

Optimale grootte van een biomassa verwerkingsinstallatie in de Kempen

Economische analyse

An Bonneux

promotor :
Prof. dr. Theo THEWYS

Voorwoord

Deze eindverhandeling kwam tot stand ter voltooiing van mijn opleiding van Master in de Economie, Handelsingenieur, optie Operationeel Management en Logistiek, aan de Universiteit Hasselt.

Het onderwerp van dit eindwerk, Optimale grootte van een biomassa verwerkingsinstallatie in de Kempen: Economische analyse, heb ik gekozen omdat het een actueel onderwerp is. Het handelt namelijk over de problematiek van de vervuilde gronden in de Kempen waarbij groene energie uit biomassa een oplossing kan bieden. Daarnaast sprak het onderwerp me aan omdat zowel juridische, technische als economische aspecten aan bod komen.

Bij het schrijven van deze eindverhandeling kon ik rekenen op de hulp van een aantal mensen. Daarom zou ik graag, alvorens met de tekst aan te vatten, deze mensen bedanken. Een eerste dankwoord gaat uit naar mijn promotor Prof. dr. Theo Thewys die mij de kans gaf dit onderwerp te behandelen en instond voor de globale begeleiding. Vervolgens wil ik een speciale dankbetuiging richten tot Mevr. Nele Witters voor haar begeleiding en hulp en voor de tijd die ze voor mij heeft willen vrijmaken tijdens de realisatie van mijn eindverhandeling.

Ten slotte wil ik graag mijn ouders bedanken omdat ze mij de kans hebben gegeven deze studie aan te vatten en mij gedurende het tot stand komen van mijn eindverhandeling en mijn hele opleiding steeds gesteund hebben. Daarnaast wil ik ook mijn kameraden, medestudenten en kotgenoten bedanken voor hun steun en voor de mooie jaren hier in Diepenbeek. Een laatste dank gaat uit naar mijn vriend, voor zijn onvoorwaardelijke steun.

Samenvatting

In de Belgische en Nederlandse Kempen werden vanaf het einde van vorige eeuw tot midden jaren '70 zink en lood geraffineerd uit erts en steenkool gewonnen in de regio. Deze non-ferro-industrie veroorzaakte, door de uitstoot van zware metalen, een grootschalige vervuiling van de naburige gronden. Daarnaast zijn het gebruik van zinkassen voor de aanleg van wegen en de lozing van afvalwater een bijkomende aanleiding geweest tot verontreiniging. De zware metalen (cadmium, lood, arseen en zink) waarmee de gronden vervuild raakten, veroorzaken reeds in kleine hoeveelheden schade aan het milieu en de gezondheid. Cadmium eist bijzondere aandacht. Een belangrijke bron van blootstelling aan dit metaal is het eten van groenten en gewassen gekweekt op vervuilde bodem. Daarenboven nemen planten en gewassen het metaal door zijn hoge mobiliteit snel op, wat risico's inhoudt voor de landbouw. Door de hoge cadmiumconcentraties in de Kempense bodem zijn landbouwers namelijk niet meer zeker van de kwaliteit van hun teelten. Vaak halen de gewassen de Europese normen niet en dreigen daardoor niet verkoopbaar te zijn. De Kempense landbouw ondervindt bijgevolg grote nadelen van de verontreiniging met zware metalen.

Gezien de aard en de omvang van het probleem is er geen oplossing op korte termijn. Er bestaan echter verschillende initiatieven zoals het project BeNeKempen, een resultaat van een samenwerking tussen België en Nederland en tot stand gekomen door de gelijkaardige problematiek in de Vlaamse en Nederlandse Kempen. De werkgroep Landbouw, één van de vijf werkgroepen die het project BeNeKempen ondersteunt, concentreert zich op hoe landbouwers het best om kunnen gaan met de verontreiniging. Een mogelijke oplossing die deze werkgroep aanbiedt, is het overschakelen op het telen van alternatieve gewassen die niet bedoeld zijn voor consumptie. Bepaalde planten kunnen immers via de methode van fytoextractie gebruikt worden om zware metalen uit de grond te verwijderen en ze op te slaan in oogstbare plantendelen. De ideale planten voor deze methode zijn gewassen die veel biomassa produceren en daarenboven de verontreinigde stoffen in kwestie kunnen verdragen en opstapelen. Teelten die hiervoor in aanmerking komen zijn bijvoorbeeld wilg, populier en maïs.

Deze 'energieteelten', die uiteraard niet voor consumptie bedoeld zijn, kunnen vervolgens ingezet worden bij de productie van groene energie. Dit kan een aansluiting bieden op de zoektocht naar alternatieve energiebronnen. Indien dit een haalbare kaart blijkt, kan dit een dankbaar beheersconcept zijn voor de Kempense landbouwer.

Een eerste aspect dat de literatuurstudie in hoofdstuk 2 onderzoekt, is de biomassaketten. Na een omschrijving van het begrip biomassa, volgt een bespreking van de verschillende fasen waaruit de biomassaketten bestaat. Dit zijn de voorbewerking, het transport, de opslag en de

verwerking. Onze economische analyse besteedt in het bijzonder aandacht aan de economische rendabiliteit van de verwerkingsinstallaties. Het verdere onderzoek spitst zich daarom toe op installaties die biomassa uit 'energieteelten' verwerken tot groene energie. Vermits er meerdere verwerkingsmethoden bestaan die elk verscheidene soorten biomassa kunnen verwerken, is het niet mogelijk om al deze combinaties na te gaan. Op basis van de verkregen informatie beperkt het verdere onderzoek zich daarom tot installaties die hout (co)verbranden of maïs vergisten. Vervolgens wordt voor deze installaties nagegaan welke wetgeving van kracht is betreffende de lokalisatie. Het Vlarem I en II van de Vlaamse Regering bieden informatie in verband met vergunningen nodig voor de bouw van een (co)verbrandingsinstallatie. Deze documenten vermelden ondermeer de emissiegrenswaarden waaraan een installatie moet voldoen. Voor de nodige aanvragen betreffende de inplanting van een vergistingsinstallatie is omzendbrief RO/2006/01 te raadplegen. Wanneer men te maken heeft met een agrarisch gebied is bijvoorbeeld enkel de inplanting van een installatie van beperkte schaal toegelaten. Als afsluiting van hoofdstuk 2 komen enkele kritische succesfactoren voor een succesvolle implementatie van biomassaprojecten aan bod. De contracteerbaarheid van biomassa voor energiedoeleinden is hier één van.

In het volgende hoofdstuk volgen de economische aspecten. De kosten die gepaard gaan met de voorbereiding komen het eerst aan bod. Hierbij gebeurt een opsplitsing tussen hout en maïs. Daarna volgt een behandeling van de kosten betreffende de installatie, namelijk de investerings-, de kapitaal- en de werkingskost. Aangezien toepassingen van hernieuwbare bronnen financiële steun krijgen van de overheid via verschillende steunmaatregelen, volgt in dit hoofdstuk ook een bespreking over welke maatregelen van toepassing zijn op de onderzochte (co)verbrandings- en vergistingsinstallaties. De op de onderzochte installaties toepasbare maatregelen zijn de ecologiesteun en de verhoogde investeringsaftrek. Daarenboven komen ook groenestroom- en warmtekrachtcertificaten in aanmerking.

De uitvoering van de economische analyse volgt in hoofdstuk 4. Deze analyse onderzoekt op basis van de verkregen informatie betreffende de beschikbare biomassa, de kosten en de opbrengsten, hoe groot een installatie optimaal moet zijn. Dit gebeurt aan de hand van twee modellen (Jenkins, 1997 en Fiala et al., 1997). In de paragraaf 'methode van onderzoek' volgt een bespreking van de werkwijze van deze modellen. Daarna komen ook de verschillen tussen deze modellen en enkele bemerkingen aan bod. Uiteindelijk worden de steunmaatregelen die van toepassing zijn, in deze modellen ingebracht.

Na een korte uiteenzetting in verband met de gebruikte parameters volgt een eerste analyse, namelijk de bespreking van de referentiecasses. Dit houdt een invulling in van de meest realistische waarden voor de verschillende parameters en dit voor de twee modellen per installatietype (verbranding, co-verbranding en vergisting). Vervolgens worden de resultaten die

de modellen opleveren geanalyseerd. Deze resultaten omvatten onder andere de optimale grootte van de installatie (beide modellen), de optimale oppervlakte van het gebied dat moet zorgen voor de aanvoer van biomassa (Fiala), de gerelateerde productiekost (Jenkins) en de nodige investering (Fiala). Een eerste conclusie die hieruit volgt, is dat de optimale grootte van de installatie die de twee modellen bekomen, sterk verschilt voor alledrie de typen onderzochte installaties. Daarenboven blijken de resultaten voor sommige onderzochte parameters zeer groot te zijn. Zo is de verkregen optimale grootte voor een verbrandingsinstallatie zeer groot in vergelijking met de groottes vermeld in de literatuur. Naast de geleverde kritieken worden ook oorzaken voor deze verschillen aangegeven.

Na deze eerste analyse van de referentiecasses volgt voor de twee modellen per installatietype (verbranding, co-verbranding en vergisting) een sensitiviteitsanalyse. Aan de hand van enkele vooropgestelde vragen wordt nagegaan welke invloed de verschillende parameters hebben op de resultaten verkregen in de eerste analyse. Zodoende worden de oorzaken van de verschillen tussen de modellen en de drie typen installaties onderzocht. Ook hier is de conclusie dat de typen installaties sterk van elkaar verschillen. Zo is de nodige investering voor een vergister gevoeliger voor een verandering van de onderzochte parameters, waaronder bijvoorbeeld de marktwaarde voor de groenestroomcertificaten, dan de nodige investering voor een verbrandingsinstallatie. Net zoals in de vorige analyse is het ook bij het onderzoek naar de sensitiviteit opvallend hoe sterk de twee gebruikte modellen van elkaar verschillen. Een verandering in de transportkost heeft in het Jenkins-model bijna vier keer zoveel impact op de optimale grootte dan in het Fiala-model. Deze transportkost is daarenboven de parameter die de grootste invloed blijkt te hebben (van de onderzochte parameters). Een andere parameter die veel invloed heeft op de optimale grootte is de bezettingsgraad. Daarnaast speelt in het Fiala-model ook de straal (maatstaf voor de oppervlakte) van het beschouwde gebied een belangrijke rol. Deze grote verschillen tussen de modellen kunnen vervolgens een aanleiding vormen tot verder onderzoek.

Een algemeen besluit dat uit dit onderzoek volgt, is dat bij het opstarten van een biomassaproject het belangrijk is na te gaan in welke omstandigheden dit zal gebeuren. Zo is er onder andere de keuze van de soort biomassa (hout of maïs). Daarnaast is ook de beslissing op welke manier deze verwerking zal gebeuren (verbranden, co-verbranden of vergisten) belangrijk. Vervolgens is een onderzoek naar welke wetgeving van toepassing is op de gekozen verwerkingsmethode en naar de nodige vergunningen betreffende het gebied waar de inplanting zal gebeuren noodzakelijk. Daarnaast is het aangewezen een analyse uit te voeren van de hoeveelheid beschikbare biomassa en van de kosten en opbrengsten die de werking van de gekozen installatie met zich meebrengt. Al deze facetten hebben immers rechtstreeks of onrechtstreeks een invloed op de optimale grootte van de installatie.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Inhoudsopgave

Lijst van de figuren

Lijst van de tabellen

1	Probleemstelling	- 1 -
1.1	Centrale onderzoeksvraag	- 1 -
1.2	Deelvragen.....	- 1 -
2	Inleiding	- 3 -
2.1	Bronnen van de verontreiniging.....	- 3 -
2.2	Ernst van de verontreiniging	- 4 -
2.3	Oplossingen.....	- 4 -
2.3.1	Teeltadvies	- 6 -
2.3.2	Bodembewerking	- 6 -
2.3.3	Teelt van niet-consumptiegewassen	- 6 -
3	Literatuurstudie	- 9 -
3.1	Biomassaketten	- 9 -
3.1.1	Biomassa als grondstof.....	- 9 -
3.1.2	Vorbewerking van biomassa	- 13 -
3.1.3	Transport van biomassa	- 16 -
3.1.4	Opslag van biomassa (maïs)	- 17 -
3.1.5	Conversie van biomassa	- 17 -
3.1.6	Verwerken van restfractie.....	- 20 -
3.1.7	Relevantie voor dit onderzoek	- 21 -
3.2	Wetgeving betreffende het plaatsen van een conversiecentrale	- 22 -
3.2.1	Verbrandingsinstallatie	- 22 -

3.2.2	Vergistinginstallatie.....	- 24 -
3.3	Implementatie van biomassaprojecten	- 25 -
3.3.1	Contracteerbaarheid van biomassa voor energiedoeleinden.....	- 26 -
3.3.2	Het energie- en milieubeleid dat van toepassing is.....	- 26 -
3.3.3	De maatschappelijke basis voor de toepassing van bio-energie.....	- 26 -
3.3.4	De concurrentiepositie van bio-energie ten opzichte van andere bronnen in een energiemarkt die zich liberaliseert.....	- 26 -
3.3.5	De huidige status en ontwikkelingsmogelijkheden (leereffecten) van conversietechnieken	- 27 -
3.4	Conclusie	- 27 -
4	Economische aspecten	- 29 -
4.1	Vorbewerking en opslag van hout	- 29 -
4.2	Vorbewerking en opslag van maïs	- 29 -
4.3	Kosten betreffende de installatie.....	- 29 -
4.3.1	Plaatsing van een nieuwe verbrandingsinstallatie.....	- 29 -
4.3.2	Plaatsen van een nieuwe vergistingsinstallatie.....	- 32 -
4.3.3	Co-verbranding/Meestoken in een bestaande centrale	- 33 -
4.4	Steunmaatregelen van de Vlaamse overheid	- 34 -
4.4.1	Ecologiesteun.....	- 34 -
4.4.2	Verhoogde investeringsaftrek	- 37 -
4.4.3	Vlaamse groenestroomcertificaten (GSC).....	- 39 -
4.4.4	Vlaamse warmtekrachtkoppelingcertificaten (WKC).....	- 39 -
4.4.5	Steun voor demonstratieprojecten van energietechnologieën	- 39 -
4.4.6	Groeipremie	- 40 -
4.4.7	VLIF-steun	- 41 -
4.4.8	Steun voor energiegewassen.....	- 42 -
5	Analyse.....	- 43 -
5.1	Methode van onderzoek	- 43 -
5.1.1	Voorstelling van de modellen.....	- 43 -
5.1.2	Fiala.....	- 45 -
5.1.3	Jenkins.....	- 48 -
5.1.4	Modellen toegepast op dit werk	- 53 -
5.1.5	Verantwoording	- 55 -
5.2	Verklaring parameters	- 56 -
5.2.1	Nomenclatuur	- 56 -
5.2.2	Omschrijving.....	- 57 -

5.2.3	Cijfergegevens	- 61 -
5.3	Vaststellingen	- 62 -
5.3.1	Referentiecases	- 62 -
5.3.2	Conclusies	- 67 -
5.3.3	Sensitiviteitsanalyse.....	- 68 -
5.3.4	Conclusies	- 80 -
6	Algemene conclusies.....	- 82 -

Lijst geraadpleegde werken

Bijlagen

Lijst van de figuren

Figuur 1: Projectgebied BeNeKempen (ABdK,2005).....	- 5 -
Figuur 2: Relatie tussen vochtgehalte en stookwaarde (ODE & Vito, 2006).....	- 11 -
Figuur 3: CO ₂ -kringloop bij biomassaverwerking (ODE-Vlaanderen, online).....	- 18 -
Figuur 4: Invloed van het schaalvoordeel op de optimale grootte M_{opt} (kW).....	- 77 -
Figuur 5: Invloed van het schaalvoordeel op $M_{opt}^{(1-s)}$	- 78 -
Figuur 6: Invloed van het schaalvoordeel op $\left(2 \times \frac{a_1}{a_2} (1-s) \times M_o^{1-s}\right)$	- 79 -
Figuur 7: Inzoom op figuur 6.....	- 79 -

Lijst van de tabellen

Tabel 1: Opbrengsten van verschillende energiegewassen (Cidad et al., 2003)	- 12 -
Tabel 2: Gemiddelde droogtijden per houtsoort (Milieu Centraal, online).....	- 15 -
Tabel 3: Toepasbare conversiemethodes per gewas (Cidad et al., 2003).....	- 18 -
Tabel 4: Vergistbaarheid van verschillende soorten organisch materiaal (ODE-Vlaanderen, 2006)	- 20 -
Tabel 5: Emissiegrenswaarden voor verbrandingsinstallaties (Vlaamse Regering, 1995)	- 23 -
Tabel 6: Investeringskosten verbrandingsketel in euro (ODE & VITO, 2006).....	- 30 -
Tabel 7: Investeringskosten verbrandingsinstallatie naar grootte (Tilburg et al., 2008).....	- 31 -
Tabel 8: Werkingskosten verbrandingsketel in euro/jaar (ODE & VITO, 2006)	- 32 -
Tabel 9: Ecologiesteun voor investeringen in groene warmteproductie (Vlaamse Regering, 2004)	- 37 -
Tabel 10: Percentages voor verhoogde investeringsaftrek voor investering uitgevoerd in 2007, aanslagjaar 2008 (Vlaio, 2007).....	- 38 -
Tabel 11: Symbolen en eenheden van de parameters per model.....	- 56 -
Tabel 12: Resultaten referentiecasse co-verbranding, Fiala.....	- 62 -
Tabel 13: Resultaten referentiecasse co-verbranding, Jenkins	- 64 -
Tabel 14: Resultaten referentiecasse verbranding, Fiala	- 64 -
Tabel 15: Resultaten referentiecasse verbranding, Jenkins	- 65 -
Tabel 16: Resultaten referentiecasse vergisting, Fiala	- 66 -
Tabel 17: Resultaten referentiecasse vergisting, Jenkins	- 66 -
Tabel 18: Invloed van de transportkost op de nodige investering (Fiala)	- 69 -
Tabel 19: Invloed van de bezettingsgraad op de nodige investering (Fiala)	- 71 -
Tabel 20: Invloed van de efficiëntie op de totale productiekost (Jenkins)	- 72 -
Tabel 21: Invloed van de elektrische en thermische efficiëntie op de investering en de vermogens van een co-verbrandingsinstallatie met directe meestook (Fiala)	- 73 -
Tabel 22: Invloed van de elektrische en thermische efficiëntie op de investering en de vermogens van een vergistingsinstallatie (Fiala)	- 73 -
Tabel 23: Invloed van het aantal subregio's op de totale productiekost (Jenkins).....	- 74 -
Tabel 24: Invloed van de oppervlakte op de productiekost (Jenkins)	- 75 -
Tabel 25: Invloed van de marktwaarden van de GSC op de nodige investering (Fiala)	- 75 -
Tabel 26: Invloed van de straal op de nodige investering en de vermogens (Fiala).....	- 76 -

1 Probleemstelling

1.1 Centrale onderzoeksvraag

Door de raffinage van zink en lood gedurende lange tijd raakte de bodem in de Kempen sterk verontreinigd. Om deze verontreiniging met zware metalen op te lossen werd op zoek gegaan naar alternatieve beheers- en saneringsconcepten. Eén van deze concepten is het kweken van energieteelten om zo de gronden te saneren. Hierbij wordt biomassa verkregen die kan omgezet worden in hernieuwbare energie. (Envirodesk, 2007)

Om deze methode te stimuleren is het noodzakelijk dat de verwerking van de verkregen biomassa zo optimaal mogelijk gebeurt en de kosten geminimaliseerd worden. Om dit te verwezenlijken moet onderzocht worden welke factoren een invloed hebben op de optimale grootte van verwerkingsinstallaties. Hieruit volgt dan de centrale onderzoeksvraag:

“Welke factoren beïnvloeden de optimale grootte van een verwerkingsinstallatie voor biomassa?”

1.2 Deelvragen

Om deze centrale onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden, worden enkele deelvragen geformuleerd.

De optimale grootte van de installatie hangt af van de hoeveelheid biomassa die de installatie zal moeten verwerken. Als geweten is waar de gronden liggen, moet de vraag gesteld worden hoeveel biomassa beschikbaar is voor verwerking. Deze vraag kan opgelost worden als op volgende vragen een antwoord gevonden wordt:

- Hoeveel boeren in dit gebied zijn bereid mee te werken? Met andere woorden wat is de bezettingsgraad in het beschouwde gebied?
- Welke biomassa is geschikt om in dit gebied te telen? Hierbij zal de opname van zware metalen door het gewas een rol spelen.
- Welke eigenschappen heeft de gekozen biomassa? Deze eigenschappen zullen een invloed hebben op de opbrengst van biomassa in het beschouwde gebied.

Naast de beschikbare biomassa is ook de verwerkingstechniek van invloed. Afhankelijk van de soort biomassa, zal een bepaalde techniek mogelijk zijn. Wanneer beslist is welke techniek

toegepast zal worden, moet onderzocht worden hoe een installatie die deze techniek toepast, functioneert. Dit leidt tot volgende vragen:

- Hoe efficiënt is de installatie?
- Welke kosten gaan gepaard bij de oprichting en de werking van de installatie?
- Is er sprake van enige schaalvoordelen?
- Welke opbrengsten vloeien voort uit de verkoop van de opgewekte energie?
- Wat zegt de wetgeving in verband met de inplanting en werking van de installatie?
- Welke steunmaatregelen zijn voorzien voor de gedane investering?
- Kunnen certificaten verkregen worden?

Daarnaast zijn er verschillende modellen beschikbaar om de optimale grootte van een biomassa verwerkingsinstallatie te berekenen. De vraag kan bijgevolg gesteld worden of de werkwijze, die toch anders is voor de verschillende modellen, een invloed heeft op de verkregen optimale grootte.

2 Inleiding

In de Belgische en Nederlandse Kempen werden vanaf het einde van vorige eeuw tot midden jaren '70 zink en lood geraffineerd. Dit gebeurde door de verhitting van erts en steenkool die werden gewonnen in de regio. Door deze non-ferro-industrie is de bodem sterk verontreinigd geraakt. (OVAM, 2003-2006d)

2.1 Bronnen van de verontreiniging

Een eerste bron van verontreiniging is de uitstoot van stof met zware metalen door fabrieksschouwen. De metaaldampen die bij de verhitting vrijkwamen, werden gecondenseerd in een condensor. Maar een deel hiervan, de vervluchtigde metalen, werden niet tegengehouden. Zij condenseerden op stofdeeltjes en werden langs de schouw uitgestoten waardoor een groot oppervlak van de naburige gronden vervuild raakte met zware metalen, waaronder cadmium, lood, arseen en zink. (Envirodesk, 2007)

Daarnaast is het gebruik van zinkassen voor het aanleggen van openbare wegen, fietspaden en voor erfverharding, een oorzaak. De residu's loogden uit in de bodem waardoor de dieper gelegen bodemlagen en het grondwater verontreinigd raakten. Zowel in Vlaanderen als in Nederland wordt een inventarisatie van het aantal kilometer zinkassen wegen opgemaakt waaruit blijkt dat deze actuele bron van verontreiniging moet worden aangepakt. (OVAM, 2003-2006a)

Ten derde is de lozing van afvalwater een aanleiding tot verontreiniging. Het slib- en oppervlaktewater werd sterk verontreinigd en door slibtransport en waterbeweging wordt het naar steeds grotere gebieden verspreid. (OVAM, 2003-2006a)

De vervuiling heeft bijgevolg vooral te maken met historische verontreiniging met zware metalen van de voormalige zinkindustrie, die een gevolg is van de wijze waarop vroeger werd gewerkt en door de afwezigheid van wetgeving en kennis van de impact. Dankzij het bodemsaneringdecreet worden door de huidige bedrijfswereld inspanningen geleverd om de uitstoot van de vervuilende stoffen te verminderen. (OVAM, 2003-2006d)

2.2 Ernst van de verontreiniging

Zware metalen, waartoe cadmium, lood en zink behoren, veroorzaken al in kleine hoeveelheden schade aan milieu en gezondheid. Cadmium en lood zijn giftig voor de mens, zink belast het ecosysteem. (Envirodesk, 2007) De uitstoot ervan gebeurde echter gedurende een lange periode waardoor het moeilijk is een referentiesituatie te bepalen. Om de schade te meten bestaan verschillende methoden maar hieruit moet de juiste keuze gemaakt worden. Daarom is een goed beleid nodig. (OVAM, 2003-2006c)

Door zijn hoge mobiliteit en lage effectdosis vraagt cadmium bijzondere aandacht. Via de longen en de voeding wordt de stof opgenomen in het lichaam waar ze zich opstapelt. De belangrijkste bronnen van blootstelling zijn roken, opwaaiend stof inademen, vervuild water drinken en het eten van groenten gekweekt op vervuilde grond. Deze blootstelling geeft geen onmiddellijk gezondheidsprobleem maar kan op lange termijn de gezondheid schaden en zelfs kanker verwekken. (Steunpunt Milieu en Gezondheid, 2004)

Ook voor de landbouw houdt cadmium risico's in. Dit mobiele metaal wordt immers snel opgenomen door planten en gewassen. In de Kempen zijn op bepaalde plaatsen sterk verhoogde concentraties te vinden. Daarenboven hebben de Kempense zandbodems een lage pH-waarde waardoor de mobiliteit van het metaal daar hoger is dan elders. Door deze hogere mobiliteit bevatten de gewassen veel cadmium waardoor een aantal de Europese productnormen niet haalt. Hierdoor zijn de landbouwers onzeker over de kwaliteit van hun teelten en kunnen ze de verbouwde groenten, die de norm overschrijden, niet verkopen. (OVAM, 2003-2006b)

De verontreiniging is bijgevolg gedurende lange periode over een heel groot gebied verspreid. Daarom moet dringend een oplossing gevonden worden voor dit probleem dat zowel het milieu als de volksgezondheid schaadt.

