

Organische zonnecellen

Een SWOT-analyse

Christophe Verachten

promotor :
dr. ir. Steven VAN PASSEL

Woord Vooraf

In het kader van de opleiding Toegepaste Economische Wetenschappen aan de Universiteit Hasselt, Campus Diepenbeek, heb ik de kans gekregen om een eindverhandeling te schrijven met als titel **“Organische zonnecellen: een SWOT-analyse”**.

Alvorens over te gaan tot de voorstelling van deze verhandeling, zou ik eerst mijn dank willen betuigen aan diegenen die hebben bijgedragen tot de realisatie van dit werk.

Eerst en vooral gaat mijn dank uit naar al de personen die tijd wilden maken voor een interview. Daarnaast een woord van dank aan mijn promotor Prof. S. Van Passel voor zijn deskundige begeleiding en bereidheid om steeds mijn vragen te beantwoorden. Laatst, maar niet in het minst, wens ik mijn papa, mama, broer en vriendin te danken voor hun onvoorwaardelijke mentale en financiële steun gedurende mijn opleiding Toegepaste Economische Wetenschappen.

Ten slotte durf ik hopen dat deze eindverhandeling een meerwaarde mag betekenen voor iedereen die haar in de toekomst raadpleegt.

Dan rest mij enkel nog U, waarde lezer, een boeiende en aangename lectuur toe te wensen!

Veel leesgenot.

Verachten Christophe

Samenvatting

Betaalbare en schone energievoorziening is één van de grootste uitdagingen van de eenentwintigste eeuw. Men realiseert dat fossiele brandstoffen zoals bijvoorbeeld aardolie, aardgas en steenkool niet onuitputtelijk zijn. Door de snelle toename van de globale energieconsumptie, zullen we naar oplossingen moeten zoeken om ook in de toekomst aan de energievraag te kunnen voldoen.

De nood aan alternatieve energie is niet alleen het gevolg van de stijging van de vraag naar energie, maar ook het gevolg van neveneffecten van het gebruik van fossiele brandstoffen. Één van de mogelijke alternatieven is zonne-energie. Fotovoltaïsche (PV) zonne-energie is een technologie die gebruik maakt van de instraling van zonlicht om elektriciteit op te wekken. Door de specifieke eigenschappen van halfgeleiders kan invallend licht rechtstreeks omgezet worden in elektriciteit. Op dit moment is silicium veruit de meest bekende halfgeleider. Er zijn echter verschillende dunne film technologieën met halfgeleiders als CdTe en organisch materiaal die meer en meer op de voorgrond treden. Een technologie zoals organische zonnecellen vergt evenwel nog heel wat onderzoek.

Dit is de aanzet voor het onderwerp van deze eindverhandeling met als titel "**Organische zonnecellen: een SWOT-analyse**". Mijn specifieke aandacht gaat hierbij uit naar de verschillende eigenschappen van organische zonnecellen.

Deze eindverhandeling omvat een literatuurstudie en een praktijkgericht onderzoek. De literatuurstudie werpt enerzijds een blik op de markt van zonnecellen en de verschillende soorten zonnecellen. Anderzijds worden de diverse steunmaatregelen voor fotovoltaïsche zonne-energie besproken.

IV

In het praktijkonderzoek worden organische zonnecellen doorgelicht in een SWOT-analyse en wordt er onderzocht welke de meest belangrijke eigenschappen zijn. Zeven bevoorrechte getuigen zijn aan de hand van een interviewvragenlijst bevraagd omtrent verschillende eigenschappen van organische zonnecellen. De zeven bevoorrechte getuigen zijn afkomstig uit drie verschillende categorieën. De eerste categorie omvat de overheid. Categorie twee en drie bevatten de deskundigen inzake organische zonnecellen en een onderneming actief in de zonnecelindustrie.

Deze analyse kan dienen als hulpmiddel bij het identificeren van sterktes, zwaktes, kansen en opportuniteiten van organische zonnecellen naar de toekomst toe.

Zo zijn de belangrijkste troeven van organische zonnecellen "de lage prijs van organisch materiaal", "het lage gewicht van organische zonnecellen", "de beperkte dikte van organische zonnecellen" en "de diverse esthetische mogelijkheden". Er moet vervolgens getracht worden om deze interne sterktes zo goed mogelijk te benutten. Eveneens moet er rekening gehouden worden met de interne zwaktes van organische zonnecellen. Tekortkomingen zijn op dit moment bijvoorbeeld "de korte levensduur" en "het lage omzettingsrendement en efficiëntie".

Tevens dient men de externe opportuniteiten van organische zonnecellen aan te wenden. Zo zijn er vanuit andere industrieën al productietechnieken beschikbaar, zoals bijvoorbeeld coating en printing. Dit is een unieke gelegenheid die er mede voor kan zorgen dat er in de toekomst "mogelijk een snelle opschaling van de productie" zal plaatsvinden. Bovendien kan de "groeierende markt van zonnecellen" een grote rol spelen in de adoptie van organische zonnecellen als nieuwe technologie op de markt. Ook de "creatie van nieuwe nichemarkten" kan hier een belangrijke rol in spelen.

Ten slotte dient men zich te wapenen tegen opkomende en reeds aanwezige externe bedreigingen waarmee organische zonnecellen te maken kunnen krijgen. Zo zullen organische zonnecellen na hun introductie nog enige tijd hevige "concurrentie ondervinden van traditionele silicium zonnecellen en andere dunne film zonnecellen".

V

Het is evenzeer belangrijk dat er naar de buitenwereld toe op een correcte manier gecommuniceerd wordt over de mogelijkheden van organische zonnecellen. Op deze manier “vermijdt men dat er te hoge verwachtingen gecreëerd worden”.

Finaal worden er nog enkele aanbevelingen gemaakt met betrekking tot organische zonnecellen en de zonnecelindustrie in het algemeen. De belangrijkste aanbevelingen zijn onder meer het invoeren van een uniform kwaliteitslabel voor zonnecellen, de centralisatie van het subsidiebeleid inzake zonne-energie en het verlenen van financiële steun aan spin-off ondernemingen.

Lijst van Tabellen

TABEL 1: PERCENTAGE DIFFUUS ZONLICHT

TABEL 2: PHOTOVOLTAÏSCHE CAPACITEIT IN VS, JAPAN EN ZUID-KOREA

TABEL 3: ADVANCED SCENARIO

TABEL 4: GEWOON SCENARIO

TABEL 5: GLOBALE MARKT VOOR ZONNE-ENERGIE ONDER ADVANCED & GEWOON SCENARIO

TABEL 6: EFFICIËNTIE PER TYPE ZONNECEL

TABEL 7: AANTAL UITGEREIKTE GROENESTROOMCERTIFICATEN

TABEL 8: SWOT-TABEL ORGANISCHE ZONNECELLEN

Lijst van Gebruikte Afkortingen en Symbolen

BP: British Petroleum

CdTe: cadmiumtelluride

CH₄: methaan

GIGS: koper indium gallium selenide

CO₂: koolstofdioxide

CuInSe₂: koper-indium-diselenide

ECN: Energieonderzoek Centrum Nederland

EIA: Energy Information Administration

EPIA: European Photovoltaic Industry Association

FWO: Fonds Wetenschappelijk Onderzoek

GWp: gigawattpiek

IEA: International Energy Agency

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

KMO: Kleine of Middelgrote Onderneming

kWh: kilowattuur

MWp: megawattpiek

MJ: megajoule

N₂O: distikstofoxide

VIII

NO_x: stikstofoxiden

ODE: Organisatie voor Duurzame energie

PV: photovoltaic (fotovoltaïsch)

RSZ: Rijksdienst voor Sociale Zekerheid

TWh: Terawattuur

UNEP: United Nations Environmental Program

VEA: Vlaams Energieagentschap

VREG: Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt

VZW: Vereniging zonder winstoogmerk

WCED: World Commission on Environment and Development

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

Inhoudsopgave

WOORD VOORAF

SAMENVATTING

LIJST VAN TABELLEN

LIJST VAN GEBRUIKTE AFKORTINGEN EN SYMBOLE

INHOUDSOPGAVE

1	ONDERZOEKSPLAN	11
1.1	PROBLEEMSTELLING	11
1.2	ONDERZOEKSVRAGEN	15
1.3	ONDERZOEKSOPZET	16
2	DUURZAME ENERGIE EN ONTWIKKELING	18
2.1	INLEIDING	18
2.2	DUURZAME ONTWIKKELING	19
2.3	DUURZAME ENERGIE	21
3	ZONNE-ENERGIE VOOR PRODUCTIE VAN ELEKTRICITEIT	24
3.1	INLEIDING	24
3.2	ZONNE-ENERGIE	24
3.2.1	Zonne-energie: Positieve Implicaties	27
3.2.2	Zonne-energie: Negatieve Implicaties	28
3.3	ZONNE-ENERGIE: MARKTGEGEVENS EN POTENTIEEL	31
3.4	DE ZONNECEL	35
3.4.1	Zonnecellen uit Kristallijn Silicium	36
3.4.2	Dunne Film Zonnecellen	38
3.4.3	Organische Zonnecellen	40
3.5	FOTOVOLTAÏSCHE MODULES EN SYSTEMEN	45
3.5.1	PV Modules	45
3.5.2	PV Systemen	46
3.6	WELKE TOEKOMST VOOR ZONNE-ENERGIE?	47
4	SUBSIDIES EN STEUNMAATREGELEN	49
4.1	INLEIDING	49
4.2	FISCALE VOORDELEN	50
4.2.1	Fiscale Voordelen voor Ondernemingen	50

4.2.2	Fiscale Voordelen voor Particulieren	51
4.3	GROENESTROOMCERTIFICATEN	52
4.3.1	Groenestroomcertificaten voor zonne-energie	54
4.4	GEMEENTELIJKE SUBSIDIES	56
4.5	DE ECOLOGIEPREMIE.....	57
5	PRAKTIJKONDERZOEK.....	59
5.1	ONDERZOEKSMETHODE	59
5.1.1	Aard van de Onderzoeksvragen	60
5.1.2	Beperkingen van het Onderzoek	60
5.1.3	Verloop Interview	61
5.1.4	Selectie van Bevoorrechte Getuigen	61
5.1.5	Bewaking van de Validiteit en Betrouwbaarheid.....	62
5.2	SWOT-ANALYSE ORGANISCHE ZONNECELLEN	63
5.2.1	Strengths	65
5.2.2	Weaknesses	68
5.2.3	Opportunities.....	70
5.2.4	Threats	73
5.3	BIJKOMENDE BEVINDINGEN	76
5.3.1	Deskundigen	76
5.3.2	Onderneming.....	79
6	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	83
6.1	CONCLUSIES	83
6.2	PERSOONLIJKE REFLECTIE: AANBEVELINGEN.....	87
	REFERENTIELIJST	90
	BIJLAGEN.....	96

1 Onderzoeksplan

1.1 Probleemstelling

Eenzijds de jaar na jaar stijgende vraag naar fossiele brandstoffen en anderzijds het gelimiteerde aanbod van de voornaamste energiebronnen van vandaag zoals steenkool, aardolie en aardgas dwingen ons als maatschappij, vroeg of laat, deze te vervangen door hernieuwbare energiebronnen. Deze stijgende vraag naar energie en het dalende aanbod gecombineerd met een sterk toegenomen aandacht voor het milieu zorgt voor een wereldwijde bewustwording dat er dringend naar oplossingen moet gezocht worden. Men kan dus duidelijk stellen dat er een grote nood aan verandering is naar de toekomst toe.

Een van de belangrijkste hernieuwbare energiebronnen is zonne-energie. De markt voor zonne-energie kende de laatste jaren een enorme groei. Reeds enkele jaren na elkaar worden er groeipercentages van 35% en meer gerealiseerd. Zo bereikte de globale PV markt in 2008 5,6 GWp. Dit is een verdubbeling ten opzichte van 2007 toen deze markt een vermogen bereikte van 2,4 GWp. De verwachtingen zijn dat deze in de toekomst nog verder zullen stijgen. Zo verwacht Epia (Europese sectorfederatie) dat er zich een groei zou kunnen voordoen naar 22 GWp tegen 2013 (ODE Vlaanderen, 2007).

Ook in Vlaanderen wordt zonne-energie beschouwd als een belangrijke bron van hernieuwbare energie. Reeds 1,6% van de geproduceerde elektriciteit in Vlaanderen wordt geproduceerd aan de hand van zonne-energie. Stroom uit zonlicht zorgde voor bijna 32 miljoen kWh van de 1.949 miljoen kWh groene stroom die werd geproduceerd. Dit is genoeg voor de elektriciteitsvoorziening van ongeveer 9.000 Vlaamse gezinnen. Vandaag zijn er ondertussen ongeveer 480.000 m² aan zonnepanelen in Vlaanderen geïnstalleerd (Energiesparen, geraadpleegd op 3 oktober 2009).

De markt van zonne-energie en zonnepanelen wordt voornamelijk gedomineerd door kristallijnen silicium zonnecellen (monokristallijn en polykristallijn). Deze namen in 2000 een marktaandeel in van ongeveer 85% tegenover 13% voor amorfe silicium zonnecellen. Verwacht wordt dat kristallijn silicium nog voor een hele tijd een dominante positie zal innemen in de markt voor zonnecellen. Dit mede door het hoge omzettingsrendement, de goede stabiliteit en de lange levensduur die deze zonnecellen bezitten. Naar de toekomst toe zullen deze factoren door verder onderzoek enkel maar verbeteren en zal er gestreefd worden naar hogere rendementpercentages voor deze zonnecellen (ODE Vlaanderen, 2007).

Veel Vlaamse gezinnen investeren tegenwoordig in PV-installaties. De hoeveelheid stroom die zulke installatie levert is afhankelijk van de hoeveelheid zonlicht die ze te verwerken krijgt en van het nominale vermogen van de panelen. Dit nominaal vermogen wordt uitgedrukt in Wattpiek (Wp). De kost van zonnepanelen is de laatste jaren gestaag gedaald en bedraagt nu gemiddeld 4,5 euro per Wp zonder BTW (4500 euro/kWp of 5445 euro/kWp incl. 21% BTW) voor eenvoudige standaard PV-systemen. We kunnen hier als vuistregel aannemen dat 1 m² zonnepanelen (bij benadering 100 Wp) ongeveer 75kWh elektriciteit levert per jaar. Toch kan de prijs van een PV-systeem sterk verschillen. Deze hangt namelijk af van de grootte van het systeem, hoe groter de omvang van de installatie hoe goedkoper de kost per paneel is. (Thewys, T. 2008-2009). Deze kosten vertonen jaarlijks een dalende trend van om en bij de 5%. Dit is grotendeels afhankelijk van de ontwikkelingen op de markt en de technologische ontwikkelingen binnen de industrie (ODE Vlaanderen, 2007).

Ondanks de jaarlijkse dalingen in de kostprijs van PV-systemen en allerhande subsidies van overheidswege kan men nog steeds spreken van een omvangrijke investering waarover grondig moet nagedacht worden. Het voornaamste knelpunt blijft de relatief hoge kosten. Het grootste deel van de kosten van kristallijnen silicium zonnecellen komt van het produceren van gezuiverd en gekristalleerd silicium en het zagen tot siliciumpanelen (wafers) (ODE Vlaanderen, 2007).

De ontwikkeling en het onderzoek inzake zonne-energie richt zich dan ook vooral op de verlaging van de kosten door goedkopere productietechnieken en hogere paneelrendementen. Voor de toekomst richt het onderzoek zich hoofdzakelijk op dunne film en organische zonnecellen. Deze alternatieve fotonvoltaïsche technologieën zitten echter nog in hun ontwikkelingsfase en de uitdaging is dan ook om de stabiliteit en het rendement van deze zonnecellen te verbeteren. Op deze manier kan er een belangrijke stap gezet worden naar betaalbare zonnestroom (ECN, 2008).

Ook in Vlaanderen wordt er onderzoek verricht naar zonnecellen op basis van organische materialen. Deze zogenaamde "plastic zonnecellen" moeten zorgen voor een goedkoop alternatief voor de hedendaagse silicium zonnecellen. Organische zonnecellen hebben in tegenstelling tot silicium een grotere absorptiecoëfficiënt voor licht. De productie van deze zonnecellen is zeer eenvoudig en vergt geen specifieke en geavanceerde apparatuur. IMEC, een Vlaams interuniversitair onderzoekscentrum, heeft tot op vandaag organische zonnecellen ontwikkeld met een rendement van om en bij de 5% op kleine oppervlakten. Dit rendement is miniem in vergelijking met wat silicium zonnecellen vandaag bieden. Om echt competitief te kunnen zijn zullen organische zonnecellen in de toekomst een rendement van minstens 10% moeten halen evenals een levensduur van minimum 10 jaar en een kost per kilowattuur die even laag is als de hedendaagse silicium zonnecellen (IMEC, 2008).

Ook de Vlaamse Overheid hecht veel belang aan hernieuwbare energie, en meer specifiek zonne-energie. De Vlaamse Overheid biedt zowel steun aan particulieren als aan het onderzoek en de ontwikkeling van fotonvoltaïsche zonne-energie. Voor particulieren zijn verschillende steunmaatregelen voorhanden. Men kan drie soorten maatregelen onderscheiden: belastingsaftrek, vergoedingen voor stroomproductie en investeringssubsidies. Naast deze steunmaatregelen die beschikbaar zijn voor particulieren steunt de Vlaamse overheid sinds 1984 ook het onderzoek en de ontwikkeling naar nieuwe zonnecel technologieën door subsidies toe te kennen aan IMEC. Tevens bestaan er instellingen zoals IWT en FWO die financiële steun verlenen voor de ontwikkeling van innovatieve producten en technologieën en aan diverse onderzoeksprojecten. (ODE Vlaanderen, geraadpleegd op 3 oktober 2009).

Zoals reeds eerder vermeld staat de technologie van organische zonnecellen nog in haar kinderschoenen. De eerste generaties organische zonnecellen hadden een rendement van 2%. Door steeds te innoveren en nieuwe technieken toe te passen ligt het rendement vandaag op ongeveer 7,9%. Dit is echter niet genoeg om deze zonnecellen op grote schaal te gebruiken. Toch komen bepaalde specifieke markten naar voor als het gaat om toepassingen van deze organische zonnecellen. We spreken hier over organische zonnecellen op kledij of op MP3 spelers en mobiele telefoons zodat deze kunnen opgeladen worden (IMEC, 2008).

Voorbeelden van specifieke toepassingen vinden we bij Konarka, een Amerikaanse onderneming die organische zonnecellen produceert. Sinds enkele jaren werkt Konarka samen met ECN (Energy research Centre of the Netherlands) met als doel toepassingen te ontwikkelen voor organische zonnecellen en het onderzoek naar een hoger niveau te tillen. Zonnecellen (power plastics) ontwikkeld en geproduceerd door Konarka kunnen bijvoorbeeld gebruikt worden voor een draagbare oplader, micro-elektronica zoals smart cards, elektronische tandenborstels,... (Konarka Technologies, geraadpleegd op 1 oktober 2009).

De belangrijkste vraag blijft natuurlijk of organische zonnecellen in de toekomst zullen kunnen concurreren met de huidige silicium zonnecellen of deze zelfs kunnen vervangen. De weinige mogelijkheden voor organische zonnecellen die er vandaag bestaan hebben vooral betrekking op relatief kleine toepassingen zoals hierboven vermeld. We kunnen ons dan ook afvragen of deze organische zonnecellen genoeg potentieel vertonen om binnen enkele jaren verder op grote schaal gecommmercialiseerd te worden. Vast staat dat er nog heel wat onderzoek zal moeten gebeuren, willen deze organische zonnecellen hetzelfde rendement en efficiëntie bereiken als de silicium zonnecellen.

1.2 Onderzoeksvragen

Groene stroom wordt alsmaar belangrijker in onze huidige maatschappij. Zonne-energie kan men dan ook beschouwen als een interessant alternatief voor de huidige fossiele brandstoffen. Het is een vorm van energie die voor zowel particulieren als bedrijven alsmaar belangrijker kan worden in de toekomst. Voor particulieren kan het waardevol zijn bij wijze van toekomstige kostenbesparing, maar ook voor ondernemingen die een duurzaam karakter willen nastreven en hun energiekosten in de nabije toekomst willen drukken kan zonne-energie een mooi alternatief zijn. Aanleiding voor deze masterproef is dan ook om na te gaan in welke mate er binnen de huidige markt van zonne-energie mogelijkheden zijn om in de toekomst nieuwe toepassingen zoals organische zonnecellen uit te werken. Welke zijn op dit moment de interne troeven en gevaren van organische zonnecellen? Tevens kan er nagegaan worden welke de kansen en bedreigingen zijn naar de toekomst toe. De nadruk van het onderzoekopzet zal niet als zodanig op de technische aspecten liggen, maar eerder op de economische aspecten.

Als centrale onderzoeksvraag voor deze masterproef werd er gekozen:

Kunnen organische zonnecellen in de toekomst een waardig structureel alternatief vormen voor niet-organische zonnecellen?

Enkele deelvragen die de centrale onderzoeksvraag kunnen aanvullen zijn:

Wat zijn organische zonnecellen en wat is het verschil met andere zonnecellen?

Wat is op de markt van zonnecellen de huidige stand van zaken?

Welke zijn de mogelijke sterke punten van organische zonnecellen?

Wat zijn de reeds bewezen resultaten/mogelijkheden van organische zonnecellen?

Wat zijn mogelijke toepassingen en verwachtingen naar de toekomst toe?

Als geografisch gebied zal er gekeken worden naar de markt van zonnecellen in Vlaanderen en bij uitbreiding België. Een vergroting van het geografisch gebied kan relevant zijn maar zou deze masterproef te omslachtig maken. Wel kan er gekeken worden naar studies met betrekking tot organische zonnecellen die door buitenlandse onderzoekscentra gevoerd worden.

Wat zonnecellen betreft zijn er op de markt verschillende types voorhanden. Enkele voorbeelden zijn: de traditionele kristallijnen silicium zonnecel, polymeerzonnecel, CIGS zonnecel, CdTe zonnecel, amorf silicium zonnecellen... Elk van deze zonnecellen verschilt technisch van elkaar en wekt op zijn eigen unieke manier elektriciteit op. In deze thesis wordt er voornamelijk een algemeen overzicht gegeven van de verschillende generaties die er bestaan zonder al te specifiek in te gaan op technische details. Er zal dan ook vooral aandacht worden besteed aan de algemene economische aspecten zoals het rendement, de efficiëntie, de leereffecten, de schaaffecten,... van deze zonnecellen.

1.3 Onderzoeksopzet

Het belang van hernieuwbare energie, met name zonne-energie, wordt steeds meer zichtbaar en mensen worden zich hiervan steeds meer en meer bewust. Het is nu aan de overheid, bedrijven, milieugroeperingen,... om ervoor te zorgen dat deze hernieuwbare energie ook daadwerkelijk in de maatschappij ingeburgerd raakt. De laatste decennia is het bewustzijn, bij zowel particulieren als bedrijven, gegroeid dat er wel degelijk nood is aan het gebruik van groene/duurzame energie.

