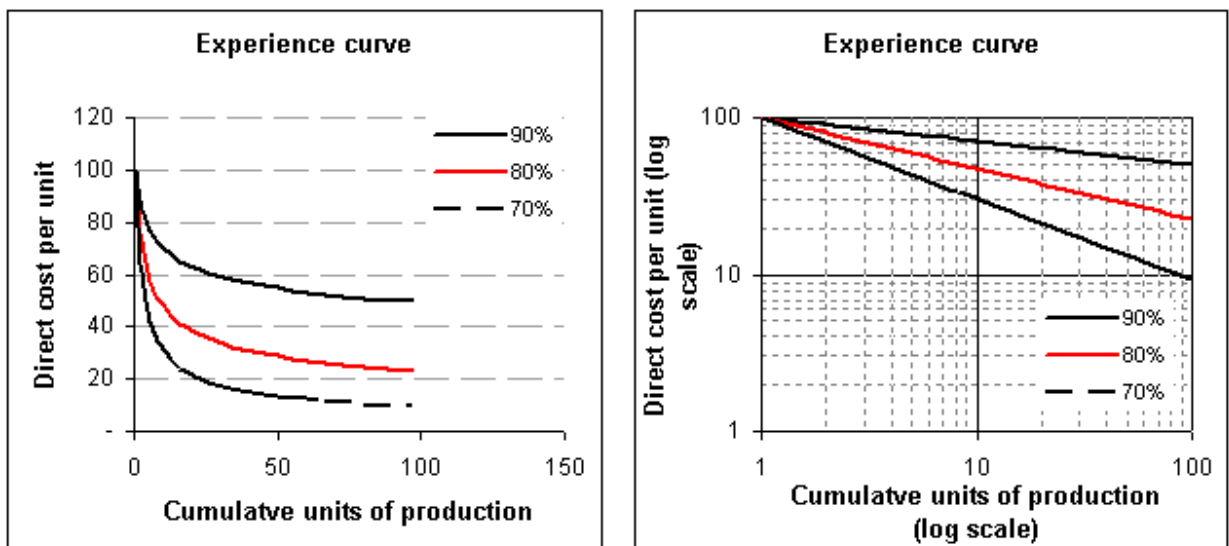
¹⁸ Zie paragraaf 6.1 Marktsituatie WKK

¹⁹ Deze paragraaf wordt meer uitgebreid besproken in hoofdstuk 7 Kosten.

technologie die bij de introductie van zijn levenscyclus onrendabel is, na verloop van tijd rendabel kan worden door de technologische vooruitgang.

In de vrije markt zouden bedrijven hun activiteiten rond deze technologie stop kunnen zetten omdat het te lang duurt vooraleer het project winstgevend wordt of omdat ze er geen marktpotentieel voor vindt. Het is echter mogelijk dat de technologie een hoger doel heeft zoals bijvoorbeeld een betere volksgezondheid of minder milieuschade. Aangezien het de taak van de overheid is om het maatschappelijk optimum te bereiken, moet ze in deze situaties tussenkomen om ervoor te zorgen dat de technologie de nodige ondersteuning krijgt om verder te evolueren. De overheid kan dit op verschillende manieren doen: informeren, belonen/belasten, benchmarken of verplichtingen opleggen. Zo kan ze het ontwikkelingsproces van de technologie op gang brengen of versnellen.

Een belangrijk concept hierbij is de experience curve. Deze stelt dat bij de verdubbeling van de productie van een technologie, de directe kosten per product met een bepaald percentage zullen dalen. Dus hoe meer producten er van een bepaalde technologie gemaakt worden, hoe lager de directe kostprijs ervan zal zijn. Dit komt onder meer doordat er efficiënter gebruik wordt gemaakt van machines, werknemers en de waardeketen. In de beginjaren zal de daling van de kosten sneller evolueren dan in de daaropvolgende jaren. De onderstaande figuren geven enkele experience curves weer waarbij de kostprijs van het product nog 90, 80 en 70% van de vorige kostprijs bedraagt bij een verdubbeling van de productie. In de rechtse figuur worden de cijfers op een logaritmische schaal weergegeven, waardoor men een rechte bekommt. (Chase, Jacobs & Aquilano, 2006)



Figuur 8.1: Experience curve

Alhoewel we de WKK-technologie als een vrij volwassen technologie bestempelen, zijn er nog steeds aanzienlijke mogelijkheden op een verdere marktontwikkeling. In sommige Europese landen zoals Denemarken, Finland en Nederland zijn WKK's reeds volop geïntegreerd. Ze hebben er een marktaandeel van respectievelijk 50, 40 en 30% in de elektriciteitsproductie. In andere Europese landen zoals Griekenland, Ierland en Frankrijk wordt de technologie tot nu toe echter nauwelijks aangewend. Het gemiddelde Europese aandeel van WKK's in de elektriciteitsproductie bevond zich op 11,1% in 2005. Een opvallend feit is dat de landen met een grote concentratie WKK's zich in het algemeen meer noordelijk bevinden dan andere landen. Dit wijst erop dat de warmtevraag één van de belangrijkste factoren is bij het kiezen voor een WKK. Een oplossing kan misschien gezocht worden bij trigeneratie, WKK's die ook voorzien in een vraag naar koeling.

De groei van het WKK-aandeel werd in het begin van dit decennium verhinderd door minder goede marktomstandigheden. De prijs van aardgas, de voornaamste brandstof bij WKK's, nam gestaag toe, waardoor de haalbaarheid van WKK-projecten daalde. Door de vrijmaking van de elektriciteitsmarkt en de verhoogde concurrentie daalde de prijs van elektriciteit, wat eveneens de rendabiliteit van WKK's niet bevorderde. Bovendien waren er in sommige landen drempels tegen de injectie van het surplus aan elektriciteit in het net. Er zullen dus meer (overheids)initiatieven genomen moeten worden om de doelstelling van een aandeel van 18% warmtekrachtkoppeling in de elektriciteitsproductie in 2010 te bereiken. (European Environment Agency, 2009)

PV zonne-energie is een relatief jonge technologie. In het jaar 2000 bedroeg het wereldwijd geïnstalleerd vermogen van PV zonne-energie slechts 1200 MW. Dat was ongeveer even veel als het totaal geïnstalleerd elektrisch vermogen van WKK's enkel in Vlaanderen in dat jaar.²⁰ In 2007 was het vermogen van PV zonne-energie reeds verder gestegen tot meer dan 9200 MW. Sinds 1998 is het globaal geïnstalleerd vermogen met gemiddeld 35% per jaar is gestegen. In hoofdstuk 6 Marktsituatie zagen we dat ook Vlaanderen deze exponentieel stijgende trend volgt. In 2000 was er een vermogen van slechts 110 kWp geïnstalleerd in Vlaanderen, terwijl dit in 2008 meer dan 61 MWp bedroeg.

Er zijn bovendien aanwijzingen dat deze trend niet vlug zal vertragen. In grote wereldeconomieën zoals de Verenigde Staten, Europa, China en Japan investeren bedrijven zwaar in productiefaciliteiten en -technologieën. In hoofdstuk 5 Fotovoltaïsche zonne-energie werden enkele van deze nieuwe technologieën reeds besproken. De aandacht ging daarbij vooral uit naar een lager verbruik van grondstoffen en efficiëntere productiemethodes. Daarnaast hebben verschillende overheden uitgebreide incentiveprogramma's uitgewerkt ter ondersteuning van PV zonne-energie. De wereldwijde

²⁰ Zie paragraaf 6.1.3 Overzicht

strijd tegen CO₂-uitstoot dwingt overheden milieuvriendelijke technologieën te promoten en zonne-energie neemt hierbij een prominente plaats in. (EPIA, 2008)

8.3 Technologisch multiplicatoreffect

Een ander voordeel van investeringen in bepaalde opkomende technologieën is dat het onderzoek voortgezet en zelfs gestimuleerd wordt. De technologie kan hierdoor verbeteren of er kunnen zich nieuwe, betere technologieën ontwikkelen. Andere, gerelateerde technologieën kunnen misschien gebruik maken van deze vooruitgang en ze zelf toepassen om er voordeel uit te halen. Dit heeft als gevolg dat de technologie steeds meer in de schijnwerpers komt te staan, wat positief is voor de bekendheid bij het grote publiek en potentiële consumenten. De voordelen van technologische evolutie blijven dus niet beperkt tot één sector, maar verspreiden zich over verschillende sectoren.

Ook hier heeft de WKK-technologie het nadeel al vrij ver ontwikkeld te zijn. De motoren en turbines die geïnstalleerd zijn in WKK's, worden al jaren gebruikt in andere toepassingen zoals auto's, motorfietsen en stoomcentrales. Op het vlak van efficiëntie en kostprijs staan ze reeds op punt. Er komen echter nieuwe WKK-technologieën aan, zoals bijvoorbeeld Stirlingmotoren en brandstofcellen, die het thermisch en elektrisch rendement van WKK's verder kunnen doen stijgen. Vooruitgang die nuttig kan zijn voor andere sectoren moet vooral van deze WKK-technologieën verwacht worden.

Voor PV zonne-energie is de situatie anders. We zagen in het vorige punt reeds dat dit deze technologie nog in volle ontwikkeling is. Door de dalende kostprijs gaan steeds meer bedrijven investeren in toepassingen waarin PV zonne-energie verwerkt kan worden. Er bestaan al enkele voorbeelden van producten die werken op zonne-energie: rekenmachines, horloges, zaklampen, opladers, ... Bovendien gaat de technologische ontwikkeling in sneltreinvaart voort. Professor Jean Manca (Universiteit Hasselt) vertelde dat hij soms verschillende aanbiedingen per week kreeg om mee te werken aan onderzoeken in verband met zonne-energie. Het potentieel van deze technologie is dan ook erg groot. Zo komen er stilaan dakpannen en ramen waarin zonnecellen verwerkt zijn op de markt. Positieve resultaten van deze introducties zouden alleszins een geweldige stimulans kunnen betekenen voor enkele andere sectoren. (ODE, 2007)

8.4 Sociaal-economisch multiplicatoreffect

De Europese Commissie heeft een erg ambitieus energiebeleid uitgestippeld om wereldwijd een voortrekkersrol te spelen in de strijd tegen de opwarming van de aarde. Eén van de speerpunten is de 20/20/20-doelstelling: tegen 2020 20% energie besparen, 20% minder broeikasgassen uitstoten en

20% van de energie uit hernieuwbare bronnen halen ten opzichte van referentiejaar 1990. Als er een akkoord kwam op mondiaal vlak zou de tweede doelstelling zelfs nog verhoogd worden tot 30%. Studies van toenmalig minister van Leefmilieu Tobback gaven aan dat een verhoging tot 30% een positief effect zou hebben, in het bijzonder op het gebied van werkgelegenheid. (VITO, 2007)

Zowel WKK als PV zonne-energie kunnen onderdeel uitmaken van dit beleid. Producenten kunnen anticiperen op een verdere groei van de respectievelijke markten, waardoor ze op zoek gaan naar personeel om deze technologieën te ontwikkelen en te produceren. Dit creëert werkgelegenheid voor ingenieurs die het product met de hoogst mogelijke kwaliteit tegen de laagst mogelijke kosten moeten ontwikkelen, maar ook voor arbeiders die nodig zijn bij de productie ervan. Verder is er eveneens personeel vereist bij de installatie van het product. Bovendien is er bij WKK's jaarlijks ook een grondige onderhoudsbeurt nodig. We zagen al in hoofdstuk 7 Kosten dat WKK-installaties heel wat arbeidsintensiteit vergen. Als gevolg hiervan gaan er meer mensen werk hebben, waardoor het gemiddeld inkomen en de koopkracht stijgt. Dit heeft een positief effect op de economie in zijn geheel, omdat de consumptie toeneemt en andere sectoren hiervan profiteren.

Een supplementair voordeel op sociaal-economisch vlak is dat er bij een grootschalige implementatie van WKK- en PV-technologie meer kans is om de Kyoto-doelstellingen te bereiken. Deze moeten behaald worden via de zogenaamde flexibele mechanismen, waarvan het International Emissions Trading (IET)-systeem het meest bekende is. De Belgische overheid investeert in CO₂-emissierechten om de Kyoto-doelstellingen te halen. Het geld gaat naar duurzame projecten in landen zoals Chili en El Salvador, die veel minder broeikasgassen de lucht in sturen. Dat moet gebeuren om de noodzakelijke reductie van 7,5% tegen 2012 te kunnen realiseren. Dit overheidsgeld kan beter besteed worden als men meer gebruik gaat maken van WKK- en PV-technologie. In een poging deze kosten voor de belastingbetaler te minimaliseren geeft de Vlaamse regering op dit gebied het goede voorbeeld. Ze heeft beslist maar 20% van het budget aan het aankopen van emissierechten in het buitenland te geven. De overige 80% investeert ze in binnenlandse maatregelen. (FOD VVVL, 2008c; VITO, 2006)

Voordat dit systeem effectief van kracht ging in 2008, werd er in 2005 in de Europese Unie reeds een voorloper van het IET-systeem ingevoerd. Dit systeem werkt uitsluitend met CO₂ als broeikasgas en was enkel voor bedrijven. Hierbij ontvangen energie-intensieve ondernemingen (met een verbrandingscapaciteit van minstens 20 MW) kosteloos een bepaald aantal emissierechten voor de CO₂-emissies van hun installaties. De bedrijven die meer uitstoten dan het emissieplafond dat hen wordt toegewezen, moeten CO₂-emissierechten gaan aankopen bij bedrijven die er te veel hebben. Door het verbruik van brandstoffen (waaraan de CO₂-emissies worden gemeten) te reduceren, bespaart het bedrijf aan kosten voor de emissierechten. Deze kostenvermindering kan het op zijn beurt weer aanwenden voor andere delen van de bedrijfsvoering. (FOD VVVL, 2008d)

8.5 Transgenerationele solidariteit

“Hoe langer men wereldwijd aarzelt om actie te ondernemen, hoe groter het risico op onomkeerbare klimaatveranderingen. De kansen om de broeikasgasconcentraties op een lager niveau te stabiliseren, gaan jaar na jaar verloren. Een uitvoering van alle internationaal overeengekomen beleidsmaatregelen en overeenkomsten, aangevuld met de identificatie van bijkomende engagementen, dringt zich dus op. De klimaatverandering vormt immers de grootste milieu-uitdaging van deze eeuw.” (Vlaamse overheid, 2006)

De Vlaamse Regering weet dat het moment gekomen is om te reageren zodat de volgende generaties een even goed leven kunnen leiden als nu. Een wereldwijde actie tegen vervuilende emissies die begint bij de geïndustrialiseerde landen, kan ertoe bijdragen dat de natuurlijke rijkdommen op deze aardbol niet verloren gaan. WKK-technologie maakt deel uit van deze revolutie door brandstof beter aan te wenden en niet nodeloos kostbare energie te verspillen. Bij PV zonne-energie wordt er bij het gebruik zelfs helemaal geen brandstof verbruikt. Door meer aardgas en –olie over te laten aan de volgende generatie kunnen zij het eveneens voor andere doeleinden aanwenden. Door technologische vooruitgang kunnen er bovendien andere gebruiksvormen voor deze fossiele brandstoffen gevonden worden.

8.6 Transnationale solidariteit

We dienen niet enkel solidair te zijn met andere generaties, we moeten het ook zijn ten opzichte van andere bevolkingsgroepen van de huidige generatie. De prijzen van fossiele brandstoffen zijn de laatste jaren sterk gestegen. Dit gebeurt door de afweging tussen vraag en aanbod. Opkomende economieën zoals deze van China, India en Brazilië hebben steeds meer energie nodig om hun ontwikkelingsproces te laten evolueren. Dit doet de vraag toenemen. Tegelijkertijd is het aanbod uit producerende landen zoals Rusland en Nigeria niet altijd stabiel door politieke, culturele en economische omstandigheden. Dit wekt onzekerheid op bij kopers, waardoor de prijs nog meer gaat stijgen. Deze toenames zorgen ervoor dat een groeiend aantal mensen, in westerse landen maar des te meer in minder rijke landen, zich niet meer kunnen voorzien van een noodzakelijke behoefte aan warmte en elektriciteit. (FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, 2009b)

Door gebruik te maken van WKK's en PV zonne-energie daalt de vraag naar fossiele brandstoffen, waardoor de prijs op de internationale markten zal dalen. Een ander gevolg is dat klimaatverandering minder hard zal inslaan in de arme landen. Uit het rapport van ex-topman van de Wereldbank Nicholas Stern (2006) blijkt namelijk dat de opwarming van het klimaat erger zal zijn voor ontwikkelingslanden dan voor de ontwikkelde landen. Dit komt voornamelijk door twee factoren. Ten eerste zijn deze

landen geografisch minder goed gelegen: het is er gemiddeld gezien warmer en er is een grotere variabiliteit aan regen. Een bijkomend nadeel is dat deze landen in grote mate afhankelijk zijn van de landbouw, die erg aangetast zou kunnen worden. De inwoners verarmen verder, de levensverwachting neemt af. Velen worden gedwongen te verhuizen door extreme weersomstandigheden zoals overstromingen of woestijnvorming. Voor deze landen is het van groot belang dat de toestand zo vlug mogelijk aangepakt wordt. Autonome PV-systemen hebben als extra voordeel dat ze kunnen verder helpen bij de ontwikkeling van deze landen. Afgelegen maar zonnige gebieden kunnen met behulp van deze technologie van elektriciteit worden voorzien. (Stern, 2006)

8.7 Decentrale energieopwekking

Ons huidige elektriciteitsnet is meer dan honderd jaar oud. Het is erop gericht elektriciteit via een verticaal net van hoogspannings-, middenspannings- en laagspanningskabels van grote centrales tot bij de individuele gebruiker te brengen. Door een eigen 'energiecentrale' in huis te nemen, zoals bijvoorbeeld een WKK- of PV-installatie, gaat men naar een meer decentrale productie. Dit zorgt ervoor dat het net op piekmomenten ontlast wordt. Uit een Nederlandse studie blijkt dat de piekbelasting op het distributienet in de zomer 30% en in de winter zelfs 50% kan afnemen bij een meer decentrale productie van elektriciteit. Doordat de stroom nu een hele weg moet afleggen tot bij de gebruikers doen zich transportverliezen voor van 7 à 10%. Deze netverliezen kunnen door een decentrale productie beperkt worden tot 3 à 5%. Bovendien maakt het de klant minder afhankelijk van één centrale, waardoor de beschikbaarheid van elektrische energie vergroot. (VITO, 2008)

De huidige situatie kan men bekijken als eenrichtingsverkeer van producent naar consument. Idealisten zien iedereen zowel producent als consument worden, tweerichtingsverkeer dus. In dit scenario is het mogelijk energie te kopen of te verkopen, naargelang de behoefte of de prijs van het moment. Grote centrales blijven aangesloten op het net, zodat er ingegrepen kan worden bij stroomstoringen of extra elektriciteit geproduceerd wordt op piekmomenten. In deze ideale situatie gaat men efficiënter om met energieverbruik en wordt niet alleen de productie gedecentraliseerd, maar ook de winst. (Sioen, 2008)