2.3 Oplossingen

Gezien de aard en de omvang van het probleem is geen oplossing op korte termijn voor handen. Wel worden, in de betrokken gemeenten, regelmatig informatiecampagnes georganiseerd om de inwoners te sensibiliseren. De Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij (OVAM) en de Vlaamse regering werken wel al jaren aan de aanpak van de problematiek. Daarnaast heeft het Vlaamse Gewest in april 2004 een langdurige overeenkomst gesloten met Umicore. (OVAM, 2003-2006d) Dit houdt in dat samen gewerkt

2.3.1 Teeltadvies

Ten eerste zorgt deze werkgroep voor duidelijkheid voor de landbouwers, zodat zij weten wat ze nog mogen telen op hun gronden. Het doel is een advies samen te stellen voor de teelt van groenten in de regio. (OVAM, 2003-2006b)

Om een inzicht te krijgen in welke groenten nog mogelijk zijn indien concentraties aan cadmium aanwezig zijn in de bodem, worden gegevens over de relatie tussen bodem en plant verzameld en verwerkt. Daarnaast wordt gebruik gemaakt van studies over de opname van metalen uit de bodem door planten. Met die gegevens worden opzoektabellen opgesteld zodat de informatie begrijpbaar en bruikbaar wordt voor iedereen. (OVAM, 2003-2006b)

Op basis van de bodem- en plantanalyse werd vervolgens een bruikbaar teeltadvies uitgewerkt voor groenten. Hiervoor werden deskundigen uit Vlaanderen en Nederland bij elkaar gebracht. Aan de hand van het teeltadvies werd een eerste aanpak van de verontreinigde landbouwzones uitgewerkt. (Envirodesk, 2007)

2.3.2 Bodembewerking

Zoals eerder vermeld zijn de pH-waarden van de Kempische bodem laag in vergelijking met de rest van Vlaanderen. De landbouwers worden aangeraden om extra te bekalken om zo de zuurtegraad van de bodem te verlagen. (ABdK, 2005) Hierdoor ontstaan betere pH-condities die de opname van cadmium door bepaalde gewassen beperken. (OVAM, 2003-2006b)

Ook wordt onderzocht of de toevoeging van bepaalde additieven de cadmiummobiliteit tempert. Of deze technologie op grote schaal haalbaar is, zullen pilootproeven moeten uitwijzen. (OVAM, 2003-2006b)

2.3.3 Teelt van niet-consumptiegewassen

Een andere mogelijkheid is het telen van alternatieve gewassen die niet voor consumptie bestemd zijn. Zo kunnen via de methode van *fytoremediatie* planten gebruikt worden om verontreinigde stoffen uit het milieu te verwijderen. Een onderdeel van de methode is *fytoextractie*. Hierbij worden planten gebruikt om zware metalen uit de grond te verwijderen en ze op te slaan in plantendelen die geoogst kunnen worden. De ideale planten voor deze methode zijn gewassen die veel biomassa produceren en daarenboven de verontreinigde stoffen

in kwestie kunnen verdragen en opstapelen. Meer specifiek zijn voor fytoextractie de volgende eigenschappen bevorderlijk:

- het kunnen groeien op grond met weinig voedingsstoffen;
- wortels die diep groeien;
- snel groeitempo;
- weerstand tegen metalen (metaaltolerantie).

Naast de hierboven vernoemde vereiste eigenschappen is het ook wenselijk dat de gewassen een tweede bruikbaarheid hebben die economisch leefbaar is. (Pulford en Watson, 2003)

Een gewas dat aan de vereiste eigenschappen voldoet (de eerste drie in het bijzonder) zijn volgens Pulford en Watson (2003) houtige gewassen. Zij vermelden dat studies hieromtrent verschillende soorten (populier, wilg, berk, ...) in overweging hebben genomen. De meeste aandacht werd echter besteed aan snel groeiende soorten (korte-omloophout) zoals wilg. Deze boomsoort heeft een hoge biomassa-productiviteit en, wat belangrijker is, een vermogen (kloonspecifiek) om zware metalen op te nemen. Als conclusie vermelden deze auteurs dat het gebruik van bomen bij fyto-remediatie van grond verontreinigd met zware metalen behoorlijk potentieel heeft.

De veronderstellingen van Pulford en Watson (2003) worden bevestigd door Vervaeke et al. (2003). Zij vermelden dat snelgroeiende wilgen en populieren goede biomassa-producenten en eigenschappen hebben die deze soorten veelbelovend maken voor toepassingen van fyto-remediatie. Ook zij schrijven dat bepaalde wilgenklonen een sterk potentieel hebben om zware metalen op te nemen. Daarenboven vermelden ze dat de bekwaamheid van populierbomen om organische verontreinigende stoffen te verwijderen reeds voldoende gedocumenteerd is.

Het feit dat het aanplanten van bomen een oplossing kan bieden bij het probleem van verontreinigde gronden vindt ook bijval in French et al. (2006). Volgens hen bestaat toenemend bewijs dat het saneren van cadmium verwezenlijkt kan worden door de aanwending van korte-omloophout (*short-rotation coppice*) zoals wilgenklonen bij fytoextractie.

Ook ODE-Vlaanderen (2001) onderschrijft dat boomsoorten zoals populier en wilg een grote metalentolerantie vertonen en hoge concentraties aan metalen kunnen opstapelen in hun weefsels. Het aanplanten van deze boomsoorten kan tot gevolg hebben dat het metaalniveau van de bodem vermindert waardoor verontreinigde gronden deels gesaneerd kunnen worden. De bomen kunnen achteraf geroid worden en vervolgens (co-)verbrand of vergast. Met aangepaste filters kunnen de metalen uitgefilterd worden zodat luchtverontreiniging uitblijft.

Naast de hierboven vermelde boomsoorten worden ook nog andere gewassen – die een hoge biomassa-productiviteit hebben en snel groeien maar slechts gemiddelde hoeveelheden metalen opnemen – getest op hun geschiktheid voor fyto-remediatie. Hernández-Allica et al. (2008) vermelden onder andere maïs als een gewas waarvan aangetoond is dat het relatief hoge concentraties van metalen in de grond kan tolereren en opstapelen (voornamelijk omwille van de hoge biomassa-productie).

Naast het gebruik van niet-consumptiegewassen om de metalen in de bodem te saneren, kunnen deze ook benut worden om een aansluiting te vinden bij de zoektocht naar alternatieve energiebronnen. Indien bio-energie een haalbare kaart blijkt, kan dit een dankbaar beheersconcept zijn voor de Kempense landbouwer. Reeds enkele velden zijn beplant met 'energiegewassen' om zo hun haalbaarheid te testen. Op deze manier kan ervaren worden of het verbouwen van houtige (wilgen, populieren) en niet-houtige (maïs, koolzaad, granen) energieteelten een geldig alternatief biedt. (OVAM, 2003-2006b)

Ook op de gronden die eigendom zijn van Umicore is een proefveld voor energieteelten aangeplant. Dit gebeurde door het consortium UHasselt, UGent en INBO (Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek) in opdracht van BeNeKempfen. De optimalisatie van de biomassa-opbrengst en het potentieel voor het verwijderen van metalen uit de bodem zullen nauwkeurig bestudeerd worden. (Envoridesk, 2007)

Er zijn bijgevolg oplossingen voor handen, maar deze zitten nog in de testfase. Verder onderzoek blijft nodig. Dit werk concentreert zich op één bepaalde oplossing, namelijk deze van de energieteelten. Uit deze energieteelten wordt biomassa gewonnen die in verwerkingsinstallaties kan omgezet worden tot bio-energie. In het volgende hoofdstuk wordt aan de hand van een literatuurstudie onderzocht hoe deze verwerking van biomassa tot bio-energie in zijn werk gaat.

3 Literatuurstudie

3.1 Biomassaketten

Volgens Wiersma et al. (2004) kunnen biomassaketens, de finale consumptie buiten beschouwing, in vier fasen worden opgesplitst: grondstoffase, voorbereiding, transport en conversie. Voor de economische analyse zijn vooral de actoren van belang. Deze zijn onder andere; grondstofleveranciers, transportbedrijven, conversiebedrijven, ... Een keten heeft slechts een kans als zowel de productie (aanbod) als de conversie (vraag) op lange termijn rendabel kunnen uitgevoerd worden of wanneer per actor een positieve marge valt waar te nemen. Hierna volgt een bespreking van de verschillende fasen in de biomassaketten. Hierbij wordt ook opslag als een aparte fase beschouwd.

3.1.1 Biomassa als grondstof

Wat is biomassa? Daar er geen eenduidige definitie van het begrip 'biomassa' bestaat, wordt getracht deze vraag te beantwoorden door enkele gangbare omschrijvingen op een rijtje te zetten waarna een overzicht gegeven zal worden van de verschillende soorten biomassa.

a) Definitie

De meest eenvoudige definitie van biomassa is: "*de biologische afbreekbare fractie van producten en afval*". Hoewel deze beschrijving erkend is binnen de EU, is de officiële Europese definitie meer uitgebreid: "*Biomassa omvat de biologische afbreekbare fractie van producten, afvalstoffen en residuen uit de landbouw – met in begrip van plantaardige en dierlijke stoffen –, de bosbouw en aanverwante bedrijfstakken, alsmede de biologische afbreekbare fractie van industrieel en huishoudelijk afval*". (Wiersma et al., 2004, p.8)

ODE-Vlaanderen (2001, p.4) bedoelt met biomassa "*alle organische materialen en hernieuwbare grondstoffen van plantaardige of dierlijke oorsprong die bestemd zijn voor industriële toepassingen (niet-voedinggebruik) of voor energieopwekking (warmte, elektriciteit, motorbrandstof)*".

Biomassa is bijgevolg afkomstig van planten, bomen of dierlijk mest en kan net als olie, kolen en gas gebruikt worden voor energieopwekking: het kan omgezet worden tot warmte, elektriciteit en motorbrandstof. (ODE-Vlaanderen, online)

b) *Soorten*

Volgens ODE & VITO (2006) kan een verdeling gemaakt worden op basis van de oorsprong. De meeste biomassa ontstaat als restproduct van economische activiteiten uit de landbouw of de industrie maar gewassen die enkel als biomassa verbouwd worden bestaan ook.

- Land- en bosbouwreststoffen waarbij vooral hout- en grasachtige reststoffen van belang zijn. Houtresten kunnen bijvoorbeeld ingezet worden voor de directe omzetting naar energie.
- Industriële reststoffen: hier gaat het hoofdzakelijk om houtachtige reststoffen zoals resthout van de houtverwerkende industrie en schrijnwerkerijen.
- Bedrijfsafval: sloophout en snoeiafval vormen een mogelijke bron voor energieopwekking.
- Gemeentelijke reststoffen: gemeenten beschikken vaak over grote hoeveelheden afvalstoffen zoals snoeihout en bermmaaisel die gebruikt kunnen worden voor energieproductie.
- Energieteelten zijn gewassen die enkel voor de opwekking van energie worden geteeld. Een toepassing hiervan is korte omloophout, bestaande uit snelgroeiende boomsoorten zoals populier en wilg. Deze worden in hoge dichtheid aangeplant en frequent geoogst. Daarenboven worden ook andere gewassen gebruikt voor energieproductie. Voorbeelden hiervan zijn energiemais (zo genoemd omwille van haar hogere biomassaopbrengst per hectare) en suikerbieten.

Het is belangrijk te weten tot welke soort de gebruikte biomassa behoort. Biomassaproducten en biomassa-afval vallen onder dezelfde emissievoorwaarden, maar voor afval gelden strengere reglementen. Aan de wetgeving wordt later meer aandacht besteed.

c) *Kenmerken*

Niet alle biomassastromen zijn even bruikbaar voor de directe omzetting naar energie. Het energiegehalte kan bijvoorbeeld sterk variëren. Daarnaast is de samenstelling bepalend voor de keuze van de techniek en is het soms nodig dat het materiaal een voorbehandeling ondergaat. Wat volgt, is een opsomming van de belangrijkste kenmerken van biomassa. (ODE & VITO, 2006)

Gehalte aan mineralen

De mineralen komen bij (co)verbranding en vergassing terecht in de as, wat voor een lagere asmeltemperatuur zorgt. De koude keteldelen raken sneller vervuild doordat de vloeibare

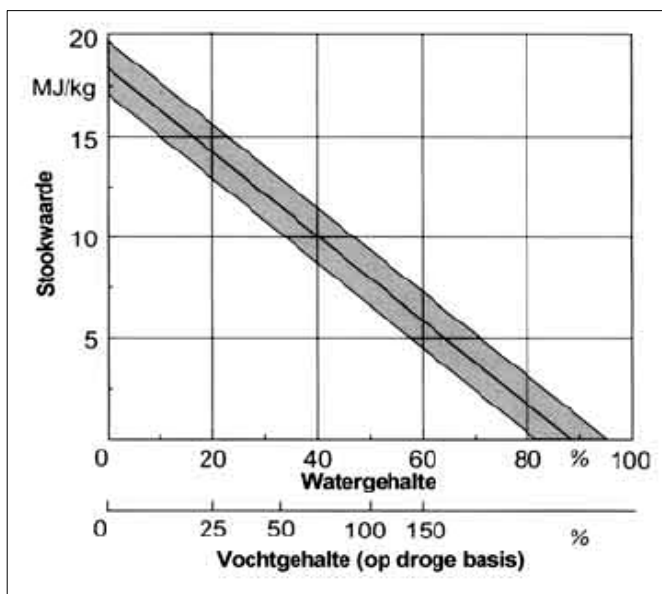
asdeeltjes zich op deze delen makkelijker vastzetten. Om deze vervuiling tegen te gaan, worden installaties specifiek ontworpen voor het materiaal dat erin verwerkt zal worden. Zo kan bijvoorbeeld gekozen worden voor een lagere verbrandingstemperatuur (afhankelijk van het soort biomassa: zuiver hout bevat minder mineralen dan grasachtige gewassen) waardoor het rendement van de installatie beperkt wordt.

Vorm en dichtheid

Het ontwerp van installaties is afgesteld op specifieke dimensies en wordt bijgevolg bepaald door de vorm, de stukgrootte en de dichtheid van het aangeleverde materiaal. Deze kenmerken hebben ook gevolgen voor het transport en de voeding van de installatie. Vaak is een voorbehandeling nodig om de biomassa bruikbaar te maken.

Energiedichtheid

Hiervoor zijn de calorische waarde¹ en het vochtgehalte bepalend. Vochtig materiaal heeft een groot deel van de opgebrachte energie nodig om het vocht te verdampen. Hierdoor kunnen de calorische waarde en de stookwaarde² erg verschillen (zie figuur 2).



Figuur 2: Relatie tussen vochtgehalte en stookwaarde (ODE & Vito, 2006)

Daarnaast beïnvloedt het vochtgehalte het gewicht en zodoende ook het transport. Ook worden het opslagvolume, de verbrandingstemperatuur en derhalve ook de afmetingen van de

¹ De calorische waarde is de hoeveelheid warmte die een hoeveelheid droog materiaal afgeeft bij verbranding.

² De stookwaarde is de hoeveelheid nuttige warmte die een materiaal ongedroogd oplevert.

installatie door de energiedichtheid en het vochtgehalte bepaald. Bijgevolg is het belangrijk dat de calorische waarde en het vochtgehalte van de gebruikte biomassa gekend is.

De calorische waarde wordt berekend per ton droge stof. De opbrengst droge stof die verschillende energiegewassen opleveren moet bijgevolg gekend zijn en worden in onderstaande tabel samengevat. (Cidad et al., 2003) Opmerkelijk is dat energiemaïs een zeer hoge droge stof opbrengst heeft in vergelijking met de andere energiegewassen.

Tabel 1: Opbrengsten van verschillende energiegewassen (Cidad et al., 2003)

Gewas	Opbrengst, vers gewicht (ton v.s./ha/j)	% Droge stof	Opbrengst, droge stof (ton d.s./ha/j)
Wintertarwe (graan)	8,3	83	6,8
Suikerbieten (wortel)	61	23	14
Aardappelen	46,7	21	9,8
Winterkoolzaad (zaad)	3,4	90	3,1
Energiemaïs	48 60 ⁽¹⁾	32 28 ⁽¹⁾	15,2 16,8 ⁽¹⁾
Korrelmaïs	12-14	65	8-9
Olifantsgras	15	80	12
Wilg	24,3	44,5	10
Populier	24,3	44,5	10
(1) Calus et al. (2007)			

Andere chemische elementen

Voorbeelden zijn chloor, zwavel en stikstof. Naargelang hun concentratie hebben ze invloed op de schadelijke rookgassen die vrijkomen. Dit kan en moet tot een minimum beperkt worden.

d) Biomassakeuze in dit werk

Zoals in de inleiding vermeld werd, moeten gewassen die ingezet worden voor fytoextractie, aan bepaalde eigenschappen voldoen. Een gewas dat geschikt is voor het verwijderen van zware metalen via de methode van fyto-remediatie is korte-omloophout bestaande uit snelgroeiende boomsoorten zoals wilg en populier omwille van hun hoge opnamecapaciteit per ton droge stof. Daarnaast werd ook maïs aangehaald als gewas dat in aanmerking komt voor deze methode omwille van haar hoge biomassa-productie, ook op de zandige bodem in de Kempen.

Daarenboven werd al een proefveld voor energieteelten aangeplant op gronden van Umicore. De gebruikte energieteelten waren populier en wilg maar ook energiemaïs.

Govaerts et al. (2006) bevestigen dat maïs geschikt is om gebruikt te worden als energiegewas in Vlaanderen. Daarnaast wordt korte-omloophout (zoals populier en wilg) vermeld als een nieuw energiegewas.

Het besluit hieruit is dat maïs en korte-omloophout (populier en wilg) vaak vernoemd worden als gewassen die geschikt zijn voor gebruik bij fytoextractie én voor gebruik als energiegewas. Daarom valt de keuze in dit werk op deze gewassen. De volgende fasen van de biomassaketen zullen enkel voor deze twee teelten onderzocht worden.

3.1.2 Voorbewerking van biomassa

Deze fase gebeurt meestal alvorens het vervoer plaatsvindt om de transportkosten te drukken. (Wiersma et al., 2004) De voorbewerking kan gebeuren via verschillende technieken waarvan hierna een opsomming volgt. De keuze voor een bepaalde techniek is bepalend voor het totale kostenplaatje. Welke techniek van toepassing is, hangt volgens ODE & VITO (2006) af van twee factoren: de aard van het materiaal – waarin grootte en vochtgehalte een rol spelen – aan de ene kant en de omzettingmethode aan de andere kant.

a) *Verkleinen/verhakselen*

Deze techniek is vooral in de bosbouw noodzakelijk om het transport te vergemakkelijken. Sommige systemen versnipperen complete bomen. Deze worden gebruikt bij het onderhoud van natuurgebieden of bossen die niet voor de oogst bestemd zijn. Daarnaast kunnen ook hakselaars gebruikt worden. Deze verkleiner is vooral geschikt voor snoeihout en kleine stammen. (ODE & VITO, 2006)

Ook bij het oogsten van maïs wordt gebruik gemaakt van hakselaars. Deze zijn meestal uitgerust met korrelkneuzers die de korrels pletten. (Kempenaar et al., 2003) De optimale haksellengte bedraagt volgens Schooten et al. (2006) 6 à 8 mm. Wanneer de lengte groter zou zijn, zorgt dit voor grovere stukken in de kuil waardoor het moeilijker is om deze vast te rijden. Na opening komt de lucht ook gemakkelijker binnen waardoor de kans op broei en schimmelvorming toeneemt.

b) *Verdichten*

Vermits verdichten zorgt voor een volumeafname en een verhoging van de energiedichtheid, zijn de voordelen duidelijk: minder volume moet getransporteerd worden en door de eenvormigheid is het makkelijker op te slaan. Doordat sommige biomassa vrij vochtig is, bestaat de kans dat het gaat rotten. Daarom is het nodig dat het biomassamateriaal goed droog is voor het opgeslagen wordt. ODE & VITO (2006) somt verschillende methodes voor verdichting op. Hier volgt een korte toelichting bij elke techniek:

- Verbalen: Na het oogsten worden gemaaide gewassen onmiddellijk gedroogd en verpakt waardoor de energiedichtheid verhoogt.
- Pelletiseren: Om dit proces te kunnen toepassen moet het materiaal erg droog zijn. Met stoom wordt het materiaal kneedbaar gemaakt. Vervolgens wordt het door een geperforeerde matrix geperst waardoor pellets ontstaan. Dit zijn kleine gelijkvormige stukjes geperst biomassa die een hogere massa- en energiedichtheid hebben en het transport vergemakkelijken. De hoeveelheid energie nodig is voor het aanmaken van pellets is afhankelijk van het soort materiaal.
- Briketteren: Bij deze techniek wordt de biomassa - meestal klein houtachtig materiaal zoals houtzaagsel - eerst in een mal geperst waarna het door een vernauwde opening eruit geduwd wordt. Hierdoor worden compacte en homogene 'stenen' gevormd. Zoals pelletiseren vereist deze techniek energie.

c) *Drogen*

Bij de verbranding van materialen speelt de luchtfactor λ een belangrijke rol. Wanneer deze groter is dan 2 ontstaat een te grote ballastlucht waardoor de verbrandingstemperatuur onder de kritische grens van 800 °C daalt. Hierdoor verloopt de omzetting van CO naar CO₂ trager, wat een onvolledige verbranding en toename van de CO-emissie veroorzaakt. Bijgevolg geldt hoe hoger het vochtgehalte, hoe lager de verbrandingswaarde. (Devriendt en Vanderstraeten, 2003) Een laag vochtgehalte is met andere woorden beter voor de verbranding. Pas geroid hout heeft een hoog vochtgehalte. Door het hout te drogen, kan deze vochtigheid verminderd worden. Dit kan gebeuren op natuurlijk wijze maar ook verschillende kunstmatige manieren kunnen toegepast worden. De eigenschappen van de soort zoals de structuur, de afmetingen en de vochtigheid, zijn bepalend bij de keuze. (Jacobs et al., 2003)

Natuurlijke droogmethode

ODE & VITO (2006) vermelden dat het voldoende kan zijn om het materiaal in de buitenlucht te leggen en zo gebruik te maken van zonnewarmte. Dit is volgens hen ook de meest duurzame manier. Het droogproces kan versneld worden door het materiaal onder een afdak te plaatsen.

Bij deze methode wordt het hout gestapeld op houten latten zodat rechtstreeks contact met de grond vermeden wordt en de wind goed aan het hout kan. Beschutting tegen rechtstreekse zonnestrallen en regen moet ook voorzien worden. Daarnaast moet een goede luchtcirculatie mogelijk zijn. (Jacobs et al., 2003)

Een nadeel is dat op deze manier slechts een vochtgehalte kan bekomen worden tussen 18 en 24%. Daarnaast is ook de benodigde tijd om te drogen, enkele maanden tot zelfs jaren, een nadeel. (Jacobs et al., 2003) Ter illustratie vindt u in volgende tabel de gemiddelde droogtijden per houtsoort:

Tabel 2: Gemiddelde droogtijden per houtsoort (Milieu Centraal, online)

Houtsoort	Droogtijd
Den, Populier	1 jaar
Linde, Wilg, Spar, Berk, Es, Els	1,5 jaar
Fruitboom, Beuk	2 jaar
Eik	2,5 jaar

Zoals kan afgelezen worden uit tabel 2, bedraagt de droogtijd voor populier en wilg respectievelijk 'slechts' 1 en 1,5 jaar. De kosten die gepaard gaan bij het drogen van deze twee houtsoorten komen in de economische analyse aan bod.