Verder zal er algemeen worden ingegaan op de verschillende generaties zonnecellen en welke er de dag van vandaag het meeste worden toegepast. Hier zal de nadruk dan ook voornamelijk gelegd worden op het verschil tussen organische (polymeer zonnecellen) en niet-organische zonnecellen. Welke zijn de fundamentele verschillen tussen deze twee types zonnecellen? Tevens zal er kort worden ingegaan op de werking van PV systemen en modules.

Vervolgens zal bekeken worden welk beleid er in Vlaanderen (bij uitbreiding het federale niveau) inzake steunmaatregelen en subsidies voor de installatie van PV systemen gevoerd wordt. Hier zal voornamelijk geanalyseerd worden welke premies de verschillende overheden ter beschikking hebben gesteld en er zal ook iets dieper ingegaan worden op groenestroomcertificaten. Ook zal nagegaan worden of deze steunmaatregelen pas gewijzigd zijn of in de toekomst zullen veranderd worden en met welke reden men dit zou doen.

Nadat de algemene eigenschappen van de verschillende generaties zonnecellen besproken zijn, zullen organische zonnecellen specifiek geanalyseerd worden met betrekking tot de economische haalbaarheid ervan. Dit praktijkonderzoek zal gebeuren aan de hand van een SWOT-analyse. Deze zal uitgevoerd worden aan de hand van een grondige literatuurstudie en diepte-interviews met bevoorrechte getuigen. Vervolgens zal getracht worden om een globaal beeld te schetsen van hoe de ontwikkeling van organische zonnecellen er op dit moment voor staat. Het is de bedoeling om aan te tonen waar de sterke en zwakke punten van organische zonnecellen zich bevinden. Tevens zal er gepolst worden naar de externe kansen en bedreigingen die organische zonnecellen in de toekomst mogelijk kunnen tegenkomen. Hier zal dan bijvoorbeeld de nadruk gelegd worden op schaaleffecten, leereffecten en het beleid dat gevoerd wordt. Verder zal een belangrijk punt zijn om na te gaan welke beperkingen er op dit moment bestaan met betrekking tot organische zonnecellen en welke aspecten cruciaal zijn voor een goede werking in de toekomst.

2 Duurzame Energie en Ontwikkeling

2.1 Inleiding

Op dit moment wordt in het grootste deel van deze energie geleverd door fossiele brandstoffen. In België wordt 73,6% van de energie geleverd door de drie traditionele brandstoffen: olie, steenkool en gas. De overgrote rest van de energieproductie is vooral afkomstig uit kernsplijting (IEA, geraadpleegd op 27 november 2009). De laatste veertig jaar is het globale verbruik van energie ruwweg gestegen met 155%. Het laatste decennium met 27%. Deze stijging heeft verschillende oorzaken, waaronder de enorme stijging van de vraag naar energie in China en India. Zij zijn de grootst groeiende economieën en verwacht wordt dat de eerstvolgende jaren hun energiebehoefte enkel maar zal toenemen (EIA, geraadpleegd op 26 november 2009).

Het grootste nadeel van fossiele brandstoffen is hun beperkte beschikbaarheid in de tijd. Eveneens zijn de aanwezige reserves op aarde en het toekomstige energieverbruik moeilijk in te schatten. Er circuleren dan ook veel verschillende ramingen over hoe lang deze fossiele brandstoffen nog beschikbaar zullen zijn. Volgens BP (2009) zullen de oliereserves over 42 jaar opgebruikt zijn, aardgas over 60,4 jaar en steenkool zou nog 122 jaar als brandstof kunnen aangewend worden. Het is dus zeer belangrijk dat men beseft dat het tijdperk van fossiele brandstoffen binnen afzienbare tijd zal eindigen.

Het is dan ook overduidelijk dat er in de toekomst nood is aan andere middelen om aan onze energiebehoeften te blijven voldoen. De voorraad fossiele brandstoffen op aarde is immers eindig. Er zal natuurlijk veel tijd en inspanning vereist zijn om 73,6% van onze energieproductie om te zetten in andere energiebronnen dan deze die we vandaag de dag gebruiken. Om alles zonder problemen en zonder tijdsgebrek te laten verlopen is het noodzakelijk dat er op dit moment al wordt begonnen met de geleidelijke omschakeling naar duurzame energiebronnen.

2.2 Duurzame Ontwikkeling

Technologie is van zeer groot belang voor de blijvende ontwikkeling van de mens. Langs de ene kant bepaald technologie de gevraagde hoeveelheid ruwe materialen, energie, nood voor transport, infrastructuur, de uitstoot van schadelijke stoffen,... Langs de andere kant is technologie een belangrijke factor die innovatie in de hand werkt, consumptiepatronen bepaald, sociale relaties en culturele ontwikkelingen stimuleert. Dit alles impliceert dat de ontwikkeling, productie en gebruik van deze technologieën een impact heeft op de ecologische, economische en sociale dimensies van duurzame ontwikkeling (Fleischer et al., 2008).

Het staat dan ook niet ter discussie dat de toekomstige alternatieven voor energieproductie duurzaam moeten zijn. Het is noodzakelijk dat er in de nabije toekomst geïnvesteerd wordt in duurzame ontwikkeling van alternatieve energiebronnen. Zo kwam eind jaren 60, begin jaren 70 het heersende economische groeidenken onder druk te staan. Dit zowel vanuit sociaal als ecologisch standpunt. Men kwam tot het besef dat er een toenemende zorg in de samenleving moest groeien voor de kwaliteit van ons leefmilieu. Maatschappelijke zorg voor het leefmilieu is echter niet beperkt tot enkel Vlaanderen of Wallonië. Deze zorg is mondiaal (Annaert et al., 2005).

Deze wereldwijde zorg komt vooral tot uiting midden jaren zestig in particuliere alternatieven als de hieronder vermelde rapporten van de Club van Rome. Vrij vlug ontstonden er internationale organisaties die deze particuliere initiatieven wisten om te zetten in acties en programma's. In 1972 ontstaat het United Nations Environmental Program (UNEP) op het niveau van de Verenigde Naties. In 1973 wordt door de Europese Unie een eerste milieuactieprogramma uitgewerkt (Annaert et al., 2005).

Tevens werden er kanttekeningen geplaatst bij de wijze waarop men omsprong met natuurlijke hulpbronnen in productieprocessen. In talloze publicaties werd de milieuproblematiek ter ore gebracht van de samenleving en de overheden.

Een van de eerste en invloedrijkste was "*Limits to Growth*", het Rapport van de Club van Rome. Beïnvloed door het groeiende milieubesef werden door de Verenigde Naties verschillende conferenties georganiseerd waarbij de aandacht geleidelijk verschoof van milieuproblemen (Stockholm 1972) naar milieubehoud en ontwikkeling (Rio de Janeiro 1992) en tenslotte naar duurzame ontwikkeling (Johannesburg 2002). Toch kreeg duurzame ontwikkeling pas echt internationale bekendheid door "*Our Common Future*", beter bekend als het Brundtland rapport afgeleverd door de World Commission on Environment and Development (WCED) in 1987. Duurzame ontwikkeling wordt hier gedefinieerd als:

"Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs" (Annaert et al., 2005).

In het huidige debat over milieuvraagstukken is duurzame ontwikkeling bijna niet meer weg te denken. De sterke verbondenheid van "duurzaamheid" met "ontwikkeling" alsook de focus op het zowel "hier en nu" als "elders en later", heeft ervoor gezorgd dat duurzame ontwikkeling een multi-dimensioneel concept geworden is. Er worden verschillende dimensies onderscheiden waarin duurzame ontwikkeling tot stand moet komen: ecologisch, economisch, technologisch, sociaal en cultureel (Thewys, 2008-2009).

Men moet deze verschillende dimensies van duurzame ontwikkeling voortdurend beschouwen in onderlinge samenhang. Dit is echter een zeer complexe opgave. De overheid vervult hierin een zeer belangrijke rol. Ten eerste is duurzame ontwikkeling toch vooral een kwestie van algemeen belang. De overheid dient het algemene belang en is dan ook bevoegd hieromtrent politieke besluiten te nemen. Ten tweede moet de overheid iedereen in de maatschappij betrekken bij het proces van duurzame ontwikkeling. De overheid kan immers niet op haar eentje duurzame ontwikkeling tot stand brengen. Ten derde zal de overheid de burgers moeten informeren over duurzame ontwikkeling en deze sensibiliseren om hen aan te zetten tot nadenken over de huidige levensstijl.

De overheid moet hierbij trachten de boodschap op een duidelijke manier te communiceren bij de bevolking en duurzame ontwikkeling niet te verwoorden in abstract, wetenschappelijk en technisch beleidsjargon. Ten vierde stelt men vast dat het streven naar duurzame ontwikkeling de positie van onafhankelijke staat verandert. Er zal meer beslissingsbevoegdheid worden overgedragen aan de lokale besturen en aan supranationale organisaties (Thewys, 2008-2009).

Sinds 2006 wordt "duurzame ontwikkeling" als beleidsdoelstelling ook in de Belgische grondwet ingevoerd. Hierin speelt België een voortrekkersrol op internationaal vlak. Letterlijk zegt het nieuwe grondwetsartikel 7bis dat: *"bij de uitoefening van hun respectieve bevoegdheden, streven de federale staat, de gemeenschappen en de gewesten de doelstellingen na van een duurzame ontwikkeling in haar sociale, economische en milieugebonden aspecten, rekening houdend met de solidariteit tussen de generaties."*

Door het opnemen van "duurzame ontwikkeling" in de Belgische grondwet wordt duidelijk gemaakt dat elke beleidsdoelstelling moet worden getoetst binnen een bredere visie van duurzame ontwikkeling. Dit is niet enkel van toepassing voor nu, maar ook voor de toekomst. Met het opnemen van dit nieuwe grondwetsartikel wordt de overheid verplicht om ook rekening te houden met toekomstige generaties die op dit moment hun stem nog niet kunnen laten gelden.

Tenslotte slaat het nieuwe artikel niet enkel en alleen op de federale staat maar ook op de gemeenschappen en gewesten. De inschrijving creëert weliswaar geen subjectieve rechten voor de burgers. Het zal de magistraten echter wel helpen bij het nauwkeurig en juist interpreteren van wetten en decreten (Gazet van Antwerpen, geraadpleegd op 2 maart 2010).

2.3 Duurzame Energie

Na jaren van windstilte keerde energie sinds enkele jaren terug op de agenda van verschillende landen ter wereld. De vraag naar energie stijgt wereldwijd met de jonge opkomende economieën zoals bijvoorbeeld China en India verantwoordelijk voor de groei.

Volgens Fleischer et al. (2008) wordt er verwacht dat de energieconsumptie de volgende 25 jaar met ongeveer 2% per jaar zal toenemen. Langs de andere kant hebben meer dan 2 miljard mensen geen toegang tot betrouwbare energiebronnen. Bovendien zal de energiemarkt, zeker nog de volgende jaren, gedomineerd worden door fossiele brandstoffen. Dit kan een ernstig probleem betekenen met betrekking tot de uitstoot van broeikasgassen. Er zal zich vooral een stijging voordoen van de CO₂ emissies. Men verwacht dat deze emissies sneller zullen stijgen dan de energieconsumptie aangezien de grootste groei zal plaatsvinden in regio's die nog steeds sterk afhankelijk zijn van fossiele brandstoffen. De taak van de overheid is hier driedelig. Ten eerste moet er een hogere energie efficiëntie bereikt worden. Vervolgens moet men als overheid het gebruik van hernieuwbare energiebronnen promoten. Ten derde is het belangrijk dat men de CO₂ emissies terugdringt (Fleischer et al., 2008).

Energietechnologieën op basis van hernieuwbare energiebronnen moeten in grote mate voldoen aan drie criteria van "duurzame energie". Ten eerste mogen tijdens de productie van energie er geen schadelijke milieueffecten optreden. Er worden geen fossiele brandstoffen verbrand en dus geen CO₂ uitgestoten en zo zullen er tevens veel minder schadelijk stoffen zoals NO_x, N₂O,... vrijkomen. Vervolgens is het noodzakelijk dat deze energiebronnen niet uitputbaar zijn. En ten derde moeten ze bijdragen aan de socio-economische ontwikkeling (Thewys, 2008-2009).

Energie en energiebronnen zullen niet oneindig beschikbaar zijn. De oliecrisis in 1973 en 1979 waren daarin een belangrijk keerpunt. Volgende generaties zullen te maken krijgen met problemen zoals de eindigheid van de reserves: steenkool, aardolie en aardgas zullen ooit op raken. Terwijl de voorraad verder afneemt, blijft de vraag toenemen. De wereldbevolking blijft jaar na jaar groeien en het energiegebruik per capita stijgt. Deze energiebronnen zijn dus uitputbaar, in tegenstelling tot de energie van natuurlijke verschijnselen zoals zon, wind, water. Deze kunnen we als oneindig beschouwen (ODE wegwijzer, 2007).

Bovendien is er ook het probleem van de milieuvervuiling. De aarde wordt in een steeds hoger tempo ernstig vervuild.

De energiesector doet daarbij een forse duit in het zakje. Lood, CO₂, N₂O, NO_x,... zijn reststoffen die in steeds hogere concentraties in onze lucht, water en de bodem voorkomen. Vanzelfsprekend hebben deze stoffen een zware impact op het milieu (ODE wegwijzer, 2007).

Om deze problemen op te lossen, moeten er dringend maatregelen genomen worden. Er zal een veelzijdige aanpak nodig zijn om de toekomstige behoefte aan energie en de energieopwekking op een duurzame manier op elkaar af te stemmen. Twee hoofdfactoren hierin zijn het rationele gebruik van energie en hernieuwbare energiebronnen (ODE wegwijzer, 2007).

Met het rationele gebruik van energie wil men het spaarzaam en efficiënt aanwenden van energie aanmoedigen. Men zal er op moeten toezien dat rationeel energiegebruik wordt toegepast in verschillende sectoren zoals: huishoudens, transport, industrie,... Om dit te realiseren zal het beleid zich moeten focussen op zowel het aanmoedigen van energiebesparing als het ontmoedigen van overmatig energiegebruik (ODE wegwijzer, 2007).

De tweede belangrijke factor is het aanwenden van hernieuwbare energiebronnen. Al sinds de oudheid zijn zon, wind en water de meest gebruikte energiebronnen. In de westerse industrie zijn deze door de opkomst van steenkool en olie echter in de vergeethoek geraakt. Toch is er in bepaalde sectoren een belangrijke rol weggelegd voor hernieuwbare energiebronnen. De laatste jaren heeft men bestaande technieken geoptimaliseerd of nieuwe technieken ontwikkeld. Het potentieel is aanwezig en de ontwikkelingen bevinden zich nog lang niet op een eindpunt (ODE wegwijzer, 2007).

3 Zonne-energie voor Productie van Elektriciteit

3.1 Inleiding

De zon is een oneindige bron van gratis brandstof voor onze aarde. Om van deze fotovoltaïsche energie gebruik te kunnen maken moet men echter beschikken over een PV – systeem. Op deze manier zal zonlicht worden omgezet naar elektriciteit (ODE, 2007).

Zonne-energie kan op diverse manieren nuttig gebruikt worden. Als lichtbron, voor de productie van warmte en voor de productie van energie. Vaak spreekt men in dit verband over fotovoltaïsche energie. Letterlijk betekent dit "licht-elektriciteit". De term is afgeleid van het Griekse woord "phos", licht en "voltaïsch" is een verwijzing naar Alessandro Volta (ODE, 2007).

Er was voor het eerst sprake van een fotovoltaïsche effect in 1839. Deze ontdekking mag toegeschreven worden aan de Franse fysicus Edmund Becquerel. Tijdens een van zijn experimenten met zilverbromide en zilverchloride elektroden nam hij toevallig een stroom waar terwijl hij deze elektroden onderdompelde in een waterhoudende oplossing. Enige tijd later in 1873 en 1876 verschenen de eerste rapporten van Smith en Adams over het zogenaamde fotovoltaïsch effect. Het duurde evenwel nog tot 1954 vooraleer de eerste anorganische zonnecel was ontwikkeld door Bell Laboratories. Dit was een silicium zonnecel met een efficiëntie van rond de 6% (Spanggaard et al., 2004).

3.2 Zonne-energie

De dag van vandaag blijven waterkrachtcentrales de grootste bron van duurzame energie. Daarachter volgen biomassa, thermische zonne-energie, windenergie, geothermische energie, en fotovoltaïsche zonne-energie. Dit laatste bezit echter een zeer groot potentieel. Netgekoppelde fotovoltaïsche zonne-energie was in 2008 de snelst groeiende hernieuwbare energiebron met capaciteitstijging van 70% tot 13000 MWp. Dit is zes keer meer dan in 2004 (REN21).

De laatste jaren vormt er zich een duidelijke trend in de capaciteit voor zonne-energie. De markt is het laatste decennium op een zodanige wijze gegroeid dat op dit moment deze industrie jaarlijks zo'n € 13 miljard waard is. Door de enorme groei in marktpotentieel van zonne-energie is de competitie tussen de verschillende spelers op de markt dan ook een stuk intenser geworden (Ren 21, 2009 & EPIA, 2008).

Ondertussen wordt er blijvend geïnvesteerd in zonne-energie. Vooral in de Europese Unie en Japan wordt er zwaar ingezet op nieuwe productietechnologie. In 2008 werd er wereldwijd meer dan 1,6 miljard euro geïnvesteerd in nieuwe fabrieken om zonnecellen en modules te produceren. Deze inspanningen samen met de verschillende steunmaatregelen en promoties aangeboden door de overheden, moeten ervoor zorgen dat binnen enkele jaren zonne-energie zich zal manifesteren als een volwaardige energiebron die de concurrentie kan aangaan met conventionele energiebronnen (EPIA, 2008).

Tevens is zonne-energie een vorm van energie die over de ganse wereld aangewend kan worden. De hoeveelheid zonnestralen die ieder jaar de aarde bereiken, is genoeg om 10000 keer te voorzien in het jaarlijkse energiegebruik van de hele wereldbevolking. De hoeveelheid energie die omgezet kan worden is afhankelijk van de grootte en de sterkte van de instraling. Plaatsen op aarde tussen de twee keerkringen kennen jaarlijks de meeste zonnestraling en hebben een groot potentieel voor fotovoltaïsche zonne-energie. Dit geldt eveneens voor gebieden die weinig last hebben van factoren die verhinderend kunnen zijn zoals bomen en wolken. Woestijnen zijn vanzelfsprekend de uitverkoren plaats voor een maximale energieomzetting (EPIA, 2008).

De vaak voorkomende aanwezigheid van wolken in België betekent echter niet dat er geen potentieel is voor het gebruik van zonne-energie. De zonnestraling wordt "verstrooid" door het wolkendek en is altijd een combinatie van direct en diffuus licht, waarbij diffuus licht afkomstig is van weerkaatsingen in de atmosfeer (door luchtdeeltjes en bewolking), het aardoppervlak (grond en water) en overige omgevingsinvloeden die zowel natuurlijk als kunstmatig van aard kunnen zijn. Diffuus licht kunnen we definiëren als: "het gelijkmatig uit alle richtingen komende daglicht bij een volledig bewolkte hemel" (ODE, 2007).

Bij een heldere lucht is eveneens een deel van het instralende licht diffuus. Dit licht kan ook omgezet worden in elektriciteit door PV - systemen, maar op een minder efficiënte manier dan directe instraling. In België bereikt jaarlijks ongeveer 60% van het daglicht ons als diffuus licht (ODE, 2007).

Verder neemt het diffuse deel van het zonlicht toe naarmate de lichtintensiteit afneemt en verschilt verder van het directe deel van zonlicht doordat het spectrum ervan zich meer in de kortere golflengtes bevindt. In de volgende tabel is dit weergegeven voor een aantal weersomstandigheden (ODE, 2007).

Tabel 1: Percentage diffuus zonlicht

Weersomstandigheden	Percentage diffuus deel van zonlicht [%]
Heldere blauwe hemel zonder wolkendek	10 – 20
Lichte bewolking	20 – 80
Zware bewolking	80 – 100

Bron: (ODE, 2007)

3.2.1 Zonne-energie: Positieve Implicaties

Fotovoltaïsche zonne-energie heeft verschillende positieve punten vergeleken met de conventionele energiebronnen zoals steenkool, olie en gas bovenop het simpelweg leveren van energie. Zo draagt zonne-energie bij aan de duurzame ontwikkeling van de menselijke activiteiten. Het meest voor de hand liggende voordeel is gerelateerd aan het niet veroorzaken van hinder voor het milieu: verminderde CO₂ uitstoot, geen emissies van schadelijke stoffen, geen geluidshinder gedurende de werking van PV – installaties, etc.

Er is tevens sprake van sociale voordelen zoals bijvoorbeeld de creatie van nieuwe jobs of energieonafhankelijkheid. Volgens Thewys (2008) en Tsoutsos et al. (2005) kan zonne-energie vele positieve implicaties hebben:

- Reductie in de emissie van broeikasgassen en andere schadelijke stoffen;
- Geopolitieke stabiliteit (Stijging in de regionale en nationale energie onafhankelijkheid);
- Werkgelegenheid in de energiesector;
- Steun voor de deregulatie van energiemarkten;
- Kansen voor de industrie op vlak van export en innovatie.

PV-systemen zijn simpele, risicoloze installaties die praktisch overal gemonteerd kunnen worden waar direct zonlicht beschikbaar is. Deze systemen zijn beschikbaar voor gebruik door zowel particulieren als bedrijven. Er is dan ook een groot potentieel aanwezig voor het gebruik van daken en façades van woningen en fabrieken voor deze installaties. Bijkomend voordeel is dat men de PV modules kan integreren in het ontwerp van de gebouwen en op deze manier ook bescherming kan bieden tegen wind en regen (EPIA, 2008).

Zoals hierboven al vermeld biedt zonne-energie een belangrijk sociaal voordeel in de vorm van werkgelegenheid. Veel van deze jobs worden gecreëerd bij de installateurs, waardoor op deze manier de lokale economie wordt gestimuleerd. Volgens EPIA (2008) worden er ongeveer 33 jobs per MWp tijdens het installatieproces gecreëerd en 10 jobs per MWp bij de productie van zonnecellen.

Bijkomend zouden verkoop, onderzoek en indirect aanbod nog eens een drie- tot zestal jobs per MWp creëren. Men mag verwachten dat deze cijfers in de toekomst zullen dalen aangezien het productieproces meer efficiënt zal worden door onder andere het gebruik van geautomatiseerde machines.

In Duitsland stelde de PV industrie in 2007 alleen al 42000 mensen te werk. Dit is meer dan in de nucleaire industrie. Deze industrie heeft dan ook een grote impact op een nationale economie en de tewerkstelling. Het is dus van groot belang dat men zulke industrie zeker niet verwaarloost. Volgens de meest optimistische schattingen van EPIA zouden er tegen 2030 ongeveer 10 miljoen jobs in de zonne-energie sector zijn (EPIA, 2008).

Zonne-energie is bovendien schone energie. Er wordt namelijk geen koolstofdioxide uitgestoten, de stof die onder andere verantwoordelijk is voor de opwarming van de aarde. Dit is onmiddellijk het meest belangrijke voordeel van zonne-energie t.o.v. conventionele energiebronnen. Er worden eveneens geen andere vervuilende stoffen uitgestoten en er is geen sprake van geluidshinder (EPIA, 2008).