Spijtig genoeg is deze revolutie niet alleen maar rozengeur en maneschijn. In sommige delen van Nederland is het nodig om nieuwe investeringen in decentrale productie uit te stellen omdat er zich regelmatig aansluitingsproblemen voordoen. Het regionale net geraakt overbelast omdat er meer elektriciteit aan het net wordt geleverd dan er wordt afgenomen. In de regio van Hoogstraten wordt er veel aan glastuinbouw gedaan, waarbij regelmatig WKK's worden opgesteld. Ook daar dreigt het net meer en meer overbelast te raken. Het grote probleem is dat het netwerk gemaakt is op maat van

een centrale productie. Distributienetbeheerder Eandis ziet onder andere problemen opduiken op het vlak van gelijktijdigheid, spannings- en stroomverschijnselen. Een oplossing is te vinden bij smartgrids. Deze technologie verhoogt de efficiëntie, de veiligheid en de betrouwbaarheid van het distributiesysteem door gebruik te maken van tweerichtingscommunicatie, geavanceerde sensoren en decentrale computers. Het prijskaartje hiervan zou echter hoog kunnen oplopen. Er zouden investeringen in het Europese net van 700 à 800 miljard euro nodig zijn om dit mogelijk te maken. (Cornelis, 2008)

8.8 Verminderde afhankelijkheid

Grondstoffen voor energie zijn regelmatig de oorzaak van conflicten en spanningen tussen bepaalde landen of regio's. "Ik vind het jammer dat het politiek moeilijk is te bevestigen wat iedereen weet: de oorlog in Irak ging grotendeels over olie." zei Alan Greenspan, in navolging van wat veel mensen al lange tijd beweerden. De ex-voorzitter van de Amerikaanse centrale bank is nochtans een Republikein, net zoals president Bush die de oorlog begon. In 2006 sloot Rusland in het midden van de winter zijn aardgasleiding richting Oekraïne tijdelijk af wegens een prijsconflict met de toenmalige (westersgezinde) regering. In januari 2009 gebeurde dat opnieuw, maar nu werd een groter deel van Europa getroffen. Zowat alle Balkanlanden, evenals Griekenland, Oostenrijk en Turkije gebruikten Oekraïne als doorvoerland voor hun gasvoorziening, maar kregen door het conflict minder of zelfs geen aardgas meer geleverd. Door verschillende incidenten duurde het weken vooraleer de gasvoorziening terug normaal verliep. (Paterson, 2007; NRC Handelsblad, 2009)

Europa heeft zelf niet genoeg grondstoffen om aan de vraag naar energie te voldoen. Het is genoodzaakt fossiele brandstoffen in te voeren uit deze minder stabiele regio's. Tegelijkertijd maakt het zich op die manier afhankelijk van deze landen. Tussen 1997 en 2006 steeg de energieconsumptie in Europa met 7%, terwijl de productie met 9% daalde. De toename van de afhankelijkheidsgraad van 45 naar 54% is hieraan te wijten. Door de welvaartsstijging in vooral de Oost-Europese landen gaat de consumptie nog verder toenemen. De productie, waarvan de helft bestaat uit kernenergie en aardgas, zal door de kernuitstap van heel wat Europese landen en de eindigheid van aardgas waarschijnlijk niet meer toenemen. Als gevolg zullen we in de toekomst bij een ongewijzigd energiebeleid nog meer afhankelijk worden van andere regio's.

In België is de situatie zelfs nog benarder. Door het totale gebrek aan grondstoffen wordt er alleen kernenergie en een kleine hoeveelheid industrieel afval en hernieuwbare energie zelf geproduceerd.²¹

²¹ Bijlage 4: Energiecijfers

België heeft daardoor een afhankelijkheidsgraad van 78%, ruim boven het Europese gemiddelde. Dit maakt ons op energievlak extra kwetsbaar voor buitenlandse invloeden. Daarenboven is er sinds 2003 een wet van kracht over de kernuitstap vanaf 2015. De toekomstige afhankelijkheidsgraad zal niet afnemen als we op deze manier blijven doorgaan. We moeten dringend onze energiemix aanpassen, zodat we op een meer autonome manier in onze energiebehoeften kunnen voorzien. WKK en PV zonnenergie kunnen hier een rol van belang bij spelen. (Eurostat, 2008)

8.9 Overzicht

Aangezien het quasi onmogelijk is de waarde van deze voordelen om te zetten in monetaire termen, maken we een intuïtieve tabel aan om het gewicht van deze baten voor de maatschappij voor te stellen. De grootte van waarde wordt hier voorgesteld door het aantal plustekens. De argumentatie achter deze toekenning is te vinden in de voorgaande paragrafen. We merken hierbij op dat de drie eerste voordelen worden beschouwd als het meest belangrijk voor de toekomstige ontwikkeling van de technologie.

+ : licht voordeel

++: gemiddeld voordeel

+++ : groot voordeel

Argumenten voor overheidstussenkomst	WKK	PV zonne-energie
Vermeden externe kosten	+	+++
Technologisch effect	+	+++
Technologisch multiplicatoreffect	+	+++
Sociaal-economisch multiplicatoreffect	++	++
Transgenerationele solidariteit	+	++
Transnationale solidariteit	+	++
Decentrale opwekking	+	++
Verminderde afhankelijkheid	+	++

Tabel 8.1: Overzicht argumenten voor overheidstussenkomst

Hoofdstuk 9: Steunmaatregelen

In dit hoofdstuk zullen we de steunmaatregelen bespreken die door de verschillende overheden zijn uitgevaardigd ten voordele van warmtekrachtkoppeling en PV zonne-energie. Voor een goed overzicht hebben we het eerst over de subsidies die op elke eigenaar van toepassing zijn. Daarna maken we een onderscheid tussen de maatregelen die enkel voor bedrijven en de maatregelen die enkel voor particulieren gelden. Aangezien de overheid meer dan directe vormen van steun kan geven, sluiten we af met een paragraaf over de onrechtstreekse steunmaatregelen.

9.1 Algemeen

9.1.1 Groenestroomcertificaten (PV)

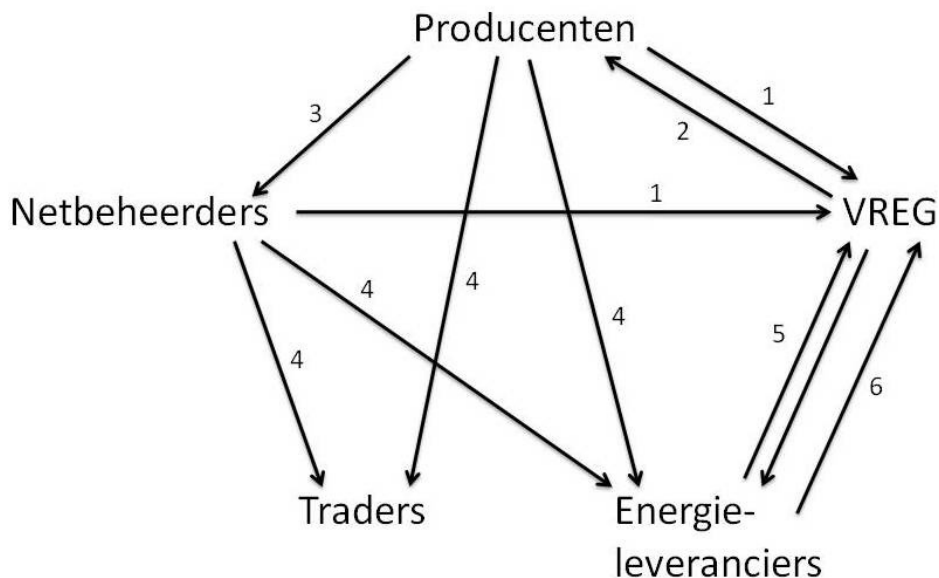
Met het Elektriciteitsdecreet van 17 juli 2000 voerde het Vlaams Gewest een systeem van groenestroomcertificaten (GSC) in. Dit systeem, dat op 1 januari 2002 effectief in werking is getreden, bestaat uit twee delen. Enerzijds moeten de elektriciteitsleveranciers voldoen aan een bepaalde certificatenverplichting, anderzijds kunnen producenten van elektriciteit uit hernieuwbare energiebronnen certificaten verkrijgen. De hernieuwbare energiebronnen die hiervoor in aanmerking komen zijn zonne-energie, windenergie, getijdenenergie, golfslagenergie, waterkracht, geothermie, biogas, stortgas, rioolwaterzuiveringsgas en biomassa.

Eén certificaat staat voor een netto elektriciteitsproductie van 1000 kWh uit een hernieuwbare energiebron, of de stroom nu zelf wordt verbruikt of in het net wordt geïnjecteerd. De Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt (VREG) kent deze certificaten gratis toe aan de producenten en bewaart ze tevens virtueel op een databank. De producent kan ze op zijn beurt verkopen aan leveranciers die nog niet het benodigde aantal gehaald hebben om aan hun certificatenverplichting te voldoen. Indien de producent zelf een leverancier is, kan hij ze uiteraard gebruiken om aan zijn eigen verplichting te voldoen. (VREG, 2009e)

Met behulp van de onderstaande figuur leggen we de werking van het systeem van groenestroomcertificaten in detail uit. Als eerste stap rapporteren de producenten, die eveneens netbeheerder kunnen zijn, maandelijks alle gegevens die nodig zijn om de productie en injectie van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen te bepalen, aan de VREG (1). De VREG reikt dan op basis van deze gegevens groenestroomcertificaten uit aan de producenten (2). Deze hebben twee opties. Ze kunnen de certificaten tegen een wettelijk bepaalde minimumprijs aan de distributienetbeheerders verkopen. Deze minimumprijs bedraagt 80 euro per certificaat, voor waterkracht, getijden- en

golfslagenergie is dit 95 euro. Het speciale geval van zonne-energie wordt later besproken. Als een producent de certificaten niet wil of kan verkopen aan de distributienetbeheerder, kan hij ze ook verkopen aan transmissie-netbeheerder Elia tegen een lagere minimumprijs (3). De producenten en netbeheerders kunnen de certificaten ook op de vrije markt te koop aanbieden bij leveranciers en traders tegen een te onderhandelen prijs (4). Alle leveranciers die beweren groene stroom te leveren aan hun eindafnemers, moeten namelijk maandelijks een aantal GSC inleveren bij de VREG voor gebruik als garantie van oorsprong. De VREG geeft deze certificaten naderhand terug, zodat de leveranciers ze nog steeds kunnen gebruiken voor te voldoen aan hun certificatenverplichting (5).

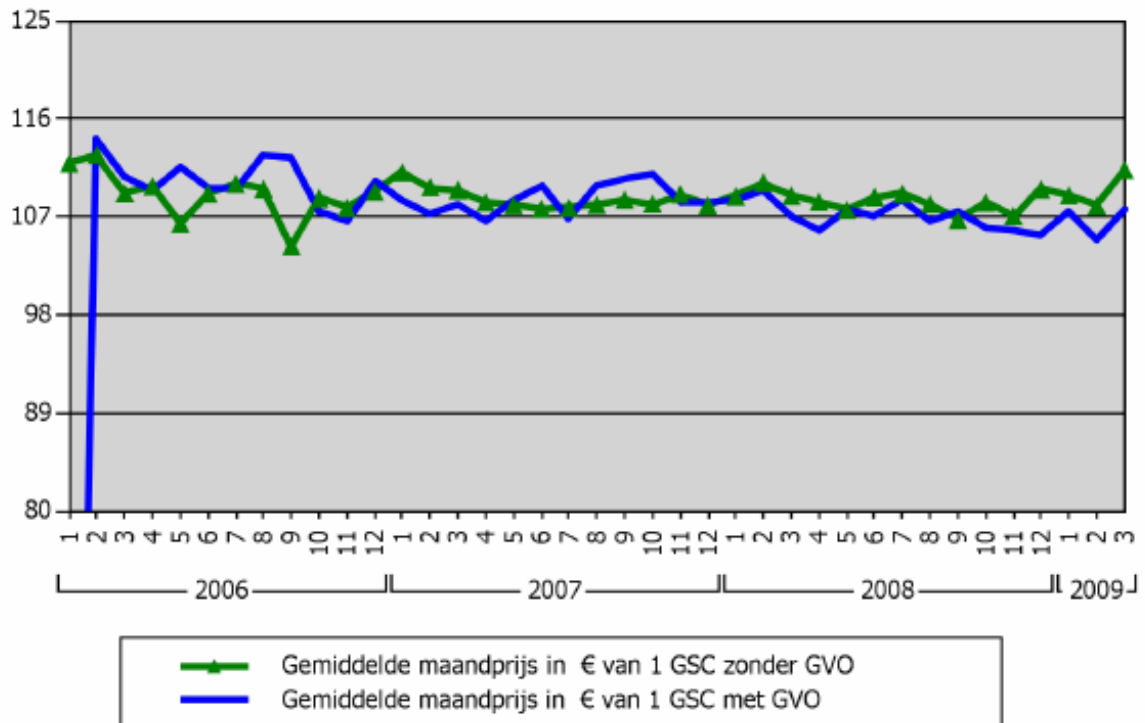
Iedere elektriciteitsleverancier is verplicht om ten laatste op 31 maart een aantal GSC in te leveren bij de VREG. De in te leveren hoeveelheid wordt bepaald door een percentage van de totale hoeveelheid elektriciteit die hij in het jaar ervoor heeft geleverd aan zijn klanten. Om het aandeel groene stroom op een hoger niveau te krijgen, loopt dit percentage jaarlijks op. Toen het systeem werd ingevoerd in 2002 was slechts 0,8% groene stroom vereist, in 2004 was dit 2% en in 2010 dient 6% van de totale hoeveelheid elektriciteit uit hernieuwbare energiebronnen te komen. Wanneer een leverancier niet voldoet aan deze verplichting moet hij een administratieve boete van 125 EUR storten in het Energiefonds van de Vlaamse Regering. Ingeleverde certificaten worden door de VREG uit de handel genomen (6). (VREG, 2009f; VREG, 2009g)



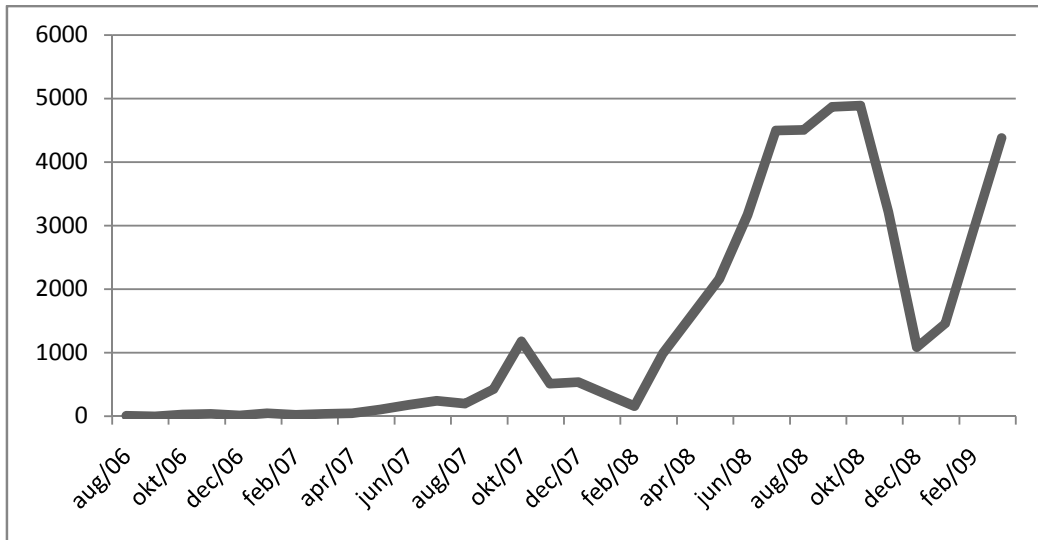
Figuur 9.1: Werking van groenestroomcertificaten

Voor PV-zonnepanelen is er een speciale regeling getroffen wat betreft de wettelijk bepaalde minimumprijs. De GSC die afkomstig zijn van zonnepanelen die na 1 januari 2006 in dienst zijn

genomen, kunnen door de producenten verkocht worden aan de netbeheerder tegen een minimumprijs van 450 EUR per certificaat. De producent kan hiervoor een overeenkomst afsluiten met de netbeheerder. Een dergelijk contract heeft een looptijd van 20 jaar vanaf de indienstname van de installatie. Na deze periode worden nog steeds groenestroomcertificaten toegekend aan deze installaties, maar moeten ze verkocht worden op de certificatenmarkt tegen de marktprijs. Vanaf dan zullen de prijzen waarschijnlijk terug in de buurt liggen van de andere GSC. Op de onderstaande figuur zien we dat de prijs rond 90% van de boeteprijs schommelt. We merken evenwel op dat deze prijs slechts één vierde bedraagt van de gegarandeerde prijs voor de eerste 20 jaar. Er is weinig verschil tussen de prijs van groenestroomcertificaten met en zonder garantie van oorsprong (GVO). (VREG, 2009c)



Figuur 9.2: Gemiddelde prijs voor een groenestroomcertificaat (in EUR) (VREG, 2009c)



Figuur 9.3: Aantal groenestroomcertificaten afkomstig van PV-zonnepanelen (in dienst genomen na 1/1/2006)

We zien dat de hoge minimumprijs voor GSC afkomstig van PV zonnepanelen die in dienst genomen zijn na 1 januari 2006, zijn effect niet heeft gemist. Sinds midden 2007 begint het aantal GSC duidelijk te stijgen met een eerste piek in oktober 2007. In 2008 trok deze stijging zich door. In oktober bereikte het aantal opnieuw een toppunt met bijna 5000 groenestroomcertificaten afkomstig van PV zonnepanelen. In vergelijking met andere hernieuwbare energiebronnen is het belang van zonne-energie echter vrij marginaal. Het aandeel van windenergie op land en biomassa in de totale hoeveelheid GSC zijn vele malen groter dan dat van zonne-energie.

	zonne-energie	windenergie op land	waterkracht	biomassa uit land- of bosbouw	biomassa uit huishoudelijk afval	biomassa gesorteerd of selectief ingezameld afval	biogas - RWZI	biogas - stortgas	biogas - overig
2002	5	44.218	1.678	0	0	54.714	1.501	37.506	10.420
2003	82	58.946	1.863	0	0	96.729	1.833	62.191	69.924
2004	393	95.044	1.926	0	52.464	184.049	1.965	74.897	135.233
2005	715	154.446	2.283	112.443	159.505	304.481	2.620	77.050	154.746
2006	1.356	237.749	2.079	395.506	180.492	424.240	3.472	81.887	101.581
2007	5.576	284.520	2.733	421.389	186.602	488.698	4.342	74.926	172.820
2008	33.424	332.965	3.603	656.542	179.152	526.232	4.723	74.184	185.723
2009	7.047	48.423	685	164.133	32.344	64.059	542	10.244	41.745
TOTAAL	48.598	1.256.311	16.850	1.750.013	790.559	2.143.202	20.998	492.885	872.192

Tabel 9.1: Aantal uitgereikte groenestroomcertificaten per technologie per jaar (VREG, 2009c)

9.1.2 Warmtekrachtcertificaten (WKK)

Sinds 1 januari 2005 is er in het Vlaams Gewest eveneens een systeem van warmtekrachtcertificaten (WKC) van kracht. Dit systeem volgt hetzelfde principe als dat van de groenestroomcertificaten. Er is dus weer sprake van een dubbele functie: enerzijds zijn elektriciteitsleveranciers verplicht een bepaald percentage van hun totale elektriciteit uit kwalitatieve warmtekrachtkoppeling te laten komen, anderzijds kunnen WKK-producenten warmtekrachtcertificaten aanvragen bij de VREG. Eén certificaat staat voor een primaire energiebesparing (PEB) van 1000 kWh in vergelijking met de situatie waarbij warmte en elektriciteit gescheiden worden geproduceerd. De berekening van de PEB gaat als volgt:

$$PEB = E \times [(1/\eta_e) + (\alpha_q/\eta_q\alpha_e) + (1/\alpha_e)]$$

α_q : het thermisch rendement van warmtekrachtinstallatie

η_q : het thermisch rendement van de referentieketel

α_e : het elektrisch rendement van warmtekrachtinstallatie

η_e : het elektrisch rendement van referentiecentrale

E: de binnen de beschouwde periode door de warmtekrachtinstallatie geproduceerde hoeveelheid elektriciteit (MWh)

De 'beschouwde periode' van E is meestal een maand, aangezien de certificaten maandelijks worden toegekend door de VREG. In het Besluit van de Vlaamse Regering van 7 juli 2006²² werden de referentierendementen voor de gescheiden opwekking van warmte en elektriciteit vastgelegd.²³ Voor het elektrisch en thermisch rendement van de WKK-installatie wordt er een onderscheid gemaakt tussen deze met een nominaal elektrisch vermogen kleiner en groter dan 200 kW. Voor de kleine installaties mogen de ontwerpgegevens van deze rendementen gebruikt worden. Bij WKK's met een vermogen groter dan 200 kW worden maandelijks gemiddelden van de operationele rendementen genomen.