Kunstmatige droging

Door gebruik te maken van droogkamers kan het proces gestuurd worden, zowel op temperatuur als op relatieve vochtigheid en luchtcirculatie. De ovens worden direct verwarmd met elektriciteit ofwel indirect met hout- of gasgestookte verwarmingsinstallaties. Voor elke houtsoort bestaat een bepaald droogschema. Op deze manier kunnen lage vochtgehalten bereikt worden. Daarnaast gebeurt de droging sneller en beter gecontroleerd zodat een hoger rendement mogelijk is. Volgens Jacobs et al. (2003) heeft luchtdrogen verschillende varianten:

- Convectiedrogen: Dit is droging waarbij de temperatuur constant stijgt. Tijdens het droogproces neemt de temperatuur van het te drogen hout toe. Om het temperatuurverschil met het houtoppervlak constant te houden, wordt de temperatuur van de drooglucht mee opgevoerd. De droogtijd kan hierdoor verminderd worden tot

een vijftal weken in plaats van maanden. Daarenboven biedt het voordelen op vlak van energieverbruik.

- Condensatiedrogen: Bij deze methode wordt drooglucht bij lage temperatuur (27 à 45 °C) ontvochtigd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een gesloten systeem. Om de waterdamp te laten condenseren, wordt de circulerende lucht over een koud oppervlak geleid. De lucht wordt vervolgens weer opgewarmd en komt terug in de droogkamer terecht. Hierbij is de luchtcirculatie minimaal. Deze methode wordt soms gebruikt als eerste fase waarna een ander droogstelsel wordt toegepast.
- Versnelde of hoge temperatuurdroging (stoomdrogen): Het drogen gebeurt onder temperaturen van 105 à 150 °C en duurt slechts 2 tot 3 weken. Een grote tijdswinst kan bijgevolg behaald worden ten opzichte van de hierboven vermelde droogprocessen. Deze methode wordt vooral toegepast op naaldbomen.
- Vacuümdroging: Het principe dat aan de basis ligt van deze methode is dat water bij stijgende onderdruk kookt bij lagere temperatuur. Met andere woorden, het water dat in het hout zit, zal een lager kookpunt krijgen wanneer de druk daalt. Hierdoor ontstaat een snellere verdamping. Daarenboven zal het celwater makkelijker uit het hout verdwijnen, vermits de poriën van het hout meer geopend worden. De droogtijden liggen bijgevolg lager dan bij andere droogsystemen.

d) *Torrefactie*

Torrefactie wordt vooral toegepast in proefinstallaties op houtachtig materiaal. Grote volumes moeten verwerkt worden, zonet is de techniek niet rendabel. Bij deze methode wordt de biomassa verwarmd tot 225 à 300°C waardoor de energiedichtheid verhoogt en het materiaal minder vocht opneemt en makkelijker verwerkbaar is. (ODE & VITO, 2006)

3.1.3 Transport van biomassa

Het vervoer van biomassa kan gebeuren via vrachtwagen, trein of schip, maar in vloeibare vorm ook via pijpleiding. Welke vervoersoptie verkozen wordt, wordt bepaald door verschillende factoren zoals afstand, vereist gewicht, beschikbaar volume en de dichtheid van de te vervoeren biomassa. Over het algemeen is het transport volume gelimiteerd. Daarom zal de grondstof voorbehandeld worden (zie vorige paragraaf). Deze voorbewerking vindt bijgevolg best zo dicht mogelijk bij de biomassabron plaats. (Wiersma et al., 2004)

Vermits biomassa niet het hele jaar door geproduceerd wordt, kan geen sprake zijn van een continue aanvoer. Dit is vooral zichtbaar bij de teelt van biomassa waarbij het oogsten een

beperkt aantal weken per jaar gebeurt. Dit maakt de opslag van biomassa noodzakelijk. (Wiersma et al., 2004)

3.1.4 Opslag van biomassa (maïs)

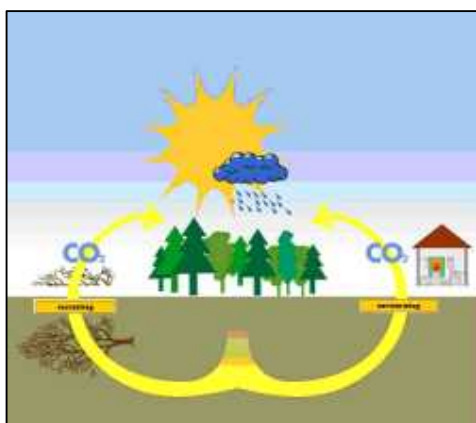
Na het oogsten wordt maïs in silagewagens naar de opslagplaats vervoerd en ingekuild. Dit houdt in dat de maïs op een egale ondergrond wordt gestort en daarna wordt aangereden. Als de kuil helemaal vol is, wordt deze afgedekt met plastic en grond waardoor de kuil luchtdicht wordt afgesloten en beschermd is tegen vogels en knaagdieren. (Kempenaar et al., 2003)

Door de luchtdichte afdekking ontstaat een anaërobe gisting waarbij melkzuurbacteriën zich snel ontwikkelen. Doordat de pH hierbij zo snel zakt, krijgen schadelijk bacteriën geen kans en wordt de kuil stabiel. Het is bijgevolg belangrijk dat de melkzuurvorming niet verhinderd wordt om zo voor een goede bewaring te zorgen en inkuilverliezen te voorkomen. (Schooten et al., 2006)

De goede inkuilbaarheid van snijmaïs hangt af van verschillende factoren. Ten eerste heeft het een laag eiwitgehalte. Doordat eiwitten de verzuring belemmeren, kunnen producten met veel eiwit slecht geconserveerd worden. Ten tweede ligt het suikergehalte voldoende hoog waardoor de melkzuurbacterie veel suikers voorhanden heeft en de pH in de kuil snel afneemt. (Schooten et al., 2006) Daarenboven vermelden Boer et al. (2003) nog het voldoende hoge drogestofgehalte van maïs als reden voor de goede conservering.

3.1.5 Conversie van biomassa

In tegenstelling tot de fossiele brandstoffen, kan biomassa beschouwd worden als een duurzame energiebron. Planten en bomen halen door groei en nieuwe aanplant evenveel CO₂ uit de lucht als dat bij de verbranding vrijkomt. Dit wil zeggen dat de CO₂-kringloop gesloten is en het totale proces CO₂-neutraal is. Dit wordt aangetoond in onderstaande figuur. (ODE-Vlaanderen, online)



Figuur 3: CO₂-kringloop bij biomassaverwerking (ODE-Vlaanderen, online)

Er bestaan vele manieren om biomassa om te zetten in nuttige energievormen (elektriciteit, warmte, brandstoffen) (ODE-Vlaanderen, online). In volgende tabel wordt een overzicht getoond van de toepasbare conversiemethodes voor hout (wilg, populier) en energiemaïs.

Tabel 3: Toepasbare conversiemethodes per gewas (Cidad et al., 2003)

Gewas	Grondstof	Conversie			Bruikbare energie	Omzetting tot nuttige energie	Nuttige energie
		Techniek	Tussen-product	Omzetting			
Wilg Populier Olifantsgras	Lignose-cellulose	Verbranding Co-Verbranding	Stoom	Aandrijven turbine	Elektriciteit (kWh _e) + Warmte (kWh _{th})	Elektrische motor	Kracht, licht, ...
		Vergassing	Syngas	Verbranding (motor)		Verwarmingsinstallatie	
Energie-maïs		Anaërobe vergisting	Biogas				Verwarming

a) *Verbranding*

Voor het opwekken van elektriciteit en warmte wordt verbranding het meest gebruikt. Het proces vindt plaats bij een temperatuur van 800 tot 1300°C waarbij genoeg lucht of zuurstof aanwezig is. Hierbij komt warmte vrij, die kan gebruikt worden voor de opwekking van elektriciteit of die gewoon nuttig gebruikt kan worden om bijvoorbeeld te verwarmen. (Vlaams energieagentschap, online)

Het verbranden gebeurt niet altijd volledig. Soms wordt geopteerd voor een combinatie van verbranding met vergassing waarbij een gedeeltelijke omzetting in brandbaar gas optreedt. De temperatuur waarbij dit gebeurt, ligt iets lager dan bij volledige verbranding, namelijk tussen de

700 en 900 °C. Het geproduceerde gas kan gebruikt worden voor warmte- of krachtopwekking. (ODE & VITO, 2006)

b) Co-verbranding

Als alternatief voor de verbrandingsmethode, kan biomassa ook mee verbrand worden in steenkoolcentrales. (Vlaams energieagentschap, online) Deze methode houdt in dat de biomassa en de steenkool in dezelfde stoomketel worden verbrand (eventueel in aparte branders). Om ervoor te zorgen dat de biomassa tegelijk met de kolen verbrandt, wordt de biomassa verkleind tot een bepaalde deeltjesgrootte. (Welink en Koogh, 2004)

Het verbranden van biomassa samen met steenkool leidt tot een hoger omzettingsrendement. Omdat meerdere brandstoffen benut kunnen worden, zorgen schaalfactoren en afgenomen risico's voor een betere efficiëntie. (Cidad et al., 2003)

c) Anaërobe vergisting

Bij deze volledig natuurlijke methode zijn verschillende bacteriën verantwoordelijk voor de afbraak van biomassa en de omzetting ervan in biogas. Daar dit alles in een zuurstofloze toestand gebeurt, wordt over 'anaërobe' vergisting gesproken. (ODE-Vlaanderen, 2006) De temperatuur waarbij het proces plaatsvindt, bedraagt 35 °C of meer. Het biogas dat vrijkomt, is een mengeling van methaan en CO₂ en kan verbrand worden om zo elektriciteit en warmte op te wekken. In Vlaanderen is de vzw Biogas-E opgericht om de realisatie van vergistingsprojecten te ondersteunen. (Vlaams energieagentschap, online)

Biogas werd vroeger gerelateerd met mestverwerking, maar de laatste jaren wordt geëxperimenteerd met de teelt van energiegewassen voor de productie van biogas via dit proces. Zulke gewassen moeten wel aan enkele voorwaarden voldoen. Eerst en vooral moet een behoorlijke opbrengst per hectare mogelijk zijn. Daarenboven moet een nuttig gas geproduceerd worden. Volgende tabel geeft een kort overzicht van de geschiktheid voor vergisting van verschillende soorten organisch materiaal. (ODE-Vlaanderen, 2006)

Energiemaïs heeft, zoals duidelijk werd uit tabel 1, een hoge biomassaopbrengst per hectare; Daarenboven is maïs volgens Govaerts et al. (2006) een zetmeelhoudend gewas en kan bijgevolg aan de hand van tabel 4 geklasseerd worden als goed vergistbaar. Op basis van deze twee redenen is maïs een gewas dat kan dienen als bron voor een vergistingsinstallatie.

Tabel 4: Vergistbaarheid van verschillende soorten organisch materiaal (ODE-Vlaanderen, 2006)

Vergistbaarheid	Soort organisch materiaal
Zeer goed	Eenvoudige koolhydraten (zetmeel en suikers)
Goed	Vetten en eiwitten
Moeilijk	Complexe koolhydraten (vezelrijke gewassen)
Niet	Complexe polymeren (zoals lignine in houtachtig afval)

d) *Vergassing*

Bij een temperatuur van 700 à 900°C wordt biomassa, in vaste vorm, omgezet in een gasvormige brandstof, stookgas genaamd. Hiervoor is de toevoeging van slechts een kleine hoeveelheid lucht nodig. Om elektriciteit of warmte op te wekken, wordt het stookgas verder verbrand. Deze werkwijze biedt als voordeel dat minder rookgassen moeten worden gezuiverd en dat een hoger rendement kan worden behaald. (Vlaams energieagentschap, online) Deze techniek zal in de economische analyse niet verder worden uitgewerkt.

3.1.6 Verwerken van restfractie

Bij de thermische omzetting (verbranding) van biomassa blijft een restfractie van onbrandbare componenten achter die op een geschikte manier opgevangen en verwijderd moet worden. Deze restfractie bestaat uit bodemas uit de opvangbak en vlieggas opgevangen uit de rookgassen. De overgebleven assen kunnen als grondstof dienen voor bijvoorbeeld de cementindustrie of de wegenbouw. Wanneer de assen erg vervuild zijn, moeten ze als chemisch afval verwerkt worden. (ODE & VITO, 2006)

Ook Welink en Koogh (2004) vermelden dat bij de verwerking van biomassa tot energie restproducten vrijkomen die bijvoorbeeld nuttig kunnen worden ingezet als bouwmetaal. Wanneer een nuttig gebruik echter niet mogelijk is, moeten de reststoffen geloosd worden. Zowel betreffende het nuttige gebruik als betreffende het lozen bestaan regels.

Naast de assen zijn ook de rookgassen een restproduct. Welink en Koogh (2004) vermelden dat deze idealiter uit waterdamp, koolstofdioxide en stikstof bestaan maar geven als opmerking dat een perfecte verbranding niet bestaat. In de rookgassen zit daardoor ook altijd een bepaald gehalte aan koolmonoxide (CO), dat giftig is, en onverbrande koolwaterstoffen. Hiernaast kunnen de rookgassen nog andere schadelijke verbrandingsproducten bevatten zoals vluchtige metalen en metaalverbindingen. De uitstoot hiervan is genormeerd. De emissie-eisen bepalen of

een rookgasreiniging noodzakelijk is om zo de uitstoot van schadelijk componenten te voorkomen (ODE & VITO, 2006).

Wanneer biomassa vergist wordt, blijft een digestaat achter. Dit digestaat bevat voedingsstoffen en kan als meststof ingezet worden. ODE-Vlaanderen (2004) vermeldt verder dat de kwaliteit van het digestaat gecontroleerd moet worden. Het gehalte aan onder andere zware metalen moeten immers beperkt blijven. Deze controle van de kwaliteit en ook de certificering gebeurt door de Vlaamse Compostorganisatie (VLACO). Wanneer niet aan de opgelegde eisen voldaan is, moet een andere toepassing gezocht worden. Voor het gebruik van het digestaat als secundaire grondstof is namelijk een VLACO-certificaat nodig.

3.1.7 Relevantie voor dit onderzoek

Zoals vermeld kunnen vele verschillende soorten energieteelten door middel van verscheidene technieken omgezet worden tot energie. Aangezien het omslachtig is om al deze mogelijkheden na te gaan, worden in dit werk slechts enkele combinaties onderzocht. Het onderzoek in dit werk werd al beperkt tot houtige gewassen en maïs. Vervolgens zullen enkele conversiemethoden geselecteerd worden voor verdere uitwerking. Op basis van tabel 3 kunnen volgende combinaties gekozen worden:

- het gebruik van een bestaande verbrandingsinstallatie voor de co-verbranding van hout;
- de inplanting van een nieuwe installatie voor de verbranding van hout;
- de inplanting van een nieuwe installatie voor de vergisting van energiemaïs.

Een volgende opmerking betreft de behandeling van de restfractie. Aangezien de productie van de energieteelten gebeurt op Kempense gronden die vervuild zijn met zware metalen, zullen deze teelten zware metalen bevatten. Hierdoor zal ook de restfractie die achterblijft na het verwerken van de vervuilde biomassa, verontreinigd zijn met deze metalen. Alvorens kan beslist worden hoe deze restfractie kan verwerkt worden, dient nagegaan te worden hoe sterk deze vervuild is met zware metalen. Het is echter geen doelstelling van dit werk om de graad van de vervuiling te bepalen waardoor er bijgevolg geen zekerheid is over hoe deze restfractie kan verwerkt worden. Om deze reden worden de kosten die ermee gepaard gaan niet opgenomen in het onderzoek.

3.2 Wetgeving betreffende het plaatsen van een conversiecentrale

3.2.1 Verbrandingsinstallatie

Wanneer een conversiecentrale gebouwd wordt, moeten de juiste bouw- en milieuvergunningen verkregen zijn. Deze twee vergunningen zijn momenteel aan elkaar gekoppeld. Zo is de ene vergunning niet geldig zonder de andere. Het milieuvergunningendecreet en de uitvoeringsbesluiten Vlarem I en II bieden informatie hierover. (ODE-Vlaanderen, 2006)

a) *Vlarem I*

In Vlarem I staan de procedures vermeld voor het aanvragen van een milieuvergunning. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen biomassa (zoals energieteelten) en biomassa-afval. De eerste bijlage van Vlarem I bevat een indelinglijst van de activiteiten die als hinderlijk beschouwd worden voor mens en leefmilieu en waarvoor een vergunning moet worden verkregen. Voor de inrichtingen die biomassa verbranden, is rubriek 43 van toepassing. Verbrandingsinrichtingen die biomassa-afval verbranden worden vergund als afvalverbrandingsinstallaties en behoren tot rubriek 2.3.4. (Vlaamse Regering, 1991 en ODE & VITO, 2006)

In de indelingslijst staat ook vermeld tot welke klassen de inrichtingen behoren. De indeling gebeurt op basis van de meest hinderlijke activiteit die ze uitvoeren: klasse 1 is meest hinderlijk, klasse 3 is het minst hinderlijk. In bijlage 1 van dit werk staat tot welke klasse de relevante rubrieken, aangehaald in vorige alinea, behoren. Zo geldt dat een kleinschalige verbrandingsinstallatie tot klasse 2 behoort. Een grootschalige verbrandingsinstallatie kan gerangschikt worden als klasse 1.

Afhankelijk van de klasse waartoe de installatie behoort, moet een bepaalde procedure worden gevolgd voor de vergunningsaanvraag. Zo geldt voor een activiteit van klasse 3 enkel een meldingsplicht bij de gemeente. Activiteiten van klasse 2 (zoals een kleinschalige verbrandingsinstallatie) moeten aangevraagd worden bij het college van burgemeester en schepenen, voor klasse 1 activiteiten (waartoe een grootschalige verbrandingsinstallatie behoort) is dit de bestendige deputatie van de provincie. De nodige formulieren zijn beschikbaar in bijlage 3 en 4 van Vlarem I. (Vlaamse Regering, 1991) In bijlage 2 wordt de procedure voor klasse 1 inrichtingen schematisch voorgesteld.

b) *Vlarem II*

De bepalingen omtrent milieuhygiëne, zowel algemeen als sectorgebonden, zijn opgenomen in Vlarem II. Van toepassing is subafdeling 5.2.3bis.4. 'Voorwaarden voor verbrandings- en meeverbrandingsinstallaties van biomassa-afval' en hoofdstuk 5.43 'Niet in rubriek 2 en 28 begrepen verbrandingsinstallaties'³ dat betrekking heeft op de verbrandingsinrichtingen uit rubriek 43 van de indelingslijst uit bijlage 1 van Vlarem I.

Dit laatste hoofdstuk bevat drie subafdelingen (grote, middelgrote en kleine stookinstallaties) waarin voor stookinstallaties gevoed met biomassa (met uitzondering van biomassa-afval) telkens verwezen wordt naar de emissiegrenswaarden en bepalingen van artikel 5.2.3 bis 4.9. (Vlaamse regering, 1995) In dit artikel is volgende tabel met emissiegrenswaarden opgenomen voor de rookgassen die vrijkomen bij de verbranding. De concentraties in deze rookgassen van bepaalde in de tabel opgenomen stoffen mogen immers niet hoger zijn dan opgelegde concentraties.

Tabel 5: Emissiegrenswaarden voor verbrandingsinstallaties (Vlaamse Regering, 1995)

Emissiegrenswaarden in mg/Nm³ in functie van het nominaal thermisch vermogen van de verbrandingsinstallatie			
	tot en met 5 MW	5 tot 50 MW	50 MW en meer
1. totaal stof	150	30	10
2. koolmonoxide (CO)	250	200	100
3. stikstofoxiden (NO _x) uitgedrukt door NO ₂	400	400/200 ⁽¹⁾	200 ⁽²⁾
4. zwaveldioxide (SO ₂)	300	300	50
5. dioxinen en furanen uitgedrukt in ng TEQ/Nm ³ ⁽³⁾	-	0,1	0,1
⁽¹⁾ De emissiegrenswaarde van 400 mg/Nm ³ , respectievelijk 200 mg/Nm ³ , heeft betrekking op installaties met een nominaal thermisch vermogen tot en met 30 MW, respectievelijk groter dan 30 MW. ⁽²⁾ Installaties die een nominaal thermisch vermogen hebben van meer dan 300 MW moeten zich houden aan een emissiegrenswaarde van 130 mg/Nm ³ . ⁽³⁾ Een bemonsteringsperiode van 6 à 8 uur wordt verondersteld bij de bepaling van de gemiddelden. De totale concentratie dioxinen en furanen waar deze emissiegrenswaarde op slaat, wordt berekend via het begrip 'toxische equivalentie'.			

³ Rubrieken uit de indelingslijst van bijlage 1 van Vlarem I: Rubriek 2 handelt over afvalstoffen en Rubriek 28 handelt over mest of meststoffen.

Bij de bouw van een installatie die biomassa (mee)verbrandt, moet bijgevolg rekening gehouden worden met deze emissiegrenswaarden. Wanneer de installatie niet aan deze waarden voldoet, mag ze immers niet operatief zijn. In het model dat in hoofdstuk 4 uitgelegd wordt, zal met deze grenswaarden echter geen rekening gehouden worden, aangezien deze geen weerslag hebben op economisch vlak.

3.2.2 Vergistinginstallatie

In de lijst van bijlage 1 van Vlarem I staat dat inrichtingen onder rubriek 2.2.3.c) 'compostering of vergisting, met of zonder methaanwinning, van andere niet gevaarlijke afvalstoffen' tot klasse 1 inrichtingen behoren. (Vlaamse Regering, 1991) Wel dient opgemerkt te worden dat het vergisten van enkel energiegewassen niet is opgenomen in de lijst.

In omzendbrief RO/2006/01⁴ wordt getracht duidelijkheid te scheppen over nodige aanvragen voor de inplanting van vergistinginstallaties. Ten eerste heeft de energetische valorisatie van biomassa via vergisting een groot potentieel. Daarenboven kan het helpen bij de verwezenlijking van de gestelde Vlaamse doelstelling⁵ op vlak van hernieuwbare elektriciteitsproductie. Aangezien het vergisten van biomassa tot dit doel kan bijdragen, is het vinden van geschikte inplantingplaatsen van groot belang. In wat volgt, worden de voor dit werk relevante delen uit de omzendbrief aangehaald. De volledige omzendbrief is terug te vinden op de website 'Ruimtelijke ordening in Vlaanderen'.

Voor de bespreking van de inplanting van vergistingsinstallaties wordt een onderscheid gemaakt op basis van schaal. Voor grootschalige installaties geldt dat ze niet in agrarisch gebied mogen ingeplant worden maar op regionale bedrijventerreinen moeten geplaatst worden. De reden hiervoor is hun aard, omvang en verkeersgenerende impact.

Installaties van beperkte schaal, al dan niet gebonden aan één bedrijf, kunnen onder bepaalde voorwaarden wel ingeplant worden in het agrarische gebied. Aangezien vergisting kan beschouwd worden als agrarische activiteit in ruime zin, moet het mogelijk zijn als agrarisch bedrijf in ruime zin bepaalde vormen van vergistingsinstallaties in te planten in het agrarische gebied. Hierbij moet echter wel rekening gehouden worden met de ruimtelijke ordening.

Vermits in het model een installatie beschouwd wordt die niet gebonden is aan één bedrijf, zal enkel deze categorie verder behandeld worden.

⁴ "Afwegingskader/randvoorwaarden inplanting van installaties voor mestbehandeling en vergisting"

⁵ 6 % van het elektriciteitsverbruik moet in 2010 komen van hernieuwbare energiebronnen.

