

UNIVERSITEIT GENT

FACULTEIT ECONOMIE EN BEDRIJFSKUNDE

ACADEMIEJAAR 2008 – 2009

Hernieuwbare energie als alternatieve energiebron: een realistische opportuniteit of “wishful thinking”

Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van
Master in de Toegepaste Economische Wetenschappen: Handelsingenieur

Linde Dewit

onder leiding van

Prof. Dr. Nikolay Dentchev

UNIVERSITEIT GENT

FACULTEIT ECONOMIE EN BEDRIJFSKUNDE

ACADEMIEJAAR 2008 – 2009

Hernieuwbare energie als alternatieve energiebron: een realistische opportuniteit of “wishful thinking”

Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van
Master in de Toegepaste Economische Wetenschappen: Handelsingenieur

Linde Dewit

onder leiding van

Prof. Dr. Nikolay Dentchev

PERMISSION

Ondergetekende student verklaart dat de inhoud van deze masterproef mag geraadpleegd worden en/of gereproduceerd worden, mits bronvermelding.

Linde Dewit

Dankwoord

Deze thesis vormt het sluitstuk van mijn studies Handelsingenieur. Vreemd te beseffen dat de afgelopen vijf jaar zo snel zijn gegaan. Zonder de hulp van een aantal mensen had ik het niet gered. Graag wil ik dan ook een woord van dank tot hen richten.

Vooreerst wil ik mijn promotor Prof. Dentchev danken. Hij gaf me de kans me in dit boeiende thema te verdiepen en moedigde me met zijn doortastende vragen steeds weer aan om verder op zoek te gaan.

Mijn oprechte dank gaat ook uit naar de experts die bereid waren even wat kostbare tijd vrij te maken voor een interview. In het bijzonder Chris Derde, Philippe Van den Bosch, Luc Henderieckx, Johan Malcorps, Eric Van Assche, Bert Gysen, Ils Moorkens, Ruben Guisson, Jo Neyens, Francies Van Gijzeghem, Greet Ghekiere, Marleen Vanhecke en professoren Jo Dewulf, Greet Van Eetvelde en Lieven Vandevelde.

Vervolgens wil ik graag mijn ouders bedanken. Dankzij hen kon ik deze studies waarmaken. Ze steunden me niet alleen op materieel en culinair vlak, maar ook met hun vertrouwen en advies stonden zij me bij.

Tot slot wil ik mijn zus, vriend, vrienden en studiegenoten bedanken. Zij waren er de afgelopen jaren voor ontspanningsmomenten, maar ook als luisterend oor of als inspiratiebron. Speciale dank gaat ook uit naar mijn ouders en zus Els voor het nalezen van de tekst.

Linde Dewit, mei 2009

1. Inleiding	1
1.1. Situatieschets, probleemstelling en onderzoeksvragen	1
1.2. Structuur van de thesis	3
2. Literatuuronderzoek	4
2.1. De term hernieuwbare energie opgehelderd	4
2.2. De hernieuwbare energievormen onderzocht in deze thesis	6
2.3. De evolutie en huidige groene stroomproductie onder de loep	6
2.4. De determinanten van de toekomst van hernieuwbare energie gegroepeerd	9
2.5. Even inzoomen op de beleidsmatige determinant	11
2.5.1. Verantwoordelijkheid en doelstellingen voor hernieuwbare energie in Vlaanderen	11
2.5.2. Mogelijke steunmaatregelen van de overheid	11
2.6. Een belangrijke bijdrage aan de economische determinant in een notendop	13
3. Onderzoeksmethodologie	16
4. Resultaten van het onderzoek	19
4.1. Inleiding	19
4.2. Windenergie	19
4.2.1. Definitie en werking	19
4.2.2. Evolutie tot nu toe	20
4.2.3. De determinanten van windenergie	22
4.2.4. De toekomst van windenergie	36
4.3. Zonne-energie	39
4.3.1. Definitie en werking van zonne-energie	39
4.3.2. Evolutie tot nu toe	40
4.3.3. De determinanten van zonne-energie	42
4.3.4. De toekomst van zonne-energie	54
4.4. Energie uit biomassa en afval (bio-energie)	56
4.4.1. Definitie en werking	56
4.4.2. Evolutie tot nu toe	59
4.4.3. De determinanten van biomassa	61
4.4.4. De toekomst van biomassa	68
4.5. Waterkracht	71
4.5.1. Definitie en werking	71
4.5.2. Evolutie tot nu toe	72
4.5.3. Groeideterminanten	72
4.5.4. De toekomst van waterkracht	76

5. Conclusie	78
5.1. Onderzoek en beperkingen.....	78
5.2. Toekomstpotentieel en voorwaarden	78
5.3. Aanbevelingen voor verder onderzoek.....	81

Lijst van de geraadpleegde bronnen

Bijlagen

Gebruikte afkortingen

AMPERE-commissie	Commissie voor de Analyse van de Middelen voor de Productie van Elektriciteit en de Reëvaluatie van de Energievectoren
B	België
EPIA	European Photovoltaic Industry Association
EU	Europese Unie
EWEA	Europees windenergie Agentschap
GWh	Gigawattuur
IEA	International Energy Agency
KMO	Kleine of middelgrote onderneming
MW	Megawatt
NIMBY	Not in my backyard
NPV	Net Present Value
ODE-Vlaanderen	Organisatie voor Duurzame energie Vlaanderen
OT	Onrendabele top
POVLT	Provinciaal Voorlichtingscentrum voor land- en tuinbouw
PV	Fotovoltaïsch
R&D	Research and Development
Si	Silicium
VEA	Vlaams Energieagentschap
VITO	Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek
VL	Vlaanderen
VMM	Vlaamse Milieumaatschappij
VREG	Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en de Gasmarkt
VS	Verenigde Staten
VWEA	Vlaamse WindEnergie Associatie
WKK	Warmtekrachtkoppeling
Wp	Wattpiek

Lijst van de opgenomen figuren

Figuur 1: De trias energetica.....	2
Figuur 2: Aandeel van de groene stroomproductie in het totaal bruto elektriciteitsverbruik (%).....	7
Figuur 3: Evolutie van de hoeveelheid groene stroom in het Vlaams Gewest (in GWh/jaar).....	7
Figuur 4: Aandeel van de diverse bronnen van alternatieve energie in de totale groene stroomproductie ..	8
Figuur 5: De geproduceerde groene stroom per jaar uit windenergie voor het Vlaams Gewest.....	20
Figuur 6: Windsnelheden in Europa: a onshore, b offshore	23
Figuur 7: Elektriciteitsproductie van een jaar verdeeld over de maanden	24
Figuur 8: De investeringskosten van onshore en offshore wind in €/kW.....	32
Figuur 9: Begrippen zonne-energie	40
Figuur 10: Hoeveelheid geproduceerde groene stroom uit zonne-energie (GWh)	41
Figuur 11: Maandgemiddelde zonne-instraling op een horizontaal vlak in Ukkel.....	43
Figuur 12: Mogelijkheden voor de omzetting van biomassa tot elektriciteit en/of warmte	58
Figuur 13: Evolutie van de groene stroomproductie uit biomassa (in GWh)	59
Figuur 14: Verdeling van het aantal toegekende groenestroomcertificaten over de types biomassa	60
Figuur 15: De productie van groene stroom uit waterkracht in Vlaanderen (GWh/jaar)	72

Lijst van de opgenomen tabellen

Tabel 1: Definities hernieuwbare energie	4
Tabel 2: Indeling energiebronnen.....	4
Tabel 3: Groei van de hoeveelheid groene stroom	8
Tabel 4: Resultaten van de onrendabele top berekening voor Vlaanderen	14
Tabel 5: Respondenten onderzoek.....	17
Tabel 6: Geïnstalleerd vermogen per miljoen inwoners vergeleken met een aantal buurlanden en de EU	21
Tabel 7: Samenvattende tabel windenergie.....	22
Tabel 8: De productiefactoren en equivalente gebruiksduur van windenergie	24
Tabel 9: Kostenstructuur investering in typische 2 MW turbine in Europa	31
Tabel 10: Vereenvoudigde berekening kost per MWh geproduceerde stroom onshore.....	33
Tabel 11: Vereenvoudigde berekening kost per MWh geproduceerde stroom offshore	33
Tabel 12: Overzicht potentieelstudies windenergie in België of Vlaanderen (in GWh/jaar).....	36
Tabel 13: Indeling van de toepasbare celtechnologieën.....	40
Tabel 14: Samenvattende tabel zonne-energie.....	42
Tabel 15: Vermogen en opbrengst per m ² voor verschillende types zonnecellen	45
Tabel 16: Vereenvoudigde berekening kost per MWh geproduceerde stroom uit zonne-energie.....	50
Tabel 17: Vereenvoudigde berekening kost per MWh geproduceerde stroom uit zonne-energie.....	51
Tabel 18: Overzicht potentieelstudies zonne-energie in België of Vlaanderen (in GWh/jaar)	54
Tabel 19: Samenvattende tabel biomassa	61
Tabel 20: Energetische inhoud van gewassen.....	62
Tabel 21: Elektrisch rendement van diverse toepassingen voor de verwerking van biomassa	64
Tabel 22: Overzicht potentieelstudies bio-energie (in GWh/jaar).....	68
Tabel 23: Samenvattende tabel waterkracht	73
Tabel 24: Aantal molensites en stuwen, met hun potentieel vermogen	73
Tabel 25: Vereenvoudigde berekening kost per MWh geproduceerde groene stroom uit kleinschalige waterkracht.....	76
Tabel 26: Overzicht potentieelstudies waterkracht (in GWh/jaar).....	76

1. Inleiding

1.1. Situatieschets, probleemstelling en onderzoeksvragen

“Alles draait om energie, het is de bron van leven en van succes.”

(Noels, 2008, p163)

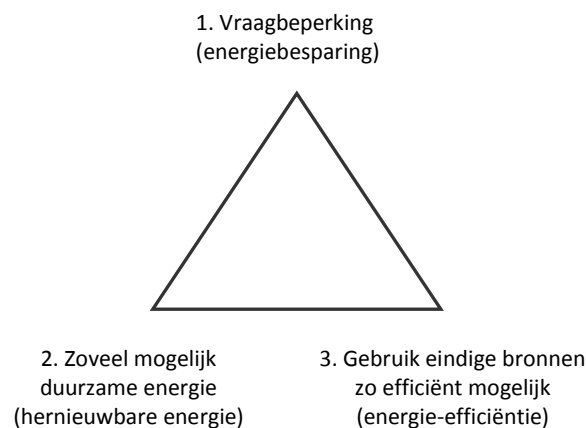
Tijdens de industriële revolutie schakelde de mens geleidelijk over van vervangbare energiebronnen, vooral hout, naar opgeslagen energiebronnen (fossiele brandstoffen). Vóór die tijd moest de mens voldoende sparen door onder andere bossen aan te planten, wilde hij zijn levensstijl kunnen aanhouden. Dat was niet langer nodig wanneer men overschakelde op energiebronnen die lang geleden waren opgeslagen en gecondenseerd, een cadeautje uit het verleden als het ware. Het bleek inderdaad een geschenk uit de hemel: fossiele brandstoffen hebben een hoge energie-inhoud, zijn makkelijk transporteerbaar, hebben goede bewaarmogelijkheden en zijn afbreekbaar in verschillende producten die allen waardevolle eigenschappen hebben. Bovendien hoefde de mens zich in het begin weinig zorgen te maken over de toekomst ervan: de fossiele energiedragers waren overvloedig aanwezig en te koop aan lage prijzen. In de jaren '70 bracht de eerste olieschok tekenen van verandering (Noels, 2008). Vandaag dringt meer dan ooit tot ons door dat het cadeautje bijna op is. De energiebronnen waarvan we zo afhankelijk zijn, zijn immers eindig (D'haeseleer, 2005). Het is niet langer een ver-van-ons-bed-show: de generatie waarin ik ben opgegroeid, zal aan de huidige productiehoeveelheden het einde van de meeste fossiele brandstoffen nog meemaken¹. Ook bevinden de voorraden van deze fossiele brandstoffen zich in gebieden waar vaak politieke instabiliteit of conflicten zijn (Neuhoff, 2007). Daar komt nog eens bij dat we ons bewust zijn geworden van diverse milieuproblemen zoals de gevreesde klimaatverandering. Hier vormden de conferenties van Rio (1992) en Kyoto (1997), respectievelijk inzake duurzame ontwikkeling en klimaatverandering, een belangrijke mijlpaal (Federale Overheidsdienst Economie, KMO, Middenstand en Energie). De verbranding van fossiele brandstoffen zou verantwoordelijk zijn voor ruim de helft van de CO₂ uitstoot op aarde (Noels, 2008). We staan dus voor een grote uitdaging. D'haeseleer (2005, p13) vat deze treffend samen: “Een betrouwbare, propere en betaalbare energievoorziening zal één van de grootste uitdagingen van de éenentwintigste eeuw vormen.”

Om die uitdaging aan te pakken, ontwikkelde de technische universiteit Delft (Nederland) in de jaren '90 een visuele voorstelling van de mogelijke *oplossingen*. Deze voorstelling staat bekend onder de naam 'trias energetica' (zie Figuur 1) en bestaat uit drie stappen:

1. Beperk het energieverbruik door beperking van de vraag (energiebesparing)
2. Gebruik duurzame energiebronnen (zon, wind, biomassa, ...)
3. Gebruik eindige energiebronnen efficiënt (hoog rendement)

¹ Zo hebben we aan de huidige productiehoeveelheden nog voor slechts 41 jaar reserves aan olie, waarbij reserve staat voor de hoeveelheden van de bron die op dit ogenblik technologisch en economisch winbaar zijn (Vlaamse Milieumaatschappij, 2007). Dit getal geldt aan de huidige productiehoeveelheden, dus wanneer de wereldwijde elektriciteitsproductie de verwachte meer dan 50% groei tegen 2060 bereikt (Abulfotuh, 2007), dan kunnen deze jaren van reserve wel eens drastisch gaan dalen.

Men moet hierbij de volgorde respecteren en starten met de eerste stap, die relatief de meest duurzame is. Voor de energie die nog nodig is, wordt stap 2 gebruikt, en voor het resterend energieverbruik kan stap 3, relatief de minst duurzame, aangewend worden (Vlaamse Milieumaatschappij, 2007). Doorheen de jaren is deze trias een algemeen aanvaard gegeven geworden² en wordt hij door verschillende organisaties, al dan niet letterlijk, gebruikt.



Figuur 1: De trias energetica
(op basis van Vlaamse Milieumaatschappij, 2007, p52 en Groen, 2009)

Duurzame of hernieuwbare energie wordt dus als één van de oplossingen³ voor het energieprobleem naar voor geschoven. Wereldwijd werden de afgelopen jaren dan ook diverse toepassingen van deze hernieuwbare energieën bestudeerd en gecommercialiseerd. In zekere zin gaan we met veel van deze technologieën terug naar het tijdperk van vóór de industriële revolutie, met wind, water en biomassa als belangrijkste energiebronnen. Er zijn echter twee belangrijke verschillen: de technologieën van vandaag zijn moderner en we zijn in staat om nog een andere onuitputtelijke energiebron te ontginnen: de zon (Noels, 2008). Anno 2007 zien we dat slechts 2,7% van het totaal elektriciteitsverbruik in Vlaanderen afkomstig is van hernieuwbare energiebronnen (Studiedienst van de Vlaamse Regering, 2008). De vraag is dan ook of deze energiebronnen ooit een oplossing zullen bieden voor het energieprobleem in Vlaanderen. Een intrigerende en cruciale vraag, leek me. Vandaar dat ik besloot mijn thesis eraan te wijden. Ik kan en zal alleen het energieprobleem niet oplossen, maar maak met u graag de denkoefening.

Het *probleem* dat we onderzoeken is of deze hernieuwbare bronnen *reële* alternatieven vormen voor de 'klassieke' energiebronnen⁴ in Vlaanderen. Om dit probleem te bestuderen zullen we ons toespitsen op twee onderzoeksvragen. Een eerste vraag die we ons stellen, is: wat zijn de determinanten die het potentieel van hernieuwbare energiebronnen in Vlaanderen bepalen? Op basis van deze determinanten kunnen we dan een tweede onderzoeksvraag beantwoorden: welke energiebronnen hebben toekomst in Vlaanderen?

² Soms wordt ook het begrip "de 3 E's" gebruikt die staan voor energiebesparing, hernieuwbare energie en energie-efficiëntie (Groen, 2009 en 3E, 2009), maar dit doelt in wezen op hetzelfde.

³ Hoewel de twee andere elementen zeker niet onbelangrijk zijn, worden ze verder in deze thesis niet besproken.

⁴ In deze thesis worden met klassieke energiebronnen olie, steenkool, gas en nucleaire energie bedoeld. De eerste drie vormen de zogenaamde fossiele brandstoffen (Vlaamse Milieumaatschappij, 2007).

Deze thesis vertrekt vanuit een basiskennis van de Vlaamse energiemarkt en haar spelers. Moeilijke begrippen en eenheden worden zoveel mogelijk in de tekst of in voetnoten uitgelegd, zodat ze ook voor de lezer die minder vertrouwd is met het thema begrijpbaar zijn.

1.2. Structuur van de thesis

Alvorens een antwoord te zoeken op beide onderzoeksvragen, starten we met een aantal eerder inleidende elementen in *hoofdstuk 2*. We stellen eerst duidelijk wat verstaan wordt onder de term 'hernieuwbare energie'. Vervolgens bekijken we de huidige groene stroomproductie en haar evolutie. Nadien stellen we een model op om het onderzoek naar de determinanten van hernieuwbare energie gestructureerd weer te geven. Tot slot zoomen we in op twee determinanten die een woordje uitleg vereisen, namelijk de beleidsmatige en economische.

In *hoofdstuk 3* gaan we in op de onderzoeksmethodologie. Er zal gewerkt worden met een combinatie van literatuuronderzoek (zoals reeds gedane potentieelstudies) en interviews met experts. In dit hoofdstuk is onder meer een lijst van de respondenten opgenomen.

Hoofdstuk 4 geeft de resultaten weer van het uitgevoerde onderzoek. We bespreken hier achtereenvolgens windenergie, zonne-energie, energie uit biomassa/afval en waterkracht. Per type wordt eerst de eerste onderzoeksvraag beantwoord waarbij we op zoek gaan naar de determinanten van die bepaalde energiebron. Vervolgens kijken we welke hiervan cruciaal zijn voor de doorbraak van een hernieuwbare energiebron, specifiek toegepast op Vlaanderen, wat ons in staat stelt de tweede onderzoeksvraag op te lossen.

In *hoofdstuk 5* tenslotte, bespreken we de conclusies die uit dit onderzoek kunnen getrokken worden.

2. Literatuuronderzoek

2.1. De term hernieuwbare energie opgehelderd

Vooraleer we met het onderzoek naar de determinanten en de toekomst van hernieuwbare energie starten, moeten we duidelijk stellen wat hernieuwbare energie precies is. In de literatuur worden verschillende definities gehanteerd. In onderstaande tabel (Tabel 1) worden er enkele weergegeven. Recent duikt er echter een nieuwe indeling voor energiebronnen op. Hierbij wordt het onderscheid gemaakt tussen stromingsbronnen, vernieuwbare voorraden en niet-vernieuwbare voorraden (Vlaamse Milieumaatschappij, 2007, zie Tabel 2). We kunnen deze definities hanteren ter verduidelijking van het begrip hernieuwbare energie.

Hernieuwbare energieën zijn *“hernieuwbare niet-fossiele energiebronnen (wind, zonne-energie, aardwarmte, golfenergie, getijdenenergie, waterkracht, biomassa, stortgas, rioolwaterzuiveringsgas en biogas)”* (Europees parlement, 2001, artikel 2).

Hernieuwbare energieën zijn *“de technologieën die toelaten om elektriciteit of warmte te produceren uit hernieuwbare bronnen”*. Een energiebron is hernieuwbaar als *“het verbruik van deze bron, het toekomstig verbruik ervan niet beperkt, bijvoorbeeld door uitputting van deze energiebron of door de schade die ze veroorzaakt aan het milieu en de maatschappij”* (Federale overheidsdienst Economie, K.M.O, Middenstand en Energie, 2008).

Hernieuwbare energieën zijn *“alle andere energiebronnen dan fossiele brandstoffen of kernsplijting die op een duurzame wijze ingezet kunnen worden”* (Vlaamse overheid, 2000, hoofdstuk 1, richtlijn 1).

Tabel 1: Definities hernieuwbare energie

Stromingsbronnen (bijvoorbeeld zonne-energie, wind, waterkracht en getijden) zijn *“energiebronnen waarvan het gebruik niet leidt tot een vermindering van de omvang van deze stromen.”*

Vernieuwbare voorraden (bijvoorbeeld biomassa) zijn *“energiebronnen waarvan het gebruik leidt tot een vermindering van de omvang van de voorraad, maar waarvan de voorraad in principe zo snel kan worden aangevuld –dankzij snelle biologische processen- dat het lijkt alsof ze onuitputtelijk zijn.”*

Niet-vernieuwbare voorraden (bijvoorbeeld fossiele brandstoffen en uraniumertsen) zijn *“energiebronnen waarvan het gebruik leidt tot een vermindering van de omvang van de voorraad op aarde en waarvan de voorraad in principe niet snel genoeg kan worden aangevuld –omwille van zeer trage geologische processen of van astrofysische processen- zodat ze uitputbaar zijn.”*

Tabel 2: Indeling energiebronnen
(Vlaamse Milieumaatschappij, 2007, p23)

Uit deze definities kunnen we een aantal zaken afleiden:

1. Hernieuwbare energie is *onuitputtelijk*. In de bovenstaande definities wordt hiernaar verwezen door bijvoorbeeld te stellen dat hun toekomstig verbruik niet beperkt wordt (Federale Overheidsdienst). We kunnen ons de vraag stellen op welke tijdschaal deze onuitputtelijkheid wordt bekeken. Is biomassa die speciaal voor energietoepassingen wordt geteeld bijvoorbeeld onuitputtelijk? Dat is op basis van de definities voor hernieuwbare energie alleen niet duidelijk. De recente nieuwe indeling uit Tabel 2 is wel duidelijker. We besluiten dat in deze thesis hernieuwbare energie zowel slaat op de zogenaamde stromingsbronnen als de vernieuwbare voorraden. Het gaat dus om energiebronnen die onuitputtelijk zijn en deze waarvan de voorraad zo snel kan worden aangevuld, dat het lijkt alsof ze onuitputtelijk zijn. Op die manier hoort biomassa bij de hernieuwbare energiebronnen.
2. Hernieuwbare energie is *niet fossiel* (Europese Unie en Vlaamse overheid).
3. Hernieuwbare energie is *niet nucleair* (Vlaamse overheid).
4. Hernieuwbare energie mag *geen schade veroorzaken aan het milieu en de maatschappij* (Federale overheidsdienst KMO, Middenstand en Energie). Hier moeten we evenwel een kanttekening bij maken. Zijn alle hernieuwbare energiebronnen zo milieuvriendelijk en volledig onschadelijk voor onze maatschappij? Windturbines, fotovoltäische zonnecellen en andere technologische oplossingen voor het omzetten van een hernieuwbare energiebron naar een bruikbare energievorm moeten immers geproduceerd worden. Ook tijdens het gebruik zijn hernieuwbare energiebronnen niet per definitie onschadelijk voor het milieu. Zo kunnen er voor windenergie nefaste gevolgen zijn voor vogels. Bij het gebruik van biomassa met behulp van verbranding komt er CO₂ uitstoot vrij. Het gehele proces wordt als CO₂ neutraal beschouwd, maar dat wil niet zeggen dat er op geen enkel moment CO₂ wordt uitgestoten. Wanneer biomassa moet getransporteerd worden, wordt vaak meer CO₂ uitgestoten dan er tijdens het ontstaan is opgenomen. Ook de impact van het gebruik van een energiebron op de maatschappij mag niet worden verwaarloosd. Denken we maar aan de zogenaamde NIMBY-reacties⁵.
5. De hernieuwbare energiebronnen zijn *wind, zonne-energie, aardwarmte, golfenergie, getijdenenergie, waterkracht, biomassa, stortgas, rioolwaterzuiveringsgas en biogas* (EU).
6. Hernieuwbare energiebronnen laten toe *elektriciteit of warmte* te produceren (Federale overheidsdienst KMO, Middenstand en Energie). Om de scope van deze thesis werkbaar te houden, focust deze thesis echter enkel op elektriciteitsproductie⁶ die op het net kan worden geïnjecteerd.

⁵ 'Not in my backyard' (Willems, 2005).

⁶ In deze thesis zullen we vaak spreken over energieproductie en energieverbruik. Dit zijn woorden die in het dagelijks taalgebruik worden aangewend. De wet van behoud van energie stelt echter dat er nooit energie kan ontstaan noch verloren gaan. Volgens Willems (2005, p215) is het dan ook correcter te spreken over 'energiegebruik en energietransformatie'. Het gaat namelijk over het omvormen van energie van de ene energievorm naar de andere.

2.2. De hernieuwbare energievormen onderzocht in deze thesis

Uit bovenstaande analyse weten we wat hernieuwbare energie is. Concreet gaat het om windenergie, zonne-energie, getijdenenergie, waterkracht, biomassa, stortgas, rioolwaterzuiveringgas en biogas. De laatste vier vormen zullen we samen bespreken onder de term biomassa en afval. Getijdenenergie blijkt een energievorm te zijn die momenteel nog in onderzoeksfase zit (IEA, 2007). Bijgevolg is het nu nog onmogelijk te voorspellen of de toepassingen ervan ooit levensvatbaar zullen zijn op de markt en wat hun potentieel zal zijn. Deze energievorm werd hier dan ook niet onderzocht. We besloten ook geothermische energie of aardwarmte niet op te nemen. De toepassing ervan is momenteel beperkt tot enkele gebieden. De grootste mogelijkheden bevinden zich in de VS, Centraal-Amerika, Indonesië, Oost-Afrika en de Filippijnen (IEA, 2007, Demirbas, 2008 en Bertani, 2005). Aardwarmte is in Vlaanderen enkel op grote dieptes aanwezig en voorlopig wordt hier nauwelijks onderzoek naar gedaan (ODE Vlaanderen, 1997 en Messens, 2008). We kunnen ons dus concentreren op windenergie, zonne-energie, biomassa/afval en waterkracht.

Nu we weten wat hernieuwbare energie precies is en welke energievormen we zullen onderzoeken, is het aangewezen een startpunt voor onze analyse te bepalen. Daarvoor moeten we even graven in het verleden. We bekijken de evolutie van de groene stroomproductie⁷ en hoeveel groene stroom vandaag geproduceerd wordt. Bovendien onderzoeken we welke energiebronnen hiervoor verantwoordelijk zijn.

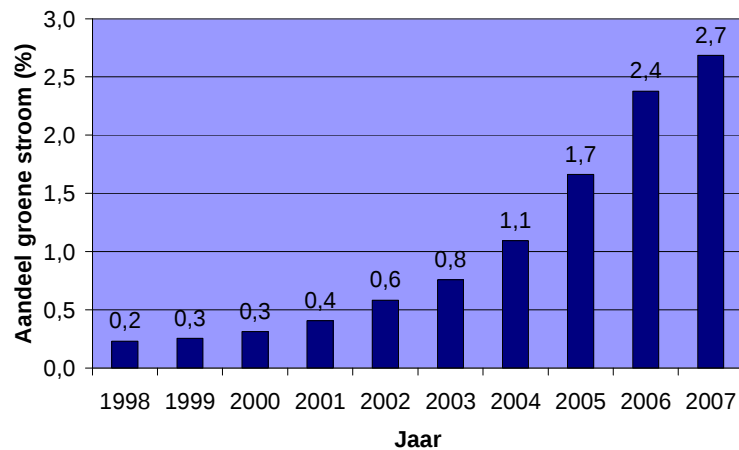
2.3. De evolutie en huidige groene stroomproductie onder de loep

De studiedienst van de Vlaamse regering (2008) verstrekt gegevens over de productie van groene stroom in het Vlaams gewest. Deze zijn in bijlage 3 opgenomen. Door analyse van deze gegevens kunnen een aantal evoluties en bijdragen worden waargenomen.

Ten eerste kunnen we het aandeel van de groene stroomproductie in het totaal bruto elektriciteitsverbruik⁸ over de afgelopen tien jaar bepalen. Dit gebeurt in Figuur 2. We zien een duidelijke stijgende trend in het percentage groene stroom (van 0,2% in 1998 naar 2,7% in 2007). Desalniettemin maakt hernieuwbare energie, anno 2007, slechts 2,7% uit van het totaal bruto elektriciteitsverbruik. Klassieke bronnen zoals fossiele brandstoffen (aardolie, aardgas en steenkool), evenals kernenergie zijn nog steeds verantwoordelijk voor het overgrote deel van de elektriciteitsproductie (Vlaamse Milieumaatschappij, 2007).

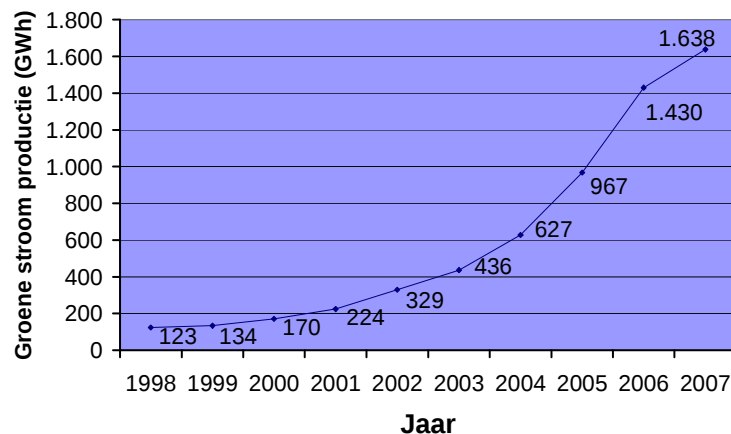
⁷ Overeenkomstig de gehanteerde definitie door de Vlaamse Overheid (2000), wordt met groene stroom “elektriciteit bedoeld, opgewekt door gebruik te maken van hernieuwbare energiebronnen”. Elektriciteit uit hernieuwbare energiebronnen en groene stroomproductie worden dus als synoniemen gebruikt doorheen deze thesis.

⁸ Het bruto binnenlands energiegebruik staat voor het energetisch eindverbruik (van transport, huishoudens, handel en diensten, landbouw en industrie), plus niet energetisch eindgebruik (industrie) en eigen gebruik en verliezen van de energiesector. Samen met de internationale bunkers vormt het bruto binnenlands energiegebruik het primair energiegebruik (Vlaamse Milieumaatschappij, 2007). In bijlage 4 is een overzichtsfiguur opgenomen van de verschillende benamingen voor energiegebruik.



Figuur 2: Aandeel van de groene stroomproductie in het totaal bruto elektriciteitsverbruik (%)

Ten tweede kunnen we de absolute cijfers van deze groene stroomproductie bekijken. Figuur 3 toont de evolutie van de groene stroomproductie in de afgelopen tien jaar. We zien dat de grafiek een quasi exponentieel verloop vertoont. In 1998 werd slechts 123 GWh geproduceerd, in 2007 gaat het al om 1.638 GWh⁹. In bijlage 3 is dezelfde voorstelling per type hernieuwbare energiebron terug te vinden. In hoofdstuk 4 van deze thesis zal deze evolutie in detail worden besproken. We kunnen deze gegevens aanvullen met de meest recente gegevens die de VREG (2009a) verstrekt. Die duiden aan dat in 2008 ongeveer 2.000 GWh aan groene stroom werd geproduceerd.



Figuur 3: Evolutie van de hoeveelheid groene stroom in het Vlaams Gewest (in GWh/jaar)

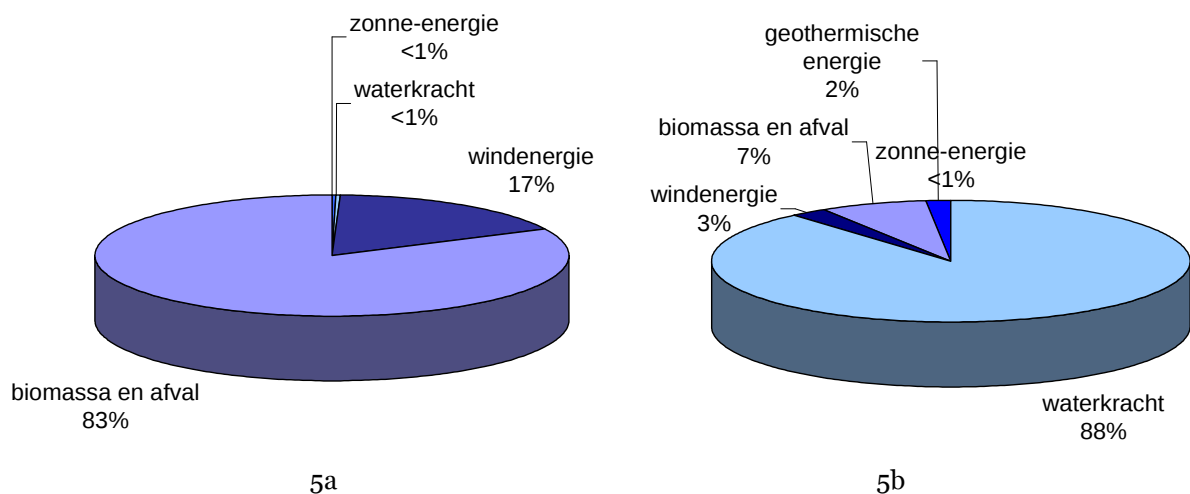
⁹ Algemeen zijn er voor energie verschillende eenheden. Meest gebruikt zijn de Joule, kilowattuur, ton steenkoolequivalent en ton aardolie-equivalent (Vlaamse milieumaatschappij, 2007). De eenheid die in deze thesis het meest wordt gehanteerd voor energieproductie is de GWh of gigawattuur. Dit staat voor “de hoeveelheid stroom die in één uur kan geproduceerd worden door een centrale met een capaciteit van één gigawatt” (Energiewereld, 2009). De diverse andere eenheden en veelvouden, die vaak in de literatuur worden gebruikt, evenals hun omzettingwaarden, staan vermeld in bijlage 1. De Wh mag niet verward worden met de *Wattpiek* of *Wp*, die een maat is voor de hoeveelheid energie die kan worden geproduceerd onder ideale omstandigheden (Vlaamse Milieumaatschappij, 2007). Belangrijk is dat bij het omzetten van het vermogen naar de daadwerkelijke productie, rekening moet worden gehouden met de capaciteitsfactor. Die bepaalt hoeveel elektriciteit kan worden opgewekt met een bepaald geïnstalleerd vermogen over een bepaalde periode in de tijd. Voor hernieuwbare energiebronnen ligt die over het algemeen vrij laag. Daardoor moet er veel meer capaciteit worden opgesteld om dezelfde hoeveelheid stroom op te kunnen wekken (Vlaams Economisch Verbond, 2006).

Tabel 3 geeft de groeipercentages van deze groene stroom weer. We zien toenames tussen 9 en 54% in de afgelopen tien jaar.

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Productie groene stroom (GWh)	123	134	170	224	329	436	627	967	1.430	1.638
Groei (in %)	n.a.	8,72%	27,35%	31,67%	46,56%	32,72%	43,65%	54,22%	47,88%	14,55%

Tabel 3: Groei van de hoeveelheid groene stroom

Tot slot kunnen we het aandeel van de diverse hernieuwbare energiebronnen in de totale groene stroomproductie bepalen. Figuur 4a geeft dit weer voor het Vlaams Gewest in 2007. We zien dat biomassa en afval verantwoordelijk zijn voor het overgrote deel van de hernieuwbare energieproductie (83%). Ook windenergie levert een significante bijdrage (17%). Waterkracht en zonne-energie vertegenwoordigen een quasi verwaarloosbaar deel in de productie. Wanneer we naar de wereldwijde elektriciteitsproductie door hernieuwbare energiebronnen kijken, ziet dit plaatje er significant verschillend uit. Wanneer we ons baseren op cijfermateriaal van het IEA (2007, p12) komen we tot de verdeling van de totale groene stroomproductie over de verschillende bronnen voor 2004, zoals geïllustreerd in Figuur 4b. Waterkracht is hier veruit de grootste bron (88%), biomassa en afval vertegenwoordigen 7%, windenergie slechts 3%.



Figuur 4: Aandeel van de diverse bronnen van alternatieve energie in de totale groene stroomproductie (a voor het Vlaams Gewest, b voor de wereld)

De belangrijkste *conclusies* die we uit deze analyse kunnen trekken, zijn:

- In de periode 1998-2007 zijn we in Vlaanderen geëvolueerd van nagenoeg geen groene stroom naar een bijdrage van bijna 3% in het totaal bruto elektriciteitsverbruik.
- De productie van groene stroom uit hernieuwbare energie is in dezelfde periode jaar na jaar gestegen. We zien groeipercentages van 8 tot 54 %.

- Biomassa en afval zijn anno 2007 in Vlaanderen verantwoordelijk voor het overgrote deel aan hernieuwbare energie (83%). Windenergie levert ook een significante bijdrage (17%). Het aandeel van andere vormen van hernieuwbare energie is marginaal.
- Wereldwijd is waterkracht echter verantwoordelijk voor het overgrote deel aan elektriciteit uit hernieuwbare bronnen (88%).

Nu we weten waar het aandeel groene stroom zich momenteel bevindt en hoe deze evolutie verlopen is, kunnen we onze blik richten op de toekomst, want dat is de focus van de onderzoeksvragen. We kijken hoe we het onderzoek gestructureerd kunnen aanpakken.

2.4. De determinanten van de toekomst van hernieuwbare energie gegroepeerd

Volgens het IEA (2006) is kost een cruciaal obstakel voor een snelle expansie van het gebruik van hernieuwbare energiebronnen voor de elektriciteitsproductie. In het ideale geval is deze kost de weerspiegeling van alle onderliggende determinanten. Wanneer er bijvoorbeeld nauwelijks beschikbare gronden zijn voor energieteelten, moet dit zich vertalen in duurdere grondprijzen die worden doorgerekend in de kostprijs van de teelt. In dit geval zouden we voor ons onderzoek dan ook enkel naar kostenelementen moeten kijken en kunnen we de liberale markt haar gang laten gaan. We leven echter niet in een ideale wereld. Niet alle kosten worden steeds in rekening gebracht. Zo zijn er vaak externe kosten, ook soms 'kosten voor derden' genoemd. Dit zijn kosten die niet door de producent en/of consument worden gedragen en dus doorgeschoven worden naar anderen (D'haeseleer, 2005). Bovendien speelt het beleid door middel van regelgeving en steunmaatregelen een niet te verwaarlozen rol. Om de determinanten van hernieuwbare energie op een meer volledige manier aan te pakken, moeten we dus voor een ruimere benadering kiezen.

ODE Vlaanderen, VITO en 3E (2004) stelden een overzicht op van de randvoorwaarden die het potentieel van hernieuwbare energie bepalen. Deze lijst is terug te vinden in bijlage 5. In dit overzicht is echter geen duidelijke omschrijving van iedere randvoorwaarde opgenomen. In het kader van het onderzoek werd ervoor gekozen om de voorgestelde indeling van ODE Vlaanderen, VITO en 3E grotendeels te bewaren en aan te vullen met een omschrijving en voorbeelden. Dit levert zes groepen determinanten op:

1. Klimatologische determinanten

Hiermee worden deze determinanten bedoeld die geografisch en in de tijd kunnen variëren. We kijken hier in welke mate de energievorm in ons grondgebied aanwezig is en welke variatie er is in de tijd. Voor windenergie zullen we bijvoorbeeld kijken hoeveel wind er in Vlaanderen is aan zee en in het binnenland en welke variatie deze in de tijd vertoont.

2. Ruimtelijke determinanten

Dit zijn determinanten die de ruimte voor een bepaalde hernieuwbare energiebron bepalen. Hierbij wordt onder meer rekening gehouden met de beschikbare ruimte (hier het Vlaams Gewest), de concurrentie met andere toepassingen van deze ruimte (landbouwgronden die gebruikt worden voor energieteelten kunnen bijvoorbeeld niet gebruikt worden voor de productie van voedsel) en de nuttige ruimte (zonnepanelen vereisen bijvoorbeeld een bepaalde helling en oriëntatie).

3. *Technologische determinanten*

Hiermee worden determinanten bedoeld die te maken hebben met de technologie om de energie van een hernieuwbare energiebron om te zetten in nuttig bruikbare energie, hier elektriciteit. Hierbij wordt onder meer gekeken naar omzettingsrendementen, beschikbare vermogens, overeenstemming tussen vraag en aanbod en interactie met het elektriciteitsnet. Bovendien dienen we ons af te vragen of er nog een grote vooruitgang van deze technologie te verwachten is.

4. *Ecologische en maatschappelijke determinanten*

Hiermee worden determinanten bedoeld die de ecologische en maatschappelijke impact weergeven van het gebruik van de energiebron. Op die manier worden milieu en maatschappij mee in de analyse gebracht. Hoewel deze vaak niet echt een economische prijs hebben, zijn ze toch van belang bij het opstellen van onder andere beleidsdoelstellingen. We bekijken hierbij onder meer de milieu-impact (directe en indirecte uitstoot van milieuschadelijke stoffen, impact op vogels van windenergie, ...), de mogelijkheden tot hergebruik en maatschappelijke aanvaarding ('not in my backyard' of NIMBY).

5. *Economische determinanten*

Hiermee worden determinanten bedoeld die resulteren in een kost voor de elektriciteit, geproduceerd op basis van de hernieuwbare energiebron. We denken hierbij aan onder meer de investeringskost voor het aanwenden van een bepaalde bron, kosten tijdens de levensduur (zoals brandstof- en onderhoudskosten), evenals eventuele kosten aan het einde van de levensduur. Om deze kosten te kunnen evalueren dienen we ook de levensduur van de gebruikte toepassing te kennen. Vanzelfsprekend vinden we in de besproken kosten de invloed van technologische, ruimtelijke en klimatologische randvoorwaarden terug. Het resultaat kunnen we vergelijken met de geldende en toekomstige energieprijzen.

6. *Beleidsmatige determinanten*

Hiermee wordt de invloed van de overheid op het potentieel van een hernieuwbare energiebron besproken. We gaan hier dieper in op vergunningsvereisten en steunmaatregelen.

Cruciaal bij het bekijken van de diverse determinanten is de invloed van de ene determinant op de andere, iets wat door de opsplitsing ervan in de voorgestelde zes groepen over het hoofd dreigt gezien te worden. Het zal dus van belang zijn dit in het achterhoofd te houden bij het onderzoek. De voorgestelde structuur is slechts een methode om de determinanten gestructureerd weer te geven en geeft op zich geen informatie over de orde van belangrijkheid ervan. Daarvoor moeten ze nog worden geïnterpreteerd. Op basis daarvan zullen we de tweede onderzoeksvraag (Welke hernieuwbare energiebronnen hebben toekomst in Vlaanderen?) kunnen beantwoorden.

In principe hebben we nu alle elementen in handen om te starten met het onderzoek. Toch lijkt het aangewezen hier al even in te gaan op twee van deze determinanten. We starten met de beleidsmatige determinant. We moeten namelijk duidelijk weten welke overheid verantwoordelijk is voor hernieuwbare energie en welke tools ze ter beschikking heeft om haar beleid in de praktijk om te zetten.

2.5. Even inzoomen op de beleidsmatige determinant

2.5.1. Verantwoordelijkheid en doelstellingen voor hernieuwbare energie in Vlaanderen

Tussen 1970 en 1993 werd ons land omgevormd tot een federale staat door middel van diverse staatshervormingen. Daardoor zijn de bevoegdheden verdeeld over de federale overheid, de gemeenschappen en de gewesten. Alles wat niet nadrukkelijk aan de gemeenschappen en gewesten is toegewezen, valt onder de verantwoordelijkheid van de federale overheid (federale overheid, 2008). Met de staatshervormingen van 1980 en 1988 zijn het rationeel gebruik van energie en hernieuwbare energie een gewestelijke aangelegenheid geworden. We kunnen dus naar het *Vlaams engagement*¹⁰ inzake hernieuwbare energie kijken. De federale overheid blijft echter verantwoordelijk voor de toewijzing van gebieden voor offshore wind (3E, 2004). In de praktijk hebben ook provincies en gemeenten een aantal bevoegdheden. Ze kunnen bijkomende steunmaatregelen toekennen en kennen in veel gevallen bouw- en milieuvergunningen toe (VEA, 2009a).