De werking van het systeem van warmtekrachtcertificaten is exact hetzelfde als dat van de groenestroomcertificaten. Hiervoor verwijzen we naar de derde alinea van paragraaf 9.1.1

²² Besluit van de Vlaamse Regering van 7 juli 2006 ter bevordering van de elektriciteitsopwekking van kwalitatieve warmtekrachtkoppeling, BS 1 december 2006.

²³ Bijlage 8: Referentierendementen voor de berekening van het aantal warmtekrachtcertificaten

Groenestroomcertificaten. Enkele modaliteiten zijn echter wel gewijzigd. De gegarandeerde minimumprijs die door de distributienetbeheerders betaald moet worden aan WKK-producenten voor een certificaat, bedraagt 27 EUR. Deze verplichting is geldig gedurende 10 jaar na de indienstname van de installatie. De installatie moet hiervoor wel aangesloten zijn op het net en dus niet 'op een eiland' werken. (VREG, 2009h)

Het minimumpercentage WKC voor elektriciteitsleveranciers werd in 2005 vastgelegd op 1,19%, in 2008 moet dit gestegen zijn tot 3,73% en in 2012 tot 5,23%. Als een leverancier er niet in slaagt aan deze verplichting te voldoen, dient hij een administratieve boete van 45 EUR te betalen. Het eerste jaar na de invoering was de prijs voor een warmtekrachtcertificaat nogal volatiel. Nadien stabiliseerde de prijs zich rond 41 EUR per certificaat. Net als bij de groenestroomcertificaten is dit ongeveer 90% van de boeteprijs. Het aantal uitgereikte WKC stijgt jaarlijks bovendien erg sterk. (VREG, 2009i)

Periode	Gemiddelde jaarprijs WKC (EUR)
04/05-03/06	37,37
04/06-03/07	41,17
04/07-03/08	41,48
04/08-03/09	41,24

Tabel: Gemiddelde jaarprijs warmtekrachtcertificaten (in EUR)

Jaar	Aantal uitgereikte WKC
2004	34712
2005	226143
2006	459550
2007	1132905
2008	2052249

Tabel: Aantal uitgereikte warmtekrachtcertificaten per jaar

Niet alle WKC worden echter aanvaard voor te voldoen aan de certificatenverplichting. De installatie moet na 1 januari 2002 in dienst zijn genomen of ingrijpend gewijzigd zijn voor in aanmerking te komen voor warmtekrachtcertificaten. Alleen de eerste 4 jaren na de indienstneming van de installatie zullen WKC worden toegekend voor de volledige besparing. Daarna treedt het principe van 'degressiviteit' in. Dit betekent dat vanaf het vijfde jaar aan slechts X procent van de warmtekrachtbesparing aanvaardbare certificaten worden toegekend. Het overige deel, 100-X procent,

zijn niet-aanvaardbare WKC. De berekening van X werd eveneens vastgelegd in het Besluit van de Vlaamse Regering van 7 juli 2006.²⁴

$$X = 100 \times (RPE - 0,2 \times (T-48)) / RPE$$

RPE = de relatieve primaire energiebesparing, uitgedrukt in procenteenheden, en berekend op basis van de meest recente gegevens bekend bij de aanvraag of bekend na een controle

T = de periode tussen de datum van indienstneming en de productiemaand, vermeld op het warmtekrachtcertificaat, uitgedrukt in maanden.

9.1.3 Valorisatie elektriciteit (WKK en PV)

Door de opkomst van PV zonnepanelen is het aantal decentrale productie-installaties in Vlaanderen de laatste jaren sterk toegenomen. In het geval van PV zonne-energie zijn dit meestal kleinschalige elektriciteitsproductie-eenheden die aan het intern elektriciteitsnet van een woning of een bedrijf worden gekoppeld. Ze worden gebruikt om te voorzien in de eigen vraag naar stroom. Regelmatig wordt er hierbij echter elektriciteit in het net geïnjecteerd. Eigenaars van productie-installaties krijgen hiervoor een compensatie. De modaliteiten rond deze elektriciteit hangen af van de grootte van de installatie. We kunnen ze in twee groepen onderverdelen. (VREG, 2008b)

Eenzijds zijn er de installaties met een nominaal AC-vermogen tot en met 10 kW. In dit geval mag de eigenaar van de installatie zelf de meterstand uitlezen. Hij rapporteert dit via de certificatedatabank of schriftelijk aan de VREG, telkens wanneer de installatie 1000 kWh heeft geproduceerd. De stroom die door de installatie wordt geïnjecteerd in het net, wordt in mindering gebracht van de totale verbruikte hoeveelheid stroom. Het is mogelijk dat er op een bepaald moment meer elektriciteit geproduceerd wordt dan er wordt verbruikt. Het Technisch Reglement Distributie van de VREG bepaalt hiervoor dat de bestaande kWh-meter moet kunnen terugdraaien. Als deze dit niet kan, vallen de kosten voor de aanpassing ervan ten laste van de distributienetbeheerder. Op deze manier wordt de geproduceerde elektriciteit gewaardeerd aan het tarief dat de leverancier normaal aanrekent aan de afnemer. De hoeveelheid en kosten van de elektriciteit die hij in de hoedanigheid van producent voortbrengt, kan hij dus besparen als afnemer. Een niet te verwaarlozen voorwaarde is echter dat deze regeling geldt tot aan zijn totale verbruikte hoeveelheid stroom per jaar. Vanaf het moment dat de

²⁴ Besluit van de Vlaamse Regering van 7 juli 2006 ter bevordering van de elektriciteitsopwekking van kwalitatieve warmtekrachtkoppeling, BS 1 december 2006.

installatie jaarlijks meer produceert dan de eigenaar verbruikt heeft dat jaar, is niet meer automatisch het afgesproken tarief geldig.

Voor installaties met een vermogen groter dan 10 kW geldt een andere regeling. In tegenstelling tot kleinere installaties wordt de productie en het verbruik volledig gescheiden gehouden. Beiden hebben aparte aansluitingspunten en aparte meters. Er moet ook eerst een technische studie door de netbeheerder plaatsvinden voordat de installatie aan het net wordt gekoppeld. De eigenaar dient een elektriciteitsleverancier te vinden die de geïnjecteerde stroom wil overnemen. De prijs die de leverancier hiervoor moet betalen is het onderwerp van onderhandeling tussen beide partijen. In de meeste gevallen zal de prijs die de overnemer betaalt lager liggen dan de prijs die hij aanreken voor de afgenomen elektriciteit. Bij deze grote installaties moeten de eigenaars niet meer zelf de productiegegevens rapporteren aan de VREG, de netbeheerder doet dit op maandelijkse basis in zijn plaats. (VREG, 2008b; VREG, 2009j)

9.2 Bedrijven

9.2.1 Verhoogde investeringsaftrek (WKK en PV)

De federale overheid geeft fiscale steun aan ondernemingen die energiebesparende investeringen uitvoeren. Bedrijven staan in voor ongeveer één derde van het totale nationale energieverbruik. Uit tal van studies blijkt dat het reductiepotentieel van het verbruik van ondernemingen erg groot is. Bovendien blijkt uit Europese studies dat de Belgische industrie op het vlak van energie-intensiteit niet goed scoort in vergelijking met andere landen uit de Europese Unie. De federale overheid hoopt op deze manier de concurrentiële positie van onze industrie, en in de eerste plaats de energie-intensieve industrie, te verbeteren en een grotere duurzaamheid te bereiken. (FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, 2009c)

Een onderneming die bij oprichting of uitbreiding een energiebesparende investering uitvoert, kan onder bepaalde voorwaarden genieten van een investeringsaftrek. Concreet betekent dit dat de belastbare winst van een onderneming verminderd kan worden met een gedeelte van het bedrag van de bedrijfsinvesteringen die uitgevoerd worden in de belastbare periode. Voor energiebesparende maatregelen, waaronder de installatie van een warmtekrachtkoppeling of fotovoltaïsche zonnepanelen, werd dit percentage in 2009 opgetrokken van 13,5 naar 15,5%. Rekening houdend met de vennootschapsbelasting komt dit neer op een reële subsidie van ongeveer 6% via de belasting op de winst. Land- en tuinbouwbedrijven die niet forfaitair belast worden, komen eveneens in aanmerking voor de verhoogde investeringsaftrek. (ODE, 2009b; Ministerie van Landbouw en Visserij, 2009)

9.2.2 Ecologiepremie (WKK en PV)

De Vlaamse overheid geeft ook steun aan bedrijven om de investeringskost van een milieuvriendelijke initiatief te verlichten. Hiertoe werd in 2004 de ecologiepremie ingevoerd. De maatregel had zoveel succes dat de vraag naar de premie het beschikbare budget ruimschoots overschreed. Daarom werd op 16 mei 2007 beslist om de procedure grondig te hervormen. Vanaf augustus 2007 wordt er via een wedstrijdformule beslist wie aanspraak kan maken op deze steunmaatregel.

Ieder jaar worden er een aantal oproepen georganiseerd die elk een bepaald subsidiebedrag hebben. In 2008 waren er drie oproepen met een budget van 25 miljoen euro. Ondernemingen kunnen met één milieuvriendelijk investeringsproject intekenen op deze oproep om 'mee te dingen' naar de premie. Elk project wordt beoordeeld aan de hand van enkele objectieve parameters. De belangrijkste parameter is de performantiefactor, die instaat voor 90% van de totale score. Deze factor bepaalt in welke mate de technologie zal bijdragen aan het bereiken van de Kyoto-doelstellingen of het milieubeleid van de Vlaamse overheid. VITO screende de milieu- en energie-impact van verschillende technologieën met behulp van criteria zoals de reductie van broeikasgassen, lawaai- en geurhinder. In een limitatieve technologieënlijst (LTL) werden een 125-tal technologieën opgesomd die in aanmerking komen voor een ecologiepremie. Deze lijst bevat naast de performantiefactor ook een bondige omschrijving en de geldigheidsduur van de technologie.

De overige 10% wordt toegekend aan factoren die de onderneming zelf onderscheiden. Er wordt gekeken naar de leefbaarheid van de onderneming en in welke mate de investeringen passen in een globale visie ten aanzien van het milieu en duurzaam ondernemen. De drie resterende parameters zijn economische leefbaarheid (3%), toetreding tot het auditconvenant (3%) en het bezitten van een milieucertificaat (4%). Wanneer men al deze scores samentelt, volgt de totaalscore van het project. De totaalscores van alle projecten die binnenkomen per oproep worden samengezet en gerangschikt in afnemende volgorde. De projecten met de hoogste scores krijgen een ecologiepremie toegewezen tot aan het project waarbij de subsidie-enveloppe is uitgeput.

De grootte van het subsidiebedrag is eveneens afhankelijk van enkele factoren. De eerste is de grootte van de onderneming. Kleine en middelgrote ondernemingen kunnen sinds 1 januari 2009 rekenen op subsidie van 40%, terwijl grote ondernemingen 20% steun krijgen.²⁵ Dit percentage wordt genomen op de ecologische meerkost van de investeringscomponenten die in aanmerking komen. De ecologische meerkost zijn de extra investeringen die nodig zijn voor de milieuvriendelijke technologie

²⁵ Kleine onderneming: <50 werknemers, jaaromzet of jaarlijks balanstotaal <10 miljoen euro

Middelgrote onderneming: <250 werknemers, jaaromzet <50 miljoen euro of jaarlijks balanstotaal <43 miljoen euro

Grote onderneming: geen kleine of middelgrote onderneming

in vergelijking met een klassieke installatie die technisch vergelijkbaar is maar waarmee niet hetzelfde niveau van milieubescherming bereikt kan worden. Deze meerkosten werden eveneens gestandaardiseerd en uitgedrukt als percentage van de essentiële investeringscomponenten in de LTL. (Agentschap Economie, 2007)

Voor fotovoltaïsche zonnepanelen bedraagt de ecologische meerkost 30%. Dit betekent dat de grootte van de subsidie kan oplopen tot 20 of 40% van 30% van de investering. Hetzelfde percentage is vastgelegd voor WKK- en trigeneratie-installaties. Dit geldt voor alle soorten WKK, met uitzondering van brandstofcellen. Voor deze laatste is een ecologische meerkost van 80% opgenomen. Bij de installatie van een bio-WKK mag 20 of 40% afgetrokken worden van de helft van de totale investering. De maximale grootte van de ecologiepremie is gelimiteerd op 1,75 miljoen euro. (Luyten, 2008; VEA, 2008)

9.3 Particulieren

9.3.1 Belastingvermindering (WKK en PV)

De federale overheid geeft fiscale steun aan particulieren die energiebesparende investeringen willen doorvoeren in hun woning. Deze belastingvermindering van 40% van de investeringskost is onder andere geldig voor het plaatsen van dakisolatie en de installatie van dubbele beglazing, maar ook voor de vervanging van een oude stookketel door een micro-warmtekrachtkoppelingssysteem en de installatie van PV zonnepanelen. Het is vanzelfsprekend dat de belastingvermindering voor de vervanging van een oude stookketel niet toegekend kan worden bij nieuwbouw. Er is evenwel een maximumbedrag per belastbare periode en per woning voorzien. Voor de installatie van een micro-WKK en alle andere maatregelen bedraagt dit in het aanslagjaar 2010 (inkomstenjaar 2009) 2770 EUR, voor de PV zonnepanelen is dit verhoogd tot een bedrag van 3600 EUR.

Aangezien dit plafond in de praktijk bijna altijd wordt bereikt met één enkele investering, is het aangewezen de energiebesparende investeringen te spreiden over verschillende jaren. Zo kan de particulier maximaal profiteren van de belastingvoordelen. Zowel eigenaars als huurders van woningen kunnen genieten van deze maatregel en ze is bovendien cumuleerbaar met gewestelijke premies. Om zwartwerk tegen te gaan, dienen de werkzaamheden echter uitgevoerd te worden door een bij de Federale Overheidsdienst Financiën geregistreerde aannemer. (FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, 2009d; Vlaamse overheid, 2009b)

9.3.2 Premie van de gemeente (PV)

Heel wat Vlaamse gemeenten geven eveneens een subsidie bij de installatie van PV zonnepanelen. Meestal wordt dit gedaan als een percentage van de totale investeringskost. De bovengrenzen van deze percentages zijn echter laag, variërend van 250 tot 1000 EUR. Daardoor mag deze premie in de praktijk als een vaste premie worden beschouwd. (ODE, 2009c)

9.4 Onrechtstreekse steunmaatregelen

De steunmaatregelen die in de voorgaande paragrafen werden besproken, zijn stuk voor stuk vormen van rechtstreekse subsidies aan gebruikers van de twee technologieën. De overheid gebruikt hierbij zijn wetgevende macht om belastingsverminderingen/beloningen en verplichtingen op te leggen aan producenten van elektriciteit. Ze heeft echter een groter arsenaal aan hulpmiddelen om het gebruik van deze milieuvriendelijke technologieën te promoten.

Eerst en vooral bestaat de taak van de overheid erin zijn bevolking te informeren. Ze kan dit bijvoorbeeld doen door informatiebrochures uit te geven. Voor PV zonne-energie heeft de Vlaamse overheid in 2007 de brochure 'Elektriciteit uit zonlicht' gepubliceerd. Ze deed dit in samenwerking met ODE, Organisatie voor Duurzame Energie. Hierin wordt eerst uitgelegd hoe PV zonne-energie werkt, waarna er meer in detail wordt ingegaan op wat de financiële gevolgen zijn van een installatie. Voor WKK werd er in 2006 een 'Basishandboek Warmtekrachtkoppeling' uitgegeven door Cogen Vlaanderen. Dit handboek behandelt alle aspecten die komen kijken bij de installatie van een WKK.

Cogen Vlaanderen vzw werd opgericht in 2001 en is de overkoepelende organisatie van alle stakeholders in het WKK-gebeuren in Vlaanderen. Het ledenbestand bestaat uit constructeurs, installateurs, gebruikers, eigenaars studiebureaus, energiebedrijven, wetenschappelijke instellingen en zusterorganisaties. De doelstelling van Cogen Vlaanderen is het actief bijdragen aan de ontwikkeling van kwaliteitsvolle WKK in Vlaanderen. Dit doet ze onder meer met behulp van overlegplatformen en expertiseverstrekking. Die expertise wordt gecreëerd en in stand gehouden door studiedagen, conferenties en netwerking. Cogen kan eveneens gevraagd worden voor de begeleiding van concrete projecten. Voor het uitvoeren van dit takenpakket kreeg ze in 2008 een toelage van 100 kEUR van de Vlaamse overheid. (Cogen Vlaanderen, 2009)

BelPV, de sectororganisatie van PV zonne-energie, werd opgericht in 2008. Net als bij Cogen Vlaanderen kunnen alle stakeholders lid worden van BelPV. Het voornaamste doel is de marktontwikkeling van fotovoltaïsche zonne-energie in België. Dit doet ze door gespecialiseerde, actuele informatie naar haar leden te sturen, studiedagen te organiseren en de sector te vertegenwoordigen bij het overleg met overheden, beheerders en de VREG. Ze krijgt hierbij de

steun van ODE vzw, de koepelorganisatie en ledenvereniging voor hernieuwbare energie. Deze organisatie doet algemene informatiecampagnes voor diverse doelgroepen. De 'Elektriciteit uit zonlicht'-brochure is hier een voorbeeld van. In 2008 kreeg ODE dezelfde werkingsubsidies als Cogen Vlaanderen van de Vlaamse overheid. (BelPV, 2009; Crevits, 2008)

Een andere dimensie waarbij de overheid enige vorm van steun kan voorzien, is het (fundamenteel) onderzoek. Dit wordt vooral gedaan op Europees niveau. Een voorbeeld hiervan is 'Intelligent Energy for Europe', wat deel uitmaakt van het Competitiveness and Innovation Framework Programme van de Europese Unie (EU). Dit programma heeft als doel de competitiviteit van de Europese ondernemingen te versterken, met een nadruk op de kleine en middelgrote ondernemingen. Het programma wordt onderverdeeld in drie divisies: ondernemerschap en innovatie, informatie- en communicatietechnologie en intelligente energie. Het energiegedeelte werkt net als de Vlaamse ecologiepremie volgens een call-formule. Voor de call van 2009 is er een budget van 65 miljoen euro voorzien. Er werden al meer dan 400 intelligente energieprojecten ondersteund door dit programma. (Europese Commissie, 2009a)

Het belangrijkste financieringsinstrument voor onderzoek in de EU is het 'Zevende Kaderprogramma voor Onderzoek en Technologische Ontwikkeling'. Dit programma loopt van 2007 tot 2013. Op het gebied van energie is er een portefeuille van 2,35 miljard euro beschikbaar. Men focust zich hierbij op tien activiteiten. Eén activiteit daarvan is de ontwikkeling van hydrogene en brandstofcellen. Er is in totaal 140,5 MEUR voorzien voor deze activiteit, waarvan 28,1 MEUR specifiek wordt voorbehouden voor het onderzoek naar mogelijkheden voor stationaire elektriciteitsproductie en WKK gerelateerd aan deze technologie. Een andere activiteit legt zich toe op hernieuwbare elektriciteitsopwekking. Hierbij wordt er 188,5 MEUR voorzien voor PV zonne-energie. De focus ligt grotendeels op de ontwikkeling van dunne film technologieën. (FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, 2009e; Europese Commissie, 2009b)

Hoofdstuk 10: Nieuw Vlaams energiesubsidiebeleid

Op voorstel van Vlaams minister van Energie Hilde Crevits heeft de Vlaamse Regering intussen beslist het energiesubsidiebeleid ten aanzien van groene stroom verder uit te werken. De doelstellingen en de steunmaatregelen werden vastgelegd tot 2020 om rechtszekerheid te bieden aan iedereen die geïnteresseerd is om te investeren in groene stroom. Er werden tevens enkele randvoorwaarden aangepast, onder andere met betrekking tot fotovoltaïsche zonne-energie.