Wanneer een installatie niet gebonden is aan één bedrijf, kan ze geplaatst worden in functie van een aantal dicht bij elkaar gelegen bedrijven (zowel naar activiteit als naar locatie). De inplanting in agrarisch gebied kan in dit geval gerechtvaardigd worden doordat de installatie in functie is van de betrokken bedrijven en overbodig transport kan vermeden worden. Wel moet bij de inplanting in agrarisch gebied rekening gehouden worden met de stedenbouwkundige voorschriften en de landschappelijke inpasbaarheid. Bovendien is het aangewezen de ruimte die door de installaties ingenomen wordt, zoveel mogelijk te beperken.

Ook moet in het oog worden gehouden dat in een aantal gebieden de inplanting van een vergistingsinstallatie niet is toegelaten:

- ruimtelijk kwetsbare gebieden zoals groengebieden, natuurgebieden en beschermde duingebieden,
- habitatgebieden aangewezen door de Vlaamse regering in het kader van de EG-richtlijn 92/43/EEG betreffende het behoud van de natuurlijke habitat en de wilde flora en fauna,
- beschermde landschappen, alsook in een beschermd dorps- of stadsgezicht.

Bij aanvragen in het agrarische gebied moet de sectorale wetgeving gevolgd worden. Daarnaast is het advies van het departement Landbouw en Visserij vereist. Dit advies is bepalend voor de beoordeling over de aanvaardbaarheid van de betrokken inrichting.

Als samenvatting van de omzendbrief kan gezegd worden dat voor grootschalige installaties geldt dat ze niet in agrarisch gebied mogen ingeplant worden maar op regionale bedrijventerreinen moeten geplaatst worden. Installaties van beperkte schaal, al dan niet gebonden aan één bedrijf, kunnen onder bepaalde voorwaarden wel ingeplant worden in het agrarische gebied.

Het voor dit werk relevante gebied is de Kempen. Het inplanten van een installatie van beperkte schaal zou hier bijgevolg kunnen mits rekening wordt gehouden met de gestelde voorwaarden. De verdere uitwerking van de voorwaarden wordt in dit werk achterwege gelaten vermits de nadruk ligt op de economische kant.

3.3 Implementatie van biomassaprojecten

Ree et al. (2000a) stellen een aantal kritische factoren voor een succesvolle implementatie van biomassaprojecten vast:

3.3.1 Contracteerbaarheid van biomassa voor energiedoeleinden.

Er moet onderzocht worden hoeveel biomassa verkregen kan worden uit de teelt van energiegewassen op de vervuilde Kempense gronden. Daarnaast moet nagegaan worden of deze verkregen biomassa voldoende is om een installatie efficiënt te laten draaien. Daarenboven moet ook geweten zijn tegen welke kost de biomassa kan verkregen worden. Deze kost bepaalt mee in hoeverre de inplanting van een installatie rendabel zal zijn of niet.

3.3.2 Het energie- en milieubeleid dat van toepassing is

De kosten voor energieproductie uit biomassa liggen vrij hoog in vergelijking met de energieproductie uit fossiele brandstoffen. Daardoor zijn financiële maatregelen noodzakelijk om biomassaprojecten van de grond te krijgen. Het grensoverschrijdende project BeNeKempen wordt gefinancierd door de EG. (Envirodesk, 2007) Het gebruik van biomassa voor energieproductie is aan een opmars begonnen. Het besef groeit dat het doelbewust telen van energiegewassen kansen biedt. (ODE & VITO, 2006) Het is bijgevolg logisch dat het milieubeleid hieromtrent nog niet op peil staat. Wel wordt getracht aan de hand van omzendbrieven, zoals hierboven vermeld, een duidelijk kader te creëren over de inplanting van installaties.

3.3.3 De maatschappelijke basis voor de toepassing van bio-energie

Volgens Ree et al. (2000a) heeft biomassa als duurzame energiebron een niet zo duidelijk imago. Om een positief draagvlak te bereiken, is bijgevolg meer duidelijkheid nodig. Daarom is een goede uitleg nodig over welke kansen biomassa en bio-energie bieden.

Dit werk handelt over het verwerken van biomassa afkomstig van energiegewassen geteeld op vervuilde grond. Op die manier is er een dubbel voordeel verbonden aan deze teelt van energiegewassen. Enerzijds worden door de teelt van de energiegewassen zware metalen verwijderd uit gronden die niet geschikt zijn voor consumptiegewassen. Anderzijds kan de biomassa afkomstig van deze gewassen ingezet worden als bron voor groene energie.

3.3.4 De concurrentiepositie van bio-energie ten opzichte van andere bronnen in een energiemarkt die zich liberaliseert

Het bouwen van een installatie voor de verwerking van biomassa is een risicovolle investering die vele energiebedrijven niet geneigd zijn aan te gaan. De vraag rijst hoe duurzame energie

gestimuleerd kan worden in een liberaliserende markt. Later in dit werk wordt hier verder op ingegaan. In paragraaf 4.4 worden namelijk de Vlaamse steunmaatregelen uitvoerig besproken.

3.3.5 De huidige status en ontwikkelingsmogelijkheden (leereffecten) van conversietechnieken

Het omzetten van biomassa in energie is vrij nieuw. De conversietechnieken zijn daarom niet allemaal direct beschikbaar voor de implementatie van biomassa-projecten. Het is bijgevolg nodig dat blijvend onderzoek wordt gedaan om deze technieken te verbeteren en meer rendabel te maken.

Momenteel leveren veel biomassa-initiatieven nog geen concurrerende eindproducten, wat een belangrijk knelpunt is. Dit hangt samen met het feit dat de 'optimale biomassaketens' niet bestaat. Vele biomassaketens bestaan en die omvatten allemaal verschillende schakels. Elke schakel kan op zijn beurt op vele manieren ingevuld worden. Zo kan gekozen worden uit verschillende grondstoffen waarvan de conversie op diverse manieren kan gebeuren, meerdere eindproducten zijn mogelijk en ook de transportroutes kunnen variëren. Bijgevolg bestaat een hele set aan mogelijke combinaties voor het inrichten van een keten. Omdat het niet meteen op voorhand duidelijk is welke combinatie de optimale is, ontstaat het risico dat de vraag en het aanbod binnen de keten niet optimaal op elkaar zijn afgestemd. (Wiersma et al., 2004)

3.4 Conclusie

Door de voormalige zinkindustrie zijn de gronden in de Kempen sterk verontreinigd met zware metalen. Door de ernst van deze verontreiniging is het belangrijk dat op zoek gegaan wordt naar methodes die een oplossing aanreiken.

Door de gelijklopende problematiek in de Vlaamse en Nederlandse Kempen, is gestart met het grensoverschrijdende project, BeNeKempen, dat alternatieve beheers- en saneringsconcepten zoekt en onderzoekt. Eén van de werkgroepen van dit project is de werkgroep Landbouw, die landbouwers tips geeft om met de verontreiniging om te gaan. De teelt van energiegewassen is een piste die de werkgroep onderzoekt. Daarom zijn al enkele velden beplant met deze gewassen om hun haalbaarheid te testen. Ook de optimalisatie van de biomassa-opbrengst en het potentieel voor het verwijderen van metalen zullen nauwkeurig bestudeerd worden.

Een belangrijk knelpunt is dat deze biomassa-initiatieven nog geen concurrerende eindproducten bieden. Vermits vele soorten gewassen kunnen aangeplant worden en deze via

verschillende technieken kunnen omgezet worden in energie, werd een selectie doorgevoerd en werden volgende combinaties bekomen:

- de inplanting van een nieuwe installatie voor de vergisting van energiemais;
- de inplanting van een nieuwe installatie voor de verbranding van hout;
- het gebruik van een bestaande installatie voor de coverbranding van hout.

Daarenboven moet bij de plaatsing ook rekening gehouden worden met de heersende milieuwetgeving. Vermits deze afhankelijk is van het type installatie is het belangrijk na te gaan welke vergunningen nodig zijn om een centrale te mogen bouwen.

4 Economische aspecten

4.1 Voorbewerking en opslag van hout

Hout moet bewerkt worden alvorens het verwerkt kan worden in de conversie-installatie. De literatuurstudie gaf hier verschillende technieken voor. Cidrad et al. (2003) vermelden als kost voor het verkleiningsproces van wilg en populier een bedrag dat varieert van 40 tot 60 €/ton d.s. Het drogen van deze twee houtsoorten is afhankelijk van de droogmethode:

- natuurlijk methode: 0 €/ton d.s.
- opslaan + ventileren met onverwarmde lucht: 6,5 €/ton d.s.
- opslaan + ventileren met verwarmde lucht: 30 €/ton d.s.

4.2 Voorbewerking en opslag van maïs

Zoals eerder aangehaald bij de bespreking van de voorbewerking van biomassa, wordt maïs verkleind tijdens het oogsten door middel van hakselaars. In Boer et al. (2003) wordt hiervoor een kost gegeven van 429 €/ha (inclusief transport).

Ook het inkuilprocédé van maïs werd reeds behandeld. Hier zijn natuurlijk ook kosten aan verbonden. In Boer et al. (2003) wordt een kost van 93 €/ha vermeld voor het aanrijden van de kuil en een kost van 49 €/ha voor het cultivateren⁶. De kosten die Schooten et al. (2006) geven, aanrijden 55 €/ha en cultivateren 50 €/ha, verschillen hier licht mee. Tijmensen et al. (2002) maken bij hun bespreking van de kosten van inkuilen een onderscheid tussen loonwerk en eigen beheer. De totale kosten in eigen beheer bedragen 18,8 €/ha. Deze liggen een stuk lager dan bij loonwerk, waarbij het inkuilen 59,7 €/ha kost.

4.3 Kosten betreffende de installatie

4.3.1 Plaatsing van een nieuwe verbrandingsinstallatie

Bij de plaatsing van een nieuwe installatie gaan heel wat kosten gepaard. Hieronder worden deze op een rijtje gezet en vervolgens kort besproken.

⁶ Een cultivator is een landbouwwerktuig voor het fijn en egaal maken van de grond. Bij het inkuilen kan cultivateren gezien worden als het egaal maken van de kuil.

a) *Investeringskost*

Een eerste onderdeel van de investeringskosten zijn volgens ODE & VTIO (2006) de kosten die ontstaan door de bouw of aanpassing van de ruimte waar de installatie komt. Daarbij hoort ook de opslagruimte voor de biomassa. Een volgend punt waar rekening mee moet worden gehouden zijn de leverings- en montagekosten en als laatste de kosten die voortkomen uit de opstarting van de installatie.

In ODE & VITO (2006) worden de berekeningen verschaft aan de hand van een voorbeeld. Ze veronderstellen een ondernemer die een gebouw wil verwarmen met behulp van een automatische ketel. De vraag naar warmte bedraagt 150 MWh per jaar en de ketel die wordt voorzien, heeft een vermogen van 100 kWth. Volgende tabel toont de verschillende factoren die de investeringskosten bepalen. Ter verduidelijking wordt een vergelijking gemaakt tussen een ketel die met houtpellets, houtsnippers, olie of gas wordt gestookt.

Tabel 6: Investeringskosten verbrandingsketel in euro (ODE & VITO, 2006)

	Pellets	Houtsnippers	Olie	Gas
Ketel	25 000	25 000	5 800	6 600
Levering, montage en opstart	3 000	3 000	3 000	6 200
Constructie (incl. opslag)	20 000	25 000	13 000	10 000
Totaal	48 000	53 000	21 800	22 800

Ook Ciudad et al. (2003) bespreken de investeringskosten die gepaard gaan met de installatie van een nieuwe installatie voor de verbranding van hout (wilg en populier). Voor een installatie met een capaciteit van 50 000 ton grondstof per jaar voorzien zij een investeringskost van 19 miljoen euro.

In Tilburg et al. (2008) wordt bij de bespreking van de kosten een onderscheid gemaakt tussen kleinschalige (< 10 MW_e) en grootschalige (10 tot 50 MW_e) verbrandingsinstallaties. De kenmerken en investeringskosten voor deze 2 soorten installaties worden in onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 7: Investeringskosten verbrandingsinstallatie naar grootte (Tilburg et al., 2008)

		Kleinschalig	Grootschalig
Referentiecapaciteit	(ton/jaar)	30 000	135 000
Elektrisch vermogen (referentie)	(MW _e)	5	20
Investeringskost	(€/kW _e)	4 000	3 250

b) *Kapitaalkost/rentevoet*

Dit zijn de jaarlijkse kosten van de investering. Hiermee moet rekening worden gehouden wanneer de investering verdeeld wordt over de verschillende jaren dat de installatie werkzaam is. De kapitaalkost wordt berekend op basis van de totale investering, de afschrijftermijn (n) en de heersende rentevoet⁷ (i). De jaarlijkse kost wordt verkregen door het investeringsbedrag te delen door de gecumuleerde actualisatiefactor (g.a.f.) (Laveren et al., 2004):

$$g.a.f.(n,i) = \frac{1 - \frac{1}{(1+i)^n}}{i}$$

Als deze formule omgekeerd wordt en vermenigvuldigd met $(1+i)^n$ wordt de annuïteitfactor bekomen. De jaarlijkse kost kan dan berekend worden door het investeringsbedrag te vermenigvuldigen met deze annuïteitfactor.

$$a_{n-i} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

c) *Werkingskost*

Dit zijn variabele kosten. Ze houden volgens ODE & VITO (2006) verband met het beheer van de installatie. In tabel 8 wordt een overzicht gegeven van de verschillende afdelingen.

Tilburg et al. (2008) vermelden een O&M-kost⁸ van 300 €/kW_e voor kleinschalige installaties met een bedrijfstijd van 7 500 uren per jaar. Voor grootschalige installaties met een bedrijfstijd van 8 000 uren per jaar bedragen de O&M-kosten 225 €/kW_e.

⁷ Met de heersende rentevoet wordt de rentevoet bedoeld die van kracht is op het moment dat de investering gedaan wordt. Voor i moet met andere woorden de rentevoet van jaar nul genomen worden.

⁸ Operation en maintenance: werkings- en onderhoudskosten.

Tabel 8: Werkingskosten verbrandingsketel in euro/jaar (ODE & VITO, 2006)

	Pellets	Houtsnippers	Olie	Gas
Personeel	810	1 000	200	50
Schoorsteenreiniger	250	250	250	150
Service contact	400	400	200	200
Ketelcontrole	1 000	1 000	1 000	1 000
Onderhoud ketel	375	375	87	99
Onderhoud gebouw	200	250	130	100
Verzekering	196	220	109	114
Elektriciteit	100	100	50	50
Totaal	3 331	3 595	2 026	1 763

4.3.2 Plaatsen van een nieuwe vergistingsinstallatie

Tilburg et al. (2007) verschaffen cijfers voor vergistingsinstallaties kleiner dan 10 MW_e. Installaties op boerderijschaal bestaan, maar de vergisting van grondstoffen van biologische of organische oorsprong, eventueel samen met mest gebeurt meestal in grotere vergistingssystemen met een elektrisch vermogen van 1,5 tot 5 MW_e. Deze installaties hebben een capaciteit van 200 000 ton per jaar.

a) *Investeringskost*

Volgens Tilburg et al. (2008) hangt de investeringskost sterk af van de schaalgrootte. Deze kosten variëren van 2 000 tot 2 750 €/kW_e. Met een elektrisch vermogen van 600 kW_e als referentie, bedragen de investeringskosten 2 500 €/kW_e.

b) *Werkingskosten*

De vaste onderhoudskosten liggen voor een vergistingsinstallatie, met 7 500 uren per jaar bedrijfstijd, tussen 125 en 250 €/kW_e. Als referentie wordt 200 €/kW_e gebruikt. (Tilburg et al., 2007)

4.3.3 Co-verbranding/Meestoken in een bestaande centrale

Wanneer gekozen wordt om biomassa te gebruiken via meestook in bestaande centrales zijn de nodige investeringen relatief klein waardoor de kapitaalrisico's beperkt blijven. Momenteel is het aandeel houtstof dat meegestookt wordt in de Vlaamse centrales 14,4 MW (dit is 29% van de totale meestook in Vlaanderen). De in deze topic gebruikte getallen komen uit Moorkens et al. (2005) waarin het gaat over de investering van de meestook van hout in een co-verbrandingsinstallatie en zijn gebaseerd op het Nederlandse model.

a) *Additionele investeringskost*

Wanneer hout meegestookt wordt in een co-verbrandingsinstallatie moet een onderscheid gemaakt worden tussen directe en indirecte meestook. Bij indirecte meestook wordt het hout afzonderlijk vermalen en met aparte branders in de kolencentrale opgestookt. De additionele kost voor dit proces, gebaseerd op 10% meestook, bedraagt 190 €/kW_{th} voor Vlaanderen. Bij directe meestook wordt het hout samen met de steenkool verkleind en verbrand. De bestaande steenkoolvoeding en de conventionele kolenbranders kunnen hiervoor gebruikt worden. De investeringskosten hiervoor bedragen 16 €/kW_{th}, wat een stuk lager ligt dan bij de indirecte meestook. (Moorkens et al., 2005)

Hoewel de directe meestook van hout minder investering nodig heeft, verwachten Moorkens et al. (2005) dat de indirecte meestook van houtpellets de toekomstige referentietechnologie zal worden. Ze gebruiken voor hun berekeningen de kost die in het Nederlandse model gehanteerd wordt van 220 €/kW_{th}.

Cidad et al. (2003) verschaffen ook cijfers omtrent de aanpassing van verbrandingsinstallaties om co-verbranding van biomassa mogelijk te maken. De investeringkost voor de co-verbranding van wilg en populier bedraagt volgens hun cijfers 4 miljoen euro voor een capaciteit van 100 000 ton grondstof per jaar.

Voor de meestook van houtpellets in een kolencentrale met 7 250 uren per jaar bedrijfstijd, vermelden Tilburg et al. (2007) een investeringskost van 220 €/kW_{th}.

b) *Werkingskosten*

Moorkens et al. (2005) voorzien, op basis van het Nederlandse model, een kost van 0,25 €/kWh_e voor het onderhoud en beheer van de installatie. Daarbij wordt een extra kost gerekend van 0,95 €/kWh_e. Onder deze extra kosten vallen onder andere de meerkosten voor het afvoeren van reststoffen en kosten van extra vervuiling. In dit werk wordt hier echter geen rekening mee gehouden. Zoals eerder vermeld, worden de verwerking van de restfractie en bijgevolg de kosten die hiermee gepaard gaan, niet opgenomen in het onderzoek.

Een kleine opmerking hierbij is dat het in Vlaanderen meestal om directe meestook gaat waardoor de kosten waarschijnlijk wat lager zullen liggen dan in het Nederlandse model. Dit komt omdat bij directe meestook geen bijkomende elementen te onderhouden zijn. De extra kosten zullen echter wel grotendeels kloppen. (Moorkens et al., 2005)

In Tilburg et al. (2007) worden cijfers verschaft die iets recenter zijn. Zo worden parameters gegeven voor de jaren 2008-2009. De variabele O&M-kosten komen volgens hen op 0,20 €/kWh_e. Daarnaast bestaan ook overige operationele kosten die 0,80 €/kWh_e bedragen. Wat deze kosten juist omvatten, wordt door de auteurs niet beschreven. Het is daarom moeilijk om in te schatten of de verwerkingskosten van de restfractie hierin opgenomen zijn.

4.4 Steunmaatregelen van de Vlaamse overheid

De toepassing van hernieuwbare bronnen wordt door de overheid ondersteund met verschillende steunmaatregelen. Deze zullen hieronder kort besproken worden.

4.4.1 Ecologiesteun

Wanneer ondernemingen bepaalde ecologische beroepsinvesteringen verrichten binnen het Vlaamse Gewest, kunnen zij profiteren van een investeringspremie. Door het grote succes oversteeg de vraag naar steun het beschikbare budget en werd de premie op 16 mei 2007 omgevormd tot een gesloten budgetsysteem. Hierdoor gebeurt de toewijzing van steun met oproepen (calls) en een wedstrijdformule. (Vlaio, 2007)

Of de investering in aanmerking komt, hangt af van bepaalde factoren. Ten eerste moet de onderneming gelegen zijn in het Vlaamse Gewest. Ten tweede moet de hoofdactiviteit van de onderneming tot een toegelaten sector behoren. De beoordeling gebeurt op basis van de NACE-

codes⁹. (Vlao, 2007) De hoofdactiviteit van de verwerkingsinstallaties, in dit werk bedoeld, is het produceren van elektriciteit. De NACE-code die hiermee overeenkomt was: 40.110 'productie van elektriciteit'. Sinds 2008 geldt echter de code 35.110. Hieruit kan besloten worden dat de hoofdactiviteit een toegelaten activiteit is. (FOD-economie, online)

De investeringen waarop deze premie van toepassing is, zijn investeringen in beste beschikbare technieken. Deze zijn geregistreerd volgens NACE-code in een limitatieve technologieënlijst volgens 4 categorieën¹⁰:

- milieutechnologieën
- energiebesparende technologieën
- WKK-technologieën
- Energiebesparende technologieën waaronder biomassa. (Vlao, 2007)

Op deze Limitatieve lijst technologieën van Agentschap Economie & Vlaams Energieagentschap (2007, online) zijn volgende technologienummers te vinden:

- 1162 'productie van energie (WKK/elektriciteit) op basis van de verbranding van biomassa'. Hierbij komen investeringen in aanmerking die energie opwekken uit biomassa;
- 100015 'productie van energie (WKK/elektriciteit) op basis van anaërobe fermentatie van afval of biomassa'. Hieronder vallen investeringen die gassen ontstaan uit de anaërobe fermentatie van afval of biomassa aanwenden. Deze investeringen maken het gebruik van biogas uit de anaërobe fermentatie mogelijk.

Bij gebrek aan Vlaamse normen, moeten deze technologieën de goedgekeurde Europese normen overstijgen (ook als ze nog niet van toepassing zijn) ofwel moeten ze voordelen behalen op vlak van milieu waarbij nog geen Europese normen zijn bekrachtigd. Wanneer Vlaamse normen gelden, die strenger zijn dan de Europese, moeten de technologieën deze Vlaamse normen overtreffen. (Vlao, 2007)

Het aanvragen van een premie kan enkel via elektronische weg gebeuren, via de site van het Agentschap Economie van de Vlaamse Overheid. Zoals eerder vermeld, wordt na de vernieuwing met calls gewerkt. Deze zullen drie maal per jaar uitgebracht worden (gelijktijdig met die van groeipremie). Per oproep kan een onderneming slechts éénmaal een aanvraag indienen. Wanneer de call is afgelopen, worden de aanvragen gerangschikt en het beschikbare budget zal hierover verdeeld worden. (Vlao, 2007)

⁹ Een volledige lijst van activiteiten volgens NACE-code kan geconsulteerd worden op de site van Vlao.

¹⁰ De lijst kan gedownload worden via de site van het Agentschap Economie van de Vlaamse Overheid.

De meerkosten en besparingen/opbrengsten van de technologie zijn bepalend voor de berekening van de steun. Voor de relevante nummers (1162 en 100015) geldt een meerkost van 50% (Agentschap Economie & Vlaams Energieagentschap, 2007, online). Daarnaast is de omvang van de ecologiesteun afhankelijk van de grootte van het bedrijf. Kleine en middelgrote ondernemingen kunnen rekenen op 20%, grote ondernemingen krijgen 10%. De voorwaarden om een KMO te zijn, zijn de volgende: (1) minder dan 250 werknemers; (2) jaaromzet maximum € 50 miljoen; (3) balanstotaal maximum € 43 miljoen. (Vlaio, 2007)

Vermits de grootte van de installatie nog niet gekend is, wordt in dit werk verondersteld dat de installatie kleinschalig is. Hieruit kan afgeleid worden dat het, in functie van deze steunmaatregel, om een KMO gaat. Een percentage van 20% zal bijgevolg in rekening gebracht worden bij het berekenen van het steunbedrag.

De ecologiesteun is, zoals vastgelegd in de beleidsnota van de Vlaamse Regering (2004), echter niet onbegrensd. Voor KMO's bedraagt het maximumpercentage 40% van de meerkosten (ten opzichte van de standaardinstallatie), bij grote ondernemingen ligt de grens op 30%.

In tabel 9 worden de meerkosten uitgedrukt als een percentage van de totale investering. In deze tabel vindt u ook de meerkosten voor hernieuwbare energie technologieën waarbij geen (of niet alleen) groene warmte wordt opgewekt. De vermelde percentages zijn in overeenstemming met de Europese kaderregeling die bij de berekening van de meerkosten rekening houdt met de opbrengsten en besparingen.

Samenvattend kan gesteld worden dat de ecologiesteun berekend wordt door het investeringsbedrag te vermenigvuldigen met het meerkostenpercentage en het subsidiepercentage. Op basis van de hierboven vermelde cijfers leidt deze berekening tot volgende formule: $\text{Investeringsbedrag} * 50\% * 20\%$.