In navolging van de Europese richtlijn 2001/77/EG stelde het Vlaams gewest een aandeel van 6% hernieuwbare energiebronnen in het elektriciteitsverbruik tegen 2010 voorop. Dit stemt overeen met een totale groene stroomproductie van 3.470 GWh (VEA, 2008 en Vlaamse Milieumaatschappij, 2005). Zoals we in punt 2.3. konden zien, hebben we met een groene stroomproductie van 2.000 GWh in 2008 nog wat werk voor de boeg (VREG, 2009a). Op de lentetop van de Europese Unie in 2007 hebben staatshoofden en regeringsleiders plannen gemaakt voor 2020. Een jaar later werden deze plannen herbevestigd. Men wil in Europa een aandeel voor hernieuwbare energiebronnen van 20% tegen 2020. Voor België zou dit resulteren in een doelstelling van 13% (VEA, 2008). Dit percentage is relatief klein vergeleken met het streefcijfer voor de Europese Unie. Dit zou kunnen duiden op het feit dat het gebruik van hernieuwbare energie in ons land minder evident is dan in andere landen van de EU. Met het in januari 2009 opgestelde pact 2020 bevestigt de Vlaamse regering dat tegen 2020 “het aandeel aan hernieuwbare energiebronnen (...) aanzienlijk stijgt, zoals in Vlaanderen vereist zal zijn in uitvoering van de Europese richtlijn hernieuwbare energie” (Vlaamse Regering, 2009).

2.5.2. Mogelijke steunmaatregelen van de overheid

In het algemeen heeft een overheid drie groepen steunmaatregelen ter beschikking, gebaseerd op het moment waarop ze haar steun verleent aan een technologie.

1. R&D steun

Qua R&D steun voor energie rapporteert het IEA over de budgetten die door nationale en regionale programma's worden gespendeerd. Volgens hen ging in de periode 1974-1999 in België 5,2% van de

¹⁰ De bevoegdheidsverdeling voor energie is volgens minister-president Kris Peeters (2004) zeer complex. Volgens Vlaams minister van Energie Hilde Crevits (2007), maakt deze verdeling “een coherente en consistente energiepolitiek ter zake niet eenvoudig.”

totale R&D investeringen in energie naar hernieuwbare energiebronnen, terwijl 68,7% werd geïnvesteerd in nucleaire fissie/fusie (3E, 2004).

2. *Investeringssteun*

Qua investeringssteun kunnen bedrijven die in Vlaanderen investeren in hernieuwbare energie profiteren van diverse maatregelen. Deze zijn echter permanent aan verandering onderhevig. De laatste jaren konden bedrijven onder meer genieten van de verhoogde investeringsaftrek voor energiebesparende investeringen¹¹ en de ecologiepremie¹². Ook gezinnen kunnen voor hun investeringen in hernieuwbare energiebronnen beroep doen op steunmaatregelen. In de praktijk investeren zij vooral in fotovoltaïsche zonnecellen. Ze kunnen dan beroep doen op een belastingaftrek, investeringssubsidie en een verlaagd BTW-tarief. Deze elementen komen in detail aan bod bij de bespreking van steunmaatregelen voor zonne-energie (VITO, 2006; VEA, 2009a en ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid, 2006).

3. *Operationele steun*

Qua operationele steunmaatregelen werden er de afgelopen decennia in Europa twee verschillende systemen ontwikkeld, namelijk feed-in tariffs en verhandelbare groene stroomcertificaten (Verhaegen, Meeus, Belmans, 2006). Het belangrijkste onderscheid tussen de twee systemen is dat feed-in tariffs prijsgebaseerd zijn, terwijl groene stroomcertificaten eerder hoeveelheidgedreven zijn (Huber, Faber, Haas en Resch, 2003). Voor een meer gedetailleerde analyse van deze systemen verwijzen we naar bijlage 6. Vlaanderen heeft voor het tweede type steunmaatregelen gekozen, net als Zweden, Nederland, Engeland en Italië (European Environment Agency, 2004). Het Vlaams systeem van groenestroomcertificaten¹³ is sinds januari 2002 in werking (Vande Walle, Van Camp, Van de Castele, Verheyen en Lemeur, 2007). De VREG is verantwoordelijk voor het management van het systeem (3E, 2004), dat ervoor zorgde dat er naast de fysieke markt voor elektriciteit, een markt ontstond waarin de 'groenheid' van de energie kan worden verhandeld (Verbruggen, 2003). Concreet houdt deze maatregel in dat per MWh groene stroom die wordt geproduceerd, aan de producent ervan een certificaat wordt toegekend door de VREG. Deze kunnen tegen marktprijs verkocht worden aan de elektriciteitsleveranciers, die verplicht zijn een minimumaandeel van hun verkoop aan eindafnemers te betrekken uit hernieuwbare energiebronnen. De marktprijs varieerde tussen maart 2006 en januari 2009 tussen 104 en 111 euro en het minimumaandeel neemt toe doorheen de jaren (2% in 2004, naar 6% in 2010) (VREG). Wanneer de leverancier niet voldoende certificaten kan voorleggen, wordt een boete aangerekend (3E, 2004). Om een minimumprijs voor hernieuwbare energie te garanderen, is er echter nog een element toegevoegd. De distributienetbeheerder (bijvoorbeeld Eandis) wordt namelijk door de overheid verplicht groenestroomcertificaten te kopen die hem worden aangeboden door de certificaatgerechtigde. De

¹¹ Door de verhoogde investeringsaftrek mogen bedrijven die energiebesparende investeringen doen, hun belastbare winst verminderen met de verhoogde investeringsaftrek (in 2007 bedroeg die 14,5%) (ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid, 2006).

¹² De ecologiepremie is een premie toegekend voor grondstoffenbesparende, energiebesparende of milieuvriendelijke investeringen. De investeringen die hiervoor in aanmerking komen zijn opgenomen in een lijst (ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid, 2006).

¹³ Sinds 2005 werd een systeem van warmtekrachtcertificaten toegevoegd. Deze laatste worden toegekend per relatieve primaire energiebesparing en dus niet voor de elektriciteitsproductie op zich (VITO, 2006). Daarom gaan we enkel dieper in op het systeem van de groenestroomcertificaten.

prijs hiervoor is vast en afhankelijk van de productietechnologie¹⁴. Recent werd echter beslist om de prijzen te wijzigen in 2010¹⁵. In sommige gevallen worden de certificaten aangekocht door de transmissienetbeheerder (Elia). Hiervoor gelden dan andere prijzen¹⁶ (VREG). Door deze aanvulling heeft een producent de keuze tussen het rechtstreeks aanbieden van zijn certificaten aan de markt tegen marktprijs of het verkopen ervan aan de distributie- of transmissienetbeheerder tegen minimumvergoeding (VEA, 2009b). In de praktijk zijn het momenteel enkel certificaten voor zonne-energie die aan de netbeheerders aangeboden worden want de minimumvergoeding die de netbeheerder moet betalen is daar hoger dan de marktprijs (VREG). In de praktijk wordt de kost van dit systeem verhaalt op de elektriciteitsgebruiker. Men zou dit kunnen beschouwen als een soort verborgen belasting, met dien verstande dat de grootste verbruikers het meest zullen betalen. Tussen de landen onderling zijn de certificaten momenteel (nog) niet verhandelbaar, daar ieder land een eigen systeem heeft ingevoerd (Morthorst, 2002). Vanuit neo-liberale hoek zegt men dat een pan-Europese markt te prefereren is omdat dan investeringen zullen gedaan worden waar ze het meest kostenefficiënt kunnen worden aangewend (Toke, 2006). Bovendien zal volgens Verhaegen et al (2006) op die manier de fluctuatie van de prijs voor groenestroomcertificaten, die een negatieve impact heeft op de investeringen, dalen. Bij een internationale markt zijn we evenwel vandaag nog niet. In ons land alleen al bestaan er vier verschillende systemen¹⁷ (Verhaegen et al, 2006).

Een van de redenen voor deze steunmaatregelen is ongetwijfeld het feit dat hernieuwbare energie vandaag nog duurder is dan traditionele energiebronnen. Laten we dit economisch aspect even van naderbij bekijken met een interessante studie van de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO, 2006).

2.6. Een belangrijke bijdrage aan de economische determinant in een notendop

Cruciaal bij de overweging van een investering in het algemeen, is de verhouding van de nodige kosten met de potentiële opbrengsten, vaak berekend door de Net Present Value (NPV) of Netto Contante waarde¹⁸. Op basis van deze NPV ontwikkelde het Energie onderzoekscentrum Nederland (ECN) de

¹⁴ Voor zonne-energie geldt een minimumvergoeding van 450 euro, voor waterkracht, getijden- en golfslagenergie 95 euro, voor onshore windenergie 80 euro en voor bepaalde types biomassa 80 euro. Deze verplichting geldt vanaf de indiensttreding van de installatie tot 10 jaar erna. Voor zonne-energie geldt 20 jaar (VREG).

¹⁵ Voor zonne-energie stelt men voor dat wie in 2010 fotovoltatische cellen in gebruik neemt, daar 350 euro per certificaat voor krijgt gedurende 20 jaar, in 2011 330 euro. Dit daalt elk jaar verder tot 10 euro in 2020. Bovendien geldt vanaf ingebruikname in 2013 deze verplichting maar voor 15 jaar. Waterkracht, getijden- en golfslagenergie, aardwarmte en windenergie op land zouden wijzigen naar 60 euro, biomassa naar 60 of 90 euro naargelang het type (stuk 2163 Vlaams Parlement, 2009).

¹⁶ Dit is onder andere het geval voor PV-installaties in dienst genomen vóór 2006 en voor installaties aangesloten op het transmissienet. Voor zonne-energie wordt 150 euro voorzien, voor waterkracht getijden- en golfslagenergie en geothermische energie 50 euro, onshore windenergie 50 euro, offshore windenergie 107 euro en biomassa 20 euro (VREG).

¹⁷ Hernieuwbare energie is een regionale aangelegenheid in België, daardoor hebben de verschillende regio's (Vlaanderen, Wallonië en Brussel) gekozen voor afzonderlijke systemen. De territoriale wateren zijn echter federale verantwoordelijkheid, daarom wordt een federaal systeem gebruikt voor offshore windenergie (Verhaegen et al, 2006).

¹⁸ Hierbij vergelijkt men de huidige waarde van inkomende kasstromen met de huidige waarde van uitgaande kasstromen. De huidige waarde van een toekomstige kasstromen berekent men door het verdisconteren met een bepaalde rentevoet. Is het verschil van inkomende en uitgaande kasstromen positief (meer inkomsten dan uitgaven) dan is de investering zinvol (Schilling, 2008). Voor de berekening van deze huidige waarde, wordt volgende formule gebruikt: $PV = CF_t / (1+r)^t$, met PV de huidige waarde; CFt de cash flow op tijd t en r de rentevoet gebruikt voor het verdisconteren (Manigart en Meuleman, 2004).

methode van de ‘onrendabele top’ (Neyens, 2006). VITO (2006) paste deze methode aan aan de Vlaamse situatie. De *onrendabele top* wordt daarbij gedefinieerd als “het productieafhankelijk gedeelte van de inkomsten dat nodig is om de netto contante waarde van een investering op nul te doen uitkomen” (VITO, 2006, p3). In feite geeft deze de afstand weer tot het break even punt voor de verschillende technologieën (gesprek Ils Moorkens, 26/03/09, Mol). De berekeningen worden uitgevoerd voor windenergie, fotonvoltaïsche zonnecellen en diverse vormen van biomassa en afval. Per technologie wordt een *referentie-installatie* gedefinieerd. Dit is een “fictieve installatie die het best aansluit bij wat er vandaag en in de nabije toekomst van toepassing zal zijn” (VITO, 2006, p3). Op basis van deze referentie-installatie worden investeringskost, aantal vollasturen¹⁹, onderhoudskosten en bedrijfskosten bepaald. Verder houdt men rekening met diverse elementen als rendement op kapitaal, verhouding equity en debt, afschrijvingstermijn, winstbelasting, verhoogde investeringsaftrek voor energiebesparende investeringen, ecologiepremie, etc. Belangrijk is dat opbrengsten uit warmtekrachtcertificaten, indien van toepassing, wel meegerekend worden en deze uit groenestroomcertificaten niet. Op deze manier kan het model gebruikt worden ter evaluatie van de minimumvergoedingen toegekend aan duurzame elektriciteitsopties. De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in Tabel 4 (VITO, 2006)²⁰, een samenvatting van de berekeningaanname is terug te vinden in bijlage 7.

Technologie	OT (€/MWh)
Energie recuperatie bij waterzuivering	20
Grootschalige inzet van biomassa in centrales	36
Energie recuperatie uit stortgas	42
Afvalverbrandingsinstallaties	70
Co-vergisting mest-organische afvalstoffen	89
Kleinschalige biomassa centrale	91
Onshore windenergie groter dan 1,5 MW	95
Vergisting groenten-, fruit- en tuinafval	99
Electriciteitsproductie uit biofuel	102
Vergisting organisch-biologische nevenstromen	122
Vergisting energiegewassen	159
Co-vergisting mest-energie teelt	161
fotovoltaïsche cellen	450

Tabel 4: Resultaten van de onrendabele top berekening voor Vlaanderen
(VITO, 2006)

Bij de *interpretatie* van deze cijfers moeten we evenwel met een aantal zaken rekening houden. Om tot deze resultaten te komen, werden immers een aantal aannames gebruikt. Deze werden met de belanghebbenden overlegd, maar zijn nog steeds voor discussie vatbaar. Zo variëren de getallen die als

¹⁹ Dit is het aantal uur per jaar waarop een toepassing voor energieproductie vol vermogen aan elektriciteit zou leveren, rekening houdend met de variatie in het aanbod van de energiebron (Vlaamse Milieumaatschappij, 2007, p87).

²⁰ Voor offshore wind werd in een eerdere versie van het document wel berekeningen uitgevoerd, resulterend in een OT van 95 €/MWh (VITO, 2005). Deze werden echter door stakeholders als weinig relevant beschouwd en in het uiteindelijke document uit 2006 werd dit type weggelaten. Het gaat immers om een federale verantwoordelijkheid (VITO, 2006).

investeringskost in een windturbine kunnen worden genomen van 1,1 tot 1,228 miljoen euro per MW geïnstalleerd vermogen naargelang de bron en de berekeningswijze. Over het gemiddeld aantal vollasturen circuleren gegevens van 1.580 tot 1.800 uur. De onderzoekers trachtten telkens een realistische keuze te maken. Ook zijn de resultaten gebaseerd op een referentie-installatie die niet per se op iedere plaats in Vlaanderen dezelfde parameters zal hebben. Voor wind is in Limburg bijvoorbeeld het gemiddeld aantal vollasturen beduidend lager (theoretisch 1.204 in plaats van de gebruikte 1.650 uur), waardoor de resultaten dus moeten aangepast worden voor een windturbine op die plaats. Tot slot moeten we er rekening mee houden dat de studie werd opgesteld in 2006. Onvermijdelijk hebben zich sindsdien reeds wijzigingen voorgedaan, waardoor de gehanteerde cijfers mogelijkerwijs niet langer geldig zijn.

De belangrijkste *conclusies* die uit deze studie kunnen getrokken worden, zijn:

- De bestudeerde technologieën zijn anno 2006 niet rendabel zonder groenestroomcertificaten. Volgens VITO (2006) zal er dan ook, zolang er een positieve onrendabele top is, extra steun vereist zijn, wil hernieuwbare energie interessant zijn voor investeerders.
- De bestudeerde technologieën vertonen enorme verschillen in afstand tot het break-even punt. Zonne-energie is een relatief zeer 'dure' technologie, biomassa varieert van relatief goedkoop tot gemiddeld en windenergie situeert zich in de middenmoot.

Nu we nog even hebben ingezoomd op twee determinanten, kunnen we overgaan naar het onderzoek. We starten met de onderzoeksmethodologie.

3. Onderzoeksmethodologie

Hoewel er in de literatuur al heel wat onderzoek is gedaan naar het potentieel van hernieuwbare energie in Vlaanderen, bleken deze bronnen onvolledig in de determinanten die een invloed hebben op dit potentieel. Ze bekijken allen een aantal facetten, maar geen enkele streeft ernaar alle facetten die een invloed hebben op het potentieel, te bepalen. Een literatuuronderzoek alleen kon dan ook geen eenduidig en volledig antwoord geven op de onderzoeksvragen. Daarom bestaat het gevoerde onderzoek uit een combinatie van literatuuronderzoek van secundaire bronnen en kwalitatief onderzoek via interviews met experts.

Voor het *literatuuronderzoek* werden twee groepen bronnen gebruikt. Een eerste groep bestond uit wetenschappelijke artikels. Deze focussen vaak op een zeer specifiek aspect nuttig voor het onderzoek, maar hadden in veel gevallen als nadeel geen specifieke gegevens voor Vlaanderen te bevatten. Bovendien kwamen niet alle aspecten, nodig voor het onderzoek, aan bod. Daarom werden ze aangevuld met een tweede groep bronnen, namelijk rapporten en documenten van organisaties actief rond hernieuwbare energie. Die bleken een schat aan bijkomende informatie te bevatten, vaak specifiek toegepast op België en/of Vlaanderen. Hun wetenschappelijke waarde is echter niet altijd even duidelijk. Cruciaal bij dit onderzoek is dat het gaat over een sector in volle ontwikkeling. Bijgevolg werden oude bronnen zoveel mogelijk geweerd. Enkel wanneer ze informatie verschaften die niet aan veroudering onderhevig is, zoals de gemiddelde windsnelheden in Europa, werden deze bronnen weerhouden.

Kwalitatief onderzoek via interviews leek hier de meest aangewezen vorm van werken daar het hier om een nog relatief ongestructureerd probleem gaat (De Pelsmacker en Van Kenhove, 2006). Interviews leken de beste manier om het geschetste fenomeen beter te begrijpen, en om een holistisch beeld te krijgen van de praktijktoepassing van hernieuwbare energie in Vlaanderen (Yin, 2003).

Voor deze interviews werd getracht een gebalanceerde groep van 14 *respondenten*²¹ samen te stellen (de doelgroep van het onderzoek). Deze zijn afkomstig van verschillende domeinen zoals wetenschap, politiek, organisaties en bedrijven. Op die manier kon het doel van deze interviews, namelijk het beter begrijpen van de diverse facetten in het toekomstpotentieel van hernieuwbare energie, het beste worden verwezenlijkt. Bovendien kwamen zo verschillende meningen en denkwijzen aan bod en kon een zo volledig mogelijk beeld worden geschept. Het leek ook opportuun dat de groep respondenten zowel uit specialisten van één enkele technologie zou bestaan als uit personen thuis in alle technologieën. De respondenten werden verzameld via een sneeuwbalmethode. Uit de eigen omgeving, alsook op basis van het literatuuronderzoek en op aanwijzen van promotor Prof. Dentchev werden een aantal mensen gecontacteerd. Tijdens deze interviews werd aan de expert gevraagd of hij/zij andere mogelijke respondenten kende, die vervolgens werden opgespoord en aangeschreven. In Tabel 5 zijn de respondenten, alsook hun functie en het bedrijf of de organisatie waarvoor ze actief zijn, weergegeven. In

²¹ Er vond ook een interview plaats met Ils Moorkens van VITO omtrent de studie van onrendabele toppen van VITO (2006). Het interview spitste enkel toe op deze studie. Daarom werd Ils Moorkens niet als respondent voor het onderzoek opgenomen.

de laatste kolom geven we aan of het om een persoon gaat thuis in alle technologieën of een expert in één bepaalde technologie. In bijlage 10 stellen we de personen kort voor.

	Naam	Functie	Bedrijf/ organisatie	Type expert
1.	Luc Henderieckx	Expert slimme meters	Eandis	All round
2.	Phillippe Van den Bosch	Verantwoordelijke Public Affairs	Eandis	All round
3.	Prof. Jo Dewulf	Professor milieutechnologie en schone technologie	Ugent	All round
4.	Johan Malcorps	Hoofd studiedienst milieu, energie en klimaat	Groen	All round
5.	Prof. Greet van Eetvelde	Hoofd onderzoeksgroep milieu en ruimtebeheer, directeur Power- Link en CEO Greenbridge	Ugent, Power- Link en Greenbridge	All round
6.	Prof. Lieven Vandeveld	Vakgroep elektrische energie, systemen en automatisering	Ugent	All round
7.	Eric Van Assche	General manager	Soltech	Zon
8.	Chris Derde	Voorzitter	VWEA	Wind
9.	Bert Gysen	Unitmanager energietechnologie	VITO	All round
10.	Ruben Guisson	Onderzoeker biomassa	VITO	Biomassa
11.	Jo Neyens	Projectleider PV en groene stroom	ODE	All round
12.	Francies Van Gijzeghem	Projectleider bio-energie	ODE	Biomassa
13.	Greet Ghekiere	Verantwoordelijke energieteelten	POVLT	Biomassa
14.	Marleen Vanhecke	Manager PR en externe communicatie	Electrawinds	Wind, zon, biomassa

Tabel 5: Respondenten onderzoek

Tijdens de interviews werd gebruik gemaakt van een semi-gestructureerde *procedure*, waarbij een aantal vragen op voorhand vastlagen, maar er ook ruimte werd gelaten voor het stellen van bijkomende vragen en/of het dieper ingaan op bepaalde aspecten. Via deze vragen werd naar de ontbrekende kenniselementen gepeild en werden de reeds verzamelde determinanten besproken en aangevuld. Tijdens de interviews werd gebruik gemaakt van een PowerPoint presentatie. Op die manier kon worden gewaarborgd dat iedere geïnterviewde nagenoeg dezelfde informatie kreeg en dat dezelfde basisvragen werden gesteld. Vooraleer over te gaan tot de kern van het interview, werd het onderzoek ingeleid en gekaderd door de onderzoeker met een aantal slides. De inleiding en slides gebruikt voor het interview zelf zijn terug te vinden in bijlage 8 en 9. Wanneer het een expert uit één bepaald expertisedomein betrof, werden de vragen toegespitst op één type hernieuwbare energie. Wanneer het een eerder ‘all round’ expert betrof, werden de vragen herhaald voor de diverse types hernieuwbare energie. Een algemene indicatie van de vragen die werden gesteld aan de experts is:

1. Heeft u opmerkingen bij de inleiding?
2. Hoe ziet u het verloop van de elektriciteitsproductie uit de energiebron in uw expertisedomein tot nog toe? Wat is de oorzaak van de evolutie die we zien? (enkel voor experts in één type hernieuwbare energie)

3. Wat zijn de determinanten die volgens u een rol spelen in het toekomstig verloop van de aanwending van de energiebron? Herkent u zich in de opgesomde determinanten of ziet u er andere?
4. Welke determinanten zijn voor u de belangrijkste voor een groei in de aanwending van de bron?

Na het interview werd een letterlijk verslag opgesteld en dit werd ter goedkeuring naar de expert gestuurd. De interesse van dit kwalitatief onderzoek lag bij de gesproken taal tijdens het interview als een vorm van communicatie en dus bij de inhoud. Bijgevolg werden de kwalitatief verzamelde gegevens verwerkt via inhoudsanalyse (Miles en Huberman, 1994).

Cruciale elementen die bij het voeren van het onderzoek in de gaten werden gehouden, zijn *validiteit*²² en *betrouwbaarheid*²³. Volledige externe validiteit of veralgemeenbaarheid vormt echter niet het hoofddoel van het onderzoek. De doelstelling is eerder exploratief. Dat neemt niet weg dat alle inspanningen die de *externe validiteit* konden verhogen, overboord gegooid werden. Zo bespraken we reeds dat een gebalanceerde groep van 14 respondenten werd gehoord, afkomstig uit diverse domeinen. Veertien respondenten kunnen echter onmogelijk een volledig en veralgemeenbaar beeld scheppen. We zijn er ons eveneens van bewust dat het onderzoek in de tijd niet zozeer generaliseerbaar is. Het toekomstbeeld van hernieuwbare energie wordt immers onderzocht. Dit kan zinvol zijn als beleidsinstrument, maar een toekomstbeeld is steeds een product van zijn tijd en heeft weinig kans een perfecte voorspelling te zijn. Bijgevolg zal het waardevol zijn het onderzoek binnen enkele jaren te herhalen, wil men dat de onderzochte determinanten dan nog geldig zijn. De *interne validiteit* werd verhoogd door maken van een geluidsopname van het gesprek zodat vertekening door een selectief geheugen van de onderzoeker, vermeden kon worden. Nadien werden de interviews zo letterlijk mogelijk uitgeschreven en ter goedkeuring voorgelegd aan de geïnterviewde personen. De *interne betrouwbaarheid* kwam in dit onderzoek niet zozeer in gevaar daar het onderzoek werd gevoerd door één enkele persoon. De presentatie die voor het onderzoek werd gemaakt, zorgde er bovendien voor dat de verschillende respondenten met dezelfde aanpak en onderzoeksvragen werden geconfronteerd. Om de *externe betrouwbaarheid* te verhogen werden diverse zaken toegepast die volgens Maso en Smaling (1998) een positief effect hebben op dit aspect. Zo werd hierboven het interviewprotocol opgenomen en werden de gebruikte presentaties in bijlage toegevoegd. Daarnaast gaven we in Tabel 5 een lijst weer van de respondenten en is een bronvermelding van de secundaire bronnen opgenomen.

Laten we nu ingaan op de resultaten van het onderzoek.

²² Validiteit slaat op het feit dat het onderzoeksopzet meet wat men inhoudelijk wenst te meten (De Pelsmacker et al, 2006). Interne validiteit slaat daarbij op de mate waarin de resultaten van het onderzoek adequaat kunnen worden geïnterpreteerd en de mate waarin we in die interpretaties vertrouwen kunnen hebben. Externe validiteit verwijst dan weer naar de mate waarin de resultaten van een onderzoek veralgemeenbaar zijn naar een bredere populatie en/of andere omstandigheden (KUL, 2006). Niet ieder onderzoek streeft volledige generaliseerbaarheid na (Maso et al, 1998).

²³ De betrouwbaarheid van empirisch onderzoek betreft de consistentie en de repliceerbaarheid van de methoden, de omstandigheden en de resultaten van dat onderzoek. Interne betrouwbaarheid verwijst naar de mate waarin de gegevensverzameling, de data-analyse en de conclusies binnen het onderzoek zelf consistent zijn. Externe betrouwbaarheid verwijst naar de mate waarin onafhankelijke onderzoekers het onderzoek in gelijkaardige omstandigheden kunnen repliceren (KUL, 2006) en duidt dus op de herhaalbaarheid van het onderzoek (Maso et al, 1998).

4. Resultaten van het onderzoek

4.1. Inleiding

In dit onderdeel gaan we op zoek naar de antwoorden op de onderzoeksvragen. Bij de aanvang van het onderzoek bleek al snel dat de verschillende energiebronnen (wind, zon, biomassa/afval en water) en dus hun determinanten en hun toekomst zo verschillend zijn, dat ze onmogelijk volledig samen onderzocht en besproken kunnen worden. We zullen de resultaten dan ook voor iedere energiebron apart bespreken. Per type worden eerst kort de definitie en werking geschetst. Dit onderdeel heeft niet als doel alle technische details weer te geven, maar dient vooral om het vervolg beter te kunnen begrijpen. Vervolgens wordt de evolutie tot nu toe samengevat, waarna de groeideterminanten worden bepaald. Op die manier wordt onderzoeksvraag één beantwoord. In de mate van het mogelijke, wordt bij de bespreking van de groeideterminanten de indeling uit punt 2.4. gebruikt teneinde de diverse aspecten die een invloed hebben op het potentieel van een energiebron gestructureerd weer te geven. Tot slot bepalen we of de energiebron toekomst heeft in ons grondgebied. Hiermee wordt de tweede onderzoeksvraag beantwoord.

4.2. Windenergie

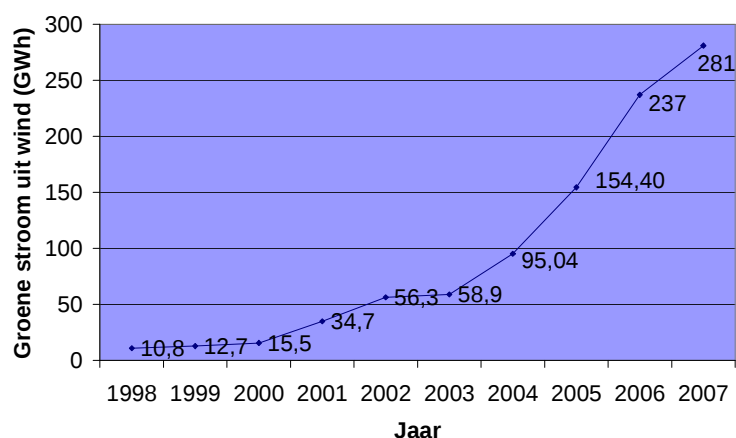
4.2.1. Definitie en werking

Het gebruik van windenergie is al eeuwenoud. Lang geleden werd wind immers al gebruikt voor de aandrijving van windmolens voor het malen van graan en het oppompen van water. De uitvinding van de stoommachine in de Industriële Revolutie maakte veel van deze windmolens werkloos. Met de oliecrisis in de jaren '70 kwam windenergie terug in beeld. Het duurde nog tot de jaren '80 vooraleer men ging geloven in rendabele mogelijkheden ervan. In dit moderne gebruik van windenergie worden turbines gebruikt voor de aandrijving van elektrische generatoren (Willems, 2005 en Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2004). De huidige definitie van *windenergie* luidt dan ook “windenergie is de kinetische energie van wind gebruikt voor het opwekken van elektriciteit in windturbines” (IEA, 2007, p23).

Een windturbine bestaat uit drie grote onderdelen: de mast, de gondel en de wieken. Om de turbine in staat te stellen elektriciteit voor het net te leveren, moeten nog een fundering en aansluiting op het net voorzien worden. De werking van een windturbine kan worden vergeleken met die van een dynamo op de fiets. Een krachtige beweging, hier wind in plaats van trappers, laat een turbine draaien en zo wordt elektriciteit opgewekt. Er bestaan drie types turbines: “onshore” turbines die op het land worden opgesteld, “offshore” turbines op zee en kleine turbines, “urban turbines” genaamd. Dit laatste type wordt momenteel volop onderzocht, vooral in Groot-Brittannië en Nederland (ODE Vlaanderen, 2008a). Men heeft nog geen duidelijk zicht op de rendementen en kosten ervan (gesprek Prof. Van Eetvelde, 23/03/09, Gent). Kleine windturbines zullen hier bijgevolg niet verder worden onderzocht.

4.2.2. Evolutie tot nu toe

Figuur 5 geeft de *evolutie* van de hoeveelheid groene stroom uit windenergie in Vlaanderen weer (Studiedienst van de Vlaamse Regering, 2008, zie ook bijlage 3). Aangezien offshore windenergie een federale aangelegenheid is en de allereerste projecten pas in 2008 gerealiseerd zijn (EWEA, 2009a), gaat het enkel om *onshore* windenergie. We zien dat tien jaar geleden de productie van windenergie zeer gering was en dat er zich sindsdien een enorme stijging heeft voorgedaan (van 10 GWh per jaar in 1998 naar 281 GWh per jaar in 2007). Deze evolutie kunnen we verklaren. R&D inspanningen voor het grootschalig gebruik van windenergie ontstonden bij de leden van het IEA in de jaren '80, grotendeels naar aanleiding van de olieprijs crises (IEA, 2007). De wieg van de windtechnologie stond in Vlaanderen. Het eerste windmolenpark van enige betekenis in de wereld verrees immers in 1986 in Zeebrugge (ODE Vlaanderen, 2008a). Het zou tot 1999 het enige windpark in Vlaanderen blijven (VREG, 2008a). In 1995 werd een eerste steunmaatregel ingevoerd voor hernieuwbare energie: één 'groene' frank per kWh. In 1998 werd deze verhoogd naar twee groene franken per kWh (ODE Vlaanderen, VITO en 3E, 2004). Chris Derde van VWEA (gesprek 26/03/09, Sint-Gillis-Waas) becommentarieert: "Die groene franken waren een eerste magere aanzet. De jaren nadien werden heel wat bedrijven actief rond windenergie. Het bleek een moeizame start omdat het noodzakelijke kader, namelijk de instanties betrokken bij de besluitvorming, nog veel moest leren. Bovendien was er een soort koudwatervrees bij de mensen. Men vroeg zich af of er nu overal windturbines zouden komen en wat die veranderingen allemaal zouden betekenen. De eerste projecten, zoals deze in Eeklo, bleken vrij succesvol, waardoor er een breder draagvlak is ontstaan voor windenergie." Door de introductie van de groenestroomcertificaten in 2002 (supra, punt 2.5.2.) kwam de groei pas echt op gang (3E, 2004).



Figuur 5: De geproduceerde groene stroom per jaar uit windenergie voor het Vlaams Gewest (in GWh), cijfermateriaal afkomstig van de studiedienst van de Vlaamse regering (2008)

In 2007 werd in Vlaanderen 281 GWh elektriciteit uit onshore windenergie geproduceerd. Als we uitgaan van een bruto elektriciteitsverbruik van 61.000 GWh, betekent dit dat wind toen verantwoordelijk was voor 0,46% van de energievoorziening (Studiedienst van de Vlaamse regering, 2008). Volgens de meest recente gegevens van de VREG was er op 31 maart 2009 een geïnstalleerd vermogen van 183 MW in Vlaanderen, resulterend in een groene stroomproductie van ongeveer 333 GWh per jaar. Dit geïnstalleerd

vermogen is verdeeld over 45 verschillende projecten waarvoor groenestroomcertificaten werden toegekend (VREG, 2009a). De windturbines zijn meestal eigendom van de ‘traditionele’ elektriciteitsbedrijven. Een aantal zijn eigendom van coöperatieve vennootschappen, privébedrijven en particulieren (Vlaamse Milieumaatschappij, 2007 en Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2004).

Voor *offshore* wind²⁴ is de evolutie enigszins anders gelopen. Pas recent zien we hier echte realisaties. In 2004 werd met een Koninklijk Besluit (KB 17/5/04) deze zone afgebakend voor de kust van Zeebrugge met een oppervlakte van 167 km². Momenteel lopen er heel wat offshore windpark projecten, drie ervan hebben reeds een vergunning. Het gaat om C-power (300 MW) op de Thorntonbank, Belwind (330 MW) op de Bligh bank en Eldepasco (216 MW) op de Bank zonder naam (Neyens, 2008). Samen zijn deze verantwoordelijk voor 846 MW (Groen, 2009). In De Standaard van 17/02/09 konden we echter lezen dat, als gevolg van de huidige economische crisis, zowel C-power als Belwind moeite hebben om de financiering van hun projecten rond te krijgen. Vraag is hoeveel vertraging de projecten hierdoor zullen oplopen.

Laat ons het geïnstalleerd vermogen in Vlaanderen en België eens vergelijken met een aantal buurlanden en de Europese Unie. ODE Vlaanderen (2008b) levert ons cijfermateriaal over het geïnstalleerd vermogen van 2007. Omdat een vergelijking in absolute cijfers weinig informatie oplevert, berekenden we het geïnstalleerd vermogen per miljoen inwoners. De resultaten zijn opgenomen in Tabel 6 (ODE Vlaanderen 2008b, Europees Parlement Bureau Nederland, 2009 en Vlaamse Milieumaatschappij, 2007). We zien dat België, en zeker Vlaanderen, anno 2007 qua geïnstalleerd vermogen per inwoner een aanzienlijke achterstand had ten opzichte van onze buurlanden en de het gemiddelde van de Europese Unie. Offshore windenergie vormt momenteel nog een kleine minderheid van het geïnstalleerd vermogen. Wereldwijd komt het aandeel van offshore windenergie in het totale geïnstalleerd vermogen voor windenergie op 1% (EWEA, 2009a, p61-62).

Land	Geïnstalleerd vermogen (MW)	Aantal inwoners (miljoen)	Aantal MW per miljoen inwoners
Nederland	1.746	17	103
België	287	10	29
Vlaanderen	140	6	23
Frankrijk	2.454	62	40
Duitsland	22.247	82	271
Groot-Brittannië	2.389	61	39
Luxemburg	35	0,5	70
Europese Unie	56.535	489	116

Tabel 6: *Geïnstalleerd vermogen per miljoen inwoners vergeleken met een aantal buurlanden en de EU (ODE Vlaanderen, 2008b, Europees Parlement Bureau Nederland, 2009 en Vlaamse Milieumaatschappij, 2007)*

²⁴ Merk op dat de offshore elektriciteitsproductie voor de berekening van de hoeveelheid groene stroom in Vlaanderen moet verdeeld worden over de gewesten (3E, 2004).

4.2.3. De determinanten van windenergie

Tabel 7 geeft een samenvatting weer van de analyse die we in dit hoofdstuk zullen bespreken en dus van het antwoord op onderzoeksvraag één.

Determinant	Beschrijving
Klimatologisch	▪ Geografisch: onshore tweede of derde gunstigste windzone van Europa, offshore tweede gunstigste ▪ Variabiliteit in de tijd: seizoensschommelingen, productiefactor 11 à 34%, beperkte voorspelbaarheid
Ruimtelijk	▪ Vereist ruimte, reeds grote druk op beschikbare ruimte onshore, ook offshore is ruimte niet onbeperkt
Technologisch	▪ Relatief ver gevorderde technologie ▪ Rendementen 20 à 40%, vermogens: tot 6 MW, probleem netinteractie
Ecologisch en maatschappelijk	▪ Constructie: energierugverdiëntijd 3 à 6 maand ▪ Gebruik: geen brandstof/uitstoot, wel: eventueel geluidshinder, slagschaduw, impact op vogels, gevaren, NIMBY; meeste elementen spelen vooral onshore ▪ Na gebruik: recyclage staal, afgedankte wiekbladen
Economisch	▪ Investeringskost (hoog): turbine, netaansluiting, oprichting, etc., variabel ▪ Werkingskost: geen brandstof, wel onderhoudskost ▪ Levensduur: 20 jaar (onshore), 25 à 30 jaar (offshore), invloed wachttijd ▪ Resultaat vereenvoudigde berekening elektriciteitskost: 47 tot 133 €/MWh
Beleidsmatig	▪ Vergunningen: onshore (stedenbouwkundige en milieuvergunning), offshore (domeinconcessie, bouw- en milieuvergunning, etc.) ▪ Steunmaatregelen: groenestroomcertificaten, ecologiepremie, verhoogde investeringsaftrek

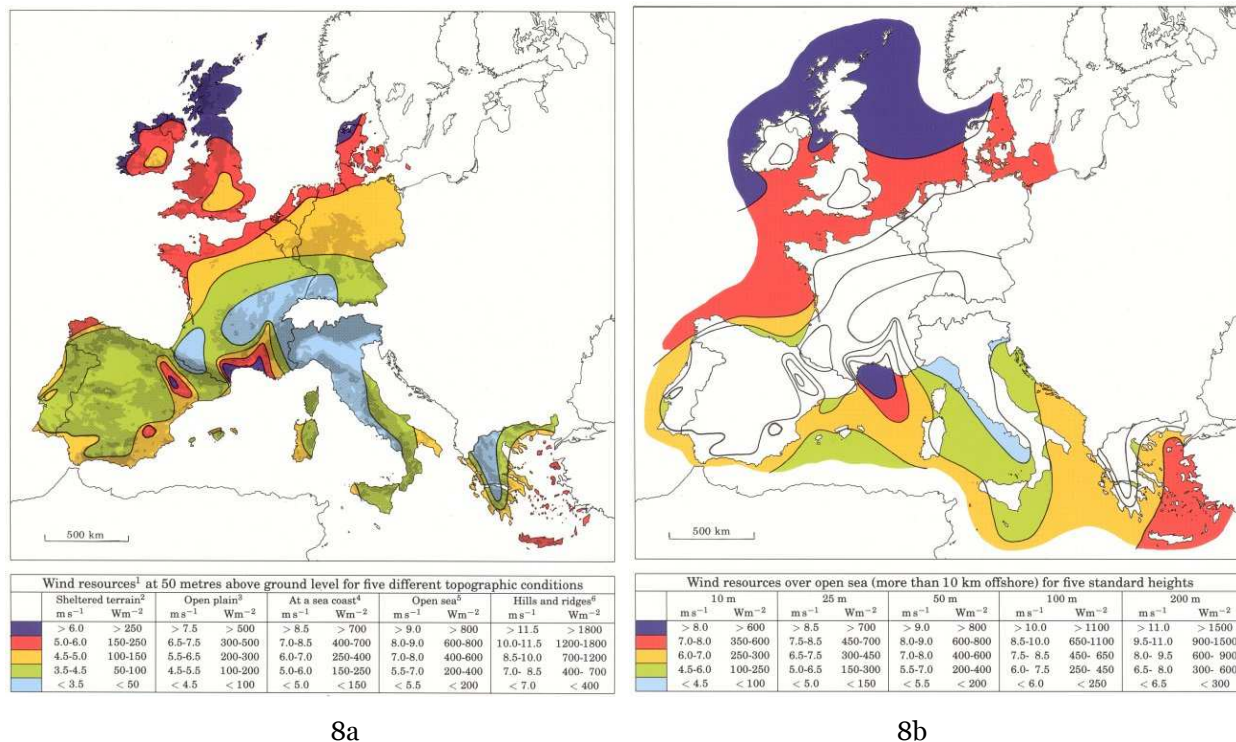
Tabel 7: Samenvattende tabel windenergie

a. Klimatologisch

Klimatologisch moeten we kijken naar variaties in tijd en ruimte van windenergie. Niet iedere windsnelheid is even geschikt voor het gebruik in windturbines. Windturbines draaien pas vanaf windsnelheden van 3 à 5 meter per seconde, hun volle vermogen wordt bereikt bij een windsnelheid van 12 tot 15 m/s. Bij 25 m/s of meer worden de windturbines om veiligheidsredenen stilgelegd (Electrabel, 2004).

Geografisch moeten we kijken op welke locaties er welke windsnelheden zijn. In tegenstelling tot de klassieke energiebronnen is wind zelf is immers geen product dat (momenteel) internationaal kan worden verhandeld. Voor het potentieel van windenergie in Vlaanderen moeten we dus uitgaan van het lokaal aanbod aan wind. Figuur 6 geeft de windsnelheden weer voor verschillende Europese locaties (onshore en offshore). We zien dat voor onshore windenergie het meest Westelijke deel van Vlaanderen in de op één na gunstigste windzone van Europa ligt. De rest ligt in de derde gunstigste windzone. Offshore ligt ons zeegebied in de tweede gunstigste windzone (European Wind Atlas, 1989). Lokaal zouden er in Vlaanderen bovendien nog micro-sites bestaan waar de gemiddelde windsnelheid eveneens hoog is (ODE

Vlaanderen, 1997). Het gaat hier bijvoorbeeld om reliëfverschillen en open, winderige vlakten (Omzendbrief Vlaamse overheid, 2006). In het kader van het Windplan Vlaanderen (VUB en ODE Vlaanderen, 2000) werden windkaarten opgesteld op 50 meter en 75 meter hoogte. Op basis van onder meer deze kaart kan de jaarlijkse energieopbrengst van een bepaalde turbine berekend worden (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2004).



Figuur 6: Windsnelheden in Europa: a onshore, b offshore
(European Wind Atlas, 1989)

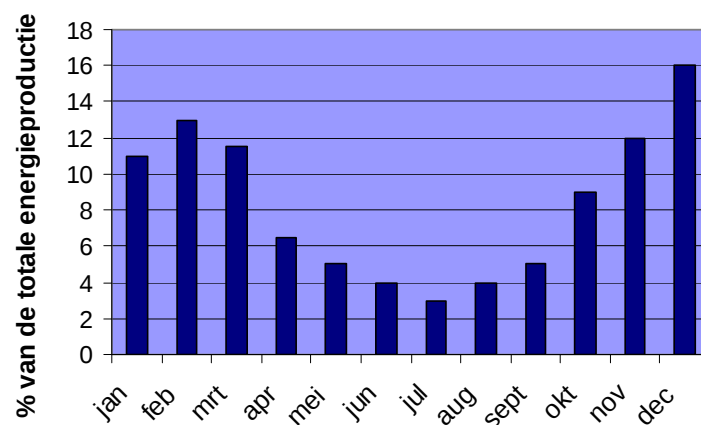
Naast deze geografische verschillen, heeft wind de neiging om relatief grote verschillen te vertonen in de tijd. Het waait immers niet altijd even hard. Daardoor draait een windturbine niet altijd op haar volle vermogen. Het effectief vermogen van een windturbine is gelijk aan het geïnstalleerd vermogen maal de productiefactor. Deze factor geeft in procenten van het maximaal vermogen het gemiddelde vermogen aan waarmee geproduceerd wordt. In Tabel 8 zijn de gemiddelde productiefactoren in ons windklimaat weergegeven (Vlaamse Milieumaatschappij, 2007). Ze resulteren in een equivalente gebruiksduur²⁵ voor windenergie van ongeveer 950 tot 3000 uur per jaar in ons land, ook wel het aantal *vollasturen* genoemd. Zoals reeds eerder vermeld is dat “het aantal uur per jaar waarop een windturbine vol vermogen aan elektriciteit zou leveren, rekening houdend met de variatie in het windaanbod” (Vlaamse Milieumaatschappij, 2007, p87). Over de jaren zou de totale hoeveelheid beschikbare wind relatief constant zijn (EWEA, 2009a). Merk wel op dat deze equivalente gebruiksduur verschillend is voor iedere locatie en dat Tabel 8 slechts gemiddelden weergeeft.