3.2.2 Zonne-energie: Negatieve Implicaties

Uiteraard zijn er ook minder gunstige effecten van PV – installaties. Een eerste potentieel negatief effect dat kan ontstaan is bijvoorbeeld de hinder voor de omgeving en het zicht. Dit is meestal specifiek van geval tot geval en is afhankelijk van de aard en grootte van het project. Men kan deze hinder bijvoorbeeld beperken door de PV panelen op een efficiënte manier te integreren in het ontwerp en structuur van de woning (Tsoutsos et al., 2005).

Verder is één van de belangrijkste negatieve punten de hoge initiële kost van zonnepanelen en de balance of system componenten. In vergelijking met de fossiele brandstoffen blijft zonne-energie nog steeds een kostelijk alternatief. Zonder steunmaatregelen zou zonne-energie dan ook moeilijk de concurrentie kunnen aangaan met fossiele brandstoffen. Dit wordt verder besproken in hoofdstuk vier (Lorenz et al., 2008).

Een derde negatief punt van zonne-energie is gerelateerd aan de eigenschappen van de zonnecellen zelf. Zo kunnen bijvoorbeeld luchtvervuiling of wolken zorgen voor een afname in de efficiëntie van de zonnecellen. Tevens kan men met zonnecellen enkel elektriciteit opwekken wanneer de zon effectief schijnt. 's Nachts kan er geen gebruik gemaakt worden van de installatie (CleanEnergy, geraadpleegd op 30 maart 2010).

Hoewel, zoals hiervoor reeds vermeld, er geen CO₂ wordt uitgestoten tijdens de werking van de PV systemen is er wel sprake van een CO₂ uitstoot tijdens het productieproces van zonnecellen. Dit kan potentieel een vierde negatief punt zijn. Het productieproces van Silicium zonnecellen bestaat uit vijf stappen. Ten eerste de productie van ruwe materialen. Vervolgens is het noodzakelijk dat de verschillende materialen gezuiverd worden om deze daarna te verwerken. Ten derde is er de productie van de PV-modules en de andere componenten die nodig zijn voor een PV-installatie. Later is er dan de installatie van deze systemen en daarna, wanneer ze aan het einde van hun levenscyclus gekomen zijn, moeten de verschillende onderdelen worden gerecycleerd (Fthenakis, 2009).

De twee belangrijkste factoren om de impact van zonnecellen op de omgeving te analyseren zijn de energierugverdiëntijd en de uitstoot van broeikasgassen. Energierugverdiëntijd kan men definiëren als de periode die nodig is voor een hernieuwbare energiebron om dezelfde hoeveelheid energie te produceren als er gebruikt is om de energiebron zelf te produceren. Op dit moment varieert de energierugverdiëntijd voor zonnecelinstallaties op daken tussen 1,7 en 2,7 jaar (Fthenakis, 2009).

De meest relevante broeikasgassen tijdens het productieproces van Silicium zonnecellen zijn CO₂, CH₄, N₂O en chlorofluorocarbons. Het gebruik van primaire energie en brandstof voor de verwerking van materialen en de productie van PV-modules zijn de meest belangrijke bronnen van emissies. Volgens Fthenakis (2009) is de primaire energie consumptie respectievelijk 3200 en 4200 MJ/m² voor multi- en monokristallijne Silicium modules en schommelen de emissies van broeikasgassen tijdens de productie van silicium zonnecellen tussen 30–45 gram CO₂/kWh.

Toch is dit te verwaarlozen als men vergelijkt met de traditionele manieren om energie op te wekken zoals bijvoorbeeld een steenkoolcentrale. Hier wordt er ongeveer zo'n 1000 ton CO₂/GWh uitgestoten (Fthenakis, 2009).

Tevens kan men zich ook afvragen wat er na de gebruiksduur gebeurt met de overige elementen die deel uitmaken van een zonnecelinstallatie. Zo zijn er additionele onderdelen nodig om de zonnecellen te verbinden met het elektriciteitsnet en deze te installeren op bijvoorbeeld daken. De zogenaamde zonnecelmodules bestaan voornamelijk uit aluminium frames, stalen ondersteuning en een bijhorende omvormer. Een ander belangrijk element is het glas dat wordt gebruikt om de zonnecellen in te kapselen. Het is van groot belang dat deze zogenaamde "Balance of System" componenten op een verantwoorde manier gerecycleerd zullen worden (Azzopardi et al., 2010).

In 2008 was er in Europa zo'n 3800 ton "PV-afval". Dit is echter nog steeds zeer miniem. Men verwacht evenwel dat de volgende jaren dit meer dan verdubbelen zal. Er wordt een jaarlijkse hoeveelheid van 35.000 ton voorzien tegen 2020. Voor Europa is het dan ook essentieel dat er een degelijk beleid wordt uitgewerkt rond PV recyclage. Het is belangrijk dat het PV afval wordt teruggenomen met het oog op de veiligheid van de mens en zijn omgeving. In dit kader werd in 2007 "PV Cycle Association" opgericht. Het is een organisatie opgericht met de bedoeling om de verschillende spelers in de zonnecelindustrie er toe te bewegen een vrijwillig recyclage programma op poten te zetten. Op deze manier wil de zonnecelindustrie duurzame energie hoog in het vaandel dragen en niet blind zijn voor de impacts op de omgeving gedurende de hele levenscyclus van de zonnecelmodules. Hoewel de zonnecelindustrie nog jong is, omarmen grote producenten het concept van producentenverantwoordelijkheid. Door reeds op dit moment te focussen op de recyclage van PV installaties kan men op deze manier helpen om de toekomstige klimaatsverandering tegen te gaan (PV cycle, 2007) & (Azzopardi et al., 2010).

3.3 Zonne-energie: Marktgegevens en Potentieel

Volgens Euroobserver (2009) kon men in 2008 wereldwijd meer dan een verdubbeling vaststellen van de jaarlijks geïnstalleerde photovoltaïsche capaciteit ten opzichte van 2007 (stijging van 119%, van 2,65 GWp tot 5,8 GWp). De Europese Unie is nog steeds de wereldleider op gebied van zonne-energie met aandeel van ongeveer 80% (9.533,250 MWp) in de wereldwijde geïnstalleerde capaciteit. Europa wordt echter op de voet gevolgd door Japan, Zuid-Korea en de Verenigde Staten (Euroobserver, 2009).

Tabel 2: Photovoltaïsche capaciteit in VS, Japan en Zuid-Korea

	Japan	Verenigde Staten	Zuid-Korea
Geïnstalleerde capaciteit in 2008	180–320 MWp	342 MWp	274 MWp
Geaccumuleerde capaciteit in 2008	2,1 GWp	1,2 GWp	351,6 MWp

Bron: (Euroobserver: Photovoltaic barometer)

In de Europese Unie alleen was er in 2008 een stijging van het geïnstalleerde vermogen vast te stellen van 1825,6 MWp tot 4592,3 MWp. Deze stijging is voornamelijk te wijten aan de spectaculaire groei van de markt in Spanje. Maar ook de gestage groei van de markt in Duitsland en in mindere mate de groei van de geïnstalleerde capaciteit in Italië, Tsjechië, Portugal, België en Frankrijk was een belangrijke bijdrage in deze significante stijging. De meeste van deze installaties zijn de zogenaamde on-grid applicaties. Stand-alone photovoltaïsche systemen droegen in 2008 maar bij voor 128,2 MWp van het totaal geïnstalleerde vermogen (Euroobserver, 2009).

Duitsland is veruit de grootste producent van zonnecellen en zonnecelmodules in Europa. Volgens Photon International magazine werd er in 2008 voor 1.207 MWp aan zonnecelmodules en voor 1.512 MWp aan zonnecellen geproduceerd. Deze sterke stijging in de productie laat zich ook vertalen in de verkoopcijfers. Deze bedroegen ongeveer 7 miljard euro in 2008 ten opzichte van 5,7 miljard euro in 2007 en 2,8 miljard euro in 2006.

Op dit moment heeft Duitsland meer dan 130 producenten van zonnecellen en zonnecelmodules en zijn er circa 10.000 ondernemingen rechtstreeks betrokken met de zonnecelindustrie. Tevens konden in 2008 een significante stijging vaststellen inzake investeringen. Deze investeringen in de zonnecelindustrie stegen in 2008 tot 2.150 miljoen euro (Euroobserver, 2009).

Het is duidelijk dat Duitsland één van de top performers is van Europa. Volgens de Duitse Solar Industry Association bedroeg de totale on-grid geïnstalleerde capaciteit in 2009 ongeveer 1.500 MWp. De verwachtingen zijn dat de markt in 2010 nog verder zal groeien. Duitsland is echter niet de enige belangrijke markt voor zonnecellen in Europa. Zoals eerder vermeld is ook de markt in Spanje spectaculair gegroeid in 2008. De totale capaciteit steeg er tot 3.404,8 MWp met een nieuwe geïnstalleerde capaciteit van 2.670,9 MWp in 2008 (Euroobserver, 2009).

Er wordt eveneens verwacht dat de Belgische markt voor zonne-energie de volgende jaren verder zal groeien, vooral met name voor PV-installaties op daken. België installeerde in 2008 voor bijna 50 MWp aan zonnecellen om zo de totale geïnstalleerde capaciteit op 71,2 MWp te brengen (61,3 MWp in Vlaanderen, 9,3 MWp in Wallonië en 617 kWp in Brussel) (Euroobserver, 2009).

Als gevolg van de veelbelovende toekomst voor PV-energie heeft de Europese sectorfederatie EPIA in samenwerking met Greenpeace een studie gemaakt over de mogelijkheden van zonne-energie naar de toekomst. Vertrokken van cijfers uit 2007 heeft men twee scenario's uitgewerkt. Een "advanced" scenario en een "moderate" scenario. Het "advanced" scenario is gebaseerd op de veronderstelling dat men zich op een continue markt bevindt en de ondersteuningsmechanismen vanuit de overheid zorgen voor een expansie van de wereldwijde geïnstalleerde capaciteit. Deze ondersteuningsmechanismen zorgen voor economies of scale, waardoor de prijzen voor PV verder zullen dalen. Het "moderate" scenario daarentegen is gebaseerd op minder politieke inmenging en minder steunmaatregelen. Verwacht wordt dat ontwikkeling en groei van de markt trager verlopen dan in het vorige scenario. Hierdoor is het effect van de schaalvoordelen kleiner en zullen de prijzen en de productiekosten minder snel dalen. In de onderstaande tabellen kan u de groeipercentages vinden van de PV-markt onder de verschillende scenario's.

Tabel 3: Advanced scenario

Gemiddelde groeivoet 2011 - 2020	28%
Gemiddelde groeivoet 2021 - 2030	18%

Tabel 4: Gewoon scenario

Gemiddelde groeivoet 2011 - 2020	21%
Gemiddelde groeivoet 2021 - 2030	12%

Tabel 5: Globale markt voor zonne-energie onder Advanced & gewoon scenario

	Situatie	Scenario	
	2007	2020	2030
Advanced Scenario			
Jaarlijkse installatie in GWp	2,65	56	281
Geaccumuleerde capaciteit in GWp	9,2	278	1.864
Elektriciteitsproductie in TWh	10	362	2.646
On-grid connecties in miljoen	5,5	198	1.280
Tewerkstelling (1000)	119	2.343	9.967
Marktwaarde in Miljard Euro	13	139	454
Gewoon Scenario			
Jaarlijkse installaties in GWp	2.4	35	105
Geaccumuleerde capaciteit in GWp	9.2	211	912
Elektriciteitsproductie in TWh	10	283	1.291
On-grid connecties in miljoen	5,5	136	564
Tewerkstelling (1000)	119	1.462	3.718
Marktwaarde in Miljard Euro	13	94	204

Bron: EPIA, Solar Generation V, 2008

De resultaten van beide scenario's laten duidelijk zien dat zelfs vanuit een relatieve lage basis (gewone scenario), PV elektriciteit het potentieel heeft een grote bijdrage te leveren aan het toekomstig elektriciteitsaanbod en aan de matiging van de klimaatsverandering. Het Solar Generation advanced scenario daarentegen laat zien dat tegen 2030, PV systemen globaal ongeveer 2.646 TWh elektriciteit zullen kunnen genereren. Ook zullen ongeveer 1.280 miljoen mensen bevoorraad kunnen worden met elektriciteit gegenereerd uit een netgekoppeld PV-systeem.

Actief zijn in competitieve markten zorgt er tevens voor dat individuen, ondernemingen en industrieën beter gaan presteren. Dit ligt aan de basis van het leereffect. Kosten zijn de meest belangrijke maatstaf voor de evaluatie van een nieuwe energie technologie.

Een nieuwe markt voor zonne-energie creëren vergt heel wat leerinvesteringen. Voor een hernieuwbare energie zoals zonne-energie lopen deze investeringen toch al snel op tot enkele miljarden euro's. Wil men een significant leerniveau aanhouden zal men nog enkele jaren inspanningen moeten doen. Om deze investeringen op een voldoende hoog niveau te houden, moeten er twee voorwaarden vervuld zijn. Ten eerste moet de overheid hun subsidieprogramma's voor zonne-energie in stand houden en ten tweede moet er globaal geleerd worden (IEA, Experience curves for energy technology policy, 2000).

Volgens Nemet (2006) en Albrecht (2007) heeft de stijgende vraag naar zonnecellen in de periode 2004-2007 het voor de producenten mogelijk gemaakt om grotere fabrieken te bouwen waardoor men belangrijke "*economies of scale*" kon realiseren. Ook leereffecten hebben een belangrijke rol gespeeld. Nemet (2006) wijst erop dat "leren door doen" één van de belangrijkste redenen was waarom de efficiëntie van commerciële silicium zonnecellen is verdubbeld. Zo zijn de kosten van zonne-energie de laatste 20 jaar gestaag gedaald met een gemiddelde "*progress ratio*" van ongeveer 80% (verschillende bronnen geven progress ratios tussen 77 en 82%).

Dit betekent dat de kosten van zonne-energie gereduceerd zijn met 20% bij een verdubbeling van de productie. Hierbij moet echter vermeld worden dat, van alle doorbraken inzake celefficiëntie, 62,5% werd gerealiseerd in onderzoekscentra van universiteiten. Deze onderzoekscentra konden dus niet leren door ervaring met productie op grote schaal. Bij organische zonnecellen kan men zich dus afvragen "waar" deze leereffecten zich zullen voordoen en niet "of" ze zich zullen voordoen.

3.4 De Zonnecel

Met behulp van een zonnecel wordt zonlicht omgezet in elektriciteit. De meeste zonnecellen worden gemaakt uit halfgeleidermaterialen die enkel effectief zijn wanneer er licht op valt. Deze cellen worden geproduceerd uit halfgeleiders zoals bijvoorbeeld silicium, dat momenteel het meest gebruikte materiaal is. Als er licht invalt op deze halfgeleider, wordt een deel van de energie hierdoor geabsorbeerd. Deze energie laat elektronen vrij bewegen zodat er een positieve en een negatieve laag ontstaat. Deze beweging van elektronen is een elektrische stroom, die opgeslagen en verbruikt kan worden (ECN, 2001 & ODE, 2007).

Er wordt verondersteld dat in de toekomst een blijvende vooruitgang zal plaatsvinden in het ontwerp van zonnecellen en de gebruikte materialen. Over het algemeen zijn er op dit moment drie types zonnecellen te onderscheiden: zonnecellen uit kristallijn silicium, dunne film zonnecellen en organische zonnecellen. Elk van deze heeft zijn eigen voordelen voor bepaalde toepassingen. Ondernemingen die één van deze technologieën ontwikkelen en produceren, zijn erop uit om hun kosten te verminderen door zonnecellen meer efficiënt te maken. Met efficiëntie wordt de hoeveelheid energie bedoeld die gegenereerd wordt door de omzetting van de zonnestraling. Hoe meer energie een zonnecel genereert hoe efficiënter de zonnecel en hoe minder grondstoffen er nodig zullen zijn om ze te produceren. Hun ontvangstopervlak hoeft dan ook niet zo groot te zijn. Verder zullen ze minder zwaar zijn, en goedkoper om te transporteren en te installeren (Lorenz et al., 2008).

3.4.1 Zonnecellen uit Kristallijn Silicium

De PV markt wordt voornamelijk gedomineerd door de bekende kristallijnen silicium zonnecellen (monokristallijn en multikristallijn). Van alle commerciële zonnecellen verkocht in 2004 waren 94% van kristallijn silicium. Hoewel silicium niet het meest ideale materiaal is voor de vervaardiging van zonnecellen wordt verwacht dat kristallijn silicium nog voor een hele tijd een dominante positie zal innemen in de markt voor zonnecellen. Dit mede door de relatief eenvoudige beschikbaarheid van silicium.

Maar ook door het feit dat silicium al geringe tijd wordt gebruikt in de elektronica-industrie en er hierover dus veel expertise aanwezig is. Vandaag de dag bereiken kristallijne silicium zonnecellen al een efficiëntie van om en bij de 20% in massaproductie (Kazmerski et al., 2005 & EPIA, 2008).

Silicium "wafers" (zeer dunne schijven silicium) zijn de basis van deze zonnecellen. Niet enkel de efficiëntie maar ook de dikte van deze wafers speelt een belangrijke rol. Dunnere wafers betekent dat men een kleinere hoeveelheid silicium kan gebruiken per zonnecel en zo de kosten kan drukken. De gemiddelde dikte van deze wafers is gedaald van 0.32 mm in 2003 tot 0.17 mm in 2008. Over dezelfde periode steeg de efficiëntie van 14% tot 16%. Een van de doelen van de sector is om in 2010 de dikte verder te doen dalen tot 0.15 mm (EPIA, 2008).

Monokristallijn silicium zonnecellen worden gemaakt van silicium- schijven, deze zijn uit één groot monokristal gezaagd. Monokristallijne cellen zijn meestal rond of vierkant met afgeronde hoeken. Ze zijn donkergrijs of donkerblauw. Multikristallijne silicium zonnecellen daarentegen worden eerst gegoten en daarna gezaagd in panelen. Dit productieproces is veel eenvoudiger en tevens goedkoper dan dat van monokristallijn silicium. Tijdens het stollingsproces ontstaan de kristallen die het materiaal zijn kenmerkend onregelmatig geschakeerde uitzicht geven. Het rendement van multikristallijne cellen is echter iets minder dan dat van monokristallijne cellen. Multikristallijne cellen zijn vierkant met zijdes van 10, 12,5 of 15 cm. Bij optimale laagdikte kan de kleur variëren van donkerblauw tot donkerpaars, dit wordt veroorzaakt door de anti-reflectie laag op het silicium.

Ook andere kleuren zoals goudbruin en groen kunnen mogelijk zijn, maar dit gaat ten koste van het rendement van de panelen door een hogere reflectie. Het marktaandeel van 90% was in 2007 min of meer evenredig verdeeld over monokristallijne (42,2%) en multikristallijne (45,2%) zonnecellen (ODE, 2007).

Volgens Pizzini (2009) werd ongeveer 84% van het geproduceerde polisilicium in 2008 gebruikt voor de vervaardiging van Silicium zonnecellen. Polisilicium is een gezuiverde kristallijne vorm van Silicium die nodig is voor de productie van halfgeleiders. Door de grote groei van de zonnecelindustrie was er in 2005 een tekort aan polisilicium.

De oorzaak lag niet in het tekort aan Silicium zelf, maar wel aan een tekort aan capaciteit om Silicium te zuiveren tot polisilicium. Het is vooral de productie van dit polisilicium dat complex en kapitaalintensief is. Om het zeer zuivere (99,999999%) silicium te verkrijgen zijn er namelijk diverse temperatuurstappen nodig die veel energie vergen. Bij een eerste stap wordt het siliciumkwarts zo verhit dat men het zogenaamde metallurgisch silicium verkrijgt. Met een zuiverheid van 98,5% is dit echter nog niet genoeg voor de productie van zonnecellen. Het silicium moet verder verwerkt worden om de nodige zuiverheid te bereiken. Dit gebeurt aan de hand van verschillende productieprocessen waarvan volgende drie het meest belangrijk zijn:

- Siemens process;
- Fluidized bed reactor (FBR) process;
- Upgraded MG-Si (UMG-Si) process.

Hoewel dit Siemens productieproces het meest gebruikt wordt, is ze het meest kostenvol. Deze hoge kost is zowel te wijten aan de hoge elektriciteitskost, de energie nodig kan al snel oplopen tot honderden kilowattuur per kilogram geproduceerd silicium, als aan de hoge investeringskosten. Daarnaast vormen de verschillende productieprocessen een gevaar voor de omgeving doordat hoog ontvlambare afvalproducten van silicium in de lucht kunnen terechtkomen (Pizzini, 2009).

Om zonne-energie aantrekkelijk te maken voor de energiemarkt en competitief met conventionele energiebronnen en nucleaire energie zullen de zonnecelfabrieken voor honderden GWp per jaar moeten produceren. Op deze manier zal de hoeveelheid silicium die nodig is meer zijn dan een miljoen ton per jaar. Als men weet dat de investeringskost om zulk Siemens productieproces, met een capaciteit van 1000 ton, op te zetten, geschat wordt rond 100 miljoen euro, is het niet eenvoudig om de financiële middelen daarvoor bij elkaar te krijgen (Pizzini, 2009).

Een andere bron van polysilicium is de elektronica-industrie. Silicium dat in deze industrie gebruikt wordt, moet zelfs nog zuiverder zijn dan het silicium voor zonnecellen. Ongeveer 10-20% van het afgekeurde silicium uit deze industrie komt effectief terecht in de zonnecelindustrie.

Zoals eerder al vermeld, was er eind 2004 begin 2005 een onevenwicht tussen vraag en aanbod van polysilicium. Dit heeft bijgedragen tot de toenmalige stijging in de prijs van polysilicium. Verschillende jaren had de zonnecelindustrie beroep gedaan om siliciumresten van de elektronica-industrie. Door de ontwikkelingen op de silicium markt tussen 2004 en 2007 overtrof echter de vraag naar polysilicium vanuit de zonnecelindustrie de vraag van de elektronica-industrie. De polysilicium fabrieken, met hun hoge kapitaalkosten en lange constructietijden, waren niet in staat om te voldoen aan de grote vraag vanuit beide industrieën. Dit resulteerde tot meer dan een verdubbeling van de prijs van polysilicium tussen 2004 en 2007 (NREL, 2008: solar technologies market report).

3.4.2 Dunne Film Zonnecellen

Men heeft dunne film zonnecellen steeds beschouwd als het kleine broertje van kristallijne silicium zonnecellen. Uitverkoren om de taken van de silicium zonnecellen in de toekomst over te nemen maar nooit echt om de hoge verwachtingen te kunnen inlossen. De argumenten die pleiten voor dunne film zonnecellen zijn voornamelijk gebaseerd op productievoordelen op grote schaal zoals bijvoorbeeld energiebesparing tijdens de productie, etc. De eerste 25 jaar sinds het ontstaan van dunne film zonnecellen werd gedomineerd door "Cadmium Sulfide". Tot men tot de conclusie kwam dat de bestaande stabiliteitsproblemen onoplosbaar waren.