Tabel 9: Ecologiesteun voor investeringen in groene warmteproductie (Vlaamse Regering, 2004)

Techniek	Meerkosten als % van de totale investering	Maximale investeringssteun als % van de totale investering	
		KMO's: 40%	GO ¹¹ : 30%
Warmteproductie uit verbranding, vergassing, pyrolyse of vergisting van biomassa	80%	32%	24%
Warmtekrachtkoppeling of elektriciteitsproductie op biomassa	50%	20%	15%
Warmteproductie uit bio-olie	80%	32%	24%
Warmtekrachtkoppeling of elektriciteitsproductie op bio-olie	50%	20%	15%
Koudewarmte-opslag	80%	32%	24%
Waterkracht < 10 MW	70%	28%	21%
Thermische zonne-energie	60%	24%	18%
Fotovoltaïsche zonne-energie	70%	28%	21%
Windenergie			
< 0,5 MW	30%	12%	9%
0,5 tot 1,5 MW	20%	8%	6%
> 1,5 MW	10%	4%	3%

4.4.2 Verhoogde investeringsaftrek

Wanneer bedrijven een investering doen (bij de oprichting of uitbreiding), kunnen zij, mits voldaan aan bepaalde eisen, van een verhoogde investeringsaftrek genieten. Dit houdt een fiscaal voordeel in waarbij een bepaald percentage van de aanschaffings- of beleggingswaarde van de investering verwezenlijkt tijdens het belastbare tijdperk mag aftrekken worden van de belastbare winst. Bij onvoldoende winst, mogen aftrekken overgedragen worden naar volgende tijdperken. (Vlaio, 2007)

De investeringen die in aanmerking komen zijn in de eerste plaats materiële vaste activa die in nieuwe staat verworven of ontstaan zijn. Daarenboven komen ook nieuwe immateriële vaste activa in aanmerking. Verdere voorwaarden zijn dat de activa-bestanddelen in België gebruikt worden, voor het uitoefenen van beroepswerkzaamheden en over drie jaar afschrijfbaar zijn. In

¹¹ GO staat voor grote onderneming.

Vlao (2007) wordt ook een opsomming gegeven van investeringen die zijn uitgesloten, zoals personenwagens en wagens voor dubbel gebruik.

In onderstaande tabel worden de percentages schematisch weergegeven voor investeringen gerealiseerd in 2007 (aanslagjaar 2008). De toelage is opgenomen in de bijlage.

Tabel 10: Percentages voor verhoogde investeringsaftrek voor investering uitgevoerd in 2007, aanslagjaar 2008 (Vlao, 2007)

Investeringen	Natuurlijke personen (%)	Vennootschappen (%)	
		KMO ⁽¹⁾	Andere
Gewone investeringen ⁽²⁾	3,5	-	-
Gespreide aftrek voor gewone investeringen ⁽³⁾	10,5	-	-
Energiebesparende investeringen ⁽⁴⁾	13,5	13,5	13,5
Ontrooiën ⁽⁵⁾	13,5	13,5	13,5
Milieuvriendelijke investeringen in O&O ⁽⁶⁾	13,5	13,5	13,5
Gespreide aftrek voor milieuvriendelijke investeringen in O&O ⁽⁷⁾	20,5	20,5	20,5
Investeringen ter bevordering van herbruikbare verpakkingen ⁽⁸⁾	3,5	3	3
Investeringen in beveiliging ⁽⁹⁾	20,5	20,5	-
Investeringen in zeeschepen ⁽¹⁰⁾	-	30	30
Investeringen in rookafzuiging- of verluchtungs-systemen in horeca-inrichtingen ⁽¹¹⁾	13,5	13,5	13,5
Voor de toelichting bij tabel 10 wordt verwezen naar bijlage 3.			

Uit deze tabel volgt dat energiebesparende investeringen van een aftrek genieten van 13,5% (10% voor energiebesparende investeringen + 3,5% basisaftrek). (Biogas-e, online) Van de normaal te betalen belasting moet het percentage van deze aftrek afgetrokken worden. De berekening van het voordeel dat gedaan wordt, gebeurt op volgende manier. Om het bedrag van de aftrek te kennen, wordt het percentage met het investeringsbedrag vermenigvuldigd. Op dit bedrag moet bijgevolg geen belasting betaald worden. Het voordeel is dan gelijk aan de aftrek maal het belastingspercentage. Dit percentage bedraagt 33,99% (Unizo, 2008, online). Bijgevolg bekomen wordt de volgende formule voor de berekening van het voordeel bekomen: Investeringsbedrag * 13,5% * 33,99%. Dit bedrag zal van de kapitaalkost in het jaar van de investering worden afgetrokken.

Belangrijk is dat deze maatregel, daar het om een belastingvoordeel gaat, cumuleerbaar is met de ecologiepremie. (Biogas-e, online)

4.4.3 Vlaamse groenestroomcertificaten (GSC)

Wanneer elektriciteit wordt opgewekt met hernieuwbare bronnen, kunnen de eigenaars van zulke installaties deze certificaten verkrijgen (per 1 000 kWh netto-elektriciteitsproductie) en verkopen aan elektriciteitsleveranciers. Zij moeten namelijk elk jaar een bepaald percentage van hun leveringen kunnen aantonen met GSC's. Wanneer een leverancier een tekort heeft, moet hij een boete betalen. (Vlao, 2007) De huidige marktwaarde van deze certificaten bedraagt 107,33 euro (VREG, 2008a, online).

4.4.4 Vlaamse warmtekrachtkoppelingcertificaten (WKC)

Een WKK-installatie wekt tegelijkertijd kracht (elektriciteit) en warmte op. De certificaten voor warmtekrachtkoppeling zijn verkrijgbaar per schijf van 1 000 kWh primair bespaarde energie en zijn bedoeld voor kwalitatieve WKK-installaties. Een WKK-installatie vanaf 1 000 kW is kwalitatief als de relatieve primaire energiebesparing (RPEB) minstens 10% bedraagt in vergelijking met soortgelijke gescheiden opwekking van warmte en elektriciteit. Voor installaties kleiner dan 1 000 kW ligt moet de RPEB minstens 0% bedragen. Het aantal te verkrijgen WKK-certificaten wordt bepaald door de berekening van de primaire energiebesparing (PEB). Na vier werkingsjaren (48 maanden) daalt het aantal verkregen certificaten. De daling wordt berekend door de PEB te vermenigvuldigen met een degressiefactor X. (Vlao, 2007) De formules voor de berekening van de RPEB, PEB en X zijn opgenomen in bijlage 4.

De verkregen certificaten kunnen sinds 2004 verkocht worden aan elektriciteitsleveranciers. Net zoals hierboven, moeten de leveranciers elk jaar een bepaald percentage van hun leveringen bewijzen met WKC's en volgt bij tekorten een boete. (Vlao, 2007) Momenteel kunnen deze certificaten verkocht worden aan een marktprijs van 41 euro (VREG, 2008b, online).

4.4.5 Steun voor demonstratieprojecten van energietechnologieën

Deze maatregel wil een verstandig energiegebruik stimuleren. Daarnaast wil ze de energievoorziening veilig stellen, met andere woorden duurzame en betrouwbare energievoorziening tegen billijke tarieven en voorwaarden. De demonstratiesteun heeft als doel

de bevordering van nieuwe maar nog onbekende productiemethodes of technieken door deze toe te passen in reële bedrijfsomstandigheden. (Biogas-e, online)

De maatregel is bestemd voor investeringen die een energiebesparing nastreven maar niet kunnen genieten van de ecologiepremie en de verhoogde investeringsaftrek. Deze investeringen moeten gerealiseerd worden in Vlaanderen en kansen bieden op zakelijk vlak en betreffende rendabiliteit. (Biogas-e, online) Om de nieuwe technologieën te verspreiden in Vlaanderen, worden de resultaten bekendgemaakt. (Voka, online, 2008)

De maximaal te verkrijgen steun, omvat maximaal 50% van de kosten die direct gerelateerd zijn aan het innoverende deel van de technologie (exclusief BTW). Daarenboven is het steunbedrag gelimiteerd tot 250 000 euro. (Voka, online, 2008)

Vermits zowel de verbranding als de vergisting van biomassa in aanmerking komen voor de ecologiesteun en de verhoogde investeringsaftrek, is de steun voor demonstratieprojecten in ons geval niet van toepassing. Ze werd echter ter volledigheid besproken (indien de investering niet in aanmerking komt voor de ecologiepremie via het callsysteem).

4.4.6 Groeipremie

Ondernemingen die investeringen zullen uitvoeren in het Vlaamse Gewest, kunnen onder bepaalde condities gebruik maken van deze financiële vergoeding (Agentschap Economie van de Vlaamse Overheid, online, 2008):

- De eerste voorwaarde is dat enkel kleine en middelgrote ondernemingen in aanmerking komen voor deze premie. Sinds 2005 geldt de nieuwe definitie van de Europese Commissie betreffende deze begrippen. Deze zijn raadpleegbaar op de site van het Agentschap Economie van de Vlaamse Overheid.
- Daarnaast kunnen enkel ondernemingen met een aanvaardbare hoofdactiviteit deelnemen aan de toekenningsprocedure. De soort activiteit van de onderneming wordt bepaald op basis van de NACE-code. Op de site van het Agentschap Economie van de Vlaamse Overheid is een lijst beschikbaar met de NACE-codes die in aanmerking komen.
- Naast de activiteit is ook de juridische vorm aan regels onderworpen. Zo zijn handelsvennootschappen en eenmanszaken toegelaten, VZW's en landbouwvennootschappen zijn echter uitgesloten.
- Een laatste voorwaarde is dat de onderneming niet meer dan 25% overheidsparticipatie mag hebben.

Zoals bij de ecologiepremie, werd ook bij de groeipremie een call-procedure met wedstrijdformule ingevoerd. Tijdens een bepaalde periode kunnen steunaanvragen ingestuurd worden. Na deze indienperiode worden de aanvragen beoordeeld en gerangschikt. Aan de best scorende projecten wordt vervolgens een groeipremie toegekend tot het budget¹² uitgeput is. Volgens ministerieel besluit worden de steunpercentages bepaald. Voor kleine ondernemingen bedraagt dit percentage momenteel 10%, voor middelgrote ondernemingen is het huidige percentage 5%. De steun wordt dan berekend op basis van het in aanmerking komende investeringsbedrag (het bedrag dat is ingediend en goedgekeurd na afschrijvingsaftrek). (Agenschap Economie van de Vlaamse Overheid, online, 2008)

Dankzij de hervorming is de groeipremie nu afgestemd op de ecologiesteunregeling. Door deze betere overeenstemming, ontstaat meer transparantie en rechtszekerheid voor de ondernemingen en is dubbel gebruik uitgesloten. (EMIS, 2006, online)

Zoals reeds besloten is de ecologiesteun van toepassing op de installaties die biomassa omzetten (op basis van verbranding of vergisting) in energie. Vermits geen beroep kan gedaan worden op de groeipremie én de ecologiesteun tegelijk en uitgegaan wordt van het feit dat de ecologiepremie verkregen wordt, zal de groeipremie in de modellen niet opgenomen worden.

4.4.7 VLIF-steun

Het Vlaamse Landbouwinvesteringsfonds (VLIF) verleent steun aan de investeringen en aan de vestiging in de landbouw. Het gaat hier meer bepaald over de vestiging van jonge land- en tuinbouwers, investeringen op land- en tuinbouwbedrijven en de stichting van nieuwe groeperingen van land- en tuinbouwers. (Vlaamse Overheid beleidsdomein Landbouw en Visserij, online, 2008)

Of men in aanmerking komt voor deze steun, wordt bepaald door enkele voorwaarden. Zo moet de aanvrager onder andere landbouwer zijn, beroepsbekwaam zijn en een levensvatbaar bedrijf hebben. Daarnaast is de steun gericht op investeringen in een aangepaste bedrijfsstructuur om zo rendabele en competitieve bedrijven te creëren. Een volledige lijst van voorwaarden is te vinden op de site van Vlaamse Overheid beleidsdomein Landbouw en Visserij. (Vlaamse Overheid beleidsdomein Landbouw en Visserij, online, 2008)

Wanneer de investering gefinancierd wordt door een lening (volledig of deels) is het minimumbedrag van de investering bepaald op 12 500 euro. In de andere gevallen wordt dit

¹² In 2007 was per call een budget van 15 858 000 euro voorzien. De begroting voor 2008 verschaft een budget van 47 575 000 euro (evenredig te verspreiden over de drie calls).

minimumbedrag gehalveerd. De beoordeling gebeurt op basis van het netto-investeringsbedrag. Een minimum kredietbedrag is niet vastgelegd. (Vlaamse Overheid beleidsdomein Landbouw en Visserij, online, 2008)

De aanvraagprocedure voor deze steunmaatregel is sinds september 2007 gewijzigd. Meer informatie is terug te vinden op de site van het beleidsdomein Landbouw en Visserij van de Vlaamse Overheid.

Deze steun is bijgevolg enkel van toepassing wanneer de landbouwer zelf een installatie voor de verwerking van biomassa bouwt. In dit werk wordt verondersteld dat dit niet het geval is. Daarom zal deze steun niet in het latere model worden opgenomen.

4.4.8 Steun voor energiegewassen

Deze steun is voor het eerst verleend in 2004 met als doel de vervanging van fossiele brandstoffen door hernieuwbare energiebronnen. Per hectare kan gerekend worden op een financiële tegemoetkoming van 45 euro. Voorheen was dit bedrag gegarandeerd voor 1,5 miljoen hectare maar vanaf 2007 kunnen boeren in alle lidstaten van de Europese Unie deze steun aanvragen waardoor het bedrag nu gegarandeerd is voor 2 miljoen hectare. (Europese Commissie, online, 2008)

De steun kan enkel aangevraagd worden als een contract overeengekomen is met een verwerkend bedrijf zodat zekerheid bestaat dat de gewassen ook in energie zullen omgezet worden. Wanneer het bedrijf zijn gewassen zelf verwerkt, is een schriftelijke verklaring nodig. (Europese Commissie, online, 2008)

De energiegewassen die in aanmerking komen zijn onder andere gewassen voor productie van elektrische en thermische energie. (Europese Commissie, online, 2008)

Net zoals de VLIF-steun is ook de steun voor energiegewassen enkel van toepassing op het areaal dat de landbouwers bezetten met energieteelten. Het verbouwen van energieteelten zal in deze verhandeling niet worden besproken en zal daarom niet aan bod komen in het model. Ze werden hier enkel vermeld ter volledigheid.

In bijlage 5 is een korte illustratie opgenomen om aan te tonen hoe bepaalde steunmaatregelen moeten becijferd worden.

5 Analyse

5.1 Methode van onderzoek

Dit gedeelte geeft een beschrijving van hoe het onderzoek in zijn werk is gegaan. Eerst wordt verduidelijkt welke modellen aan de basis liggen en op welke manieren deze van elkaar te onderscheiden zijn. Daarna worden de modellen bondig besproken en wordt ook stilgestaan bij de nadelen die ondervonden werden. Als laatste worden de modellen toegepast op de problematiek van dit werk, namelijk het bepalen van de optimale grootte van een te bouwen installatie in de Kempen om biomassa geteeld op de vervuilde grond te verwerken.

5.1.1 Voorstelling van de modellen

Het onderzoek in dit werk is gebaseerd op twee modellen die elk uit een ander artikel komen. Een eerste model komt uit Fiala et al. (1997) 'A model for the Optimal Dimensioning of Biomass-fuelled Electric Power Plants'. Deze auteurs behandelen het probleem om de optimale grootte te bepalen van een installatie die houtige of celstof bevattende biomassa omzet in elektrische energie. Om deze reden bieden ze een model om het optimale elektrisch vermogen en het aantal te plaatsen installaties in een bepaald gebied te bepalen. Het model baseert zich enerzijds op de distributie van de beschikbare biomassa in het gebied en anderzijds op de technische en operationele parameters. Daarnaast worden ook de economische doelen in relatie met de voorgestelde investering gebruikt in het model.

Het tweede model komt uit Jenkins (1997) 'A comment on the optimal sizing of a biomass utilization facility under constant and variable cost scaling'. Hierin worden oplossingen geboden voor de optimale grootte van een biomassa verwerkingsinstallatie die onderworpen zijn aan schaalvoordelen op vlak van kapitaal- en werkingskosten (exclusief brandstofkosten). Het belang van het toepassen van de juiste schaalvoordelen komt hierin aan bod. Een gebrek aan juiste data in verband met deze schaalvoordelen maakt het veralgemenen van de optimalisatie van biomassa-installaties immers onzeker volgens deze auteur.

In beide modellen wordt, zoals hierboven aangehaald, het probleem van het bepalen van de optimale grootte van een biomassacentrale benaderd. Zowel bij Fiala et al. (1997) als bij Jenkins (1997) speelt de lokale beschikbare biomassa een rol. Deze wordt bepaald door de

bezettingsgraad¹³, de oppervlakte van het beschouwde gebied¹⁴ en biomassaopbrengst¹⁵ per vierkante kilometer.

Hoewel beide modellen een oplossingsmethode trachten te bieden voor dezelfde problematiek, verschillen ze op diverse vlakken van elkaar. Een eerste punt waarop de twee modellen van elkaar afwijken, is het beschouwde gebied. In Fiala et al. (1997) wordt een cirkelvormig gebied verondersteld, Jenkins (1997) daarentegen, baseert zich op een vierkant. Dit heeft tot gevolg dat voor de oppervlakteberekening andere formules toegepast worden. Jenkins (1997) vermeldt wel dat de keuze voor een vierkant gebied arbitrair is en dat de uiteindelijke functie voor de berekening van de transportkost bij een cirkelvormig gebied slechts een weinig afwijkt van deze voor een vierkant gebied.

Niet alleen de vorm van het beschouwde gebied is anders, maar ook de manier waarop dit gebied wordt bepaald, loopt uiteen. Bij Fiala et al. (1997) wordt het optimale gebied berekend. Hoe dit gebeurt wordt in het volgende deel uitgelegd. In het model van Jenkins (1997) wordt het gebied niet berekend maar als gegeven beschouwd. De afmetingen en bijgevolg ook de oppervlakte van het gebied moeten gekend zijn alvorens het model gebruikt kan worden

Verder is ook de manier van optimaliseren verschillend. Fiala et al. (1997) baseert zich op de NPV-waarde en houdt op die manier zowel rekening met de kosten als met de opbrengsten. Jenkins (1997) gebruikt in zijn model enkel de kosten als basis van optimalisatie.

Een laatste onderscheid, dat het resultaat echter niet beïnvloedt, is de wijze waarop de gedane investering in de twee modellen wordt opgenomen. Fiala et al. (1997) plaatst de investering in jaar nul, terwijl Jenkins (1997) de investering verdeelt over de verschillende jaren¹⁶.

Zoals hierboven uitgelegd, verschilt de vorm van het beschouwde gebied voor de twee modellen. De ligging van de installatie is voor beide modellen nochtans dezelfde, beide modellen nemen een centrale ligging van de installatie als uitgangspunt. Dit volgt uit het feit dat de bezettingsgraad voor het hele gebied gelijk beschouwd wordt. De veronderstelling dat de bezettingsgraad in het hele gebied gelijk is, heeft tot gevolg dat de biomassaproductie

¹³ Dit is het aantal boeren dat bereid is mee te werken. Dit aantal bepaalt het percentage van de bodem in het beschouwde gebied dat daadwerkelijk benut zal worden voor de biomassaproductie.

¹⁴ Dit is het gebied waar de energiegewassen die als input voor de installatie dienen, geteeld worden.

¹⁵ De hoeveelheid biomassa (droge stof) die geoogst kan worden in het beschouwde gebied.

¹⁶ Ter illustratie een klein voorbeeld om het verschil tussen de twee methoden duidelijk te maken. Stel een investeringskost van 1 miljoen euro in jaar nul. Wanneer deze investering over 10 jaar geldt met een intrestvoet van 10%, komt dit overeen met een jaarlijkse kost van 110 000 euro.

evenredig over het gebied verdeeld is. Vermits ook de transportkost een rol speelt (in beide modellen) bij de bepaling van de optimale grootte, moet deze geminimaliseerd worden. Deze minimalisatie gebeurt door de installatie in het midden van het gebied te plaatsen en bijgevolg de verst mogelijk afstand zo klein mogelijk te houden.

Hoe de optimalisatie in beide modellen juist in zijn werk gaat, wordt in de volgende paragrafen beknopt besproken. De verklaring van de gebruikte parameters kan teruggevonden worden in paragraaf 5.2.

5.1.2 Fiala

a) *Het model*

In het model van Fiala et al. (1997) wordt vertrokken vanuit een gekende, centrale ligging van de installatie in een cirkelvormig gebied. De economische analyse van het model is gebaseerd op de methode van de verdisconteerde kasstromen. De eerste berekening die gebeurt, is de berekening van de jaarlijkse kasstroom (CF), die verondersteld is constant te zijn gedurende de levensduur van de installatie. Deze berekening gebeurt door de jaarlijkse uitgaven¹⁷ van de jaarlijkse inkomsten¹⁸ af te trekken. Vervolgens wordt de net present value (NPV) berekend. Dit gebeurt door de gedane investering (I_{inv}) af te trekken van de verdisconteerde CF. Verdisconteren gebeurt door de CF te vermenigvuldigen met een annuïteitenfactor f_a berekend op basis van een intrestvoet i en levensduur V_u .

$$NPV = CF \times f_a - I_{inv}$$

$$f_a = \frac{(1+i)^{V_u} - 1}{i(1+i)^{V_u}}$$

Door deze verkregen NPV vervolgens te delen door I_{inv} wordt de profitability index (PI) berekend. Deze parameter geeft weer welke winst gemaakt wordt per eenheid van investering. Door te delen door I_{inv} kan de teller vereenvoudigd worden¹⁹. Bovendien is het gemakkelijker om te werken met een breuk dan met een verschil.

¹⁷ De uitgaven zijn gelijk aan de som van de aankoopkost, de transportkost, de arbeidskost en de kost van onderhoud en herstellingen.

¹⁸ De inkomsten zijn gelijk aan de som van de verkoop van elektrische en thermische energie.

¹⁹ In de teller staat de NPV. Deze wordt berekend door de gedane investering af te trekken van de netto cashflows (inkomende – uitgaande).

Om deze PI te optimaliseren wordt deze afgeleid naar R (de straal) en gelijkgesteld aan nul. Vervolgens wordt de formule omgevormd naar R om zo de optimale straal te berekenen (die leidt tot een optimale PI) wat leidt tot volgende formule:

$$R_{opt} = \sqrt[3]{\frac{3 \times C_{ws} \times n_u}{\pi \times \delta \times C_{ts}}}$$

Wanneer deze optimale straal gekend is, kan hieruit de oppervlakte van het beschouwde cirkelvormige gebied afgeleid worden. Deze oppervlakte wordt vervolgens gebruikt om de hoeveelheid beschikbare biomassa te berekenen. En daaruit kan berekend worden hoe groot het installeerbare elektrische vermogen (P_e) en bijhorende thermische vermogen moeten zijn om deze biomassa te kunnen verwerken:

$$P_{e,opt} = \frac{\pi \times R_{opt}^2 \times \delta \times H_b \times \eta_e}{t}$$

Vervolgens wordt uit dit installeerbare vermogen de totale benodigde investering berekend. Dit gebeurt via volgende formule:

$$I_{opt} = P_{e,opt} \times I_{s,opt}$$

De specifieke optimale investering $I_{s,opt}$ wordt verkregen door de PI gelijk te stellen aan nul en I eruit te halen. Wanneer de PI gelijk is aan nul, wordt geen winst gemaakt op de investering, maar de kosten van de investering zijn wel gedekt. Dit kan verklaard worden door het feit dat de NPV in de teller staat en zolang deze groter of gelijk is aan nul, is het project haalbaar (zowel de werkings- als investeringskosten worden door de opbrengsten gedekt). Wanneer de NPV gelijk is aan nul, is de intrestvoet waartegen verdisconteerd wordt gelijk aan de internal rate of return (IRR)²⁰. De I verkregen nadat PI gelijk gesteld werd aan nul, is bijgevolg de investering tegen de IRR: $I_{s,opt}$. In de formule van $I_{s,IRR}$ wordt de straal vervangen door de optimale straal en zodoende wordt bijgevolg de specifieke optimale investering verkregen.

b) *Bemerkingen*

Een eerste nadeel aan het Fiala-model is dat het niet echt rekening houdt met de schaalvoordelen van een installatie en WKK. Als er schaalvoordelen bestaan, zoals het geval is bij de investeringskost, wordt hiermee geen rekening gehouden in de formules, maar moeten

²⁰ IRR = de discontovoet die leidt tot een NCW gelijk aan nul. (Mercken, 2004)

deze uit de gegevens voortvloeien. In dit werk zal daarom een opsplitsing gebeuren naar grootte. Het model zal zowel uitgevoerd worden voor grootschalige als voor kleinschalige installaties. Op deze manier wordt er, zij het op een discrete wijze, rekening gehouden met deze schaalvoordelen.