²⁵ Eigen berekening. Een jaar telt 24 uur x 365 dagen = 8.760 uur, dus de productiefactor vermenigvuldigd met 8.760 uur geeft de equivalente gebruiksduur in uur per jaar.

Locatie windturbine	Productiefactor	Equivalente gebruiksduur (u/jaar)
Binnenland	11%	964
Nabij de kust	23%	2.015
Op zee	34%	2.978

Tabel 8: *De productiefactoren en equivalente gebruiksduur van windenergie (Vlaamse Milieumaatschappij, 2007, p27 en eigen berekening)*

De productiefactoren vertellen echter maar een deel van het verhaal. Ze zetten een variërend vermogen namelijk om naar een gemiddeld aandeel van het vermogen dat wordt gebruikt. Het zijn dus slechts gemiddeldes en ze vertellen niks over de variatie op zich. Volgens Chris Derde van VWEA (gesprek 26/03/09, Sint-Gillis-Waas) wordt ten onrechte vaak het woord ‘onvoorspelbaarheid’ gebruikt om deze variatie aan te duiden. Hij vindt ‘beperkte voorspelbaarheid’ een meer passend begrip: “De begrippen voorspelbaarheid en variabiliteit worden vaak door elkaar gebruikt maar zijn absoluut niet hetzelfde. Iets wat variabel is kan perfect voorspelbaar zijn.” Het variabele windaanbod is dus niet per se volledig onvoorspelbaar. Zo varieert het aanbod aan windenergie doorheen de seizoenen. Figuur 7 geeft de gemiddelde elektriciteitsproductie weer verspreid over de maanden van het jaar in percentage van de totale geproduceerde elektriciteit (Aspiravi). Op basis van deze getallen kan men het windaanbod statistisch voorspellen, maar ook aan de hand van weersvoorspellingen kan men prognoses maken van het windaanbod. Een betere voorspelbaarheid, is volgens Chris Derde (VWEA, gesprek 26/03/09, Sint-Gillis-Waas) steeds wenselijk. Immers, hoe beter je het tijdstip en de hoeveelheid van de stroom kan voorspellen, hoe meer geld je voor je stroom kan krijgen. Volgens Jo Neyens (ODE, gesprek 24/04/09, Brussel) zijn hier al heel wat verbeteringen: “Met goede software kan je vrij goed voorspellen wat er de volgende dag gaat gebeuren.” Volgens het IEA (2007) vormt de variabiliteit wereldwijd één van de belangrijkste beperkende factoren voor de marktpenetratie van windenergie. Het moet dan ook één van de prioriteiten zijn van verder onderzoek om de voorspellingen hieromtrent te verbeteren. In punt c gaan we verder in op de gevolgen van deze variabiliteit en beperkte voorspelbaarheid voor de aansluiting van windenergie op het net.



Figuur 7: *Elektriciteitsproductie van een jaar verdeeld over de maanden (in % van de totale productie, Aspiravi)*

b. Ruimtelijk

Ruimtelijk heeft Vlaanderen een grote bevolkingsdichtheid en een hoge industriële activiteit. Daardoor is er een grote druk op de beschikbare ruimte ontstaan (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2004). Bovendien dragen we de erfenis van een slechte ruimtelijke ordening met ons mee (ODE Vlaanderen, 2008a). Vanuit zijn ervaring bij de zoektocht naar locaties voor windenergie bij een grote klant getuigt Phillippe Van den Bossch van Eandis (gesprek 25/02/09, Melle) dat het in Vlaanderen niet evident is om, gegeven goede wind, geschikte plaatsen te vinden. Volgens Chris Derde van VWEA (gesprek 26/03/09, Sint-Gillis-Waas) heeft zich hier een enorme evolutie afgetekend: “Momenteel is men bijvoorbeeld bezig met in de Gentse haven turbines in te passen. Vijf jaar geleden dacht men dat, wanneer men in die haven plaats zou vinden voor 25 turbines, het al heel goed zou zijn. Momenteel denkt men al vlot aan 150.” Hoewel strikt genomen de ruimte niet kan toegenomen zijn de afgelopen jaren, ziet men toch dat er meer mogelijkheden zijn dan men enkele jaren geleden dacht. Derde verklaart waarom: “Bedrijven die 5 jaar geleden geen windturbines op hun terrein wilden, willen er nu plots wel.” We zien dus dat zelfs een element als beschikbare ruimte aan enige verandering onderhevig is. We mogen er echter niet vanuit gaan dat de ruimte onbeperkt is. Ook offshore is de beschikbare ruimte eindig. Onze kuststrook is niet onbeperkt groot en ook daar spelen alternatieve toepassingen zoals zeevaartroutes, wingebieden voor delfstoffen etc. een rol (ODE Vlaanderen, 1997 en gesprek Johan Malcorps, Groen, 12/03/09, Antwerpen).

Laten we even kijken hoeveel plaats een turbine nodig heeft. Opdat turbines elkaar niet zouden hinderen, moeten ze op ongeveer 5 diameters van elkaar geplaatst worden (Commissie AMPERE, 2000 en Willems, 2005). Een turbine van 2 MW heeft een wiekdiameter van ongeveer 80 meter (ODE Vlaanderen, 2008a) en vereist dus een oppervlakte van 400 meter bij 400 meter of 0,16 vierkante kilometer. Om aan een elektriciteitsvraag van 50.000 GWh per jaar te voldoen, hebben we uitgaande van turbines van 2 MW en een equivalente gebruiksduur van 1.500 uur per jaar, een oppervlakte nodig van ongeveer 2.700 vierkante kilometer. Vlaanderen heeft een oppervlakte van ongeveer 13.500 vierkante kilometer, dus dat zou betekenen dat we 20% van onze oppervlakte nodig hebben²⁶. We moeten hier echter opmerken dat niet al deze grond ‘verloren’ is voor andere toepassingen. Windmolens kunnen bijvoorbeeld worden gecombineerd met landbouwtoepassingen (Evans, Strezov, Evans, 2008). Het Windplan Vlaanderen (VUB en ODE Vlaanderen, 2000) berekende bijna tien jaar geleden dat we in Vlaanderen slechts 105 vierkante kilometer ter beschikking hebben voor windenergie, resulterend in een productie van 2.000 GWh of 4% van onze elektriciteitsbehoefte. We mogen er echter niet blind vanuit gaan dat dit plan de absolute bovengrens aangeeft. Chris Derde van VWEA (gesprek 26/03/09, Sint-Gillis-Waas) vindt dat dit plan ondertussen verouderd is. Tien jaar geleden dacht men immers nog helemaal anders over

²⁶ Merk op dat dit een heel simplistische redenering is. We maken hier eveneens gebruik van een aantal sterke vereenvoudigingen. Zo gaan we ervan uit dat alle turbines onshore worden geplaatst en dat alle energie geproduceerd door windturbines kan worden aangewend voor de elektriciteitsbehoefte. Dit zal echter niet kloppen aangezien vraag en aanbod aan elektriciteit op die manier niet steeds aan elkaar gelijk zijn (zie verder, punt c). Bovendien maken we gebruik van een vrij optimistische toekomstige elektriciteitsvraag van 50.000 GWh. Anno 2007 bedroeg die nog 61.000 GWh (studiedienst van de Vlaamse regering, 2008).

windenergie. Hij pleit er dan ook voor dit plan in de context van die tijd te zien en de geopperde bovengrens niet als absoluut te beschouwen.

c. Technologisch

Wat *rendementen en beschikbare vermogens* betreft, heeft zich in de afgelopen decennia een enorme evolutie voltrokken, onder meer door een verfijnd ontwerp van de schoepen en een betere regeling van de turbines en de generatoren (Willems, 2005). Ondertussen is de technologie reeds vrij ver gevorderd. De *rendementen* (gerekend vanaf de kinetische energie in de wind tot de geproduceerde elektrische energie) die vandaag worden gerealiseerd, liggen tussen 20 en 40%, het theoretisch maximaal rendement dat ooit uit windenergie kan worden gehaald, is 59% (Willems, 2005, p220). Dit theoretisch maximum wordt ook de Betz-limiet genoemd (Commissie AMPERE, 2000). De betekenis van deze rendementen moeten we echter juist kaderen. Op zich wordt bij de productie van elektriciteit uit wind geen ‘brandstof’ verbruikt. Bij lagere rendementen gaat dus niet rechtstreeks energie ‘verloren’. Het rendement is wel belangrijk voor de grootte van de installatie, en dus kostprijs, nodig voor de productie van een bepaalde hoeveelheid bruikbare energie (Willems, 2005). Qua *vermogens* domineren momenteel de turbines tussen 1,5 en 2 MW onshore. Moderne turbines leveren een vermogen tot 5 MW (diameter schoepen 100m) (Electrabel, 2007 en Willems, 2005). De grootste turbine qua vermogen is 6 MW en staat in Henegouwen (gesprek Chris Derde, VWEA, 26/03/09, Sint-Gillis-Waas en Jo Neyens, ODE, 24/04/09, Brussel). Een moderne (standaard) turbine van 3 MW zou, afhankelijk van de locatie, 6 tot 7,5 GWh per jaar kunnen opleveren (Vlaamse Milieumaatschappij, 2007). Vooral voor offshore toepassingen zijn er veel inspanningen om turbines met een groter vermogen te ontwikkelen (EWEA, 2009a). De technologische evolutie spitst zich momenteel voor toe op optimalisatie. Volgens prof. Van Eetvelde (gesprek 23/03/09, Gent) wordt daarbij teveel geteerd op technologische kennis van vroeger: “In de jaren ’80 zijn windturbines beginnen boomen. Nadien zijn de turbines nog een beetje geoptimaliseerd, maar is er geen echt fundamenteel onderzoek meer geweest. Met nieuwe technologieën en nieuwe materialen, zijn er misschien nog enorme verbeteringen mogelijk.”

Belangrijk blijft het probleem van de *interactie van de geproduceerde elektriciteit met het net*. We zagen reeds dat een betere voorspelling van windenergie één van de prioriteiten van verder onderzoek dient te zijn (IEA, 2007, zie punt a). Over de koppeling op het net van windenergie en de eventuele problemen die daardoor ontstaan, bestaan heel wat meningen en theorieën. Zo beweert J. Soens in zijn doctoraal proefschrift dat windenergie nooit zo betrouwbaar kan zijn als traditionele centrales, omdat wind nooit perfect te voorspellen is, en zeker niet te controleren. Daarom moeten er volgens hem steeds alternatieven voorhanden zijn. Hoe meer windenergie wordt opgewekt in een bepaalde zone, hoe groter de hoeveelheid aan alternatieven moet zijn. Het spreiden van de windturbines over heel België zou de schommelingen nog onvoldoende opvangen, omdat de correlatie tussen de windsnelheden hier vrij groot is. Studies in andere landen (bijvoorbeeld Duitsland) zouden aantonen dat tot 20% van de elektriciteitsproductie afkomstig kan zijn van windenergie zonder problemen te veroorzaken op het net (Vlaamse milieumaatschappij, 2007). Ook ODE Vlaanderen (2008a) spreekt over problemen met het net zoals het vandaag is bij een aandeel van windenergie hoger dan 20%. De experts waren het hier echter niet steeds

mee eens. Volgens prof. Lieven Vandeveld (gesprek 23/03/09, Gent) is dit getal ooit eens gelanceerd, maar eigenlijk weet men het niet echt. Ook Luc Henderieckx van Eandis (gesprek 25/02/09, Melle) ziet niet in waarom er beneden de 20% geen problemen zouden zijn en daarboven opeens wel. Chris Derde van VWEA (gesprek 26/03/09, Sint-Gillis-Waas) vindt het onterecht dat vandaag de overtuiging leeft dat variabele bronnen sowieso problemen geven op het net.

Laat ons even een stap achteruit doen, en kijken wat het precieze probleem is. Wanneer we puur naar de financiële implicaties kijken, zien we dat de huidige marktwerking zo opgebouwd is dat men een dag op voorhand voorspellingen moet doen op kwartierbasis van de hoeveelheid elektriciteit die men zal produceren en/of leveren (gesprek Bert Gysen van VITO, 26/03/09, Mol). Wanneer een producent niet goed kan voorspellen, zal hij minder geld krijgen voor zijn elektriciteit. We moeten echter verder dan dit financiële even op zoek gaan naar de ware reden voor deze marktsituatie en die is eerder technisch van aard. Wat telt is dat op elk moment productie en afname aan elkaar gelijk moeten zijn (gesprek Prof. Lieven Vandeveld, 23/03/09, Gent). En afname is allesbehalve constant (Vlaamse Milieumaatschappij, 2007). Bovendien is men momenteel (nog) niet in staat elektriciteit in grote hoeveelheden op te slaan (Vlaamse Milieumaatschappij, 2007). Prof. Lieven Vandeveld (gesprek 23/03/09, Gent): “Met klassieke centrales wordt dit opgelost doordat er steeds een aantal niet op volle vermogen draaien, waardoor er steeds een hoeveelheid reserve achter de hand wordt gehouden.” De opsplitsing tussen continue en variabele bronnen, die vaak wordt gemaakt, heeft volgens Chris Derde (VWEA, gesprek 26/03/09, Sint-Gillis-Waas) geen betekenis op het terrein. Wanneer een gebruikersprofiel perfect overeenstemt met de productie van een variabele bron, is er immers geen enkel probleem. Momenteel is het in evenwicht houden van vraag en aanbod de verantwoordelijkheid van de evenwichtsverantwoordelijke (Elia) en gebeuren veel elementen in dit systeem op een eerder archaïsche manier. Zo hebben leveranciers geen precieze informatie over particuliere gebruikers. Slechts eenmaal per jaar wordt hun rekeningstand opgenomen en leveranciers moeten via allerlei ingewikkelde berekeningen dit proberen omzetten naar de kwartierbasis waarop voorspellingen moeten worden ingediend. Met het ambitieuze plan van Smart Grids en Smart Metering zou dit heel wat moeten vereenvoudigen en zal men veel regelmatigere kunnen kijken hoeveel wordt verbruikt (Prof. Lieven Vandeveld, gesprek 23/03/09, Gent). Een gedeeltelijke oplossing zou volgens Prof. Lieven Vandeveld kunnen zijn “om hernieuwbare energiebronnen ook zo te exploiteren dat ze niet altijd op maximumcapaciteit worden benut. Probleem is dat deze bronnen dan financieel minder interessant worden.” Dit vormt echter geen volledige oplossing voor het probleem. Om de waardedaling, waar variabele en moeilijk te voorspellen energiebronnen mee te maken krijgen, af te zwakken, hebben we doorheen het onderzoek nog vijf zaken kunnen identificeren. De meeste van deze elementen worden reeds, zij het in beperkte mate, toegepast. Een combinatie zal nodig zijn om de waarde van de energiebronnen te verhogen.

- Een *eerste* element is het gebruik van *meerdere variabele energiebronnen* tegelijkertijd (Neuhoff, 2007). Wanneer hun aanbod weinig correlatie vertoont, zal de variatie van het totale aanbod afzakken (de som van de standaard afwijkingen is dan groter dan de standaard afwijking van de som).
- Ook *ruimtelijke diversiteit* kan een afzakking van het probleem veroorzaken. Het is immers mogelijk dat het in Spanje waait, maar in Vlaanderen niet. Door de netten te koppelen zal de

correlatie tussen de output dalen waardoor de waarde van de energiebron stijgt. We hebben hierdoor een sterk argument om te pleiten voor geïntegreerde netwerken (Neuhoff, 2007). Vandaag zijn we in Europa hier nog niet. De diverse nationale netwerken zijn verbonden voor bijstand, in geval van problemen dus. Deze verbindingen zijn niet gemaakt voor een regelmatig transport van het ene grondgebied naar het andere. Hoewel in theorie reeds mogelijk, zien we in de praktijk hier nog problemen opduiken (zoals verminderde stabiliteit van het lokale net) (gesprek Philippe Van den Bosch, Eandis, 25/02/09, Melle). Momenteel komen de investeringen in een meer geïntegreerd Europees net op gang (gesprek Prof. Lieven Vandeveld, 23/03/09, Gent).

- Een *derde* element is het voorzien van *back-up power*. Deze kan worden ingeschakeld als de energiebron het laat afweten om de output constant te houden. Het behouden van oude elektriciteitscentrales was historisch de beste optie voor de voorziening in back-up power. We bekomen hierdoor echter een enorme extra kost. Men kan zich de vraag stellen waarom men zou investeren in een onzekere energiebron als men toch een alternatief moet voorzien dat op zichzelf ook aan de energievraag kan voldoen. Bovendien zullen deze oude centrales niet volstaan indien hernieuwbare energie een groot aandeel in de energievoorziening vertegenwoordigt. In de toekomst zal nieuwe back-up capaciteit dus een belangrijke rol spelen (Neuhoff, 2007).
- Een *vierde* element is *opslag* van de opgewekte energie. Op die manier kunnen pieken en dalen in het aanbod worden afgezwakt. In Wallonië gebeurt dit vandaag bijvoorbeeld aan de watervallen van Coe. Prof. Lieven Vandeveld (gesprek 23/03/09, Gent): “Wanneer er een overschot aan energie is, pompt men water op. Wanneer er een tekort ontstaat, laat men het opgepompte water vallen dat zo een turbine aandrijft.” Vandaag staan batterijen of andere opslagmedia voor elektriciteit (zoals waterstofcellen) nog niet op punt. De kostprijs is nog zeer hoog en we hebben te maken met vrij grote verliezen (gesprek Luc Henderieckx, Eandis, 25/02/09, Melle en D’Haeseleer, 2005). Toch is men zeer actief op dit vlak om verbeteringen te realiseren. Elektrische auto’s worden vaak genoemd als mogelijke toepassing. Tijdens de interviews verwezen zowel Chris Derde (VWEA, gesprek 26/03/09, Sint-Gillis-Waas), Johan Malcorps (Groen, gesprek 12/03/09, Antwerpen) als Eric Van Assche (Soltech, gesprek 25/03/09, Tienen) hiernaar. Die auto’s kunnen worden opgeladen op momenten dat er veel stroom is en gebruiken opgeslagen energie wanneer er weinig stroom is²⁷. Specifiek voor offshore windenergie verwees Bert Gysen (VITO, gesprek 26/03/09, Mol) naar een mogelijke toepassing bij bedrijven die koeling nodig hebben: “In plaats van energie op de slaan in batterijen, kan men ze rechtstreeks gebruiken in vrieskamers. Die hebben immers een bufferend vermogen. Of ze nu vriezen naar min 20°C of min 22°C, dat maakt op zich niet zoveel uit. Het teveel aan energie kan men zo in de koelcel steken. In ruil krijgen die bedrijven heel goedkoop energie. Wat later, als de energie duurder is, kan men stoppen met koelen tot de vriezer bijvoorbeeld min 16°C aangeeft. Er zijn dus andere manieren voor opslag dan batterijen. Men moet kijken naar alles wat een bufferend vermogen heeft, hoe men dat kan inschakelen en zo bekijken wat het beste is. Op die manier gaat men kunstmatig vraag creëren op basis van het aanbod. Voorwaarde is dat hiervoor een marktmechanisme bestaat.”

²⁷ We moeten hierbij opmerken dat strikt genomen de elektriciteitsvraag zal toenemen bij het gebruik van deze elektrische auto’s. De totale energiebehoefte zal niet wijzigen, maar zich gedeeltelijk verplaatsen van brandstoffen naar elektriciteit.

- Een *laatste* element dat soelaas zou kunnen bieden, is gebaseerd op *afschakelbaar vermogen*. Bedrijven en gezinnen kunnen dan een deel van hun toestellen een paar uur (laten) afschakelen indien er een tekort is aan energie, in ruil voor een lagere energieprijs. Vandaag gebeurt dit al bij grote bedrijven. Door de creatie van Smart Grids en de bijhorende Smart Meters zou dit in de nabije toekomst ook bij gezinnen kunnen worden toegepast (gesprek Luc Henderieckx van Eandis, 25/02/09, Melle). In feite wordt vandaag reeds een rudimentaire vorm van dit systeem toegepast bij veel gezinnen. Op basis van een dag- en nachttarief gaat men mensen aanmoedigen om verbruik dat normaal overdag zou plaatsvinden te verplaatsen naar 's nachts (gesprek Chris Derde, VWEA, 26/03/09, Sint-Gillis-Waas).

d. Ecologisch en maatschappelijk

Ecologisch en maatschappelijk spelen onder meer de milieu-impact, de mogelijkheden tot hergebruik en maatschappelijke aanvaarding een belangrijke rol. Deze drie elementen zijn vaak verweven. We zullen ze dan ook samen bespreken. Om een volledig beeld te geven van de impact van een windturbine op milieu en maatschappij, moeten we de drie fases in de levensduur van een windmolen bekijken.

De *eerste* fase is de bouw van de windturbine. De energie die hiervoor is vereist, is volgens Willems (2005) vrij beperkt: de *energetische terugverdientijd* zou 3 à 6 maand bedragen. Dit begrip wordt gebruikt om aan te duiden hoe lang het duurt vooraleer energie-investeringen worden gecompenseerd door energieproductie (Alsema en Nieuwlaar, 2000). De constructie van de gondel, de zogenaamde machinekamer, vereist de meeste energie (Martinez, Sanz, Pelligrini, Jimenez, Blanco, 2009). Voor offshore windenergie is de energie terugverdientijd onvermijdelijk iets langer dan voor onshore windenergie omwille van de extra fundering en de langere bekabeling die vereist is (ODE Vlaanderen, 1997).

Een *tweede* fase is deze van het gebruik van de windturbine. Belangrijk hier is dat de turbine, in tegenstelling tot klassieke energiebronnen, geen 'brandstof' verbruikt (Vlaamse Milieumaatschappij, 2007). Het omzetten van wind naar elektriciteit is vrij van enige reststof. Er komen geen uitlaatgassen (en dus geen CO₂) of afvalstoffen vrij (ODE Vlaanderen, 2008a). Wel kunnen er een aantal andere nadelen voor milieu en maatschappij worden geïdentificeerd:

- *Geluidshinder*. Dit geluid wordt ook wel brongeluid genoemd. Het is afkomstig van twee mogelijke geluidsbronnen, namelijk het zoeven van de wieken en het mechanisch geluid uit de gondel. De huidige windturbines zouden evenwel voor beide bronnen zo ontworpen zijn dat de geluidsoverlast minimaal blijft (VUB en ODE Vlaanderen, 2000 en gesprek Johan Malcorps, 12/03/09, Antwerpen).
- *Slagschaduw*. Dit is een bewegende schaduw die ontstaat als gevolg van de draaiende wieken. Dit kan hinderlijk zijn voor nabije huizen of kantoren. Turbines kunnen een sensor bevatten zodanig dat de turbine stil wordt gezet op het moment dat de meeste slagschaduw optreedt (ODE Vlaanderen, 2008a en gesprek Johan Malcorps, Groen, 12/03/09, Antwerpen).

- *Impact op het vogelbestand.* Dit nadeel is sterk afhankelijk van de locatie van de windturbine. In trekroutes van vogels zal de impact groter zijn. Uit onderzoek blijkt dat het aantal vogelslachtoffers per turbine meevalt. Andere zaken eisen vaak meer slachtoffers (verkeer, hoogspanningskabels, zendmasten, gebouwen, etc.). Zo werden in een studie gemiddeld 26 dodelijke slachtoffers per turbine per jaar geteld, terwijl het verkeer 13 dierenlachtoffers per kilometer per jaar zou eisen (ODE Vlaanderen, 2008a, Everaert, 2003 en gesprek Chris Derde, VWEA, 26/03/09, Sint-Gillis-Waas).
- *Verminderde opbrengst van gewassen.* Als gevolg van slagschaduw zou de opbrengst van gewassen rondom de windturbine kunnen dalen. VWEA liet hier onderzoek naar doen en de invloed bleek zeer miniem (gesprek Chris Derde, VWEA, 26/03/09, Sint-Gillis-Waas).
- *Gevaren.* Bij een bouwwerk zijn er steeds een aantal gevaren. Zo kan een wiek loskomen, kan er in de wintermaanden ijs van de wieken vallen, etc. Deze risico's zijn echter zoveel mogelijk geminimaliseerd. Moderne windmolens zouden bijvoorbeeld zo zijn ontwikkeld dat de wieken kunnen ontdooien (gesprek Johan Malcorps, Groen, 12/03/09, Antwerpen).
- *Visuele hinder.* Sommige mensen vinden windmolens landschapsvervuiling (gesprek Johan Malcorps, Groen, 12/03/09, Antwerpen).

We zien dat de meeste van deze nadelen (op impact op het vogelbestand na) vooral spelen voor onshore windenergie en minder impact hebben offshore. De geschetste nadelen van windenergie moeten volgens Johan Malcorps van Groen (gesprek 12/02/09, Antwerpen) “met een korrel zout worden genomen. Men moet ze immers bekijken in vergelijking met de nadelen van alternatieven zoals kernenergie. Ook zijn er al heel wat inspanningen geweest om deze nadelen te beperken”. Hij begrijpt dan ook niet waarom er zo’n tegenkanting is. Met deze tegenkanting verwijst hij onder meer naar de zogenaamde NIMBY-reacties (‘not in my backyard’) (Willems, 2005). Voor Chris Derde van VWEA (gesprek 26/03/09, Sint-Gillis-Waas) levert het gebruik van dit begrip vaak ergernissen op: “Journalisten schrijven vaak over NIMBY en laten dan professoren aan het woord. Men laat dan vaak vallen dat niemand windturbines wil. Dit element wordt dan bijna als een wetenschappelijk gegeven vermeldt, terwijl 90% van de Belgen wel degelijk windturbines wil. Op den duur wordt dit een self fulfilling prophecy. Als we genoeg zeggen dat niemand windenergie wil, dan zal op den duur ook niemand dat nog willen want dan gaan de mensen denken dat er wel ergens een probleem mee moet zijn. Op die manier worden windturbines een probleem, terwijl er eigenlijk geen is.”

Een *laatste* fase is deze waarbij de windturbine buiten dienst wordt geplaatst. Volgens Chris Derde van VWEA (gesprek 26/03/09, Sint-Gillis-Waas) krijgen die windturbines momenteel wel eens een tweede leven buiten Europa. Eens men beslist de turbine zelf niet meer te hergebruiken, kan het gebruikte staal uit de mast worden gerecycleerd, maar voor de afgedankte wiekbladen gemaakt uit glasvezelversterkende kunststoffen ligt dit heel wat moeilijker (ODE, 1997 en Martinez et al, 2009). Derde: “Deze wiekbladen zijn in ieder geval inert en niet giftig, maar het klopt dat hier nog verbeteringspotentieel is”.

e. Economisch

Economisch gezien zijn de investerings- en werkingskost van windturbines cruciaal. Deze zullen immers bepalen of elektriciteit opgewekt uit windenergie prijscompetitief zal zijn met de 'klassieke' energievormen. Volgens het Europees Windenergie Agentschap (EWEA, 2009a) bestaat ongeveer 75% van de totale kost van energie geproduceerd met een windturbine uit kosten die op voorhand dienen te worden gemaakt. In vergelijking met conventionele technologieën waar 40 tot 70% van de kosten tijdens de werking gemaakt worden, is windenergie dus kapitaalintensief. Laten we eerst deze investeringskosten van naderbij bekijken, nadien bestuderen we de werkingskosten.

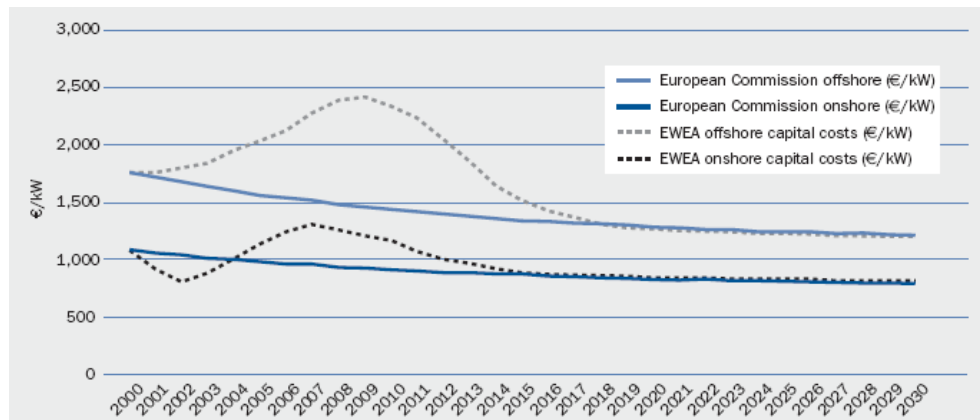
De *investeringskost* van een windturbine bestaat uit verschillende elementen. Het EWEA (2009a) heeft een overzicht opgesteld van de investeringskosten voor een typische onshore turbine van 2 MW in Europa. Dit is weergegeven in Tabel 9. We zien dat de turbine verantwoordelijk is voor het overgrote deel van de kosten (75,6%). Omdat staal de belangrijkste grondstof is van de turbine, zullen staalprijzen, en hun evolutie, dus belangrijk zijn.

	Investering (in € 1.000/MW)	Aandeel in de totale kosten (%)
Turbine (excl. werk)	928	75,6
Aansluiting op net	109	8,9
Oprichting	80	6,5
Huur grond	48	3,9
Andere	63	5,1
TOTAAL	1.228	100

Tabel 9: *Kostenstructuur investering in typische 2 MW turbine in Europa
(EWEA, 2009a)*

In Europa wordt voor de investeringskost in onshore windenergie vaak een vuistregel gebruikt, namelijk een kost van 1 miljoen euro per MW geïnstalleerd vermogen (EWEA, 2009a). In haar onrendabele top berekening gaat VITO (2006) uit van een investeringskost van 1,1 miljoen euro. De afgelopen jaren waren er volgens EWEA (2009a) vaak prijsvariaties waar te nemen. Tussen 2001 en 2004 groeide de wereldmarkt voor windenergie trager dan verwacht, waardoor er prijsdalingen waren tot soms 0,7 miljoen euro per MW geïnstalleerd vermogen. Tussen 2005 en 2008 was er dan weer een enorme groei en waren grondstoffenprijzen hoog, waardoor de prijzen stegen tot bijna 1,4 miljoen euro per MW. De Europese Commissie en EWEA hebben voorspellingen gemaakt van het toekomstig verloop van de investeringskosten voor onshore en offshore toepassingen (EWEA, 2009a). Deze zijn te zien in Figuur 8. We zien dat men na 2015 nog slechts geringe kostprijsdalingen verwacht. De investeringskosten zullen dan ongeveer 0,8 miljoen euro per MW geïnstalleerd vermogen bedragen onshore en 1,2 miljoen euro per MW voor offshore windenergie. Bemerkt dat investeringskosten voor offshore windenergie 50% hoger liggen. Voornaamste redenen zijn de hogere kosten voor oprichting en aansluiting op het net (EWEA, 2009a). Volgens Prof. Lieven Vandeveld (gesprek 23/03/09, Gent) mogen we bij die investeringskost de

versterkingen van het net die nodig zijn als gevolg van het gebruik van windenergie op zee in grote parken niet onderschatten. Het net is immers niet gedimensioneerd voor een grote input van die kant.



Figuur 8: De investeringskosten van onshore en offshore wind in €/kW
(EWEA, 2009a)

Wanneer we de investeringskosten willen evalueren, is de tijd waarover de investering kan worden aangewend, van belang. De *levensduur* van een turbine wordt tegenwoordig door producenten gegarandeerd voor 20 jaar voor onshore toepassingen en 25 tot 30 jaar voor offshore (EWEA, 2009a). Of een offshore windturbine ook zo lang mee gaat, is volgens Marleen Vanhecke (Electrawinds, gesprek 04/05/09, Oostende) nog maar de vraag. Offshore toepassingen zijn nog eerder experimenteel, de toekomst zal hier duidelijkheid brengen. Vaak vragen banken voor windenergieprojecten een pay-back binnen 7 tot 10 jaar (EWEA, 2009a). VITO (2006) gaat uit van een economische levensduur van 15 jaar en een leningstermijn van 10 jaar. Een ander element dat een invloed heeft op de kost van windenergie, is de *leveringstermijn* van een turbine. Die blijkt in tijden van hoge vraag wel eens te kunnen oplopen. Vaak moet de investeringskost immers al worden gemaakt, maar moet men wachten vooraleer men inkomsten uit de windproductie ontvangt (gesprek Bert Gysen, VITO, 26/03/09, Mol).

Qua *werkingskosten* is het grote voordeel van windturbines dat ze geen brandstof vereisen. Daar hoeft men dus geen kost voor in rekening brengen. Bovendien is men zo minder afhankelijk van de variabiliteit van de wereldmarkt. Steenkool-, olie-, gas-, uranium- en eventuele CO₂-prijzen zullen immers geen invloed hebben, waardoor men vrij nauwkeurig de kosten van het gebruik van windenergie voor de energievoorziening kan voorspellen (EWEA, 2009a). We hoeven bijgevolg enkel naar onderhoudskosten²⁸ te kijken. EWEA schat deze op 1,5 à 2,5 eurocent per kWh voor onshore windenergie in Europa. Omgerekend (uitgaande van 1.580 vollasturen per jaar), resulteren deze ramingen in een onderhoudskost van 23.700 à 39.500 euro per MW geïnstalleerd vermogen per jaar. VITO (2006) gaat uit van 39.000 euro per MW onshore geïnstalleerd vermogen voor Vlaanderen. De verklaring die men geeft voor de vrij hoge kosten voor Vlaanderen, is dat de meeste leveranciers en onderhoudsfirma's Duits zijn, wat voor turbines in Vlaanderen voor extra kosten zorgt. Voor offshore wind zijn de onderhoudskosten hoger. Deze zouden

²⁸ Merk op dat indien de turbine niet kan werken tijdens onderhoudswerkzaamheden, de tijd nodig voor deze werkzaamheden moet worden afgetrokken van het aantal vollasturen, waarmee men de kosten kan berekent per MWh geproduceerde elektriciteit.

ongeveer 3 eurocent per kWh bedragen of 90.000 euro per MW geïnstalleerd vermogen per jaar (EWEA, 2009a en eigen berekening). Deze onderhoudskosten geven eerder een gemiddelde weer. Normaal gezien stijgen deze kosten immers over de levensduur van de turbine.

Met bovenvermelde schattingen, kunnen we een aantal vereenvoudigde berekeningen uitvoeren om de *kost per MWh geproduceerde stroom* te bekomen. We laten hier alle steunmaatregelen buiten beschouwing. We doen dit eerst voor *onshore* windenergie en gaan hierbij uit van een onderhoudskost van 39.000 euro per jaar, een levensduur van 20 jaar en een rentevoet van 5% voor de verdiscontering. De hoogste investeringskost is deze van 2008-2009 en de laagste investeringskost zou normaal gezien de in de toekomst de gangbare moeten zijn. Het aantal vollasturen hangt af van de locatie van de windmolen (zie Tabel 8). De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in Tabel 10. Bij de interpretatie ervan moeten we rekening houden met het feit dat deze berekeningen gebaseerd zijn op voorspellingen. Er zal steeds een zekere prijsonzekerheid zijn, alleen al variërende staalpijzen op de wereldmarkt kunnen de voorspellingen in de war sturen.

		Aantal Vollasturen		
		964	1580	2015
Investeringskost per MW	1.228.000 €	142,7 €	87,0 €	68,3 €
	1.100.000 €	132,0 €	80,5 €	63,2 €
	800.000 €	107,0 €	65,3 €	51,2 €

Tabel 10: Vereenvoudigde berekening kost per MWh geproduceerde stroom onshore
(eigen berekening)

We kunnen deze berekeningen ook uitvoeren voor *offshore* windenergie. Investeringskost, onderhoudskost, levensduur en aantal vollasturen zijn dan anders. We gaan hier uit van een onderhoudskost van 90.000 euro per jaar, een levensduur van 25 jaar en een verdisconteringspercentage van 5%. De resultaten zijn opgenomen in Tabel 11. We zien dat de hogere productiefactor en de langere levensduur de hogere kosten van investering en onderhoud grotendeels compenseren. We moeten er echter nog rekening mee houden dat netverliezen hier hoger zullen zijn wanneer de windmolens ver staan van waar de energie wordt verbruikt.

		Aantal Vollasturen		
		2800	2978	3200
Investeringskost per MW	2.450.000 €	94,2 €	88,6 €	82,4 €
	1.815.000 €	78,1 €	73,5 €	68,4 €
	1.200.000 €	62,6 €	58,8 €	54,7 €

Tabel 11: Vereenvoudigde berekening kost per MWh geproduceerde stroom offshore
(eigen berekening)

Om een idee te krijgen van de implicatie van deze prijzen, moeten we de prijzen van alternatieven kennen. De VREG (2008b) publiceert cijfers over de Vlaamse markt. Wanneer we deze cijfers analyseren blijkt dat een gemiddeld gezin de afgelopen jaren (2004-2007) gemiddeld tussen 140 en 150 euro per MWh zou

betaald hebben voor haar elektriciteit. Hiervan is 51% voor de elektriciteit zelf, de rest is voor distributie, transmissie en heffingen. Dit zijn echter verkoopprijzen en die zeggen in principe niks over de kosten. Door de vrijmaking van de energiemarkt hebben we wel info over verkoopprijzen, maar helaas niet over kosten (Vlaamse Milieumaatschappij, 2007). Dat maakt het vergelijken dus niet evident. We kunnen wel kijken naar de groothandelsmarktprijs. Volgens de studie van VITO (2006) brengt evenwichtsverantwoordelijke echter een balancing kost in rekening, waardoor de prijs die in de praktijk wordt betaald voor windenergie, lager is dan de geldende marktprijs. Anno 2006 werd deze balancing kost op 15 euro per MWh geschat, resulterend in een prijs van 20 euro die voor energie werd betaald. Volgens Jo Neyens (ODE, gesprek 24/04/09, Brussel) is een realistische wholesale marktprijs momenteel 38 euro per MWh. Trekken we hier een balancing kost van 15 euro vanaf, bekomen we een vergoeding van 33 euro. Op basis van onze vereenvoudigde berekeningen bekomen we een toekomstige kostprijs van minstens 51 euro voor onshore wind en 55 euro per MWh voor offshore wind. Puur economisch hebben we dus (nog) niet met een rendabele oplossing te maken. De hierboven aangehaalde marktprijs is echter aan veranderingen onderhevig. Momenteel is de druk op de energiemarkt door de economische crisis wat afgezwakt, maar in 2006 konden in België wholesale prijzen tot 65 euro per MWh worden opgetekend (Commissie 2030, 2007, p74). Wanneer we daar in de toekomst opnieuw naartoe zouden gaan, wordt windenergie wel competitief. Volgens het IEA (2007) zal met verdere plaatsingssteun windenergie competitief worden met conventionele technologieën tegen 2015 à 2020. Voor kustwind zal dit waarschijnlijk pas later het geval zijn. Naast dalende investerings- en onderhoudskosten, zien we dus dat ook de energieprijzen van de toekomst een belangrijke invloed zullen uitoefenen op de kostencompetitiviteit van windenergie met klassieke energievormen.

f. Beleidsmatig

Het beleid heeft heel wat invloed op de hierboven geschetste determinanten. In feite kan de overheid zowat alle determinanten beïnvloeden behalve de klimatologische.

Voor *onshore* windenergie is in Vlaanderen in de praktijk voor het plaatsten van kleine en middelgrote²⁹ windturbines een *stedenbouwkundige* vergunning vereist. Voor grote windturbines komt daar een *milieuvergunning* bij. Bovendien worden eisen gesteld voor de bebakening³⁰. De bouwvergunning voor kleine windturbines wordt beoordeeld door het gemeentebestuur. Wie middelgrote en grote turbines wil bouwen, moet zich wenden tot een gewestelijk stedenbouwkundig ambtenaar. Voor de milieuvergunning worden geluid, veiligheid en slagschaduw geëvalueerd (Vlaamse overheid omzendbrief, 2009a). Een stedenbouwkundige vergunning is noodzakelijk daar het om een bouwwerk gaat (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2004). In de praktijk bepaalt de omzendbrief (Vlaamse overheid, 2006) de meeste voorwaarden voor grote windturbines op land. Deze omzendbrief heeft geen bindende kracht, maar duidt de klijntlijnen aan voor het beleid. Bepaalde gebieden worden a priori uitgesloten (bijvoorbeeld natuurgebieden, vogelrichtlijngebieden, etc.). Daarnaast kiest men ervoor om windturbines zoveel

²⁹ Kleine windturbines zijn turbines met een ashoogte tot 15 meter, middelgrote turbines zijn turbines tot 300 kW (Vlaamse overheid omzendbrief, 2009a).

³⁰ Bebakening is het aanbrengen van kleurmarkeringen of (flits)lichten voor de luchtvaart (VEA, 2006).

mogelijk te bundelen. Als reden hiervoor wordt opgegeven dat men zuinig wil omspringen met de nog beschikbare ruimte. Ook andere toepassingen kunnen een invloed hebben. Zo kan luchtvaart bijvoorbeeld hoogtebeperkingen opleggen. Deze elementen beïnvloeden de hierboven besproken ruimtelijke determinant. Ook de ecologische en maatschappelijke determinant wordt met deze omzendbrief beïnvloed. Zo moeten in een lokalisatienota elementen als slagschaduw, geluidshinder, etc. worden toegelicht. Voor geluidshinder gaat men er van uit dat wanneer de dichtstbijzijnde woning zich op meer dan 250 meter bevindt, er geen hinder is. Indien dichterbij, dient een analyse te worden gedaan. Voor slagschaduw wordt een maximum van 30 uur per jaar binnen de bewoonde woning aanvaardbaar geacht. Indien hoger, moet men onderzoeken in hoeverre men ‘remediërende’ maatregelen kan nemen. Tijdens de interviews kwam naar voor dat het krijgen van deze vergunningen geen sinecure is. Bovendien zijn de beperkingen soms zeer streng. Jo Neyens (ODE, gesprek 24/04/09): “In een zone van 30 kilometer rond een radar kan je op dit moment geen windturbines opstellen. Je ziet dat men in het buitenland daar technische oplossingen voor heeft, maar toch mag het niet. In de helft van Brabant kunnen we daardoor geen turbines zetten, terwijl er wel een aantal geschikte locaties zijn.”

Ook *offshore* heeft de overheid een grote invloed. Zij heeft immers de zone afgebakend waar windmolens kunnen komen en kent vergunningen toe. Pas recent zien we bouwwerken verschijnen, maar volgens Chris Derde van VWEA (gesprek, 26/03/09, Sint-Gillis-Waas) had deze evolutie veel sneller gekund. Zowel hij als Johan Malcorps van Groen (gesprek, 12/03/09, Antwerpen) en Bert Gysen van VITO (gesprek 26/03/09, Mol) verwezen naar een aantal plannen nearshore³¹ in 2000-2001. Men wilde toen op enkele kilometers voor de kust windmolens bouwen. Johan Malcorps: “Een vrouw heeft toen klacht ingediend bij de Raad Van State en gelijk gekregen. Daardoor is heel wat potentieel verloren gegaan. Nearshore zijn de transmissiekosten immers lager dan ver in de zee”. Volgens Chris Derde “hadden dit goede projecten kunnen zijn, maar doordat men er niet in geslaagd is de publieke opinie achter zich te krijgen, zijn ze niet doorgegaan.” Bert Gysen vraagt zich af “in hoeveel andere landen die persoon gelijk had gekregen.” Johan Malcorps: “Na een politiek spelletje, heeft men uiteindelijk beslist om voor de kust van Zeebrugge een zone voor windturbines te voorzien”. Via koninklijk besluit (KB 17/05/04) werd een gebied afgebakend van 167 vierkante kilometer (Neyens, 2008). In punt 4.2.2. hadden we het reeds over de drie vergunde projecten in dit gebied. Ook voor de overgebleven ruimtes van de afgebakende zone lopen projecten. De toewijzing ervan laat echter op zich wachten (Marleen Vanhecke, Electrawinds, gesprek 04/05/09, Oostende). Momenteel kan enkel de afgebakende zone gebruikt worden. De federale overheid bepaalt of deze zone ooit nog uitgebreid wordt. Om een offshore windmolenpark te mogen realiseren moet men beschikken over een domeinconcessie, een bouw- en milieuvergunning, een vergunning voor het leggen van kabels in zee, een stedenbouwkundige vergunning voor de kabels op land, een wegvergunning voor de hoogspanningsverbinding en een netkoppelingsvergunning voor de aansluiting op het hoogspanningsnet (Vlaamse Milieumaatschappij, 2007). Op de manier van werken voor de aansluiting op het net van deze offshore projecten had Marleen Van Hecke (Electrawinds, gesprek 04/05/09, Oostende) commentaar: “Momenteel is elk project bezig met zijn eigen kabel. Dat is eigenlijk heel dom. Het zou beter zijn dat er vanuit de overheid een initiatief komt en men de kosten van die kabel

³¹ Offshore maar zichtbaar vanaf de kust.

op zich neemt. (...) Nu moeten wij als ontwikkelaar die kabel zelf in kost nemen. In andere landen worden de kosten hiervan door de overheid gedragen.”