Vandaag de dag kan men verschillende soorten dunne film zonnecellen onderscheiden. Voorbeelden zijn: amorf silicium (a-Si), koper-indium-diselenide (CIGS) en Cadmium Telluride (CdTe) (Kazmerski et al., 2005).

Amorf silicium bestaat uit een verzameling van silicium- atomen zonder gelijkmatig geordend kristalrooster zoals in kristallijn silicium. Voordelen hiervan zijn het verminderde materiaalverbruik, de continue productie met laag energieverbruik en de mogelijkheid van grote oppervlaktes op goedkope dragers zoals glas. Het belangrijkste nadeel van amorf silicium is het lage celrendement (de helft van kristallijn silicium). Dit gaat bovendien onder invloed van het licht zelf in de eerste gebruikperiode achteruit. Een methode om dit probleem op te lossen bestaat eruit om een multikristallijne silicium zonnecel te combineren met een amorfe silicium zonnecel. Het productieproces wordt dan wel een heel stuk ingewikkelder. Als we vergelijken met multikristallijne PV-modules nemen amorfe silicium modules voor hetzelfde vermogen dus dubbel zo grote oppervlakten in, omwille van hun lagere rendement. Naast eerder kleine toepassingen (polshorloges, reken- machinetjes, looplampen) komen nu ook PV-dakelementen op de markt (ODE, 2007).

Het is eveneens mogelijk om met koper-indium-diselenide (CuInSe_2 , ook CIGS genoemd) en met zijn afgeleide samenstellingen dunne film zonnecellen te produceren op glas. Op zeer minieme oppervlakken ($0,4 \text{ cm}^2$) levert dergelijke zonnecel een stabiel rendement van ongeveer 18 %. Dit zakt echter snel voor grotere oppervlakken en modules tot de helft (9%). Het materiaal is zeker veelbelovend qua kostpotentieel maar er blijft discussie over de beperkte materiaalvoorraden van het component Indium (ODE, 2007).

Ook cadmiumtelluride zonnecellen (CdTe) bevinden zich nog volop in de ontwikkelingsfase. Rendementen tot ongeveer 16 % werden behaald op 1 cm^2 celoppervlak, maar zoals bij CIGS zakt dit weer zeer sterk bij grotere oppervlakken. Voordelen en nadelen van dit materiaal kan men vergelijken met CuInSe_2 . Bijkomende moeilijkheid is hier echter de giftigheid van Cadmium. Bijvoorbeeld bij breuk of afbraak van de modules.

Toch worden CdTe zonnecellen al toegepast in zakrekenmachines, goed voor 1,7 % van de wereldmarkt van zonnecellen (ODE, 2007).

Zoals hierboven vermeld heeft het tijdelijke tekort van silicium in de periode 2004-2007 ervoor gezorgd dat dunne film zonnecellen gestaag aan marktaandeel hebben gewonnen. EPIA verwacht voor de komende jaren een groei van dunne film zonnecellen tot 20 % van het totale PV aanbod. Hierbij kan men amorf silicium bestempelen als de meest belangrijke dunne film technologie inzake productie en installatie met een marktaandeel van 5.2 % in 2007 (EPIA, 2008).

3.4.3 Organische Zonnecellen

De kost van silicium zonnecellen daalt continu doordat er steeds betere productieprocessen worden gebruikt. Maar er is een ondergrens aan die kost. Deze wordt voornamelijk bepaald door de materiaalkost die op haar beurt afhankelijk is van de minimale dikte van een zonnecel. Bij silicium-zonnecellen is die minimale dikte nog aanzienlijk (150 tot 170 μm) omdat de efficiëntie van zonlichtabsorptie in silicium behoorlijk laag is. Om de kostprijs van fotovoltaïsche zonnecellen nog verder te laten dalen, wordt er sinds enkele jaren onderzoek gedaan naar organische materialen waarmee goedkope, flexibele, "*plastieken zonnecellen*" kunnen geproduceerd worden. Er wordt volop werk gemaakt van prototypes, waarvan de zogenaamde "Grätzel"-cel van de gelijknamige Zwitserse professor veruit de meest bekende is (ODE, 2007).

Deze organische of polymere zonnecellen, geheel vervaardigd uit plastic, bieden significante voordelen ten opzichte van traditionele PV technologieën zoals kristallijn silicium. Toch zijn er nog heel wat verbeteringen nodig op een aantal vlakken. De voordelen van organische zonnecellen kan men onderverdelen in twee categorieën: de lage prijs van organische materialen en de eenvoudige productiemethodes. Dit heeft als gevolg dat organische zonnecellen tegen een zeer lage kost geproduceerd kunnen worden. Men kan reeds bestaande productiemethodes gebruiken, de hoeveelheid materiaal dat nodig is, is gering en de energie vereist om ze te produceren is beduidend minder dan bij silicium zonnecellen. Op deze manier kan men de ecologische schade ook tot een minimum beperken.

Op termijn wil men komen tot een productieproces van een organische zonnecel die weinig impact heeft op milieu en omgeving en die eenvoudig te recyclen is met een minimaal aantal productiestappen. Op dit moment zijn er al verschillende printing en coating technieken beschikbaar voor de productie van organische zonnecellen. Dit zal verder in het hoofdstuk besproken worden (Powell et al., 2009).

Doordat de actieve laag van een polymeer zonnecel veel dunner is dan die van de siliciumzonnecellen (0,1 - 0,3 μm) moet er zoals gezegd veel minder materiaal gebruikt worden waardoor de materiaalkost per vierkante meter zeer sterk afneemt in vergelijking met silicium zonnecellen. Een ander groot voordeel van organische zonnecellen is dat er oneindig veel varianten van organische moleculen zijn. Er zijn dan ook enorm veel mogelijkheden om verschillende materiaalcombinaties te optimaliseren. Dit leidt niet enkel tot de mogelijkheid om allerhande varianten van zonnecellen te ontwikkelen die beantwoorden aan specifieke noden, maar ook om eenvoudige, snelle en goedkope productieprocessen uit te werken. Er zal niet alleen bespaard worden op de materiaalkost, maar ook in het productieproces. Op termijn lijkt de plastic zonnecel daarom een zinvol alternatief op de zonnecelmarkt (Interconnect, 2008).

Desondanks de verschillende positieve punten zijn organische zonnecellen verre van klaar om op grote schaal verkocht te worden. Om tot een echt commercieel product te komen, zijn er nog tal van verbeteringen nodig van onder meer de efficiëntie en de stabiliteit van deze zonnecellen. Er wordt verwacht dat als gevolg van de lage kost van er minder aandacht zal besteed worden aan de efficiëntie en de levensduur van organische zonnecellen. Met het oog op grootschalige industriële productie zal er bijvoorbeeld eveneens gezocht moeten worden naar een snelle en goedkope depositietechnologie. Hoewel er nog verschillende factoren moeten overwonnen worden, blijkt volgens Azzopardi et al. (2010) dat deze lage kost technologie een goede positie bezit om in de toekomst te concurreren met bestaande zonnecellen. Zo is de energierugverdiertijd van organische zonnecellen minder dan de helft dan deze van kristallijn silicium zonnecellen (Azzopardi et al., 2010).

Zoals eerder aangehaald zijn er enkele bottlenecks betreffende organische zonnecellen. Zo hebben organische moleculen de eigenschap te reageren met zuurstof waardoor ze afbreken. Dit proces zorgt er eveneens voor dat organische zonnecellen instabiel zijn wanneer ze aan de buitenlucht blootgesteld worden. De typische halfwaardetijd van organische zonnecellen is dan ook maar een paar uur. Een mogelijkheid om de levensduur van organische zonnecellen te verlengen is deze in te kapselen. Inkapseling in glas is een van de vele mogelijkheden. Dit gebruikt men eveneens voor de klassieke siliciumzonnecellen. Voor toepassingen zoals integratie in kleding of gadgets zouden flexibele materialen echter veel geschikter zijn (Spanngaard et al., 2004).

Maar ook de geringe efficiëntie van organische zonnecellen is op dit moment nog een hindernis voor grootschalige industriële productie. Ter vergelijking: de huidige industriële silicium zonnecellen hebben een omzettingsefficiëntie van 15 tot 18%, terwijl de meest efficiënte organische zonnecellen vandaag de dag 4 tot 6% halen met recent een wereldrecord van 7,9%.

Er wordt echter door o.a. IMEC volop onderzoek verricht naar de invloed van verschillende polymeren of mengsels van polymeren, solventen, temperatuur en droogcondities, elektrodes,... Op deze manier wordt er getracht de efficiëntie te doen stijgen. Tevens kan de celarchitectuur verder geoptimaliseerd worden om de efficiëntie te verhogen. Bijvoorbeeld door verschillende lagen van organische zonnecellen op elkaar te stapelen tot zogenaamde tandemzonnecellen. Hierbij kunnen verschillende delen van de tandem complementaire delen van het zonlichtspectrum absorberen. Andere manieren om de efficiëntie te verhogen zijn bijvoorbeeld optische trucjes waardoor het traject of de absorptie van het zonlicht in de cel gemanipuleerd wordt zodat het efficiënter kan geabsorbeerd worden door de organische zonnecel (Interconnect, 2008).

Om productie van organische zonnecellen op grote schaal mogelijk te maken, moet er onderzoek gedaan worden naar een geschikte depositietechniek die relatief snel en tegen lage kosten de actieve laag van de zonnecel op een bepaalde ondergrond kan aanbrengen. Vandaag de dag zijn er enkele verschillende depositietechnieken. Ten eerste is er spincoating, waarbij er een beetje oplosmiddel op een draaiende ondergrond wordt gebracht, zo krijgt men een zeer vlakke en goed reproduceerbare film.

Deze techniek is dus uitermate geschikt in de onderzoeksfase waar spincoating gebruikt wordt om polymeer- mengsels, solventen en afzettingscondities te optimaliseren. Bij spincoating gaat er echter een significant groot deel van het (dure) materiaal dat je aanbrengt verloren. Deze techniek is dus niet bruikbaar voor een industrieel proces. Een tweede methode die men kan onderscheiden is zeefdruk. Dit is een meer interessante techniek omdat deze bekend is in de halfgeleider- wereld en vooral in de zonnecel- fabricatie. Apparatuur en kennis zijn dus beschikbaar, wat een groot pluspunt uitmaakt. Doch vereist zeefdrukken een viskeuze pasta, terwijl oplossingen van halfgeleiderpolymeren meestal zeer vloeibaar zijn. Er moet dus gezocht worden naar andere depositietechnieken, of naar methoden om de viscositeit van de polymeeroplossing te verhogen (Interconnect, 2008).

Twee depositietechnieken waarbij viscositeit geen issue is, zijn inkjetprinting en spraycoating. Inkjetprinting is bekend van onze printer thuis. Maar ook in de grafische industrie is deze techniek steeds meer ingeburgerd waardoor er alsmaar meer geperfectioneerde professionele apparatuur voor handen is en de depositiesnelheid intussen hoog genoeg is om zonnecellen op industriële schaal te kunnen produceren. Een ander voordeel van inkjet is dat deze techniek op alle soorten van ondergrond kan toegepast worden. Het grote nadeel van inkjet is dan weer dat de druppeltjes redelijk groot zijn waardoor het relatief lang duurt. Koffieringeffecten die optreden bij het indrogen kunnen de vorming van een goede heterojunctiestructuur bemoeilijken (Interconnect, 2008).

Recent introduceerde het Vlaamse interuniversitair onderzoekscentrum IMEC spraycoating als mogelijk alternatieve depositietechniek. Hierbij wordt de polymeeroplossing onder enorm hoge druk op een ondergrond gespoten. Spraycoating is een zeer kostenefficiënte en snelle techniek die voor grote oppervlakken en op alle soorten van ondergrond kan gebruikt worden. Hier is eveneens zoals bij inkjetprinting, de hoge vloeibaarheid van de oplossing, geen probleem. Door het gebruik van hoge druk zijn de druppeltjes veel kleiner dan bij inkjet waardoor de droogtijd korter is. Dit heeft immense voordelen bij het stapelen van zonnecellen: het solvent krijgt de kans niet om de onderliggende laag opnieuw op te lossen en de heterojunctiestructuur aan te tasten (Interconnect, 2008).

Vandaag de dag groeit het vertrouwen dat organische zonneceltechnologie een mooie toekomst heeft. Binnen enkele jaren zullen de eerste toepassingen waarschijnlijk op de markt komen. Naar alle waarschijnlijkheid zal dit voor de opwekking van energie echter niet onmiddellijk op grote schaal zijn, maar eerder voor nichetoepassingen. Hier is er sprake van een beperkte energieopwekking, tevens zijn de voordelen van plastic belangrijk, zoals bijvoorbeeld flexibiliteit, laag gewicht en zeer dunne folies (Interconnect, 2008). Enkele voorbeelden zijn: een jas met geïntegreerde organische zonnecellen waarmee we een mp3-speler kunnen opladen of we gaan kamperen met een tent met geïntegreerde zonnecellen die de hele dag het zonlicht absorbeert waardoor je 's avonds je dvd-speler kan aansluiten.

Een nieuwe potentiële markt die in het vizier komt is "building integrated photovoltaics". Meer dan 40% van de energieconsumptie in Europa komt van gebouwen, meerbepaald van constructie en onderhoud, en meest van al het gebruik van de gebouwen. Om deze reden wordt er vandaag meer en meer aandacht besteed aan de energie-efficiënte van gebouwen. Tussen de verschillende hernieuwbare energieën lijkt zonne-energie één van de grootste en meest geschikte kandidaten om te verwerken in gebouwen. Niet enkel integratie is een mogelijkheid, maar ook het vervangen van gehele elementen van het betreffende gebouw kan een optie zijn. Door de recente technologische ontwikkelingen in dunne film en organische zonnecellen heeft er een evolutie plaatsgevonden van rigide zonnecelmodules op daken naar zonnecel-elementen die op een esthetisch verantwoorde manier in gebouwen kunnen verwerkt worden. Deze veranderingen maken het mogelijk om zonnecellen te combineren met enkele van de nieuwste trends qua architectuur. Organische zonnecellen zouden hiervoor uitermate geschikt kunnen zijn aangezien deze zeer dun zijn in vergelijking met silicium en ook nog eens over voldoende flexibiliteit beschikken (Mercaldo et al., 2009).

In onderstaande tabel zal een overzicht worden gegeven van de verschillende types commerciële zonnecellen en hun efficiëntie.

Tabel 6: Efficiëntie per type zonnecel

Type zonnecel	Efficiëntie
	[%]
Multikristallijn silicium zonnecel	13 %
Monokristallijn silicium zonnecel	15 %
Dunne film amorf silicium zonnecel	5 – 7 %
Dunne film CdTe zonnecel	8 – 11 %
Dunne film CIGS zonnecel	7 – 11 %
Organische zonnecel	4 – 7,9 %

Bron: EPIA, Solar generation V, 2008

3.5 Fotovoltaïsche Modules en Systemen

3.5.1 PV Modules

Het is duidelijk dat men in de praktijk niet aan de slag kan met enkel losse zonnecellen. Om deze reden worden zonnecellen met elkaar verbonden en vormen ze samen een zogenaamde PV-module. De kleine stroom en lage spanning die gegenereerd wordt door de aparte zonnecellen wordt met behulp van een parallel- en serieschakeling vergroot tot bruikbare elektriciteit. Verder is het noodzakelijk om de zonnecellen en metaalcontacten te beschermen tegen invloeden van buitenaf zoals bijvoorbeeld vocht. Het paneel zorgt tevens voor mechanische stevigheid voor de broze zonnecellen. En tot slot wordt het mogelijk het paneel te bevestigen op verschillende draagstructuren (ODE, 2007).

De voorkant van een PV module wordt bedekt met een lichtdoorlatende plaat, meestal is deze vervaardigd uit glas maar polycarbonaat is ook een mogelijkheid. Hierdoor worden de zonnecellen beschermd tegen water, dampen, krassen en hagel. Bovendien wordt de module gezuiverd wanneer hij blootgesteld wordt aan regen. Bij de achterkant van de modules is eveneens de water- en dampdichtheid van belang, evenals de geleiding van warmte. Dikwijls wordt hiervoor eveneens glas gebruikt. Echter door het grote gewicht van glas stapt men soms over naar speciale soorten folie. Door een kader in aluminium te bevestigen rond de PV module, wordt de stevigheid van het geheel verder verzekerd (ODE, 2007).

3.5.2 PV Systemen

Er bestaan drie soorten PV-systemen: netgekoppelde, autonome en hybride PV- systemen. Het netgekoppelde PV systeem is door particulieren en bedrijven het meest gebruikte systeem. Hierbij wordt er een connectie aan het lokale elektriciteitsnetwerk tot stand gebracht dat toe laat om het extra geproduceerde vermogen te verkopen aan de elektriciteitsleverancier. Om de geproduceerde gelijkstroom om te zetten naar wisselstroom wordt er een zogenaamde "inverter" gebruikt. Deze levert een wisselstroom aan het elektriciteitsnet met een omzettingsrendement van ongeveer 90%. Stroom geleverd door netgekoppelde systemen wordt dus niet opgeslagen met behulp van batterijen. Het openbare elektriciteitsnet is het virtuele opslagmedium.

Het autonome PV-systeem, ook wel onafhankelijke PV-systeem genoemd, levert rechtstreeks stroom aan de consument en is dus niet gekoppeld aan het lokale elektriciteitsnet. Dit systeem daarentegen, wordt dikwijls gekoppeld aan een batterij via een laadregelaar. Zo wordt het mogelijk om de gegenereerde stroom op te slaan voor toekomstig gebruik. 's Nachts en bij weinig zonnestraling haalt de energieverbruiker energie uit de batterij. Kleinschalige toepassingen zijn bijvoorbeeld rekenmachines, horloges, tuinverlichting,... Andere voorbeelden zijn straatverlichting, parkeermeters, caravans en afgelegen woningen.

Voor sommige toepassingen kan de elektriciteitsverbruikers rechtstreeks aangesloten zijn op de PV-panelen zonder tussenkomst van batterijen. Voorbeelden hiervan zijn waterpompsystemen, zowel grote pompsystemen als kleine vijver- pompjes. Een andere toepassing is bijvoorbeeld airconditioning: wanneer de zon schijnt, werkt de koeling.

Tot slot bestaan er ook hybride PV-systemen. Dit zijn PV-systemen die gekoppeld zijn aan een andere vermogensbron zoals een biomassa generator of een wind turbine. Hierdoor tracht men zich te verzekeren van een consistente stroomvoorziening. Een hybride systeem kan aangesloten worden op het net en het kan tevens een "stand-alone" applicatie zijn (ODE, 2007 & EPIA, 2008).

3.6 Welke Toekomst voor Zonne-energie?

Om een toekomstig beeld te schetsen van zonne-energie in termen van kostenefficiëntie en duurzaamheid moet men rekening houden met verschillende factoren zoals:

- Daling van de kosten: de kosten van zonne-energie zijn de laatste 20 jaar gestaag gedaald met een gemiddelde "*progress ratio*" van 80% (i.e. een kostenreductie van 20% als gevolg van een verdubbeling in de productie). Als een gelijkaardige trend behouden blijft, verwacht Raugei et al. (2009) dat zonne-energie tegen eind 2010 een belangrijke plaats zou kunnen innemen in de totale energievoorziening in Zuid-Europa en tegen 2020 in Noord-Europa. Als men dit wil bereiken, is het wel van groot belang dat de huidige subsidieregelingen lang genoeg worden aangehouden.

- Een verdere stijging in de efficiëntie van zonnecellen: ook al is de efficiëntie van silicium zonnecellen al redelijk goed, toch is een verdere stijging in efficiëntie wenselijk en noodzakelijk voor alle PV technologieën. Zo is op middellange termijn het doel om voor kristallijn silicium een efficiëntie te bereiken van 25%. Voor de niet-silicium dunne film zonnecellen zijn de recente vooruitzichten qua efficiëntie iets minder. Voor CdTe is er bijvoorbeeld een technologische maximumefficiëntie van 16-17%; voor andere dunne film zonnecellen wordt verwacht dat ze deze efficiëntie ruim zullen overschrijden tegen midden 21^{ste} eeuw.
- Integratie in gebouwen: Zoals al eerder vermeld zal de integratie van zonnecellen in zowel nieuwe als bestaande gebouwen een belangrijke toekomstige markt worden. Dit kan er tevens voor zorgen dat andere componenten van de PV installatie minder energie zullen verbruiken en dat de kosten zullen dalen (Raugei et al., 2009).

4 Subsidies en Steunmaatregelen

4.1 Inleiding

Overheidssubsidies hebben een prominente rol gespeeld in de groei van zonne-energie. Zonder zulk subsidiebeleid zou zonne-energie omwille van de hoge kost niet in staat geweest zijn om te concurreren met de conventionele energiebronnen. Het laatste decennium ondergaat de sector echter grote veranderingen. De productie- en installatiekost van PV systemen is gedaald met ongeveer 20 %. Daarentegen is de kost voor het genereren van energie met conventionele energiebronnen de laatste jaren sterk gestegen. Als resultaat kan men zien dat zonne-energie in sommige gebieden (bijvoorbeeld Californië) meer en meer competitief wordt. Toch zijn deze steunmaatregelen en subsidies, zeker in Vlaanderen, nog altijd van groot belang (Lorenz et al., 2008).

Door de economische crisis is besparen op energie meer dan ooit een goede keuze. De energiefacturen kunnen hoog oplopen en komen soms hard aan. Men kan er echter iets aan doen. Een belangrijk deel van het energiefactuur heeft men immers zelf in handen. Het energieverbruik kan verlaagd worden door te investeren in energiebesparing. Daarnaast is deze besparing ook gunstig voor het milieu (VEA, premies voor energiebesparing in Vlaanderen, 2009).

Wie in Vlaanderen investeert in energiebesparing kan heel wat subsidies en steunmaatregelen verkrijgen. Deze kunnen bovendien gecumuleerd worden. Wanneer men beslist om in Vlaanderen een PV systeem te installeren kunnen er via vier kanalen subsidies of steunmaatregelen verkregen worden. Men kan voordelen verkrijgen via de netbeheerder, de fiscus, de Vlaamse overheid en de gemeente (VEA, premies voor energiebesparing in Vlaanderen, 2009).

4.2 Fiscale Voordelen

4.2.1 Fiscale Voordelen voor Ondernemingen

Een onderneming die bij de oprichting of uitbreiding een investering uitvoert, kan onder bepaalde voorwaarden een investeringsaftrek bekomen. Deze investeringsaftrek kan men definiëren als: *"een vrijstelling van de winst en baten van de onderneming, gelijk aan een deel (percentage) van de aanschaffings- of beleggingswaarde van de materiële vaste activa die in nieuwe staat verkregen zijn of tot stand gebracht, en van de nieuwe immateriële vaste activa, indien die vaste activa in België voor het uitoefenen van de beroepswerkzaamheid van de belastingplichtige worden gebruikt."* De investeringsaftrek komt in mindering van de winst of baten van de belastbare periode waarin de vaste activa zijn verkregen of tot stand gebracht (VEA, verhoogde investeringsaftrek voor energiebesparende investeringen, 2009).