Een volgend nadeel is dat de kost van de voorbehandeling niet specifiek apart in het model is opgenomen. Uit de literatuurstudie blijkt dat dit toch een kost is waarmee rekening moet worden gehouden. In het Fiala-model wordt echter gewerkt met de aankoopkost van de biomassa. In dit werk zal ook de aankoopprijs opgenomen worden in het model. Vermits in de literatuur niet vermeld wordt wat de gegeven aankoopprijs juist inhoudt, wordt in dit werk uitgegaan van de veronderstelling dat de waardes uit de literatuur de kost van voorbereiding van zowel verkleining als droging omvatten. Er wordt namelijk verondersteld dat de landbouwer deze voorbereiding voor zijn rekening neemt en de kosten die hiermee gepaard gaan in de aankoopprijs opneemt. Wanneer de landbouwer kunstmatige droging gebruikt, zal dit meer kosten met zich meebrengen dan wanneer gekozen wordt voor natuurlijke droging. Maar zoals verondersteld werd, zal deze extra kost in de aankoopprijs vervat zitten. Bijgevolg zal in dit werk de kost van voorbereiding niet apart opgenomen worden in het model vermits verondersteld wordt dat de landbouwer deze kost in de aankoopprijs verrekend.

Een laatste nadeel is dat in het model geen plaats is voor het invoegen van eventuele verkregen financiële steun of subsidies. Zoals uitvoerig besproken in de literatuurstudie, bestaan in Vlaanderen heel wat instanties die steun verlenen aan installaties die uit biomassa energie opwekken. Daarom zal deze steun in dit werk wel opgenomen worden in het model. Deze steun kan immers beschouwd worden als een bijkomende opbrengst die een invloed zal hebben op de nodige investering.

Daarenboven kunnen certificaten verkregen en verhandeld worden voor het produceren van groene energie en het tegelijk opwekken van warmte en elektriciteit. De opbrengsten hiervan zullen ook in het model ingebracht worden. Zoals kan afgeleid worden uit de formules, zullen deze toevoegingen geen invloed hebben op de optimale straal van het gebied en grootte van de installatie. De investering en de opbrengst uit verkoop van energie maken immers geen deel uit van deze formules. Hoe deze steunmaatregelen in het model verwerkt worden, wordt uitgelegd in volgende paragraaf.

c) *Aanpassingen*

Ecologiepremie en verhoogde investeringsaftrek

De eerste steunmaatregelen die in het model werden opgenomen zijn de ecologiepremie en de verhoogde investeringsaftrek. Deze worden verkregen in het jaar nul, het jaar van de investering met andere woorden. Daarom moeten deze steunmaatregelen in de 'I_{inv}', die zoals hierboven reeds beschreven in de berekening van de NPV en de PI voorkomt, ingevoerd worden. Dit gebeurt door deze I_{inv} in de formules te vervangen door volgende I:

$$\begin{aligned} I &= I_{inv} - \text{ecologiepremie} - \text{investeringsaftrek}^{21} \\ &= I_{inv} - 0,2 * 0,5 I_{inv} - 0,135 * 0,3399 I_{inv} \\ &= I_{inv} * (1 - 0,1 - 0,0459) \\ &= I_{inv} * 0,8541 \end{aligned}$$

GCS en WKC

Vervolgens worden ook de certificaten voor groene stroom en WKK in het model gebracht. Dit zal op vereenvoudigde wijze gebeuren. De GSC worden ingecalculleerd door de prijs van de elektriciteit per MWh te vermeerderen met de waarden van GSC. Voor de WKC ligt het geheel gecompliceerder. Zoals eerder gesteld kan de waarde van de WKC enkel gegarandeerd worden voor de eerste vier jaren van de investering. Het model van Fiala gaat echter uit van het feit dat de kasstromen elk jaar hetzelfde zijn. Om in de mate van het mogelijke rekening te houden met de degraderende waarde van de WKC (en toch de geest van het model te blijven bewaren) zal een gemiddelde waarde van de certificaten genomen worden over de gehele levensduur (de daling na het vierde jaar in acht nemend). Deze waarde zal worden toegevoegd aan de jaarlijkse verkoopprijs van warmte (de uitgespaarde warmtekost).

5.1.3 Jenkins

a) *Het model*

Jenkins (1997) baseert zijn model op een zogenaamde basisinstallatie. Hij maakt ondermeer gebruik van een basiscapaciteit M_o, een basis kapitaalkost K_o (investering) en een basis werkingskost R_o. Daarnaast wordt in het model rekening gehouden met een eventueel schaalvoordeel. Dit voordeel wordt ingebracht onder de vorm van een parameter s.

²¹ I_{inv} is de investering die nodig is zonder rekening te houden met steun.

De eerste stap in de afleiding van de optimale capaciteit van de installatie houdt de berekening van de totale productiekost van de installatie (P) in. Deze wordt verkregen door de optelling van de jaarlijkse kapitaalkost (C_c), de jaarlijkse werkingskost²² (R) en de jaarlijkse kost van aangekochte brandstof (F).²³

Deze eerste component C_c wordt berekend door de investering per geïnstalleerd vermogen K_o te verdisconteren tegen een intrestvoet i en levensduur L :

$$C_c = \frac{f}{h} \times K_o \times \left(\frac{M}{M_o} \right)^{s-1}$$

met

$$f = \frac{i(1+i)^L}{(1+i)^L - 1}$$

K_o heeft als eenheid €/kW. Om tot €/kWh te komen, de eenheid van C_c en P, wordt gedeeld door h (heeft als eenheid uren). De factor $\left(\frac{M}{M_o} \right)^{s-1}$ wordt ingevoegd zodat rekening gehouden wordt met eventuele schaalvoordelen, waarbij M het te bepalen geïnstalleerd vermogen is, M_o is de capaciteit van een referentie-installatie met een gekende investeringskost K_o .

Ook R is onderhevig aan eventuele schaalvoordelen. De berekening gebeurt als volgt:

$$R = R_o \times \left(\frac{M}{M_o} \right)^{s-1}$$

Door de transportkost T en de productiekost van de biomassa op te tellen wordt F verkregen. Voor de berekening van deze eerste term T moet de beschouwde oppervlakte gekend zijn.

Zoals eerder aangehaald, gebruikt Jenkins (1997) een vierkant als beschouwde oppervlakte. De afmetingen van dit vierkant dienen op voorhand gekend te zijn, met andere woorden deze oppervlakte moet op voorhand bepaald worden. Vervolgens wordt het vierkant opgedeeld in een bepaald aantal kleinere vierkanten (subregio's) zodat een rooster ontstaat. De oppervlakte van

²² Dit is de onderhoud- en arbeidskost.

²³ Bij de interpretatie en vergelijking van beide modellen (Fiala en Jenkins) dient men steeds in het achterhoofd te houden dat beide modellen verschillende symbolen gebruiken

elke subregio wordt gebruikt om het aantal vrachtwagens te bepalen die nodig zijn voor het vervoer van de biomassa uit een subregio naar de installatie.

Een andere reden voor het opdelen van het gebied in subregio's is om rekening te houden met het feit dat de transportafstand afhankelijk is van de ligging van de subregio. De totale transportafstand wordt gevonden door de afstanden van de installatie tot de verschillende subregio's discreet op te tellen. Als deze totale afstand gekend is, kan de transportkost berekend worden.

Wanneer alle kosten (C_c , R en F) berekend zijn en bijgevolg P gekend is, kan overgegaan worden tot de afleiding van P naar M (de grootte van de installatie). Door de afleiding gelijk te stellen aan nul en om te vormen tot M , wordt de optimale grootte van de installatie verkregen. Jenkins (1997) geeft hiervoor volgende formule:

$$M_{opt} = \left(2 \times \frac{a_1}{a_2} (1-s) \times M_o^{1-s} \right)^{\frac{1}{1,5-s}}$$

met

$$a_1 = \frac{f}{h} \times K_o + R_o$$

$$a_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{3,6}{H \times \eta} \right)^{\frac{3}{2}} \times C_t (1+b) \left(\frac{h}{q \times b} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Ten slotte kan berekend worden welke de totale productiekost is die voortvloeit uit een installatie met capaciteit M_{opt} .

b) *Bemerkingen*

In tegenstelling tot Fiala et al. (1997) houdt Jenkins (1997) wel rekening met eventuele schaalvoordelen. Deze voordelen worden in het model opgenomen onder de vorm van de parameter 's'. Naarmate de schaalvoordelen kleiner zijn, is 's' groter. De waarde van 's' situeert zich meestal rond 0,9. Een voorbeeld van een formule waarin 's' voorkomt is deze voor de berekening van de werkingskost. Deze werkingskost verandert immers proportioneel met de grootte van de installatie zoals volgt uit de formule:

$$R = R_o \left(\frac{M}{M_o} \right)^{s-1}$$

Daarenboven werkt Jenkins (1997) discreet om de transportkost te berekenen. Dit is naar mijn mening beter dan Fiala et al. (1997) die continu te werk gaat. Door discreet te werken wordt het gebied opgedeeld in subregio's. De grootte van deze subregio's is bepalend voor de totale transportafstand. Wanneer het gebied immers in vele kleine subregio's opgedeeld wordt, moet vaker op en af gereden worden om alle subregio's aan te doen dan wanneer de opdeling in enkele grotere subregio's gebeurt.

Naast dit voordeel vertoont het model dat Jenkins (1997) heeft uitgewerkt ook enkele 'gebreken'. Een eerste moeilijkheid is bijvoorbeeld het feit dat de grootte van het beschouwde gebied gekend moet zijn vermits het moeilijk is om zomaar een gebied te bepalen. Om dit te omzeilen zal eerst het Fiala-model toegepast worden. Daaruit kan namelijk een optimale cirkelvormige oppervlakte berekend worden. Vervolgens kan deze cirkelvormige oppervlakte omgevormd worden tot een vierkant gebied dat daarna gebruikt kan worden om in te vullen in het Jenkins-model.

Een ander nadeel van het Jenkins-model is de slechte werkbaarheid. Het is soms onduidelijk wat met sommige parameters juist bedoeld wordt. Het komt namelijk voor dat een parameter in de nomenclatuur een andere omschrijving krijgt dan degene die in het model zelf gebruikt wordt. Dit kan bijgevolg voor verwarring zorgen.

De volgende twee nadelen zijn analoog aan het Fiala-model. Zo komt ook in dit model de kost van voorbehandeling niet specifiek voor. Verondersteld wordt dat deze kost in de parameter C_p is opgenomen.

Daarnaast is ook in dit model geen plaats voor eventueel verkregen financiële steun of subsidies. In dit werk zullen deze steun en subsidies wel worden opgenomen. Vermits K_o deel uitmaakt van de formule voor de berekening van M_{opt} zal dit wel invloed hebben op het eindresultaat.

c) *Aanpassingen*

Ecologiesteun en verhoogde investeringsaftrek

Net zoals bij het Fiala-model, zullen ook in dit model de ecologiesteun en de verhoogde investeringsaftrek ingevoegd worden. Deze twee parameters worden toegepast in het jaar nul, het jaar van de gedane investering. De berekening ervan gebeurt bijgevolg door de percentages toe te passen op K_o (de gedane investering):

- ecologiesteun: $steun = 50\% \times 20\% \times K_o$
- investeringsaftrek: $aftrek = 13,5\% \times 33,99\% \times K_o$

Door deze steunmaatregelen is een herberekening van K_o nodig. De aangepaste parameter zal als symbool K_o' krijgen en wordt analoog berekend als I in het Fiala-model:

$$\begin{aligned} K_o' &= K_o - \text{ecologiesteun} - \text{investeringsaftrek} \\ &= K_o - 0,2 * 0,5 * K_o - 0,135 * 0,3399 * K_o \\ &= K_o (1 - 0,1 - 0,459) \\ &= 0,8541 * K_o \end{aligned}$$

Aangezien de steun en de aftrek in het jaar nul gebeuren en in de eenheid staan van K_o moeten ze net zoals K_o vermenigvuldigd worden met $\frac{f}{h}$. De steun en de aftrek zijn verder niet afhankelijk van het schaalvoordeel. K_o is echter de investeringskost per geïnstalleerd vermogen. Aangezien de steun en de aftrek berekend worden op basis van K_o moeten deze ook maal het geïnstalleerd vermogen. Het is bijgevolg correct om de formule van parameter C_c als volgt aan te passen:

$$C_c = \frac{f}{h} \left[(K_o - steun - aftrek) * \left(\frac{M}{M_o} \right)^{s-1} \right] = \frac{f}{h} \left[K_o * 0,8541 * \left(\frac{M}{M_o} \right)^{s-1} \right]$$

GSC en WKC

Vermits Jenkins (1997) in zijn model geen opbrengsten opneemt, zullen in het aangepaste model de opbrengsten uit GSC en WKC niet opgenomen worden. Dit is een nadeel omdat de verkoop van deze certificaten een bijkomende opbrengst betekent, wat een invloed kan hebben op de economische aspecten in verband met de installatie. Deze opbrengsten kunnen immers dienen als compensatie van jaarlijks terugkomende kosten zoals de werkingskosten. Algemeen kunnen we dus stellen dat wat Jenkins doet een minimalisatie is van de kosten van een installatie (Fiala maximaliseert de NPV).

Berekening van R_o

De berekening van R_o zal in dit werk gebeuren door de onderhouds- en arbeidskosten te sommeren. De onderhoudskosten zullen zoals in het Fiala-model geschat worden door een percentage te nemen van de gedane investering. Door de toepassing van de steunmaatregelen werd hierboven een nieuwe K_o' berekend. Deze zal ook in deze formule gebruikt worden.

Doordat de eenheden van R_o (€/kWh) en K_o' (€/kW) niet overeenstemmen, moet vervolgens gedeeld worden door h . Ook moeten deze onderhoudskosten verdisconteerd worden want R_o is een jaarlijkse kost en de hier berekende onderhoudskosten is (vermits deze op basis van K_o is) is een eenmalige kost in jaar nul. Op deze manier wordt voor de onderhoudskosten volgende formule verkregen:

$$\text{onderhoud} = \frac{f}{h} 10\% \times K_o'$$

De tweede term, de arbeidskosten, volgt uit de vermenigvuldiging van het aantal werknemers en het jaarlijkse loon per werknemer. Ook deze term moet omgezet worden naar de eenheid van R_o (€/kWh). Dit gebeurt door te delen door de geproduceerde kW, namelijk de capaciteit M_o maal de (elektrische) efficiëntie η en vervolgens door het aantal draaiuren h . Zo wordt onderstaande formule bekomen:

$$\text{arbeid} = \frac{\text{aantal arbeiders} \times \text{loon}}{M_o \times \eta \times h}$$

De formule voor de berekening van R_o is uiteindelijk de volgende:

$$R_o = \frac{1}{h} \left(f \times 10\% \times K_o' + \frac{\text{aantal arbeiders} \times \text{loon}}{M_o \times \eta} \right)$$

5.1.4 Modellen toegepast op dit werk

Aan de basis van dit werk ligt de vervuiling van de bodem in de Kempen door zware metalen. Door de teelt van energiegewassen worden deze metalen uit de bodem verwijderd. Het gebied dat in dit werk beschouwd wordt, is bijgevolg de vervuilde Kempen.

Naast het beschouwde gebied zijn ook de conversiemethode en het type energiegewas dat verwerkt wordt van invloed. Deze leveren namelijk andere waarden op om in te vullen voor de

verschillende parameters in de modellen. Daarom moet een onderscheid gemaakt worden tussen de verschillende, in dit werk onderzochte, combinaties:

- het gebruik van een bestaande verbrandingsinstallatie voor de coverbranding van hout;
- de inplanting van een nieuwe installatie voor de verbranding van hout;
- de inplanting van een nieuwe installatie voor de vergisting van maïs.

a) *Coverbranding*

Wanneer gekozen wordt voor coverbranding van hout (A), zal gebruik gemaakt worden van een bestaande verbrandingsinstallatie waarvan de ligging gekend is. Deze ligging is daarenboven het middelpunt van het beschouwde gebied. Dit kan verondersteld worden vermits van een evenredige verdeling van de vervuiling uit gegaan wordt waardoor de productie van biomassa evenredig verdeeld is over het gebied en bijgevolg de bezettingsgraad overal gelijk is.

De optimalisatie vertrekt van de oppervlakte van het gebied. Wanneer geweten is hoe groot het beschouwde gebied is en welke bezettingsgraad van toepassing is, kan de beschikbare biomassahoeveelheid berekend worden. Uit deze beschikbare hoeveelheid kan vervolgens geschat worden *hoe groot de installatie moet zijn* om deze hoeveelheid te kunnen verwerken.

Hoewel niet vertrokken wordt van de grootte van de bestaande installatie is deze wel gekend. Met dit model kan bijgevolg nagegaan worden of deze installatie groot genoeg is om de beschikbare biomassa te kunnen verwerken. Als dit niet het geval is, kan berekend worden *tot welke grootte de installatie moet uitgebreid worden* om voldoende capaciteit te hebben.

b) *Verbranding/vergisting*

Bij deze modellen (die voor verbranding, B, en vergisting, C, analoog kunnen verwerkt worden) wordt niet vertrokken van een bestaande installatie. De ligging is daarom niet nader bepaald. Wel wordt verondersteld dat de oppervlakte van het beschouwde gebied en de bezettingsgraad gegeven zijn. Hieruit kan de beschikbare biomassahoeveelheid berekend worden en vervolgens de grootte van de installatie.

Dit model veronderstelt dat de bezettingsgraad evenredig is en bijgevolg ook de biomassaproductie. Zoals eerder uitgelegd, kan hieruit besloten worden dat de installatie in het middelpunt van het beschouwde gebied zal liggen om zo de transportafstanden te minimaliseren. Vermits ook de beschikbare hoeveelheid biomassa gekend is, kan *de grootte van de installatie* bepaald worden.

5.1.5 Verantwoording

Op de vervuilde Kempense grond kunnen energiegewassen (biomassa) geteeld worden. De verwerking van deze biomassa kan best zo optimaal mogelijk gebeuren. Daarom zullen de hierboven vernoemde modellen gebruikt worden om de verwerking van biomassa op een bepaalde manier te optimaliseren (vertrekkende van een bepaald gebied of van een bestaande installatie).

De reden om met twee verschillende modellen te werken, is om na te gaan hoeveel invloed het gebruikte model heeft op de uitkomst ervan. Zoals aangehaald, hebben beide modellen hun voor- en nadelen. Door de twee modellen toe te passen op dezelfde situaties, kunnen de uitkomsten vergeleken worden. Op die manier kan het belang van deze voor- en nadelen genuanceerd worden.

Daarnaast kan per model en situatie een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd worden om het belang van bepaalde parameters na te gaan. Door met andere woorden bepaalde parameters te laten variëren, kan nagegaan worden hoe sterk de uitkomst wordt beïnvloed.

In de volgende paragraaf worden de parameters die in beide modellen gebruikt worden, kort besproken.

5.2 Verklaring parameters

5.2.1 Nomenclatuur

Tabel 11: Symbolen en eenheden van de parameters per model

Parameter	Eenheid	Symbool	
		Fiala	Jenkins
Aantal draaiuren per jaar	u/jaar	t	h
Economische levensduur	jaar	V_u	L
Elektrische efficiëntie	%	η_e	η
Thermische efficiëntie	%	η_t	-
Benuttingsgraad van de geproduceerde warmte	%	f_u	-
Onderhoudsfactor per jaar	%	k_r	-
Aantal werknemers	eenheden	n_u	-
Gemiddeld jaarlijks loon per werknemer	€/jaar	C_{ws}	-
Schaalvoordeel	-	-	s
Specifieke investering		I_s (€/MW)	K_o (€/kW)
Intrestvoet	%	i	i
Steun	€	-	-
Biomassaopbrengst	ton d.s./km ² jaar	δ	q
Bezettingsgraad	%	-	-
Calorische waarde		H_b (MWh/ton)	H (MJ/ton)
Laadvermogen van een vrachtwagen	ton	-	w
Specifieke aankoopkost van de biomassa, opslag inbegrepen	€/ton	C_{bs}	C_p
Kost van voorbehandeling	€/ton	-	-
Transportkost	€/ton/km	C_{ts}	C_t
Prijs van elektriciteit	€/MWh	p_e	-
Prijs van thermische energie (aardgas)	€/MWh	p_t	-

In de volgende paragraaf worden de parameters die in de twee modellen gebruikt worden kort uitgelegd.

5.2.2 Omschrijving

a) *Technische gegevens in verband met de installatie*

Aantal draaiuren

Het 'aantal draaiuren' van een verwerkingsinstallatie komt overeen met het aantal uren per jaar dat de installatie werkzaam is.

Economische levensduur

Dit is het aantal jaren dat een installatie werkzaam is en op dit aantal jaren wordt de investering afgeschreven. Dit is ook het aantal jaren waarover de investering verspreid wordt in Jenkins (1997).

Elektrische efficiëntie

Hoeveel elektriciteit de installatie produceert is hiervan afhankelijk. In deze parameter is ook de elektriciteit opgenomen die door de installatie zelf benut wordt en niet verkocht kan worden. Het percentage berekent zodoende hoeveel verkoopbare en uitgespaarde elektriciteit door de installatie geleverd wordt.

Thermische efficiëntie

Naast elektriciteit, wordt in de meeste installaties ook warmte gegenereerd. De thermische efficiëntie is bepalend voor de berekening van de hoeveelheid warmte die uiteindelijk geproduceerd wordt. Net zoals in de elektrische efficiëntie, is deze parameter inclusief de door de installatie zelf verbruikte warmte.

Benuttingsgraad van de geproduceerde warmte

Deze parameter verklaart hoeveel van de geproduceerde warmte nuttig wordt gebruikt, voornamelijk door de installatie zelf. Deze warmte wordt bijvoorbeeld gebruikt tijdens de voorverwarming van de biomassa en tijdens de naverwerking van de restproducten. Verondersteld wordt dat deze 100% zal zijn. Met andere woorden, alle geproduceerde warmte wordt nuttig gebruikt. Dit is niet enkel belangrijk voor de uitgespaarde warmtekosten, maar eveneens voor de bepaling van de opbrengsten uit WKC. Men krijgt deze enkel voor het aandeel warmte dat 'nuttig' gebruikt wordt en bijvoorbeeld niet wordt afgelaten.

Onderhoudsfactor per jaar

Deze factor (k) wordt berekend als een percentage van de investering ($k \cdot I$). Dit percentage wordt berekend op basis van het aantal onderhoudswerken per jaar. Deze kosten komen jaarlijks voor.

Aantal werknemers

Met het 'aantal werknemers' wordt het totale aantal werknemers dat in de installatie werkt bedoeld. Deze parameter wordt gebruikt om de totale arbeidskost te berekenen.

Gemiddeld jaarlijks loon per werknemer

Zoals waarschijnlijk reeds duidelijk is houdt deze term het loon in dat gemiddeld verdiend wordt per jaar door de werknemers die in de installatie werken. Door deze te vermenigvuldigen met het aantal werknemers, wordt de totale arbeidskost uitgerekend.

Schaalfactor

Deze factor (s) komt enkel terug in het model van Jenkins (1997) en wordt in praktisch alle gevallen als een constante genomen en dat voor alle waarden die de installatiecapaciteit kan aannemen.

De factor drukt uit op welke manier de kost per capaciteitsseenheid afnemen wanneer de capaciteit toeneemt. Met andere woorden, de factor geeft eventuele schaalvoordelen aan. Hoe groter de waarde van s , in het interval van nul tot één, hoe minder schaalvoordelen deze oplevert. Wanneer s gelijk is aan één zijn met andere woorden geen schaalvoordelen aanwezig. Dit wil zeggen dat de kost per capaciteitsseenheid niet afneemt bij een hogere capaciteit.

b) *Economische gegevens in verband met de installatie*

Specifieke investering

Hiermee wordt de totale investering bedoeld die nodig is om de installatie te bouwen of uit te breiden. Om de net present value te berekenen, plaatsen Fiala et al. (1997) deze investering in jaar nul (I_{inv}). Jenkins (1997) daarentegen verspreidt de kost van deze investering over de jaren dat de installatie in gebruik is (C_c).