Naast deze vergunningsaspecten, verbonden aan een windmolenproject, heeft de overheid een aantal *steunmaatregelen* ingevoerd. Die bespraken we reeds in punt 2.5.2. In de praktijk zijn het, gezien de grootte van de investering, vooral bedrijven die investeren in windenergie. Concreet kunnen zij een beroep doen op groenestroomcertificaten, de ecologiepremie en een verhoogde investeringsaftrek (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2004).

4.2.4. De toekomst van windenergie

a. Studies in verband met het potentieel van windenergie

Verschillende organisaties hebben potentieelstudies uitgevoerd voor België en/of Vlaanderen. De meest relevante voor windenergie geven we in Tabel 12 weer. Bij de interpretatie van de door hen bekomen resultaten moeten we opletten wat de precieze inhoud van het begrip ‘potentieel’ is. Dat kan immers verschillen van studie tot studie. In de praktijk komt het erop neer dat men rekening houdt met een aantal van de hierboven aangehaalde determinanten, maar ze niet altijd allemaal in rekening brengt. In het kader van deze thesis lijkt het echter niet aangewezen in detail in te gaan op de precieze inhoud van het begrip potentieel in iedere studie. We zullen de studies eerder aanwenden als een bron van informatie om te kijken of een energiebron geschat wordt belangrijk te zijn in de toekomst. Diverse studies geven twee scenario’s weer. Hoewel de interpretatie van deze scenario’s kan verschillen komt het ruwweg neer op het volgende. Het ‘current policy’ of ‘business as usual’ scenario gaat uit van het beleid van de overheid zoals het op dat moment is (gepland). Het ‘advanced renewable strategy’ of ‘proactive’ scenario daarentegen gaat uit van een aantal additionele beleidsmaatregelen.

Bron	Regio	Horizon	Onshore	Offshore	Totaal
ODE Vlaanderen (1997)	VL	2020	1.200	4.500	5.700
Commissie AMPERE (2000)	B	2020	1.200 à 2.400	3.000	4.200 à 5.400
Windplan (VUB en ODE Vlaanderen, 2000)	VL	N.A.	1.700		
MITRE (2003)	B	2020			CP: 3.096 ARS ³² : 5.520
3E (2004)	B	2025	BAU: 2.835 PROA ³³ : 3.875	BAU: 1.500 PROA: 8.016	BAU: 4.335 PROA: 11.891
3E, KUL, RUG (2004)	B	2025		6.300 à 12.600	
VITO en 3E (2005)	VL	2020	BAU: 1.137 PRO ³⁴ : 1.790	BAU: 1.117 PRO: 3.256	BAU: 2.254 PRO: 5.046

Tabel 12: Overzicht potentieelstudies windenergie in België of Vlaanderen (in GWh/jaar)

³² CP: current policies scenario, ARS: advanced renewable strategy scenario

³³ BAU: business as usual scenario, PROA: pro-active scenario

³⁴ BAU: business as usual beleidsscenario, PRO: proactief beleidsscenario. Offshore wordt 60% van het totale Belgische potentieel genomen.

We zien dat verschillende studies een grote toename verwachten voor onshore windenergie. Deze toename zou voor Vlaanderen een vermenigvuldiging met 3,5 tot 6 betekenen ten opzicht van de productie van 333 GWh in 2008 (VREG, 2009a). Vooral voor offshore windenergie zijn de verwachtingen hooggespannen. In de meeste studies zal offshore windenergie tegen 2020 dan ook belangrijker zijn qua productie dan onshore windenergie.

b. Heeft windenergie toekomst in Vlaanderen?

Uit het *onderzoek* bleek dat klimatologisch de kaarten vrij gunstig liggen voor Vlaanderen: ten opzichte van andere landen van Europa beschikt Vlaanderen immers over vrij goede tot middelmatige windsnelheden. Andere determinanten beperken echter het potentieel. Vier factoren werden tijdens de interviews genoemd als zijnde cruciaal.

1. De beschikbare ruimte
2. Maatschappelijk discours: communicatie en NIMBY
3. Beleidsinstrumenten
4. Kost

De eerste beperkende factor, de *beschikbare ruimte*, bleek voor de meeste respondenten de belangrijkste. Marleen van Hecke (Electrawinds) vatte de conclusies van diverse respondenten daar treffend samen: “Momenteel zijn er nog wel wat mogelijkheden, maar het potentieel aan plaatsen waar je windturbines kan plaatsten, zal binnen een paar jaar opgebruikt zijn”. Chris Derde van VWEA (gesprek 26/03/09, Sint-Gillis-Waas) nuanceerde deze beperking echter: “Er is natuurlijk een ruimtelijke beperking in Vlaanderen, maar tot 2030 zien wij een lineaire groei voor onshore windenergie. Dat is al behoorlijk ver vooruit kijken.” Voor hem neemt het *maatschappelijk discours* een zeer belangrijke plaats in: “Het is belangrijk dat projectontwikkelaars voor windenergie het op een goede manier doen. Dat zal bepalen of windenergie verder zal groeien. (...) Hoe we communiceren met de mensen en hoe we met windenergie omgaan is zeer belangrijk.” Ook Prof. Jo Dewulf (gesprek 10/03/09, Gent) verwees naar het maatschappelijke als één van de belangrijkste determinanten voor de groei van het gebruik van windenergie: “Not in my backyard (NIMBY) is één van de belangrijkste determinanten volgens mij.” In zekere zin sprak prof Van Eetvelde (gesprek 23/03/09, Gent) dit tegen. Meteen verwees ze naar een ander probleem: “Ik denk dat de wil tot betrokkenheid vandaag wel bestaat. Vandaag werken echter een aantal *beleidsinstrumenten* tegen. Er zijn er ook die meewerken, zoals de groenestroomcertificaten. Maar die tegenwerkende beleidsinstrumenten zijn zeer belangrijk.” Ze doelt hiermee op de zeer moeilijk te krijgen vergunningen. Ook Luc Henderieckx en Philippe Van den Bosch (Eandis, gesprek 25/02/09, Melle) zagen vergunningen als één van de belangrijkste moeilijkheden. Slechts één van de geïnterviewde personen besteedde aandacht aan het *kostenaspect* van windenergie. Chris Derde (VWEA, gesprek 26/03/09, Sint-Gillis-Waas): “Hoe hoger de olieprijsen stijgen, hoe meer plaats er zal zijn voor windenergie”.

Uit bovenstaande analyse kunnen we *besluiten* dat er een toekomst is weggelegd voor windenergie in Vlaanderen. In de nabije toekomst kan van deze energievorm een belangrijke toename worden verwacht. Haar potentieel is echter niet onbeperkt, gezien het plaatsgebrek waar we in Vlaanderen mee te kampen

hebben. Een aandeel van 10% à 13% in de totale energievoorziening, behoort vermoedelijk tot de mogelijkheden. Willen we dit potentieel ontwikkelen, gelden er echter een aantal belangrijke voorwaarden. De belangrijkste vier halen we hieronder aan.

1. *Goede communicatie*

Ten eerste moet er een goede communicatie zijn naar de burgers toe teneinde het maatschappelijk draagvlak in stand te houden en te verhogen. Het is belangrijk dat mensen de voor- en nadelen van diverse energievormen correct inschatten en dat NIMBY reacties ten opzichte van windturbines zoveel mogelijk worden beperkt. Dit is een gedeelde verantwoordelijkheid van de diverse actoren in de energiesector en de overheid.

2. *Meewerkende beleidsmaatregelen met een lange termijn visie*

Ten tweede moet de overheid haar medewerking verlenen aan de uitbouw van windenergie. Ze dient er voor te zorgen dat beleidsmaatregelen, zoals vergunningen, niet onnodig tegenwerken. Wanneer de technologie ervoor zorgt dat vereisten kunnen wijzigen, dient ze deze wijzigingen ook door te voeren. Wanneer er bijvoorbeeld een oplossing bestaat voor de interactie van windmolens met radars, dient de regelgeving die windmolens verbiedt in de buurt van radars, worden aangepast. Bovendien moet het beleid dat de overheid voert, vrij constant zijn over verschillende regeringen heen. Wanneer investeerders een onzekerheid ervaren, zullen ze immers een grotere return eisen of afzien van hun investering. Op die manier zal een steeds veranderende regelgeving resulteren in een onstabiel investeringsklimaat.

3. *Passende steunmaatregelen*

Ten derde zullen steunmaatregelen in stand moeten gehouden worden zolang windenergie niet competitief is met klassieke energiebronnen. Ook hier is een centrale rol weggelegd voor de overheid. We zijn er ons echter van bewust dat er voor- en tegenstanders van deze steunmaatregelen zijn. Naar ons inziens, is er een dubbele rol weggelegd voor deze maatregelen.

a. *Correctie prijsvorming van de markt*

Op lange termijn zou de overheid er idealiter voor moeten zorgen dat de marktprijs voor verschillende energiebronnen, zowel de hernieuwbare als de klassieke, correct is. Vandaag worden immers diverse externe effecten, zoals milieu-impact, en voordelen niet gewaardeerd door de markt. In afwachting van een correctere prijsvorming kunnen steunmaatregelen worden aangewend ter compensatie. Een aantal voordelen van windenergie kunnen op die manier mee in rekening worden gebracht. Zo is de milieu-impact van deze energievorm lager dan deze van de klassieke energievormen. Bovendien zagen we in de analyse dat eens een windturbine is gebouwd, deze nagenoeg onafhankelijk is van import en van fluctuaties op de markt. Dit in tegenstelling tot onze 'klassieke' energievormen, die allen afhankelijk zijn van import, en dus van fluctuerende of stijgende prijzen. Deze zekerheid over toekomstige kosten, is een element dat een hogere waardering verdient ten opzichte van onzekerheid.

b. *Ondersteuning van de ontwikkeling van windenergie*

Een tweede rol is weggelegd voor steunmaatregelen als tijdelijke maatregel om de ontwikkeling van windenergie te steunen. In iedere nieuwe sector moet immers eerst worden geïnvesteerd, zeker wanneer er technologische ontwikkelingen bij komen kijken, vooraleer de vruchten ervan kunnen geplukt worden. Op die manier is het zinvol steunmaatregelen aan te houden zolang ze

resulteren in significante prijsdalingen en er bovendien vooruitzichten zijn dat de energievorm, mits een correcte prijsvorming, ooit prijscompetitief zal worden met de 'klassieke' energievormen. Zoals we zagen in punt 4.2.3.e. zijn deze vooruitzichten voor windenergie aanwezig. Bovendien blijken we een aanzienlijke achterstand te hebben ten opzichte van onze buurlanden. Niemand weet precies wat de toekomst zal brengen, maar energie neemt een zodanig belangrijke plaats in in onze maatschappij dat we ons niet kunnen permitteren om achter te blijven.

4. *Verbetering van de interactie met het net*

Ten vierde dient het onderzoek nog enkele problemen met deze energievorm op te lossen. Op zich is windenergie een vrij ver ontwikkelde technologie, maar vooral op het vlak van interactie met het net, bleken nog wat verbeteringen mogelijk. Eens goede oplossingen zijn ontwikkeld, dienen de actoren in de energiesector deze te implementeren.

4.3. Zonne-energie

4.3.1. Definitie en werking van zonne-energie

Het IEA (2007, p23) definieert *zonne-energie* als “de zonnestraling gebruikt voor het produceren van warm water en het genereren van elektriciteit.” Wij zijn geïnteresseerd in zonne-energie voor het genereren van elektriciteit. Momenteel bestaan hier twee bekende technologieën voor. De nieuwste technologie is de concentrating solar power (CSP) waarbij zonne-energie wordt aangewend voor de thermische productie van elektrische energie met behulp van spiegels en lenzen. Deze technologie behoort tot de derde generatie technologieën en zou enkel toepasbaar zijn voor direct invallende zonnestraling. Hierdoor is het alleen interessant in zonnrijke streken (Willems, 2005 en IEA, 2007). Bijgevolg heeft het geen zin hier een onderzoek aan te wijden voor Vlaanderen. We kunnen ons dus concentreren op de meest bekende technologie, namelijk deze gebaseerd op fotonvoltaïsche cellen. Het woord fotonvoltaïsch betekent letterlijk ‘licht-elektriciteit’. Het is immers afkomstig van de combinatie van het Griekse *phos* (licht) en Volta, onderzoeker van elektriciteit (ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid, 2007).

In fotonvoltaïsche zonne-energiesystemen wordt het opgevangen licht rechtstreeks omgezet in elektriciteit door zonnecellen. Deze zonnecellen bestaan uit een dun plaatje halfgeleidend materiaal dat alleen goed elektriciteit geleid als er licht opvalt (ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid, 2007). Voor commerciële doeleinden gebruikt men tegenwoordig bijna uitsluitend silicium als halfgeleidermateriaal. Dat levert momenteel immers de meest rendabele oplossing. Er zijn verschillende types silicium-zonnecellen: monokristallijne, polykristallijne en amorfe. Het verschil zit in de manier waarop de siliciumatomen zijn geordend in de zogenaamde siliciumstructuur. Tabel 13 geeft een overzicht van de toepasbare celtechnologieën (Vlaamse MilieuMaatschappij, 2007, p87).

Materiaal		Structuur	Productietechnologie
Silicium (Si)		Monokristallijn (m-Si)	Wafers (plakken)
		Polykristallijn (p-Si)	
Koper-indium-di-selenide (CuInSe ₂) of (CIS)	III-V-verbindingen	Polykristallijn	Dunne film
Cadmium-telluride (CdTe)			
Gallium-arsenide (GaAs)			
Organisch materiaal (foto-elektrochemische cel)		Amorf	

Tabel 13: Indeling van de toepasbare celtechnologieën
(Vlaamse Milieumaatschappij, 2007, p87)

Omdat meestal kristallijn silicium wordt gebruikt, gaan we even in op dit type zonnecel. Uit het basismateriaal worden dunne schijven ('wafers') gezaagd (Vlaamse Milieumaatschappij, 2007). Door chemische bewerkingen geeft men die een negatieve bovenlaag en een positieve bovenlaag. Wanneer er zonlicht op de zonnecel valt, wordt de energie van de fotonen uit zonlicht omgezet in energie van elektrisch geladen deeltjes. Daardoor ontstaat een potentiaalverschil en wordt gelijkstroom opgewekt. Deze gelijkstroom kan na omzetting in wisselstroom rechtstreeks op het elektriciteitsnet worden geplaatst. Ook diffuus zonlicht kan op deze manier worden omgezet (Willems 2005). In de praktijk werkt men niet met losse zonnecellen. Een aparte zonnecel wekt immers slechts een kleine stroom en lage spanning op en is bovendien breekbaar en vochtgevoelig. Daarom gaat men verschillende zonnecellen verbinden in een fotovoltäische module (PV-module). Verschillende modules worden op hun beurt aan elkaar geschakeld en gekoppeld aan batterijen of via omvormers op het elektriciteitsnet aangesloten. Zo ontstaat een fotovoltäisch systeem (PV-systeem) (ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid, 2007). Wij zijn geïnteresseerd in PV-systemen die op het net zijn aangesloten. De omvormer of invertor, een toestel dat in verdere analyse nog zal worden vernoemd, zet hier gelijkstroom om in wisselstroom. Figuur 9 geeft een overzicht van de gehanteerde begrippen.

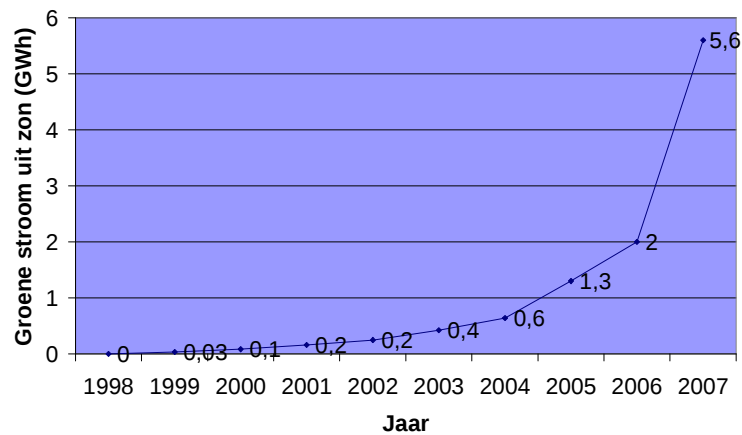


Figuur 9: Begrippen zonne-energie

4.3.2. Evolutie tot nu toe

Op basis van cijfergegevens van de studiedienst van de Vlaamse Regering (2008, zie bijlage 3) kunnen we het verloop van de elektriciteitsproductie uit zonne-energie van naderbij bekijken. Figuur 10 geeft deze evolutie grafisch weer. Het gros van de verklaringen voor deze evolutie is gelijklopend aan deze voor windenergie. De eerste steunmaatregelen van 1995 en 1998, de groene franken, gaven ook hier een eerste aanzet (ODE Vlaanderen, VITO en 3E, 2004). We zien dat dit voor zonne-energie evenwel leidde tot een

zeer magere elektriciteitsproductie. In 2002 werd 0,2 GWh aan groene stroom uit zonne-energie geproduceerd, ten opzichte van meer dan 56 GWh uit windenergie. Na de introductie van de groenestroomcertificaten in 2002 kwam de groei echt op gang. De laatste jaren zijn er spectaculaire groeicijfers waar te nemen. Zo zien we in 2007 een toename met 140%. Volgens de gegevens van de VREG (2009a) werden er in 2008 voor 33 GWh groenestroomcertificaten toegekend, overeenstemmend met een geïnstalleerd vermogen van ongeveer 40 MW. Tussen 2007 en 2008 is de productie aan groene stroom uit zonne-energie dus nog eens verzesvoudigd. In eind maart 2009 waren er al voor 88 MW installaties vergund. Het lijkt hier dus te gaan om een technologie in volle expansie. De enige reden die hiervoor tijdens de interviews naar voor kwam, zijn de steunmaatregelen van de overheid. In vergelijking met windenergie, waar voor 333 GWh certificaten werden toegekend, is een productie van 33 GWh (of 75 GWh op basis van de meest recente gegevens) natuurlijk nog vrij laag. Interessant om weten is dat momenteel 16.500 installaties certificaten krijgen voor zonne-energie in Vlaanderen ten opzichte van 45 voor windenergie op land (VREG, 2009a). We hebben hier te maken met een gefragmenteerde productie van energie, waaraan zowel gezinnen als bedrijven deelnemen.



Figuur 10: Hoeveelheid geproduceerde groene stroom uit zonne-energie (GWh), cijfermateriaal afkomstig van de studiedienst van de Vlaamse Regering (2008)

Fotovoltaïsche zonne-energie is voorlopig vooral een Europese zaak (Noels, 2008). In 2007 was vooral Duitsland koploper met een geïnstalleerd vermogen van 1.100 MW, terwijl er wereldwijd 2.392 MW stond opgesteld. In België stond op dat moment 18 MW. In 2008 realiseerde Spanje echter een belangrijke inhaalbeweging, resulterend in een opgesteld vermogen van 2.511 MW. In totaal stond toen wereldwijd 5.449 MW opgesteld, waarvan 1.500 in Duitsland en slechts 48 MW in België. Meen dan de helft van het geïnstalleerd vermogen is staat dus in twee landen. Ten opzichte van deze landen hebben we te maken met een aanzienlijke achterstand. Ten opzichte van de meeste andere landen blijkt deze achterstand echter mee te vallen of onbestaande. Zo stond in 2008 in Frankrijk 46 MW en in Portugal 50 MW aan geïnstalleerd vermogen (EPIA, 2009).

4.3.3. De determinanten van zonne-energie

Tabel 14 vat de resultaten van het onderstaande onderzoek en dus de antwoorden op onderzoeksvraag één samen.

Determinant	Beschrijving
Klimatologisch	▪ Geografisch: aanbod aan zon ▪ Variabiliteit in de tijd: dag- en seizoensschommelingen, equivalente gebruiksduur 750 à 800 uur/jaar, beperkte voorspelbaarheid
Ruimtelijk	▪ Vereist ruimte, reeds grote druk op beschikbare ruimte, maar kan op gebouwen
Technologisch	▪ Nog vrij veel potentieel voor verbetering ▪ Rendementen: zonnecel 13-15%, invloed diverse factoren, beschikbare vermogens: modulair, probleem interactie met het net
Ecologisch en maatschappelijk	▪ Constructie: energierugverdientijd 5 jaar, toxische materialen en schadelijke stoffen ▪ Gebruik: geen brandstof/uitstoot, geluidloos ▪ Na gebruik: recyclagesector moet nog ontstaan
Economisch	▪ Investeringskost (hoog): 6 miljoen per MW in 2007, daling van 5 à 10% per jaar ▪ Werkingskost: nauwelijks ▪ Levensduur: minimum 20 jaar ▪ Resultaat vereenvoudigde berekening elektriciteitskost: vandaag tot 650 €/MWh, kan dalen tot 60 €/MWh over 20 jaar
Beleidsmatig	▪ Vergunningen: op gebouwen vaak geen, moeilijk voor andere lokaties, toestemming netbeheerder, keuring ▪ Steunmaatregelen: groenestroomcertificaten, belastingsaftrek, subsidies gemeenten en provincies, terugdraaiende teller, verlaagd BTW tarief

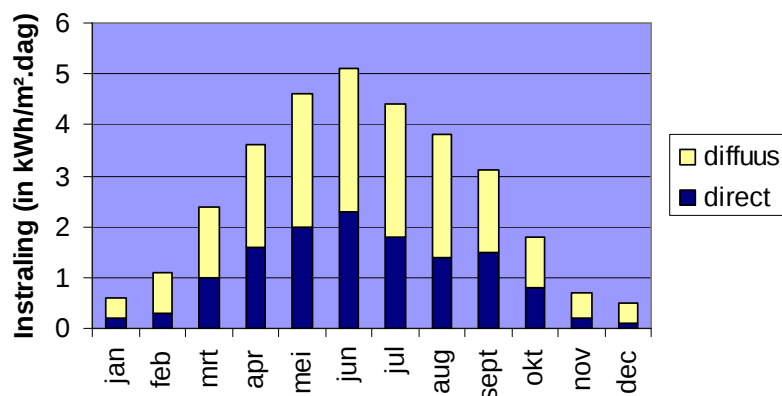
Tabel 14: *Samenvattende tabel zonne-energie*

a. Klimatologisch

Volgens ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid (2007, p2) is “de totale zonstraling per jaar op de totale aardoppervlakte gelijk aan 10.000 maal de totale wereldenergievraag per jaar. Het is de kunst om dat aanbod zo goed mogelijk op te vangen en in nuttige energievormen om te zetten tegen aanvaardbare prijzen.” We mogen echter niet uit het oog verliezen dat er niet op iedere plaats en op ieder moment evenveel zonneschijn is. Bovendien is zonne-energie, net als windenergie, geen product dat op de internationale markt wordt verhandeld. We moeten dus uitgaan van het bestaande aanbod op ons grondgebied.

Geografisch moeten we kijken hoeveel zon we op ons grondgebied hebben. We weten allemaal dat onze regio niet de meest bevoordeelde is op dat vlak. Fotovoltaïsche cellen bieden gelukkig het voordeel ook diffuus licht te kunnen omzetten (Willems, 2005). Ook in de *tijd* varieert het aanbod aan zonne-energie. Zon heeft immers een uitgesproken dag- en seizoenscyclus. De variaties in tijd en ruimte resulteren in een

gemiddelde gebruiksduur van 750 à 800 uur per jaar in Vlaanderen en iets meer dan 1.000 uur per jaar in zonnrijke gebieden (Willems, 2005). Net als bij wind vertellen de gemiddeldes niet het ganse verhaal. Ze vertellen immers niks over de variatie op zich. Figuur 11 geeft de gemiddelde zonne-instraling weer in Ukkel verspreid over een jaar. Merk op dat deze gemiddeldes complementair zijn aan deze van windenergie. Wanneer we Figuur 7 (supra, p24) erbij nemen, zien wat dat er in de maanden dat er weinig zonne-energie is, veel windenergie blijkt te zijn, en omgekeerd. Mogelijk kan het gecombineerd gebruik van wind- en zonne-energie de variatie in elektriciteitsproductie uit deze energiebronnen afzwakken. Ook bij zonne-energie hebben we echter te maken een ‘beperkte voorspelbaarheid’. Volgens Jo Neyens (ODE, gesprek 24/04/09, Brussel) is de voorspelbaarheid bij zonne-energie lager dan voor windenergie. Wind evolueert immers trager dan de hoeveelheid zonneschijn.



Figuur 11: Maandgemiddelde zonne-instraling op een horizontaal vlak in Ukkel, opgesplitst in direct en diffuus licht (in kWh per m² per dag, ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid, 2007, p3)

b. Ruimtelijk

Ruimtelijk is de beschikbare ruimte die bovendien geschikt is, van belang. Ook hier kunnen we dezelfde bemerking maken als bij wind: we leven in een land waar ruimte schaars is. Toch kunnen we de nodige ruimte voor zonne-energie niet helemaal over dezelfde kam scheren. We hebben hier immers te maken met een ander type constructie. In plaats van een reusachtig bouwwerk, gaat het om een aantal aan elkaar geschakelde modules. Deze kunnen in open ruimtes worden opgesteld, maar ook op gebouwen. Op die manier wordt de open ruimte waar in Vlaanderen zuinig mee moet worden omgesprongen, niet verder ingenomen. Opstelling op gebouwen bespaart op draagstructuren en hindert op geen enkele manier de normale menselijke activiteiten in of rond het gebouw (ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid, 2007). Prof. Greet Van Eetvelde (gesprek 23/03/09, Gent) zag ook mooie toepassingen op de grond: “Men moet inderdaad voorzichtig zijn met de ruimte, maar die ruimte die op geen enkele andere wijze kan worden gebruikt, kan wel nuttig zijn voor zonne-energie. (...) Rond bedrijventerreinen is er bijvoorbeeld vaak een hele niet bebouwbare zone.” Bert Gysen van VITO (gesprek 26/03/09, Mol) maakt hier echter een kanttekening bij: “Je moet dan wel opmerken dat er op die plaats geen bomen kunnen geplaatst worden. Op die manier kom je in een soort van conflictsituatie. Dergelijke conflicten duiken wel vaker op bij hernieuwbare energie. Men gaat herbebossen om CO2 te reduceren, maar dan kan men geen

zonnepanelen plaatsen. Elke keuze die je maakt heeft een bepaald nadeel.” Eric Van Assche (Soltech, gesprek 25/03/09, Tienen) zag een mooie toepassing in de ruimtes tussen de landingsbanen van de luchthaven. In de praktijk zien we dat in Vlaanderen zonnepanelen worden geplaatst op hellende daken, platte daken, aan gevels, op beglaasde daken en in zonneweringen. Daarnaast zijn er niet-gebouwgebonden PV-systemen zoals PV-centrales, toepassingen op bushaltes, boeien, etc. (ODE Vlaanderen en het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2004). Een studie van Fthenakis en Chul Kim (2009) wees uit dat het landgebruik over de totale levensduur van een PV-systeem over het algemeen kleiner is dan voor wind, waterkracht en energieteelten.

Laat ons opnieuw eens kijken hoeveel ruimte we nodig zouden hebben om onze elektriciteitsbehoefte volledig via zonnepanelen te vervullen. Een PV-paneel met een oppervlakte van één vierkante meter zou volgens ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid (2007) gemiddeld iets meer dan 100 kWh per jaar opleveren (zie verder in punt c). Wanneer we ervan uitgaan dat onze elektriciteitsvraag 50.000 GWh per jaar bedraagt, hebben we dus 500 vierkante kilometer aan zonnepanelen nodig of bijna 4% van de oppervlakte van Vlaanderen (eigen berekening³⁵).

c. Technologisch

Op technologisch vlak bekijken we opnieuw omzettingsrendementen, beschikbare vermogens en interactie met het elektriciteitsnet. Belangrijk is dat deze technologie nog constant aan veranderingen en verbeteringen onderhevig is. Als gevolg van wetenschappelijk onderzoek is zonne-energie de energievorm waarvan de mogelijkheden nog het meest kunnen toenemen (Willems, 2005). Volgens Jäger-Waldau (2005) is er nog een continue verbetering van de zonnecel en de systeemtechnologie vereist.

Volgens Bert Gysen van VITO (gesprek 26/03/09, Mol) zijn *rendementen* van de omzetting van zonne-energie naar elektriciteit nog problematisch en zijn ze 10 à 12%. Eric Van Assche van Soltech (gesprek 25/03/09, Tienen) had het over rendementen van 15 à 16%. Volgens Willems (2005) worden momenteel rendementen gehaald van 5 tot 25%. We moeten evenwel voorzichtig zijn met al deze getallen en dus de interpretatie van rendement. Volgens Prof Lieven Vandeveld (gesprek 23/03/09, Gent) bestaat er nog heel wat discussie over hoe de rendementen van zonne-energie juist moeten worden bepaald. Kazmerski (2005) heeft het over drie kloven die het rendement van zonnepanelen verminderen. Toekomstig onderzoek zou zich in de eerste plaats moeten toespitsen op het reduceren van deze kloven.

- Het verschil tussen de theoretische limieten en wat onder laboratoriumomstandigheden wordt bekomen. Een van de redenen voor dit verschil zijn de verliezen inherent aan het conversieproces.
- Het verschil tussen de efficiëntie van cellen in laboratoriumomstandigheden en deze van cellen die commercieel geproduceerd worden.

³⁵ Merk opnieuw op dat dit een heel simplistische redenering is. We maken hier eveneens gebruik van een aantal sterke vereenvoudigingen. Zo gaan we ervan uit dat de variabiliteit in het aanbod geen probleem vormt en dat dus alle elektriciteit geproduceerd door zonnepanelen kan worden aangewend om aan onze elektriciteitsvraag te voldoen. Bovendien maken we gebruik van een vrij optimistische toekomstige elektriciteitsvraag van 50.000 GWh. Anno 2007 bedroeg die nog 61.000 GWh (studiedienst van de Vlaamse regering, 2008).

- Het verschil tussen de celefficiëntie en deze van modules. Een van de oorzaken hiervan zijn de verliezen die ontstaan bij het verbinden van cellen in circuits.

We zien dus dat er een verschil is tussen het rendement van zonnecellen en PV-modules. We kunnen aanvullen dat zelfs PV-systemen nog een verschillend rendement zullen hebben. Ook theoretisch, laboratorium en commercieel geproduceerde toepassingen verschillen qua rendement.

In feite resulteert het rendement in een concentratie aan vermogen per vierkante meter (gesprek Jo Neyens, ODE, 24/04/09, Brussel). Het *vermogen per vierkante meter en rendement van een zonnecel* zijn afhankelijk van het type zonnecel dat wordt gebruikt. Zoals we in punt 4.3.1. (Tabel 13) konden zien zijn er verschillende materialen en technologieën mogelijk. We zagen dat voor commerciële toepassingen vandaag bijna uitsluitend silicium wordt gebruikt (Vlaamse Milieumaatschappij, 2007) en dat er van dit materiaal drie types structuren zijn: monokristallijn, polykristallijn en amorf. Deze hebben elk hun eigen rendementen. Een commercieel geproduceerde monokristallijne zonnecel zou een typisch rendement hebben van 15%, een polykristallijne 13% (ODE Vlaanderen en de Vlaamse Overheid, 2007). Onderstaande tabel illustreert het vermogen en de opbrengst per vierkante meter voor de verschillende types zonnecellen in Vlaanderen (ODE Vlaanderen en Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2004). Meer nog dan bij windenergie, zijn deze rendementen aan constante verbetering onderhevig (Kazmerski, 2005 en Vlaamse Milieumaatschappij, 2007). Volgens het European Photovoltaic Technology Platform (2007) kunnen tegen 2030, naargelang het type zonnecel, rendementen van 25 tot 40% worden gehaald. Op langere termijn zelfs 40 tot 60%.

Type zonnecellen	Vermogen per m ² (Wp/m ²)	Oppervlakte per kWp (m ² /kWp)	Opbrengst per m ² (kWh/m ²)
Monokristallijn Si	135-168	7,4-6	113-141
Polykristallijn Si	121-138	8,3-7,2	102-116
Amorf Si	54-63	18,5-15,9	45-53

Tabel 15: *Vermogen en opbrengst per m² voor verschillende types zonnecellen*
(ODE Vlaanderen en Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2004, p12)

Wanneer we het *systeemrendement* willen bepalen in praktijktoepassingen, zie we dat vele zaken hier een invloed op hebben:

- *De oriëntatie en hellingshoek van de modules.* De jaaropbrengst is maximaal bij een bepaalde oriëntatie en hellingshoek. Deze zijn afhankelijk van de oriëntatie van het grondgebied ten opzichte van de zon en dus van de plaats op aarde waar de zonne-energie wordt aangewend (gesprek Eric Van Assche, Soltech, 25/03/09, Tienen). In België wordt de maximale jaaropbrengst gehaald voor een naar het zuiden gerichte opstelling met een hellingshoek van 36°. Er is een zone waarin de jaaropbrengst slechts 5% lager dan dit maximum ligt. Deze zone bestaat uit de oriëntaties tussen zuidoost en zuidwest en hellingshoeken tussen 20 en 60° (bij zuidwaartse opstelling). Wanneer de PV-modules verticaal aan de gevel van een gebouw worden bevestigd - de hellingshoek is dan 90° - leveren deze 25 tot 30% minder energie op dan de ideale opstelling, wat nog vrij veel is. Dit komt door het grote aandeel van indirect licht uit alle richtingen (diffuus licht), waarin nog voldoende

energie zit voor zonnecellen (ODE Vlaanderen en de Vlaamse Overheid, 2007). Voor hellende daken is men afhankelijk van de aanwezige hellingen en oriëntaties. Voor platte daken kan men de oriëntatie en helling zo kiezen dat ze ideaal zijn (ODE Vlaanderen en Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2004).

- *Beschaduwing*. De schaduw van elementen uit de omgeving (zoals bomen, andere gebouwen, etc.) of zelfs een kleine schaduw op één enkele plek, kan de opbrengst van een PV-systeem drastisch verminderen. Zonnecellen worden normaal immers in serie geschakeld. ODE Vlaanderen en de Vlaamse Overheid (2007, p29) vergelijken het met “een tuinslang vol water die op één plek wordt dichtgeknepen: er komt nauwelijks nog water uit.” Als gevolg van schaduw kan de module op termijn schade oplopen. Bij ontwerp en opstelling van PV-systemen houdt men hier dus best goed rekening mee (ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid, 2007). Voor zonnecellen in de buurt van de zee zouden, volgens Prof. Greet Van Eetvelde (gesprek 23/03/09, Gent), de vele meeuwen dus een invloed kunnen hebben op het rendement.
- *Opwarming van modules*. Vanaf 25°C daalt het rendement van een zonnecel met ongeveer 0,5% per graad. Voor een zonnecel met een rendement van 25% bij 25°C zal het werkelijke rendement bij 75°C een kwart zijn gedaald tot 11%. Door ventilatie achter de modules kan opwarming worden beperkt. Bij inbouw zonder ventilatie zouden temperaturen in de zomer kunnen oplopen tot 40°C boven de omgevingstemperatuur. Daardoor daalt de totale jaaropbrengst met meer dan 5% (ODE Vlaanderen en de Vlaamse Overheid, 2007).
- *De inverter en opbrengstverliezen in de elektrische bekabeling*. Indien goed gekozen, is de invloed van de inverter beperkt. In bekabeling treden steeds weerstandsverliezen op (ODE Vlaanderen en de Vlaamse Overheid, 2007).
- *Vervuiling en reiniging*. Volgens prof. Greet Van Eetvelde (gesprek 23/03/09, Gent) is de invloed van luchtverontreiniging nog te weinig onderzocht: “Verontreiniging, van welke aard ook, kan een invloed hebben. Voor Vlaanderen kan dit perfect het geval zijn, want we bevinden ons in de vuile sikkel van Europa.” Dit is dus een element dat nog onderzocht moet worden. Bert Gysen van VITO (gesprek 26/03/09, Mol) wil met zijn organisatie dit aspect alvast onderzoeken. Hij vult aan: “Leveranciers van zonnepanelen zeggen dat de panelen zelfreinigend zijn maar dit wordt in twijfel getrokken. Men beweert dat door de regen alles wordt afgespoeld, maar wanneer het in juli drie weken niet regent, zou het rendement kunnen dalen. In verkennende onderzoeken zien we alvast verschillen in rendement voor en na reiniging.”
- *Leeftijd van het systeem*. Bert Gysen (VITO, gesprek 26/03/09, Mol): “Zonnecellen verliezen rendement in de tijd.” De meeste producenten garanderen 90% van het piekvermogen gedurende 10 jaar, sommigen garanderen 80% gedurende 20 jaar (ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid, 2007).

Op basis van al deze elementen zal men in de praktijk per specifieke toepassing, in combinatie met de gemiddelde gebruiksduur, berekenen wat het systeemrendement en de jaarlijkse opbrengst gemiddeld zullen zijn (ODE Vlaanderen en de Vlaamse Overheid, 2007). In wezen is het rendement enkel belangrijk is voor de hoeveelheid die zonnepanelen die men nodig heeft om in een bepaalde elektriciteitsproductie te voorzien. Bijgevolg bepaalt het rendement enkel de nodige ruimte en de investeringskost. Er wordt immers geen ‘brandstof’ verbruikt.

Qua *beschikbare vermogens* hebben we hier een ietwat andere situatie dan bij wind. Het gaat niet om hoge vermogens die in één bouwwerk worden gerealiseerd, maar een aantal modules die naar wens aan elkaar kunnen worden geschakeld. Daardoor kunnen ze naargelang de behoeften en de financiële mogelijkheden per kleine serie worden opgesteld. Bovendien kan men bestaande systemen eenvoudig uitbreiden (ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid, 2007). Bij dit laatste werd door Prof. Lieven Vandeveld (gesprek 23/03/09, Gent) echter een kanttekening gemaakt: “Het feit dat zonnepanelen modulair zijn en dus naar behoeven kunnen worden uitgebreid, is relatief. Een omvormer moet immers gedimensioneerd zijn op basis van de volumes die je hebt, zodat hij gedurende de maximale tijd het beste rendement oplevert. Wanneer je uitbreidt, moet je dus die omvormer aanpassen.” Meteen voegt hij eraan toe dat omvormers of invertors vandaag vaak nog voor problemen zorgen. Daardoor moeten ze vaak na 5 tot 10 jaar vervangen, wat een belangrijke nieuwe investering inhoudt.

Qua *interactie van de geproduceerde elektriciteit met het net*, zien we hier, net als bij wind, problemen opduiken. Het aanbod van deze energievorm varieert immers sterk, waardoor interactie met het elektriciteitsnet niet altijd even evident is. Prof. Jo Dewulf (gesprek 10/03/09, Gent) illustreert: “Wind en zon zijn beide flows uit de natuur. Die flows vang je op, maar ze zijn er niet altijd op momenten dat je ze nodig hebt.” ODE Vlaanderen en de Vlaamse Overheid (2007, p12) zeggen dat zonne-energie geen onstabiliteit op het net veroorzaakt, “op voorwaarde dat het aandeel van deze technologie niet groter wordt dan 10% van het totale opgewekte vermogen.” Opnieuw kunnen we ons de vraag stellen waar dit getal vandaan komt en wat het precieze probleem is. Omdat deze analyse vrij gelijkaardig is aan deze voor wind, lijkt het niet aangewezen ze hier opnieuw te doen. We verwijzen dan ook naar punt 4.2.3.c. We moeten echter in het achterhoofd houden dat we hier meestal te maken hebben met kleine vermogens, die op het laagspanningsnet worden aangesloten (Prof. Lieven Vandeveld, gesprek 23/03/09, Gent). We beschikken vandaag immers over 16.500 installaties die op het net moeten worden aangesloten, terwijl het er voor wind slechts 45 zijn (VREG, 2009a). “Op die manier heb je decentrale productie op de plaats waar de energie wordt verbruikt. Probleem is wel dat inwoners van huizen met zonnepanelen op de momenten dat veel energie wordt opgewekt, overdag, vaak niet thuis zijn, waardoor een faseverschuiving kan optreden. Dat kan je oplossen met slim netbeheer” (gesprek Jo Neyens, ODE, 24/04/09, Brussel). Prof. Lieven Vandeveld (gesprek 23/03/09, Gent) vult aan: “Het distributienet is gemaakt om top-down te werken. Normaal zakt de spanning dan naar het einde van de lijn. Wanneer we vermogen aan de onderkant bijsteken, kunnen we andere situaties krijgen waarbij de spanning kan oplopen (...) en het net kan worden scheefgetrokken.”

d. Ecologisch en maatschappelijk

Tijdens hun werking veroorzaken geïnstalleerde PV-installaties nagenoeg geen milieuhinder: geen gasuitstoot, geen lawaaihinder, geen afvalstoffen (ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid, 2007). Enkel eventuele visuele hinder zou als nadeel kunnen worden opgeworpen. Prof. Lieven Vandeveld (gesprek 23/03/09, Gent) nuanceert: “Visueel heeft het minder impact dan een windmolen.”

Toch zou het fout zijn de impact van PV-installaties op het milieu als nihil te beschouwen. De systemen moeten immers worden geproduceerd, en dat vereist de nodige energie. In vergelijking met windenergie, vereist de *constructie en het transport* van zonnecellen momenteel vrij veel energie. Er zijn heel veel onderzoeken terug te vinden naar de energierugverdiëntijd van een PV-systeem. Deze is echter afhankelijk van de hoeveelheid energie nodig voor de productie, de efficiëntie van de module en de hoeveelheid zonneshij (Pacca, Sivaraman, Keoleian, 2007). Om een idee te hebben van de grootteorde van zo'n terugverdiëntijd, bekijken we de studie van Alsema et al (2000). Daaruit blijkt dat de eerste stap in het productieproces, de winning en het zuiveren van de silicium, de grootste energieverbruiker is. Die is immers verantwoordelijk voor bijna de helft van de totale energie nodig voor een module. In totaal schatten Alsema et al (2000) de energierugverdiëntijd voor toepassingen op daken op 4 tot 5 jaar in landen met vrij lage zonneshij in Midden Europa. Deze terugverdiëntijd verschilt naargelang het type technologie waarbij dunne film relatief het minste energie vereist, kristallijne toepassingen het meest. In zonnrijke gebieden kan deze terugverdiëntijd minder dan 2,5 jaar bedragen. De auteurs erkennen echter dat deze terugverdiëntijd in de toekomst kan dalen. Volgens Jo Neyens (ODE, gesprek 24/04/09, Brussel) zit men momenteel voor kristallijne toepassingen onder de 3,5 jaar, gerekend voor West-Europa. Naast deze energievereisten, worden bij de constructie van zonnecellen en de elektronische randapparatuur toxische materialen gebruikt en worden er schadelijke stoffen als Cadmium en Arseen geproduceerd. Wanneer reststoffen uit de micro-elektronica hiervoor worden gebruikt, kan men zich de vraag stellen of deze milieubelasting volledig aan de zonne-energie mag worden toegeschreven (Willems, 2005). ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid (2007) stellen dat de uitstoot van gasen per geleverde kWh 5 tot 10 keer lager ligt dan bij elektriciteitsproductie met fossiele brandstoffen. Bovendien vindt deze uitstoot alleen plaats vooraleer het PV-systeem wordt gebruikt voor elektriciteitsproductie.