Als onderneming is het mogelijk om bij investeringen in zonne-energie een verhoogde belastingsaftrek te verkrijgen. Op deze manier wil de Federale overheid het gebruik van hernieuwbare energiebronnen stimuleren en bevorderen en het rendement van bestaande installaties verbeteren. Zo biedt artikel 69 van het Wetboek der Inkomstenbelasting ondernemingen de mogelijkheid om belastbare winst te verminderen door middel van een verhoogde investeringsaftrek voor energiebesparende investeringen. De aftrek gebeurt op de winst van de belastbare periode wanneer de vaste activa zijn verkregen of tot stand gebracht. Voor energiebesparende investeringen die gebeurt tijdens de belastbare periode dat aan aanslagjaar 2009 (inkomsten 2008) verbonden is, is er een verhoogde aftrek van 13,5%. Voor inkomstenjaar 2009 (aanslagjaar 2010) bedraagt de verhoogde aftrek 15,5% (VEA, verhoogde investeringsaftrek voor energiebesparende investeringen, 2009).

Om een verhoogde investeringsaftrek voor energiebesparende investeringen te verkrijgen moet een attest worden voorgelegd dat wordt afgeleverd door de regionale overheid (Gewest) waar de investering gebeurt.

Dit attest moet door de onderneming (belastingplichtige) worden aangevraagd met een aanvraagformulier, op straffe van verval binnen de 3 maanden na de laatste dag van de belastbare periode waarin de vaste activa zijn aangekocht of tot stand gebracht. Wanneer de investering verschillende belastbare periodes betreft, wordt de laatste belastbare periode beschouwd als dat van de aanschaffing of totstandbrenging voor de berekening van de termijn van 3 maanden (VEA, verhoogde investeringsaftrek voor energiebesparende investeringen, 2009).

De investeringen die in aanmerking komen voor de verhoogde investeringsaftrek moeten ervoor zorgen dat er op een rationelere manier gebruik gemaakt wordt van energie in de industrie, in het bijzonder naar een verbetering van industriële processen louter uit energetische overwegingen. De investeringen die volgens VEA (2009) in aanmerking komen voor een verhoogde investeringsaftrek kunnen gerangschikt worden in zes groepen die het hoofddoel aangeven dat nagestreefd dient te worden. Dit zijn :

- Groep 1 : beperking van de energieverliezen;
- Groep 2 : terugwinnen van energie;
- Groep 3 : verbetering van het energetisch rendement;
- Groep 4 : energetische valorisatie van biomassa en afvalstoffen;
- Groep 5 : gebruik van hernieuwbare energieën;
- Groep 6 : vervoer via spoor- of waterweg.

4.2.2 Fiscale Voordelen voor Particulieren

Ook in 2010 heeft de federale overheid een aantal maatregelen uitgewerkt om energiebesparing bij nieuwbouw en renovatie van woningen aan te moedigen. Veertig procent van de investering komt in aanmerking voor belastingvermindering met een maximumbedrag van € 2770 (geïndexeerd bedrag) voor het inkomstenjaar 2010 . Voor zonneboiler en fotovoltaïsche zonnepanelen is het geïndexeerd maximum € 3600 voor 2010. De belastingvermindering is van toepassing op de uitgaven (gefactureerde bedragen, btw inbegrepen) die door de belastingbetaler effectief gedaan werden tijdens de belastbare periode, ongeacht het tijdstip van uitvoering van de werken (VEA, premies voor energiebesparing in Vlaanderen, 2009).

Om belastingvermindering te verkrijgen bij de plaatsing van fotovoltaïsche zonnepanelen moet men echter voldoen aan de volgende voorwaarden:

- De kenmerken van de PV modules moeten aan de volgende vereisten voldoen: voor kristallijne modules geldt de norm IEC 61215, alsook een minimumrendement van 12%; voor de dunne-filmmodules geldt de norm IEC 61646, alsook een minimumrendement van 7%;
- Het minimumrendement voor de omvormers moet hoger liggen dan 88% voor de autonome systemen en 91% voor de netgekoppelde systemen;
- De oriëntatie van de panelen tussen het oosten en het westen ligt via het zuiden en de hellingshoek van de vaste panelen moet tussen 0° en 70° ten opzichte van de horizon liggen.

4.3 Groenestroomcertificaten

Sinds 1 januari 2002 wordt onder meer via het systeem van groenestroomcertificaten de productie van elektriciteit uit hernieuwbare energiebronnen door de overheid aangemoedigd. Dit systeem is tweedelig. Ten eerste kunnen producenten van elektriciteit uit hernieuwbare energiebronnen groenestroomcertificaten krijgen. Ten tweede bestaat er een certificatenverplichting voor elektriciteitsleveranciers. Zij moeten een bepaalde hoeveelheid groenestroomcertificaten inleveren (VREG, 2010). Bij de VREG kunnen producenten die elektriciteit produceren uit hernieuwbare energiebronnen groenestroomcertificaten aanvragen voor volgende hernieuwbare energiebronnen:

- Zonne-energie;
- Windenergie;
- Waterkracht;
- Getijdenenergie;
- Biomassa;
- Biogas.

Een groenestroomcertificaat toont aan dat 1.000 kWh elektriciteit werd opgewekt uit een hernieuwbare energiebron. Producenten aan wie een groenestroomcertificaat wordt toegekend ontvangen dit niet schriftelijk, de groenestroomcertificaten bestaan enkel in elektronische vorm. De VREG neemt de groenestroomcertificaten op in een centrale databank, die de producenten van elektriciteit kunnen raadplegen via het internet (VREG, 2010).

Elke elektriciteitsleverancier in Vlaanderen is verplicht om jaarlijks een aantal groenestroomcertificaten in te leveren bij de VREG ten laatste op 31 maart. Deze hoeveelheid komt overeen met een bepaald percentage van de totale hoeveelheid elektriciteit die de leverancier in het jaar ervoor geleverd heeft aan zijn klanten. In 2002, het jaar waarin het systeem voor het eerst werd toegepast, bedroeg dat minimumaandeel 0,8 procent van zijn leveringen. Dit zal stijgen tot 6 procent voor de leveringen in 2010 (VREG, 2010).

Een elektriciteitsleverancier zal voldoen aan zijn certificatenverplichting als hij het juiste aantal groenestroomcertificaten indient. Wanneer hij te weinig certificaten inlevert, zal hij per certificaat dat ontbreekt een administratieve boete van € 125 moeten betalen. Deze administratieve boetes zullen in het Energiefonds worden gestort. De Vlaamse regering zal van dit fonds gebruik maken voor de financiering van de openbaredienstverplichtingen, haar sociale energiebeleid en haar beleid met betrekking tot rationeel energiegebruik (VREG, 2010).

Een leverancier kan het nodige aantal groenestroomcertificaten verkrijgen door zelf stroom op te wekken uit hernieuwbare energiebronnen in het Vlaams Gewest, en hiervoor groenestroomcertificaten aan te vragen bij de VREG. Er is ook de mogelijkheid certificaten te kopen van andere groenestroomproducenten. De administratieve boete van € 125 per certificaat dat een leverancier te kort heeft bepaald het maximumbedrag dat een leverancier wil betalen aan producenten die groenestroomcertificaten te koop aanbieden. Tevens heeft het aantal certificaten dat op de markt beschikbaar is een invloed op de marktprijs (VREG, 2010).

Men moet ook rekening houden met de aanvaardbaarheid van groenestroomcertificaten. Niet alle certificaten voldoen aan de certificatenverplichting. De VREG aanvaardt enkel groenestroomcertificaten die door henzelf zijn toegekend. Zo kunnen groenestroomcertificaten die in het buitenland worden gebruikt niet worden ingeleverd en voldoen deze dus ook niet aan de certificatenverplichting in het Vlaams Gewest (VREG, 2010).

Groenestroomcertificaten kan men vrij verhandelen. De verkoop van groenestroomcertificaten hoeft niet samen te gaan met de verkoop van de betrokken elektriciteit. Beide kunnen apart worden verkocht.

De verkoop van certificaten gebeurt volledig elektronisch: wanneer de verkoper groenestroomcertificaten wil verhandelen moet hij de transactie in gang zetten door de betreffende certificaten te selecteren uit zijn portefeuille en de koper aan te duiden in de databank. Hierna wordt er een automatische bevestiging verstuurd per e-mail.

Tot 4 uur nadat de verkoop is gesloten, kan men hierop reageren voor het geval er een vergissing zou vastgesteld worden. De transactie kan dan worden geannuleerd wanneer gewenst. Gebeurt dit niet, dan worden de overeenkomstige groenestroomcertificaten overgeschreven naar de rekening van de koper (VREG, 2010).

4.3.1 Groenestroomcertificaten voor zonne-energie

In 2006 is de Vlaamse overheid van start gegaan met een systeem van productiesteun voor elektriciteit uit fotovoltaïsche zonnepanelen. De eigenaar van een PV installatie ontvangt voor elke 1.000 kWh elektriciteit opgewekt een groenestroomcertificaat. Vervolgens kan dit groenestroomcertificaat worden ingeruild bij een netbeheerder tegen een gegarandeerde waarde. Installaties die in gebruik zijn genomen voor eind 2009 komen nog in aanmerking voor een productiesteun van € 450 per 1.000 kWh opgewekte elektriciteit voor een periode van 20 jaar vanaf de inwerkingtreding van de installatie. Wanneer men vanaf 2010 een nieuwe PV installatie in gebruik neemt zal moeten rekening houden met de nieuwe regeling voor groenestroomcertificaten.

De contractperiode, de waarde van de groenestroomcertificaten en enkele randvoorwaarden zien er iets anders uit. Zo komt men bij de plaatsing van fotovoltaïsche zonnepanelen op woningen of woongebouwen enkel nog in aanmerking voor groenestroomcertificaten wanneer het dak voldoende geïsoleerd is.

Tevens komen we op de site van het VEA te weten dat de waarde van de groenestroomcertificaten vanaf 2010 elk jaar zal dalen. Wie een nieuwe PV installatie in gebruik neemt in:

- 2010 komt gedurende 20 jaar in aanmerking voor een steun van 350 euro/1000 kWh;
- 2011 komt gedurende 20 jaar in aanmerking voor een steun van 330 euro/1000 kWh;
- 2012 komt gedurende 20 jaar in aanmerking voor een steun van 310 euro/1000 kWh;
- 2013 komt gedurende 15 jaar in aanmerking voor een steun van 290 euro/1000 kWh;
- 2014 komt gedurende 15 jaar in aanmerking voor een steun van 250 euro/1000 kWh;
- 2015 komt gedurende 15 jaar in aanmerking voor een steun van 210 euro/1000 kWh;
- 2016 komt gedurende 15 jaar in aanmerking voor een steun van 170 euro/1000 kWh;
- 2017 komt gedurende 15 jaar in aanmerking voor een steun van 130 euro/1000 kWh;
- 2018 komt gedurende 15 jaar in aanmerking voor een steun van 90 euro/1000 kWh;
- 2019 komt gedurende 15 jaar in aanmerking voor een steun van 50 euro/1000 kWh;
- 2020 komt gedurende 15 jaar in aanmerking voor een steun van 10 euro/1000 kWh.

De reden voor de jaarlijkse daling in waarde van de groenestroomcertificaten kan men vinden in het feit dat het essentieel is om de subsidies te laten dalen in de tijd. Men moet dit echter op een voorzichtige manier aanpakken. Zo zijn subsidies in bijna elke regio ter wereld nog altijd cruciaal. Wanneer in 2005 in Japan de subsidies voor zonnecellen werden stopgezet, kon men een significante afname waarnemen in de geïnstalleerde capaciteit. Toch verwacht men dat zonne-energie in de loop van de tijd competitief kan zijn met conventionele energiebronnen en is het dus noodzakelijk dat overheden hun subsidiebeleid laten afzwakken in de tijd (Lorenz et al., 2008).

Tabel 7: Aantal uitgereikte groenestroomcertificaten

2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010/1	Totaal
5	82	393	715	1.356	5.577	33.613	136.847	3.338	181.926

Bron: VREG, 2010

Als groenestroomproducent kan men nog een extra garantie verkrijgen over de uitbetaling van de wettelijk gegarandeerde minimumprijs. Zo kan men als producent een overeenkomst sluiten met uw netbeheerder om de decretaal vastgelegde minimumprijs te garanderen. Op deze manier wordt er een bilaterale overeenkomst gesloten tussen producent en netbeheerder. Gedurende de looptijd van de overeenkomst kan de minimumprijs voor de groenestroomcertificaten niet meer worden gewijzigd (VREG, 2010).

Zulke overeenkomst heeft een minimumduur van 20 jaar voor zonne-energie vanaf de ingebruikstelling van de installatie. De netbeheerders moeten een overeenkomst aangaan met elke producent die hierom verzoekt. Dit in het kader van de energiebeleidovereenkomsten die ze met de Vlaamse overheid hebben afgesloten. Het is de netbeheerders wel toegestaan deze overeenkomst pas af te sluiten wanneer de installatie technisch volledig conform de vereisten van de betreffende netbeheerder aan het net werd aangesloten (VREG, 2010).

4.4 Gemeentelijke Subsidies

Bij heel wat gemeenten in Vlaanderen (bijna één op drie) kan men nog extra subsidies verkrijgen wanneer men een PV systeem installeert. Meestal is deze premie een bepaald percentage van het geïnvesteerde bedrag met een maximum. Dikwijls hebben gemeenten hiervoor een vast budget uitgetrokken en worden er subsidies toegekend tot dit opgebruikt is. De subsidie varieert meestal tussen 200 en 1.000 euro.

Zo wordt er in Mol bijvoorbeeld een premie van 5% van het investeringsbedrag gegeven met een maximum van 200 euro. In de provincie Antwerpen kan men bij de volgende gemeenten nog een premie verkrijgen: Arendonk, Balen, Beerse, Berlaar, Bonheiden, Boom, Bornem, Borsbeek, Brasschaat, Essen, Geel, Heist- op-den-Berg, Hemiksem, Herentals, Herenthout, Herselt, Hoogstraten, Hove, Kalmthout, Kapellen, Kontich, Laakdal, Lille, Lint, Malle, Mechelen, Meerhout, Mol, Mortsel, Nijlen, Olen, Oud-Turnhout, Putte, Puurs, Ranst, Ravels, Retie, Rijkevorsel, Rumst, Schelle, Schoten, Sint-Amands, Sint-Katelijne-Waver, Turnhout, Vosselaar, Westerlo, Willebroek, Wommelgem, Wuustwezel, Zandhoven, Zoersel, Zwijndrecht (VEA, Subsidies, 2010).

4.5 De Ecologiepremie

De ecologiepremie is een steunmaatregel specifiek voor ondernemingen die willen investeren in milieuvriendelijke of energiebesparende maatregelen. Zij kunnen dan een aanvraag indienen voor een ecologiepremie van de Vlaamse overheid vooraleer ze starten met de investeringen. Met de ecologiepremie wil de Vlaamse overheid een deel van de extra kost die een duurzame investering met zich meebrengt voor haar rekening nemen.

Vanwege het grote succes van de ecologiepremie en omdat de vraag ruimschoots het beschikbare budget overtreft, heeft de Vlaamse Regering op 16 mei 2007 beslist om de ecologiesteun te organiseren via een gesloten budgetsysteem en een oproep met wedstrijdformule. De ecologiepremie wordt nu toegekend aan ondernemingen via een oproep (calls). Elk jaar zullen op drie aansluitende tijdstippen oproepen worden georganiseerd waarop ondernemingen met hun investeringsproject kunnen intekenen. Per oproep kan een onderneming één aanvraag indienen. De ontvangen investeringsprojecten worden vervolgens op objectieve wijze beoordeeld en gerangschikt.

De ecologiepremie bedraagt 20% voor grote ondernemingen en 40% voor KMO's en kan oplopen tot een maximum van 1.750.000 euro per aanvraag. De steun wordt berekend op de ecologische meerkost van de in aanmerking komende investeringscomponenten. Voor 2009 was er een budget voorzien van 120 miljoen euro en werden er drie oproepen van telkens 40 miljoen euro georganiseerd (Vlaamse Overheid, opgevraagd op 20 februari 2010) & (Agentschap ondernemen, opgevraagd op 20 februari 2010).

Wil de onderneming in aanmerking komen voor een ecologiepremie zal zij, en ook de investering zelf, aan een aantal voorwaarden moeten voldoen. De onderneming moet voldoen aan onderstaande voorwaarden:

- Een aanvaardbare juridische vorm (geen vzw's);
- Een hoofdactiviteit die aanvaardbaar is;
- Geen overheidsparticipaties van 50% of meer;
- Geen achterstallige schulden bij de RSZ op de indiendatum (datum waarop de ondernemer de gegevens op de site heeft ingegeven en bevestigd);
- Maximaal één aanvraag per ondernemer per call.

De investering zelf moet voldoen aan volgende voorwaarden:

- De investeringen moeten voorkomen op de limitatieve technologieënlijst;
- De investeringen moeten gerealiseerd worden in het Vlaams Gewest;
- De investeringen worden gemaakt door de aanvragende ondernemingen zelf;
- De investeringen mogen pas starten na de indiendatum van de subsidieaanvraag;
- De investering moet binnen de 5 jaar na de toekenning van de ecologiepremie zijn beëindigd.

5 Praktijkonderzoek

5.1 Onderzoeksmethode

De methodologie waarop deze eindverhandeling steunt, wat de praktijkstudie betreft, is een in eerste instantie exploratief (verkennend) onderzoek door middel van interviews met bevoorrechte getuigen, de "experience survey" genoemd (Martens 2006).

Er is geopteerd voor half-gestructureerde diepte-interviews. Deze zijn informeel en vooraf worden vragen en een lijst met te bespreken topics opgesteld. Er wordt hierbij gewerkt met open vragen die kunnen aangepast worden aan de geïnterviewde of aan het verloop van het gesprek. De vragen en antwoorden liggen met andere woorden niet van tevoren vast maar de onderwerpen die zullen besproken worden met de geïnterviewde wel (Mason, 1997).

Er werd gekozen voor half-gestructureerde diepte-interviews om twee redenen: Ten eerste lenen de centrale onderzoeksvraag en de deelvragen zich uitstekend tot zulke studie en ten tweede kan er via zogenaamde "diepte-interviews" ingespeeld worden op de toestand in de dagdagelijkse realiteit om zo waardevolle informatie te verkrijgen. Een "diepte-interview" laat tevens toe om een meer nauwkeurig en genuanceerder beeld te krijgen als antwoord op de centrale onderzoeksvraag en deelvragen dan een kwantitatieve analyse via enquêtes (Sekaran, 2003).

De kern van dit soort onderzoek is "het ontdekken van eigenschappen en fenomenen van de te onderzoeken werkelijkheid en deze verschijnselen proberen te begrijpen vanuit het perspectief van de betrokkenen" (Sekaran, 2003).

5.1.1 Aard van de Onderzoeksvragen

Het karakter van de onderzoeksvragen laat, zoals hiervoor aangehaald, een kwalitatieve analyse via bevraging van bevoorrechte getuigen toe.

Het doel van deze onderzoeksvragen is het verkrijgen van deskundige informatie omtrent de probleemstelling en de daaruit voortvloeiende centrale onderzoeksvraag. Er zal dan ook geopteerd worden voor een bevraging van een gerichte keuze van personen. Vermits het doel eveneens een vertegenwoordiging van diverse standpunten is, is het volgens Mason (1997) meer geschikt om informatie te verwerven door middel van een bevraging van bevoorrechte getuigen dan door een enquête (Mason, 1997).

Bovendien is het volgens Mason (1997) bij een bevraging van bevoorrechte getuigen, via open vragen in een half-gestructureerd interview, zo dat de belangrijkste data verkregen wordt door de interactie met de geïnterviewde. Ook kan er meer en diepgaandere informatie verkregen worden dan door middel van een enquête. In bijlage is de aanvraagbrief tot interview opgenomen.

5.1.2 Beperkingen van het Onderzoek

Dit onderzoeksopzet kent twee beperkingen. Een eerste beperking is de geografische beperking. Er zullen enkel bevoorrechte getuigen worden geïnterviewd uit Vlaanderen.

Als tweede beperking is er de keerzijde van de kwalitatieve onderzoeksmethode waarvoor geopteerd is. De kwalitatieve benadering via semi-gestructureerde diepte-interviews biedt immers het voordeel dat een gedetailleerder en genuanceerder beeld verkregen wordt als antwoord op de centrale onderzoeksvraag. Het nadeel is echter dat er geen data-output is, zoals bij kwantitatief onderzoek, waarmee de uitspraken gestaafd kunnen worden (Sekaran, 2003).

5.1.3 Verloop Interview

Nadat de verschillende bevoorrechte getuigen toegezegd hebben, zal er steeds een concrete locatie, evenals datum en uur worden overeengekomen. Twee (werk)dagen voorafgaandelijk aan elk interview wordt er tevens een gepersonaliseerde lijst met open vragen aan de geïnterviewde bezorgd. Deze lijst heeft niet tot doel een gestructureerd en gestandaardiseerd interview te creëren, maar zorgt enkel voor een ondersteuning doorheen het hele interview. Antwoorden van bepaalde bevoorrechte getuigen kunnen immers leiden naar nieuwe benaderingen en perspectieven. Tevens zal er door mezelf bij ieder interview een lijst met topics worden opgesteld met hierop info over de bevoorrechte getuige, relevante info over de onderneming, een overzicht van de vragen en ten slotte een aantal specifieke topics voor de persoon in kwestie.

Bij het begin van ieder interview zal steeds gepolst worden of de door mezelf opgezochte informatie omtrent de bevoorrechte getuige, de onderneming, de instelling of instantie waarin hij werkzaam is, correct is. Dit alles wordt steeds aangevuld met de relatie van de betrokken persoon met het onderwerp, een korte schets van zijn/haar carrière.

Gedurende elk interview zal de "funneling techniek" worden toegepast. Hierbij wordt er gestart met een brede, open vraag. Vervolgens gebeurt de rest van de bevraging op basis van een aantal topics aangebracht door de geïnterviewde zelf. Het is pas op het einde van ieder gesprek dat de overige niet behandelde topics en vragen overlopen zullen worden. De lengte van de interviews zal variëren tussen de 30 en 40 minuten (Sekaran, 2003).

5.1.4 Selectie van Bevoorrechte Getuigen

In deze eindverhandeling zullen 7 bevoorrechte getuigen aan bod komen. Ieder van deze getuigen kan beschouwd worden als een deskundige (bevoegde vertegenwoordigers van ondernemingen, professionele experts). Het zijn personen met een relevante persoonlijke ervaring. De bevoorrechte getuigen worden onderverdeeld in drie categorieën.

De drie groepen zullen aangeduid worden als "categorie 1", "categorie 2" en "categorie 3". Dit alles gebeurt met het oog op het vergroten van de helderheid en de leesbaarheid van de bespreking.

Verklarende tabel drie groepen bevoorrechte getuigen:

Categorie 1	Overheid
Categorie 2	Deskundigen
Categorie 3	Onderneming actief in de zonnecelindustrie

Op basis van literatuuronderzoek en lijsten met ondernemingen en onderzoekscentra actief in de zonnecel industrie (ODE, 2007), werden een aantal bevoorrechte getuigen en ondernemingen in Vlaanderen geselecteerd.