De belangrijkste doelstelling die werd vastgelegd, is ongetwijfeld deze van het aandeel groene stroom in de totale elektriciteitsproductie. Tegen 2020 moet 13% van de elektriciteit opgewekt worden uit hernieuwbare energie. Eerder werd reeds bepaald dat tegen 2010 6% van de elektriciteit uit groene stroom moet bestaan. Tot 2014 zou dit aandeel jaarlijks met 1% moeten stijgen tot 10%. Vanaf dan wordt er een stijging van 0,5% per jaar verwacht, om zo 13% groene stroom te behalen in 2020. De steunmaatregelen blijven gebaseerd op de opbrengsten van de hernieuwbare energie. Dit wil zeggen dat de steun in verhouding staat tot de feitelijk opgewekte groene stroom en uitgedrukt wordt in groenestroomcertificaten. Hieronder vindt u de gewaarborgde certificatensteun tot en met 2009.

windenergie-op-land (zowel grote als kleine molens)	80€/MWh gedurende 10 jaar
organisch-biologische stoffen (biomassa)	
stortgas uit organisch-biologische stoffen	
organisch-biologisch restafval	
waterkracht	95€/MWh gedurende 10 jaar
getijden- en golfslagenergie	
Aardwarmte (geothermie)	
zonne-energie	450€/MWh gedurende 20 jaar

Tabel 10.1: Gewaarborgde certificatensteun tot en met 2009 (VEA, 2009b)

Groene stroom is nog steeds duurder dan klassiek opgewekte elektriciteit, maar de meerkost wordt in veel gevallen kleiner. Dit is te wijten aan enkele factoren. Enkele hernieuwbare technologieën zoals bijvoorbeeld PV zonne-energie worden goedkoper door technologische vooruitgang. Bovendien wordt verondersteld dat de prijs van 'klassieke' fossiele brandstoffen zoals aardgas en -olie op lange termijn

in stijgende lijn gaat. Ten slotte kan men door de federale herstellwet voor één investering tot vier maal gebruik maken van de belastingsaftrek.

De Vlaamse Regering past de steunmaatregelen aan aan deze evolutie. Zo krijgen zonne-energie, bijstook van biomassa in kolencentrales en restafval minder steun, terwijl on-shore windenergie en biomassa meer steun ontvangen. Hieronder vindt u de nieuwe gewaarborgde certificatensteun. (VEA, 2009b)

bijstook van vaste of vloeibare biomassa in kolencentrales		60€/MWh gedurende 10 jaar	
biogas uit vergisting van restafval, afval- of rioolwaterzuivering(sslib)			
verbranding van restafval			
niet vermelde technieken			
vaste of vloeibare biomassa		90€/MWh gedurende 10 jaar	
biomassa-afval			
niet vermelde biogas			
waterkracht			
getijden- en golfslagenergie			
aardwarmte			
windenergie-op-land			
zonne-energie	2010	350€/MWh	gedurende 20 jaar
	2011	330€/MWh	
	2012	310€/MWh	
	2013	290€/MWh	gedurende 15 jaar
	2014	250€/MWh	
	2015	210€/MWh	
	2016	170€/MWh	
	2017	130€/MWh	
	2018	90€/MWh	
	2019	50€/MWh	
	2020	10€/MWh	

Tabel 10.2: Gewaarborgde certificatensteun vanaf 2010 (VEA, 2009b)

Hoofdstuk 11: Conclusies

We hebben vier van de vijf deelvragen van de centrale onderzoeksvraag in de voorgaande hoofdstukken uitgebreid besproken. In dit hoofdstuk zullen we proberen tot een algemene conclusie te komen, waaruit enkele aanbevelingen voor de overheid en voor verder onderzoek kunnen voortvloeien. Eerst worden er besluiten getrokken voor de drie parameters die we in deze eindverhandeling hebben onderzocht. We behouden de volgorde die in de tekst is gebruikt: eerst de marktsituatie, dan de kosten en als laatste de argumenten voor overheidstussenkomst. Vervolgens richten we onze blik op de overheidssteun die momenteel van toepassing is op warmtekrachtkoppeling en PV zonne-energie en de wijzigingen die recentelijk daarin zijn aangebracht door de Vlaamse Regering voor de periode 2010-2020. Tenslotte komen we dan tot een brede, algemene slotconclusie waarin de drie parameters vergeleken worden met de steunmaatregelen.

11.1 Marktsituatie

Met een netto elektriciteitsproductie van 9000 GWh is warmtekrachtkoppeling een gevestigde waarde in de Vlaamse elektriciteitsproductie. WKK-installaties nemen daarmee bijna 15% in van het elektriciteitsgebruik in Vlaanderen. Nadat de groei rond de eeuwwisseling begon te stagneren, zorgden stimulerende beleidsmaatregelen voor een heropleving vanaf 2005. In 2007 leek het effect van deze initiatieven alweer tanende te zijn. De groei van het totaal opgestelde elektrisch vermogen kwam in dat jaar uit op iets meer dan 3%. Er kwamen vooral relatief kleine WKK's met motoren bij. Samen met het feit dat bijna 90% van het geïnstalleerd vermogen bestaat uit eerder grote WKK's met turbines, wijst dit erop dat de markt voor grote installaties in bedrijven stilaan verzadigd geraakt. Dit betekent dat WKK-producenten zich steeds meer op kleinere installaties moeten gaan richten.

Voor de rendabiliteit van WKK-projecten is het noodzakelijk dat er nuttig gebruik kan worden gemaakt van de geproduceerde warmte. WKK-producenten moeten dus op zoek gaan naar plaatsen waar er in de eerste plaats een vraag naar warmte is. De overtollige stroom kan altijd aan het net worden geleverd, al dient men dit toch zo veel mogelijk te beperken wegens het gevaar voor overbelasting. Plaatsen met een behoorlijk grote warmtevraag zijn ziekenhuizen, appartementsblokken, rusthuizen en (subtropische) zwembaden. Verder kunnen ook gebouwen met een minder grote warmtevraag in aanmerking komen voor WKK-installaties. We denken hierbij aan voetbalstadions (met verwarmde grasmat), cinemazalen, winkelcentra, school- en kantoorgebouwen. Particuliere woningen zijn natuurlijk ook een optie, maar daarvoor moeten we de evolutie van micro-WKK's afwachten.

De situatie voor fotovoltaïsche zonne-energie is helemaal verschillend. Het aandeel van PV zonne-energie in de elektriciteitsproductie was in 2008 nog steeds verwaarloosbaar klein (<0,1%) te noemen. Sinds enkele jaren is het totaal geïnstalleerd vermogen in Vlaanderen nochtans exponentieel toegenomen. In 2007 was er een stijging van 600% ten opzichte van 2006, een jaar later was dit opnieuw 300%. Uit het aantal installaties kunnen we afleiden dat de meerderheid van de PV-systemen op woningen van particulieren worden geplaatst. In 2008 bedroeg de gemiddelde elektriciteitsproductie 2,6 MWh per installatie. Dit is iets minder dan het verbruik van een doorsnee gezin. Op basis van de marktsituatie komen we tot de conclusie dat PV zonne-energie een jonge technologie is, die volop in de groeifase zit. Door de beperkte schaalvoordelen en de aanzienlijke marktgrootte denken we dat de focus van PV zonne-energie best op de particuliere consument blijft liggen.

11.2 Kosten

De installatie van een WKK-systeem is een serieuze investering, die heel diverse kosten met zich meebrengt. Het apparaat zelf bestaat uit verschillende onderdelen, maar daarnaast zijn het vooral diensten die de kostprijs doen oplopen. Het is bijgevolg erg belangrijk dat het project een aanzienlijke grootte heeft, anders zal deze laatste kost relatief zwaar doorwegen. WKK's met motoren zouden best een vermogen van minstens 1 MW hebben, voor WKK's met turbines wordt dit zelfs enkele MW. Aangezien we hier spreken van een volwassen technologie, wordt verwacht dat de kosten van deze grote installaties niet zullen afnemen. Bij een succesvolle marktintroductie zou dit wel kunnen gebeuren voor micro-WKK's.

Een niet te verwaarlozen kostengroep bij WKK-projecten zijn de werkings- en onderhoudskosten. De werkingskosten worden vooral beïnvloed door de brandstofkosten. Tot aan de economische crisis namen de prijzen van fossiele brandstoffen de laatste jaren een hoge vlucht. De prijs van aardgas bijvoorbeeld verdubbelde op 10 jaar tijd. We verwachten dat in de toekomst deze opwaartse trend zich zal voortzetten. Hoe sterk deze trend zal zijn, hebben we uitgewerkt in drie plausibele scenario's. Het onderhoud van de installatie is afhankelijk van het gekozen systeem. WKK's met veel bewegende onderdelen en zwaardere brandstoffen vereisen een frequenter en diepgaander onderhoud dan de andere soorten. Bij een systeem met een elektrisch vermogen van 1 MW en een werkingsduur van 6000 uur kan de onderhoudskost oplopen tot 55000 EUR. Dit zou een kost van iets meer dan 9 EUR/MWh zijn, terwijl de productiekost van elektriciteit tussen 30 en 40 EUR/MWh ligt.

Net zoals bij de marktsituatie is ook op het gebied van de kosten de situatie voor PV zonne-energie helemaal anders. Er moet enkel rekening gehouden worden met de investeringskosten, er zijn geen werkings- of onderhoudskosten. Bij PV zonne-energie zijn de investeringskosten zeer hoog. Op dit

moment liggen ze ruim boven de investeringskosten van WKK's. Maar de laatste jaren daalde de prijs van PV zonnepanelen sterk en er wordt verwacht dat deze trend zich zal blijven doorzetten. In welke mate dit zich zal voordoen, is afhankelijk van verschillende parameters zoals de marktevolutie, de ontwikkeling van nieuwe technologieën en steunmaatregelen van de overheid. We gaan uit van een progressief, een gematigd en een vertraagd scenario. Door de economische crisis en de oplopende begrotingstekorten hebben de laatste twee scenario's aan waarschijnlijkheid gewonnen.

Een opvallend verschil tussen WKK en PV zonne-energie zijn de schaalvoordelen die bij WKK veel prominenter aanwezig zijn dan bij PV zonne-energie. Uitgedrukt in euro per kW bedraagt het verschil tussen een installatie met een elektrisch vermogen van enkele kW en enkele MW bij PV zonne-energie slechts 16% van de prijs. Voor WKK daalt de prijs bij een grote installatie met 75% en meer ten opzichte van een kleine installatie. Als tegenargument kan opgeworpen worden dat micro-WKK's nog in hun ontwikkelingsfase zitten, waardoor ze vrij duur zijn. Desondanks is dit een belangrijke reden waarom er voornamelijk grote WKK-installaties en kleine PV-installaties worden geplaatst.

11.3 Argumenten voor overheidstussenkomst

We bespreken hier kort alle argumenten die pleiten voor een overheidstussenkomst ten voordele van WKK en PV zonne-energie. Aangezien de helft van alle argumenten gerelateerd zijn aan de negatieve gevolgen bij het gebruik van fossiele brandstoffen, zullen we deze eerst bespreken. Daarna volgen de laatste vier argumenten. Tot slot presenteren we een intuïtieve tabel met de appreciatie per technologie.

1. Vermeden externe kosten: De uitstoot van verschillende vervuilende stoffen zorgen voor allerlei kosten op het gebied van klimaat, gezondheid en milieu. Het versterkte broeikaseffect ten gevolge van de verhoogde CO₂-uitstoot is erkend door nagenoeg de hele academische wereld, terwijl het Stern-rapport duidelijk maakte dat de kosten ervan hoog kunnen oplopen. Andere stoffen die vrijkomen bij de verbranding van fossiele brandstoffen, zoals NO_x en zwevend stof, tasten de volksgezondheid aan. Zwaveldioxide wordt uitgestoten bij de verbranding van stookolie en diesel. De zure regen die kan ontstaan als gevolg van deze stof, heeft vooral negatieve effecten op het milieu.
2. Transgenerationele solidariteit: We dienen te denken aan de wereld die we nalaten aan toekomstige generaties. We moeten ze niet opzadelen met de zojuist besproken negatieve gevolgen van onze huidige energievoorziening. Bovendien kunnen zij deze grondstoffen misschien op een nuttigere manier aanwenden.

3. Transnationale solidariteit: Daarnaast is het eveneens van belang om solidair te zijn met andere landen. Door de vraag naar fossiele brandstoffen te laten afnemen, zal de prijs van deze producten ook dalen. Dit is aantrekkelijk voor minder ontwikkelde landen. De klimaatverandering tegenhouden is overigens het meest voordelig voor deze landen, aangezien de negatieve effecten daar het eerst en het hardst zullen toeslaan. Bovendien kunnen autonome PV-systemen afgelegen gebieden overal ter wereld van elektriciteit voorzien.
4. Verminderde afhankelijkheid: Het laatste aan fossiele brandstoffen gelinkte voordeel is de toegenomen onafhankelijkheid ten aanzien van naties en regio's die deze stoffen in hun bezit hebben. Landen als Nigeria en Irak bijvoorbeeld zijn politiek minder stabiel en door toedoen van Rusland kwam een groot deel van Oost-Europa in de winter van 2009 nog zonder aardgas te zitten.
5. Technologisch effect: Dit effect legt uit hoe de kosten van technologieën bij een toegenomen productie na verloop van tijd kunnen afnemen, meer bepaald voor WKK en PV zonne-energie. Dit kan verschillende oorzaken hebben. De productie kan op een efficiëntere manier gebeuren, er kunnen technologische verbeteringen en innovaties ontstaan, schaalvoordelen, ...
6. Technologisch multiplicatoreffect: Ook niet-gerelateerde sectoren kunnen gebruik maken van een verdere ontwikkeling van deze technologieën. Hierdoor kunnen deze producten misschien op een meer kostenefficiënte manier geproduceerd of gebruikt worden en komt tegelijkertijd de technologie meer in de schijnwerpers te staan.
7. Sociaal-economisch multiplicatoreffect: Door te investeren in WKK- en PV-technologie stelt men op verschillende niveaus mensen aan het werk. Hooggeschoolden werken aan een verdere ontwikkeling van de technologie, terwijl laaggeschoolden instaan voor de productie, de installatie en eventueel het onderhoud. Door de verminderde CO₂-uitstoot kan er bovendien bespaard worden op CO₂-emissierechten.
8. Decentrale opwekking: Door een grootschalige integratie van WKK en PV zonne-energie zal de structuur van de elektriciteitssector veranderen van een centraal naar een meer decentraal netwerk. Hierdoor zal de piekbelasting van het distributienet verminderen, evenals de transportverliezen.

Bij op één na alle besproken argumenten voor overheidstussenkomst is het voordeel groter voor PV zonne-energie dan voor WKK. Aangezien WKK's op een efficiëntere manier elektriciteit produceren, wordt het brandstofverbruik beperkt. In de meeste gevallen wordt er echter nog steeds gebruik gemaakt van fossiele brandstoffen, terwijl dat bij PV zonne-energie niet het geval is. Bovendien zijn de

technologische mogelijkheden van PV zonne-energie veel groter dan van WKK. Doordat PV-systemen veeleer klein zijn en dichtbij de gebruiker worden geïnstalleerd, zijn de voordelen van decentrale opwekking ook hier meer uitgesproken. Het sociaal-economisch multiplicatoreffect is het enige argument waarvoor we dezelfde score hebben toegekend aan PV zonne-energie en WKK. Dit valt te verklaren door het arbeidsintensieve karakter van WKK-installaties.

+: licht voordeel

++: gemiddeld voordeel

+++ : groot voordeel

Argumenten voor overheidstussenkomst	WKK	PV zonne-energie
Vermeden externe kosten	+	+++
Technologisch effect	+	+++
Technologisch multiplicatoreffect	+	+++
Sociaal-economisch multiplicatoreffect	++	++
Transgenerationele solidariteit	+	++
Transnationale solidariteit	+	++
Decentrale opwekking	+	++
Verminderde afhankelijkheid	+	++

11.4 Steunmaatregelen

Uit hoofdstuk 6 Marktsituatie hebben we afgeleid dat PV-systemen vooral bij particulieren en WKK's vooral in grote bedrijven worden geïnstalleerd. We hebben daarvoor gekozen deze twee groepen te bespreken, omdat andere gevallen zoals landbouwbedrijven en vzw's minder voorkomend zijn. We beginnen echter met de maatregelen die voor elke eigenaar gelden. Groenestroomcertificaten zijn de voornaamste vorm van steun voor PV zonne-energie. Met een gegarandeerde prijs van 450 EUR gedurende 20 jaar voor elke 1000 kWh geproduceerde stroom ligt het subsidiebedrag ook erg hoog. De Vlaamse Regering besliste echter vanaf 2010 dit bedrag stelselmatig te laten afnemen. Vanaf 2013 versnelt het tempo van deze afnames en wordt ook de tijdsduur ingekort naar 15 jaar. In 2020 bedraagt de gegarandeerde prijs slechts 10 EUR/MWh.