Ook de impact op het milieu *na afloop* van de levensduur moet bekeken worden. Momenteel stelt zich dit probleem nog niet, daar het einde van de levensduur van modules in veel gevallen nog niet bereikt is (gesprek prof. Dewulf, 10/03/09, Gent). Toch onderzoekt men momenteel in verschillende internationale projecten hoe zonnecellen van 'versleten' PV-modules terug gebruikt kunnen worden. De levensduur van de PV cel zelf is immers veel langer dan die van de PV module (Radziemska en Ostrowski, 2008). Zowel de energie-inhoud als de productieprijs zouden hierdoor drastisch kunnen dalen. Prof Greet Van Eetvelde (gesprek 23/03/09, Gent) erkent dat er op dit vlak nog heel wat werk aan de winkel is: "Binnen 20 jaar zullen we problemen zien qua recyclage. Het is absurd daar nu niet aan te denken." Volgens Jo Neyens (ODE, gesprek 24/04/09, Brussel) is men hier wel volop mee bezig: "Technisch is het probleem opgelost, het is vooral kwestie van het te implementeren (...) Het luxeprobleem is dat we nog niet zoveel kapotte modules hebben. Over 20 jaar zullen we die recyclage wel echt nodig hebben."

e. Economisch

De belangrijkste problemen van zonne-energie zijn economisch van aard. De kostprijs van PV-toepassingen is immers nog zeer hoog (Willems, 2005). Toch kunnen ze volgens Abulfotuh (2007) bij een voldoende lange levensduur, een kostenefficiënte oplossing bieden in diverse toepassingen. Zo kan zonne-energie in afgelegen landbouwgronden een alternatief vormen voor de, door de afstand dure, aansluiting

op het net. Daar Vlaanderen dicht bevolkt is, vormt aansluiting op het net geen groot obstakel. Wij zijn ook op zoek naar hernieuwbare energie die op het net kan worden geïnjecteerd. Voor deze toepassing, blijkt uit het onderzoek van de onrendabele top dat in punt 2.6. werd besproken, dat we hier met een relatief dure oplossing te maken hebben. Toch hebben volgens het IEA (2007) grote R&D inspanningen geleid tot enorme kostendalingen: elke verdubbeling van het geproduceerd volume ging gepaard met een kostendaling van ongeveer 20%. VITO (2006) heeft het over een halvering van de investeringskost in de afgelopen 10 jaar. ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid (2007) beamen dat de prijzen voor deze PV-systemen de laatste jaren voortdurend zijn gedaald, een trend die zich zou doorzetten en zou versterkt worden door toenemende massaproductie en door een spectaculaire groei van de wereldmarkt. Laten we investerings- en werkingskosten eens van naderbij bekijken.

Volgens VITO (2006) bedroeg de *investeringskost* voor netgekoppelde PV-systemen anno 2006 ongeveer 7 miljoen euro per MW. Volgens hen zou deze kostprijs internationaal een dalende trend vertonen van 5% per jaar, afhankelijk van de ontwikkeling van de markt en de technologie. ODE Vlaanderen en de Vlaamse Overheid (2007) hebben het over een investeringskost van ongeveer 6 miljoen euro per MW. Schattingen van het European Photovoltaic Technology Platform (2007) geven kostendalingen aan tussen 5 en 10% voor de komende jaren. Jo Neyens (ODE, gesprek 24/04/09, Brussel) beaamt dat een kostendaling van 5% per jaar de trend was in 2000-2005: “Nadien zijn de prijzen een beetje blijven hangen door de siliciumschaarste die nu opgelost is. Nu mogen we rekenen op kostendalingen van 5 tot 10% per jaar. Dat kan in de toekomst wat sprongsgewijs gaan omdat we de opkomst hebben van de dunne film.” Deze laatste technologie heeft vandaag nog een zeer klein marktaandeel, maar heeft het meeste potentieel voor kostendalingen (European Technology Platform, 2007). Neyens haalde in zijn tussenkomst een begrip aan dat enige verduidelijking vereist: siliciumschaarste. Ook prof. Van Eetvelde (gesprek 23/03/09, Gent) haalde dit aan in haar interview. Dat lijkt een raar probleem, 28% van het gewicht van onze aardkorst bestaat immers uit silicium (Coolsaet, Goethals, Longrée, Plinke, Van den Branden en Vancorenland, 2008). Eric Van Assche van Soltech (gesprek 25/03/09, Tienen) bracht verduidelijking: “De wereld bestaat uit een vrij groot percentage uit silicium, dat is dus niet het probleem. Men heeft ook geen ontginningsproblemen zoals bijvoorbeeld bij steenkool. Het probleem zit in het opzetten van een siliciumfabriek. (...) Dat vergt al snel 3 jaar. Wanneer je dus vandaag silicium nodig hebt, had je daar drie jaar geleden aan moeten denken. Daardoor heerste er de laatste jaren een schaarste. Dat is eigen aan de chemische industrie, we zien daar vaak dezelfde evolutie. Wanneer iedereen op hetzelfde moment een bepaalde grondstof nodig heeft, ontstaat een tekort. Eens de grondstoffenmarkt is bijgebeend, heeft niemand de stof nog nodig.” Momenteel zou deze schaarste zijn opgelost (EPIA, 2009). Zand is ook de grondstof voor de glasplaten van de PV-modules. De metalen contacten op de zonnecellen bestaan uit zilver en aluminium en ook daarvan zijn de voorraden ruim voldoende, zelfs bij een zeer sterk groeiende PV-industrie (ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid, 2007).

De *levensduur* van een zonnepaneel waarover de investering kan worden afgeschreven, wordt door Soltech, leverancier van fotovoltäische systemen, gegarandeerd op 20 jaar (gesprek Eric Van Assche, 25/03/09, Tienen). Willems (2005) heeft het over een levensduur van 20 tot 30 jaar, Radziemska et al (2008) over meer dan 25 jaar.

De *werkingskosten* zijn volgens producenten te verwaarlozen. In tegenstelling tot traditionele energiebronnen is de brandstofkost immers gelijk aan nul. Ze beweren dat PV-modules nagenoeg onderhoudsvrij zijn omdat stofafzetting relatief weinig invloed heeft op de opbrengst en de regen in het Vlaamse klimaat de panelen regelmatig afspoelt (supra, 4.3.3.c.). Verkennende testen van VITO (gesprek Bert Gysen, 26/03/08, Mol) tonen echter aan dat reinigen wel degelijk een impact zou kunnen hebben op de rendabiliteit. Hier moet dus nog verder onderzoek naar gebeuren. In ieder geval is dit te verhelpen met een simpele poetsoperatie, wat geen reusachtige kost betekent. Een kost die na 5 tot 10 jaar wel kan opduiken is het vervangen van de omvormer, aldus Jo Neyens (ODE, gesprek 24/04/09, Brussel) en Prof. Lieven Vandeveldde (gesprek 23/03/09, Gent). Dat is een kost van 5 tot 10% van de initiële investering.

We zien dus dat PV-installaties een hoge kapitaalkost hebben in vergelijking met bijna verwaarloosbare variabele kosten. Om PV-installaties economisch aantrekkelijker te maken zijn dus vooral de investeringskost en de levensduur waarover deze investeringskost kan worden afgeschreven cruciaal. Op basis van de hierboven besproken gegevens kunnen we de kost per MWh opgewekte stroom uit zonne-energie vereenvoudigd berekenen. We laten hier opnieuw alle steunmaatregelen buiten beschouwing. We gaan uit van een onderhoudskost gelijk aan nul, een levensduur van 20 jaar en een verdisconteringsvoet van 5%. We vertrekken vanaf de huidige investeringskost (anno 2007) en berekenen de toekomstige investeringskost uitgaande van het meest voorzichtige scenario waarbij deze elk jaar met 5% daalt. We doen de berekening ook eens voor een rendement dat jaarlijks met 1% daalt (zie 4.3.3.c.). De resultaten zijn te zien in Tabel 16. Ze geven de kost weer per MWh elektriciteit uit zonne-energie gedurende de hele levensduur van de toepassing voor een investering die werd gedaan in het jaar N (2007), N+5, N+10 of N+20.

			Equivalentente gebruiksduur	
			800 uur/jaar	800 uur/jaar
			Opbrengst constant	Opbrengst daalt 1%/jaar
Investeringskost per MW	N	6.000.000 €	601,8 €	653,5 €
	N + 5	4.642.686 €	465,7 €	505,6 €
	N + 10	3.592.422 €	360,3 €	391,3 €
	N + 20	2.150.916 €	215,7 €	234,3 €

Tabel 16: Vereenvoudigde berekening kost per MWh geproduceerde stroom uit zonne-energie (eigen berekening)

We bekomen kosten die vijf tot tien maal hoger zijn dan deze voor windenergie. Jo Neyens (ODE, gesprek 24/04/09, Brussel) haalde aan dat prijsdalingen tot 10% mogelijk zouden zijn. Ook de levensduur van zonnepanelen zou volgens verschillende bronnen langer kunnen zijn dan 20 jaar. Laat ons eens kijken wat de invloed is van deze factoren op de kosten van zonne-energie. We voeren bovenstaande berekeningen opnieuw uit, maar passen een daling van de investeringskost toe van 10% per jaar. We houden de opbrengst constant, maar voeren de berekeningen uit voor een levensduur van 20 en 30 jaar. De resultaten zijn opgenomen in Tabel 17.

			Equivalente gebruiksduur (opbrengst constant)	
			800 uur/jaar	800 uur/jaar
			Levensduur 20 jaar	Levensduur 30 jaar
Investeringskost per MW	N	6.000.000 €	601,8 €	487,9 €
	N + 5	3.542.940 €	355,4 €	288,1 €
	N + 10	2.092.071 €	209,8 €	170,1 €
	N + 20	729.460 €	73,2 €	59,3 €

Tabel 17: Vereenvoudigde berekening kost per MWh geproduceerde stroom uit zonne-energie
(eigen berekening)

We zien dat we, op basis van een kostendaling van 10% per jaar en/of een levensduur van 30 jaar, over 15 à 20 jaar veel dichterbij komen van de marktprijs voor energie (groothandel). Die bedraagt immers momenteel ongeveer 38 euro per MWh, maar was in het verleden reeds 65 euro (Commissie 2030, 2007, p74 en Jo Neyens, ODE, gesprek 24/04/09, Brussel). We zien dat inspanningen om de investeringskosten te verlagen en/of de levensduur te verlengen, op termijn een grote invloed kunnen hebben. Voor het welslagen van zonne-energie zal het dus zeer belangrijk zijn dat deze inspanningen worden geleverd. Volgens het IEA (2007) zal zonne-energie, mits veel steun en op enkele nichetoepassingen na, pas algemeen competitief worden na 2020.

Nog een woordje over de markt van de installateurs van zonnepanelen. Volgens prof. Lieven Vandeveld (gesprek 23/03/09, Gent) ziet die er helemaal anders uit dan deze voor wind: “Iedereen springt vandaag op de markt, installateurs schieten als paddenstoelen uit de grond. Vaak gaat het om elektriciens, die hier een opportuniteit in zien, maar er eigenlijk niet zoveel van kennen.” Eric Van Assche (gesprek 25/03/09, Tienen) vult aan: “Vroeger was de markt verdeeld over drie spelers. Eén in elk gewest. Toen er opeens geld mee te verdienen was, voelde iedereen zich geroepen om op de kar te springen. Vandaag zijn er misschien 300 verschillende bedrijfjes die panelen aanbieden.(...) We zien dat er vandaag heel wat cowboys op de wereld zijn die mensen bedriegen door het aanbieden van zonnepanelen voor 1.000 euro terwijl die normaal 10.000 euro kosten. Dat is een teken dat de mensen er nog te weinig van weten. Wanneer iemand veel te goedkoop een auto aanbiedt, weten we allemaal dat er iets niet klopt. Dat is iets waar we als jonge industrie nog doorheen moeten.” De uitbouw van een kwaliteitssysteem kan hier echter een handje helpen. Op die manier is het voor de burger die wil investeren in zonne-energie, duidelijker dat zijn leverancier met kennis van zaken handelt (Jo Neyens, ODE, gesprek 24/04/09, Brussel).

e. Beleidsmatig

Het beleid kan heel wat invloed uitoefenen op de besproken determinanten, alleen op de klimatologische heeft ze weinig vat. We bespreken de vergunningen en steunmaatregelen.

Het verkrijgen van *vergunningen* voor de aanwending van zonne-energie op gebouwen blijkt in de praktijk heel wat eenvoudiger dan om een windmolen te plaatsen. Voor de installatie van zonnepanelen op platte daken is normaal gezien zelfs geen bouwvergunning nodig. Ook voor zonnepanelen op andere daken is geen bouwvergunning vereist wanneer minder dan 20% van de oppervlakte van het dak wordt ingenomen. Voor de aansluiting op het net moet wel een schriftelijke toestemming worden verleend door de distributienetbeheerder. Ook moet het PV-systeem worden gekeurd (ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid, 2007). Voor de verloren ruimtes in ons land, is het minder evident een vergunning te krijgen, omdat de overheid dit momenteel niet zozeer wenst aan te moedigen (gesprek Prof. Greet Van Eetvelde, 23/03/09, Gent).

Er zijn momenteel heel wat financiële *steunmaatregelen* voor PV-systemen. Deze verschillen soms naargelang de investering wordt uitgevoerd door particulieren of bedrijven. De belangrijkste zijn:

- *Groenestroomcertificaten*. Deze hebben een minimumwaarde van 450 euro per MWh en zijn gegarandeerd voor 20 jaar (ODE Vlaanderen en de Vlaamse Overheid, 2007). Vrij recent werd beslist om voor installaties die vanaf 2010 in gebruik worden genomen, deze minimumwaarde te verminderen naar 350 euro per MWh, eveneens gedurende 20 jaar. Deze vergoeding daalt jaar na jaar tot 10 euro in 2020, en zal vanaf 2013 nog geldig zijn voor 15 jaar (VEA, 2009a).
- *Belastingvermindering voor particulieren*. Vanaf 2007 wordt er een belastingvermindering toegekend van 40% van de investering tot maximum 3.600 euro (ODE Vlaanderen en de Vlaamse Overheid, 2007 en VEA, 2009a).
- *Verhoogde investeringsaftrek en ecologiepremie voor bedrijven*. Deze kwamen aan bod in punt 2.3.2.
- *Subsidies toegekend door gemeentes en provincies*. Sommige provincies en gemeenten geven nog bijkomende subsidies (VEA, 2009a).
- *Terugdraaiende elektriciteitsmeter*. Voor systemen met een vermogen kleiner dan 10 kWp of een jaarproductie beneden 10.000 kWh mag de elektriciteitsmeter terugdraaien. Op die manier wordt de geproduceerde elektriciteit vergoed aan dag- of weekendtarief (ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid, 2007). Naargelang het geldende tarief zou dit tot 15 eurocent per kWh opleveren (VEA en ODE Vlaanderen, 2007). Bij een hoger vermogen wordt de meter door de distributienetbeheerder aangepast (ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid, 2007).
- *Verlaagd BTW-tarief*. Een laatste steunmaatregel geldt voor privé en residentiële woningen ouder dan 5 jaar. Die komen in aanmerking voor een lager BTW tarief van 6% (in plaats van 21%) bij de investering in PV-systemen (ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid, 2007).

In het geval van een terugdraaiende elektriciteitsmeter ontvangt de producent voor zijn groene stroom, naast de groenestroomcertificaten, in feite een vergoeding gelijk aan de geldende verkoopprijzen van elektriciteit in plaats van de groothandelsmarktprijs. Prof. Lieven Vandeveld (gesprek 23/03/09, Gent)

uit kritiek op die terugdraaiende meter: “Hierdoor redeneert men vaak zo: als we kunnen produceren aan een prijs die gelijk is aan of lager is dan de prijs die de consument moet betalen voor elektriciteit, dan zijn we competitief. We produceren immers op dezelfde plaats als waar we gebruiken. Men vergeet dan echter dat heel wat andere zaken nodig zijn om het net stabiel te houden. (...) Naast de kostprijs om energie op te wekken, is er een kostprijs om het ganse systeem in balans te houden: netdiensten als betrouwbaarheid en beschikbaarheid hebben een kost, maar ook het net zelf heeft een kost. De prijs die de consument betaalt voor klassieke energie, is hoger dan die van de zuivere productie.” Volgens gegevens van de VREG (2008b) bestaat de elektriciteitsprijs voor een gemiddeld gezin voor slechts 51% uit de kost voor elektriciteit, 37 % distributie, 9% transmissie en 3% heffingen.

Vooraf over de invloed van groenestroomcertificaten kwamen tijdens de interviews een aantal opmerkingen. Prof. Lieven Vandeveld: “Kritiek die de mensen van de zonnepanelen vaak krijgen, is dat ze te zeer subsidiegedreven zijn.” Bert Gysen (VITO, gesprek 26/03/09, Mol): “Zonder groenestroomcertificaten zouden we nauwelijks zonnepanelen hebben. Het economische primeert toch nog meestal boven het ecologische. De huidige driver voor zonnecellen is dus economisch door de groenestroomcertificaten en niet het ecologische aspect.” Toch sprak geen van de geïnterviewde personen zich echt uit tegen groenestroomcertificaten of de (tijdelijk) hoge minimumvergoeding ervan. Prof. Greet Van Eetvelde (gesprek 23/03/09, Gent): “Ik denk dat we moeten kijken naar de ons omliggende landen. Zolang we nog een achterstand hebben, denk ik dat we zonne-energie moeten subsidiëren. Nadien moeten we ze herbekijken. Dat zal zichzelf wel uitwijzen, dat is typisch voor een booming business.” Tot slot wees Johan Malcorps van Groen (gesprek 12/03/09, Antwerpen) op een fenomeen dat vandaag aan de gang is: “Momenteel gaat men soms zonnepanelen installeren op plaatsen waar het ecologisch niet langer verantwoord is. Zo kreeg ik gisteren een telefoontje van mensen die vertelden dat alle rijke villa’s in hun buurt zonnepanelen hebben, maar die worden gebruikt om hun zwembaden op te verwarmen. Resultaat is een dampend zwembad. Die zonnepanelen en dat zwembad zijn geen oplossing voor het klimaatprobleem. Het kan niet de bedoeling zijn dat zonnepanelen een statussymbool worden. (...) Het maatschappelijk draagvlak voor zonne-energie kan op die manier worden ondermijnd. Men kan zich dus afvragen of men het geld dat momenteel wordt geïnvesteerd in zonnepanelen niet beter zou kunnen steken in het isoleren van woningen van de sociaal zwaksten. Dat is sociaal en economisch veel belangrijker. Anders is men geld aan het weggooien. Er is in Nederland een energiebewust plan uitgewerkt dat bestaat uit verschillende stappen: energie-audit van de woning, advies over waar men in moet investeren en als kers op de taart eventueel zonnepanelen. (...) Vandaag zien we soms zeer agressieve campagnes met zaken als ‘wij plaatsen gratis zonnepanelen’. Dat is natuurlijk het gevaar van succes.”

4.3.4. De toekomst van zonne-energie

a. Studies in verband met het potentieel van zonne-energie

In het verleden hebben reeds verschillende organisaties getracht het potentieel van zonne-energie te bepalen. In Tabel 18 worden de belangrijkste resultaten weergegeven. Bij de studies die een onderscheid maken tussen proactieve/advanced renewable strategy beleidsscenario's en business as usual/current policy scenario's, zien we een groot verschil tussen beide resultaten. Dat duidt er waarschijnlijk op dat vooral steunmaatregelen bepalend zullen zijn voor een eventuele groei. Momenteel hebben we, met een groene stroomproductie van 75 GWh op basis van het geïnstalleerd vermogen op 31 maart 2009, reeds drie van de business as usual/current policy scenario voorspellingen overschreden (VREG, 2009a). De studies zonder onderscheid in scenario's of in het geval van een proactief beleidsscenario verwachten een mooie groei. Deze groei zou voor Vlaanderen kunnen resulteren in een verviervoudiging ten opzichte van de huidige groene stroomproductie van 75 GWh. Toch zal dit de komende tien jaar nog niet leiden tot een groot aandeel van zonne-energie in de totale energievoorziening.

Bron	Regio	Horizon	Potentieel
ODE Vlaanderen (1997)	VL	2020	450
Commissie AMPERE (2000)	VL	2020	450
MITRE (2003)	B	2020	CP: 7, ARS ³⁶ : 242
3E (2004)	B	2025	BAU: 0,476, PROA ³⁷ : 986
VITO en 3E (2005)	VL	2020	BAU: 63, PRO ³⁸ : 385
EPIA (2009)	B	2013	M: 408, PD ³⁹ : 640

Tabel 18: Overzicht potentieelstudies zonne-energie in België of Vlaanderen (in GWh/jaar)

b. Heeft zonne-energie toekomst in Vlaanderen?

Ontegensprekelijk is het gebruik van zonne-energie voor de elektriciteitsproductie nog zeer *duur* in Vlaanderen. De groenestroomcertificaten leiden er vandaag toe dat investeren in zonne-energie rendabel is, maar de kost van dit systeem wordt uiteindelijk op de burger verhaald. Dit leidt tot scepticisme bij velen, maar is voor anderen dan weer geen reden om er geen toekomst in te zien. Zij verwijzen naar de verwachte kostendalingen en naar de ecologische voordelen. Johan Malcorps van Groen (gesprek 12/03/09, Antwerpen) bijvoorbeeld, heeft zeer hoge verwachtingen voor zonne-energie. Bert Gysen van VITO (gesprek 26/03/09, Mol) ziet een ander belangrijk probleem: “Zolang je blijft zitten met dergelijke lage rendementen, hebben we in Vlaanderen een probleem. We hebben immers geen woestijnen die we vol kunnen zetten.” De *ruimtelijke* determinant is dus voor zonne-energie niet helemaal onbelangrijk.

³⁶ CP: current policies scenario, ARS: advanced renewable strategy scenario

³⁷ BAU: business as usual scenario, PROA: pro-active scenario

³⁸ BAU: business as usual, PRO: proactief beleidsscenario

³⁹ Eigen berekening, gebaseerd op een voorspeld geïnstalleerd vermogen van M:510 MW, PD:800 MW, uitgaande van een equivalente gebruiksduur van 800 uur per jaar. M: moderatie scenario, PD: policy driven scenario.

Volgens Willems (2005) is zonne-energie een energievorm waarvan de mogelijkheden, zoals opbrengsten, installatiekosten, etc., nog het meest kunnen toenemen als gevolg van *wetenschappelijk onderzoek*.

We *besluiten* dat er eveneens voor zonne-energie een toekomst is weggelegd in Vlaanderen. Opnieuw zijn deze mogelijkheden niet onbeperkt omwille van plaatsgebrek, hoewel hier vermoedelijk meer ruimte ter beschikking kan worden gesteld dan voor windenergie daar ook gebouwen kunnen worden aangewend. Op lange termijn zal zonne-energie vermoedelijk één van onze belangrijkste duurzame energietechnieken worden en kan het eventueel een hoger aandeel vertegenwoordigen in de totale energievoorziening dan windenergie. Opnieuw gelden echter een aantal *voorwaarden*. We bespreken de belangrijkste.

1. *Verbeterende technologie en kostendalingen*

Een eerste belangrijk element is dat een verbetering van de technologie en kostendalingen vereist zijn. Meer nog dan bij alle andere technologieën voor hernieuwbare energie, is zonne-energie een technologie in volle ontwikkeling. De noodzakelijke kostendalingen worden wel verwacht, maar hier zullen nog de nodige inspanningen moeten geleverd worden. Concreet komt het erop neer dat actoren in de sector van zonne-energie hun inkomsten dienen aan te wenden om kostendalingen en efficiëntieverbeteringen te realiseren. Zoals we zagen in punt 4.3.2.e. hebben het percentage waarmee de investeringskosten jaar na jaar dalen en de levensduur van PV-systemen een grote invloed op het tijdstip waarop zonne-energie competitief zal worden.

2. *Passende steunmaatregelen*

Ten tweede speelt de overheid een niet onbelangrijke rol in de toekomst van zonne-energie. Zij dient ervoor te waken dat de energievorm stabiel kan groeien. Steunmaatregelen hebben, ons inziens, ook hier een dubbele rol.

- a. *Ondersteuning van de ontwikkeling van zonne-energie*

Ten eerste kunnen ze nuttig zijn om de ontwikkeling van zonne-energie te steunen. Op die manier kan men ze aanhouden zolang ze resulteren in belangrijke kostendalingen. Er moeten dan wel vooruitzichten zijn dat deze energievorm, mits een correctie voor haar voordelen, ooit competitief zal zijn met de 'klassieke' energievormen. Uit onze analyse bleek dat deze vooruitzichten aanwezig zijn, zij het op langere termijn dan voor windenergie. De steunmaatregelen moeten dalen wanneer de kosten van een PV-systeem dalen. Overdreven steunmaatregelen zijn naar onze mening immers overbodig. De actoren krijgen op die manier inkomsten in de schoot geworpen en zullen niet geneigd zijn kosten- en efficiëntieverbeteringen te realiseren. Het is niet de bedoeling dat steunmaatregelen leiden tot het succes van bedrijven die investeren in zonne-energie als een puur financieel product. Dit zal maar gebeuren wanneer er een te hoge return on investment wordt voorzien. Men moet een evenwicht zien te vinden zodat steunmaatregelen particulieren aanzetten tot investeren, maar niet volstaan om bedrijven die enkel geïnteresseerd zijn in grote winsten op de markt te laten ontstaan. Wel moet duidelijkheid worden gecreëerd naar de toekomst toe en moeten de steunmaatregelen geleidelijk dalen. Anders ontstaan onstabiele investeringen en grote fluctuaties in de vraag naar zonnepanelen.

b. Correctie prijsvorming door de markt

Ten tweede mag worden gecompenseerd voor de voordelen die deze energiebron biedt ten opzichte van andere energiebronnen die anders niet in de prijsvorming tot uiting komen. De voordelen van zonne-energie zijn gelijkaardig aan deze voor windenergie. Een additionele positieve eigenschap van zonnepanelen, is het feit dat particulieren kunnen deelnemen aan de energievoorziening. Dit kan de bewustmaking omtrent energie verhogen.

3. Het opzetten van een kwaliteitssysteem

Ten derde blijkt een kwaliteitssysteem voor de installateurs van PV-systemen nodig. Er zijn vandaag zeer veel actoren op de markt, die niet altijd over voldoende kennis beschikken. Bovendien zijn het vaak particulieren die investeren in deze energievorm. De meeste hebben beperkte kennis over zonne-energie, waardoor de onzekerheid dat hun investering correct wordt behandeld, daalt. De uitbouw van een kwaliteitssysteem kan die onzekerheid voor een groot deel wegwerken. Op die manier worden burgers, die mee willen investeren in deze energievorm, beschermd en verhindert men dat mensen met slechte bedoelingen het maatschappelijk draagvlak kunnen ondermijnen. In feite is dit een gemeenschappelijke taak voor de installateurs, maar het zou best zijn dat de overheid het initiatief neemt om een degelijk systeem op te zetten.

4. Randvoorwaarden die mee evolueren

Een laatste belangrijke voorwaarde voor ontwikkeling van zonne-energie die we in het onderzoek hebben geïdentificeerd is dat randvoorwaarden bepalend voor het succes van zonne-energie dienen mee te evolueren. Vooral voor de interactie met het net, dienen nog wat verbeteringen te worden ontwikkeld en doorgevoerd. Zowel wetenschappelijk onderzoek als de actoren van de elektriciteitsmarkt dienen hier hun rol op te nemen. Op dit moment zijn er nog relatief weinig problemen, maar wanneer het aandeel van zonne-energie in de totale elektriciteitsvoorziening toeneemt, zullen deze aanpassingen cruciaal blijken.

4.4. Energie uit biomassa en afval (bio-energie)

4.4.1. Definitie en werking

Bio-energie is “de energie die wordt gemaakt uit biomassa” (ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid, 2006, p45). Wanneer we het hebben over wind of zon, weet zowat iedereen waar het over gaat, maar de betekenis van biomassa is voor velen niet even duidelijk. Tijdens het onderzoek bleken de meeste experts hier minder in thuis. Voor een eenduidige definitie kunnen we ons niet zoals voorheen baseren op het IEA (2007). Men geeft immers niet één definitie maar een reeks definities voor verschillende types biomassa. In feite is de term biomassa dus eerder een verzamelnaam die wordt gebruikt om diverse materialen van plantaardige of dierlijke oorsprong aan te duiden (ODE Vlaanderen, a). De definitie die door de Vlaamse regering van de Europese Commissie werd overgenomen luidt: “*Biomassa* is de biologisch afbreekbare fractie van producten, afvalstoffen en residuen van de landbouw (met inbegrip van plantaardige en dierlijke stoffen), de bosbouw en aanverwante bedrijfstakken, alsmede de biologische afbreekbare fractie van industrieel en huishoudelijk afval” (Vlaamse Milieumaatschappij, 2007, p 107-108). Gedurende vele eeuwen was biomassa zowel bouwstof, voedingsproduct als belangrijke energiebron (ODE Vlaanderen en

VITO, 2006). Het gebruik van hout voor verwarming en verlichting is de oudste energiebron die door de mens gebruikt wordt (Willems, 2005). Sinds de industrialisatie ging men in het Westen biomassa vooral zien als bouwstof, voedingsstof of afval. Het gebruik ervan voor de energievoorziening werd dus minder belangrijk. Vandaag groeit opnieuw het besef dat biomassa nuttig kan zijn om deel te nemen aan onze energievoorziening. Hierbij zouden economie, ecologie en duurzame energie hand in hand gaan (ODE Vlaanderen en VITO, 2006).

Vaak wordt een onderscheid gemaakt tussen biomassa uit energieteelten en biomassa uit afval- en reststoffen. Ook hier zullen we dit onderscheid aanhouden.

- *Energieteelten* zijn gewassen die speciaal voor de opwekking van energie worden geteeld. Het gaat hier om het vrij nieuwe gebruik van houtachtige gewassen zoals populier en wilg en het optimaliseren van traditionele gewassen voor energietoepassingen zoals koolzaad waaruit men pure plantenolie maakt, suikerbieten waar men bio-ethanol van maakt, maïs etc. (ODE Vlaanderen en VITO, 2006 en gesprek Greet Ghekiere, POVLT, 30/04/09, Beitem).
- *Afval- en reststoffen* bestaan uit diverse soorten organisch afval zoals afval uit land- en tuinbouw (stro, mest, groenafval, dierlijk afval), afval uit bosbeheer en houtverwerkende nijverheid (takhout, resthout, schors, zaagmeel), huishoudelijk afval (GFT, slib van waterzuiveringsinstallaties) en afval uit de voedings-, papier- en textielindustrie (ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid, 2006). We zien dat het over een zeer gediversifieerde stroom gaat (Francies Van Gijzeghem, ODE, gesprek 24/04/09, Brussel).

Over het algemeen zijn er drie stappen om energie te verkrijgen uit biomassa: de productie van biomassa, het oogsten, drogen, transporteren en/of opslag van materiaal en de omzetting in bio-energie (ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid, 2001). Voor die omzetting zijn allerlei technieken beschikbaar. Ze resulteren in elektriciteit, warmte of brandstoffen en kunnen worden ingedeeld in drie categorieën (Vlaamse Milieumaatschappij, 2007, ODE Vlaanderen en de Vlaamse Overheid, 2006 en ODE Vlaanderen en VITO, 2006). Zoals steeds zijn we vooral geïnteresseerd in toepassingen die elektriciteit opwekken. We zullen deze echter niet altijd van de andere toepassingen kunnen scheiden omdat bij het gebruik van biomassa voor het opwekken van elektriciteit zeer vaak zowel warmte als elektriciteit wordt geproduceerd. Figuur 12 geeft een overzicht van de technieken en tussenproducten. We bespreken ze hier:

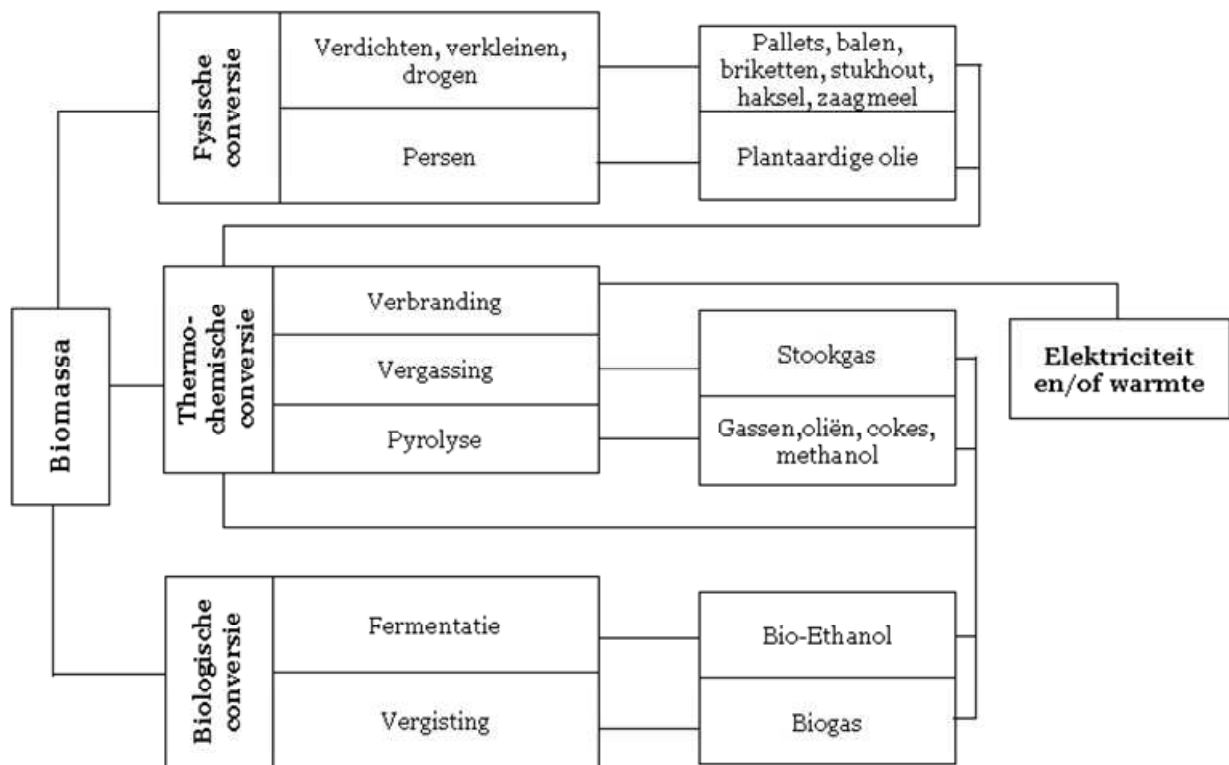
1. *Fysische conversie*. Biomassa ondergaat meestal een aantal fysische bewerkingen als voorbehandeling zoals verkleinen, verdichten of drogen. Dit is nodig om het transport en opslag eenvoudiger te maken en om het rendement van de latere energieuomzetting te verhogen. Via persen kan bijvoorbeeld koolzaadolie, ook wel pure plantenolie of PPO genoemd, bekomen worden.
2. *Thermo-chemische conversie*. Het gaat hier om verbranden, vergassen of pyrolyse. Deze resulteren in rechtstreekse energievoorziening of in stockeerbare tussenproducten die men op hun beurt moet verbranden.
 - a. Bij *verbranding* van biomassa en afval kan met de ontstane warmte in een stoomturbine elektriciteit opgewekt worden. De restwarmte kan voor verwarming worden gebruikt. Vaak wordt biomassa vermengd met een andere brandstof, bijvoorbeeld bij meestook in klassieke

kolencentrales. Het proces is op zich CO₂ neutraal, maar er kunnen roet, CO, koolwaterstoffen en dioxines vrijkomen.

- b. Bij *vergassing* wordt de biomassa (meestal hout) door verhitting met een kleine hoeveelheid zuurstof door onvolledige verbranding omgezet in een gasvormige brandstof, stookgas of synthesegas genaamd. Dit gas kan men gebruiken in een verbrandingsmotor of een gasturbine voor de productie van elektriciteit.
- c. Bij *pyrolyse* wordt biomassa verhit zonder zuurstof, zodat er geen ontbranding plaatsvindt. Daardoor ontstaat bij kamertemperatuur een brandbaar gas, een vloeistof (bio-olie of pyrolyse-olie genoemd) en een vaste stof die vooral uit koolstof bestaat. Deze stoffen kan men verbranden om stoom te maken voor de productie van elektriciteit.

3. Biologische conversie.

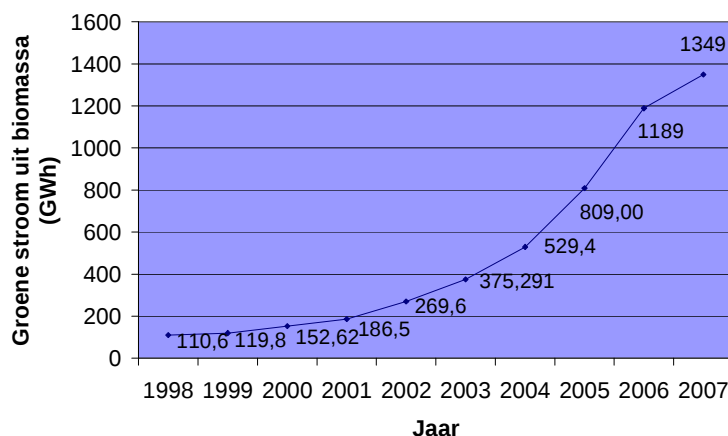
- a. Bij *fermentatie* zetten bacteriën of enzymen suiker- en zetmeelhoudende landbouwgewassen om in bio-ethanol. Dit wordt vooral in auto's gebruikt.
- b. Via *vergisting* of anaërobe afbraak van nat organisch materiaal ontstaat biogas dat bestaat uit een mengsel van methaan en CO₂. Bijna alle biomassa kan vergist worden, behalve hout. Dit proces kan spontaan ontstaan, zoals bij stortgas op stortplaatsen, of onder gecontroleerde omstandigheden, zoals bij biogas in vergistingsreactoren.



Figuur 12: Mogelijkheden voor de omzetting van biomassa tot elektriciteit en/of warmte
(op basis van Vlaamse Milieumaatschappij, 2007, ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid, 2006 en ODE Vlaanderen en VITO, 2006)

4.4.2. Evolutie tot nu toe

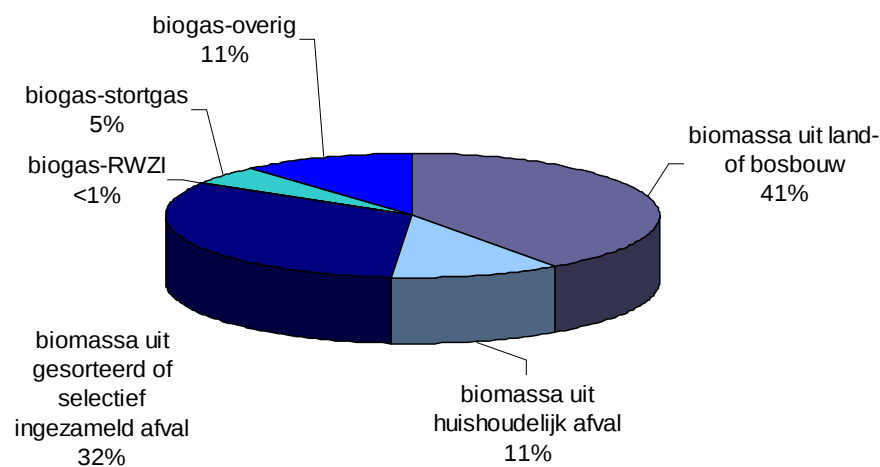
Figuur 13 geeft de evolutie weer van de hoeveelheid groene stroom uit biomassa in Vlaanderen (Studiedienst van de Vlaamse Regering, 2008, zie ook bijlage 3). We zien dat biomassa in 2007 verantwoordelijk was voor 1.349 GWh aan groene stroom. Dat stemt overeen met bijna het vijfvoudige van alle andere hernieuwbare energiebronnen samen. In 2008 werden voor 1.627 GWh groenestroomcertificaten toegekend aan biomassa (VREG, 2009a). Ook hier zouden steunmaatregelen de voornaamste reden van de groei zijn (gesprek Greet Ghekiere, POVLT, 30/04/09, Beitem).



Figuur 13: *Evolutie van de groene stroomproductie uit biomassa (in GWh), cijfermateriaal afkomstig van de studiedienst van de Vlaamse Regering (2008)*

Laat ons eens kijken welke types biomassa verantwoordelijk zijn voor de hoeveelheid groene stroom. We kunnen dit doen op basis van het aantal toegekende groenestroomcertificaten (VREG, 2009a). Figuur 14 geeft de verdeling van het aantal toegekende groenestroomcertificaten in 2008 weer. We zien dat het grootste deel afkomstig is van biomassa uit land -of bosbouw (41%) en van biomassa uit gesorteerd of selectief ingezameld afval (32%). Hoe zit het dan met energieteelten? In welke mate maken zij deel uit van de biomassa uit land- of bosbouw? Volgens een inventarisatie van biomassa door OVAM (2008), werd in 2006 ongeveer 950 hectare Vlaamse grond gebruikt voor energiegewassen, vooral koolzaad en kleine hoeveelheden graan en maïs. 95% van dit koolzaad werd gebruikt voor bio-brandstoffen. In de interviews werd bevestigd dat het gebruik van energieteelten voor de elektriciteitsproductie in Vlaanderen quasi verwaarloosbaar is. Francies Van Gijzeghem (ODE, gesprek 24/04/09, Brussel): “Energieteelten zijn quasi onbestaande”. Greet Ghekiere (POVLT, gesprek 30/04/09, Beitem): “De hectares voor de klassieke energieteelten vormen een marginaal deel in vergelijking met de hectares akkerbouw en weiland die we hebben. (...) De enige reden waarom er vandaag energieteelten zijn, is de verplichting voor vergistingsinstallaties in agrarisch gebied om 60% van de inputstromen uit agrarische oorsprong te betrekken. Voor de resterende 40% is afval toegelaten. Van die 60% is 30% mest toegelaten. Op die manier schiet er nog 30% over aan producten van agrarische oorsprong en dan zit je bij energieteelten. Men zal er nooit voor kiezen om meer dan die 30% energieteelten in het pakket te steken. Liefst van al zou men volledig op afval draaien, moest het toegelaten zijn. Dat is volgens mij de belangrijkste reden waarom er teelten zijn voor vergisting maar ook waarom het er zo weinig zijn (...) Qua houtachtige teelten, dat is

zeker niks. Wij hebben hier een proefveldje. Er zal in Vlaanderen geen 5 hectare staan.” We kunnen dus concluderen dat het aandeel van energieteelten in de totale groene stroomproductie uit biomassa te verwaarlozen is. Bovenstaande grafiek geeft dus enkel groene stroom weer uit afval- en reststoffen. Volgens een persbericht van Vlaams Volksvertegenwoordiger Joke Schauvliege (23 maart 2009) naar aanleiding van een parlementaire vraag aan Vlaamse minister Hilde Crevits, zou 30% van de groene stroom in Vlaanderen afkomstig zijn van houtpellets. De bijna 400.000 ton die daarvoor in 2008 werd gebruikt, werd volledig geïmporteerd. 62% daarvan komt uit Europa (vooral uit Letland, Duitsland en Estland), het overige deel komt vooral uit Canada. Wanneer we even berekenen wat 30% in 2008 betekende, bekomen we een groene stroomproductie van ongeveer 600 GWh⁴⁰, meer dan anderhalf keer de productie van wind en zon samen (366 GWh).



Figuur 14: Verdeling van het aantal toegekende groenestroomcertificaten over de types biomassa (eigen analyse op basis van VREG, 2009a)

We zien meteen een zeer belangrijk onderscheid met bijvoorbeeld zon en wind: voor biomassa bestaat wel een internationale markt. Bijgevolg zijn we voor biomassa niet enkel aangewezen op de binnenlandse productie. Volgens VITO en 3E (2005) zijn de verhandelbare stromen vooral lignocellulose, pellets, koolzaad, plantaardige oliën en vetten, houtafval en graan. Het leek ons niet zo aangewezen een onderzoek te wijden aan deze importstromen. We bekijken dan ook alleen deze biomassa die in Vlaanderen kan worden geproduceerd en verwerkt.

Omwille van de grote diversiteit aan grondstoffen en dus ook aan verwerkingsprocedures zal het vrij moeilijk zijn, zo niet quasi onmogelijk een volledige lijst op te stellen van de determinanten voor het potentieel. We bespreken dan ook slechts enkele die vrij gelijkaardig zijn voor de verschillende types. We maken vaak wel een duidelijk onderscheid tussen energieteelten en afval- en reststoffen.

⁴⁰ Uitgaande van een totale groene stroomproductie van 2.000 GWh op basis van het aantal uitgereikte groene stroomcertificaten in 2008 (VREG, 2009a).

4.4.3. De determinanten van biomassa

Tabel 19 geeft een samenvatting weer van de determinanten die we in dit hoofdstuk zullen bespreken en dus van het antwoord op onderzoeksvraag één.