Bij de selectie van deze bevoorrechte getuigen is het van primordiaal belang dat de bevoorrechte getuige voldoende kennis en betrokkenheid bezit omtrent het onderwerp. Daarom dat bij de selectie steeds aan minstens één van volgende voorwaarden voldaan moest zijn:

- Hoge mate van betrokkenheid met de zonnecelindustrie;
- Het betreft het bezit van significante kennis omtrent het onderwerp.

Bij deze kwalitatieve analyse is het niet nodig een volledig beeld te verkrijgen van een bepaalde populatie. Bij een bevraging van zogenaamde bevoorrechte getuigen is het niet vereist dat er een representatief aantal personen wordt geïnterviewd. Het is de kennis en deskundigheid van de geïnterviewden die in dit geval primeert (Sekaran, 2003).

5.1.5 Bewaking van de Validiteit en Betrouwbaarheid

Maso (1998) definieert "validiteit" als de afwezigheid van systematische vertekeningen. "Betrouwbaarheid" echter, is de afwezigheid van toevallige of onsystematische vertekeningen van het object van studie. De validiteit geeft meer de "juistheid" of "geldigheid" aan, waartegen de betrouwbaarheid duidt op de zekerheid van de afgenomen interviews.

In dit onderzoek betekent validiteit dat er over een goed meetinstrument beschikt wordt. Het meetinstrument dat in dit praktijkonderzoek gebruikt wordt, betreft de opgestelde vragenlijst. Ikzelf zal vragen stellen aan de bevoorrechte getuigen over alle topics die werden afgeleid uit het verkennend onderzoek. Validiteit betekent ook dat alle antwoorden gegeven door de bevoorrechte getuigen correct geregistreerd worden (Maso, 1998).

5.2 SWOT-analyse Organische Zonnecellen

Aan de hand van de antwoorden op een reeks specifieke interviewvragen wordt er een SWOT-analyse van organische zonnecellen opgesteld. Een SWOT-analyse geeft de uitkomsten van de interne en externe doorlichting weer. De aandacht wordt gevestigd op de interne kritische sterke (Strengths) ("5.2.1") en zwakke (Weaknesses) punten ("5.2.2") van de organische zonnecellen en de externe kansen (Opportunities) ("5.2.3") en bedreigingen (Threats) ("5.2.4") uit de omgeving (Kotler et al., 2006). Finaal zal dit alles worden weergegeven in een samenvattende SWOT- tabel ("5.2.5").

Organische zonnecellen zullen in de toekomst met een waaier aan interne en externe krachten worden geconfronteerd. Dit kunnen aan de ene kant potentiële stimulansen betekenen maar evengoed kan er sprake zijn van factoren die een limiet betekenen op het potentieel van organische zonnecellen. Het is dus belangrijk dat er een identificatie gebeurt van deze factoren teneinde een goede SWOT – analyse te maken (Houben et al., 1999).

Of organische zonnecellen goed zullen presteren zal afhankelijk zijn van het feit hoe ze reageren op elementen vanuit zowel de interne als de externe omgeving. Er kan enkel succes geboekt worden wanneer men vertrouwd is met de kansen en bedreigingen die het gevolg zijn van de externe omgeving.

Tevens moet er rekening gehouden worden met de interne sterkten en zwakten. Sterkten wijzen hier op mogelijke competitieve voordelen die kunnen uitgebuit worden in de markt van zonnecellen. Zwaktes daarentegen zijn factoren die de voortgang van een technologie zoals organische zonnecellen afremmen of hinderen (Houben et al., 1999).

De bedreigingen bestaan uit externe factoren waarop men niet op een directe manier invloed kan uitoefenen, ze zijn op korte termijn niet controleerbaar. Deze factoren vormen de context waarin organische zonnecellen bestaan en functioneren. Deze externe omgeving kan nog verder worden opgedeeld in een directe en indirecte omgeving. De directe omgeving bestaat uit de elementen die men direct kan beïnvloeden door bepaalde acties. De indirecte omgeving bevat meer algemene krachten die spelen op de lange termijn. Dit kunnen bijvoorbeeld economische, politieke,... factoren zijn (Houben et al., 1999).

Niet alle externe bedreigingen met betrekking tot organische zonnecellen zullen evenveel aandacht of bezorgdheid vergen. Er moet getracht worden de waarschijnlijkheid van elke bedreiging in te schatten en proberen te achterhalen welke de impact ervan zou kunnen zijn. Vervolgens moet er gefocust worden op de meest schadelijke en waarschijnlijke bedreigingen en hierop anticiperen (Kotler et al., 2006).

Kansen zullen zich voordoen wanneer een trend in de externe omgeving inspeelt op een sterk punt van organische zonnecellen. Elke potentiële kans moet beoordeeld worden op aantrekkelijkheid. Het is echter niet eenvoudig om goede kansen te vinden, men loopt een zeker risico. Bij de evaluatie van de kansen is het noodzakelijk dat de verwachte opbrengst de risico's rechtvaardigt (Kotler et al., 2006).

Een schematisch overzicht van de sterke en zwakke punten is iets dat voortdurend wint aan populariteit. Op deze manier kan er een overzicht gemaakt worden van de competitieve sterkten en zwakten van een bepaald product of technologie. Voorzichtigheid is echter geboden aangezien dit niet eenvoudig is.

Het is essentieel dat men een globale kijk heeft op de sterkten en zwakten en in de analyse enkel deze kenmerken opneemt die betrekking hebben op de kritische succesfactoren van organische zonnecellen. De sterke en zwakke punten zijn ook steeds relatief. Het is mogelijk dat organische zonnecellen sterk staan in iets, maar het kan snel veranderen wanneer plots de concurrentie sterker is (Kotler et al., 2006) & (Houben et al., 1999).

5.2.1 Strengths

Een kijk op de (interne) sterkten van organische zonnecellen wordt verkregen via onderstaande interviewvragen, voorgelegd aan de bevoorrechte getuigen die we kunnen onderbrengen in de categorie 2:

"Het belang van zonnecellen zal in de toekomst alleen maar toenemen. Welke factoren maken volgens U dat organische zonnecellen een belangrijke hernieuwbare energiebron zal worden?"

"Welke zijn volgens U de belangrijkste factoren waarom men zou moeten investeren in onderzoek en ontwikkeling naar organische zonnecellen?"

Een eerste belangrijke sterkte van organische zonnecellen is het **"lage gewicht"**. Alle vijf van de bevoorrechte getuigen uit de categorie van deskundigen halen vrijwel onmiddellijk het lage gewicht van een organische zonnecel aan.

Een volgend sterk punt dat direct gerelateerd is met hetgeen hierboven wordt vermeld, is het feit dat **"organische zonnecellen veel dunner"** zijn dan de Silicium zonnecellen die op moment veelvuldig gebruikt worden. Binnen categorie 2 wordt dit door elke bevoorrechte getuige aangegeven. Door iedereen werd hier ook vermeld dat er een ondergrens is aan de dikte van Silicium.

Om de kosten te doen dalen moet de dikte van Silicium verder naar beneden gebracht worden aangezien de helft van de kost van Silicium volgens één van de bevoorrechte getuigen bestaat uit de materiaalkost. Men heeft immers voldoende Silicium nodig om het instralende licht om te zetten in elektriciteit. Hier komen organische zonnecellen tevoorschijn. Elke bevoorrechte getuige vermeldde immers dat de dikte van organische zonnecellen ongeveer een factor 2000 kleiner is dan de dikte van Silicium zonnecellen. Zo ontstaat de mogelijkheid om significante besparingen te realiseren op de materiaalkost omdat er veel minder materiaal gebruikt wordt tijdens het productieproces in vergelijking met Silicium. Hierbij moet echter vermeld worden dat organische zonnecellen niet de enige dunne film technologie is en dat er tevens nog heel wat onderzoek gebeurt naar het dunner maken van Silicium zonnecellen.

Een derde zogenaamde "strenght" van organische zonnecellen is het feit dat organische zonnecellen beschikken over "**diverse esthetische mogelijkheden**". Elk van de vijf geïnterviewden uit categorie 2 zijn ervan overtuigd dat dit een competitief voordeel kan betekenen voor organische zonnecellen. Belangrijk volgens diezelfde is de eigenschap flexibiliteit en de mogelijkheid om organische zonnecellen te voorzien van allerlei mogelijke kleuren. Een van de mogelijkheden bij deze kleuren is bijvoorbeeld om organische zonnecellen van een kleur te voorzien opdat ze op een quasi onzichtbare manier kunnen geïntegreerd worden in gebouwen. Direct samenhangend met de flexibiliteit van organische zonnecellen is de mogelijkheid om deze zonnecellen "**aan te brengen op vrijwel elke oppervlakte**". Zo kunnen deze zogenaamde zonnecelfolies van organisch materiaal ook op plaatsen gebruikt worden waar rigide structuren zoals Silicium voorheen niet konden geïnstalleerd worden. Dit werd vermeld door twee van de vijf deskundigen uit categorie 2.

Een volgende sterkte heeft betrekking op de "**lage prijs van organisch materiaal**". Deze belangrijke factor werd ook nagenoeg meteen door elke bevoorrechte getuige uit de tweede categorie aangehaald. Organisch materiaal is een heel stuk goedkoper dan bijvoorbeeld Silicium. Ook hier kan men een significante daling van de kosten verwachten.

Volgens één van de geïnterviewde deskundigen zou de prijs ongeveer 10 keer minder kunnen zijn dan deze van Silicium. Twee van de vijf deskundigen vermelden tevens de **"veelvuldige aanwezigheid van organische materiaal"**. Op dit moment worden polymeren gewonnen uit petroleum. Volgens professor Vanderzande wordt jaarlijks 5% van de opgepompte olie gebruikt voor de productie van organisch materiaal. Diezelfde meent dat het in de toekomst echter mogelijk is om via biomassa te voorzien in een duurzame bron van koolstof om de productie van polymeren te garanderen.

Een zevende sterk punt van organische zonnecellen betreft de **"beschikbaarheid van bestaande goedkope, eenvoudige en energievriendelijke productietechnieken"**. Vier van de vijf ondervraagden uit categorie 2 is van mening dat het bestaan van deze productietechnieken een belangrijke troef kan zijn van organische zonnecellen. Door diezelfde werd eveneens sterk gefocust op het feit dat de productie van organische zonnecellen veel minder energie-intensief is dan de productie van Silicium zonnecellen. Hier wordt namelijk gebruik gemaakt van hoge temperatuurstappen wat zeer veel energie vergt. Volgens professor Genoe wordt er bij de productie van organische zonnecellen sterk op toegezien dat er geen temperatuurstappen gebeuren boven de 150°C. Ook werd door ieder van de vijf ondervraagden aangehaald dat zoals hierboven vermeld, er gebruik kan gemaakt worden van bestaande productietechnieken zoals bijvoorbeeld spraycoating of printing. Deze productietechnieken zijn zeer eenvoudig en vertrouwd. Op lange termijn is het dan ook de bedoeling om deze organische zonnecellen te produceren door middel van een roll-to-roll proces.

Ten slotte kan met de **"grote absorptiecoëfficiënt van licht"** (voor bepaalde golflengtes) voor organische materialen zien als een belangrijke "strength". Hoewel dit toch een belangrijke sterkte is voor organische zonnecellen werd dit slechts door twee van de vijf ondervraagde deskundigen uit de tweede categorie aangehaald. Het belangrijkste voordeel van de grote absorptiecoëfficiënt werd aangehaald door Tom Aernouts. Organische zonnecellen moeten immers niet voldoen aan verschillende voorwaarden om het ingestraalde licht om te zetten in elektriciteit.

Dit is bij Silicium zonnecellen wel het geval. Deze moet men liefst naar het zuiden richten en onder een bepaalde hellingshoek om een optimale lichtinstraling te bereiken. Organische zonnecellen werken echter ook bij een lagere lichtintensiteit en zijn niet zo afhankelijk van directe lichtinstraling. Dit maakt het mogelijk om organische zonnecellen te gebruiken op plaatsen waar er minder lichtinval is. Hierbij denken we dan aan bijvoorbeeld toepassingen binnenshuis.

5.2.2 Weaknesses

De (interne) zwakten van organische zonnecellen worden verkregen via volgende interviewvraag, voorgelegd aan de deskundigen uit categorie 2:

“Zijn er volgens U factoren die een oorzaak kunnen zijn dat organische zonnecellen in de toekomst niet competitief zullen blijken met andere (kristallijne/dunne film) zonnecellen?”

Een eerste zogenaamde “weakness” van organische zonnecellen is het **“lage rendement en efficiëntie”**. Alle vijf van de geïnterviewde bevoorrechte getuigen halen dit gegeven aan als een inherente zwakte van organische zonnecellen. Op dit moment wordt er voor organische zonnecellen wereldwijd een efficiëntie van 7,9% gehaald. Deze efficiëntie kan men enkel bereiken op relatief kleine oppervlakten waardoor er nog veel verder onderzoek nodig is. Zeker in tegenstelling tot de efficiëntie van Silicium zonnecellen die varieert tussen 15% en 20% op grote oppervlakten kan men opmerken dat er op dit vlak nog veel werk aan de winkel is. Hoewel er duidelijk nog vooruitgang geboekt moet worden op vlak van efficiëntie waren alle vijf deskundigen positief gestemd over de haalbaarheid hiervan in de nabije toekomst.

Een tweede zwakte van organische zonnecellen kan echter een grotere bottleneck betekenen. Namelijk de **“korte levensduur van organische zonnecellen”**. Opnieuw werd dit door elke van de deskundigen aangehaald als één van de belangrijkste zwakten. Zeker met het oog op grootschalig gebruik van organische zonnecellen in de toekomst is het belangrijk dat de levensduur significant verbeterd wordt.

Op dit moment zit men volgens alle vijf de bevoorrechte getuigen nog mijlenver verwijderd van een levensduur zoals deze van Silicium en zal dit ook nog enige tijd duren vooraleer zulke levensduur bereikt wordt voor organische zonnecellen. Voor silicium zonnecellen bedraagt de levensduur nu ongeveer 25 tot 30 jaar. Als men op termijn wil komen tot zonnecelinstallaties op daken met organische zonnecellen zal men evenwel een levensduur moeten bereiken die zich situeert in deze grootorde. Levensduur is dus een element waar men volgens de bevoorrechte getuigen zeker nog aandacht aan moet besteden.

De volgende drie zwakten die aangehaald worden door de bevoorrechte getuigen in verband met organische zonnecellen hebben elk betrekking op eigenschappen van de polymeren waaruit de zonnecellen zijn opgebouwd. De belangrijkste zwakte die werd aangehaald door alle bevoorrechte getuigen was het feit dat **"organische materialen beschikken over een lage stabiliteit"**. Volgens de bevoorrechte getuigen is dit intrinsiek te wijten aan het organisch materiaal en is er verder onderzoek nodig om de stabiliteit in de toekomst te verbeteren. Een tweede zwakte die vernoemd werd door drie van de vijf deskundigen betrof de **"gevoeligheid voor zuurstof van organisch materiaal"**. Volgens professor Mertens is het door deze gevoeligheid dan ook noodzakelijk dat organische zonnecellen op een efficiënte wijze worden ingekapseld teneinde deze te beschermen tegen zuurstof. Professor Mertens is van mening dat deze inkapseling een potentiële kostenpost kan zijn omdat de technologieën die hiervoor beschikbaar zijn op dit moment nog relatief duur blijken.

Ten slotte werd door drie van de vijf bevoorrechte getuigen de **"kwetsbaarheid voor UV-straling van organisch materiaal aangehaald"**. Zoals hierboven al vermeld is het ook hier belangrijk dat de organische zonnecellen ingekapseld worden.

5.2.3 Opportuniteiten

De (externe) opportuniteiten of kansen van organische zonnecellen worden verkregen via volgende interviewvraag, voorgelegd aan de deskundigen inzake organische zonnecellen:

“Ziet u opportuniteiten in de markt die maken dat organische zonnecellen een competitieve en aantrekkelijke technologie is voor de toekomst?”

Alle bevroagden menen dat een eerste kans voor organische zonnecellen het **“creëren van nichemarkten”** is. Diezelfde meenden dat organische zonnecellen op korte termijn (3-5 jaar) zullen worden geïntroduceerd in deze zogenaamde nichemarkten. Professoren Genoe en Mertens haalden in dit verband aan dat zij als leden van Imec onderzoek doen naar *“disposable sensors”*. Dit zijn sensoren die personen op hun lichaam dragen en verschillende lichaamsfuncties zoals hartslag en dergelijke kunnen registreren. Voor elk van de deskundigen was het duidelijk dat de eerste toepassingen van organische zonnecellen zich situeren op het domein van mobiele toepassingen waar veel vermogen en levensduur een niet zo belangrijke rol spelen. Voorbeelden zijn bijvoorbeeld mobiele telefoons of draagbare muziekspelers. Deze toestellen zouden met behulp van een organische zonnecel en oplaadbare batterijen kunnen worden voorzien van elektriciteit.

Een andere zeer belangrijke nichemarkt voor de toekomst blijkt *“building integrated PV”*. Dit werd door alle vijf de deskundigen aangehaald. Hier bestaat de mogelijkheid om gebouwen uit te rusten met organische zonnecellen door deze te integreren in ramen of gordijnen. Tevens werd aangehaald door de bevroagden dat de mogelijkheid bestaat om organische zonnecellen te verwerken in textiel. Zo kan men bijvoorbeeld draagtassen voorzien van een zonnecel om een laptop op te laden of zonnecellen integreren in tenten waardoor men in deze tenten elektronische apparatuur kan opladen.

Vervolgens wordt als tweede kans door alle ondervraagde deskundigen de **"groeïende markt van zonnecellen"** in het algemeen aangehaald. Zo vertelden diezelfde dat de laatste jaren zonnecellen aan een opmerkelijke opmars bezig zijn en steeds meer en meer opduiken in het straatbeeld. Tom Aernouts haalde ook aan dat mensen hierdoor meer vertrouwen krijgen in de technologie. Dit kan een gegeven zijn waar organische zonnecellen bij introductie op de markt ook van zouden mee kunnen profiteren. Aanvullend werd door de bevrageden ook vermeld dat er mede door deze groeiende markt er zicht een opportuniteit voordoet door het feit dat **"meer en meer ondernemingen en organisaties hun weg vinden naar de zonnecelindustrie"**. Men kan zich natuurlijk wel afvragen welke motieven deze ondernemingen nastreven. Is het vanuit de overtuiging dat de toekomst er één is van groene en hernieuwbare energie en/of zijn het vooral de winstkansen in deze groeiende markt die de nieuwe ondernemingen aantrekken?

Een volgende kans die organische zonnecellen kunnen benutten in de toekomst is de **"mogelijkheid tot een snelle en relatief eenvoudige opschaling van de productie"**. Dit hangt samen met het eerder vermelde sterke punt: *"beschikbaarheid van bestaande goedkope, eenvoudige en energievriendelijke productietechnieken"*. Elk van de deskundigen haalde aan dat wanneer alle knelpunten zoals levensduur en efficiëntie van organische zonnecellen overwonnen zijn er geen twijfel over bestaat dat er relatief snel een opschaling van de productie mogelijk zal zijn. Volgens Tom Aernouts zullen er dan ook significante *"economies of scale"* optreden waardoor de kost van organische zonnecellen nog verder zal dalen. Verder was iedereen van mening dat het zeker de bedoeling is om organische zonnecellen in de toekomst op grote schaal aan de lopende band te produceren.

Een vijfde opportuniteit die zeker en vast aangewend dient te worden zijn de **"spill-over effecten uit andere industrieën"**. Drie van de vijf deskundigen vermelden in dit verband dat er rekening moet gehouden worden met ontwikkelingen die gebeuren in aanverwante industrieën. Zo kan volgens professor Mertens door onderzoek naar polymeren vanuit de chemische industrie bepaalde knowhow aangewend worden in het onderzoek en ontwikkeling van organische zonnecellen. Ook bestaat er sinds enkele jaren een industrie die zich bezig houdt met *"printed electronics"*.

Tom Aernouts meent dat door samenwerking tussen deze industrie en de zonnecelindustrie significante voordelen kunnen behaald worden met betrekking tot de productie van organische zonnecellen. Ook hier doet zich dus zeker een kans voor die in de toekomst zeker te overwegen valt.

Een volgende kans die werd afgeleid uit de interviews met alle vijf de deskundigen is het feit dat er zeker nog een lange tijd concurrentie zal bestaan tussen verschillende soorten zonnecellen. Professor Vanderzande vermeldt hier dat hier de kans bestaat dat door deze competitie er een **“driver voor verder onderzoek wordt gecreëerd”**, met andere woorden dat concurrentie tussen verschillende zonnecellen nodig is om onderzoek en ontwikkeling te ondersteunen. In dit opzicht kan men spreken van productconcurrentie, hier gaat het om concurrentie tussen verschillende types zonnecellen binnen de markt van zonnecellen.

Een laatste opportuniteit, aangehaald door één van de deskundigen, voor organische zonnecellen is dat de **“markt van zonnecellen openstaat voor innovaties”**. Deze laatste opportuniteit maakt dat er in de zonnecelindustrie plaats is voor vernieuwing. Hiermee wordt aangeduid dat de industrie openstaat voor het invoeren van nieuwe ideeën, producten en processen. Innovatie wordt ook dikwijls gezien als noodzakelijke factor voor economische groei. De reden hiervoor is dat vooral Europa in veel traditionele productie-industriesectoren steeds minder concurrerend blijken. Er moeten dus alternatieve bronnen van werkgelegenheid gevonden worden. Europa is dan ook één van de voornaamste voorstanders van zonne-energie op dit moment.

5.2.4 Threats

Een laatste onderdeel van deze SWOT-analyse betreft de (externe) bedreiging waarmee de organische zonnecellen op dit moment en in de nabije toekomst mee te kampen hebben/zullen hebben. De threats (bedreiging) van organische zonnecellen worden verkregen via volgende interviewvraag:

“Als U naar de toekomst van organische zonnecellen kijkt, welke gevaren schuilen volgens U om de hoek?”

Een eerste bedreiging, aangehaald door alle vijf de deskundigen, is de **“concurrentie van Silicium zonnecellen en andere dunne film zonnecellen”**, zoals eerder vermeld kan dit echter ook gezien worden als een opportuniteit. Volgens diezelfde zullen de verschillende soorten zonnecellen zeker nog op korte en middellange termijn naast elkaar blijven bestaan. Op dit moment is silicium de dominante technologie op de markt voor zonnecellen. Volgens de bevroagden zal dit ook nog een hele tijd duren aangezien Silicium op dit moment beschikt over een goede efficiëntie en levensduur. Niettemin verwacht iedereen dat op lange termijn organische zonnecellen een serieuze kanshebber zijn om de volgende dominantie technologie te worden indien de zwakten waar ze op dit moment nog met geconfronteerd zijn kunnen worden overkomen.

Een volgende bedreiging, vermeld door vier van de vijf bevoorrechte getuigen, is de **“onzekerheid van onderzoek”**. Zo meent professor Mertens dat er nog heel wat onderzoek nodig is naar de efficiëntie en levensduur van organische zonnecellen zoals eerder al vermeld. Het is hierbij dan ook niet zeker dat de verwachte doorbraken op gebied van efficiëntie en levensduur zullen bereikt worden. De mogelijk dat de technologie toch niet zo veelbelovend is als hij in het begin bleek moet steeds in het achterhoofd gehouden worden. Zo komt men dan toe aan een derde bedreiging. Het is volgens Tom Aernouts dan ook noodzakelijk dat er **“geen te hoge verwachtingen gecreëerd worden”** over organische zonnecellen. Diezelfde meent dat het dan ook belangrijk is dat er naar de buitenwereld correct wordt gecommuniceerd omtrent de mogelijkheden van organische zonnecellen.