Voor WKK-installaties werd er een vergelijkbaar systeem ingevoerd met de naam 'warmtekracht-certificaten'. Hierbij staat één certificaat voor een primaire energiebesparing van 1000 kWh. De gegarandeerde prijs van deze certificaten bedraagt 27 EUR, maar door de boeteprijs van 45 EUR per

ontbrekend certificaat ligt de gemiddelde prijs rond 41 EUR. Dit is elf keer minder dan bij PV zonne-energie. Vanaf het vijfde jaar na de installatie treedt het principe van degressiviteit op, waardoor er steeds minder aanvaardbare certificaten worden toegekend. Zowel WKK's als PV zonnepanelen sturen de overtollige stroom naar het elektriciteitsnet. Hiervoor ontvangen de eigenaars een bepaalde prijs. Door de terugdraaiende kWh-meter is deze prijs bij kleine installaties gelijk aan het normale tarief voor elektriciteit. Voor grote PV- en WKK-installaties (meestal in bedrijven) dient een prijs onderhandeld te worden tussen de eigenaar en elektriciteitsleveranciers.

Voor ondernemingen bestaan er twee bijkomende subsidies voor WKK en PV zonne-energie. Enerzijds is er de verhoogde investeringsaftrek van de federale overheid. Bedrijven mogen 15,5% van het geïnvesteerde bedrag aftrekken van de belastbare winst. Dit komt in de praktijk neer op een fiscale steunmaatregel van 6% van de investering. De Vlaamse overheid heeft een soortgelijke subsidie, genoemd de ecologiepremie. Men werkt hierbij volgens een wedstrijdformule, waarbij alleen de beste projecten een subsidie zullen ontvangen. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen KMO's en grote ondernemingen. De eerste groep zal bij zowel WKK- als PV-projecten een subsidie van 12% krijgen, voor de tweede groep is dit 6%. Uitzonderingen zijn brandstofcellen en bio-WKK's, waarvoor de steun respectievelijk 32 en 16%, en 20 en 10% zal bedragen. De maximale subsidie bedraagt €1,75 miljoen.

Aangezien micro-WKK's nog geen grootschalige marktintroductie hebben gekend, zijn de steunmaatregelen voor particulieren vooral van toepassing op PV zonne-energie. De federale overheid geeft een subsidie van 40% van de investeringskost bij verscheidene energiebesparende ingrijpen, waaronder de plaatsing van een PV-systeem en de vervanging van een oude stookketel door een micro-WKK. Dit percentage wordt echter gegelimiteerd tot een maximum van 2770 EUR in 2009. Voor PV-installaties wordt dit bedrag verhoogd tot 3600 EUR. In realiteit wordt dit maximum bijna altijd bereikt, zodat men eerder kan spreken van een vast subsidiebedrag. Hetzelfde geldt voor de premies die veel gemeentes uitreiken bij de installatie van een PV-systeem. Afhankelijk van de gemeente varieert deze premie tussen 250 en 1000 EUR.

Subsidie	Voor wie	Niveau	Naam	WKK	PV
Investerings-subsidie	Bedrijven	Federaal	Verhoogde investeringsaftrek	15,5% op belastbare winst	
		Vlaams	Ecologiepremie	KMO's: 12% Grote bedrijven: 6% met maximum van 1,75 MEUR	
	Particulieren	Federaal	Belastings-vermindering	40% met maximum van 2770 EUR	40% met maximum van 3600 EUR
		Gemeente	Gemeentelijke premie		250 à 1000 EUR
Verbruikers-subsidie	Algemeen	Vlaams	Certificaten	41 EUR/MWh PEB	450 EUR/MWh
		Vlaams	Valorisatie	<10 kW: elektriciteitsprijs (≈ 0,15 EUR/kWh) >10 kW: onderhandelde prijs	

Naast deze rechtstreekse steunmaatregelen voor de gebruikers van WKK en PV zonne-energie kan de overheid ook voorzien in andere vormen van steun voor de technologieën. Eén taak bestaat er onder andere in de bevolking te informeren. Dit doet de overheid met behulp van enkele sectororganisaties zoals Cogen Vlaanderen voor WKK en ODE voor PV zonne-energie. Deze organisaties geven informatiebrochures uit, organiseren studiedagen en beantwoorden vragen met betrekking tot hun technologieën. Ze ontvingen hiervoor in 2008 elk een subsidie van 100 kEUR van de Vlaamse overheid. De financiering van het onderzoek naar WKK en PV zonne-energie is eveneens een vorm van steun voor de technologieën. Deze taak valt grotendeels ten laste van de overheid op Europees niveau.

11.5 Slotconclusie

In deze slotconclusie zullen we de drie onderzochte parameters vergelijken met de overheidssteun voor de milieuvriendelijke technologieën warmtekrachtkoppeling en fotovoltaïsche zonne-energie. Op deze manier gaan we na of de getroffen maatregelen voldoende gerechtvaardigd en verantwoord zijn. Dit moet gebeuren in het kader van een optimale besteding van belastingsgeld. De taak van de overheid bestaat er immers in het maatschappelijk optimum te bereiken. Dit is een positie waarbij een ideaal evenwicht wordt gevonden tussen de (toekomstige) opbrengsten/baten voor een zo groot mogelijk gedeelte van de bevolking en de kosten die dit met zich meebrengt.

De marktsituatie van beide technologieën is nauw gerelateerd met de kosten ervan. Er zijn in Vlaanderen voornamelijk WKK's met een vermogen van meer dan 1 MWe geïnstalleerd. Dit valt

grotendeels te verklaren door de schaalvoordelen die dergelijke grote installaties met zich meebrengen. Maar aangezien we verwachten dat de kosten van zowel de investering als de werking in de nabije toekomst niet zullen dalen en de markt voor grote installaties stilaan verzadigd geraakt, zal de groei in het geïnstalleerd vermogen van WKK's in de komende jaren waarschijnlijk minder sterk zijn als de voorbije jaren. De voornaamste groeimogelijkheden liggen in de sector van gebouwen met een behoorlijke warmtevraag, zoals appartementsblokken, zorginstellingen, (subtropische) zwembaden, hotels en eventueel kantoor- en schoolgebouwen, cinema's, musea en voetbalstadions.

Terwijl er nog goede opportuniteiten zijn voor installaties met een vermogen van meer dan 50 kW, is een afwachtende houding meer gepast voor micro-WKK's. Het is maar de vraag of micro-WKK's ooit zullen doorbreken in Vlaanderen. De extra last voor de aansluiting op het elektriciteitsnet, de prijs en de geringe energiebesparing ten opzichte van condenserende ketels spreken voorlopig in het nadeel van deze technologie. De premie van de Vlaamse overheid voor de installatie van condenserende ketels is bovendien een groot succes.²⁶ Een snelle marktontwikkeling van micro-WKK's in Vlaanderen heeft omwille van twee redenen aan waarschijnlijkheid verloren. Enerzijds zal de Vlaamse overheid niet bereid zijn eenzelfde incentive te geven aan een andere technologie met als hoofddoel te voorzien in de warmtevraag van de gebruiker en anderzijds zal de Vlaming niet geneigd zijn opnieuw een investering te doen in de verwarmingsinstallatie van zijn huis. Verder onderzoek moet duidelijk maken of micro-WKK's levensvatbaar zijn in Vlaanderen.

Ook voor PV zonne-energie is het verband tussen de marktsituatie en de kosten duidelijk zichtbaar. De laatste jaren daalde de kostprijs van PV zonnepanelen sterk. Samen met een uitgebreid stimulerend beleid van de verschillende overheden, zorgde dit ervoor dat het geïnstalleerd vermogen explosief toenam. Daarnaast wordt het verband aangetoond door het relatief kleine verschil in prijs tussen kleine en grote PV-systemen. Mede door de beperkte vrije ruimte en het lage aantal uren zonneschijn staan er weinig grote PV-installaties in Vlaanderen. Al moet worden aangehaald dat de subsidieregelingen voor particulieren nog uitgebreider zijn als voor bedrijven. De kosten van PV zonne-energie zijn in de eerste plaats afhankelijk van de wereldwijde evolutie van de sector. Vlaanderen kan echter zijn steentje bijdragen door de marktonwikkeling te ondersteunen en op deze manier de kosten verder te laten afnemen.

Er zijn veel argumenten te vinden voor een overheidstussenkomst ten voordele van WKK en PV zonne-energie. Een afnemend gebruik van fossiele brandstoffen is de beste rechtvaardiging om deze technologieën te promoten. Daarenboven kan de economische groei een boost krijgen door de technologische en sociaal-economische (multiplicator)effecten die WKK en PV zonne-energie met zich

²⁶ De verschillende premies voor isolatie hebben eveneens succes, wat ook niet in het voordeel van micro-WKK's is.

meebrengen. Bovendien hebben veelbelovende technologieën die zich in hun ontwikkelings- of groeifase bevinden nood aan de nodige financiering om hun evolutie voort te zetten. De overheid kan hierbij een rol spelen door het onderzoek of de marktontwikkeling te ondersteunen. Zowat alle argumenten spreken echter meer in het voordeel van PV zonne-energie als van WKK. Deze technologie verdient bijgevolg een surplus aan overheidssteun ten opzichte van WKK.

Door de federale structuur van België kan men moeilijk spreken van een consistent en overzichtelijk energiesubsidiebeleid in Vlaanderen. De federale overheid geeft investeringssubsidies aan zowel bedrijven als particulieren die in WKK en PV zonne-energie investeren. Investerings in PV zonne-energie door particulieren ontvangen een verhoogd subsidiebedrag. De Vlaamse overheid heeft met de groenestroom- en warmtekrachtcertificaten een goed systeem van verbruikerssubsidies ontwikkeld. Daarnaast geeft ze ook nog investeringssubsidies aan bedrijven via de ecologiepremie. Dit verloopt echter via een wedstrijdformule, waardoor de deelnemers geen garantie hebben dat ze deze subsidie daadwerkelijk zullen krijgen. Als laatste is er nog op gemeentelijk niveau een steunmaatregel voor PV zonne-energie, enkel bedoeld voor particulieren.

Het is duidelijk dat de wil aanwezig is om het gebruik van milieuvriendelijke technologieën te bevorderen. Toch willen we enkele kritische kanttekeningen plaatsen bij de manier waarop men dit momenteel doet. Ten eerste stellen we ons vragen bij de veelheid aan subsidieregelingen die er bestaan in Vlaanderen, vooral ten voordele van PV zonne-energie. Er worden op dit moment op drie niveaus subsidies gegeven aan de eigenaars van PV zonnepanelen²⁷, voor WKK's zijn dit twee niveaus. Elke vorm van steun brengt administratie en de daarbijhorende kosten met zich mee. Het zou efficiënter zijn als men de subsidieregelingen zou centraliseren op één niveau. Hier kunnen de aanvragers dan ook terecht met al hun vragen betreffende de steunmaatregelen.

Voor de tweede opmerking moeten we eerst terug naar de essentie van het woord 'investering'. Een (milieuvriendelijke) investering is het uitgeven van kapitaal dat in de toekomst met een bepaald rendement terugverdiend kan worden door de opbrengsten/voordelen die de investering met zich meebrengt. Voor WKK en PV zonne-energie gebeurt dit door de uitgespaarde brandstof- en/of elektriciteitskosten. Zolang het voordeel niet op een natuurlijke manier (d.w.z door de concurrentie met conventionele manieren van energievoorziening) terugverdiend kan worden, moet de overheid tussenkomen met behulp van de middelen die ze ter beschikking heeft. Het doel van de overheid moet zijn de omvang van de steun voor de technologie niet groter te laten worden dan de baten die de technologie met zich meebrengt. De overheid moet met andere woorden de externe opbrengsten van

²⁷ Sinds 2008 is de provinciale premie in Limburg afgeschaft. Ervoor gaf men dus zelfs op vier niveaus steun.

deze technologieën in rekening brengen. De meest ideale situatie vindt uiteraard plaats wanneer de technologie op eigen kracht kan concurreren met de andere energietechnologieën.

Door de hoge gegarandeerde prijs van de groenestroomcertificaten voor PV zonne-energie wordt in Vlaanderen de nadruk gelegd op verbruikerssubsidies. We zagen echter dat de investeringskosten van PV zonnepanelen in sneltempo zijn afgenomen en in de toekomst waarschijnlijk verder zullen dalen. Het lijkt bijgevolg logischer de focus naar investeringssubsidies te verleggen. Op deze manier wordt de prijsevolutie van PV zonnepanelen op de voet gevolgd en ontstaat er geen oversubsidiëring. Voor WKK's is de situatie ingewikkelder. De investeringskosten blijven waarschijnlijk vrij stabiel, maar de werkingskosten kunnen sterk variëren naargelang de evolutie van de brandstofprijzen. Het kan daarom aangewezen zijn de boeteprijs van warmtekrachtcertificaten omgekeerd evenredig te maken met de brandstofprijzen. Op deze manier kan men WKK's rendabel houden ten opzichte van andere technologieën die gebruik maken van fossiele brandstoffen, ook in tijden van lage brandstofprijzen.

Tenslotte hebben we ook bedenkingen bij de grootte en de evolutie van de subsidies van PV zonne-energie. De prijs van groenestroomcertificaten voor PV zonne-energie ligt elf keer zo hoog als deze van warmtekrachtcertificaten, maar ook vier- tot vijfmaal hoger dan andere groenestroomcertificaten. De impuls die de Vlaamse overheid hiermee beoogde te bereiken, heeft zijn doel niet gemist. Dit zagen we reeds bij de marktsituatie. Het is logisch dat deze op een bepaald moment naar onder bijgesteld moeten worden. Dit gebeurt echter trager in de eerstvolgende jaren en sneller vanaf 2013, terwijl de kostenevolutie eerder omgekeerd zal verlopen.

We zien twee redenen waarom de Vlaamse overheid heeft gekozen voor deze optie. De prijs van de groenestroomcertificaten was al hoog. De overgang naar drastisch lagere prijzen zou te bruusk zijn en zou zonder compensaties waarschijnlijk veel tegenwind krijgen van PV-producenten en -installateurs. Door de snelle afnames vanaf 2013 en een vooruitblik van 10 EUR/MWh in 2020 zet de overheid bovendien geïnteresseerden aan om zo snel mogelijk te investeren in PV zonne-energie. De impuls wordt nog even aangehouden. Dit doet ze met het oog op het behalen van de Kyoto-doelstellingen en een verdere marktonwikkeling die de kostprijs nog zou doen dalen. We zijn er echter van overtuigd dat onze aanbevelingen een meer optimale besteding van overheidsgeld zouden betekenen.

Hoofdstuk 12: Aanbevelingen

12.1 Voor de overheid

- Centralisatie van het energiesubsidiebeleid

Doordat men in België op verschillende niveaus maatregelen kan treffen om het gebruik van milieuvriendelijke energietechnologieën te stimuleren, zullen geïnteresseerde bedrijven en particulieren af en toe door de bomen het bos niet meer zien. We pleiten dan ook voor een centralisatie van het energiesubsidiebeleid. Door synergie-effecten zullen kostenbesparingen ontstaan die de werking van overheidsdiensten efficiënter zullen maken. Bovendien zal de burger gemakkelijker zijn weg vinden naar deze informatiebron.

Aangezien de geschiedenis ons vertelt dat er in dit land moeilijk akkoorden worden gesloten over communautaire aangelegenheden, hebben we ook een tussenoplossing achter de hand. Hierbij zouden de investeringssubsidies terechtkomen bij de federale overheid en de verbruikerssubsidies bij de gewestelijke overheden. Dit compromisvoorstel heeft als gevolg dat de ecologiepremie en de gemeentelijke premie afgeschaft moeten worden. Het surplus van deze maatregelen is volgens mij te beperkt om op te wegen tegen de kostenbesparingen van een afschaffing ervan. Bovendien kunnen ze gecompenseerd worden in de algemene investeringssubsidie. Mits een uitstekende coördinatie tussen het federale en gewestelijke niveau kan ook dit een oplossing vormen.

- Centralisatie van de subsidies

Deze aanbeveling vloeit voort uit het vorige punt. Zoals we in de conclusies reeds aanhaalden, moet er worden terug gekeerd naar de basis van investeringen, namelijk het uitgeven van kapitaal dat in de toekomst met een bepaalde opbrengst kan worden terug verdiend. De overheid kan door het uitreiken van subsidies op twee manieren de voordelen van de technologieën incorporeren. Enerzijds kan men het uit te geven kapitaal verlagen met behulp van investeringssubsidies. Anderzijds kan men de vermeden externe kosten valoriseren door middel van verbruikerssubsidies. Op deze manier zal de investering sneller winstgevend zijn.

Bij warmtekrachtkoppeling gebeurt dit vrij goed op het vlak van bedrijven. De verhoogde investeringsaftrek en de ecologiepremie verlagen het investeringsbedrag, terwijl de warmtekrachtcertificaten installaties belonen voor de primaire energiebesparing. Het zou volgens mij nog beter zijn als de investeringssubsidies gebundeld zouden worden wegens de

synergievoordelen. Voor PV zonne-energie moet hetzelfde gebeuren, maar ook voor particulieren. Dit betekent dat de gemeentelijke premie en federale belastingvermindering samengevoegd zouden worden tot één algemene investeringssubsidie.

- Wijziging subsidiebedragen PV zonne-energie

Nadat de investeringssubsidies zijn gecentraliseerd, moeten ze drastisch worden verhoogd, zodat de snelle kostenevolutie van PV zonnepanelen beter gevolgd wordt. Ter compensatie moeten de verbruikerssubsidies (groenestroomcertificaten) ingrijpend verminderen. Op deze manier kan de overheid snel inspelen op de wijzigingen in de kostprijs van PV zonne-energie. In de eerste plaats zou men dit kunnen doen door prijs van de groenestroomcertificaten te laten zakken, maar met kleinere stappen als nu het geval is. Naderhand zou ook het subsidiepercentage van de investering kunnen afnemen totdat de technologie volwaardig kan concurreren met andere energievoorzieningen. Dit heeft zowel voor de overheid, de PV-sector als voor de consument positieve gevolgen.

De kostprijzen van PV zonne-energie worden op de voet gevolgd. Zo verkleint de kans op oversubsidiëring en bovendien wordt het subsidiebedrag steeds kleiner door de kostenevolutie, in tegenstelling tot de groenestroomcertificaten die 20 jaar lang gegarandeerd worden. Daarnaast kan er stevig worden bespaard op administratiekosten. Door de stabiliteit van het stimuleringspakket heeft de PV-sector op lange termijn goede vooruitzichten. De veranderingen die de overheid na verloop van tijd zal doorvoeren om zich aan te passen aan de kostenevolutie, gebeuren meer stapsgewijs dan nu het geval is. De grootste hinderpaal voor de consument, de zware investeringslast, wordt verkleind. Dit heeft als gevolg dat een groter aantal mensen de mogelijkheid heeft te investeren in PV zonne-energie. Naarmate de kostprijs verder daalt, zal het potentiële aantal klanten nog toenemen.

- Proactieve informatiecampagnes

De overheid moet zijn informerende taak meer ter harte nemen. Nu gebeurt de verstrekking van informatie op een eerder passieve manier. Geïnteresseerden kunnen vragen stellen over de technologieën en de steunmaatregelen bij de belangenorganisaties en eventueel bij de overheid zelf. De overheid kan echter op een meer proactieve manier meewerken aan de marktontwikkeling van deze technologieën.

Zoals we reeds uitgebreid besproken hebben, heeft investeren in WKK en PV zonne-energie verschillende positieve gevolgen op het vlak van economie en ecologie. Bovendien leveren ze met behulp van subsidies een gegarandeerd rendement op voor de eigenaar. Dit is de

boodschap die de overheid moet overbrengen aan zijn burgers, zeker nu de consumenten door de economische crisis de vinger meer op de knip houden. Door mensen tot investeringen aan te zetten, stijgen de consumentenuitgaven. Dit stimuleert op zijn beurt de economische groei in Vlaanderen. Bovendien worden de lasten gedeeld door de burgers en de overheid, waardoor de overheidsschuld minder sterk zal oplopen.