Intrestvoet

De intrestvoet is volgens Vanes en Verheirstraeten (1978) de prijs die betaald moet worden voor het tijdelijke gebruik van betaalmiddelen. Deze parameter wordt gewoonlijk uitgedrukt als een jaarlijks percentage en bepaalt de verhouding tussen huidige betaalmiddelen en betaalmiddelen in de toekomst. Volgens deze auteurs "bepaalt de intrestvoet de discountoratio van een bedrag aan toekomstige betaalmiddelen t.o.v. het bedrag beschikbaar op het huidige ogenblik" (Vanes en Verheirstraeten, 1978, p. 5). Vermits er in de analyse vanuit gegaan wordt van het feit dat de middelen geleend zullen worden, wordt de intrestvoet van de bank toegepast in de modellen. Deze bedraagt 5%.

Zoals ook Mercken (2004) vermeldt, heeft geld bijgevolg een tijdwaarde. Een euro die ik nu heb, heeft meer waarde dan een euro die ik volgend jaar zal hebben. De reden van deze tijdswaarde is dat die euro belegd kan worden. Een euro nu is volgend jaar één euro plus de intrest waard. Dit is meer dan wanneer die euro volgend jaar pas zou ontvangen worden. Om de net present value te berekenen, moeten de toekomstige kasstromen (inkomsten en uitgaven gerelateerd aan het functioneren van de installatie) daarom verdisconteerd worden. Dit wil zeggen dat alle kasstromen uitgedrukt worden in termen van nu zodat ze kunnen vergeleken worden met elkaar. Dit volgt dan uit deze formule²⁴: $NPV = a_{n-r} * K - I_0$

Steun

Zoals in de literatuurstudie reeds werd aangehaald, verleent de Vlaamse Overheid financiële steun aan toepassingen van hernieuwbare energiebronnen. Volgende steunmaatregelen zullen in het model opgenomen worden:

- Ecologiesteun;
- De verhoogde investeringsaftrek is cumuleerbaar met ecologiesteun;
- GSC: te verkrijgen per 1000 kWh (netto elektriciteitsproductie);
- WKC: te verkrijgen per 1000 kWh (primair bespaarde energie).

c) *Technische gegevens in verband met biomassa*

Biomassaopbrengst

De 'biomassaopbrengst' geeft weer hoeveel ton biomassa jaarlijks geproduceerd wordt per vierkante kilometer beplante grond. Deze parameter is sterk afhankelijk van het soort gewas dat aangeplant werd.

Bezettingsgraad

Dit is het percentage van de grond dat gebruikt wordt bij de biomassa productie. Dit komt met andere woorden overeen met het aantal boeren dat bereid zal zijn mee te werken aan het project. Hoe minder boeren bereid zijn mee te werken, hoe meer oppervlakte nodig zal zijn om de nodige biomassa te kunnen produceren. Er wordt verondersteld dat de bezettingsgraad evenredig is verdeeld over de hele oppervlakte. Dit heeft onder andere een invloed op de locatie van de installatie, namelijk centraal in het gebied.

²⁴ I_0 : de investering in jaar nul, K: de jaarlijkse inkomende netto kasstroom, n: de gebruiksduur en r: de intrestvoet (kapitaalkost)

Calorische waarde/verbrandingswaarde

Deze waarde duidt op de hoeveelheid energie (warmte) die bij volledige verbranding vrijkomt. Voor hout wordt deze waarde bepaald door het vochtgehalte. Daarom wordt de verbrandingswaarde meestal gegeven per ton droge stof. (Verbeke, 2001)

Het belangrijkste eindproduct bij vergisting is biogas, een gas samengesteld uit methaan en koolstofdioxide. De energie-inhoud van biogas is sterk afhankelijk van de hoeveelheid methaan. (ODE-Vlaanderen, 2006) Om de calorische waarde te kennen, moeten bijgevolg volgende factoren gekend zijn: de biogasopbrengst van maïs (m³ gas/ton v.s.), het methaangehalte van dit gas (%) en ten slotte ook de verbrandingswaarde van methaan (kWh/m³ of MJ/m³).

Laadvermogen van een vrachtwagen

Het laadvermogen van een vrachtwagen is de hoeveelheid biomassa die deze kan vervoeren. Hoe meer ton de vrachtwagen kan dragen, hoe minder vaak hij op en af moet rijden. Daarnaast is het laadvermogen ook bepalend voor de transportprijs per ton biomassa.

d) *Economische gegevens in verband met biomassa*

Specifieke aankoopkost van de biomassa, opslag inbegrepen

Fiala et al. (1997) bekijken deze kost als de eenheidkost van de biomassa en geven hem weer als euro per ton droge stof. De eenheidkost van biomassa wordt gebruikt om de totale aankoopkost te berekenen.

Bij Jenkins (1997) staat deze aankoopkost gelijk aan de productiekost van de biomassa. Of deze afhankelijk is van de afstand van het veld tot installatie is niet nader bepaald. In het model van Jenkins (1997) wordt deze constant genomen voor het heel beschouwde gebied.

Kost van voorbehandeling

In de modellen van Fiala et al. (1997) en Jenkins (1997) wordt deze kost niet apart behandeld. Vermits de verschillende manieren van voorbehandeling andere kosten met zich meebrengen, wordt er in dit werk wel apart rekening mee gehouden. Deze kost wordt echter wel opgenomen in de globale aankoopkost.

Transportkost

Dit is de specifieke transportkost per ton per kilometer. De totale transportkost wordt door Fiala et al. (1997) continu berekend door de integraal te nemen over het hele gebied:

$$C_t = \int_0^R (2\pi C_{ts} \delta R^2) dR$$

Jenkins (1997) werkt echter discreet: alle verschillende afstanden tot alle subregio's worden bij elkaar opgeteld. Dit gebeurt via volgende formule:

$$D = 8n \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=1}^{m-1} (ix + jy)$$

De totale afstand D wordt vervolgens vermenigvuldigd met de specifieke transportkost. Het gevolg hiervan is dat het Fiala-model elk punt in het gebied als punt ziet waar biomassa wordt opgehaald. Jenkins gaat echter uit van het bestaan van subregio's. Hij veronderstelt daarom dat vanuit elke subregio biomassa wordt aangevoerd. Dit laatste is volgens mij iets realistischer vermits de landbouwers waarschijnlijk over velden beschikken en de geteelde biomassa na de oogst verzamelen in een hangar of kuil (voor maïs). Op deze plaats kan de biomassa vervolgens worden opgehaald om naar de installatie te vervoeren.

Prijs van elektriciteit

Het doel van een verwerkingsinstallatie is om groene energie op te wekken en deze te verkopen. Daarbij is de prijs die de opgewekte elektriciteit opbrengt natuurlijk van belang. Deze bepaalt immers de inkomsten van de installatie. Wanneer de inkomsten per jaar gekend zijn, kan de cash flow berekend worden die op zijn beurt de net present value bepaalt.

Prijs van thermische energie (aardgas)

Naast elektriciteit produceert de installatie ook warmte die, wanneer ze niet door de installatie zelf wordt benut, verkocht kan worden. Ook de verkochte warmte draagt bij tot de inkomsten van de installatie.

5.2.3 Cijfergegevens

De uitgebreide tabellen met cijfergegevens zijn opgenomen in de bijlagen²⁵. In de berekeningen zal het nummer van de bijlage steeds vermeld worden. In de volgende paragraaf zullen de vaststellingen besproken worden. Per geval zullen de waardes die ingevuld werden voor de verschillende parameters, vermeld worden.

²⁵ Bijlage 6: Verbranding van hout, bijlage 7: Co-verbranding van hout en bijlage 8: Vergisting van energiemaïs.

5.3 Vaststellingen

In deze paragraaf wordt besproken tot welke resultaten het invullen van bepaalde waarden voor de parameters leidt. Per case zijn de inputdata terug te vinden in bijlage 9 en 10 voor respectievelijk het Fiala- en het Jenkins-model. De cases in deze paragraaf worden beschouwd als de referentiecasses, dit wil zeggen dat de waardes die ingevuld worden de meest waarschijnlijke zijn. In een volgende paragraaf worden vervolgens de resultaten onderworpen aan een sensitiviteitsanalyse.

5.3.1 Referentiecasses

a) Case A: Co-verbranding

Tabel 12: Resultaten referentiecasse co-verbranding, Fiala

Parameter			Directe meestook	Indirecte meestook
Optimale straal	R_o	Km	25,5	25,5
Optimale oppervlakte	S_o	Km ²	2 036	2 036
Specifieke investering	I_{so}	€/MW	7 706 243,8	7 742 106,61
Totale investering ⁽¹⁾	I_o	€	3 781 352 399,99	3 654 685 831, 65
Optimaal elektrisch vermogen	P_{eo}	MW _e	547,5	547,5
Optimaal thermisch vermogen	P_{to}	MW _t	669	669

(1) Het Fiala-model berekent eerst $I_{s,opt}$ (€/MW) en doet dit maal $P_{e,opt}$ (MW_e) om zo de totale nodige investering te berekenen I_{opt} (€). Zoals eerder gesteld, wordt de eigenlijke investering berekend door de bekomen investering maal 0,8541 te doen. Om zo rekening te houden met de ecologische steun en verhoogde investeringsaftrek (zie paragraaf 5.1.2 c).

Zoals in de tabel kan afgelezen worden, zijn de verschillen tussen directe en indirecte meestook minimaal. Enkel de nodige investering verschilt. Wat opvalt, is dat de nodige investering voor indirecte meestook lager ligt dan voor directe meestook. Dit kan te wijten zijn aan de lagere thermische efficiëntie van de indirecte meestook. De invloed van deze efficiëntie wordt onderzocht in de sensitiviteitsanalyse.

De resultaten die hier door het Fiala-model bekomen worden (nodige investering en vermogen) zijn deze voor de volledige installatie. Maar de eigenlijke investering die zou moeten bekeken worden is de bijkomende investering die nodig is voor de ombouw van een bestaande verbrandingsinstallatie zodat hout kan meegestookt worden. Deze kan berekend worden als het percentage meestook gekend is. Na de berekening van de optimale capaciteit, is ook de

bijkomende capaciteit gekend, namelijk optimale capaciteit maal percentage meestook. De bijkomende capaciteit kan dan vermenigvuldigd worden met de specifieke investering (€/MW) om op die manier de investering te berekenen die nodig is voor de ombouw van de installatie.

Meerdere auteurs vermelden een meestook percentage van 10%. Ree et al. (2000b) beschouwen voor de kolencentrales 10% en 40% meestook. Deze percentages zijn op energiebasis. Voor een meestook van 10% geven ze een additionele investeringskost van 40 en 500 €/kW_e voor respectievelijk de directe en indirecte meestook. Door Moorkens et al. (2005) wordt op basis van 10% meestook een additionele investeringskost van 16 (direct) en 190 €/kW_h (indirect) vermeld. Daarenboven vermelden deze auteurs dat een percentage van 3 tot 10% meestook een huidig technisch maximum is. Verder geeft het BBT-kenniscentrum (2001) een verhouding van 9% hout en 91% steenkool. Een laatste bron die informatie verschaft over de verhouding steenkool – hout is Govaerts et al. (2006). In huidige projecten worden zowel houtchips ingezet als niet verontreinigde houtstof met respectievelijk een meestook van 5 en 5 tot 10%. Op basis van deze cijfers, wordt verondersteld dat 10% hout wordt meegestookt.

Uitgaande van deze 10%, kan bijgevolg berekend worden welke capaciteit en investering gepaard gaan bij de uitbreiding van een installatie tot een installatie die kan hout co-verbranden. Deze additionele capaciteit bedraagt 54,75 MW_e (10% van 547,5 MW_e). Hieruit wordt de nodige investering bij een installatie met directe meestook berekend, namelijk: $54,75 \text{ MW}_e * 7\,706\,243,8 \text{ €/MW} * 0,8541 = 360\,359\,179,9 \text{ €}$. Deze investering leidt tot een NPV met waarde nul en is eigenlijk het maximum te investeren bedrag voor een haalbaar project. Indien de investeringskost lager ligt dan deze bekomen door het model, zal de NPV positief zijn en het project bijgevolg winstgevend.

Een volgend punt dat de aandacht trekt is de optimale straal. De vraag kan gesteld worden of dit wel realistisch zijn. Een oppervlakte met een straal van 25,5 km is heel groot. Zeker als dit gebied eigenlijk een gebied met landbouwgronden waarop hout of maïs moet geteeld worden, is. Ik vraag me af of zulk groot gebied ter beschikking is de Kempen. Wanneer niet het hele gebied landbouwgebied is, heeft dit invloed op de bezettingsgraad. De referentiecasing er immers vanuit dat deze bezetting 100% was. Het effect dat een vermindering van deze bezettingsgraad heeft op deze resultaten wordt verder onderzocht in de sensitiviteitsanalyse in volgende paragraaf.

Daarenboven is ook het in te stellen vermogen heel groot. Ik denk niet dat er installaties bestaan van zulke grootte. In de literatuur werden immers altijd capaciteitswaarden gegeven die een stuk lager lagen. Dit kan nagegaan worden in bijlage 7 waar de verschillende bronnen en de gegeven waarden zijn opgenomen.

Vervolgens bepalen we de optimale additionele capaciteit volgens het model opgesteld door Jenkins.

Tabel 13: Resultaten referentiecasse co-verbranding, Jenkins

Parameter			Direct	Indirect
Optimale capaciteit vd installatie	M_{opt}	kW	14 685,08	25 287,24
Totale productiekost	P	€/kWh	0,0175	0,0251

Het valt op dat de waarde die het Jenkins-model geeft voor de optimale additionele grootte voor directe co-verbranding (14,7 MW_e) veel lager ligt dan de waarde die het Fiala-model uitkomt (54,75 MW_e op basis van 10% meestook). Een verklaring hiervoor kan gevonden worden in de opname van de kosten en opbrengsten door beide modellen. Het Jenkins-model rekent zoals al eerder aangehaald enkel met kosten terwijl het Fiala-model ook de opbrengsten opneemt in het model.

Een ander verschil dat opgemerkt kan worden is dat in het Fiala-model de optimale vermogens voor beide typen installatie (directe en indirecte meestook) gelijk zijn. Het Jenkins-model geeft echter verschillende uitkomsten voor de twee typen installatie. De optimale capaciteit is groter voor een installatie met indirecte meestook.

Naast de optimale capaciteit, ligt ook de overeenkomstige totale productiekost die het Jenkins-model geeft hoger voor een installatie met indirecte meestook. Vermits de ingegeven waarden voor slechts twee parameters verschillen voor directe en indirecte meestook, namelijk de efficiëntie en de investeringskost, zal het verschil in resultaat in deze parameters zijn oorzaak vinden. Wat het precieze effect is van de efficiëntie, onderzoekt de sensitiviteitanalyse.

b) Case B: Verbranding

Tabel 14: Resultaten referentiecasse verbranding, Fiala

Parameter			Grootschalig	kleinschalig
Optimale straal	R_o	Km	25,5	17,7
Optimale oppervlakte	S_o	Km ²	2 036	979
Specifieke investering	I_{so}	€/MW	6 066 011,73	6 132 076,19
Totale investering	I_o	€	2 109 932 602	854 497 501,09
Optimaal elektrisch vermogen	P_{eo}	MW _e	407,2	163,2
Optimaal thermisch vermogen	P_{to}	MW _t	0	228,4

Zoals in bovenstaande tabel kan afgelezen worden, kan een grootschalige installatie een groter gebied bedienen dan een kleinschalige installatie. Dit kan verklaard worden doordat bij de berekening van de optimale straal de arbeidskosten in rekening worden gebracht en het is net op vlak van deze kosten dat de twee installaties (groot- en kleinschalig) sterk verschillen van elkaar. De oorzaak van dit grote verschil is het feit dat een grootschalige installatie meer mensen tewerkstelt.

Doordat het resultaat voor de optimale straal een redelijk groot verschil oplevert, verschillen ook de andere resultaten (de nodige investering en het vermogen) van elkaar. Deze zijn namelijk gebaseerd op deze optimale straal.

Het thermische vermogen van een grootschalige verbrandingsinstallatie is nul, aangezien de thermische efficiëntie verondersteld is gelijk te zijn aan nul, men benut de warmte niet.

Net zoals bij de co-verbrandingsinstallatie liggen de verkregen waarden hoog. En dit geldt zowel voor resultaten voor de grootschalige als voor de kleinschalige installatie. Wel kan opgemerkt worden dat de nodige specifieke investeringskost wordt beïnvloed door de opname van de inkomsten uit verkoop van WKC en GSC in het model. Zonder deze inkomsten, liggen de resultaten voor de nodige specifieke investering betreffende een verbrandingsinstallatie, een stuk lager namelijk: 1 265 806,30 voor de grootschalige en 1 010 401,21 €/MW voor de kleinschalige verbrandingsinstallatie.

Tabel 15: Resultaten referentiecasse verbranding, Jenkins

Parameter			Grootschalig	kleinschalig
Optimale capaciteit vd installatie	M_{opt}	kW	1 908 293,10	3 774 700,64
Totale productiekost	P	€/kWh	0,0658	0,1091

Wat opvalt, is dat de waarden die resulteren uit de inputgegevens omtrent een kleinschalige installatie, hoger liggen. Een eerste oorzaak waaraan dit te wijten kan zijn, is de hogere investeringskost en de daarvan afhankelijke onderhoudskost. Daarnaast is ook de arbeidskost per kWh veel hoger. Ondanks het kleiner aantal werknemers en bijgevolg de kleinere totale arbeidskost, kan de arbeidskost over aanzienlijk minder kWh verdeeld worden dan bij een grootschalige installatie. Wel is het vreemd dat gegevens betreffende een kleinschalige installatie, resulteren in een enorme optimale capaciteit. Een andere parameter die hier de oorzaak van kan zijn is s . De optimale grootte van een kleine installatie wordt door schaalvoordelen veel later bereikt dan bij een grote installatie. Dit leidt tot dit paradoxale resultaat. De invloed van deze s zal in de sensitiviteit uitgebreid nagegaan worden.

Net zoals hierboven al vermeld is geweest, zijn ook de resultaten die hier verkregen worden voor de optimale capaciteit heel groot.

c) *Case C: Vergisting*

Tabel 16: Resultaten referentiecasi vergisting, Fiala

Parameter			
Optimale straal	R_o	Km	10,6
Optimale oppervlakte	S_o	Km ²	350
Specifieke investering	I_{so}	€/MW	1 694 036,73
Investering	I_o	€	26 508 159,43
Optimaal elektrisch vermogen	P_{eo}	MW _e	18,3
Optimaal thermisch vermogen	P_{to}	MW _t	18,3

Hoewel deze resultaten niet echt vergeleken mogen worden met die van een (co)verbrandingsinstallatie vanwege de zeer grote verschillen in ingegeven waarden voor verschillende parameters, valt op dat het gebied dat een vergistingsinstallatie kan bedienen veel kleiner is. Verondersteld kan worden dat de transportkost C_{ts} (die verschillend is voor hout en maïs) hier een oorzaak van is, vermits deze invloed heeft op de optimale straal R_o , zoals volgt

$$\text{de formule voor de optimale straal: } R_o = \sqrt{\frac{3 \times C_{ws} \times n_u}{\pi \times \delta \times C_{ts}}}$$

Wat het effect van deze transportkost juist is, wordt in de sensitiviteitsanalyse nagegaan. Ook de biomassaopbrengst speelt een rol voor de optimale straal. Ook deze parameter kan een oorzaak zijn van het verschil. De oppervlakte, een van invloed zijnde parameter op de biomassaopbrengst, wordt onderzocht in de sensitiviteitsanalyse.

Een laatste opmerking is dat de resultaten voor een vergistingsinstallatie iets realistischer zijn dan deze verkregen voor de vorige twee typen installaties.

Tabel 17: Resultaten referentiecasi vergisting, Jenkins

Parameter			
Optimale capaciteit vd installatie	M_{opt}	kW	96.007,68
Totale productiekost	P	€/kWh	0,4920

Net zoals bij het Fiala-model, ligt de verkregen optimale grootte van het Jenkins-model een stuk lager voor een vergistingsinstallatie dan voor een verbrandingsinstallatie. Een mogelijke oorzaak is de transportkost die voor maïs hoger is dan voor hout. Deze parameter beïnvloedt immers de optimale grootte. Wat de juiste invloed van deze parameter is, wordt in de volgende paragraaf nagegaan.

De totale productiekost van een vergistingsinstallatie ligt echter wel een stuk hoger. Een eerste oorzaak hiervan is de werkingskost die veel groter is. Daarnaast speelt ook de hogere transportkost voor maïs een rol. Een derde reden is de hogere biomassaopbrengst van maïs en als laatste is ook de lagere calorische waarde van maïs van belang voor de bepaling van de productiekost.

Het verschil in resultaat voor de optimale grootte tussen de twee modellen is ook voor dit type installatie behoorlijk groot, namelijk 18,3 MW_e (Fiala) tegen 96 MW (Jenkins). Een mogelijke reden hiervoor kan zijn dat het Fiala-model het elektrische en thermische rendement apart beschouwt terwijl in het Jenkins-model enkel de totale efficiëntie van de installatie verwerkt zit.

5.3.2 Conclusies

Het verschil tussen de resultaten van de twee modellen is redelijk groot. Zo geeft Fiala bijvoorbeeld voor de co-verbrandingsinstallatie dezelfde optimale grootte voor directe en indirecte meestook terwijl in de resultaten van Jenkins hier toch een verschil tussen is. Ook voor de verbrandings- en vergistingsinstallatie was er een redelijk verschil tussen de verkregen optimale groottes van beide modellen. Wat de reden is van deze verschillen, kan enkel verondersteld worden want vaak spelen meerdere parameters een rol. Welke invloed deze parameters juist hebben, zoals de transportkost, wordt in de volgende paragraaf onderzocht.

Het vergelijken van de resultaten van een grootschalige en kleinschalige verbrandingsinstallatie zorgt voor een opvallend feit, namelijk dat de optimale grootte voor de kleinschalige verbrandingsinstallatie hoger ligt. Dit wordt verder onderzocht in de sensitiviteitsanalyse.

De resultaten betreffende de optimale grootte van een vergistingsinstallatie zijn veel kleiner dan voor de andere twee installaties. Dit was te verwachten vermits in de literatuur ook steeds kleinere groottes vermeld werden voor een vergistingsinstallatie.

Een laatste conclusie is dat de verkregen waarden voor sommige resultaten redelijk hoog liggen. Zo bedraagt de optimale straal voor een co-verbrandingsinstallatie en een grootschalige verbrandingsinstallatie in het Fiala-model 25,5 km. Een ander voorbeeld is het resulterende

optimale vermogen. Dit ligt voor de verbrandingsinstallaties (zowel klein- als grootschalig en in beide modellen) en de co-verbrandingsinstallaties (direct en indirect, voor het Fiala-model) heel hoog. Zeker als deze vermogens vergeleken worden met deze in de opgezochte literatuur.

Samenvattend kan gesteld worden dat de modellen zeer verschillend zijn. Zowel hun werkwijze als hun resultaten zijn zeer uiteenlopend. Bij de bepaling van de optimale grootte is het resultaat sterk afhankelijk van het gebruikte model en zodoende van de gebruikte werkwijze. Het is moeilijk om een keuze te maken tussen de modellen vermits ze allebei hun voor en nadelen hebben, zoals besproken in paragraaf 5.1. Het Fiala-model werkt bijvoorbeeld met zowel de opbrengsten als de kosten en baseert zich bij de berekeningen op een NPV gelijk gesteld aan nul. In het Jenkins-model worden echter enkel de kosten verbonden aan een installatie opgenomen. Daarnaast benadert Fiala de transportkost via een integraal terwijl Jenkins voor de berekening van deze kost discreet te werk gaat. Deze conclusie kan een aanleiding zijn tot een verder onderzoek om een model te ontwikkelen dat de twee modellen, Fiala en Jenkins, integreert. Op die manier is het misschien mogelijk om 'betere' resultaten te verkrijgen betreffende de in te stellen optimale grootte.