Men moet duidelijk stellen wat er op dit moment kan bereikt worden maar ook rekening houden met het feit dat er nog heel wat beperkingen de kop opsteken zoals de vermelde levensduur.

Vervolgens kunnen er nog twee laatste algemene externe bedreigingen worden vermeld, aangehaald door twee respectievelijk één van de ondervraagden. Enerzijds kan men **“de kwetsbaarheid van een relatief nieuwe markt”** vermelden. Hier is het belangrijk dat de markt de kans krijgt om op een gestage manier te groeien. Tenslotte heeft de overheid de markt voor zonnecellen kunstmatig gecreëerd door middel van subsidies om de leercurve te helpen en de industrie op te schalen. Zoals ook al in de literatuur vermeld door bijvoorbeeld Lorenz et al. (2008) is het noodzakelijk dat subsidies in de toekomst worden afgebouwd omdat de prijzen van zonnecellen eveneens dalen. Dit mag echter niet abrupt gebeuren teneinde de markt niet teveel te ontwrichten. Anderzijds wordt door twee van de vijf bevoorrechte getuigen aangehaald dat men in de toekomst rekening zal moeten gaan houden met ons **“verouderd elektriciteitsnetwerk”**. Door de commerciële introductie van zonnecellen enkele jaren geleden is er meer en meer sprake van lokale energieopwekking. Energie wordt niet enkel meer op één plaats geïnjecteerd op het elektriciteitsnetwerk maar op verschillende plaatsen zoals bijvoorbeeld bij mensen thuis. Het is dan ook noodzakelijk dat men ons verouderd elektriciteitsnetwerk grondig onder handen neemt om in de toekomst te kunnen voldoen aan de toenemende noden zodat ons netwerk niet teveel onder druk komt te staan.

Tabel 8: SWOT-tabel organische zonnecellen

Sterkte	Zwakte
<ul style="list-style-type: none">• Grote absorptiecoëfficiënt voor licht• Beperkte dikte organische zonnecellen• Veelvuldige aanwezigheid organisch materiaal• Diverse esthetische mogelijkheden (flexibiliteit/kleuren)• Lage gewicht van een organische zonnecel• Organisch materiaal kan aangebracht worden op vrijwel elk oppervlak• Prijs van organisch materiaal• Beschikbaarheid van bestaande, goedkope, eenvoudige en energievriendelijke productietechnieken	<ul style="list-style-type: none">• Organische materiaal reageert met lucht waardoor het afbreekt• Geringe efficiëntie en rendement• Korte levensduur• Organisch materiaal kwetsbaar voor UV straling• Lage stabiliteit van organische materialen
Opportuniteit	Bedreiging
<ul style="list-style-type: none">• Groeiende markt voor zonnecellen• Markt staat open voor innovaties• Meer en meer bedrijven treden toe tot zonnecelindustrie• Creatie van nieuwe nichemarkten• Mogelijkheid tot snelle opschaling van de productie• Spill-over effecten uit andere industrieën• Competitie tussen zonnecellen is driver voor onderzoek	<ul style="list-style-type: none">• Concurrentie Silicium en andere dunne film zonnecellen• Gevaar voor creëren van te hoge verwachtingen• Onzekerheid over onderzoek• Verouderd elektriciteitsnetwerk• Kwetsbaarheid van de relatief nieuwe markt voor zonnecellen

5.3 Bijkomende Bevindingen

5.3.1 Deskundigen

Enkele bijkomende bedenkingen en bevindingen worden besproken op basis van de antwoorden van de bevoorrechte getuigen op enkele additionele vragen gesteld tijdens de interviews met de deskundigen inzake organische zonnecellen.

“Welk is de missie van U als onderzoekscentrum met betrekking tot onderzoek en ontwikkeling naar organische zonnecellen?”

Deze vraag is enkel voorgelegd geworden aan de geïnterviewden die lid zijn van het interuniversitair onderzoekscentrum Imec. De overige ondervraagden zijn hiervan immers niet op de hoogte aangezien zij elders tewerkgesteld zijn of verbonden zijn aan andere universiteiten. De leden van Imec daarentegen zijn uitstekend geplaatst om hierover een gefundeerd antwoord te kunnen bieden.

De missie van Imec, volgens de drie leden, is tweërlei. Ten eerste wordt er binnen Imec getracht om het omzettingsrendement van organische zonnecellen te verbeteren. Zoals eerder vermeld, worden er op dit moment een efficiëntie van ongeveer 7,9% behaald wereldwijd. De bedoeling van Imec in de eerste plaats is deze efficiëntie boven de 10% krijgen. De tweede doelstelling is deze efficiëntie niet enkel op kleine oppervlakten te bereiken maar ook op grote. Ten tweede wordt er binnen Imec ook gewerkt aan organische zonnecellen met een langere levensduur dan diegene die op dit moment beschikbaar is. Door Tom Aernouts werd eveneens aangehaald dat terwijl men deze doelstellingen wil bereiken, de factor kosten niet uit het oog verloren mag worden.

De deskundigen zijn alle onderworpen aan de volgende vragen:

“Wat is er buiten verder onderzoek volgens U nog nodig opdat organische zonnecellen in de toekomst volwaardig de concurrentie kunnen aangaan met andere soorten zonnecellen?”

“Welke maatregelen zou de overheid volgens U dienen te nemen in de toekomst om organische zonnecellen enerzijds attractiever te maken voor investeerders en anderzijds de reeds gevestigde bedrijven/onderzoekscentra beter van dienst te kunnen zijn?”

De ondervraagden lieten er vooreerst geen twijfel over bestaan dat organische zonnecellen een *“emergent technology”* is. Hiermee wordt aangeduid dat hoewel de technologie nog in zijn kinderschoenen staat er toch een groot potentieel wordt verwacht. Er is evenwel nog heel wat verder onderzoek nodig opdat de technologie in de toekomst op grote schaal gecommmercialiseerd kan worden.

Drie van de vijf geïnterviewden gaf echter aan dat enkel en alleen verder onderzoek niet voldoende is. Zo is het volgens hen belangrijk dat de overheid de eerste fasen van fundamenteel onderzoek, aan bijvoorbeeld universiteiten, ondersteunt. Wanneer de technologie dan een voldoende grote vooruitgang geboekt heeft, is er volgens diezelfde een belangrijke rol weggelegd voor spin-off bedrijven. Deze bedrijven ontstaan als een nieuwe entiteit uit bijvoorbeeld een universiteit. In de overgang van *“emergent technology”* naar commercialisering op grote schaal kunnen zij als tussenstation fungeren. Grote gevestigde multinationals zullen immers geen grote bedragen investeren in een technologie die nog relatief nieuw is en nog niets bewezen heeft. De spin-off bedrijven hebben dan als rol de technologie te optimaliseren. Zij kunnen vervolgens een trekkersrol spelen in de promotie van organische zonnecellen als nieuwe technologie.

Wanneer de technologie dan voldoende vertrouwen krijgt is het mogelijk dat deze spin-offs worden overgenomen door grote bedrijven. Voor de effectieve introductie op grote schaal is er namelijk veel kapitaal nodig.

Volgens de drie bevoorrechte getuigen kan de overheid ook hier een belangrijke rol spelen. Nieuwe veelbelovende technologieën kunnen namelijk van groot strategisch belang zijn. Zo kan de overheid bijvoorbeeld het opstarten van spin-offs vergemakkelijken. Het is dan ook noodzakelijk dat overheden een visie ontwikkelen op lange termijn. Toch is gebleken uit het interview met de Schepen van energie van de gemeente Mol dat er wel degelijk aandacht wordt besteed aan een duurzaam strategisch beleid op lange termijn. Hier werd door de Schepen bijvoorbeeld aangehaald dat het één van de meest belangrijke prioriteiten van de gemeente was om VITO (Vlaams Instituut voor Technologisch Onderzoek) en haar spin-off op Mols grondgebied te kunnen blijven huisvesten.

Vervolgens werd er nog een vraag voorgelegd aan de bevoorrechte getuigen omtrent enkele economische inzichten:

“De zonnecelindustrie is gedurende het laatste decennium sterk gegroeid, vooral met betrekking tot Silicium zonnecellen. Volgens de literatuur was er sprake van significante leereffecten en schaalvoordelen. Denkt U dat dit in de toekomst ook mogelijk zal zijn voor organische zonnecellen of ziet U enkele belemmeringen?”

Zoals eerder vermeld bij de mogelijke kansen voor organische zonnecellen haalde elk van de deskundigen aan dat wanneer alle knelpunten zoals levensduur en efficiëntie van organische zonnecellen overwonnen zijn er geen twijfel over bestaat dat er relatief snel een opschaling van de productie mogelijk zal zijn. Volgens Tom Aernouts zullen er dan ook significante “*economies of scale*” optreden waardoor de kost van organische zonnecellen nog verder zal dalen. Uit de literatuur blijkt immers dat schaalvoordelen een zeer grote rol hebben gespeeld in de prijsdaling van Silicium zonnecellen. Uit de interviews werd echter niet duidelijk waar deze leereffecten zich precies zouden kunnen voordoen.

5.3.2 Onderneming

Ten slotte werd er een interview afgenomen in categorie 3, een onderneming actief in de zonnecelindustrie. V&R The Solarcompany is gespecialiseerd in het aanwenden en implementeren van diverse soorten zonne-energie, met als specialisatie het plaatsen van zonnepanelen.

Ook hier werd ,net zoals bij de vorige bevoorrechte getuigen, op basis van enkele vragen getracht een beeld te bekomen over hoe een onderneming die actief is in de zonnecelindustrie kijkt naar de toekomst. Verder werd er gepeild of men enige kennis had van het bestaan van organische zonnecellen en welke hun opvatting hierover was.

Ten eerste is de onderneming bevraagd omtrent haar missie:

“Welk is de missie van U als onderneming met betrekking tot de promotie van zonnecelinstallaties?”

Ine Schils wist te vertellen dat V&R The Solarcompany tien jaar geleden door de huidige CEO werd opgericht vanuit een groene overtuiging. Hun missie was gericht op het bewust maken van mensen dat er nood is aan een beter leefmilieu. Een van de manieren waarop ze dit trachten te doen is door de installatie van zonnepanelen. Tevens wenst de onderneming dat dit voor iedereen, ook de minderbedeelden, toegankelijk is. Mede daardoor engageert de onderneming zich in sociale projecten en plaatst het gratis zonnepanelen voor mensen die dit normaal niet zouden kunnen betalen.

Vervolgens werd er naar de algemene trends in de zonnecelindustrie gevraagd aan de hand van volgende twee vragen:

“Is er volgens U een evolutie in de tijd wat betreft de interesse voor zonne-energie, zo ja, wat zou dan volgens U de belangrijkste reden zijn?”

“Het belang van zonnecellen zal in de toekomst alleen maar toenemen. Welke factoren maken volgens U dat zonnecellen een van de belangrijkste hernieuwbare energiebronnen zijn/zullen worden en denkt U dat er in de toekomst hierin een rol is weggelegd voor organische zonnecellen?”

Doordat de onderneming al tien jaar bestaat, heeft ze volgens Ine Schils een duidelijk beeld van de ontwikkelingen op de markt het laatste decennium. Volgens diezelfde is de belangrijkste reden voor de toegenomen interesse het financiële aspect. Zoals eerder als vermeld door de deskundigen haalt deze bevoorrechte getuigen eveneens aan dat deze markt kunstmatig gecreëerd werd door de overheid met behulp van subsidies. Tevens zorgen de zichtbaarheid van zonnecellen in het straatbeeld en de terugverdientijd van enkele jaren voor meer vertrouwen in deze technologie. Verder is mevrouw Schils van mening dat er in de toekomst verschillende bronnen van hernieuwbare energie naast elkaar zullen bestaan net zoals er verschillende types van zonnecellen naast elkaar zullen zijn.

Ten derde werd er via onderstaande vragen gepeild naar de kennis die de onderneming al dan niet bezit over organische zonnecellen en welke factoren voor hen als onderneming een belangrijke rol spelen:

“Welke factoren zijn volgens U belangrijk opdat U als onderneming in de toekomst zou investeren in organische zonnecellen?”

“Welke factoren maken dat U als onderneming organische zonnecellen een minder aantrekkelijke technologie zou vinden om in te investeren?”

“Ziet u opportuniteiten in de markt die maken dat organische zonnecellen een competitieve en aantrekkelijk technologie is voor de toekomst?”

Als eerste werd door mevrouw Schils vermeld dat de onderneming wel degelijk op de hoogte is van de nieuwste ontwikkelingen op de markt inzake zonnecellen. Elk jaar neemt de onderneming zelf deel aan een aantal beurzen en worden er ook gespecialiseerde beurzen bezocht. Hier worden dikwijls de nieuwste technologieën aangeboden op het gebied van zonnecellen. Zo volgt de onderneming de ontwikkelingen betreffende organische zonnecellen op de voet. Volgens Ine Schils zijn er, opdat hun onderneming zou investeren in organische zonnecellen, nog vele testen en voldoende bewijs nodig die aanvaardbare rendementen en efficiëntie aantonen. Tevens werd een schappelijke prijs opgegeven als een belangrijke voorwaarde.

Niettemin ziet de onderneming zeker een toekomst weggelegd voor organische zonnecellen. Ine Schils haalt in dit verband aan dat ze dikwijls geconfronteerd worden met gebouwen waar de huidige Silicium technologie niet toepasbaar is. Dit kan verscheidene redenen hebben. Zo is er bijvoorbeeld het gebrek aan zonlicht op bepaalde daken, zijn de daken niet naar het zuiden gericht of laat de constructie van het gebouw een rigide structuur als Silicium zonnepanelen niet toe. Als organische zonnecellen ooit op grote schaal geproduceerd zouden worden, zou hier volgens diezelfde zeker een potentieel aanwezig zijn.

Als laatste werd er gepolst naar de mening van de onderneming omtrent de rol van de overheid aan de hand van volgende vraag:

“Welke maatregelen zou de overheid volgens U in de toekomst dienen te nemen om organische zonnecellen enerzijds attractiever te maken voor investeerders en anderzijds de reeds gevestigde bedrijven/onderzoekscentra beter van dienst te kunnen zijn?”

Ine Schils antwoordde dat een belangrijke rol voor de overheid weggelegd is op het vlak van kwaliteitscontrole. Op dit moment worden PV installaties wel gekeurd, maar is er meer uniformiteit nodig. Op termijn zou men moeten gaan naar een standaardsysteem op basis van één enkel kwaliteitslabel.

Ook voordat de zonnecellen op de markt komen, zou er sprake moeten zijn van een kwaliteitslabel. Op deze manier zijn ondernemingen zeker dat ze een goed product aankopen en niet worden opgelicht. Het is namelijk zo dat door de groeiende markt van zonnecellen veel bedrijven toetreden tot deze relatief nieuwe industrie. De motieven van sommige ondernemingen kan men echter in twijfel trekken. Dit is een punt waar we in de toekomst volgens mevrouw Schils zeer waakzaam voor moeten zijn.

6 Conclusies en Aanbevelingen

6.1 Conclusies

In deze rubriek wordt het antwoord geformuleerd op de centrale onderzoeksvraag. Deze luidde:

“Kunnen organische zonnecellen in de toekomst een waardig structureel alternatief vormen voor niet-organische zonnecellen?”

Het is algemeen bekend dat onze wereldvoorraad aan fossiele brandstoffen niet onuitputbaar is. Bovendien is de verbranding van die fossiele brandstoffen één van de belangrijkste oorzaken van de opwarming van de aarde. We hebben dus reden genoeg om op zoek te gaan naar andere, milieuvriendelijkere energiebronnen. Fotovoltaïsche zonne-energie, en in dit geval organische zonnecellen, is één van de belangrijkste milieuvriendelijke energiebronnen.

Op dit moment bestaan er verschillende soorten zonnecellen, panelen en fotovoltaïsche systemen met elk een verschillend omzettingsrendement. Toch kan de zonnecelindustrie nog steeds niet concurreren met niet-hernieuwbare energiebronnen zoals steenkool, aardgas, etc. Om deze reden biedt de overheid een aantal subsidies en steunmaatregelen om mensen aan te zetten gebruik te maken van zonne-energie. Zo kunnen particulieren en bedrijven genieten van een fiscaal voordeel indien ze beslissen zonnepanelen te installeren. Verder geldt sinds 1 januari 2002 een systeem van groene-stroom-certificaten in het Vlaams Gewest. Met dit systeem wil Vlaanderen de productie van elektriciteit uit hernieuwbare energiebronnen stimuleren. Dit systeem en de andere subsidies werden besproken in hoofdstuk vier.

In dit onderzoeksopzet wordt er getracht om een analyse te maken naar het toekomstig potentieel van organische zonnecellen. Deze analyse werd uitgevoerd door een overzicht te geven van de sterktes, zwaktes, bedreigingen en opportuniteiten van organische zonnecellen, een zogenaamde SWOT-analyse. Verder werden er nog enkele opmerkelijke trends in de zonnecelindustrie besproken.

Vermits iedere bevroagde deskundige erop wees dat organische zonnecellen op dit moment nog volop in hun onderzoeksfase zitten, is het beoordelen naar toekomstig potentieel een erg complex proces. Uit dit praktijkonderzoek zijn er echter enkele belangrijke en interessante elementen naar voor gekomen.

Vooreerst werden de bevoorrechte getuigen bevroagd over de sterke punten van organische zonnecellen. De antwoorden van de ondervraagden liepen in grote lijnen parallel met de informatie die gevonden werd in de literatuur. Toch kunnen we hier een eerste belangrijke factor inzake organische zonnecellen aanhalen, namelijk de factor "**kosten**". Primordiaal binnen deze factor is de "**lage prijs van organisch materiaal**" en de "**beschikbaarheid van goedkope productieprocessen**". Hier kan opgemerkt worden dat de potentiële kosten van organische zonnecellen in vergelijking met silicium zonnecellen een heel stuk lager liggen. Met het oog op de toekomst kan dit een significant voordeel betekenen in de concurrentiestrijd met andere energiebronnen.

Vervolgens werd er gepolst naar de zwakke punten van organische zonnecellen op dit moment. Door de getuigen werd hier vooral gewezen op het "**gebrek aan levensduur**" en het "**geringe omzettingsrendement**". Het is belangrijk dat organische zonnecellen het ingestraalde zonlicht op een voldoende efficiënte manier omzet naar elektriciteit. Op dit moment wordt er hoofdzakelijk een relatief hoge efficiëntie (7,9%) gehaald op kleine oppervlakten. Als men organische zonnecellen op grote schaal wil toepassen zal men naar de toekomst toe deze efficiëntie ook moeten kunnen bereiken op grotere oppervlakten. De ondervraagden hadden er echter alle vertrouwen in dat de factor efficiëntie in de toekomst overwonnen kan worden. Tevens zullen organische zonnecellen moeten beschikken over een behoorlijke levensduur willen zij in de toekomst een waardig structureel alternatief vormen voor niet-organische zonnecellen. Mensen zijn namelijk niet geïnteresseerd in het om de twee jaar vervangen van hun zonnecellen. Men kan hieruit concluderen dat levensduur een noodzakelijke, doch geen voldoende voorwaarde is opdat organische zonnecellen concurrentieel kunnen zijn in de toekomst.

De kansen die er op de markt bestaan voor organische zonnecellen zijn divers. De twee belangrijkste factoren die we in dit verband kunnen aanhalen zijn de mogelijkheid van **"spill-over effecten"** uit aanverwante industrieën en de kans tot relatief **"snelle en eenvoudige opschaling van de productie"** van organische zonnecellen. Spill-over effecten hebben als gevolg dat er technieken en technologieën worden overgenomen uit industrieën die een sterke band hebben met de zonnecelindustrie. We denken hier bijvoorbeeld aan de chemische industrie of de elektronische industrie. Tevens is er als gevolg van deze spill-over effecten de mogelijkheid om de productie van organische zonnecellen op een relatief snelle en goedkope manier op te schalen. Dit mede door de verschillende printing en coating technieken die reeds beschikbaar zijn vanuit andere industrieën. Vindt er in de toekomst zulke opschaling plaats, dan kunnen we spreken van "economies of scale". Organische zonnecellen zullen dan op grote schaal aan de lopende band geproduceerd kunnen worden. Hierdoor zal de prijs van organische zonnecellen en de kosten van productie verder dalen. Bovendien werd er door alle bevoorrechte getuigen opgemerkt dat organische zonnecellen op korte termijn zeker potentieel vertonen om geïntroduceerd te worden op **"nichemarkten"**. Zo vertonen organische zonnecellen verschillende voordelen met het oog op integratie in gebouwen, de zogenaamde "building integrated PV". Een andere mogelijke nichemarkt die in het vizier komt is deze van de "disposable sensors".

Als laatste onderdeel van de SWOT-analyse werden de toekomstige bedreigingen van organische zonnecellen onder de loep genomen. Het merendeel van de ondervraagde deskundigen die participeerden aan de diepte-interviews geeft te kennen dat de twee belangrijkste bedreigingen zijn: **"de concurrentie van silicium en andere dunne film zonnecellen"** en de **"onzekerheid over verder onderzoek inzake organische zonnecellen"**. Deze twee factoren hangen tevens samen. Om in de toekomst volwaardig de concurrentie te kunnen aangaan met andere types zonnecellen zal er nog heel wat onderzoek nodig zijn. Het is dan ook lang niet zeker of organische zonnecellen in de toekomst aan alle verwachtingen zullen kunnen voldoen. Het is eveneens mogelijk dat blijkt dat bepaalde technologische hindernissen niet overwonnen kunnen worden. Het is dan ook van belang dat men geen te hoge verwachtingen creëert omtrent organische zonnecellen en deze nieuwe technologie de tijd laat om zich voldoende te ontwikkelen.

Tenslotte werd er getracht, aan de hand van enkele bijkomende vragen, om een ruimer inzicht te verwerven inzake organische zonnecellen.

Een eerste belangrijke bevinding, afgeleid uit de bevraging met deskundigen, is het feit dat organische zonnecellen een zogenaamde "**emergent technology**" zijn. Hier werd aangegeven door de bevoorrechte getuigen dat vooral spin-offs een wel eens een cruciale rol zouden kunnen vervullen in de opkomst van organische zonnecellen. In de ontwikkeling van "*emergent technology*" naar commercialisering op grote schaal kunnen zij als tussenstation fungeren. De spin-off bedrijven hebben dan als taak de technologie te optimaliseren en bekend te maken bij het grote publiek. Zij kunnen namelijk een trekkersrol vervullen in de promotie van organische zonnecellen als nieuwe technologie. Hieruit kunnen we concluderen dat het van belang is dat deze spin-off ondernemingen voldoende steun genieten in de eerste fases van hun opstart, teneinde een volwaardige marktspeeler te worden en op deze manier een kwalitatief hoogstaand product aan te bieden.