Eén manier waarop ze dit kan doen, is bijvoorbeeld door op eigen initiatief infobrochures te sturen naar potentiële klanten. Hierin kunnen de technologie en de steunmaatregelen worden besproken, waarna er enkele waarheidsgetrouwe cases worden uitgewerkt. De producenten zullen ongetwijfeld geïnteresseerd zijn mee te werken aan zulke brochures. Deze optie is in de eerste plaats bedoeld voor WKK. Voor PV zonne-energie is waarschijnlijk een andere aanpak vereist aangezien de focus hierbij ligt op de particuliere consument. Deze technologie gebruikt best andere communicatiemediums. De reclamespotjes van de Vlaamse overheid voor de isolatiepremie op tv en radio kunnen misschien een goed voorbeeld vormen.

12.2 Voor verder onderzoek

- Het onderzoek naar de mogelijkheden van kleine WKK's moet zeker worden voortgezet. In de eerste plaats doelen we hiermee op WKK's die in gebouwen met een behoorlijke warmtevraag geplaatst kunnen worden. We denken hierbij aan zorginstellingen, (subtropische) zwembaden, appartementsblokken, hotels, openbare gebouwen, sporthallen, scholen, ... Hiervoor is er duidelijk nog een groeimarkt aanwezig. Voor gebouwen-WKK's worden best de (verdere) resultaten van de proefprojecten in Nederland en Groot-Brittannië afgewacht. We sluiten niet uit dat ook hier nog vooruitgang kan worden geboekt.
- Het zou interessant zijn om te onderzoeken wat het effect van een omgekeerd verband tussen warmtekrachtcertificaten en brandstofprijzen zou zijn op de rendabiliteit van WKK-installaties. In tijden van hoge brandstof- en in Vlaanderen vooral aardgasprijzen worden meer WKK's geïnstalleerd dan in tijden van lage prijzen omwille van de gestegen winstgevendheid ten opzichte van andere technologieën die gebruik maken van fossiele brandstoffen. De argumenten voor overheidstussenkomst ten voordele van WKK's blijven in beide gevallen echter min of meer hetzelfde. Een extra stimulans vanuit de overheid bij lage brandstofprijzen kan dus gewenst zijn.
- Een vergelijking tussen WKK en PV zonne-energie is niet eenvoudig. WKK's produceren naast elektriciteit ook warmte en door de grote schaalvoordelen zijn ze eerder geschikt voor bedrijven en grote vermogens. PV zonnepanelen zijn daarentegen op maat van particulieren en

kleine elektriciteitsverbruikers gemaakt. Het zou eerder toepasselijk zijn een vergelijking te maken tussen de steunmaatregelen voor vergelijkbare technologieën. Windmolenparken hebben bijvoorbeeld meestal grote vermogens, net zoals WKK's, wat een vergelijking eenvoudiger maakt. Er kan daarnaast ook een afweging worden gemaakt tussen de verschillende hernieuwbare energiebronnen. De verschillen in de voordelen zullen hierbij kleiner zijn, waardoor het subsidiebeleid meer in detail uitgewerkt kan worden.

- Om het gebruik van fossiele brandstoffen tegen te gaan, is de Vlaamse overheid begonnen met het uitwerken van een systeem voor groenewarmtecertificaten. Hierbij worden milieuvriendelijke warmtebronnen ondersteund door middel van verbruikerssubsidies. Dit is natuurlijk een lovenswaardig initiatief om de negatieve effecten van fossiele brandstoffen in Vlaanderen te laten afnemen. Men moet bij de bepaling van de waarde echter rekening houden met de thermodynamische aspecten van warmte. Thermische energie heeft een veel lagere kwaliteit/exergie dan bijvoorbeeld elektrische energie en mag bijgevolg niet dezelfde waarde toegekend krijgen. Verder onderzoek kan uitmaken welke parameters van belang zijn voor een correcte waardering van deze nieuwe certificaten.

Referentielijst

Voor opstellen van deze referentielijst worden de regels van de American Psychological Association (APA) gevolgd. Aangezien deze richtlijnen niet ontworpen zijn voor juridische teksten, wordt er voor de enkele wetteksten die in deze masterproef worden vermeld, gebruik gemaakt van de Kluwer-regels. Deze referenties bevinden zich onder de wetenschappelijke literatuur. Om de transparantie en het gebruiksgemak te verhogen, wordt de vermelding die in de tekst werd gebruikt in het vet vóór de referentie geschreven.

Agentschap Economie, 2007: Agentschap Economie (2007). *Call ecologiepremie: Algemene informatie*. Geraadpleegd op 6 maart, 2009, op http://ewbl-publicatie.vlaanderen.be/Uploads/EP-call%20Algemene%20%20infoteksten%2020071001_def,0.pdf

Aldous, 2009: Aldous, S. *How solar cells work*. Geraadpleegd op 8 april, 2009, op <http://www.howstuffworks.com/solar-cell.htm>

BelPV, 2009: BelPV (2009). *BelPV, de nieuwe sectorfederatie*. Geraadpleegd op 13 april, 2009, op <http://zonneenergie.ode.be/>

Black & Hartley, 1991: Black, W. Z., & Hartley, J. G. (1991). *Thermodynamics, SI version*. 2nd edition. New York: HarperCollins.

Broekx & De Nocker, 2004: Broekx, S., & De Nocker, L. (2004). *Kengetallen externe kosten goederentransport*. Ook te consulteren op www.vito.be/VITO/OpenWoDocument.aspx?vovitoguid=C83E9E90-70C8-4A74-940A-234EB953E7BF

Capros & Mantzos, 2006: Capros, P., & Mantzos, L. (2006). *Scenarios on energy efficiency and renewables*. Ook te consulteren op http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/figures/scenarios/doc/2006_scenarios_on_energy_efficiency.pdf

Çengel & Boles, 2002: Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2002). *Thermodynamics, an engineering approach*. 4th edition. New York: McGraw Hill.

Cetinkaya & Lemmens, 2008: Cetinkaya, E., & Lemmens, J. (2008). Dimensionering van micro-WKK voor residentiële gebouwen. Ongepubliceerde licentiaatsverhandeling. Katholieke Hogeschool Limburg, Departement Industriële Wetenschappen.

Chase, Jacobs & Aquilano, 2006: Chase, R. B., Jacobs, F. R., & Aquilano, N. J. (2006). *Operations management*. 11th edition. New York: McGraw Hill.

Chesbrough, 1999: Chesbrough, H. (1999, oktober). Intel labs (A): Photolithography strategy in crisis. Harvard Business School.

Cogen Vlaanderen, 2004: Cogen Vlaanderen vzw (2004). *WKK wegwijzer*. Editie 2004, 1-67.

Cogen Vlaanderen, 2006: Cogen Vlaanderen vzw (2006). *Basishandboek warmtekrachtkoppeling*. Leuven: Cogen Vlaanderen.

Cogen Vlaanderen, 2009: Cogen Vlaanderen vzw (2009). *Wat is Cogen Vlaanderen?* Geraadpleegd op 13 april, op http://www.cogenvlaanderen.be/subpage.php?subpage_id=2

AMPERE Commissie, 2000: Commissie voor de Analyse van de Middelen voor Productie van Elektriciteit en de Reëvaluatie van de Energievectoren, Pauwels, J.-P., Streydio, J.-M., Berger, A., Bossier, F., Crappe, M, De Ruyck, J., et al. (2000). *Rapport AMPERE commissie*. Ook te consulteren op http://mineco.fgov.be/energy/ampere_commission/d7.pdf

CREG, 2009: Commissie voor de Regulering van de Elektriciteit en het Gas (2009). *Voorstelling*. Geraadpleegd op 17 februari, 2009, op http://www.creg.be/nl/missions1_nl.html

Cornelis, 2008: Cornelis, E. (2008, mei). WKK-crisis in Nederland. Nieuwsbrief COGEN Vlaanderen, jaargang 8, nummer 1, 23-26.

Crevits, 2008: Crevits, H. (2008). *Beleidsbrief energie 2008-2009*. Ongepubliceerd manuscript, Vlaams ministerie van Openbare Werken, Energie, Leefmilieu en Natuur.

Energik, 2008: Energik (2008). *Wat is WKK?* Geraadpleegd op 18 november, 2008, op <http://www.energik.be/belcogen/index.html>

European Environment Agency, 2009: European Environment Agency (2009). *Combined heat and power (CHP)*. Geraadpleegd op 3 april, 2009, op http://themes.eea.europa.eu/Sectors_and_activities/energy/indicators/EN20%2C2008.11

EPIA, 2008: European Photovoltaic Industry Association (2008). *Solar Generation V – 2008*.

Europees Parlement Bureau Nederland, 2008: Europees Parlement Bureau Nederland (2008). *Europese Commissie wil meer energie-efficiënte producten labelen*. Geraadpleegd op 18 november, 2008, op <http://www.europa-nu.nl/9353000/1/j9vvh6nf08temv0/vhzzgn6sgiy?ctx=vhsjhdftknpb>

Europese Commissie, 2008: Europese Commissie, Directoraat-Generaal voor Energie en Transport (2008). *EU energy and transport in figures*. Ook te consulteren op http://ec.europa.eu/energy/publications/doc/statistics/part_2_energy_pocket_book_2009.pdf

Europese Commissie, 2009b: Europese Commissie, Community Research and Development Information Service (2009). *Energy research in the 7th framework programme*. Geraadpleegd op 12 april, 2009, op http://cordis.europa.eu/fp7/energy/home_en.html

Europese Commissie, 2009a: Europese Commissie (2009). *The competitiveness and innovation framework programme*. Geraadpleegd op 12 april, 2009, op http://ec.europa.eu/cip/index_en.htm

Eurostat, 2008: Eurostat (2008). *Energy consumption and production*. Geraadpleegd op 7 maart, 2009, op http://epp.eurostat.ec.europa.eu/pls/portal/docs/PAGE/PGP_PRD_CAT_PREREL/PGE_CAT_PREREL_YEAR_2008/PGE_CAT_PREREL_YEAR_2008_MONTH_07/8-10072008-EN-AP.PDF

Eurostat, 2009: Eurostat (2009). Gas prices by type of user. Geraadpleegd op 20 april, 2009, op http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data/main_tables

FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, 2009c: Federale Overheidsdienst Economie, KMO, Middenstand en Energie (2009). *Belastingvermindering voor energiebesparende investeringen in ondernemingen*. Geraadpleegd op 17 maart, 2009, op http://mineco.fgov.be/energy/rational_energy_use/tax_reductions/tax_reductions_enterprises_nl_001.htm

FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, 2009b: Federale Overheidsdienst Economie, KMO, Middenstand en Energie (2009). *Historiek van de officiële maximumtarieven van de aardolieproducten in euro*. Geraadpleegd op 15 maart, 2009, op http://mineco.fgov.be/energy/energy_prices/history/energy_prices_hist_euro_nl.htm

FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, 2009d: Federale Overheidsdienst Economie, KMO, Middenstand en Energie (2009). *Nieuwe bepalingen voor werken en uitgaven in 2008 (aanslagjaar 2009)*. Geraadpleegd op 23 maart, 2009, op http://mineco.fgov.be/energy/rational_energy_use/tax_reductions/tax_reductions_2009_nl_001.htm

FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, 2009a: Federale Overheidsdienst Economie, KMO, Middenstand en Energie (2009). *Rationeel (duurzaam) energiegebruik*. Geraadpleegd op 5 februari, 2009, op http://mineco.fgov.be/energy/rational_energy_use/rational_energy_use_nl_001.htm

FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, 2009e: Federale Overheidsdienst Economie, KMO, Middenstand en Energie (2009). *Vademecum van de onderneming: Energiebesparing*. Geraadpleegd op 12 april, 2009, op http://mineco.fgov.be/enterprises/vademecum/pdf/4_3_13_NL.pdf

FOD VVVL, 2008d: Federale Overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu (2008). *Emissiehandel*. Geraadpleegd op 5 maart 2009, 2009, op <http://www.klimaat.be/spip.php?article209>

FOD VVVL, 2008a: Federale Overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu (2008). *Het broeikaseffect... Een natuurlijk verschijnsel*. Geraadpleegd op 23 november, 2009, op <http://www.klimaat.be/spip.php?rubrique14&fs=>

FOD VVVL, 2008c: Federale Overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu (2008). *Het Protocol van Kyoto*. Geraadpleegd op 23 november, 2009, op <http://www.klimaat.be/spip.php?rubrique53&fs=>

FOD VVVL, 2008b: Federale Overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu (2008). *Het VN-Klimaatverdrag: Van Rio tot Kyoto*. Geraadpleegd op 23 november, 2009, op <http://www.klimaat.be/spip.php?rubrique52&fs=>

Gezondheid, 2009: Gezondheid NV (2009). *Koolstofmonoxyde*. Geraadpleegd op 14 maart, 2009, op http://www.gezondheid.be/index.cfm?fuseaction=art&art_id=332 co

Giancoli, 2005: Giancoli, D. C. (2005). *Physics*. 6th edition. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.

Hoenraet, 1999: Hoenraet, C. (1999). *De energiebronnen en kernenergie: Vergelijkende analyse en ethische reflecties*. Leuven: Acco.

Images SI, 2009: Images SI Inc (2009). *Photovoltaic cells – generating electricity*. Geraadpleegd op 14 mei, 2009, op <http://www.imagesco.com/articles/photovoltaic/photovoltaic-pg4.html>

IPCC, 2007: Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). *Climate change 2007: Synthesis report*. Ook te consulteren op http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf

Jantzen & van der Woerd, 2003: Jantzen, J., & van der Woerd, H. (2003). *Mondiale voetafdruk "Brighthouse", 2001*. Ook te consulteren op http://www.tme.nu/pdf/Brighthouse_Voetafdruk_2001.pdf

Ki-Moon, 2008: Ki-Moon, B. (2008, 16 oktober). De Grote Groene Jobmachine. De Morgen.

Lemeire, 2002: Lemeire, F. (2002). *Seminarie technologie, thermodynamica en energieproductie*. Diepenbeek: Limburgs Universitair Centrum.

Luyten, 2008: Luyten, B. (2008, oktober). Hernieuwbare energie, ecologiesteun en verhoogde investeringssteun. BVDA Nieuwsbrief. Ook te consulteren op http://www.bvda.be/nb/pdf/jg19-2/hernieuwbare_energie_ecologiesteun_en_federale_verhoogde_investeringsaftrek.pdf

MIRA, 2007a: Milieurapport Vlaanderen, Couder, J., Wustenberghs, H., Defrijn, S., Brouwers, J., & Verbruggen, A. (2007). *Milieurapport Vlaanderen, achtergronddocument 2007, energie*. Ook te consulteren op http://www.milieurapport.be/Upload/main/miradata/MIRA-T/01_sectoren/01_04/AG_Energie.pdf

MIRA, 2007b: Milieurapport Vlaanderen, Torfs, R., Deutsch, F., Schrooten, L., Boeckx, S., Vankerkom, J., Matheussen, C., et al. (2007). *Milieurapport Vlaanderen, achtergronddocument 2007, verspreiding van zwevend stof*. Ook te consulteren op http://www.milieurapport.be/Upload/Main/MiraData/MIRA-T/02_THEMAS/02_05/AG_ZWEVEND_STOF.PDF

Ministerie van Landbouw en Visserij, 2009: Ministerie voor Landbouw en Visserij (2009). *Verhoogde investeringsaftrek voor energiebesparende investeringen*. Geraadpleegd op 7 maart, 2009, op <http://lv.vlaanderen.be/nlapps/docs/default.asp?id=22>

Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 2001: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (Nederland). *Verzuring en grootschalige luchtverontreiniging*. Ook te consulteren op <http://www.vrom.nl/pagina.html?id=2706&sp=2&dn=17530>

Moran en Shapiro, 1998: Moran, M. J., Shapiro, H. N. (1998). *Fundamentals of engineering thermodynamics: SI version*. 3rd edition. West Sussex: Wiley & Sons.

NRC Handelsblad, 2009: NRC Handelsblad (2009, 5 maart). Rusland stopt gasleveringen via Oekraïne. Ook te consulteren op http://www.nrc.nl/economie/article2113806.ece/Rusland_stopt_gasleveringen_via_Oekraiuml_ne

ODE, 2007: Organisatie voor Duurzame Energie (2007). *Elektriciteit uit zonlicht*, [brochure].

ODE, 2009b: Organisatie voor Duurzame Energie (2009). *Fotovoltaïsche zonne-energie voor bedrijven: Overzicht subsidies 2008*. Geraadpleegd op 26 februari, 2009, op http://ode.be/uploads/images/ZPV_subs2008_bedrijf_0802.pdf

ODE, 2009c: Organisatie voor Duurzame Energie. *Fotovoltaïsche zonne-energie voor particulieren: Overzicht subsidies 2008*. Geraadpleegd op 26 februari, 2009, op http://ode.be/uploads/ZPV_subs2008_particulier_0808.pdf

ODE, 2009a: Organisatie voor Duurzame Energie (2009). *PV marktgroei Vlaanderen 1998-2008*.

Paterson, 2007: Paterson, G. (2007, 16 september). Alan Greenspan claims Iraq war was really for oil. The Times. Ook te consulteren op <http://www.timesonline.co.uk/tol/news/world/article2461214.ece>

Peak Oil België, 2008: Peak Oil België (2008). *Wat is Peak Oil?* Geraadpleegd op 23 november, 2009, op http://www.peakoil.be/?page_id=266

Sioen, 2008: Sioen, L. (2008, 1 en 2 maart). Een internet van energiestromen. De Standaard – Weekend.

Stern, 2006: Stern, N. (2006). *Stern review: The economics of climate change. Executive summary*. Ook te consulteren op http://news.bbc.co.uk/2/shared/bsp/hi/pdfs/30_10_06_exec_sum.pdf

UNEP, 2008: United Nations Environment Program (2008). *Global green new deal*. Geraadpleegd op 16 november, 2008, op <http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=548&ArticleID=5957&l=en>

Van Poeck, 2007: Van Poeck, A. (2007). *Economische politiek*. 4^{de} editie. Antwerpen: Garant.