Determinant	Beschrijving
Klimatologisch	▪ Energieteelten: opbrengst per hectare ▪ Afval- en reststoffen: uitgaan van aanbod dat er is, concurrentie met traditionele toepassingen ▪ Variabiliteit in de tijd voor meeste toepassingen minder belangrijk want stockeerbaar
Ruimtelijk	▪ Energieteelten: productie: reeds grote druk op ruimte, concurrentie met andere gewassen, verwerking: benodigde ruimte beperkt ▪ Afval- en reststoffen: benodigde ruimte relatief beperkt
Technologisch	▪ Ver gevorderde technologie, combinatie bestaande technieken tot meest ideale rendement ▪ Rendementen: 20 à 40%, vermogens: zeer divers, probleem interactie met het net minder belangrijk
Ecologisch en maatschappelijk	▪ Nagenoeg CO₂ neutraal, uitstoot andere stoffen ▪ Energieteelten: concurrentie voedsel, ethische problemen ▪ Afval- en reststoffen (bv. vergisting): geurhinder, veiligheid, transport; eerst voorkomen, ladder van Lansink
Economisch	▪ Grote verschillen, OT vrij laag
Beleidsmatig	▪ Vergunningen: bouw- en milieuvergunning ▪ Steunmaatregelen: ecologiepremie, investeringsaftrek, steun Vlaams Landbouwinvesteringsfonds, groenestroom- en warmtekrachtcertificaten, premie energiegewassen (vervalt in 2010)

Tabel 19: Samenvattende tabel biomassa

a. Klimatologisch

De variatie in de *tijd* is voor biomassa minder belangrijk, daar het gaat om een energiebron die veelal kan worden opgeslagen. Daardoor zijn toepassingen niet aangewezen op een stroom die op het moment zelf ontstaat en zal het aantal vollasturen heel wat hoger liggen dan voor andere hernieuwbare energiebronnen. VITO (2006) gaat uit van vollasturen die variëren van 7.000 tot 8.300 uur, naargelang de toepassing. Soms gelden hier evenwel uitzonderingen. Toepassingen voor elektriciteitsproductie bij riool- en afvalwaterzuiveringsinstallaties zouden ongeveer 3.000 vollasturen per jaar hebben.

Geografisch moeten we voor *energieteelten* kijken naar de mate waarin ons klimaat geschikt is voor het telen van energieteelten en wat de opbrengsten kunnen zijn. Tabel 20 geeft een indicatie van de mogelijke opbrengst per hectare per jaar (Commissie AMPERE, 2000, p25). De eerste kolom geeft de energie-inhoud weer van het gewas, de tweede kolom de hoeveelheid droge stof die zou kunnen worden geproduceerd. Door vermenigvuldiging van beide getallen bekomen we de bruto opbrengst in GJ per hectare per jaar. De netto-opbrengst houdt rekening met de energie nodig om de gewassen te kweken.

Deze opbrengsten kunnen worden omgezet naar GWh per jaar (GJ delen door 3.600 levert GWh). Volgens Ruben Guisson (VITO, gesprek 26/03/09, Mol) zijn onze gronden te productief om alleen maar korte omloophout te gaan produceren.

Gewas	Energie-inhoud GJ/ton dr. stof	Droge stof Ton/ha/jaar	Bruto opbrengst GJ/ha/j	Netto opbrengst GJ/ha/j
Suikerbieten (wortel)	18,5	15,1	280	255
Populier	18	12,0	216	182
Miscanthus	17	12,0	187	170
Wintertarwe (zaad)	17	6,6	112	92
Wintertarwe (stro)	15	3,9	58	53
Koolzaad (zaad)	27,6	3,1	85	67
Koolzaad (stro)	15	4,4	66	57

Tabel 20: Energetische inhoud van gewassen
(Commissie AMPERE, 2000, p25)

Voor *afval- en reststoffen* zijn de klimatologische randvoorwaarden enigszins verschillend van deze van andere hernieuwbare energiebronnen. We gaan immers niet uit van een stroom die sowieso in de natuur ontstaat, zoals wind en zon, maar van een stroom die in onze huidige economie ontstaat, namelijk afval- en reststoffen. We moeten hier dus kijken naar de hoeveelheid afval- en reststoffen die we ter beschikking hebben momenteel en in de toekomst. Blijkt dat dit allesbehalve evident is. Francies Van Gijzeghem (ODE, gesprek 24/04/09, Brussel) beaamt: “Ik moet meteen bekennen dat we niet over zulke mooie documenten beschikken als deze die bestaan voor de andere technologieën, zoals het windplan bijvoorbeeld. We zijn zelf nog op zoek naar dat document. Bij VITO is er wel al één en ander gebeurd naar inventarisatie toe. Men heeft al een flink eind gefietst, maar we vermoeden dat we nog maar 60 à 80% in kaart hebben, begroot qua massa en potentieel. Er zijn ook heel wat sectoren actief. (...) Het is dus een zeer gediversifieerde stroom. Iedereen is op zoek naar correcte cijfers.” Vlaanderen staat gekend om zijn mestoverschotten in de landbouw (ODE Vlaanderen, 2006), het zou dus kunnen dat hernieuwbare energie een oplossing kan bieden voor dit probleem.

b. Ruimtelijk

Voor *energieteelten* stoten we meteen op een beperking die reeds eerder naar voor kwam. We hebben immers gronden nodig. De beschikbare grond is in Vlaanderen in het algemeen al schaars en wordt geclaimd voor diverse andere functies zoals woonuitbreiding, natuurgebieden, industriezones, De grote vraag is volgens Prof Van Eetvelde (gesprek 23/03/09, Gent) of we onze schaarse gronden ter beschikking willen stellen voor energiegewassen. In het verleden bleken gronden die verplicht braak moesten blijven, eventueel geschikt voor energieteelten. Dit jaar wordt de verplichte braak echter afgeschaft (Vlaamse Overheid, Landbouw en Visserij, 2009). Naast de ruimte nodig voor de energieteelt zelf, moet nog ruimte voorzien worden voor een verwerkingsinstallatie. De ruimte die hiervoor moet worden voorzien, is echter beperkt.

Voor *afval- en reststoffen* hebben we hier, net als bij zon en wind, te maken met een stroom die bestaat en die we zo goed mogelijk willen omzetten. Bij wind en zon is hiervoor heel wat ruimte vereist. Windmolens en fotovoltaïsche cellen nemen immers heel wat plaats in. Voor biomassa moet enkel een verwerkingsinstallatie en eventueel opslag voorzien worden. In geen enkele bron vonden we belangrijke ruimtelijke problemen terug voor het plaatsen van installaties voor het verwerken van biomassa.

c. Technologisch

Technologisch gezien is elektriciteitsproductie uit biomassa een ver gevorderde technologie. Biomassa is immers een brandstof met gelijkaardige eigenschappen als kolen, zodat dezelfde technologieën kunnen worden toegepast. Een belangrijke optie is de co-verbranding van biomassa in kolencentrales (IEA, 2006). Voor andere toepassingen is het vaak kwestie van bestaande technologieën op een optimale manier te combineren (gesprek Marleen Vanhecke, Electrawinds, 04/05/09, Oostende). Ruben Guissson van VITO (gesprek 26/03/09, Mol): “De technologie is vrij ver gevorderd, maar omdat het om een heel gediversifieerde stroom gaat, is het vaak moeilijk om die energetisch te valoriseren. Er blijven nog steeds heel wat technologische mogelijkheden voor verbetering over. Verslakking en corrosie zijn bijvoorbeeld nog een probleem. (...) Er zijn ook volop nieuwe ontwikkelingen aan de gang. Zo is binnen VITO iemand bezig rond algen. In eerste instantie vooral voor groene chemie, men is immers op zoek naar bio-bouwstenen die later in een bio-wereld zonder fossiele brandstoffen kunnen gebruikt worden. Misschien kunnen reststoffen daarvan energetisch worden gevaloriseerd.” Greet Ghekiere (POVLT, gesprek 30/04/09, Beitem) bevestigt dat ook voor energieteelten nog wat verbetering mogelijk is: “Wat er voor technologie nog belangrijk is, en waar men mee bezig is, is de vraag of men het rendement uit een ton maïs kan verhogen door biomassa te behandelen (voorbehandelingstechnieken). Nu haal je uit een ton verse maïs om en bij de 180 m³ biogas, maar ik denk dat er naar de toekomst toe evoluties gaan zijn om die opbrengst te verhogen naar bijvoorbeeld 250 m³.”

Zoals we konden zien in punt 4.4.1. zijn er veel verschillende manieren om biomassa om te zetten in nuttige energie. Deze verschillende manieren zijn het meest geschikt voor verschillende types biomassa en hebben elk hun eigen elektrisch *rendement en beschikbare vermogens*. We moeten hier echter opmerken dat niet alleen elektrisch rendement belangrijk is bij vele toepassingen, vaak is er nog een thermisch rendement dat nuttig kan aangewend worden (VITO, 2006 en Greet Ghekiere, POVLT, gesprek 30/04/09, Beitem). Tabel 21 geeft de elektrische rendementen weer die VITO (2006) gebruikte voor verschillende toepassingen van biomassa bij de berekening van de onrendabele top. We zien dat deze zich tussen 20 en 40% bevinden. Met dit rendement kunnen we berekenen hoeveel GWh er uit een bepaald type biomassa kan worden gehaald. Wanneer we uitgaan van een rendement voor energieteelten tussen de 20 en 35%, zoals de Commissie AMPERE (2000) doet, dan bekomen we voor suikerbieten, op basis van Tabel 20, een hoeveelheid elektriciteit tussen de 14 en 25 MWh per jaar per hectare (eigen berekening).

Toepassing	Elektrisch rendement
Meestook biomassa in centrales	38%
Stortgas	32%
Riool- en afvalwaterzuiveringsinstallaties	35%
Pure plantenolie	40%
Biomassacentrale	26%
Co-vergisting mest-energieeteelt	32%
Co-vergisting mest-organische afvalstoffen	32%
Vergisting energiegewassen	32%
Vergisting organisch-biologische nevenstromen	32%
Vergisting GFT	35%
Afvalverbrandingsinstallaties	20%

Tabel 21: *Elektrisch rendement van diverse toepassingen voor de verwerking van biomassa (VITO, 2006)*

Qua *interactie met het net* stellen zich minder problemen dan bij wind- en zonne-energie. De elektriciteitsproductie van de meeste toepassingen voor biomassa is immers beter regelbaar, waardoor er nauwelijks back-up capaciteit moet worden voorzien (gesprek Marleen Vanhecke, Electrawinds, 04/05/09, Oostende).

d. Ecologisch en maatschappelijk

Biomassa mag niet per definitie een *milieuvriendelijke* energiebron worden genoemd. De bron wordt over het algemeen als CO₂ neutraal beschouwd. Planten nemen tijdens hun leven CO₂ op en zetten die om in zuurstof door fotosynthese. Bij verbranding komt deze CO₂ weer vrij (ODE Vlaanderen en VITO, 2006).

We moeten hier echter een aantal opmerkingen maken:

- In feite geldt dit enkel wanneer de grondstof voldoende wordt aangevuld. De geproduceerde CO₂ wordt dan door planten opgenomen voor de productie van nieuwe biomassa (Willems, 2005).
- In de praktijk wordt vaak fossiele energie gebruikt bij de productie van biomassa (voor grondbewerking, oogst, etc.), bij het transport en bij de omzetting. We moeten dus ook hier weer van wieg tot graf kijken. Daardoor zou er slechts 30 tot 50% minder CO₂ worden uitgestoten dan bij fossiele brandstoffen. Sommige studies geven zelfs nauwelijks CO₂ reductie aan (Vlaamse Milieumaatschappij, 2007). Alleen al wanneer biomassa moet worden getransporteerd, gaat de neutraliteit dus niet langer op (Vlaams Economisch Verbond, 2006).
- Bij verbranding kunnen ook andere, eventueel toxische, gassen ontstaan zoals dioxines (Willems, 2005). Die moeten opgevangen worden met diverse zuiveringstechnieken (Vlaams Economisch verbond, 2006 en gesprek Luc Henderieckx, Eandis, 25/02/09, Melle). We mogen er dus niet vanuit gaan dat wanneer er CO₂ neutraliteit is, er geen andere schade aan het milieu wordt toegebracht.

Maatschappelijk stellen zich zowel bij energieteelten als bij het gebruik van afval- en reststoffen, problemen. Rond *energieteelten* worden heel wat debatten en protestacties georganiseerd. Greet Van Eetvelde (gesprek 23/03/09, Gent): “Met energieteelten bedreigen we het voedsel. Dat wat de mens nodig heeft om te eten, gaat concurreren met wat de energiemarkt nodig heeft.” Het telen van energiegewassen op de bestaande landbouwgronden zou ervoor zorgen dat deze gewassen moeten concurreren met andere teelten. Vlaanderen is noch op het vlak van voedsel, noch op het vlak van hout zelfvoorzienend, waardoor het grondgebied zich in grote mate moet beroepen op import. Beperking van de mogelijkheden wat voedsel- en houtproductie betreft, zou de afhankelijkheid van Vlaanderen van import alleen maar vergroten (ODE Vlaanderen, 1997). Ethisch gezien rijst bovendien het probleem of wek zolang er honger is in de wereld, mogen concurreren met voedingsgewassen voor onze elektriciteitsproductie. Volgens het IEA (2007) zal de competitie met voedselproductie het groeipotentieel van deze vorm van energie dan ook beperken. In de toekomst zouden eventueel genetisch gemodificeerde gewassen (GGO's) kunnen worden gebruikt als energieteelt. Die kunnen zorgen voor een hogere opbrengst per hectare. Vraag is volgens Prof Jo Dewulf (gesprek 10/03/09, Gent) of we deze gewassen maatschappelijk wel willen. Ook bij *afval- en reststoffen* komen problemen kijken. Neem het voorbeeld van verbrandingsinstallaties. Mensen denken dat daar veel schadelijke stoffen, vooral dioxines, bij vrijkomen. Verbranding wordt ook gezien als een makkelijke oplossing, waarbij men niet de moeite doet om te recyclen (IEA, 2006). Volgens de Ladder van Lansink zou de optie van verbranding maar mogen gebruikt worden als achtereenvolgens de mogelijkheden van preventie, hergebruik en recyclage zijn uitgeput. ODE Vlaanderen (a) stelt dan ook dat het beter blijft voor het milieu om het ontstaan van afval zoveel mogelijk te voorkomen via preventie. De afval die dan toch ontstaat, moet zoveel mogelijk worden hergebruikt of gerecycleerd. Pas wanneer er voor biomassa geen nieuwe bestemming is, lijkt het aangewezen deze te gebruiken voor de opwekking van energie.

De verwerkingsprocedures op zich worden maatschappelijk ook niet altijd even goed aanvaard. We nemen hier het voorbeeld van een vergistingsinstallatie. Nadelen die in de buurt van zo'n installatie kunnen opduiken zijn:

- *Geurhinder*. Het vergistingsproces op zich gebeurt afgesloten van de lucht, maar bij toevoer, voor- en nabehandeling, opslag, etc. kan geurhinder optreden (ODE Vlaanderen, 2006). Volgens Greet Ghekiere (POVLT, gesprek 30/04/09, Beitem) is deze echter beperkt.
- *Veiligheid*. Het biogas dat bij vergisting ontstaat, is ontplofbaar. In vergelijking met aardgas zou dit gevaar echter beperkt zijn omdat het om lagere drukken en kleine hoeveelheden gaat. De kans op ongevallen is klein omdat er heel wat veiligheidsnormen zijn ingevoerd (ODE Vlaanderen, 2006).
- *Transport*. Het materiaal nodig voor de vergistingsinstallatie moet worden aangevoerd. Overlast voor de buurt als gevolg van dit transport blijkt vaak het belangrijkste nadeel te zijn, zeker bij toepassingen in agrarisch gebied (gesprek Greet Ghekiere, POVLT, 30/04/09, Beitem).

Deze nadelen kunnen aanleiding geven tot NIMBY reacties. Volgens Francies Van Gijzeghem (ODE, gesprek 24/04/09, Brussel) spelen echter niet alleen de objectieve nadelen: “Er is daar ook een heel groot stuk onwetendheid en ‘we zijn gewoon tegen’.” Volgens Greet Ghekiere (POVLT, gesprek 30/04/09, Beitem) is communicatie dan ook cruciaal, ze neemt hierbij opnieuw het voorbeeld van een vergistingsinstallatie: “Als je begint met zo'n installatie, is het heel belangrijk om goede communicatie te

doen met de buurt en zelfs dan het je nog niet altijd garantie op succes. Met communicatie kan je ervoor zorgen dat de eventuele nadelen van een vergistingsinstallatie juist worden ingeschat.”

e. Economisch

Economisch gezien moeten we investeringskost en –werkingskost vergelijken met de prijs die een producent voor zijn energie kan krijgen. In tegenstelling met de vorige technologieën wordt hier wel een ‘brandstof’ gebruikt en ontstaat vaak een reststof na de toepassing voor energie. In het geval van energieteelten heeft de brandstof een niet te verwaarlozen kost, energieteelten zijn immers duur. In het geval van afval- en reststoffen hangt het ervan af. Voor waardevolle stoffen moet betaald worden, voor minder waardevolle krijgt men geld om ze te verwerken. Men moet ook rekening houden met transportkosten en dus de afstand tussen waar de biomassa ontstaat en waar deze kan worden gebruikt (gesprek Greet Ghekiere, POVLT, 30/04/09, Beitem).

De investering- en werkingskosten variëren zeer sterk naargelang de aangewende verwerkingsmethode. Het lijkt ons niet aangewezen om voor iedere technologie een vereenvoudigde berekening uit te voeren. Op basis van de onrendabele top berekening kunnen we de toepassingen wel vergelijken met de andere technologieën (VITO, 2006, zie Tabel 4). We zien dat de meeste technologieën vandaag (zonder groenestroomcertificaten, maar met andere steunmaatregelen) reeds vrij dicht bij het break-even punt zitten. Comparatief gaat het vaak om de goedkoopste toepassingen van hernieuwbare energie.

Volgens Bert Gysen (VITO, gesprek 26/03/09, Mol) is er echter een belangrijk probleem voor de investering in de aanwending van biomassa: “Bij zon en wind heb je een behoorlijke zekerheid over de beschikbaarheid over tien jaar. Bij biomassa kunnen zowel de aanvoer als de regelgeving veranderen” Ruben Guisson (VITO, gesprek 26/03/09, Mol) vult aan: “Wat betreft de uitbating heb je garanties voor tien jaar, maar je bent nooit zeker dat de leverancier die je vandaag hebt, over drie jaar nog zal leveren. Wat langetermijncontracten betreft, zijn er moeilijkheden voor biomassa. Een grote bio-WKK uitbater is bijvoorbeeld een papierproducent. Die doet dat omdat hij zijn eigen grondstof genereert. Ook houtzagerijen zijn over het algemeen zekerder over de aanvoer van hun grondstoffen.” Een producent die volledig is aangewezen op de markt, krijgt dus te maken met grote onzekerheden over zijn aanvoer van brandstof. Electrawinds, een bedrijf dat twee types biomassacentrales uitbaat, tracht de betrouwbaarheid van haar grondstoffenleveringen te verhogen door contracten af te sluiten met haar leveranciers (gesprek Marleen Vanhecke, 04/05/09, Oostende). Volgens Vanhecke zijn de marktprijzen van diverse afvalstromen gerelateerd aan de prijzen voor fossiele brandstoffen. Toen enige tijd geleden de prijzen voor fossiele brandstoffen hoog waren, stegen immers ook deze van de inputstromen voor de biomassacentrales.

f. Beleidsmatig

Uit de interviews bleek dat de overheid zeer veel invloed heeft op de toepassing en toekomst van biomassa voor elektriciteit. Voor lokale biomassa bepaalt de overheid wat wordt aanzien als biomassa en wat niet (Francies Van Gijzeghem, ODE, 24/04/09, Brussel). Volgens Ruben Guisson van VITO (gesprek 26/03/09, Mol) heerst er vrij veel onduidelijkheid over het afvalbeleid: “OVAM beslist immers ad hoc of een afvalstroom in aanmerking komt. (...) Er is een biomassa inventarislijst waarin staat wat in aanmerking komt voor certificaten. Alleen voor afval zijn er 140 pagina’s aan inventaris. (...) Er is dan ook niemand die kan beantwoorden of iets in de toekomst biomassa zal zijn of niet. OVAM probeert dat als een goede huisvader te beslissen. (...) Voor de toekomst is de grote vraag welke biomassa we energetisch zullen mogen gaan valoriseren. Vandaag is er heel vaak een reststofvraag en een OVAM antwoord. De ladder van Lansink is momenteel heilig. Dat is een duidelijke tool, maar soms ontbreekt de logica.” Francies Van Gijzeghem (ODE, gesprek 24/04/09, Brussel) beaamt dat de overheid veel invloed heeft op de toekomst van biomassa: “Alles hangt af van de administratieve en wetgevende instrumenten die je ter beschikking stelt om iets mogelijk te maken. Ik stel vandaag samen met u vast dat het makkelijker is om hout vanuit Canada naar hier te halen, dan om het eigen hout te gebruiken afkomstig van op tien kilometer afstand van de installatie. Hoe komt dat? Dat zijn bepaalde structuren en wetgevingen die er ooit gekomen zijn.” In haar memorandum voor de komende verkiezingen geeft ODE Vlaanderen (2009, p14) hier dan ook commentaar op: “Vooraleer biomassa te gaan importeren kunnen de eigen potentiële stromen zoals hout en bio-afval aangewend worden. Voor hout is er in Vlaanderen bijvoorbeeld een potentieel van 250 MW voor de productie van groene stroom aanwezig. Door het niet op elkaar afgestemd zijn van de verschillende wetgevingen en instanties wordt dit potentieel momenteel niet gevaloriseerd. Het is bijgevolg niet te vermijden dat biomassa zal moeten geïmporteerd worden.” Een voordeel waarover Vlaanderen beschikt, en dat afkomstig is van het afvalbeleid in het verleden, is het feit dat we qua geselecteerde afvalinzameling aan de top staan van Europa (gesprek Ruben Guisson, VITO, 26/03/09, Mol). Francies Van Gijzeghem (ODE, gesprek 24/04/09, Brussel) beaamt: “Onze afvalinstallaties zijn het algemeen zijn de beste van de wereld. We hebben ook de hoogste recyclagegraad. (...) We staan alleen op die wereldtop met 73,8% recyclagegraad. Goed te verstaan, als regio, België niet. (...) Wij zitten nu aan de derde generatie van afvalverwerking, terwijl veel landen die recent tot de Europese Unie zijn toegetreden, in de eerste golf zitten. Die beginnen pas. Op dat vlak zijn we dus heel goed bezig. Het kan altijd nog wat beter, maar we gaan geen sprongen meer maken van maal twee.”

Wie een installatie wil bouwen voor de conversie van biomassa moet beschikken over een bouw- en milieuvergunning. Welke milieuvergunning precies vereist is, hangt af van het type installatie. Er wordt immers een onderscheid gemaakt tussen biomassa en biomassa-afval, bijvoorbeeld voor de emissiereglementering. Voor sommige toepassingen is melding aan de gemeente voldoende, in andere is er toestemming van de gemeente vereist en bij nog andere toepassingen beslist het provinciebestuur (ODE Vlaanderen en VITO, 2006). Prof. Greet Van Eetvelde (gesprek 23/03/09, Gent): “Vergunningen voor een biomassacentrale zijn heel moeilijk. Van zodra er een hoorzitting moet gebeuren, krijg je de publieke opinie tegen.” Vaak zijn een bouw- en milieuvergunning echter niet voldoende om een installatie te kunnen uitbaten. Neem het voorbeeld van een vergistingsinstallatie in agrarisch gebied. Daar zijn

diverse vergunning nodig, zowel op Vlaams, Federaal als Europees niveau. Dit leidt tot een heel complexe situaties die de nodige tijd en geld kosten. Wie vandaag een vergistingsinstallatie wil uitbaten, laat zich daarom vaak begeleiden door een studie bureau om alles te regelen (Greet Ghekiere, POVLT, gesprek 30/04/09, Beitem).

Er is een reeks *steunmaatregelen* ingevoerd om het gebruik van biomassa aan te moedigen. Sommigen kwamen reeds eerder aan bod. We bespreken ze niet in detail, maar lijsten ze hieronder op (ODE Vlaanderen en VITO, 2006):

- *De ecologiepremie.*
- *De investeringsaftrek.*
- *De groeipremie.* Deze is bedoeld als stimulans voor ondernemingen die in het Vlaamse Gewest investeringen willen doen. Via een soort wedstrijd kan men een dossier indienen.
- *Steun van het Vlaamse Landbouwinvesteringsfonds.*
- *Groenestroomcertificaten én warmtekrachtcertificaten.* De groenestroomcertificaten worden enkel toegekend voor de netto groene stroom. Het energieverbruik voor transport en voorbehandeling van biomassa wordt in mindering gebracht (Crevits, 2009).
- *Steun voor energiegewassen.* Voor energiegewassen kan onder bepaalde voorwaarden nog een extra premie worden aangevraagd van 45 euro per hectare. In 2010 vervalt deze steunmaatregel echter (Vlaamse Overheid, 2009b).

4.4.4. De toekomst van biomassa

a. Studies in verband met het potentieel van biomassa

Opnieuw hebben verschillende organisaties getracht het potentieel van biomassa in ons grondgebied te bepalen. In Tabel 22 zijn de belangrijkste resultaten weergegeven.

Bron	Regio	Horizon	Energie- teelten	Afval- en reststoffen	Totaal
ODE Vlaanderen (1997)	VL	2020			3.200
Commissie AMPERE (2000)	VL	2020	135 – 465	785 – 3.035	920 – 3.500
MITRE (2003)	B	2020			CP: 1.587 ARS ⁴¹ : 1.949
3E (2004)	B	2025			BAU: 3.933 PROA ⁴² : 6.718
VITO en 3E (2005)	VL	2020			BAU: 3.431 PRO ⁴³ : 4.416

Tabel 22: Overzicht potentieelstudies bio-energie (in GWh/jaar)

⁴¹ CP: current policies scenario, ARS: advanced renewable strategy scenario

⁴² BAU: business as usual scenario, PROA: pro-active scenario

⁴³ BAU: business as usual, PRO: proactief beleidsscenario

Vaak worden geen afzonderlijk gegevens weergegeven voor energieteelten. Bestaande potentieelstudies focussen voor energieteelten vaak op toepassingen in biobrandstoffen, die buiten het bestek van deze thesis liggen (Vlaamse milieumaatschappij, 2007). Specifiek voor het gebruik van snel roterende bomen als bioteelt in Vlaanderen kunnen we nog een extra studie vermelden. Namelijk deze van Vande Walle et al (2007). Zij berekenden dat de totale oppervlakte beschikbaar voor deze teelten ongeveer 10.000 ha bedragen, wat in het allerbeste geval zou kunnen leiden tot een productie van 0,25% van de totale elektriciteitsproductie. Hoewel de onderzoekers meegeven dat het om een zeer energie-efficiënte vorm van elektriciteitsproductie gaat, zien ook zij in dat het potentieel in Vlaanderen zeer beperkt is, hoofdzakelijk door de schaarste van de gronden in het dichtbevolkte grondgebied.

Bij de interpretatie van bovenstaande studies moeten we opletten: hier wordt immers niet alleen biomassa bestudeerd die in Vlaanderen wordt geproduceerd. Ten opzichte van windenergie zien we dat deze studies een minder grote groei verwachten. Toenames in de grootteorde van een verdrievoudiging ten opzichte van vandaag vormen zowat de bovengrens. Tegen 2020 zal windenergie immers biomassa inhalen qua aandeel in alle aangehaalde studies. Ondanks deze evolutie zal biomassa nog steeds zeer belangrijk blijven.

b. Heeft biomassa toekomst in Vlaanderen?

Voor *energieteelten* in Vlaanderen bleek er doorheen het onderzoek heel wat scepticisme te bestaan. De ruimtelijke determinant werd vaak als hoofdreden opgegeven. Johan Malcorps (Groen, gesprek 12/03/09, Antwerpen): “In Vlaanderen lijken energieteelten me geen realistische oplossing. Wanneer we dit type biomassa op grote schaal willen inzetten, moet er een groot stuk uit het buitenland komen.” Volgens Jo Dewulf (gesprek 10/03/09, Gent) kunnen genetisch gemodificeerde organismen (GGO's) nog een boost geven aan de hoeveelheid biomassa. Vraag is volgens hem of we dat wel willen. Toch speelt ook hier de ruimtelijke beperking. Ook Francies Van Gijzeghem (gesprek 24/04/09, Brussel) ziet geen potentieel zolang qua beleid alles status quo blijft: “We kunnen ons afvragen of het wel interessant is ons hier met energieteelten bezig te houden. (...) Maïs is één van de beste gewassen die we hier hebben. Korte omloophout, daar is men al jaren mee bezig, maar ik zie niet echt veel verschijnen.” Greet Ghekiere (POVTL, gesprek 30/04/09, Beitem) deelt die mening: “Ik denk dat zolang er andere biomassa voorhanden is, je ze niet uit energieteelten moet halen. De vraag is dus: is er behoefte aan energieteelten?” Energieteelten volledig naar de prullenbak verbannen, lijkt voorbarig. Greet Ghekiere: “Wij zijn zelf bezig met proefveldonderzoek omdat er wel vraag is. Om nu te zeggen dat energieteelten de toekomst worden van de Vlaamse landbouw, nee, dat denk ik niet. Ik denk dat wij echt hoogwaardige producties hebben.” Hoewel eerder beperkt, is men permanent op zoek naar alternatieven. We zagen reeds dat er onderzoek wordt gedaan naar het gebruik van algen. Die groeien in afvalwater, zelfs in zeewater en hebben weinig meer nodig om te gedijen dan zonlicht en CO₂. Bovendien kan men ze alle dagen oogsten. Momenteel is de kennis ervan een goed bewaard geheim bij enkele mensen (Bourne, 2007).

Afval- en reststoffen zijn verantwoordelijk voor het overgrote deel aan hernieuwbare energiebronnen. Tijdens het onderzoek kwam naar voor dat de toekomst van deze energiebronnen voor de meeste experts vrij onduidelijk is. Slechts enkele respondenten hadden hier een duidelijke mening over. Francies Van Gijzeghem (ODE, gesprek 24/04/09, Brussel): “De huishoudelijke afvalstromen, dat kan eigenlijk niet veel beter. Aan de industriële is nog wat de sleutelen. Ik denk dat we op zeer lange termijn misschien nog kunnen verdubbelen met eigen biomassa, maar dan zitten we aan 80 à 90% van het mogelijke potentieel.” Ruben Guisson (VITO, gesprek 26/03/09, Mol) deelt deze mening: “Verhoudingsgewijs blijven afval- en reststromen zeer belangrijk. Maar het overblijvende potentieel is niet zo groot. Bij verbrandingsinstallaties bijvoorbeeld wordt al redelijk veel gevaloriseerd. In Vlaanderen staan we wat betreft gesorteerd afval dan ook aan de top van Europa.” Blijkt dus dat Vlaamse biomassa in de toekomst belangrijk zal blijven, maar we hier geen groeicijfers meer mogen verwachten vergelijkbaar met deze uit wind- en zonne-energie.

We kunnen *concluderen* dat er voor *energieteelten* met het huidige beleid geen belangrijk aandeel is weggelegd in onze energievoorziening. Vrije gronden zijn schaars en duur in Vlaanderen. Op bestaande landbouwgronden moet men concurreren met voedingsgewassen. Een landbouwer zal telen wat voor hem het meeste opbrengt. Via voldoende hoge steunmaatregelen, waarbij men ervoor zorgt dat een boer met zijn akkers minstens evenveel verdient dan wanneer hij voedingsteelten heeft, kan men energieteelten dus aanmoedigen en zullen landbouwers bereid zijn energieteelten op hun akkers te verbouwen. Men kan verwerkers van biomassastromen eveneens verplichten een deel van hun inputstromen uit energieteelten te betrekken. We zien echter niet in waarom men kost wat kost deze energievorm zou moeten promoten. Er is nog wel wat potentieel voor verbetering, maar steunmaatregelen zullen vermoedelijk niet leiden tot grote kostendalingen in de toekomst. Bovendien zijn er aan energieteelten heel wat nadelen verbonden, denken we maar al alle ethische en maatschappelijke bezwaren, en de opbrengsten zijn niet echt groot. Het kan echter niet de bedoeling zijn deze energievorm te verbieden. Beperkte steunmaatregelen kunnen eventueel worden aangewend om te compenseren voor voordelen, zoals CO₂ neutraliteit, die niet door de markt worden gewaardeerd. De markt zal dan zelf de meest efficiënte toepassing kiezen.

Voor *afval- en reststoffen* liggen de besluiten enigszins anders. Ze zijn vandaag verantwoordelijk voor het overgrote deel van de groene stroomproductie. We denken dat dat nog een aantal jaren zo zal blijven. Hoewel nadien andere hernieuwbare energiebronnen mogelijk een belangrijker aandeel zullen vertegenwoordigen, zullen afval- en reststoffen nog steeds belangrijk blijven. De komende jaren kunnen nog enkele zaken worden geoptimaliseerd, maar uit het onderzoek blijkt dat we geen aanhoudende grote groeicijfers meer kunnen verwachten. Willen we naar een optimale benutting van onze afval- en reststoffen voor de energievoorziening gaan, gelden ook hier een aantal *voorwaarden*.

1. *In kaart gebrachte afvalstromen*

Ten eerste is het momenteel niet duidelijk welke afvalstromen precies aanwezig zijn in Vlaanderen. Doordat een investeerder geen goed zicht heeft op zijn inputstromen van de toekomst, worden investeringen geremd. Het beter in kaart brengen van deze stromen zou dit euvel kunnen verhelpen. Omdat de afvalstromen afkomstig zijn van diverse sectoren, denken we dat de overheid hier een coördinerende en/of opdrachtgevende rol in kan spelen.

2. *Logisch beleid en administratief eenvoudiger vergunningen*

Ten tweede bestaan er vandaag een aantal onlogische elementen in het beleid en verloopt de toekenning van vergunningen administratief zeer complex. Aan de overheid om deze problemen weg te werken. Zo is het zeer onlogisch dat hout massaal wordt geïmporteerd, maar dat het plaatselijk potentieel niet kan worden gevaloriseerd. Hier is enige aanpassing in de regelgeving op zijn plaats. Voor het toekennen van vergunningen is het logisch dat er bepaalde eisen worden gesteld bij afvalverwerking en dat deze nauwkeurig opgevolgd worden, maar we zien niet in waarom dit administratief zo moeizaam moet verlopen. Het centraliseren van de diverse vergunningen en attesten onder één aanspreekpunt, zou een hele stap vooruit betekenen.

3. *Passende steunmaatregelen*

Naar onze mening kunnen steunmaatregelen ook hier aangewend worden om nieuwe technologieën te ondersteunen bij hun ontwikkeling en om elementen die niet door de markt worden gewaardeerd op te nemen. Het moet echter duidelijk zijn dat toepassingen ooit, mits een correcte prijsvorming, competitief zullen zijn met de klassieke energiebronnen, anders hebben deze steunmaatregelen weinig zin. De markt van afval- en reststoffen blijkt immers vaak fluctuaties te vertonen gelijkaardig aan deze van de markten van klassieke energiebronnen. Men moet ook heel goed in de gaten houden welk effect steunmaatregelen hebben. Het kan niet de bedoeling zijn dat de productie van afval- en reststoffen wordt aangemoedigd. Het gaat nog steeds om producten die in de eerste plaats vermeden of hergebruikt dienen te worden.

4.5. Waterkracht

4.5.1. Definitie en werking

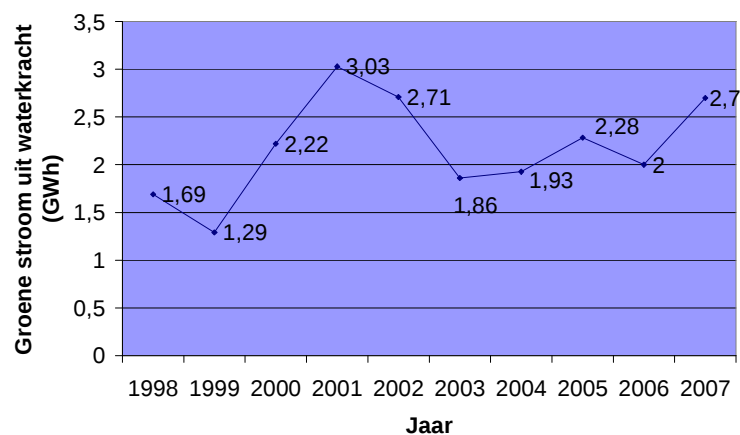
Waterkracht is volgens het IEA (2007, p23) de “potentiële en kinetische energie van water die wordt omgezet in elektriciteit in hydro-elektrische installaties.” Deze energievorm is op zich niet nieuw: al 2000 jaar gebruikt de mens waterkracht om molenstenen te doen draaien. In de vroege middeleeuwen had Vlaanderen zo’n 700 watermolens voor uiteenlopende toepassingen (ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid, 2006). De hedendaagse toepassingen voor elektriciteitsproductie behoren tot de eerste generatie hernieuwbare energie (IEA, 2007). Naast de toepassingen op waterlopen, zouden er mogelijkheden kunnen gevonden worden in het gebruik van regen voor de energievoorziening. Vlaanderen staat gekend als regenland, dus dit lijkt een goed idee. Misschien kunnen we daar in de toekomst iets mee doen, maar het onderzoek bracht geen mature technologie hiervoor aan het licht. We kunnen ons dus concentreren in het verder onderzoek op waterkracht.

Vaak wordt een onderscheid gemaakt tussen kleine en grote waterkracht. Volgens ODE Vlaanderen en het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (1999, p6) wordt met een kleine waterkrachtinstallatie “een installatie aangeduid waarbij potentiële energie, aanwezig in een waterloop wordt omgezet naar mechanische energie bij een netto vermogen minder dan 1 MW. Deze grens is vrij arbitrair, maar wordt gebruikt om het onderscheid te maken met installaties die gekenmerkt worden door grote ingrepen in de waterloop, meer bepaald het plaatsen van een stuwdam met vorming van een stuwmeer.” De aanwezige

kracht van water wordt met behulp van een turbine of een waterrad uit stromend of vallend water gehaald. De turbines drijven op hun beurt een generator aan, die elektriciteit produceert (VEA, a).

4.5.2. Evolutie tot nu toe

Op basis van cijfergegevens van de studiedienst van de Vlaamse Regering (2008, zie bijlage 3) kan de evolutie van de productie van elektriciteit uit waterkracht over de laatste tien jaar worden weergegeven (zie Figuur 15). We zien dat er zich, in tegenstelling tot de andere besproken technologieën, geen constante stijging heeft voorgedaan. Op basis van deze gegevens lijkt het dus niet echt om een technologie in volle expansie te gaan. Verder mogen we niet uit het oog verliezen dat de productie waarover we spreken wel heel erg laag is. Ter vergelijking: in 2007 werd 2,7 GWh aan groene stroom uit waterkracht geproduceerd, ten opzichte van 281 GWh uit wind (zie punt 4.2.2.). Waterkracht was in 2007 verantwoordelijk voor 0,15% van de groene stroom, bijgevolg vervult het een quasi verwaarloosbaar percentage in de totale energievoorziening. Dit in scherpe tegenstelling tot de wereldwijde situatie, waar hydro-elektriciteit in 2004 verantwoordelijk was voor 88% van de elektriciteitsproductie (IEA, 2007). Momenteel zijn er 15 installaties in Vlaanderen die groenestroomcertificaten ontvangen voor hun waterkrachtcentrales. Samen hebben ze een vermogen van 1 MW (VREG, 2009a).



Figuur 15: De productie van groene stroom uit waterkracht in Vlaanderen (GWh/jaar), cijfermateriaal afkomstig van de studiedienst van de Vlaamse regering (2008)

4.5.3. Groeideterminanten

Tabel 23 geeft een samenvatting weer van onderstaande analyse en dus van het antwoord op onderzoeksvraag één.

Determinant	Beschrijving
Klimatologisch	▪ Vlakke karakter Vlaanderen reduceert potentieel op binnenlandse wateren
Ruimtelijk	▪ Impact bij kleine toepassingen relatief beperkt
Technologisch	▪ Mature technologie, rendementen hoog
Ecologisch en maatschappelijk	▪ Geen grote problemen als passagemogelijkheid voor vissen aanwezig
Economisch	▪ Investeringskost: hoog in Vlaanderen ▪ Resultaat vereenvoudigde berekeningen kost elektriciteit: 98 à 160 €/MWh
Beleidsmatig	▪ Vergunningen: stedenbouwkundige vergunning, passage vissen vereist ▪ Steunmaatregelen: ecologiepremie, verhoogde investeringsaftrek en groenestroomcertificaten

Tabel 23: *Samenvattende tabel waterkracht*

a. Klimatologisch

Klimatologisch bekijken we opnieuw schommelingen in tijd en ruimte. Geografische schommelingen zijn voor waterkracht zeer belangrijk. Naast voldoende water vereisen waterkrachtcentrales immers een hoogteverschil. Het vlakke karakter van Vlaanderen beperkt bijgevolg onvermijdelijk het potentieel. Daardoor zal nagenoeg alleen kleine waterkracht mogelijk zijn in Vlaanderen. Onderstaande tabel geeft de molensites en stuwen aan die er in het Vlaams en Brussels Hoofdstedelijk Gewest zijn, evenals het totale potentieel vermogen⁴⁴ ervan (ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid, 2006). Over het eventueel oprichten van nieuwe watermolens en stuwen, werden geen gegevens gevonden. Volgens Jo Neyens (ODE, gesprek 24/04/09, Brussel) zijn de bestaande molensites en stuwen de enige opties.

Molensites					
Aantal					Totaal potentieel vermogen (MW)
< 5 kW	5 – 10 kW	10 – 15 kW	15 – 40 kW	> 40 kW	
186	60	19	32	18	4,01
Stuwen					
Aantal					Totaal potentieel vermogen (MW)
< 100 kW	100-500 kW	> 500 KW			
6	23	9			12,49

Tabel 24: *Aantal molensites en stuwen, met hun potentieel vermogen (ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid, 2006, p7-8)*

⁴⁴ Het vermogen bekomt men door het debiet (m³/s), de valhoogte (m) en de valversnelling (9,81) te vermenigvuldigen. Om te weten wat het effectief opwekbaar elektrisch vermogen is, moet men nog vermenigvuldigen met het rendement van de turbine of het waterrad, het rendement van de tandwielkast en het rendement van de generator (ODE Vlaanderen en Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 1999).

Qua tijdsschommelingen zijn waterkrachtcentrales meestal onderhevig aan een seizoenscyclus, een dagcyclus is niet aanwezig. Wereldwijd wekt een waterkrachtcentrale 4.500 à 6.500 uur per jaar elektriciteit op (50 à 75% van de tijd), afhankelijk van geografische en topografische omstandigheden (Willems, 2005). Volgens ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid (1999) zouden de kleine waterkrachtcentrales die bij ons worden ingezet méér dan 95% van de tijd elektriciteit leveren. Dit wil evenwel niet zeggen dat er op ieder moment evenveel elektriciteit wordt geleverd. Volgens de commissie AMPERE (2000, p56) is de capaciteitsfactor⁴⁵ van de Belgische waterkrachtinstallaties 34%. Deze is echter afhankelijk van de mate waarin de rivier een gelijkmatig debiet vertoont.

b. Ruimtelijk

Voor grote waterkrachtprojecten is heel wat ruimte nodig (Willems, 2005). Op die manier kan de aanwending van waterkracht in conflict komen met alternatieve aanwendingen van de ruimte. Dit element speelt echter vooral voor grote waterkracht. Voor bestaande molensites en stuwen in Vlaanderen speelt het ruimtelijke aspect niet echt wanneer men deze zou willen aanwenden voor elektriciteitsproductie. Voor stuwen moet meestal een aanpassing worden doorgevoerd in de bouwkundige structuur (ODE Vlaanderen en de Vlaamse Overheid, 2006).

c. Technologisch

Het gebruik van waterkracht behoort tot de zogenaamde eerste generatie technologieën waardoor het om een vrij mature technologie gaat (IEA, 2007).

Het *rendement* voor het omzetten van hydraulische in elektrische energie is vrij hoog. Willems (2005) heeft het over 70 tot 80%. ODE Vlaanderen en het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (1999) bespreken dit rendement meer in detail. Ze stellen daarbij dat het rendement van een waterkrachtcentrale het product is van drie verschillende rendementen, waarvoor ze verschillende waarden nemen:

- *Het rendement van de turbine of het waterwiel.* Deze varieert naargelang het type waterwiel, van 35% voor een stootrad tot 90% voor een turbine.
- *Het rendement van de tandwielkast (of de riemoverbrenging).* Deze is bijvoorbeeld 97%.
- *Het rendement van de generator.* Deze is bijvoorbeeld 90%.

Aansluiting op het net blijkt voor de toepassing van kleine waterkracht wereldwijd vaak een probleem (IEA, 2007). In Vlaanderen stelt zich dit probleem in mindere mate daar er zowat overal aansluitingsmogelijkheden zijn en het om kleine vermogens gaat. Variabiliteit in het aanbod kan eventueel wel problemen opleveren, maar omdat het om kleine vermogens gaat, is de impact beperkt. Voor grootschalige toepassingen kunnen wel problemen opduiken.