Een laatste algemene, doch belangrijke, bevinding werd aangehaald door de onderneming V&R the Solarcompany. Dit bedrijf gaf aan dat het noodzakelijk is om naar de toekomst toe werk te maken van een "**kwaliteitslabel**" voor zonnecellen. Dit niet enkel naar de consumenten toe, maar ook naar de installateurs. Op deze manier worden beide groepen op een juiste manier geïnformeerd over de kwaliteit van de zonnecellen.

6.2 Persoonlijke Reflectie: Aanbevelingen

Na het voeren van diepte-interviews in een praktijkgericht onderzoek en het lezen van relevante literatuur omtrent zonnecellen en organische zonnecellen in het bijzonder, zijn enkele aanbevelingen gemaakt.

Een eerste aanbeveling is gerelateerd aan de resultaten van deze studie omtrent de bedreigingen in verband met organische zonnecellen. Het is namelijk belangrijk dat er door alle instellingen en personen die met onderzoek inzake organische zonnecellen belast zijn hierover op een correcte en objectieve manier informatie naar buiten gebracht wordt. Organische zonnecellen zijn een veelbelovende hernieuwbare energiebron, maar er is tevens nog heel wat onderzoek nodig. Dit is een zogenaamde onzekere factor die men met de nodige voorzichtigheid moet behandelen.

Als tweede aanbeveling kan er opgemerkt worden dat door de sterke groei van de PV-markt in Vlaanderen en de grote concentratie aan PV- know-how, het interessant zou zijn om vanuit het Vlaamse bedrijfsleven en de overheid onderzoek naar zonnecellen te financieren. Op deze manier zou er kunnen getracht worden om het onderzoek naar organische zonnecellen op grote schaal verder te zetten en kan men de fotonvoltaïsche industrie een impuls bezorgen. Extra steun aan onderzoekscentra zoals IMEC in Leuven en het wetenschapspark in Hasselt kan verder onderzoek ter verbetering van zonneceltoepassingen, en organische zonnecellen in het bijzonder, stimuleren.

Dit brengt ons vervolgens tot een derde aanbeveling die nauw samenhangt met de hierboven vermelde. Deze aanbeveling heeft betrekking op het belang van spin-off bedrijven. Het kan namelijk interessant zijn om onderzoek naar organische zonnecellen dat momenteel gedaan wordt in universiteiten verder te zetten in zogenaamde spin-off bedrijven. Het is gebleken uit de bevraging dat de bevoorrechte getuigen van mening zijn dat er voor spin-offs een grote rol is weggelegd. Deze ondernemingen zouden dan financiële steun krijgen zodat zij op een meer comfortabele manier door hun opstartfase geraken. Hier is er mogelijk een belangrijke rol weggelegd voor bijvoorbeeld "Het Fonds Wetenschappelijk Onderzoek – Vlaanderen" en "Het Agentschap voor Innovatie door Wetenschap en Technologie".

Hoewel er op dit moment al subsidies worden uitgegeven door deze instellingen kunnen zij zich specifiek focussen op spin-offs die zich bezighouden met het onderzoek naar organische zonnecellen en het ontwikkelen van allerhande toepassingen hiervoor. Op deze manier kunnen deze spin-off bedrijven financiële steun ontvangen voor innovatieve projecten, producten en processen inzake organische zonnecellen.

Om op lange termijn innovatief en succesvol te zijn moet er blijvend aandacht worden besteed aan nieuwe zaken. Zo kan men bijvoorbeeld ook doctoraatsstudenten stimuleren in hun onderzoek naar minder vanzelfsprekende onderwerpen waar de nieuwste zonneceltechnieken worden bekeken en waarvan het absoluut nog niet zeker is of deze ooit zullen doorbreken. Op deze manier kan men innovatie blijvend in de hand werken.

Verder is het aangewezen dat de markt van zonnecellen en PV installaties wordt gereguleerd. Zoals gebleken uit het interview met mevrouw Schils is het noodzakelijk dat er uniformiteit heerst op deze markt. Het belang van uniformiteit en goede kwaliteit wordt onderstreept door het fenomeen van asymmetrische informatie. Hier is het zo dat de ene partij over meer info beschikt betreffende het product dan de andere partij. Op lange termijn zullen de hoge kwaliteitsgoederen zo uit de markt gedreven worden door de lage kwaliteitsgoederen. Om dit tegen te gaan zijn er verschillende opties mogelijk. Allereerst kan de producent of de aanbieder die zonnecellen verkoopt aan particulieren hier een garantie aanbieden. Deze garantie kan een effectief signaal zijn van goede productkwaliteit. Aangezien het voor de producent of aanbieder meer zal kosten om garantie te verlenen voor lage kwaliteitsgoederen dan voor hoge kwaliteitsgoederen. Een tweede meer radicale optie is overheidsingrijpen. Hier kan de overheid een belangrijke rol vervullen door bijvoorbeeld kwaliteitsnormen voor zonnecellen op te leggen en eventueel ambtenaren op pad te sturen om dit te controleren. Anderzijds is het mogelijk dat de overheid dit overlaat aan de sector zelf. Men spreekt hier dan over sectorregulering waarbij de sector zelf intern afspraken zal maken. Wanneer aanbieders en producenten van zonnecellen voldoen aan de vooropgestelde kwaliteitsnormen zullen zij dan een label kunnen bekomen. Dit label geeft een duidelijk signaal naar de consumenten over het kwaliteitsniveau van de zonnecellen.

De sectororganisatie EPIA zou de verantwoordelijkheid op zich kunnen nemen om het label te beheren. Dit houdt onder andere in dat zij de aanvragen voor het label behandelen, het label toekennen aan aanbieders en producenten, toezicht houden op het kwaliteitsniveau en indien nodig het label terug intrekken.

Een volgende aanbeveling heeft betrekking op de introductie van organische zonnecellen als nieuwe technologie op de markt. In innovatief onderzoek is het nooit vanzelfsprekend om in te schatten wanneer een markt klaar is voor een nieuwe technologie. Het is dikwijls zo dat te vroeg niet op tijd is, maar te laat is natuurlijk ook niet op tijd. Hier is het vooral belangrijk dat de onderzoekscentra, spin-offs en andere bedrijven die bezig zijn met organische zonnecellen de correcte moment kiezen om deze nieuwe technologie te introduceren. Om dit te kunnen realiseren is het cruciaal dat men een goed beeld heeft van de markt. Dit is tevens een onzekere factor die men met de nodige bedachtzaamheid moet behandelen.

Een laatste algemene aanbeveling is de centralisatie van het zonnecelsubsidiebeleid. Doordat men in België op verschillende niveaus subsidies voor zonnecellen kan aanvragen, 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 subsidiebeleid. 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. Wel moet men de nadelen van centralisatie in het achterhoofd houden. Zo kunnen burgers op dit moment tevens steunmaatregelen verkrijgen van hun gemeente of provincie. Dikwijls zijn deze steunmaatregelen aangepast aan de specifieke noden van de lokale regio's. Zo kan het zijn dat er in bepaalde regio's meer vraag is naar zonnepanelen en dus tevens meer subsidieaanvragen dan in andere regio's. Het is dan ook vanzelfsprekend dat lokale overheden hierop inspelen. Als men een centralisatie zou doorvoeren kan dit niet meer het geval zijn wat potentieel nadelig zou kunnen zijn voor de lokale bevolking. Er zal bijgevolg veel minder of helemaal geen aandacht meer besteed worden aan de lokale noden.

Referentielijst

- Agentschap Ondernemen. (2010). Ecologiepremie. Opgevraagd op 20 februari, 2010, via http://ewbpublicatie.vlaanderen.be/servlet/ContentServer?pagename=Ondernemen/Page/MVG_CMS4_VT_Special_Subnav&cid=1196737282623&c=Page
- Albrecht, J. (2007). The future role of photovoltaics: A learning curve versus portfolio perspective. *Energy policy*, 35, 2296-2304.
- Annaert, L., Heyman, J., Somers, W., Vancleynebreugel, W., Verhoeven, A. (2005). Milieurecht in kortbestek. Brugge: Die Keure.
- Azzopardi, B. Mutale, J. (2010). Life cycle analysis for future photovoltaic systems using hybrid solar cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 1130–1134.
- BP. (2009). Statistical review of world energy. Opgevraagd op 26 november, 2009, via <http://www.bp.com/productlanding.do?categoryId=6929&contentId=7044622>
- Clean Energy. (2010) Opgevraagd op 30 maart 2010 via http://www.clean-energy-ideas.com/articles/disadvantages_of_solar_energy.html
- ECN jaarverslag. (2008). Samen werken aan een duurzame toekomst. Opgevraagd op 4 oktober, 2009, via <http://www.ecn.nl/nl/home>
- Energy Information Administration. (2009). International energy outlook 2009. Opgevraagd op 26 november, 2009, via <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/world.html>
- Energy Research Centre of the Netherlands. (2001). Veel gestelde vragen over fotovoltaïsche zonne-energie. Opgevraagd op ... via <ftp://ftp.ecn.nl/pub/www/library/report/2001/p01011.pdf>

Euroobserver. (2009). Photovoltaic barometer. Opgevraagd op 10 april 2010 via <http://www.euroobserv-er.org/pdf/baro190.pdf>

European Photovoltaic Industry Association. (2008). Photovoltaic energy, energy from the sun. Opgevraagd op 2 maart, 2010, via <http://www.epia.org/publications/epia-publications.html>

European Photovoltaic Industry Association. (2008). Solar generation V. Opgevraagd op 2 maart, 2010, via <http://www.epia.org/publications/epia-publications.html>

Fleischer, T. Grunwald, A. (2008). Making nanotechnology developments sustainable. A role for technology assessment? *Journal of Cleaner Production*, 16, 889-898.

Fthenakis, V. Kim, H. (2009). Photovoltaics: Life-cycle analyses.

Fthenakis, V. (2009). Sustainability of photovoltaics: The case for thin-film solar cells. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13, 2746-2750.

Gazet van Antwerpen. (2006). Senaat schrijft duurzame ontwikkeling in grondwet in. Opgevraagd op 2 maart, 2010, via <http://www.gva.be/archief/guid/senaat-schrijft-duurzame-ontwikkeling-in-grondwet-in.aspx?artikel=20bb6707-65bb-4190-b5bf-bed289f64e94> (13/07/'06)

Heremans, P. (2008). Zonnecellen voor een prikje. *Interconnect*, link naar de toekomst. 4-7.

IMEC jaarverslag. (2008). Opgevraagd op 14 oktober, 2009 via http://www2.imec.be/be_nl/pers/imec-publicaties/jaarverslag-2008.html

International Energy Agency. (2000). Experience curves for energy technology policy. Opgevraagd op 15 april 2010 via <http://iea.org/textbase/nppdf/free/2000/curve2000.pdf>

International Energy Agency. (2006). Share of total energy supply. Opgevraagd op 27 november, 2009, via <http://www.iea.org/statist/index.htm>

International energy Agency. (2009). Solar PV roadmap targets. Opgevraagd op ... via www.iea.org/papers/2009/PV_roadmap_targets_viewing.pdf

Kazmerski, L. (2006). Solar photovoltaics R&D at the tipping point: A 2005 technology overview. *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, 150, 105-135.

Konarka Technologies. 1 oktober 2009 via <http://www.konarka.com/index.php/power-plastic/power-plastic-applications/>

Kotler, P., Armstrong, G. (2006). *Marketing: de essentie* (T. Borchert, P. van der Hoek, Vertaling en Bewerking). Amsterdam: Pearson Education Benelux. (Oorspronkelijk verschenen in het Engels in 2005)

Kotler, P., Armstrong, G., Saunders, J., Wong, V. (2006). *Principes van marketing* (F. Broere, Nederlandse bewerking). Amsterdam: Pearson Education Benelux. (Oorspronkelijk verschenen in het Engels in 2003)

Lorenz, P., Pinner, D., & Seitz, T. (2008). The economics of solar power. *The McKinsey Quarterly*.

Martens, H. (2006). *Management- en onderzoekscompetenties*, Diepenbeek, Universiteit Hasselt.

Mason, J. (1997). *Qualitative Researching*. London: SAGE Publications.

Maso, I., Smaling A. (1998). *Kwalitatief onderzoek: praktijk en theorie*, Amsterdam: Boom.

Mercaldo, L. Addonizio, M. Noce, M. Veneri, P. Scognamiglio, A. Privato, C. (2009). Thin film silicon photovoltaics: architectural perspectives and technological issues. *Applied energy*, 86, 1836-1844.

National Renewable Energy Laboratory. (2008). Solar Technologies Market Report. Opgevraagd op 10 april 2010 via http://www.nrel.gov/applying_technologies/pdfs/2008_solar_market_report.pdf

Nemet, F. (2006). Beyond the learning curve: factors influencing cost reductions in photovoltaics. *Energy policy*, 34, 3218-3232.

ODE Vlaanderen i.s.m. IMEC (2007). Elektriciteit uit zonlicht. Opgevraagd op 3 oktober, 2009, via http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/doc/brochure_pv_zonlicht.pdf

ODE Vlaanderen. (2007). Duurzame energie wegwijzer 2007. Opgevraagd op 3 oktober, 2009, via http://www.belgium.be/nl/publicaties/pub_duurzame_energie_wegwijzer_2007_duurzame_energie_voor_particulieren_.jsp

ODE Vlaanderen. (2009). Zonnestroom. Opgevraagd op 3 oktober, 2009, via <http://ode.be/index.php?page=zonnestroom>

Pizzini, S. (2010). Towards solar grade silicon: Challenges and benefits for low cost photovoltaics. *Solar Energy Materials and Solar Cells*.

Powell, C. Bender, T. Lawryshyn, Y. (2009). A model to determine financial indicators for organic solar cells. *Solar Energy*, 83, 1977-1984.

PV Cycle Association. (2010). Opgevraagd op 13 april 2010 via <http://www.pvcycle.org/>

Raugei, M. Frankl, P. (2009). Life-cycle impacts and costs of photovoltaic systems: Current state of the art and future outlooks. *Energy*, 34, 392-399.

Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. (2009). Renewables: global status report 2009. Opgevraagd op 25 november, 2009, via http://www.ren21.net/pdf/RE_GSR_2009_Update.pdf

Sekaran, U. (2003). Research Methods for Business, Illinois: John Wiley & Sons, Inc.

Spanggaard, H., Kerbs, F. (2004). A brief history of the development of organic and polymeric photovoltaics. Solar energy materials & solar cells, 83, 125-146.

Thewys, T. (2008). Duurzame ontwikkeling, Diepenbeek, Universiteit Hasselt.

Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N., Gekas, V. (2005). Environmental impacts from the solar energy technologies. Energy Policy, 33, 289-296.

Vlaams Energie Agentschap. (2010). Gemeentelijke subsidies. Opgevraagd op 20 februari, 2010, via <http://www.energiesparen.be/subsidies>

Vlaams Energie Agentschap. (2010). Ondersteuning van fotovoltaïsche zonne-energie in Vlaanderen via groenestroomcertificaten. Opgevraagd op 11 februari, 2010, via <http://www.energiesparen.be/groenestroomcertificaten>

Vlaams Energie Agentschap. (2009). Premies voor energiebesparing in Vlaanderen. Opgevraagd op 8 februari, 2010, via <http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/premies/premies2009.pdf>

Vlaams Energie Agentschap. (2010). Toelichting bij belastingvermindering. Opgevraagd op 20 februari, 2010, via <http://www.energiesparen.be/subsidies/belastingvermindering>

Vlaams Energie Agentschap. (2009). Verhoogde investeringsaftrek voor energiebesparende investeringen. Opgevraagd op 17 februari, 2010, via http://www.energiesparen.be/subsidies/subsidieregel_detail?id=1831&verstr=769&doelgroep=2

Vlaamse Overheid. (2010). De ecologiepremie. Opgevraagd op 20 februari, 2010, via http://www.vlaanderen.be/servlet/Satellite?c=Solution_C&cid=1247814536287&context=1141721623065&p=1183730847285&pagename=Infolijn%2FView

Vlaamse reguleringsinstantie voor de elektriciteits- en gasmarkt. (2010). Aantal uitgereikte groenestroomcertificaten. Opgevraagd op 23 februari, 2010, via <http://www.vreg.be/vreg/documenten/Statistieken/67007.pdf>

Vlaamse reguleringsinstantie voor de elektriciteits- en gasmarkt. (2010). Energiemarkt – Groene stroom – Statistieken. Opgevraagd op 25 februari, 2010, via http://www.vreg.be/nl/05_professioneel/01_algemeen/02_energiemarkt/03_statistieken/04_groenestroom.asp

Vlaamse reguleringsinstantie voor de elektriciteits- en gasmarkt. (2010). Groenestroomproducenten – Het systeem van GSC. Opgevraagd op 27 februari, 2010, via http://www.vreg.be/nl/06_sector/04_groenestroomproducenten/01_systeem.asp

Bijlagen

Vragenlijst 1: overheid

1. "Welk is de missie van U als overheidinstelling met betrekking tot de subsidiering van zonnecelinstallaties?"
2. "Welke maatregelen zou de overheid volgens U dienen te nemen in de toekomst om zonnecellen enerzijds attractiever te maken voor investeerders en anderzijds de reeds gevestigde bedrijven/onderzoekscentra beter van dienst te kunnen zijn?"
3. "Het belang van zonnecellen zal in de toekomst alleen maar toenemen. Welke factoren maken volgens U dat zonnecellen een van de belangrijkste hernieuwbare energiebronnen is/zal worden?"
4. "Welke zijn volgens U de belangrijkste factoren waarom men (ondernemingen/overheid) zouden moeten investeren in onderzoek en ontwikkeling naar zonnecellen en meer specifiek organische zonnecellen?"

Vragenlijst 2: Deskundigen

1. "Welk is de missie van U als onderzoekscentrum met betrekking tot onderzoek en ontwikkeling naar organische zonnecellen?"
2. "Het belang van zonnecellen zal in de toekomst alleen maar toenemen. Welke factoren maken volgens U dat zonnecellen een van de belangrijkste hernieuwbare energiebronnen is/zal worden en denkt U dat er in de toekomst hierin een rol is weggelegd voor organische zonnecellen?"
3. "Welke zijn volgens U de belangrijkste factoren waarom men zou moeten investeren in onderzoek en ontwikkeling naar organische zonnecellen?"
4. "Zijn er volgens U factoren die een oorzaak kunnen zijn dat organische zonnecellen in de toekomst niet competitief zullen blijken met andere (kristallijne/dunne film) zonnecellen?"
5. "Ziet U opportuniteiten in de markt die maken dat organische zonnecellen een competitieve en aantrekkelijk technologie is voor de toekomst?"
6. "Als U naar de toekomst van organische zonnecellen kijkt, welke gevaren schuilen volgens U om de hoek?"
7. "De zonnecelindustrie is gedurende het laatste decennium sterk gegroeid, vooral met betrekking tot Silicium zonnecellen. Volgens de literatuur was er sprake van significante leereffecten en schaalvoordelen. Denkt U dat dit in de toekomst ook mogelijk zal zijn voor organische zonnecellen of ziet U enkele belemmeringen?"
8. "Wat is er buiten verder onderzoek volgens U verder nodig opdat organische zonnecellen in de toekomst volwaardig de concurrentie kunnen aangaan met andere soorten zonnecellen?"
9. "Welke maatregelen zou de overheid volgens U dienen te nemen in de toekomst om organische zonnecellen enerzijds attractiever te maken voor investeerders en anderzijds de reeds gevestigde bedrijven/onderzoekscentra beter van dienst te kunnen zijn?"

Vragenlijst 3: Onderneming

1. "Welk is de missie van U als onderneming met betrekking tot de promotie van zonnecelinstallaties?"
2. "Is er volgens U een evolutie in de tijd wat betreft de interesse voor zonne-energie, zo ja, wat zou dan volgens U de belangrijkste reden zijn?"
3. "Het belang van zonnecellen zal in de toekomst alleen maar toenemen. Welke factoren maken volgens U dat zonnecellen een van de belangrijkste hernieuwbare energiebronnen is/zal worden en denkt U dat er in de toekomst hierin een rol is weggelegd voor organische zonnecellen?"
4. "Ziet u opportuniteiten in de markt die maken dat organische zonnecellen een competitieve en aantrekkelijk technologie is voor de toekomst?"
5. "Welke factoren zijn volgens U belangrijk opdat U als onderneming in de toekomst zou investeren in organische zonnecellen?"
6. "Welke factoren maken dat U als onderneming organische zonnecellen een minder aantrekkelijke technologie zou vinden om in te investeren?"
7. "Welke maatregelen zou de overheid volgens U dienen te nemen in de toekomst om organische zonnecellen enerzijds attractiever te maken voor investeerders en anderzijds de reeds gevestigde bedrijven/onderzoekscentra beter van dienst te kunnen zijn?"

Aanvraagbrief Interview

Geachte,

In mijn masteropleiding Toegepaste Economische Wetenschappen / Beleidsmanagement aan de U Hasselt te Diepenbeek maak ik in het kader van mijn masterproef een thesis over zonnecellen en meer bepaald organische zonnecellen.

In mijn thesis wordt er vooral aandacht besteed aan de meer economische aspecten van zonnecellen en meer specifiek organische zonnecellen. Via literatuur heb ik reeds een beperkt inzicht gekregen in deze materie. Als deskundigen op het gebied van XXXXXXXXX zou u mij ongetwijfeld verder kunnen helpen. Ik zou graag, mocht dit mogelijk zijn voor u, binnen dit en een paar weken, een interview van u afnemen.

Ik dank u bij voorbaat voor uw ongetwijfeld interessante bijdrage aan mijn thesis en kijk er naar uit van u te zullen horen in de loop van de week.

Hoogachtend,

Christophe Verachten

Master TEW

Beleidsmanagement

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

Universiteit Hasselt – campus Diepenbeek

Christophe.verachten@student.uhasselt.be

Overzicht van de bevoorrechte getuigen, interviews afgenomen in de periode maart-april 2010

Nummer geïnterviewde	Organisatie + locatie	Naam bevoorrechte getuige	Functie	Duurtijd interview
1.	Imec <i>Leuven</i>	Dhr. Robert Mertens	Buitengewoon hoogleraar en CEO Imec	25 min
2.	Imec <i>Leuven</i>	Dhr. Tom Aernouts	/	35 min
3.	Khlim <i>Hasselt</i>	Dhr. Jan Genoe	Hoogleraar elektronica	40 min
4.	Uhasselt <i>Diepenbeek</i>	Dhr. Jean Manca	Hoogleraar materiaalfysica	30 min
5.	Uhasselt <i>Diepenbeek</i>	Dhr. Dirk Vanderzande	Hoogleraar chemie	35 min
6.	Gemeente Mol <i>Mol</i>	Dhr. Hans Schoofs	1 ^{ste} schepen Mol	25 min
7.	V & R the Solar Company <i>Heusden-Zolder</i>	Mevr. Ine Schils	/	30 min

Auteursrechtelijke overeenkomst

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

Organische zonnecellen: een SWOT-analyse

Richting: **master in de toegepaste economische wetenschappen-beleidsmanagement**

Jaar: **2010**

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.

Voor akkoord,

Verachten, Christophe

Datum: **25/05/2010**