VEA, 2008: Vlaams Energieagentschap (2008). *Limitatieve technologieënlijst*. Ook te consulteren op <http://ewbl-publicatie.vlaanderen.be/Uploads/LTL-call-200803-pertype.pdf>

VEA, 2009a: Vlaams Energieagentschap (2009). *Energiestatistieken i.v.m. duurzame energie in Vlaanderen*. Geraadpleegd op 17 februari, 2009, op <http://www.energiesparen.be/node/859>

VEA, 2009b: Vlaams Energieagentschap (2009). *Vlaams minister Hilde Crevits zet bakens uit voor energiebeleid in twee volgende legislaturen*. Geraadpleegd op 22 februari, 2009, op <http://www.energiesparen.be/node/859>

VITO, 2006: Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (2006). *Toetreding van PMV tot emissierechtenfonds MCCF*. Geraadpleegd op 3 maart, 2009, op http://www.emis.vito.be/ShowPage.cfm?PageID=45&News_ID=1853

VITO, 2007: Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (2007). *"Doelstelling energie-efficiëntie en hernieuwbare energie stap in goede richting."* Geraadpleegd op 14 maart, 2009, op http://www.emis.vito.be/ShowPage.cfm?PageID=45&News_ID=2015

VITO, 2008: Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (2008). *Informatiepakket warmtekrachtkoppeling*. Geraadpleegd op 23 november, 2008, op http://www.emis.vito.be/EMIS/Media/energietechnologie_wkk_wat_is_wkk.pdf

VITO, 2009: Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (2009). *WKK-inventaris Vlaanderen 2007*. Ook te consulteren op http://www.cogenvlaanderen.be/beheer/uploads/rapport_inventaris_wkk_2007__v2_-1.pdf

Vlaamse Milieumaatschappij, 2008: Vlaamse Milieumaatschappij. *Productie van elektriciteit en warmte d.m.v warmtekrachtkoppeling (WKK)*. Geraadpleegd op 26 mei, 2009, op <http://www.milieurapport.be/default.aspx?PageID=86&ChapID=2186&NodeID=3756>

Vlaamse overheid, 2006: Vlaamse overheid (2006). *Vlaams klimaatbeleidsplan 2006-2012*.

Vlaamse overheid, 2009b: Vlaamse overheid (2009). *Federale belastingvermindering voor energiebesparende maatregelen of groene fiscaliteit*. Geraadpleegd op 23 maart, 2009, op http://www.vlaanderen.be/servlet/Satellite?pagename=Infolijn%2FView&c=Solution_C&p=1186804409590&cid=1090509344178

Vlaamse overheid, 2009a: Vlaamse overheid (2009). *VREG: Vlaamse reguleringsinstantie voor de elektriciteits- en gasmarkt*. Geraadpleegd op 17 februari, 2009, op http://www.vlaanderen.be/servlet/Satellite?pagename=Infolijn%2FView&c=Solution_C&p=1186804409590&cid=1196393718637

VREG, 2008a: Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt. *Marktrapport: De Vlaamse energiemarkt in 2007*. Ook te consulteren op <http://www.vreg.be/vreg/documenten/rapporten/RAPP-2008-3.pdf>

VREG, 2008b: Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt. *Mededeling van de VREG met betrekking tot het al dan niet gebruiken van een compenserende kWh-meter voor de compensatie van de in het distributienet geïnjecteerde elektriciteit*. Geraadpleegd op 4 maart, 2009, op <http://www.vreg.be/vreg/documenten/mededelingen/MEDE-2007-2.pdf>

VREG, 2009f: Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt (2009). *Aankoopverplichting netbeheerders*. Geraadpleegd op 2 maart, 2009, op http://www.vreg.be/nl/06_sector/04_groenestroomproducenten/04_handelenprijs/04_handelenprijs/01_netbeheerders.asp

VREG, 2009h: Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt (2009). *Aantal technische aspecten*. Geraadpleegd op 4 maart, 2009, op

http://www.vreg.be/nl/04_privé/03_groenestroom/03_productie/04_technisch.asp#TechnischReglement

VREG, 2009c: Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt (2009). *Aantal verhandelde groenestroomcertificaten en gemiddelde prijs*. Geraadpleegd op 15 februari, 2009, op <http://www.vreg.be/vreg/documenten/Statistieken/54946.pdf>

VREG, 2009j: Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt (2009). *Aantal verhandelde warmtekrachtcertificaten en gemiddelde prijs*. Geraadpleegd op 4 maart, 2009, op <http://www.vreg.be/vreg/documenten/statistieken/54945.pdf>

VREG, 2009a: Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt (2009). *Energiemarkt – Vrijmaking*. Geraadpleegd op 5 februari, 2009, op http://www.vreg.be/nl/03_algemeen/02_energiemarkt/01_vrijmaking.asp

VREG, 2009b: Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt (2009). *Energiemarkt – Wie doet wat?* Geraadpleegd op 5 februari, 2009, op http://www.vreg.be/nl/03_algemeen/02_energiemarkt/02_wiedoetwat.asp#

VREG, 2009e: Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt (2009). *Gebruik voor de certificatenverplichting*. Geraadpleegd op 2 maart, 2009, op http://www.vreg.be/nl/06_sector/04_groenestroomproducenten/01_systeem/06_certificatenverplichting.asp

VREG, 2009g: Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt (2009). *Het systeem van groenestroomcertificaten*. Geraadpleegd op 2 maart, 2009, op http://www.vreg.be/nl/06_sector/04_groenestroomproducenten/01_systeem.asp

VREG, 2009i: Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt (2009). *Het systeem van warmtekrachtcertificaten*. Geraadpleegd op 4 maart, 2009, op http://www.vreg.be/nl/03_algemeen/02_energiemarkt/02_wiedoetwat/08_warmtekracht.asp

VREG, 2009d: Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt (2009). *Productie-installaties in Vlaanderen waarvoor groenestroomcertificaten worden toegekend*. Geraadpleegd op 15 februari, 2009, op <http://www.vreg.be/vreg/documenten/Statistieken/56603.pdf>

Juridische teksten

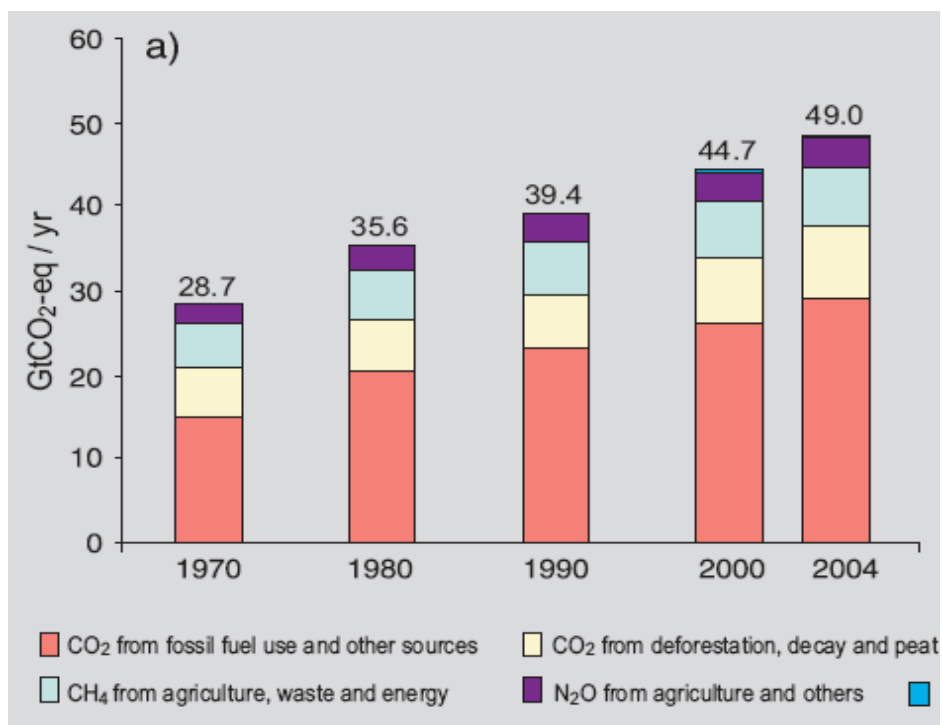
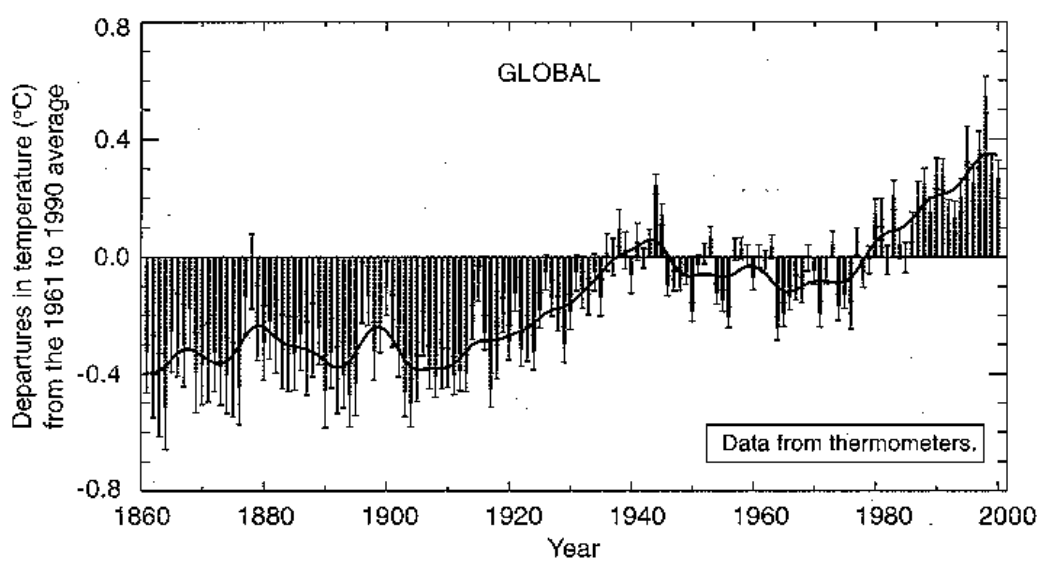
Richtlijn Parlement en Raad nr. 2004/8/EG, 11 februari 2004 inzake de bevordering van warmtekrachtkoppeling op basis van de vraag naar nuttige warmte binnen de interne energiemarkt en tot wijziging van Richtlijn nr. 92/42/EEG betreffende de rendementseisen voor nieuwe olie- en gasgestookte centrale-verwarmingsketels, *Pb. L.* 21 februari 2004.

MB van 6 oktober 2006 inzake de vastlegging van de referentierendementen voor toepassing van de voorwaarden voor kwalitatieve warmtekrachtinstallaties, *BS* 1 december 2006.

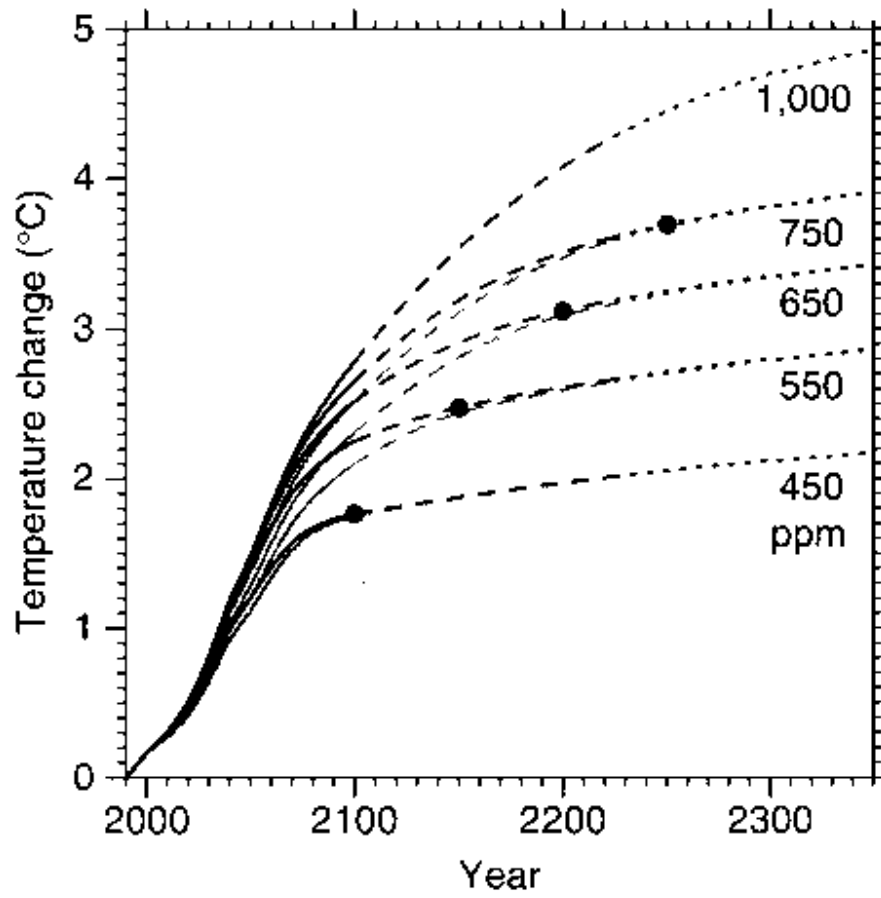
Besluit van de Vlaamse Regering van 7 juli 2006 ter bevordering van de elektriciteitsopwekking van kwalitatieve warmtekrachtkoppeling, *BS* 1 december 2006.

Bijlagen

Bijlage 1: Figuren uit het IPCC-rapport

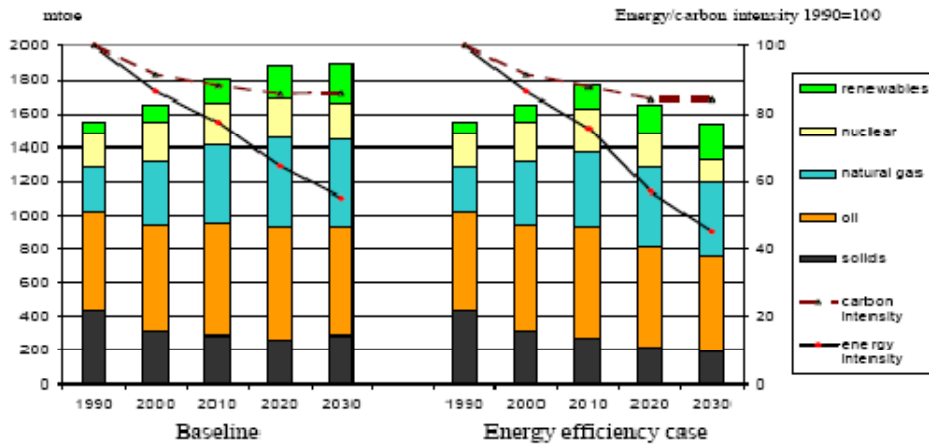


Figuur 4: temperatuursverloop bij verschillende CO₂-stabilisatieniveaus (bron: IPCC)

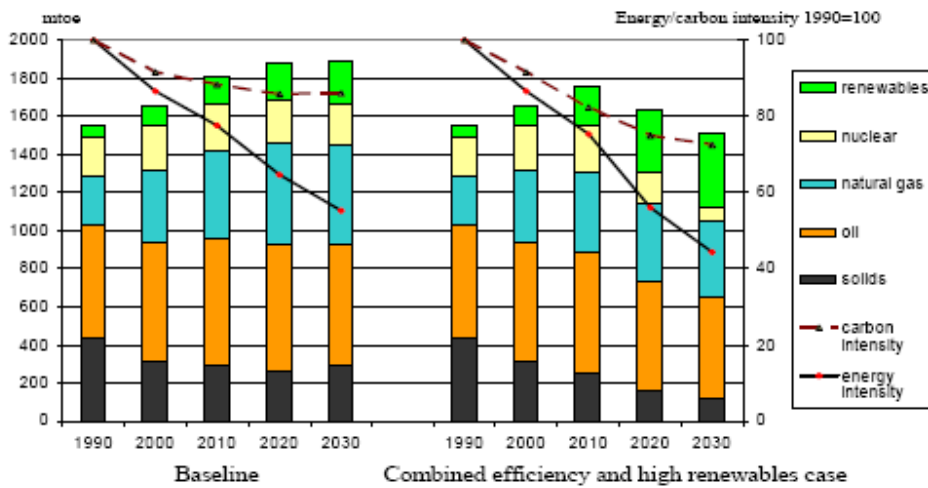


Bijlage 2: Verschillende energiestenari'o's (Capros en Mantzos, 2006)

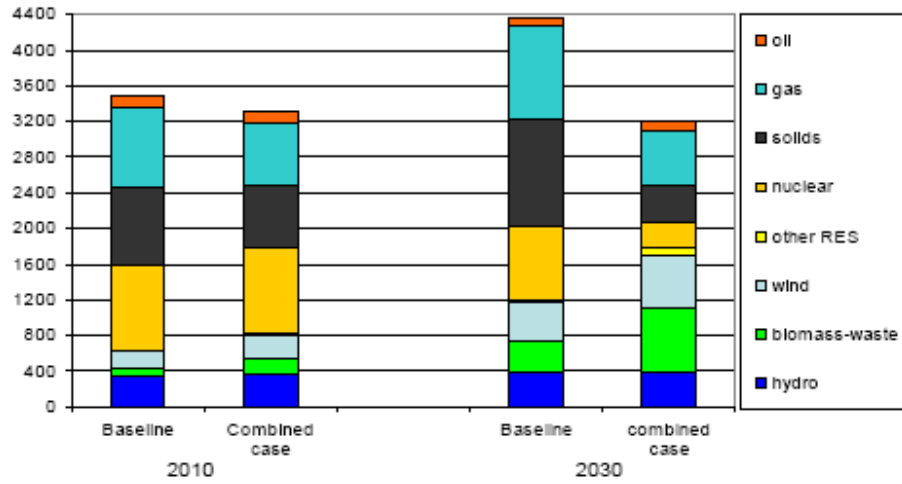
Gross energy consumption by fuel and energy and carbon intensities:
Energy Efficiency case versus Baseline



Gross energy consumption by fuel and energy and carbon intensities:
Combined energy efficiency and high renewables case versus Baseline



Electricity generation in the Combined high renewables and efficiency case compared with Baseline (in TWh)

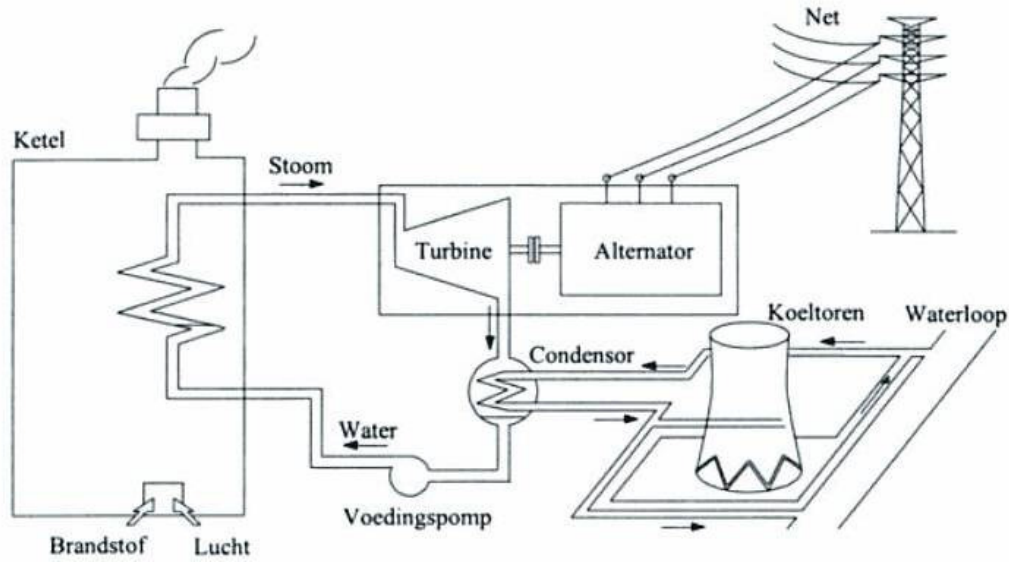


Shares in gross energy consumption in the "High renewables" case in EU-25 (in %):