⁴⁵ Dit is de fractie van het jaar dat de installatie bij werking op vol vermogen zou nodig hebben om de jaarproductie te halen (Commissie AMPERE, 2000).

d. Ecologisch en maatschappelijk

Waterkrachtcentrales brengen tijdens hun gebruik geen schadelijke uitstoot van gassen met zich mee. Ook de indirecte emissies, deze verbonden aan de bouw van de waterkrachtcentrale bijvoorbeeld, zouden gering zijn (Commissie AMPERE, 2000). Toch kunnen waterkrachtcentrales een belangrijke impact hebben op milieu en maatschappij. Deze problemen duiken in de praktijk vooral op bij grootschalige waterkrachtprojecten. Voor de aanleg van de Drie-Kloven-dam in China bijvoorbeeld kwam het woongebied van miljoenen inwoners onder water. Ook de kwaliteit van de landbouwgronden stroomafwaarts daalde doordat het vruchtbare slib door de dammen werd tegengehouden (Willems, 2005). Bij kleine waterkracht wordt de waterloop weinig gewijzigd, hierdoor zijn er geen grote gevolgen voor de natuur in de omgeving van de waterloop (ODE Vlaanderen en het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 1999). Volgens ODE Vlaanderen (1997) zou er geen negatieve impact zijn op natuur of milieu op voorwaarde dat men een passagemogelijkheid voorziet voor vissen.

e. Economisch

Economisch gezien stelt het IEA (2006) dat het gebruik van waterkracht voor energieopwekking een mature en commercieel competitieve technologie is. Wereldwijd is waterkracht dan ook zeer belangrijk. Maar specifiek voor Vlaanderen stelt zich wel een probleem. Vlaanderen heeft immers nauwelijks waterlopen die over voldoende vermogen beschikken. Bij de qua vermogen interessante sites, namelijk de stuwen op de grote rivieren en kanalen, zijn vaak grote bouwkundige werken nodig om tot installatie van een waterkrachtcentrale over te gaan. De investeringskosten liggen dan vrij hoog. Een kostenbesparing zou kunnen gerealiseerd worden wanneer men bij aanpassingswerken voor waterbeheersing of scheepvaart, meteen een mogelijkheid voorziet voor installatie van een waterkrachtcentrale (ODE Vlaanderen, 1997).

Waterkrachtcentrales vereisen een zeer grote investering. Daar tegenover staat een zeer lange gebruiksduur (Willems, 2005), in sommige toepassingen tot 50 jaar (IEA, 2007). Om de kosten te schatten van een gemiddelde kleine waterkrachtcentrale konden we niet zo eenvoudig recente cijfers vinden. Om toch een idee te krijgen van de kost van het gebruik van waterkracht voor de energievoorziening, geven we in Tabel 25 een aantal vereenvoudigde berekeningen weer. We gaan uit van een investeringskost van 6 miljoen euro per MW (Willems, 2005) en 4,5 miljoen (Commissie AMPERE, 2000), een equivalente gebruiksduur van 4.500 uur per jaar (Willems, 2005) en 3.000 uur per jaar (Commissie AMPERE, 2000), en een levensduur van 30 jaar. De onderhoudskosten houden we voor deze oefening op 2,5% van de investeringskost zoals voorgesteld door de Commissie AMPERE (2000). Bovendien hanteren we een percentage voor de verdiscontering van 5%.

		Equivalente gebruiksduur	
		3.000 uur/jaar	4.500 uur/jaar
Investering kost per MW	4.500.000 €	135,1 €	90,1 €
	6.000.000 €	180,1 €	120,1 €

Tabel 25: Vereenvoudigde berekening kost per MWh geproduceerde groene stroom uit kleinschalige waterkracht (eigen berekening)

f. Beleidsmatig

Ook bij deze energievorm speelt de overheid een rol en kan ze een aantal determinanten beïnvloeden. Zo eist de Vlaamse administratie de helft van het water op in sommige sites voor vispassage (gesprek Jo Neyens, 24/04/09, Brussel). Voor de bouw van een toepassing voor het gebruik van waterkracht is een stedenbouwkundige *vergunning* vereist (ODE Vlaanderen, VITO en 3E, 2004). Qua *steunmaatregelen* werd waterkracht opgenomen in het systeem van de groenestroomcertificaten met een minimumvergoeding van 95 euro per MW. In de toekomst zou deze vergoeding 60 euro worden (Vlaams Parlement stuk 2163, 2009). ODE Vlaanderen (2009) levert hier echter commentaar: “Bij het berekenen van de onrendabele toppen heeft men de oefening voor kleine waterkracht niet gemaakt en gewoon gelijkgesteld met (grootschalige) windenergie. De gegarandeerde waarde van de groenestroomcertificaten volstaat voor het merendeel van de sites niet of vergt een afschrijvingstermijn van 30 jaar.” Naast groenestroomcertificaten kan wie investeert in waterkracht beroep doen op de verhoogde investeringsaftrek en ecologiepremie (ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid, 2006).

4.5.4. De toekomst van waterkracht

a. Studies in verband met het potentieel van waterkracht

Diverse studies hebben reeds het potentieel van waterkracht in België of Vlaanderen bepaald. De belangrijkste resultaten zijn opgenomen in Tabel 26.

Bron	Regio	Horizon	Potentieel
ODE Vlaanderen (1997)	VL	2020	106
Commissie AMPERE (2000)	B	2020	380
MITRE (2003)	B	2020	CP: 706, ARS ⁴⁶ : 706
3E (2004)	B	2025	333
VITO en 3 ^E (2005)	VL	2020	BAU: 4, PRO ⁴⁷ : 4

Tabel 26: Overzicht potentieelstudies waterkracht (in GWh/jaar)

⁴⁶ CP: current policies scenario, ARS: advanced renewable strategy scenario

⁴⁷ BAU: business as usual, PRO: proactief beleidsscenario

We zien dat de potentieelstudies voor België een relatief vrij hoog aandeel aangeven ten opzichte van deze voor Vlaanderen. Het potentieel voor waterkracht bevindt zich dan ook vooral in Wallonië. Geen van de bronnen beweert dat er in de toekomst een belangrijk aandeel is weggelegd voor waterkracht in de totale elektriciteitsproductie van Vlaanderen.

b. Heeft waterkracht toekomst in Vlaanderen?

Wereldwijd zijn de verwachtingen van waterkracht voor de toekomstige energievoorziening hooggespannen. Het zou hierbij gaan om de in veel gevallen goedkoopste manier om energie op te wekken (IEA, 2006). De situatie in Vlaanderen is evenwel enigszins anders. Zoals we konden zien op Figuur 15, heeft er zich de afgelopen jaren geen noemenswaardige groei afgetekend. Tijdens het literatuuronderzoek stootten we vrijwel uitsluitend op documenten uit het vorige decennium. Ook de geïnterviewde personen waren vrij kort en duidelijk in hun conclusies. Eén element werd door zowat alle experts genoemd als zijnde de voornaamste beperking van waterkracht in Vlaanderen: onze vlakke ligging. Alleen al omwille van de klimatologische randvoorwaarden, kan de energie die door waterkracht kan worden opgewekt in Vlaanderen, dus slechts een klein deel van de totale energiebehoefte dekken. We zien dan ook geen redenen waarom er in de toekomst een enorme groei in het aandeel aan hernieuwbare energie uit waterkracht zou zijn. Toch kan het volgens ODE Vlaanderen (1997) zinvol zijn om bestaande installaties te restaureren of nieuwe installaties te bouwen. We besluiten dan ook dat waterkracht vermoedelijk nooit een noemenswaardig potentieel zal opbouwen.

5. Conclusie

5.1. Onderzoek en beperkingen

In deze thesis gingen we op zoek naar de determinanten en de toekomst van hernieuwbare energie voor de elektriciteitsproductie in Vlaanderen. Windenergie, zonne-energie, biomassa (afval- en reststoffen en energieteelten) en waterkracht werden daarbij besproken. Het onderzoek gebeurde door middel van een combinatie van literatuuronderzoek van secundaire bronnen en kwalitatief onderzoek via interviews. In deze gesprekken kwamen veertien experts van hernieuwbare energie uit verschillende domeinen aan het woord. Bij de verwerking van de resultaten werden eerst de diverse determinanten van iedere energiebron bestudeerd. Concreet keken we daarbij naar klimatologische, ruimtelijke, technologische, ecologische en maatschappelijke, economische en beleidsmatige elementen. Op basis van de interpretatie van deze determinanten kon bepaald worden welke energiebronnen toekomst hebben in Vlaanderen.

Bij een onderzoek duiken onvermijdelijk een aantal *beperkingen* op. Ten *eerste* spitste ons onderzoek zich enkel toe op het gebruik van hernieuwbare energiebronnen voor elektriciteitsproductie en keken we niet naar toepassingen voor warmte en brandstoffen. Een *tweede* beperking van het onderzoek, die vooral van belang bleek voor biomassa en afval, is dat we enkel keken naar hernieuwbare energiebronnen die in Vlaanderen aanwezig zijn en/of kunnen geproduceerd worden. Op die manier werden geen energiebronnen beschouwd die (kunnen) ingevoerd worden, zoals de massaal ingevoerde houtpellets die over het algemeen als biomassa worden beschouwd. Een *laatste* beperking die we kunnen vermelden is de externe validiteit of generaliseerbaarheid van het onderzoek. Dit onderzoek is eerder verkennend. Veertien respondenten kunnen onmogelijk een volledig valide onderzoek opleveren. Bovendien is hernieuwbare energie vrij nieuw en de mogelijkheden ervan worden nog volop ontdekt en ontwikkeld. Daardoor is het onderzoek tijdsgebonden en niet zozeer generaliseerbaar in de tijd.

5.2. Toekomstpotentieel en voorwaarden

Uit het onderzoek bleek dat zowel voor *windenergie, zonne-energie als afval- en reststoffen* een toekomst is weggelegd in Vlaanderen. In de nabije toekomst, is windenergie vermoedelijk de energiebron waarvan de grootste relatieve toename kan verwacht worden. Zonne-energie heeft vooral op iets langere termijn groeipotentieel. Afval- en reststoffen, vandaag reeds de belangrijkste hernieuwbare energiebronnen, zullen ook in de toekomst belangrijk blijven. Toch zijn er een aantal factoren die het potentieel van deze energiebronnen onvermijdelijk zullen beperken. Voor wind speelt de ruimtelijke determinant heel sterk. Hoewel niet alle respondenten het hier unaniem over eens waren, zouden over een aantal jaar alle mogelijke plaatsen voor windturbines opgebruikt zijn. Ook voor zonne-energie is de ruimtelijke determinant niet onbelangrijk, maar zijn de mogelijkheden vermoedelijk iets groter. Toepassingen op gebouwen zijn immers mogelijk. Bij afval- en reststoffen wordt de bovengrens bepaald door de hoeveelheid afval- en reststoffen die in Vlaanderen aanwezig zijn. Daarvan zou al een vrij groot aandeel worden gebruikt.

Wil men het bestaande potentieel van deze drie energiebronnen ontwikkelen, gelden evenwel een aantal voorwaarden.

1. *Passende steunmaatregelen*

Ten eerste zullen steunmaatregelen, zoals groenestroomcertificaten, moeten aangehouden worden zolang de hernieuwbare energievormen niet competitief zijn met de klassieke. De overheid speelt hier een centrale rol. We zijn er ons echter van bewust dat er voor- en tegenstanders zijn van dit systeem. Ons inziens, dienen steunmaatregelen een dubbele rol te vervullen:

a. *Correctie prijsvorming door de markt*

Op lange termijn dient de overheid er idealiter voor te zorgen dat de marktprijs voor de verschillende energiebronnen, ook de klassieke, correct is. Vandaag komen immers diverse externe effecten, zoals milieuproblemen, en voordelen niet tot uiting in de prijsvorming. In afwachting van een meer correcte prijs kunnen steunmaatregelen aangewend worden ter compensatie. Een aantal voordelen van hernieuwbare energiebronnen, zoals milieuvriendelijkheid, kleinere afhankelijkheid van fluctuerende marktprijzen, etc. worden op die manier gewaardeerd.

b. *Ondersteuning van de ontwikkeling van hernieuwbare energie*

Toepassingen van hernieuwbare energie zijn over het algemeen vrij nieuw en in volle ontwikkeling. In een nieuwe sector als deze moet worden geïnvesteerd vooraleer men er de vruchten van kan plukken. Op die manier is het zinvol (in de tijd dalende) steunmaatregelen aan te houden zolang ze resulteren in significante prijsdalingen. Voorwaarde is wel dat de vooruitzichten zo zijn dat deze energievormen ooit, mits een correcte prijs, competitief kunnen zijn met de klassieke energievormen. We hebben geen glazen bol, maar zowel voor wind, zon als afval- en reststoffen leek deze voorwaarde aanwezig, zij het voor zon op langere termijn dan voor de andere energiebronnen. Bovendien blijken we qua hernieuwbare energie, vooral windenergie, een aanzienlijke achterstand te hebben ten opzichte van andere landen. Energie neemt een zodanig belangrijke plaats in in onze maatschappij dat we ons niet kunnen permitteren om achter te blijven. De steunmaatregelen moeten ervoor zorgen dat de energievormen stabiel kunnen groeien. Overdreven steunmaatregelen zijn ons inziens overbodig. De actoren van de hernieuwbare energiemarkt krijgen op die manier inkomsten in de schoot geworpen en zullen niet geneigd zijn om kosten- en efficiëntieverbeteringen te realiseren. Het kan niet de bedoeling zijn dat bedrijven enkel profiteren van de steun en de energievormen ontwikkelen als een puur financieel product met een hoge return on investment. Bovendien dient men nauwkeurig in de gaten te houden welk effect steunmaatregelen hebben. Zo kan het niet de bedoeling zijn dat de productie van afval aangemoedigd wordt.

2. *Goede communicatie en/of het opzetten van een kwaliteitssysteem*

Ten tweede dient er een goede communicatie te zijn naar de burgers toe teneinde het maatschappelijk draagvlak voor hernieuwbare energie in stand te houden en te verhogen. Het is belangrijk dat mensen de voor- en nadelen van de verschillende energiebronnen correct kunnen inschatten en dat NIMBY reacties die resulteren uit foute inschattingen zoveel mogelijk worden beperkt. Voor zonne-energie bleek er een speciale nood aan het beter uitbouwen van een kwaliteitssysteem voor installateurs. Op die manier worden burgers die willen investeren in deze

energievorm, beschermd en verhindert men dat mensen met slechte bedoelingen het maatschappelijk draagvlak ondermijnen. Deze elementen houden in feite een gemeenschappelijke taak in voor alle actoren van de energiemarkt, maar de overheid zou hier een voortrekkersrol kunnen spelen.

3. *Meewerkende beleidsmaatregelen en in kaart gebrachte afval- en reststromen*

Ten derde mogen beleidsmaatregelen, zoals vergunningen, niet onnodig tegenwerken. Wanneer de technologie zo evolueert dat de vereisten kunnen wijzigen, dienen deze wijzigingen te worden doorgevoerd. Algemeen moet het beleid vrij constant zijn over de regeringen heen. Een steeds veranderende regelgeving resulteert immers in een onstabiel investeringsklimaat. Specifiek voor afval- en reststoffen dienen enkele onlogische elementen in het beleid weggewerkt te worden. Zo wordt hout vandaag massaal geïmporteerd, maar kan het plaatselijk potentieel onmogelijk worden gevaloriseerd. Bovendien zouden de administratief zeer moeizaam verlopende vergunningen en attesten gecentraliseerd moeten worden onder één aanspreekpunt. Daarnaast dienen afval- en reststromen beter in kaart te worden gebracht. Vandaag is het niet echt duidelijk welke afvalstromen precies aanwezig zijn in Vlaanderen. Hierdoor kunnen investeringen worden geremd. Omdat afval- en reststromen afkomstig zijn van diverse sectoren, zou de overheid hier een coördinerende en/of opdrachtgevende rol in kunnen spelen.

4. *Verbetering van de interactie met het net*

Ten vierde kunnen problemen opduiken met de huidige netten wanneer het aandeel aan wind- en zonne-energie in onze totale energievoorziening toeneemt. Tijdens het onderzoek reikten we hiervoor enkele oplossingen aan. De diverse actoren van de elektriciteitsmarkt dienen hun verantwoordelijkheid op te nemen in de ontwikkeling en implementatie van deze elementen. Hier en daar kan de overheid een coördinerende rol spelen.

5. *Verbeterende technologie en kostendalingen*

Ten vijfde moeten inspanningen worden geleverd om de technologie te verbeteren en kostendaling te realiseren. Alle technologieën, maar vooral zonne-energie, bleken vandaag nog vrij duur. Men verwacht de noodzakelijke kostendalingen wel, maar dit zal niet vanzelf gaan. Concreet dienen actoren in de sector hun inkomsten aan te wenden om deze kostendalingen en efficiëntieverbeteringen te realiseren. De snelheid waarmee kosten dalen, heeft immers een belangrijke impact op het moment waarop technologieën competitief zullen worden.

Het potentieel voor *energieteelten* in Vlaanderen bleek beperkt. Vrije gronden zijn schaars en duur en op bestaande landbouwgronden zouden deze teelten moeten concurreren met voedingsgewassen. Alleen hoge steunmaatregelen of verplichtingen kunnen ervoor zorgen dat deze energievorm significant zal groeien. We zien echter niet in waarom energieteelten extra zouden moeten gestimuleerd worden ten opzichte van andere hernieuwbare energiebronnen. Aan deze energiebron zijn er immers enkele nadelen verbonden, denken we maar aan alle ethische bezwaren, en de opbrengsten zijn niet echt groot. Bovendien zullen steunmaatregelen hier in mindere mate leiden tot kostendalingen. In die optiek dienen ze enkel aangewend te worden ter compensatie van een aantal voordelen die niet door de markt gewaardeerd worden. Voor *waterkracht* bleek het potentieel, alleen al door onze vlakke ligging, zeer

beperkt. Eventueel kunnen er nog een aantal inspanningen geleverd worden, maar die zullen nooit resulteren in een aanzienlijke bijdrage tot onze elektriciteitsvoorziening.

Willen we ooit een mooi percentage hernieuwbare energie halen, dan zal het zeker en vast een én – én - én verhaal worden van windenergie, zonne-energie en afval- en reststoffen, daar waren alle respondenten het over eens. We moeten echter realistisch blijven. Deze energievormen zullen hoogstwaarschijnlijk nooit een volledige oplossing bieden voor het toekomstig energieprobleem. Toch bleek uit het onderzoek dat hernieuwbare energiebronnen een realistische opportuniteit inhouden. Indien aan bovenstaande voorwaarden wordt voldaan, kunnen ze immers wel een significante bijdrage realiseren tot onze energievoorziening.

5.3. Aanbevelingen voor verder onderzoek

“Alles draait om energie, het is de bron van leven en succes” (Noels, 2008, p163). Het dreigend energieprobleem houdt menig wetenschapper bezig en werd dus al op verschillende fronten onderzocht. Bij het schrijven van deze thesis botsten we echter op nog een aantal hiaten. Toekomstig onderzoek zou zich hierop kunnen toespitsen. Uit bovenvermelde voorwaarden bleek reeds dat er nog heel wat technologische verbeteringen en kostendalingen vereist zijn voor de verschillende technologieën. Vooral voor de, nog zeer dure, zonne-energie dient er nog heel wat onderzoekswerk te worden verricht. Ook qua interactie met het net, zijn er nog heel wat mogelijkheden voor verbetering, denken we maar aan opslag, communicatie met afschakelbaar vermogen, etc. Naast deze elementen, kwamen nog een aantal andere elementen voor verder onderzoek aan bod:

- Ten eerste zou men het gevoerde onderzoek van dit eindwerk kunnen aanvullen met cijfermateriaal en een meer valide onderzoek.
- Ten tweede moeten bestaande potentieelstudies worden geüpdatet. De meest recente dateren immers van 2005.
- Ten derde is het gebruik van hernieuwbare energiebronnen vrij nieuw. Daardoor zijn er nog nagenoeg geen afgedankte PV-systemen en windturbines. We moeten echter niet wachten tot het probleem zich stelt om na te denken over de mogelijke verwerking of recyclage ervan.
- Tot slot wezen de experts op een aantal zeer specifieke punten waar nog onderzoek vereist is. Zo zouden betere prognoses van de beperkt voorspelbare energiebronnen hun waarde kunnen verhogen. Het effect van vervuiling en reiniging op het rendement van zonnepanelen is eveneens een element dat verder dient onderzocht te worden.

Tot slot nog dit. Hernieuwbare energie was lang een begrip voor ‘groene’ idealisten. Vandaag de dag is het realiteit. Als we een oplossing willen vinden voor de energieproblemen van morgen, moeten we vandaag nadenken over alternatieven. Ik heb getracht u met deze thesis wegwijs te maken in de mogelijkheden van hernieuwbare energie in Vlaanderen. Bovendien heb ik gepoogd een aantal concrete knelpunten aan te reiken. Ik hoop u op die manier te hebben overtuigd dat hernieuwbare energie wel degelijk een realistische opportuniteit inhoudt.

Lijst van de geraadpleegde bronnen

1. Boeken, rapporten en wetenschappelijke teksten

3E (2004, juni); *SPSD II : renewable energy evolution in Belgium 1974-2025* ; Belgian Science Policy

3E, KUL, RUG (2004); *Optimal Offshore Wind Energy Developments in Belgium*; Belgian Science Policy

Abulfotuh (2007); *Energy efficiency and renewable technologies: the way to sustainable energy future*; Elsevier science; Desalination 209; pp 275-282

Alsema E., Nieuwlaar E. (2000); *Energy viability of photovoltaic systems*; Elsevier science; Energy Policy 28; pp 999-1010

Bertani R. (2005); *World geothermal power generation in the period 2001-2005*; Elsevier science; Geothermics 34; pp 651-690

Bourne, J. K. JR. (2007, oktober); *Groene dromen: is biobrandstof de alternatieve energiebron waar onze planeet naar smacht?*; National Geographic (Nederland en België)

Commissie 2030 (2007, 19 juni); *Belgium's energy challenges towards 2030 -final report-*

Commissie AMPERE (2000; oktober); *Hernieuwbare en alternatieve energieën*; In: Rapport van de Commissie voor de Analyse van de Productiemiddelen van Elektriciteit en de Reoriëntatie van de Energievectoren (AMPERE) aan de Staatssecretaris voor Energie en duurzame Ontwikkeling, III Hoofdrapport van de Commissie; Commissie AMPERE

Coolsaet D. Goethals D., Longrée D., Plinke P., Van den Branden J., Vancorenland L. (2008); *Terranova 5 – leerboek*; uitgeverij de boeck

Crevits H. (2009); Antwoord op parlementaire vraag nummer 370 van 3 februari 2009 van Joke Schauvliege

D'haeseleer W. (2005); *Energie vandaag en morgen: beschouwingen over energievoorziening en – gebruik*; Acco

De Pelsmacker P., Van Kenhove P. (2006); *Marktonderzoek : methoden en toepassingen*; Pearson; pp 87-158

De Standaard (2009, 17 februari); *Belwind stelt offshore windpark uit*; p4

De Zitter A. (2009); *'Groene technologie' correct geïnterpreteerd, milieutechnoloog Jo Dewulf wint prestigieuze prijs*; Magazine Universiteit Gent; pp 2-5

- Demirbas A. (2008); *Global Geothermal Energy Scenario by 2040*; Taylor & Francis Group; Energy Sources, part A, 30: 1890-1895
- Electrabel (2004); *Hernieuwbare energie, Natuurlijk onuitputtelijk*
- Electrabel GDF Suez (2007); *Groenboek van Electrabel*
- EPIA (2009); *Global Market Outlook for photovoltaics until 2013*
- European Environment Agency (2004); *Energy subsidies in the European Union: a brief overview*
- European Photovoltaic Technology Platform (2007); *A strategic Research Agenda for Photovoltaic Solar Energy Technology*
- Europees Parlement (2001, 27 oktober); *Richtlijn 2001/77/EG van het Europees parlement en de raad van 27 september 2001 betreffende de bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen op de interne elektriciteitsmarkt*
- Evans A., Strezov V., Evans T. (2008); Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies; Elsevier science; Renewable and sustainable energy reviews 13 (2009); pp 1082-1088
- Everaert J. (2003); Windturbines en vogels in Vlaanderen: voorlopige onderzoeksresultaten en aanbevelingen; *Natuur.oriolus*; 64(4): 145-155
- EWEA (2009a); *The Economics of Wind Energy: A report by the European Wind Energy Association*
- Fthenakis V., Chul Kim H. (2009); *Land use and electricity generation: A life cycle analysis*; Elsevier Science; Renewable and Sustainable Energy Reviews 13; pp 1465-1474
- Groen (2009); *Voorstel van Resolutie tot opmaak van een Groene New Deal voor Vlaanderen*
- Huber C., Faber T., Haas R., Resch G. (2003); *Organising a joint green European electricity market: the model ElGreen*; Elsevier science; Renewable Energy 29, pp 197-210
- IEA (2006); *Energy Technology perspectives, scenarios & strategies to 2050*
- IEA (2007, januari); *Renewables in global energy supply*; an IEA fact sheet
- Jäger-Waldau A. (2005); *Photovoltaic and renewable energies in Europe*; Elsevier science; Renewable and Sustainable Energy Reviews; pp 1414-1437
- Kazmerski (2005); *Solar photovoltaics R&D at the tipping point: a 2005 technology overview*; Elsevier science; Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena 150; pp 105-135
- Manigart S., Meuleman M. (2004); *Financing entrepreneurial companies: how to raise private equity as a high growth company*; Larcier

- Martinez E., Sanz F., Pelligrini S., Jimenez E., Blanco J. (2009); *Life cycle assessment of a multi-megawatt wind turbine*; Elsevier Science; Renewable energy 34; pp 667-673
- Maso I., Smaling A. (1998); *Kwalitatief onderzoek: praktijk en theorie*; Boom
- Messens E. (2008); *Geothermische elektriciteitsproductie, België en zijn natuurlijke rijkdommen?*; Het vrije woord; p 1-4
- Miles M., Huberman A. (1994); *Qualitative Data Analysis*; Sage Publications
- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (2004); *Windenergie in Vlaanderen: Beleid, wetgeving en financiën*
- MITRE (2003); *Meeting the Targets & Putting Renewables to Work, Country Report Belgium*
- Morthorst P.E. (2002); *A green certificate market combined with a liberalised power market*; Elsevier science; Energy Policy 31; pp 1393-1402
- Neuhoff K. (2007); *Large-Scale deployment of Renewables for Electricity Generation*; In: Helm D. (2007); *The New Energy Paradigm*; Oxford University Press; pp 288-318
- Neyens J. (2006); *Advies van ODE Vlaanderen en Biogas-E over de studie: 'onrendabele toppen van duurzame elektriciteitsopties in Vlaanderen'*
- Neyens J. (2008, 22 oktober); *Hernieuwbare energie: potentieel 2020*; Presentatie Hoorzitting MINA-raad
- Noels G. (2008); *Econoshock*; Houtekiet; 2008
- ODE Vlaanderen (1997); *De mogelijkheden en belemmeringen voor hernieuwbare energie in Vlaanderen*, eindrapport ter voorbereiding van een "Duurzaam energieplan voor Vlaanderen"; in opdracht van het Vlaams Gewest
- ODE Vlaanderen (2006); *Vergisting: omzetten van biomassa in een energierijk gas*
- ODE Vlaanderen (2009, 30 maart); *"Hernieuwbare energie werkt in Vlaanderen", memorandum over hernieuwbare energie, Vlaamse Verkiezingen, 7 juni 2009*
- ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid (2001); *Biomassa*
- ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid (2006); *Duurzame energie, wegwijzer 2007*
- ODE Vlaanderen en de Vlaamse overheid (2007); *Elektriciteit uit zonlicht*
- ODE Vlaanderen en het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (1999, december); *Kleine waterkracht*

ODE Vlaanderen en het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (2004); *Bouwen met fotovoltaïsche zonne-energie*

ODE Vlaanderen en VITO (2006); *Bio-energie, Omzetten van vaste biomassa in hernieuwbare warmte en elektriciteit*

ODE Vlaanderen, VITO en 3E (2004); *Is er plaats voor hernieuwbare energie in Vlaanderen?*; studie in opdracht van viWTA

OVAM (2008); *Inventarisatie biomassa 2006-2007*

Pacca S., Sivaraman D., Keoleian G. (2007); *Parameters affecting the life cycle performance of PV technologies and systems*; Elsevier Science; Energy Policy 35; pp 3316-3326

Peeters K. (2004); *Beleidsnota 2004-2009: Energie en natuurlijke rijkdommen*

Radziemska E., Ostrowski P. (2008); *Recycling and reuse treatment of photovoltaic systems*; Proceedings of ecopole 2007, vol 2; pp 237-242

Schauvliege J. (2009, 23 maart); *Houtpellets: groene stroom uit het buitenland*; persbericht

Schilling M. (2008); *Strategic Management of Technological Innovation*; McGraw-Hill/Irwin; pp 134-139

Toke D. (2006); *Renewable financial support systems and cost-effectiveness*; Journal of Cleaner Production 15; pp 280-287

Vande Walle I., Van Camp N., Van de Castele L., Verheyen K., Lemeur R. (2007); *Short rotation forestry of birch, maple, poplar and willow in Flanders (Belgium) II. Energy production and CO2 emission reduction potential*; Elsevier science; Biomass and Bioenergy 31; pp 276-283

VEA (2009a); *Premies voor energiebesparing in Vlaanderen*

VEA en ODE Vlaanderen (2007); *Fotovoltaïsche zonne-energie, elektriciteit uit de zon*

Verbruggen A. (2003), *Tradable green certificates in Flanders (Belgium)*; Elsevier science; Energy Policy 32; pp 165-176

Verhaegen K., Meeus L., Belmans R. (2006); *Towards an international tradable green certificate system – the challenging example of Belgium*; Elsevier Science; Renewable and Sustainable Energy Reviews

VITO (2005, mei); *Onrendabele toppen van duurzame elektriciteitsopties in Vlaanderen*; studie uitgevoerd in opdracht van VEA

VITO (2006, juni); *Onrendabele toppen van duurzame elektriciteitsopties in Vlaanderen*; studie uitgevoerd in opdracht van VEA

VITO en 3E (2005, oktober); *Prognoses voor hernieuwbare energie en warmtekrachtkoppeling tot 2020*; studie uitgevoerd in opdracht van ANRE

Vlaams Economisch Verbond (2006, juni); *Voka-studie 04: Elektriciteits nu en in de toekomst: strategisch product voor burgers en bedrijven*

Vlaams Parlement (2009, 6 maart), stuk 2163; *Ontwerp van decreet tot wijziging van het decreet van 17 juli 2000 houdende de organisatie van de elektriciteitsmarkt*

Vlaamse Milieumaatschappij (2005); *Energie: zoektocht naar milieuvriendelijke energievormen*; MIRA-T 2005

Vlaamse Milieumaatschappij (2007); *Milieurapport Vlaanderen, achtergronddocument Sector Energie*

Vlaamse overheid (2000, 17 juli); *Decreet houdende de organisatie van de elektriciteitsmarkt*

Vlaamse overheid (2006); Omzendbrief EME/2006/01-RO/2006/02; *Afwegingskader en randvoorwaarden voor de inplanting van windturbines*

Vlaamse overheid (2009a); Omzendbrief LNE/2009/01-RO/2009/01; *Beoordelingskader voor de inplanting van kleine en middelgrote windturbines*

Vlaamse Regering (2009, 19 januari); *Pact 2020: een nieuw toekomstpact voor Vlaanderen, 20 doelstellingen*

VREG (2008a); *Marktrapport: de Vlaamse energiemarkt in 2007*

VREG (2008b); *Marktmonitor 2007*

VUB en ODE Vlaanderen (2000); *Een Windplan voor Vlaanderen: een onderzoek naar mogelijke locaties voor windturbines: samenvattend eindrapport*

Willems J. (2005); *Hernieuwbare energie: mogelijkheden en beperkingen*; In: *Energie vandaag en morgen: beschouwingen over energievoorziening en –gebruik*; D'haeseleer; Acco

Yin R. (2003); *Case Study Research: Design and Methods*; Third Edition; Sage Publications

2. Websites

3E (2009); *Engineering a sustainable energy future*; URL: <<http://www.3e.be/>>; (21/03/09)

Aspiravi; *Windenergie*; URL: <http://www.aspiravi.be/nl/index_nl_vo2.htm>; (11/04/09)

Crevits H. (2007); *Energie*; URL <<http://www.hildecrevits.be/nieuw/03bevoegdheden/energie.php>>; (22/02/09)

EEA (2009); *Who we are*; URL: <<http://www.eea.europa.eu/about-us/who>> ; (10/05/09)

Electrawinds (2008); *Bedrijfsinfo*; URL: <http://www.electrawinds.be/electrawinds_Bedrijfsinfo.asp?taal=nl> ; (01/05/09)

Energiewereld (2009); *Woordenlijst*; URL: <http://www.energiewereld.nl/default.asp?page=informatie&item=lexicon&document_id=265>; (08/04/09)

European Photovoltaic Technology Platform (2009); *What is it?*; URL: <<http://www.eupvplatform.org/index.php?id=37>>; (10/05/09)

European Wind Atlas (1989); *European Wind Atlas: European on-shore wind resources et 50 metres a.g.l. for five different topographic conditions and European off-shore wind resources for five different heights above sea level*; URL: <<http://www.windatlas.dk/Europe/About.html>>; (13/04/09)

Europees Parlement Bureau Nederland (2009); *EU lidstaten gesorteerd op aantal inwoners*; URL: <<http://www.europa-nu.nl/9353000/1/j9vvh6nfo8temvo/vhc6ksyiqqzz>> ; (06/05/09)

EWEA (2009b); *About EWEA*; URL: <<http://www.ewea.org/index.php?id=6>>; (23/04/09)

Federale overheid (2008); *De bevoegdheden van de federale overheid*; URL: <http://www.belgium.be/nl/over_belgie/overheid/federale_overheid/bevoegdheden_federale_overheid/>; (08/04/09)

Federale overheidsdienst Economie, K.M.O., Middenstand en Energie; *Hernieuwbare energie: algemeenheden*; URL: <http://mineco.fgov.be/energy/renewable_energy/renewable_energy_nl_001.htm>; (07/04/09)

Federale overheidsdienst Economie, K.M.O., Middenstand en Energie (2004); *Commissie AMPERE*; URL: <http://economie.fgov.be/energy/ampere_commission/home_nl/htm>; (23/04/09)

IEA (2009); *About IEA*; URL: <<http://www.iea.org/about/index.asp>>; (23/04/09)

IST (2009); *Organisatie*; URL: <<http://www.samenlevingentechnologie.be/ists/nl/organisatie/index.html>>; (23/04/09)

KUL, faculteit psychologie en pedagogische wetenschappen (2006); *Validiteit en betrouwbaarheid*; URL: <<http://ppw.kuleuven.be/FL/validiteit.htm>>; (15/03/09)

ODE Vlaanderen (2008a, januari); *Windenergie*; URL: <<http://ode.be/index.php?page=windenergie>>; (10/04/09)

ODE Vlaanderen (2008b); *Wind power installed in Europe by the end of 2007 (cumulative)*; URL: <<http://ode.be/uploads/images/windenergie/windmap-08-EWEA.pdf>>; (10/04/09)

ODE Vlaanderen (a); *Biomassa*; URL: <<http://ode.be/index.php?page=biomassa>>; (16/04/09)

ODE Vlaanderen (b); *Welkom bij ODE Vlaanderen*; URL: <<http://www.ode.be>>; (23/04/09)

POVLT; *Algemeen*; URL: <<http://www.west-vlaanderen.be/upload/povlt/site-2007/index.htm>>; (30/04/09)

Soltech; *20 jaar Soltech*; URL: <<http://www.soltech.be/item.php?lang=NL&itemno=136>>; (29/04/09)

Studiedienst van de Vlaamse regering (2008); *Excel-tabellen*; URL: <<http://www4.vlaanderen.be/dar/svr/Cijfers/Pages/Excel.aspx>>; (07/04/09)

Universiteit Gent (2009); *Duurzame Bedrijventerreinen en InterBedrijfsSamenwerking*; URL: <<http://www.dbt.ugent.be/index.php?page=contact>>; (08/04/09)

VEA (2006); *Vereiste bebakening*; URL: <<http://www.energiesparen.be/node/916>>; (14/05/09)

VEA (2008); *Doelstellingen hernieuwbare energie*; URL: <<http://www.energiesparen.be/node/937>>; (07/04/09)

VEA (2009b); *Ondersteuning voor fotovoltaïsche zonne-energie in Vlaanderen via groenestroomcertificaten*; URL: <<http://www.energiesparen.be/groenestroomcertificaten>>; (19/04/09)

VEA (a); *Waterkracht*; URL: <<http://www.energiesparen.be/milieuvriendelijke/waterkracht>>; (18/04/09)

VEA (b); *Vlaams Energieagentschap*; URL: <http://www.energiesparen.be/over_vea>; (23/03/09)

VITO (2009); *Vito, vision on technology*; URL: <www.vito.be>; (23/04/09)

Vlaamse Overheid (2009b, 9 maart); *Premie energiegewassen*; URL: <<http://lv.vlaanderen.be/nlapps/docs/default.asp?id=239>>; (02/05/09)

Vlaamse overheid, landbouw en visserij (2009, 27 januari); *Definitieve omzetting braaktoeslagrechten*; URL: <<http://lv.vlaanderen.be/nlapps/docs/default.asp?id=1178>>; (03/05/09)

VMM (2009); *Over VMM*; URL: <<http://www.vmm.be/over-vmm>>; (23/04/09)

VREG (2009a, 31 maart); *Productie-installaties in Vlaanderen waarvoor groenestroomcertificaten worden toegekend*; URL: <http://www.vreg.be/nl/03_algemeen/02_energiemarkt/03_statistieken/04_groenestroom.asp>; (10/04/09)

VREG (2009b); *Wat doen we?*; URL: <http://www.vreg.be/nl/03_algemeen/01_overvreg/02_wat.asp>; (23/04/09)

VREG; *Groenenstroomproducenten - het systeem van GSC – Gebruik voor de certificatenverplichting*;
URL:

<http://www.vreg.be/nl/06_sector/04_groenestroomproducenten/01_systeem/06_certificatenverplichting.asp>; (08/04/09)

VWEA; *Vlaamse WindEnergie Associatie*; URL: <www.vwea.be>; (23/04/09)

3. Gesprekken

Gesprek met mevrouw Greet Ghekiere; POVLT; 30/04/09; Beitem

Gesprek met mevrouw Ils Moorkens; VITO; 26/03/09; Mol

Gesprek met mevrouw Marleen Vanhecke; Electrawinds; 04/05/09; Oostende

Gesprek met meneer Bert Gysen; VITO; 26/03/09; Mol

Gesprek met meneer Chris Derde; VWEA; 26/03/09; Sint-Gillis-Waas

Gesprek met meneer Eric Van Assche; Soltech; 25/03/09; Tienen

Gesprek met meneer Francies Van Gijzeghem; ODE; 24/04/09; Brussel

Gesprek met meneer Jo Neyens; ODE; 24/04/09; Brussel

Gesprek met meneer Johan Malcorps; Groen, 12/03/09; Antwerpen

Gesprek met meneer Luc Hendrieckx; Eandis; 25/02/09; Gent

Gesprek met meneer Philippe Van den Bosch; Eandis; 25/02/09; Gent

Gesprek met meneer Ruben Guisson; VITO; 26/03/09; Mol

Gesprek met prof. Greet Van Eetvelde; Ugent; 23/03/09; Gent

Gesprek met prof. Jo Dewulf; Ugent; 10/03/09; Gent;

Gesprek met prof. Vandeveld; Ugent; 23/03/09; Gent

Bijlagen

Bijlage 1: Eenheden van energie en vermogen

Eenheden

J	Joule	eenheid van energie
W	Watt	eenheid van vermogen; $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$
Wh	Wattuur	eenheid van energie; $1 \text{ Wh} = 3.600 \text{ J}$; $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$
Wp	Wattpiek	eenheid van nominaal opgesteld vermogen (PV)
Toe	ton olie equivalent	de gemiddelde verbrandingswarmte van 1 (metrieke) ton ruwe aardolie; $1 \text{ toe} = 41.868.000.000 \text{ J} = 41.868 \text{ MJ}$
Tce	ton steenkool equivalent	$1 \text{ tce} = 29.307,6 \text{ MJ}$

Veelvouden

k	kilo	eenheid x 1000
M	mega	eenheid x 10^6
G	giga	eenheid x 10^9
T	tera	eenheid x 10^{12}
P	peta	eenheid x 10^{15}
E	exa	eenheid x 10^{18}

Bijlage 2: Organisaties actief rond hernieuwbare energie

In deze bijlage worden de organisaties waarnaar verwezen wordt doorheen de thesis kort toegelicht.

1. In Vlaanderen

1.1. Organisatie voor Duurzame Energie Vlaanderen (www.ode.be)

De organisatie voor Duurzame Energie Vlaanderen (ODE-Vlaanderen) is “de sectororganisatie voor duurzame energie in het Vlaamse gewest”. De organisatie werkt aan informatie- en bewustmakingscampagnes. Daarnaast organiseert ODE het overleg tussen hernieuwbare energiebedrijven onderling en met de overheid via overlegplatformen per energiebron (ODE Vlaanderen, b).

1.2. Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt (www.vreg.be)

De Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt (VREG) is een Vlaamse overheidsinstantie die instaat voor de regulering, controle en bevordering van de transparantie van de elektriciteits- en aardgasmarkt in het Vlaamse gewest. De organisatie zorgt ervoor dat de Vlaamse elektriciteits- en aardgasmarkt efficiënt georganiseerd wordt en werkt. Daarvoor verstrekt ze advies aan de Vlaamse overheid en controleert en reguleert ze de energiemarkt. Daarnaast kan de gebruiker er terecht voor vragen en informatie (VREG, 2009b).

1.3. Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (www.vito.be)

De Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO) werd in 1991 opgericht door de Vlaamse Overheid als onafhankelijk onderzoeks- en adviescentrum voor bedrijven en de overheid. Haar missie is om “als onafhankelijke en klantgerichte onderzoeksorganisatie innoverende technologische oplossingen te verschaffen, alsook wetenschappelijk onderbouwde adviezen en ondersteuning om duurzame ontwikkeling te stimuleren en het economisch en maatschappelijk weefsel in Vlaanderen te versterken”. Ze werkt hiervoor samen met universiteiten en andere onderzoeksinstellingen, zowel nationaal als internationaal (VITO, 2009).

1.4. Instituut Samenleving & Technologie (www.samenlevingentechnologie.be)

Het Instituut Samenleving & Technologie (IST) is de nieuwe naam voor het Vlaams Instituut voor Wetenschappelijk en Technologisch Aspectenonderzoek (viWTA). Het is een autonome instelling verbonden aan het Vlaams parlement die maatschappelijke aspecten onderzoekt van wetenschappelijke en technologische ontwikkelingen. Door haar activiteiten wil het Instituut bijdragen tot het verhogen van de kwaliteit van het maatschappelijk debat en tot een beter onderbouwd beslissingsproces (IST, 2009).

1.5. Vlaams Energieagentschap (www.energiesparen.be)

Het Vlaamse Energieagentschap (VEA) is een verzelfstandigd agentschap van het Vlaams ministerie van Leefmilieu, Natuur en Energie en geeft uitvoering aan een duurzaam energiebeleid. Haar belangrijkste taken zijn het stimuleren van rationeel energieverbruik en milieuvriendelijke energieproductie en het bijdragen tot beleidsuitvoering en –ondersteuning (VEA, b).

1.6. Vlaamse Milieumaatschappij (www.vmm.be)

De Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) behoort als Intern Verzelfstandigd Agentschap tot het beleidsdomein Leefmilieu, Natuur en Energie van de Vlaamse overheid. Ze heeft als missie “bij te dragen tot de realisatie van de doelstellingen van het milieubeleid door het voorkomen, beperken en ongedaan maken van schadelijke effecten voor watersystemen, verontreiniging van de atmosfeer en het rapporteren over de toestand van het leefmilieu en tot de realisatie van de doelstellingen van het integraal waterbeleid.” De organisatie stelt onder meer het Milieurapport Vlaanderen (MIRA) op (VMM, 2009).

1.7. Vlaamse WindEnergie Associatie (www.vwea.be)

De Vlaamse WindEnergie Associatie (VWEA) “ijvert voor de gedragen ontwikkeling van windenergie in Vlaanderen. Ze verenigt de actoren in de windenergiesector, zoals studiebureaus, projectontwikkelaars, windparkuitbaters en toeleveringsindustrie en is bovendien het aanspreekpunt voor de overheid en bedrijven met interesse in windenergie. De organisatie maakt deel uit van ODE-Vlaanderen (VWEA).

2. In België

2.1. Commissie voor de Analyse van de Middelen voor de Productie van Elektriciteit en de Reëvaluatie van de Energievectoren (Commissie AMPERE)

De Commissie voor de Analyse van de Middelen voor de Productie van Elektriciteit en de Reëvaluatie van de Energievectoren (AMPERE) is belast met het formuleren van aanbevelingen en voorstellen inzake de toekomstige keuzes op het vlak van elektriciteitsproductie opdat deze zouden overeenstemmen met de noden van de samenleving, de economie en het milieu van de éérentwintigste eeuw (FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie, 2004).