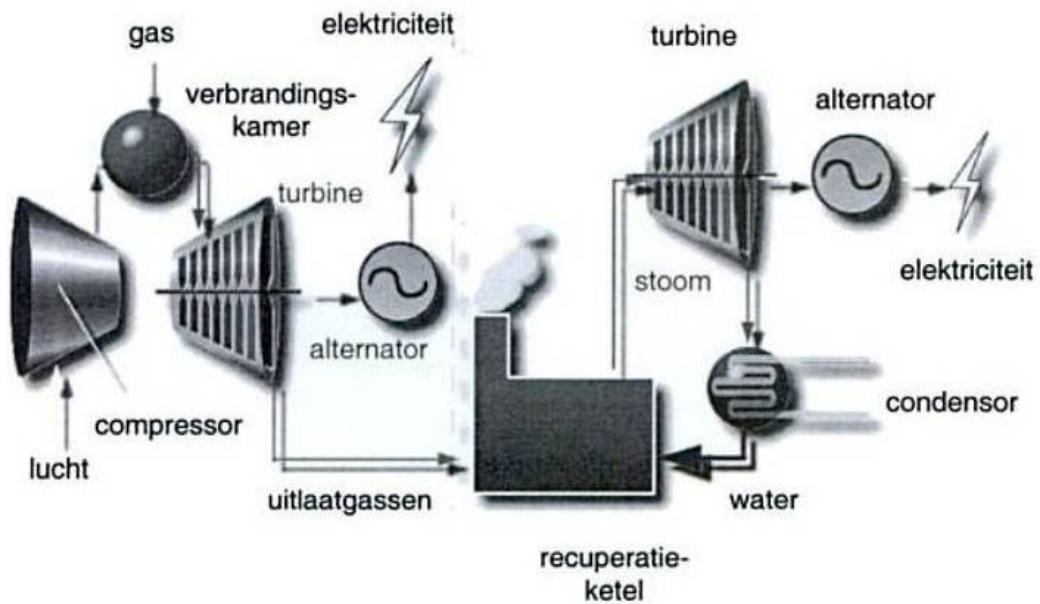
	2000	2010	2020	2030	Change from Baseline		
					2010	2020	2030
Solids	18.5	14.2	10.5	10.7	-1.6	-3.3	-4.7
Oil	38.4	35.9	33.8	31.4	-1.0	-1.7	-2.4
Natural gas	22.8	24.5	25.8	26.2	-1.0	-2.3	-1.1
Nuclear	14.4	13.7	10.5	7.5	0.0	-1.6	-3.6
Renewables	5.8	11.6	19.3	24.0	+3.6	+8.9	+11.8

Bijlage 3: Schema's van thermische centrales

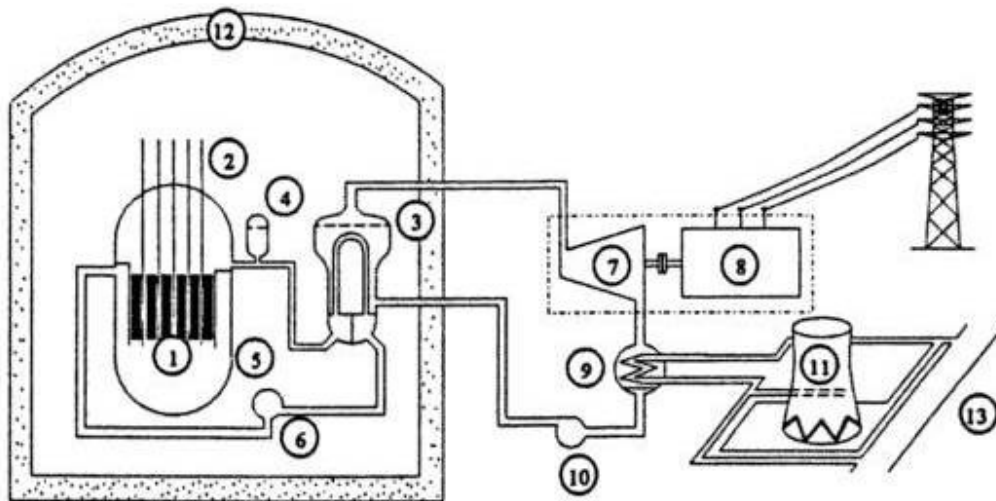
Klassieke thermische stoomcentrale



STEG



Nucleaire thermische centrale

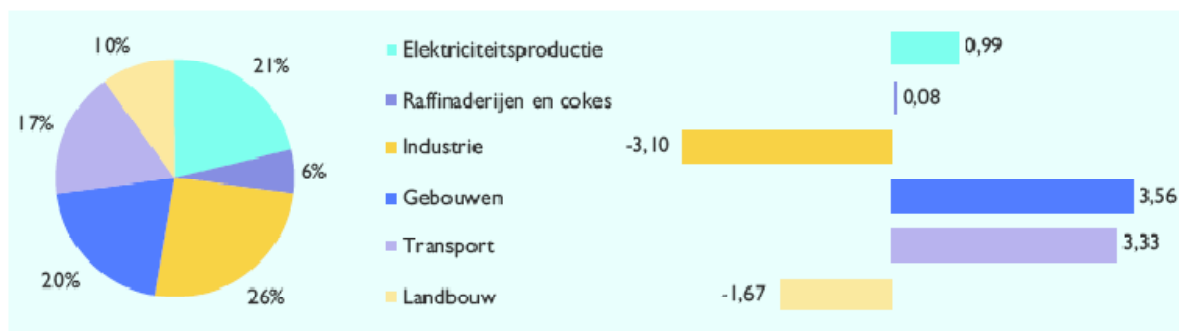


- | | | | |
|---|-------------------|----|-------------------------|
| 1 | reactorhart | 8 | wisselstroomgenerator |
| 2 | regelstaven | 9 | condensor |
| 3 | stoomgenerator | 10 | pomp voor voedingswater |
| 4 | drukregelvat | 11 | koeltoren |
| 5 | reactorvat | 12 | veiligheidsomhulsel |
| 6 | primaire koelpomp | 13 | rivier |
| 7 | stoomturbine | | |

Bijlage 4: Energiecijfers

Energiestatistieken voor België

Mtoe	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Production	13.11	12.81	12.82	12.08	12.40	12.73	13.14	14.59	14.16	15.53	15.51	15.07	15.06	16.23	15.36	15.45	15.29
Solid fuels	1.08	0.86	0.80	0.48	0.32	0.27	0.24	0.18	0.13	0.15	0.19	0.11	0.09	0.07	0.09	0.06	0.02
Oil									0.01	0.01			0.01	0.01	0.01	0.01	
Gas	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00	0.00					
Nuclear	10.71	10.72	10.74	10.42	10.20	10.34	10.89	11.96	11.39	12.64	12.42	11.96	12.22	12.22	12.20	12.28	12.03
Renewables	0.85	0.86	0.86	0.53	0.50	0.84	0.82	0.83	0.88	0.88	0.72	0.81	0.77	0.99	1.04	1.18	1.33
Industrial waste	0.66	0.57	0.83	0.65	1.38	1.49	1.80	1.82	1.94	2.04	2.18	2.18	1.97	1.94	2.01	1.93	1.91
Net Imports	39.83	42.37	43.88	42.03	46.82	48.88	40.42	49.32	52.09	49.18	50.81	51.27	49.34	53.24	53.04	53.78	53.46
Solid fuels	9.49	9.17	9.29	7.90	8.24	9.34	7.98	8.09	8.54	7.34	7.57	7.55	5.73	6.07	6.17	5.51	4.97
Oil	22.24	24.70	25.25	24.50	27.18	28.97	29.11	29.57	30.92	28.16	29.49	29.70	29.17	32.22	32.33	32.62	32.18
Gas	8.22	8.66	9.14	9.47	9.78	10.42	11.88	11.28	12.43	13.48	13.28	13.13	13.85	14.24	14.56	14.82	15.03
Electricity	-0.32	-0.16	0.01	0.19	0.34	0.35	0.28	0.28	0.12	0.07	0.37	0.78	0.85	0.55	0.67	0.54	0.87
Renewables				0.07	0.08	0.09	0.10	0.09	0.08	0.11	0.10	0.10	0.14	0.16	0.21	0.28	0.43
Derived heat																	
Gross Inland Consumption	48.81	50.81	51.76	50.39	53.90	54.94	57.83	59.03	60.10	61.08	61.46	60.34	58.44	61.58	61.47	61.15	60.41
Solid fuels	10.24	9.87	9.61	6.74	6.89	6.55	6.17	6.36	6.44	7.42	8.20	7.08	6.65	6.22	6.09	5.45	5.16
Oil	18.50	20.32	21.06	20.38	22.83	22.88	24.47	24.82	24.97	24.78	24.10	24.26	22.87	26.09	24.88	24.75	23.87
Gas	8.17	8.73	9.05	9.41	9.87	10.81	11.82	11.26	12.47	13.33	13.37	13.18	13.38	14.40	14.57	14.74	14.99
Nuclear	10.71	10.72	10.74	10.42	10.20	10.34	10.89	11.96	11.39	12.64	12.42	11.96	12.22	12.22	12.20	12.28	12.03
Renewables	0.65	0.86	0.86	0.59	0.58	0.72	0.72	0.72	0.78	0.79	0.82	0.92	0.90	1.15	1.25	1.48	1.77
Other (****)	0.34	0.41	0.84	0.84	1.72	1.84	1.96	2.10	2.06	2.11	2.55	2.96	2.82	2.50	2.88	2.48	2.78
Elec. Generation (TWh)	70.85	71.95	72.26	70.85	72.24	74.43	76.15	78.89	83.24	84.52	83.89	79.70	82.06	84.62	85.44	87.03	85.54
Coal (TWh)	17.10	16.51	16.01	16.30	16.88	16.52	15.55	13.75	14.19	9.94	12.92	9.94	10.03	9.84	9.15	8.20	8.85
Oil (TWh)	1.31	1.83	1.54	1.48	1.82	1.31	1.29	1.42	2.58	1.04	0.80	1.88	0.97	1.01	1.88	1.74	1.38
Gas (TWh)	8.17	8.94	9.19	9.24	10.88	12.94	13.67	14.07	17.74	21.82	19.09	18.61	20.50	23.58	23.81	26.14	26.39
Nuclear (TWh)	42.72	42.86	43.46	41.93	40.82	41.36	43.34	47.41	46.17	46.02	48.16	46.36	47.36	47.38	47.31	47.60	48.86
Renewables (TWh) (*)	0.77	0.77	0.88	0.78	0.87	0.95	0.88	0.88	0.93	1.18	1.33	1.42	1.58	1.87	1.98	2.63	3.73
Other (TWh) (**)	0.78	1.03	1.18	1.12	1.26	1.35	1.45	1.38	1.84	1.53	1.60	1.72	1.82	1.34	1.51	1.72	1.55

CO₂-uitstoot per sector in Vlaanderen en de evolutie in de periode 1990-2004 in Mton CO₂-eq

- Correctie voor het klimaat

Hieronder zijn de correctiefactoren voor de klimaatomstandigheden voor de toepassing van de referentierendementen bij de gescheiden opwekking van elektriciteit te vinden. De correctie voor de omgevingstemperatuur is gebaseerd op het verschil tussen de gemiddelde jaartemperatuur en standaard ISO omstandigheden (15°C). De correctie gebeurt als volgt:

- Verlaging van het referentierendement met 0,1% (absolute procentpunten) voor elke graad waarmee de gemiddelde jaartemperatuur 15°C overstijgt
- Verhoging van het referentierendement met 0,1% (absolute procentpunten) voor elke graad waarmee de gemiddelde jaartemperatuur onder 15°C blijft

- Correctie voor vermeden netverliezen

In de onderstaande tabel zijn de correctiefactoren voor vermeden netverliezen voor de toepassing van de referentierendementen bij de gescheiden opwekking van elektriciteit te vinden. De correctie gebeurt door het referentierendement voor de gescheiden opwekking van elektriciteit, na aanpassing aan de klimaatsomstandigheden, te vermenigvuldigen met de correctiefactor.

Spanning :	Voor elektriciteit geleverd aan het net	Voor elektriciteit ter plaatse verbruikt
> 200 kV	1	0.985
100-200 kV	0.985	0.965
50-100 kV	0.965	0.945
0.4-50 kV	0.945	0.925
< 0.4 kV	0.925	0.860

- Referentierendementen voor de gescheiden opwekking van warmte

In de onderstaande tabel staan de referentierendementen voor gescheiden opwekking van warmte gebaseerd op de onderste verbrandingswaarde en standaard ISO omstandigheden (15°C omgevingstemperatuur, 1013bar, 60% relatieve vochtigheid). Hierbij wordt enkel rekening gehouden met het brandstoftype.

	Brandstoftype :	Stoom* / warm water	Direct gebruik van verbrandingsgassen**
Vast	Steenkool / Cokes	88 %	80 %
	Bruinkool / Bruinkoolbriketten	86 %	78 %
	Turf / Turfbriketten	86 %	78 %
	Houtbrandstoffen en houtafval	86 %	78 %
	Landbouwbiomassa	80 %	72 %
	Bio-afbreekbaar (stads)afval	80 %	72 %
	Niet-hernieuwbaar (stads- en industrie-)afval	80 %	72 %
	Steenolie	86 %	78 %
Vloeibaar	Olie (gasolie + stookolie), LPG	89 %	81 %
	Biobrandstoffen	89 %	81 %
	Bio-afbreekbaar afval	80 %	72 %
	Niet-hernieuwbaar afval	80 %	72 %
Gasvormig	Aardgas	90 %	82 %
	Raffinaderijgas / waterstof	89 %	81 %
	Biogas	70 %	62 %
	Cokesovengas, hoogovengas + andere afvalgassen	80 %	72 %

*Stoom referentierendementen moeten met 5 % (absolute percentpunten) verlaagd worden.

**De waarden voor direct gebruik van verbrandingsgassen worden gebruikt als de temperatuur 250 °C is of hoger.

Gezien om te worden gevoegd bij het ministerieel besluit inzake de vastlegging van referentierendementen voor toepassing van de voorwaarden voor kwalitatieve warmtekrachtinstallaties.

Bijlage 6: Interviewnota's

Interview prof. Jean Manca (U Hasselt)

Persoonlijke elementen

Als wat bent u afgestudeerd? Aan welke onderwijsinstelling?

Sinds wanneer doet u onderzoek naar PV zonne-energie? Waar?

Welke mandaten of referenties hebt u met betrekking tot zonne-energie?

Kosten²⁸

Welke kosten gaan gepaard met een PV-project?

Wat zijn de meest voorkomende groottes van PV-installaties? (klein, middel, groot)

Hoe hoog zijn de investeringskosten per grootte van de installatie? Veranderen de kosten omgekeerd evenredig met grootte?

Toekomst

Welke evoluties zorgen voor de veranderingen in de kostprijs?

Naar welke andere productiemethodes doet men onderzoek?

Hoe ver staat men met het onderzoek naar de mogelijke rendementen van PV zonnecellen?

Welke grondstof gaat in de toekomst het meest gebruikt worden voor PV zonnecellen?

Gebeurt er onderzoek naar grote zonneparken in België/Vlaanderen?

Heeft u zelf bedenkingen bij de overheidssteun voor PV zonne-energie?

Heeft u eventueel voorstellen voor een herverdeling van de steun?

²⁸ Prof. Manca verwees me voor deze vragen door naar Jo Neyens van ODE.

Interview prof. Annick Dexters (KHLim)

Persoonlijke elementen

Welk diploma hebt u behaald? Aan welke onderwijsinstelling?

Sinds wanneer doet u onderzoek naar WKK? Waar?

Welke mandaten of referenties hebt u met betrekking tot WKK?

Kosten

Welke kosten gaan gepaard met een WKK-project?

Welke kost heeft meeste invloed bij een WKK-project?

Veranderen de kosten omgekeerd evenredig met grootte?

Welke indeling zou men best maken op basis van de meest voorkomende groottes?

Toekomst

Welke evoluties hebben de meeste invloed op de kostprijs van WKK-projecten?

Hoe gaat de kostprijs van WKK-projecten volgens u evolueren?

Hoe is de situatie voor micro-WKK? Zijn ze volgens u klaar voor impuls?

Heeft u zelf bedenkingen bij de overheidssteun voor WKK?

Heeft u eventueel voorstellen voor een herverdeling van de steun?

Andere

Zijn er WKK-producenten, -installateurs, -onderhoudsploegen in België?

Met hoeveel procent daalt de uitstoot van vervuilende gassen gemiddeld door een WKK-project?

Bijlage 7: Prijslijst micro-WKK's

BLOCKHEIZKRAFTWERKE FÜR HEIZÖL							
Modultyp	elektrische Leistung	thermische Leistungen	Verbrauch (in Liter/h)	Länge (in mm) *	Breite (in mm)	Höhe (in mm)	Nettorichtpreis (in €)
EW S 5,3 S	5,3	10,5	1,75	1.070	720	1.000	auf Anfrage
EW K 10 S	10	18	3,1	2.000	770	1.565	24.858,-
EW I 30 S	30	43	8,2	2.250	850	1.755	44.560,-
EW I 50 S	50	80	14,8	2.700	850	1.755	59.640,-
EW I 80 TL	80	96	21,8	2.800	1.000	1.950	74.920,-
<i>* - Länge ohne Abluftventilatorbox</i>							

Größere Anlage auf Anfrage

BLOCKHEIZKRAFTWERKE FÜR ERDGAS							
Modultyp	elektrische Leistung	thermische Leistungen	Verbrauch (in kW/h)	Länge (in mm) *	Breite (in mm)	Höhe (in mm)	Nettorichtpreis (in €)
EW S 5,5 S	5,5	12,5	20,5	1.070	720	1.000	auf Anfrage
EW F 17 S	17	32	53	2.000	770	1.565	40.625,-
EW V 30 S	30	65	102	2.250	850	1.755	51.180,-
EW M 50 S	50	81	145	2.840	900	1.800	72.650,-
EW M 70 S	70	115	204	2.840	900	1.800	81.980,-
EW M 140 S	140	207	392	3.440	900	1.800	124.630,-
EW M 238 TL	238	363	667	3.350	1.600	1.900	192.060,-
<i>* - Länge ohne Abluftventilatorbox</i>							

Bijlage 8: Referentierendementen voor de berekening van het aantal warmtekrachtcertificaten

Het elektrisch referentierendement is afhankelijk van twee parameters. De meest beslissende factor is de gebruikte brandstof. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen enkele biomassa-soorten en een grote restgroep. Bij deze laatste groep, die hoofdzakelijk fossiele brandstoffen bevatten, geldt de netspanning als onderscheidende factor.

Elektrisch referentierendement	net ≤15kV	net >15kV	mechanische aandrijving
biogas	42%	42%	
plantaardige olie	42,7%	42,7%	
hout of houtafval	33%	33%	
andere vaste biobrandstoffen	25%	25%	
niet gespecificeerd	50%	55%	53%

Het thermisch referentierendement hangt in de eerste plaats af van de gebruikte brandstof. Als er gebruik wordt gemaakt van biogas is het referentierendement automatisch 70%. In alle andere gevallen is het referentierendement afhankelijk van de vorm waarin de warmte wordt verspreid. Als de installatie koude produceert, bedraagt het referentierendement 500%.

Thermisch referentierendement	stoom
stoom en niet gespecificeerd	85%
water	90%
hete lucht voor droogtoepassingen	93%
biogas	70%
koude (C.O.P.)	500%