3. In Europa

3.1. Europees windenergie Agentschap (www.ewea.org)

De European Wind Energy Association (EWEA) noemt zichzelf de stem van de windindustrie, waarbij ze het gebruik van windenergie promoot in Europa en de wereld. De organisatie heeft 550 leden afkomstig van 50 verschillende landen, waaronder zowel bedrijven, onderzoeksinstituten, consultants, etc. Ze

coördineert een internationaal beleid, communicatie, onderzoek en analyse. Bovendien biedt ze diverse diensten aan op maat van de noden van haar leden en organiseert ze events (EWEA, 2009b).

3.2. European Photovoltaic Industry Association (www.epia.org)

De European Photovoltaic Industry Association (EPIA) is de grootste associatie in de wereld die zich concentreert op de markt van elektriciteit uit zonlicht. De organisatie wil fotovoltaïsche zonne-energie promoten op nationaal, Europees en wereldniveau en wil haar leden bijstaan in de ontwikkeling van hun business zowel in Europese als exportmarkten (EPIA, 2009).

3.3. European Environment Agency (www.eea.europa.eu)

Het European Environment Agency (EEA) is een agentschap van de Europese Unie. De organisatie startte haar activiteiten in 1994 en haar voornaamste taak bestaat uit het verschaffen van onafhankelijke informatie omtrent het milieu. Momenteel heeft telt het EEA 32 leden (EEA, 2009).

3.4. European Photovoltaic Technology Platform (www.eupvplatform.org)

Het European Photovoltaic Technology Platform is een organisatie die alle actoren die een lange termijnvisie over fotovoltaïsche energie delen, wil verenigen. Men wil een Europese strategische onderzoeksagenda opstellen voor de komende tien jaar en advies verlenen omtrent de implementatie ervan. Op die manier wil ze het Europese leiderschap in stand houden (European Photovoltaic Technology Platform, 2009)

4. Wereldwijd

4.1. International Energy Agency (www.iea.org)

Het International Energy Agency (IEA) is een autonoom orgaan dat werd opgericht in 1974 naar aanleiding van de toenmalige oliecrisis binnen de Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). De organisatie bestaat uit 28 landen waaronder België. De Europese Commissie neemt deel aan het werk van het IAE. De organisatie wil een adviseur zijn voor zijn leden bij het bepalen van het energiebeleid waarin ze inspanningen leveren om te voorzien in betrouwbare, betaalbare en schone energie voor hun inwoners (IEA, 2009).

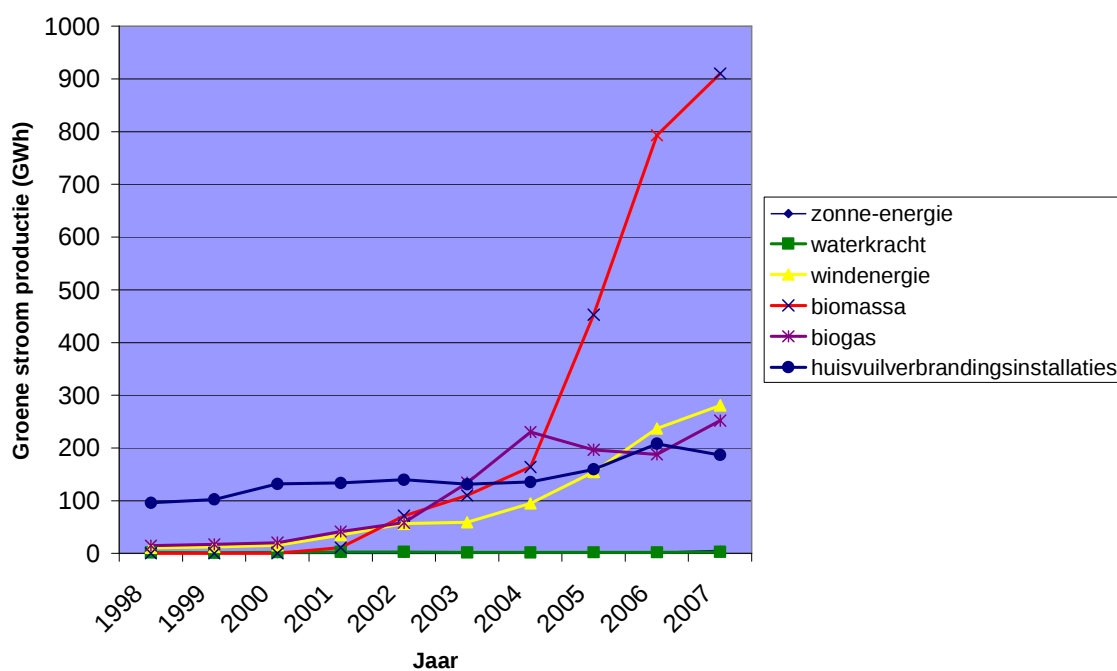
Bijlage 3: Gegevens gebruikt voor punt 2.3.

Voor het Vlaamse Gewest (Bron: Studiedienst van de Vlaamse Regering, 2008)

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Totaal bruto elektriciteitsverbruik (GWh)	53.476	52.812	54.545	55.329	56.588	57.552	57.409	58.200	60.139	61.000
Zonne-energie	0	0,032	0,083	0,161	0,248	0,423	0,638	1,30	2	5,6
Waterkracht	1,69	1,29	2,22	3,03	2,71	1,86	1,926	2,28	2	2,7
Windenergie	10,8	12,7	15,5	34,7	56,3	58,9	95,039	154,40	237	281
Biomassa	0	0	0	11,3	71,6	110,04	163,9	452,80	793	910
Biogas	14,7	17,3	20,6	41,6	58,2	133,95	230,2	196,70	188	252
Huisvuilverbrandingsinstallaties	95,9	102,5	132,02	133,6	139,8	131,3	135,3	159,50	208	187
Productie groene stroom (GWh)	123	134	170	224	329	436	627	967	1.430	1.638
Aandeel groene stroom %	0,2	0,3	0,3	0,4	0,6	0,8	1,1	1,7	2,4	2,7

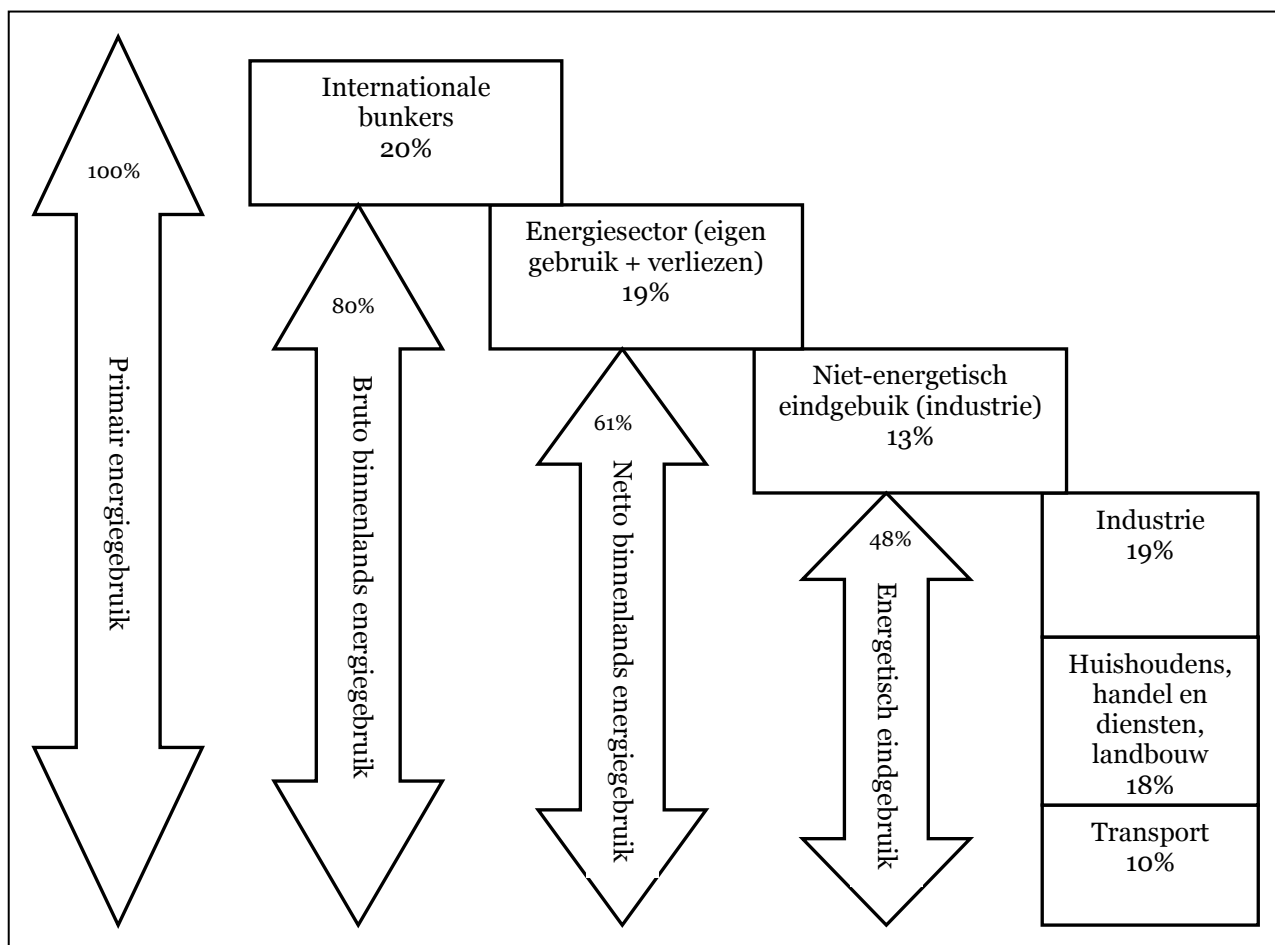
Wereldwijd (Bron: IEA, 2007, p12)

	Elektriciteitsproductie (TWh)
Zonne-energie	4
Waterkracht	2810
Windenergie	82
Biomassa	227
Geothermische energie	56



Evolutie van de groene stroomproductie (in GWh)

Bijlage 4: Overzicht van de verschillende termen gebruikt voor energiegebruik en hun betekenis



(Bron: Vlaamse Milieumaatschappij, 2007)

Bijlage 5: Randvoorwaarden die het potentieel beperken

1.	Klimatologische randvoorwaarden:
1A	Tijdsschommelingen in het aanbod,
1B	Geografische schommelingen van fysisch aanbod
2.	Ruimtelijke randvoorwaarden:
2A	Beschikbare ruimte: Vlaams Gewest
2B	Concurrentie tussen conversietechnieken (vb. thermische zonnecollectoren versus PV-module),
2C	Concurrentie tussen sectoren (energie versus voeding, kunststoffen...),
2D	Nuttige beschikbare ruimte of geschikte technische ruimte (oriëntatie daken, geschikte rivier...)
3.	Technologische randvoorwaarden:
3A	Omzettingsrendementen,
3B	Beschikbare vermogens van installaties,
3D	Interactie met elektriciteitsnet en productiepark (back-up power, regelvermogen, dispatching...),
3E	Dynamiek van energievraag: demandside management, jaarlijkse evolutie energievraag
4.	Ecologische en maatschappelijke randvoorwaarden:
4A	Milieu-impact (directe en indirecte uitstoot en milieuschadelijke stoffen),
4B	Hergebruik: vb cascadereregeling (ladder van Lansink) van bioafval,
4C	Ruimtelijke ordening (windenergie),
4D	Maatschappelijke aanvaarding ('not in my backyard'),
4E	Ecologisch beheer (vismigratie bij waterkracht)
5.	Economische randvoorwaarden:
5A	Wisselwerking met macrofactoren: werkgelegenheid, groei, BBP, groei energievraag,
5B	Micro-economische haalbaarheid: brandstofprijzen, elasticiteiten,
5C	Internationale handel van energie, biomassa, certificaten
6.	Politieke randvoorwaarden
6A	Beleidsstrategie, steunprogramma's en wettelijk kader,
6B	Inrekening externe kosten: prijsbeleid, prijszetting, accijnzen, etc.
7.	Tijdshorizon
7A	2010,
7B	2020,
7C	2050,
7D	2025

(Bron: ODE Vlaanderen, VITO en 3E, 2004)

Bijlage 6: Feed-in tariffs versus groenestroomcertificaten

In Europa worden twee belangrijke systemen toegepast voor operationele steunmaatregelen: feed-in tariffs en groenestroomcertificaten. Het belangrijkste onderscheid is dat feed-in tariffs prijsgebaseerd zijn, terwijl groenestroomcertificaten eerder hoeveelheidsgedreven zijn (Huber et al, 2003). Laat ons even dieper ingaan op deze systemen. Bij het eerste type (de feed-in tariffs) bepaalt de overheid een prijs waaraan de elektriciteitsleveranciers alle hernieuwbare energie die door de producenten wordt geproduceerd voor het distributienetwerk, moeten aankopen. Op die manier wordt de prijs voor hernieuwbare energie niet bepaald door de markt, maar vastgelegd door de overheid. Voor de leverancier komt dit systeem neer op een kostenverhoging die wordt doorgerekend aan de klant onder de vorm van hogere prijzen (European Environment Agency, 2004). Voor de producent gaat het over vaste betalingen die worden gegarandeerd over lange termijn (bijvoorbeeld 20 jaar). Voorstanders zeggen dat dit systeem tot een enorme boost van hernieuwbare energie heeft geleid in Spanje en Duitsland, waardoor het zijn nut heeft bewezen. Tegenstanders zien het vooral als een verspilling van middelen. Zij prefereren het tweede type steunmaatregelen, de meer op de markt gebaseerde programma's zoals het systeem van groene stroomcertificaten (Toke, 2006). In plaats van een vaste prijs te plakken op de energie zelf, krijgt de producent van hernieuwbare energie in dit systeem certificaten voor zijn productie, die hij op de markt kan verkopen. Deze certificaten worden gecombineerd met minimum quota vereisten. Deze gelden in wezen voor de eindgebruikers, maar om het systeem te vereenvoudigen wordt deze eis vaak opgelegd aan leveranciers of distributeurs. Op die manier krijgen producenten van hernieuwbare energie, bovenop de marktprijs voor energie, de marktprijs van hun certificaat (Verhaegen et al, 2006). De assumptie is hier dat dit in relatief competitieve markten tot een meer efficiënt gebruik van middelen zal leiden (Toke, 2006). Belangrijk voor beide systemen is volgens het IEA (2007) de duur en de voorspelbaarheid ervan, ze blijken pas te werken indien ze voor voldoende lange termijn zijn gegarandeerd.

Bijlage 7: Overzicht berekeningaanname onrendabele top

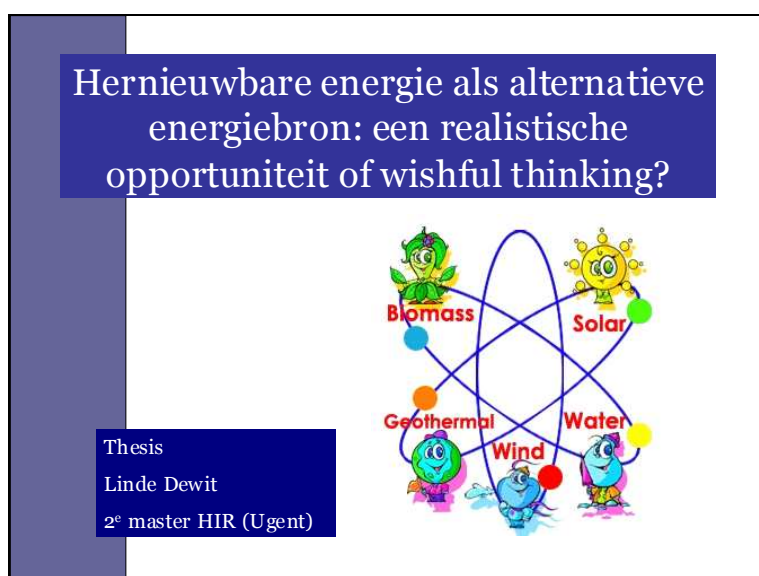
		Onshore windenergie groter dan 1,5 MW	Meestook biomassa in centrales	Stortgas	Energie recuperatie bij waterzuivering	Elektriciteitsproductie uit biofuel	Kleinschalige biomassa centrale	Covergisting mest- energie teelt	Covergisting mest-organische afvalstoffen	Vergisting energiegewassen	Vergisting organisch- biologische nevenstromen	Vergisting groenten-, fruit- en tuinafval	Afvalverbranding installaties	PV renovaties	PV nieuwbouw	PV ondernemingen
Installatiegrootte	kWe	1500	11400	500	500	500	20480	250	170	250	1000	1085	8500	2	2	2
Investeringskosten	€/kWe	1100	220	1300	1675	760	3418	3450	3450	3450	3450	19426	2800	7420	8470	7000
Bedrijfstijd/vollasturen	Uren/jaar	1650	7000	4566	3000	3000	7800	7500	7000	7500	7500	8328	7800	750	750	750
Vaste O&M kosten	€/kWe	39	-	150	-	-	-	350	350	350	350	2601	-	-	-	-
Variabele O&M kosten	Ct€/kWe	-	0,2	-	3	1,5	1,5	-	-	-	-	-	2	-	-	-
Overige operationele kosten	Ct€/kWe	-	0,8	-	-	-	2,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energie-inhoud	GJ/ton	-	16	19,2	22	37,5	13	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	10	-	-	-
Brandstofkosten	€/ton	-	83	-	-	477	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elektrisch rendement	%	-	38	32	35	40	26	32	32	32	32	35	20	-	-	-
Thermisch rendement	%	-	-	-	40	30	6	21	21	21	21	53	-	-	-	-
Referentierendement WKK (elektrisch)	%	-	-	-	42	43	34	42	42	42	42	42	-	-	-	-
Referentierendement WKK (thermisch)	%	-	-	-	70	90	85	70	70	70	70	70	-	-	-	-
RPE WKK	%	-	-	-	28,8	21,3	-19,7	6,3	6,3	6,3	6,3	37,1	-	-	-	-
Stroomprijs	Ct€/kWe	2	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	15	15	15
Vermeden brandstofkosten (gas)	€/m ³	-	-	-	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	-	-	-	-	-
Vermeden brandstofkosten (kolen)	€/ton	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Effectiviteit brandstofsubstitutie	%	-	93,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hoeveelheid digestaat per jaar	Ton	-	-	-	-	-	-	9000	10500	4150	35000	-	-	-	-	-
Kostprijs afzet digestaat	€/ton	-	-	-	-	-	-	6	4	12	12	-	-	-	-	-
Kosten (+)/opbrengsten (-) ingaaende stromen	€/ton	-	-	-	-	-	-	25	-5	25	-	-81,8	-	-	-	-
Hoeveelheid ingaaende stromen	Ton/jaar	-	-	-	-	-	-	5000	4800	5000	-	51175	-	-	-	-
Totale kosten ingaaende stromen	€/jaar	-	-	-	-	-	-	125000	-24000	125000	-	-186115	-	-	-	-
Verlaagde milieuheffingen	€/jaar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	500000	-	-	-
Economische levensduur	Jaar	15	10	10	10	10	15	10	10	10	10	20	15	20	20	20
Debt/equity ratio	-	80/20	80/20	55/45	80/20	80/20	70/30	55/45	55/45	55/45	55/45	100/0	80/20	80/20	80/20	80/20
Rente lening	%	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Termijn lening	Jaar	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	20	10	10	10	10
Return on equity	%	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	12	3	3	8
Vernootschapsbelasting of marginale aanslag	%	34	34	-	34	34	34	-	-	-	-	-	-	45	45	34
IA of belastingvermindering	% of €	14,5%	14,5%	-	14,5%	14,5%	14,5%	-	-	-	-	-	-	1280	1280	14,5%
% van investering in aanm. IA	%	86	100	-	100	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	100
EP	%	25	25	35	25	25	25	35	35	35	35	-	-	12	24	35
Meerkost in aanmerking EP	%	10	80	40	50	50	50	40	40	40	40	-	-	-	-	70
Prijs WKK certificaat	€	-	-	-	27	27	-	27	27	27	27	27	-	-	-	-
OT	Ct€/kWh	9,5	3,6	4,2	2,0	10,2	9,1	16,1	8,9	15,9	12,2	9,9	7,0	45,0	45,0	45,0

(Bron: VITO, 2006)

Bijlage 8: Inleiding onderzoek zoals voorgesteld aan de experts

Laat ons starten met een korte inleiding. Nadien gaan we over naar het echte interview waarbij ik uw input zal vragen om zaken te becommentariëren en aan te vullen. Aarzel niet om mij te onderbreken mocht u bij deze inleiding reeds opmerkingen hebben.

De titel van mijn thesis luidt: 'Hernieuwbare energie als alternatieve energiebron: een realistische opportuniteit of wishful thinking?' Zoals bij ieder onderzoek ben ik gestart met een aantal inleidende elementen.



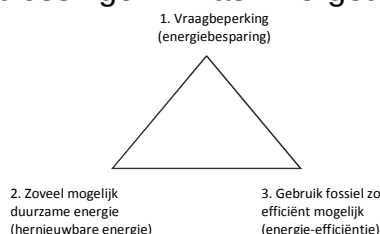
Slide 1

Zo ben ik gaan kijken waarom hernieuwbare energie zo belangrijk is. Klassieke energievormen hebben te maken met een aantal problemen: enerzijds het uitgeput raken van deze energiebronnen en de locatie van hun voorraden. Anderzijds de milieuproblemen die met de meeste klassieke vormen gepaard gaan.

Als oplossing voor die problemen wordt door vele organisaties de trias energetica naar voor geschoven, soms ook de 3E's genoemd maar dat is eigenlijk hetzelfde. Energiebesparing of vraagbeperking is daar een eerste, te prefereren stap. Vervolgens moeten we voor de resterende energievraag zoveel mogelijk duurzame energiebronnen gebruiken. Wanneer dat niet volstaat, kunnen we eindige energiebronnen zo efficiënt mogelijk gebruiken. We zien dat hernieuwbare energie als één van de mogelijke oplossingen naar voor wordt geschoven.

Inleiding

- Problemen klassieke energie
 - Opraken + locatie energiebronnen
 - Milieuproblemen
- Oplossingen: Trias Energetica

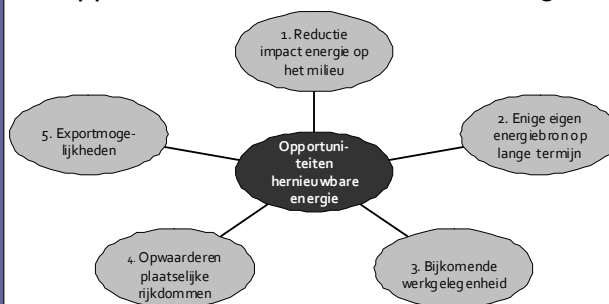


Slide 2

Ik heb vervolgens een aantal opportuniteiten voor hernieuwbare energie in Vlaanderen geïdentificeerd. Ten eerste is het een mogelijke oplossing voor de milieuproblemen. Ten tweede is het de enige eigen energiebron op lange termijn. Op die manier worden we minder afhankelijk van import en beschermen we ons tegen het opraken van de klassieke bronnen. Ten derde kan hernieuwbare energie zorgen voor bijkomende werkgelegenheid in Vlaanderen. Ten vierde kunnen we op die manier plaatselijke rijkdommen opwaarderen. Ik zie daar bijvoorbeeld onze kenniseconomie. Ten vijfde kan deze energievorm zorgen voor exportmogelijkheden. Hernieuwbare energiebronnen worden gekenmerkt door een aantal nadelen. Ze hebben vaak een lagere energie-inhoud. Hun aanbod is meestal variabel, waardoor we problemen kunnen krijgen op het net. Ook opslag is minder evident.

Inleiding

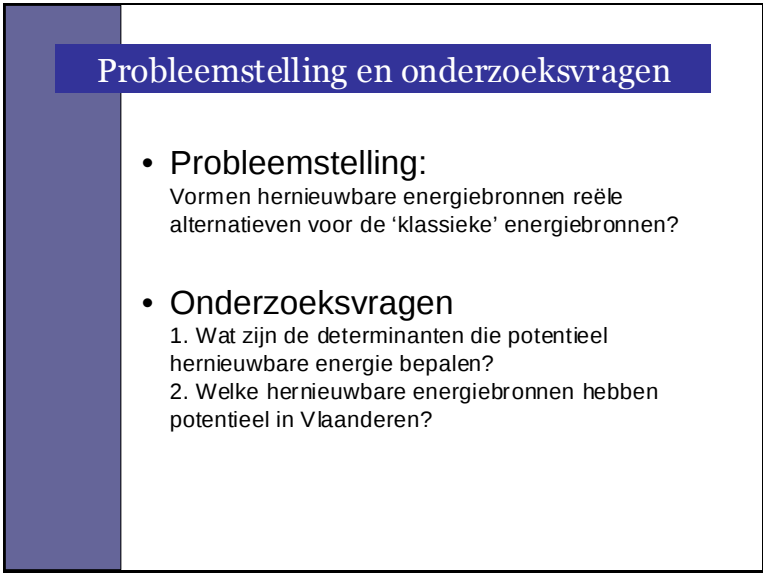
- Opportuniteiten hernieuwbare energie



- Nadelen hernieuwbare energie?

Slide 3

De probleemstelling van mijn onderzoek luidt 'Vormen hernieuwbare energiebronnen reële alternatieven voor de 'klassieke' energiebronnen?'. Om dit probleem op te lossen, werden twee onderzoeksvragen opgesteld: 'Wat zijn de determinanten die het potentieel van hernieuwbare energie in Vlaanderen bepalen?' en 'Welke hernieuwbare energiebronnen hebben toekomst in Vlaanderen?'



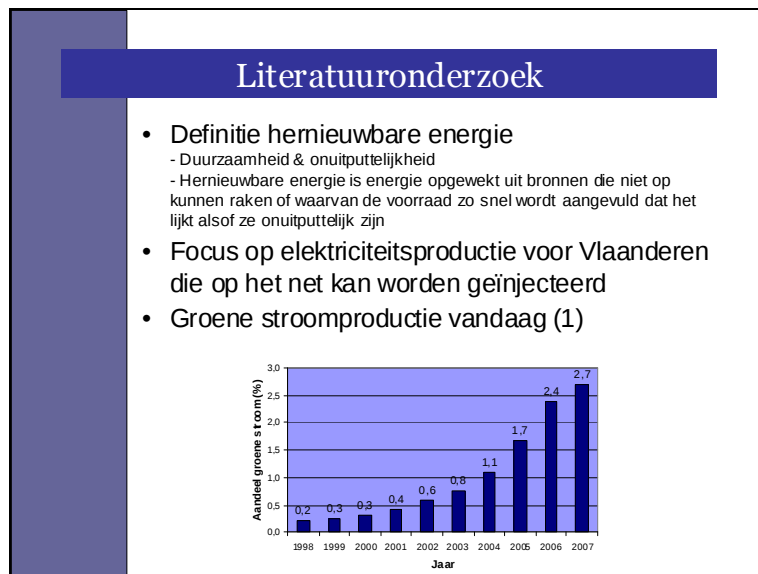
Probleemstelling en onderzoeksvragen

- **Probleemstelling:**
Vormen hernieuwbare energiebronnen reële alternatieven voor de 'klassieke' energiebronnen?
- **Onderzoeksvragen**
 1. Wat zijn de determinanten die potentieel hernieuwbare energie bepalen?
 2. Welke hernieuwbare energiebronnen hebben potentieel in Vlaanderen?

Slide 4

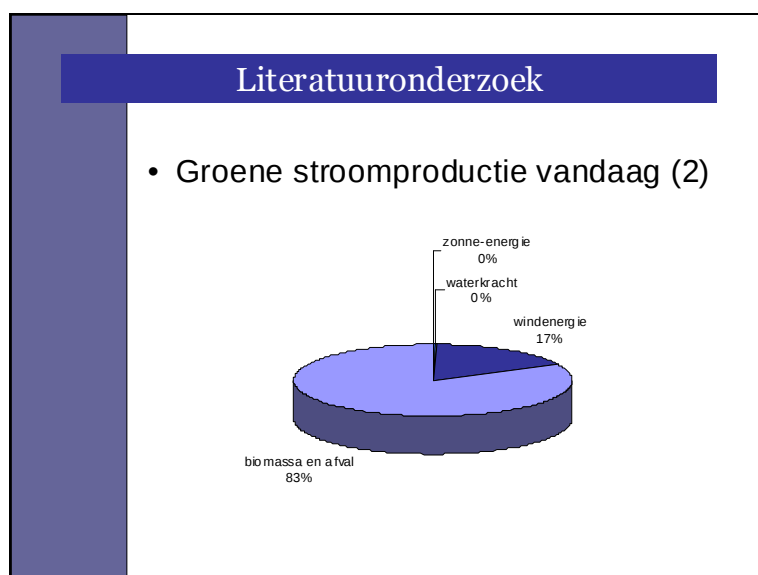
Ik ben gestart met een literatuuronderzoek. Het leek aangewezen eerst de definitie van hernieuwbare energie duidelijk te stellen, omdat die voor de verschillende organisaties nogal wat verschillen vertoont. Onuitputtelijkheid en duurzaamheid zijn woorden waarover gediscussieerd kan worden. Ik heb die onuitputtelijkheid vrij ruim opgevat, waardoor biomassa er bijvoorbeeld bij hoort. De focus van mijn thesis is op elektriciteitsproductie die op het net kan worden geïnjecteerd. Warmte wordt dus buiten beschouwing gelaten. Daarenboven kijk ik specifiek naar Vlaanderen.

Een volgende stap is kijken waar we vandaag staan met hernieuwbare energie. In 2007 maakte groene stroom een kleine 3% uit van de totale elektriciteitsvoorziening.



Slide 5

Wanneer we kijken naar de verdeling van die groene stroomproductie over de verschillende energiebronnen, zien we dat 83% uit biomassa wordt gehaald, 17% uit windenergie. Zonne-energie en waterkracht vertegenwoordigen een verwaarloosbaar aandeel.



Slide 6

Verder heb ik drie elementen bekeken. Een eerste is de studie van VITO waarin men de onrendabele top berekent van verschillende technologieën. Men kijkt in feite hoe ver we nog van het break even punt af zijn voor deze technologieën wanneer we de groenestroomcertificaten buiten beschouwing laten. Ten tweede heb ik bekeken wat de overheid als opties heeft om hernieuwbare energie aan te moedigen, zoals feed-in tariffs en groenestroomcertificaten. Vlaanderen heeft voor het tweede type gekozen. Er zijn nog een aantal andere elementen als investeringsaftrek en ecologiepremie. Ten derde heb ik een aantal

potentieelanalyses verzameld zoals deze van ODE Vlaanderen en VITO. Deze maken voorspellingen tot 2020.

Literatuuronderzoek

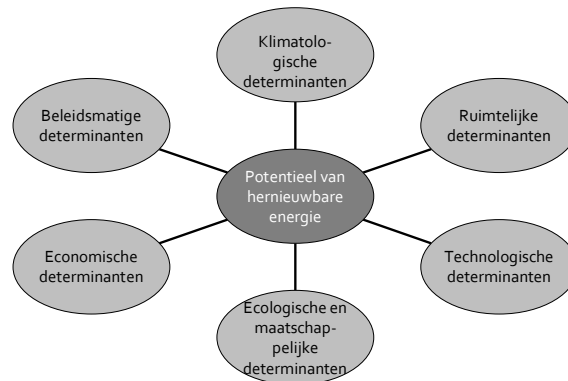
- **Onrendabele top berekening (VITO):**
Productieafhankelijk gedeelte van de inkomsten nodig om de netto contante waarden van een investering op nul te doen uitkomen
- **Overheid**
 - 2 opties: Feed-in Tariffs & groene stroomcertificaten (Vlaanderen 2^e)
 - Andere steunmaatregelen: investeringsaftrek, ecologiepremie ...
 - Doelstelling (13% tegen 2020)
- **Studies ODE en VITO (9 à 16% tegen 2020)**

Slide 7

Om mijn eerste onderzoeksvraag te beantwoorden en dus de determinanten van de verschillende hernieuwbare energiebronnen te bespreken, ben ik op zoek gegaan naar een manier om deze determinanten gestructureerd weer te geven. De uitkomst van die zoektocht is het volgende. Ik start met de klimatologische randvoorwaarden (bijvoorbeeld 'waar is er wind?'). Vervolgens de ruimtelijke randvoorwaarden (bijvoorbeeld 'waar hebben we plaats om een windmolen te zetten?'). Dan de technologische randvoorwaarden (bijvoorbeeld 'welke vermogens hebben we ter beschikking?'). We komen dan aan bij de ecologische en maatschappelijke randvoorwaarden (bijvoorbeeld 'hoeveel energie is nodig om te windmolen te bouwen?', 'kunnen we recycleren?', 'zijn er NIMBY reacties?'). Die vier elementen zouden idealiter moeten weerspiegeld zijn in een prijsvorming, de economische randvoorwaarde. In de realiteit zijn echter niet alle elementen opgenomen. Denken we maar aan externe kosten. Het beleid kan dan de economische randvoorwaarde verschuiven zoals vandaag gebeurt met de groenestroomcertificaten. Dit is dus de manier om de verschillende determinanten te groeperen die ik op iedere technologie zal toepassen. Om deze determinanten in te vullen, combineer ik literatuuronderzoek met een aantal interviews met experts uit verschillende domeinen.

Literatuuronderzoek

- Determinanten hernieuwbare energie



Slide 8

Bijlage 9: Determinanten zoals besproken met de experts**Windenergie**

Huidige productie	281 GWh (2007), stijgende trend
Determinanten	-Klimatologisch: Ruimtelijke aanwezigheid wind (windsnelheden) en variabiliteit in de tijd (seizoensvariabiliteit, productiefactor: resultaat 1000 à 3000 uur/jaar, onvoorspelbaarheid) -Ruimtelijk: Op land: ver genoeg van natuurgebieden en woningen Op zee: diepte zeebodem, netverliezen, onderhoudswerken ... -Technologisch: omzettingsrendementen (20 à 40%), vermogens (tot 5MW en meer) & interactie met elektriciteitsnet (probleem netkoppeling als gevolg van variabiliteit aanbod). -Ecologisch en maatschappelijk: constructie: energie beperkt; gebruik: vogels, geluid, visuele hinder, slagschaduw, gevolg: NIMBY; na gebruik: afgedankte wiekbladen -Economisch: investeringskost (turbine, fundering, oprichting en transport, netaansluiting) en werkingskost (onderhoudskost, grondrechten), levensduur 20 jaar -Beleid: groenestroomcertificaten, vergunningen
Besluit	Mitst voldoende overheidssteun, potentieel, maar ruimte beperkt

Zonne-energie

Huidige productie	5,6 GWh (2007), enorme groei laatste jaren
Determinanten	-Klimatologisch: geografische- (Vlaanderen heeft niet zoveel zonneschijn) en tijdsschommelingen (uitgesproken dag- en seizoenscyclus): 850u/jaar -Ruimtelijk: kan op gebouwen (geen extra ruimte nodig), helling en oriëntatie oppervlakte -Technologisch: nog verbetering vereist, omzettingsrendement 5 à 25%, beschikbare vermogens: modulair; probleem interactie elektriciteitsnet -Ecologisch en maatschappelijk: invloed tijdens productie en na afloop levensduur, geluidloos en emissieloos tijdens levensduur -Economisch: hoge investeringskost, nauwelijks variabele kosten, grondstoffen geen probleem, levensduur -Beleid: vergunningen?, prijs groenestroomcertificaten
Besluit	Ruimtelijk in Vlaanderen meest potentieel, maar niet ideale klimaat + dure oplossing, pas echt potentieel als kostendaling

Energie uit biomassa (afval- en reststoffen)

Huidige productie	1349 GWh (2007)?, groei
Determinanten	-Klimatologisch en ruimtelijk: uitgaan van aanbod dat er is, concurrentie met traditionele bestemmingen -Technologisch: ver gevorderd -Ecologisch en maatschappelijk: niet per definitie milieuvriendelijk (CO2 neutraal, maar ook andere uitstoot), publieke acceptatie, ladder van Lansink -Economisch: grote verschillen naargelang type, relatief goedkope oplossing -Beleid: groenestroomcertificaten
Besluit	Beperking want aangewezen op stromen die er nu zijn en die beter eerst tot minimum worden herleid

Energie uit biomassa (energieteelten)

Huidige productie	Nagenoeg geen?
Determinanten	-Klimatologisch: geografisch en tijd -Ruimtelijk: weinig landbouwgronden beschikbaar, op landbouwgronden concurrentie met andere gewassen, lage energiedichtheid voor import -Technologisch: -Ecologisch en maatschappelijk: bedreiging voedselprijzen -Economisch: duur -Beleid: groenestroomcertificaten
Besluit	Nauwelijks potentieel

Geothermische energie

Huidige productie	Nagenoeg geen (2007)
Determinanten	-Klimatologisch: beperkt tot enkele gebieden, in Vlaanderen op grote dieptes -Ruimtelijk: -Technologisch: -Ecologisch en maatschappelijk: -Economisch: risicovolle investering (voorspellen toekomstige stroom warmte moeilijk) -Beleid:
Besluit	Geen noemenswaardig potentieel in Vlaanderen

Waterkracht en oceaanenergie

Huidige productie	2,7 GWh (2007), geen stijgende trend
Determinanten	-Klimatologisch: geen oceanen, vlakke karakter Vlaanderen reduceert potentieel op binnenlandse wateren -Ruimtelijk: -Technologisch: geen grote problemen -Ecologisch en maatschappelijk: ecologisch geen grote problemen als passagemogelijkheid voor vissen aanwezig -Economisch: mature en commercieel competitieve technologie; in Vlaanderen hoge investeringskost -Beleid:
Besluit	Geen grote groei verwacht, toch eventueel zinvol bestaande installaties te restaureren of nieuwe te bouwen.

Bijlage 10: Korte voorstelling van de geïnterviewde personen

In deze bijlage stellen we de geïnterviewde personen kort voor. Personen die tegelijkertijd werden geïnterviewd worden samen besproken.

1. Philippe Van den Bosch en Luc Henderieckx (Eandis, gesprek 25/02/09, Melle)

Philippe Van den Bosch is verantwoordelijke Public Affairs bij Eandis. Luc Henderieckx maakt deel uit van het project slimme meters bij hetzelfde bedrijf. Dit is een enorm groot project waarin men het net en de bijbehorende meters tracht aan te passen aan de nieuwe noden van vandaag. Deze noden zijn onder meer ontstaan als gevolg van het gebruik van hernieuwbare energiebronnen en de wil om minder energie te verbruiken (en dus de nood aan meer informatie over verbruik). Luc Henderieckx was één van de sprekers op de spitsdagen georganiseerd in februari 2009 waarop de ontwikkelingen omtrent slimme meters aan geïnteresseerden werden voorgesteld. Beide personen hebben een Electrabelverleden.

2. Prof. Jo Dewulf (gesprek 10/03/09, Gent)

Jo Dewulf is professor milieutechnologie en schone technologie aan de faculteit bio-wetenschappen (Ugent). Hij combineert in zijn baanbrekend onderzoek de wetten van de thermodynamica met de beginsels uit de milieukunde. Recent werd hij laureaat van de Koninklijke Academie van België (De Zitter, 2009).

3. Johan Malcorps (gesprek 12/03/09, Antwerpen)

Johan Malcorps is hoofd van de studiedienst van de politieke cel van Groen. In het verleden was hij politiek secretaris van Agalev en hij heeft ook twee termijnen in het Vlaams parlement gezeten. Binnen de studiedienst is hij momenteel verantwoordelijk voor milieu, energie en klimaat.

4. Prof. Greet Van Eetvelde (gesprek 23/03/09, Gent)

Professor Greet Van Eetvelde is hoofd van de onderzoeksgroep milieu en ruimtebeheer van de Universiteit Gent. Deze is gegroeid vanuit de synergie tussen milieu en ondernemen. Bovendien is ze sinds 2007 directeur van het energiekennisplatform Power-Link en CEO van het Ugents wetenschapspark Greenbridge. Beide hebben hun focus op duurzame en hernieuwbare energie (Universiteit Gent, 2009).

5. Prof. Lieven Vandevelde (gesprek 23/03/09, Gent)

Professor Lieven Van de Velde maakt deel uit van de Vakgroep Elektrische energie, systemen en automatisering van de Ugent. Hij bestudeert onder meer netkoppeling en is vandaar geïnteresseerd in de technologie die achter de hernieuwbare energiebronnen schuilt.

6. Eric Van Assche (Soltech, gesprek 25/03/09, Tienen)

Eric Van Assche is general manager van Soltech. Dit bedrijf noemt zichzelf dé pionier op vlak van fotonvoltaïsche energie. Twintig jaar geleden al startte het met de productie van autonome fotonvoltaïsche systemen. Tien jaar geleden realiseerde het de eerste netgekoppelde fotonvoltaïsche installatie in België. Vandaag levert Soltech zowel netgekoppelde als autonome fotonvoltaïsche systemen. Ze werkt hiervoor samen met installateurs (Soltech). Het bedrijf is zich de laatste tijd bijvoorbeeld gaan specialiseren in zonnepanelen die zijn ingebouwd in de dakbedekking. Een duurdere, maar ook mooiere oplossing dan de klassieke zonnepanelen die we vandaag vaak zien.

7. Chris Derde (VWEA, gesprek 26/03/09, Sint-Gillis-Waas)

Chris Derde is de voorzitter van de Vlaamse Wind Energie Associatie (VWEA), die ijvert voor een gedragen ontwikkeling van windenergie in Vlaanderen. De organisatie verenigt de actoren in de windenergiesector (studiebureaus, projectontwikkelaars, windparkuitbaters en toeleveringsindustrie) en is het aanspreekpunt voor de overheid en bedrijven met interesse in windenergie. VWEA maakt onderdeel uit van de koepelorganisatie ODE-Vlaanderen (VWEA).

8. Bert Gysen, Ils Moorkens en Ruben Guisson (VITO, gesprek 26/03/09, Mol)

Bert Gysen is unitmanager energietechnologie van de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO). Deze onafhankelijke onderzoeksorganisatie levert innoverende technologische oplossingen, wetenschappelijk onderbouwde adviezen en ondersteuning om duurzame ontwikkeling te stimuleren (VITO, 2009). Ils Moorkens werkte mee aan de studie 'Onrendabele toppen van duurzame elektriciteitsopties in Vlaanderen', die in deze thesis wordt besproken (VITO, 2006). Ruben Guisson werkt binnen VITO vooral rond biomassa.

9. Jo Neyens en Francies van Gijzeghem (ODE, 24/04/09, Brussel)

Jo Neyens is projectleider PV en groene stroom. Francis van Gijzeghem is projectleider bio-energie. Beiden zijn actief bij ODE-Vlaanderen, de koepelorganisatie voor hernieuwbare energie. Die werd in 1996 opgericht om de versnippering die er toen was tegen te gaan. Hoofddoel was oorspronkelijk onderzoek, maar al snel werd daar een informatietaak aan toegevoegd. In het licht van die opdracht heeft ODE een aantal informatiebrochures gemaakt. Sinds 2 jaar is die taak overgenomen door het Vlaamse EnergieAgentschap (VEA). Nu zijn ze niet meer bezig met algemene informatie naar het grote publiek, maar zijn eerder geëvolueerd tot een echte koepelorganisatie bestaande uit verschillende platformen. Dat zijn eigenlijk sectorverenigingen van bedrijven. Samen ijveren ze voor de groei van hernieuwbare energie (gesprek Jo Neyens).

10. Greet Ghekiere (POVLT, 30/04/09, Beitem)

Mevrouw Ghekiere is verantwoordelijk voor het onderdeel energiegewassen binnen het provinciaal onderzoekscentrum voor land- en tuinbouw (POVLT). Deze organisatie concentreert haar activiteiten rond vier pijlers: het uitvoeren van wetenschappelijk praktijkgericht onderzoek, het instaan voor kwaliteitsvolle voorlichting en advies, de dienstverlening op maat van de boer en kwaliteitszorg (POVLT). In de praktijk geeft men wat energie betreft advies op twee vlakken: hoe kan een boer energie besparen en hoe kan een boer een netto producent worden van energie?. Vergisting is daar vaak één van de meest opportune zaken, eventueel kan het zinvol zijn een windmolen plaatsten of kan de boer een stuk van zijn areaal omvormen voor energieteelten.

11. Marleen Vanhecke (Electrawinds, 04/05/09, Oostende)

Marleen Vanhecke is manager PR en externe communicatie bij Electrawinds. Dit bedrijf is in België de grootste private speler voor hernieuwbare energie. Het produceert milieuvriendelijke elektriciteit via windturbines, zonnepanelen en biomassacentrales (Electrawinds, 2008).