5.3.3 Sensitiviteitsanalyse

De bedoeling van een sensitiviteitsanalyse is het nagaan van het effect van bepaalde parameters op het resultaat. Dit gebeurt door de ingevulde waarde van de parameter te wijzigen en vervolgens de veranderingen in het resultaat te bestuderen. Via deze analyse wordt getracht een antwoord te vinden op volgende vragen:

1. Met de toenemende brandstofprijzen zijn transportkosten zeer actueel. Wat is de invloed van deze kost?
2. Het aantal boeren dat wil meewerken (de bezettingsgraad) is bepalend voor de grootte van het beschouwde gebied. Welke invloed heeft deze bezettingsgraad op het resultaat?
3. De werking van de installatie heeft invloed op de geproduceerde energie en bijgevolg op de verkoopbare energie. Wanneer de installatie efficiënter zou werken, welk effect kan dan waargenomen worden? Daarenboven heeft de efficiëntie ook invloed op het aantal te verkrijgen WKC. Aan welke efficiëntiepercentages moet de installatie voldoen om in aanmerking te komen voor WKC?
4. In het Jenkins-model wordt discreet gewerkt aan de hand van subregio's. Wat is de invloed van het aantal subregio's? Dit aantal heeft immers een invloed op de transportkost.
5. Wanneer er grotere vrachtwagen gebruikt worden voor het transport van de biomassa naar de installatie, heeft dit een invloed op de resultaten?

6. Jenkins vertrekt vanuit een bepaald gebied met een voorop gekende grootte. Dit beschouwde gebied heeft invloed op de beschikbare biomassa. Heeft deze parameters ook invloed op de resultaten betreffende de installatie?
7. Wat is de invloed van de marktwaarde van de GSC? Wat is het gevolg indien deze marktwaarde zou toenemen? Wat is het effect op de optimale grootte en hoe wordt de investering beïnvloedt.
8. In het Fiala-model wordt alvorens de optimale grootte van de installatie berekend wordt, de optimale straal van het beschouwde gebied gezocht. Hoe verandert het resultaat indien niet uitgegaan wordt van een optimale straal, maar zelf een bepaalde straal wordt ingegeven?
9. Het Jenkins-model houdt rekening met eventuele schaalvoordelen. Hebben deze schaalvoordelen veel invloed op de optimale grootte van de installatie?

Vervolgens worden deze vragen beantwoord door voor de betreffende parameters nieuwe waarden in te vullen die hoger of lager liggen dan de oorspronkelijke waarde in de referentiecases. Wat het resultaat hiervan is, wordt hieronder per parameter besproken.

a) *Transportkost*

De transportkost heeft een grote invloed op alle resultaten, zowel bij Fiala als bij Jenkins. Bij Jenkins is de invloed echter veel opvallender dan bij Fiala. In tabel 18 wordt samengevat welke invloed een halvering van de transportkost heeft in het Fiala-model op de nodige investering²⁶.

Tabel 18: Invloed van de transportkost op de nodige investering (Fiala)

Installatietype	Invloed
Verbranding (grootschalig)	+59,48%
Co-verbranding (direct)	+59,15%
Vergisting	+78,24%

Zoals kan afgelezen worden, heeft een halvering van de transportkost een redelijk grote invloed op deze nodige investering. Voor de vergistingsinstallatie is de invloed sterker dan voor de twee andere installaties. Ook op de optimale oppervlakte en beide vermogens heeft de transportkost invloed. Deze invloed is gelijk voor alle drie de installaties. Een halvering van de transportkost leidt tot een toename van 58,74%.

²⁶ Met de nodige investering wordt bedoeld de investering die gedaan kan worden opdat de NPV nul is. Hoe groter deze investering, hoe groter de netto CF zijn. Hoe groter deze investering hoe meer kan geïnvesteerd worden opdat het toch nog een haalbaar project is.

In het Jenkins-model heeft een zelfde verandering van de transportkost als bij Fiala, namelijk een halvering, voor alle installaties een toename van 228,96% tot gevolg voor de optimale grootte.

Daarnaast wordt ook de totale productiekost positief beïnvloed, deze invloed bedraagt echter slechts 6% voor installaties met verbranding (grootschalig) en vergisting. Voor coverbranding (direct) ligt de invloed zelfs nog lager en bedraagt zelf minder dan één percent.

Hieruit kan besloten worden dat de transportkost een belangrijke parameter is in beide modellen. Hoe lager deze kost ligt in het Fiala-model, hoe groter het gebied is waarvan biomassa kan verwerkt worden op een optimale manier, i.e. $NPV \geq 0$. Hierdoor neemt het optimale vermogen toe, de straal is immers een parameter waarvan het vermogen afhankelijk is. Dit vermogen beïnvloedt op zijn beurt de nodige investering. In het Jenkins-model beïnvloedt deze kost rechtstreeks de optimale grootte en totale productiekost.

b) *Bezettingsgraad*

Deze parameter heeft in het Jenkins-model ook een behoorlijk effect op het resultaat. Voor de drie typen installaties neemt de optimale grootte af met 44,86% wanneer deze bezettingsgraad slechts 50% in plaats van 100% zou bedragen. Met andere woorden, indien in het onderzochte gebied de helft van de landbouwers per oppervlakte bereid zou zijn om mee te werken, zal de optimale grootte van de installatie met ongeveer hetzelfde percentage dalen. Doordat minder landbouwers bereid zijn mee te werken, is er minder biomassa beschikbaar en zodoende zal de optimale grootte van de installatie kleiner zijn.

Het effect van deze verandering op de productiekost ligt echter heel laag en bedraagt voor verbranding (grootschalig) en vergisting ongeveer + 3,5%. Voor een installatie met coverbranding (direct) bedraagt de toename nog minder, namelijk + 0,19%. Door een afname van bezettingsgraad neemt de productie kost met andere woorden licht toe. De oorzaak hiervan is dat de transportkost toeneemt als de bezetting daalt en deze transportkost beïnvloedt op zijn beurt de productiekost.

Vervolgens worden de resultaten van het Fiala-model besproken. Dit model begint steeds met de berekening van de optimale straal en oppervlakte. Wanneer de bezettingsgraad (zit verwerkt in de parameter δ) gehalveerd wordt, zal deze optimale straal R_o groter worden:

$R_o = \sqrt[3]{\frac{3 \times C_{ws} \times n_u}{\pi \times \delta \times C_{ts}}}$. Een daling van de bezettingsgraad betekent immers een daling van het

aantal boeren per oppervlakte dat bereid is mee te werken. Om dezelfde hoeveelheid biomassa te verkrijgen, zal de oppervlakte van het beschouwde gebied bijgevolg groter moeten zijn. Deze oppervlakte verandert voor alle installaties met hetzelfde percentage, namelijk +58,74%.

De invloed van een halvering van de bezettingsgraad heeft ook invloed op het installeerbare elektrische vermogen: $P_{eo} = \frac{\pi R_o^2 \delta H_b \eta_e}{t}$. De bezettingsgraad heeft immers zowel een rechtstreeks effect als een onrechtstreeks effect via R_o . Doordat ook R_o een effect heeft op het installeerbare vermogen (R_o neemt toe), wordt de invloed van de bezettingsgraad (neemt af) voor een deel gecompenseerd. De uiteindelijke invloed van een halvering van de bezettingsgraad is -20,63% voor de drie installaties. Dit effect ligt bijgevolg lager dan bij het Jenkins-model.

Doordat het installeerbare vermogen daalt, daalt ook de nodige investering. Het effect van een halvering van de bezettingsgraad is opgenomen in tabel 19. Ook hier ligt de invloed voor drie installaties dicht bij elkaar, zoals blijkt uit de tabel. Deze afname van de nodige investering kan verklaard worden doordat, door de daling van installeerbare elektrisch vermogen, er minder elektriciteit geproduceerd en bijgevolg verkocht kan worden.

Tabel 19: Invloed van de bezettingsgraad op de nodige investering (Fiala)

Installatietype	Invloed
Verbranding (grootschalig)	-20,89%
Co-verbranding (direct)	-20,77%
Vergisting	-27,48%

De bezettingsgraad zal bijgevolg een rol van betekenis spelen bij de bepaling van de karakteristieken van de installatie. Het is daarom belangrijk om de landbouwers enthousiast te maken om mee werken met biomassaprojecten. Op die manier kunnen de investering en de productiekosten beperkt worden.

c) *Efficiëntie*

In het Jenkins-model zorgt een toename van de elektrische efficiëntie (van 30% naar 35% voor verbranding en vergisting en van 39,5% naar 45% voor co-verbranding) ervoor dat de optimale grootte toeneemt met respectievelijk 32,41% (verbranding, grootschalig); 26,34% (co-verbranding, direct) en 17,28% (vergisting). Dit wil zeggen dat de efficiëntie van de installatie

bepalend is voor hoe groot de installatie optimaal moet zijn: Hoe efficiënter de installatie, hoe groter de installaties optimaal is.

Op de productiekost heeft deze parameter minder invloed. Zoals kan waargenomen worden in tabel 20 is de invloed van de efficiëntie op de productiekost lager dan de invloed op de optimale grootte. Daarenboven daalt de productiekost als de efficiëntie toeneemt. Dit volgt uit het feit dat een toename van de efficiëntie η een afname veroorzaakt van component F (de kost van de

geleverde biomassa): $F = \frac{3,6}{H\eta} F'$. Deze afname van F veroorzaakt vervolgens een afname van

de productiekost P: $P = C_c + R + F$.

Tabel 20: Invloed van de efficiëntie op de totale productiekost (Jenkins)

Installatietype	Invloed
Verbranding (grootschalig)	-10,36%
Co-verbranding (direct)	-13,77%
Vergisting	-14,12%

In het Fiala-model wordt een onderscheid gemaakt tussen elektrische en thermische efficiëntie. Vermits de thermische efficiëntie voor een grootschalige verbrandingsinstallatie verondersteld wordt nul te zijn werd hiermee geen rekening gehouden.

Wanneer de elektrische efficiëntie toeneemt van 30 naar 35%, neemt het installeerbare elektrische vermogen van de verbrandingsinstallatie (grootschalig) toe met 16,67%. Het installeerbare elektrische vermogen wordt immers berekend op basis van deze elektrische efficiëntie. Hoe groter de elektrische efficiëntie hoe groter het installeerbare elektrische

vermogen. Dit volgt uit volgende formule uit het Fiala-model: $P_{eo} = \frac{\pi R_o^2 \delta H_b \eta_e}{t}$ met P_{eo} het

installeerbare elektrische vermogen en η_e de elektrische efficiëntie.

Doordat het installeerbare elektrische vermogen toeneemt, neem ook de totale nodige investering (om de NPV gelijk aan nul te stellen) toe, namelijk met 19,33%. Deze nodige investering wordt immers onder andere bepaald door het installeerbare elektrische vermogen.

Een verklaring voor deze toename van de nodige investering is dat een betere elektrische efficiëntie η_e een grotere hoeveelheid geproduceerde elektriciteit E_e oplevert: $E_e = \pi R^2 \delta H_b \eta_e$

of $E_e = P_{eo} \times t$. Wanneer meer energie geproduceerd wordt, kan ook meer energie verkocht

worden waardoor de inkomende cashflow toeneemt. De investering die vervolgens nodig is om de NPV gelijk aan nul te maken zal bijgevolg ook toenemen.

Voor de andere twee typen installaties werden de effecten van de twee rendementen zowel apart als samen nagegaan. In onderstaande tabellen worden deze samengevat. Een toename van de efficiëntie zorgt opnieuw voor een toename van de nodige investering en het optimale geïnstalleerde vermogen zoals verklaard hierboven. De verklaring hiervoor is analoog aan de verklaring hierboven betreffende de resultaten voor de verbrandingsinstallatie (grootschalig). De uitleg betreffende de toename van het installeerbaar thermische vermogen door een toename van de thermische efficiëntie verloopt analoog aan de uitleg in verband met de toename van het installeerbare elektrische vermogen na een stijging van de elektrische efficiëntie.

Tabel 21: Invloed van de elektrische en thermische efficiëntie op de investering en de vermogens van een co-verbrandingsinstallatie met directe meestook (Fiala)

		Nodige investering	Elektrisch vermogen	Thermisch vermogen
Therm eff	Van 46% naar 50%	+2,39%		+8,70%
Elektr eff	Van 39,5% naar 45%	+12,56%	+13,92%	
Therm eff + elektr eff	Van 46% naar 50% Van 39,5% naar 45%	+14,92%	+13,92%	+8,70%

Tabel 22: Invloed van de elektrische en thermische efficiëntie op de investering en de vermogens van een vergistingsinstallatie (Fiala)

		Investering	Elektrisch vermogen	Thermisch vermogen
Therm eff	Van 30% naar 35%	+24,82%		+16,67%
Elektr eff	Van 30% naar 35%	+85,10%	+16,67%	
Therm eff + elektr eff	Van 30% naar 35%	+104,79	+16,67%	+16,67%

We kunnen hieruit besluiten dat de elektrische efficiëntie veel meer invloed heeft dan de thermische. De grootste toename van de nodige investering wordt echter bekomen wanneer beide rendementen toenemen.

Naast het effect van de thermische en elektrische efficiëntie, werd ook nagegaan welke efficiëntie minimaal behaald moet worden opdat WKC certificaten verkregen worden. Voor een

co-verbrandingsinstallatie (direct) liggen deze kritieke punten op 11,46% (elektrische efficiëntie) en ongeveer 8% (thermische efficiëntie). Voor een vergistingsinstallatie liggen de vereiste rendementen voor WKC certificaten hoger, namelijk op 24% (elektrisch) en 21% (thermisch). Bij deze bepaling is gesteld dat de andere efficiëntie behouden blijft.

d) *Aantal subregio's*

Deze parameter heeft geen invloed op de optimale grootte. Op de productiekost is het aantal subregio's wel van invloed. Wanneer het aantal zou verdubbelen naar 20, zou dit een lichte toename van de productiekost betekenen zoals samengevat is in tabel 23. De verklaring hiervoor is het feit dat het aantal subregio's invloed heeft op de transportkost zoals volgt uit volgende

formule: $T = C_i(X + Y)(1 - \frac{1}{m})$. Wanneer m toeneemt, zal de transportkost toenemen. En

zoals vermeld, heeft een toename van de transportkost een toename van de productiekost tot gevolg terwijl de optimale grootte er niet door beïnvloed wordt. Er kan bijgevolg gesteld worden dat het beter (goedkoper) is wanneer de biomassa afkomstig is van een klein aantal boeren met grote velden dan van een groot aantal boeren met kleine velden.

Tabel 23: Invloed van het aantal subregio's op de totale productiekost (Jenkins)

Installatietype	Invloed
Verbranding (grootschalig)	+0,23%
Co-verbranding (direct)	+0,66%
Vergisting	+0,23%

e) *Laadvermogen*

Deze parameter uit het Jenkins-model werd ook onderzocht maar blijkt geen invloed te hebben op het resultaat van de optimale grootte noch van de productiekost. In de formule voor de berekening van de optimale grootte komt deze parameter niet terug. Daarnaast wordt deze parameter gebruikt om het aantal vrachtwagens te bepalen. In de formule voor de berekening van de productiekost worden deze twee parameters (laadvermogen en aantal vrachtwagens) opgenomen waardoor eventuele effecten elkaar opheffen.

f) *Oppervlakte*

Enkel in het Jenkins-model kan deze parameter zelf ingevuld worden. In het Fiala-model wordt de optimale oppervlakte berekend. Wanneer de halve lengte van de zijde (X, Y) van het gebied daalt met 13%²⁷, neemt de totale productiekost toe. Deze toename is echter bijna te verwaarlozen want deze is kleiner dan 0,5%. Een overzicht van deze waarnemingen is opgenomen in tabel 24.

Op de optimale grootte heeft deze parameter geen invloed wat ook kan afgeleid worden uit de formule. Hier komt de parameters X en Y niet voor.

Tabel 24: Invloed van de oppervlakte op de productiekost (Jenkins)

Installatie	Verandering van de parameter	Invloed
Verbrandingsinstallatie (grootschalig)	Van 23 km naar 20 km	+0,04%
Co-verbrandingsinstallatie (direct)	Van 23 km naar 20 km	+0,17%
Vergistingsinstallatie	Van 9,35 km naar 8,13	+0,06%

g) *Marktwaarde GSC*

Deze parameter heeft geen invloed op het optimale vermogen van de installatie. De nodige investering is daarentegen wel gevoelig voor veranderingen ervan. In de tabel wordt een overzicht gegeven van het effect dat een toe- en afname (referentiewaarde 107,33) van de marktwaarde heeft op de nodige investering:

Tabel 25: Invloed van de marktwaarden van de GSC op de nodige investering (Fiala)

Marktwaarde:	100	115
Verbranding (grootschalig)	-5,40%	+5,65%
Co-verbranding (direct)	-3,98%	+4,17%
Vergisting	-19,35%	+20,25%

Bij een vergistingsinstallatie is deze marktwaarde duidelijk belangrijker dan bij de twee andere installaties. Het kan dus voordelen opleveren om de GSC te verkopen op een moment dat de marktwaarde een piek bereikt. Wanneer ge de certificaten duurder kan verkopen, betekent dit

²⁷ De afname van 23 km naar 20 km bij de (co)verbrandingsinstallatie is ongeveer gelijk aan 13%. Deze procentuele afname is vervolgens ook toegepast op de lengte die gepaard gaat met de vergistingsinstallatie.

een hogere inkomende cashflow. De nodige investering om de NPV vervolgens nul te stellen, neemt hierdoor toe.

h) Straal

Bij de (co)verbrandingsinstallatie bedroeg de referentiewaarde voor de straal 25,5 km. Bij de vergistingsinstallatie lag deze lager, deze bedroeg namelijk 10,55 km. Wanneer we voor de straal zelf een andere waarde invullen bekomen we een verschil voor de nodige investering en de vermogens (zowel voor elektrisch als thermisch):

Tabel 26: Invloed van de straal op de nodige investering en de vermogens (Fiala)

Installatietype	Straal	Invloed op nodige investering	Invloed op vermogens
Verbranding (grootschalig)	15	-65,55%	-65,40% (enkel elektr)
	30	+38,36%	+38,41% (enkel elektr)
Co-verbranding (direct)	15	-65,48%	-65,40%
	30	+38,38%	+38,41%
Vergistingsinstallatie	6,21	-69,43%	-65,35%
	12,41	+37,22%	+38,37%

De invloed op de vermogens is praktisch gelijk voor de drie typen installaties. Bij deze nodige investering liggen de invloeden iets meer uit elkaar, doch ze zijn zeer gelijkaardig. Hoe groter de straal is, hoe positiever. De nodige investering neemt toe (wat wil zeggen dat de netto CF groter zijn en een grotere investering moet afgetrokken worden om de NPV nul te maken) en ook het vermogen stijgt.

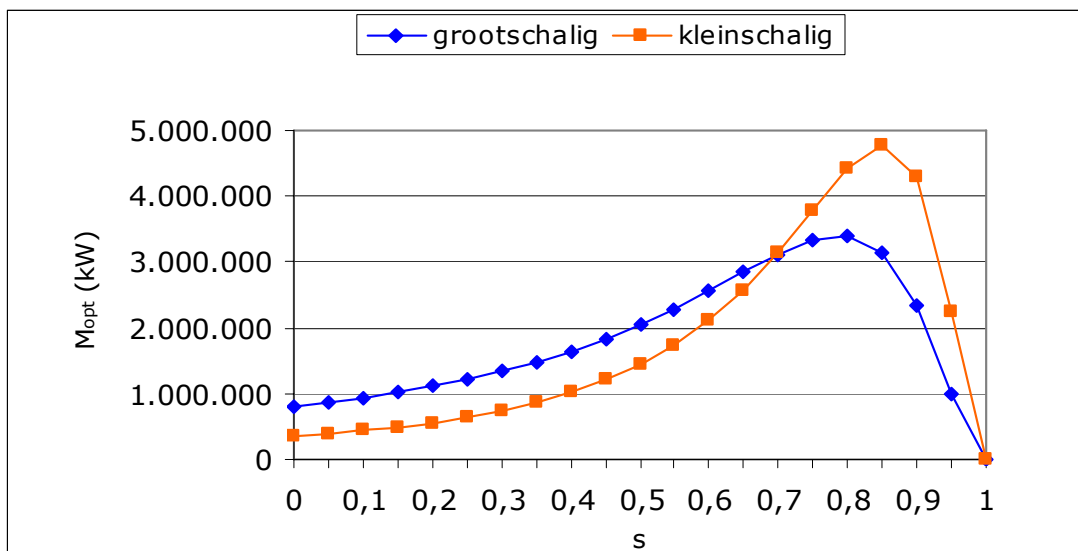
i) Schaalvoordeel

Zoals vastgesteld werd bij de referentiecasse verbranding, is de optimale grootte voor een kleinschalige verbrandingsinstallatie groter dan voor een grootschalige. Een parameter die hier invloed op heeft is het schaalvoordeel (s). In figuur 4, wordt weergegeven hoe de optimale groottes van de grootschalige en kleinschalige verbrandingsinstallatie veranderen naarmate dit

schaalvoordeel wijzigt. De formule achter deze figuur is: $M_{opt} = \left(2 \times \frac{a_1}{a_2} (1-s) \times M_o^{1-s} \right)^{\frac{1}{1,5-s}}$.

Wanneer s gelijk is aan één, zijn er geen schaalvoordelen. Doordat de factor $(1-s)$ voorkomt in de formule van M_{opt} , resulteert dit daarenboven in een optimale grootte van nul voor beide installaties (groot- en kleinschalig). Dit is ook af te lezen uit de grafiek in figuur 4. Wanneer s afneemt, is te zien op de grafiek dat de optimale grootte eerst hoger ligt voor de kleinschalige installatie. Bij het snijpunt heeft s een waarde van bijna 0,7. Wanneer s vervolgens nog meer afneemt, en er dus meer schaalvoordelen zijn, ligt de optimale grootte voor een grootschalige boven de optimale grootte van een kleinschalige verbrandingsinstallatie, zoals in de grafiek te zien is.

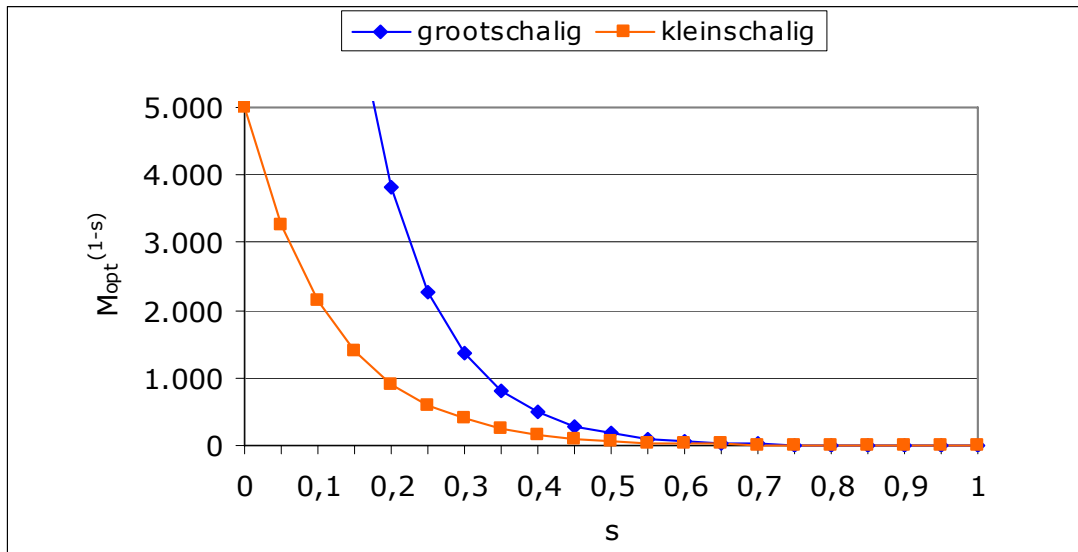
Bij de referentiecases was s gelijk aan 0,9179. De optimale groottes van de referentiecasse verbranding liggen bijgevolg in het laatste deel van grafiek, na het snijpunt. Voor een s met waarde 0,9179 is de optimale grootte van een kleinschalige installatie bijgevolg groter dan van een grootschalige installatie (gegeven de andere ingevulde parameters).



Figuur 4: Invloed van het schaalvoordeel op de optimale grootte M_{opt} (kW)

Een reden voor dit verloop is de factor $M_o^{(1-s)}$, die deel uitmaakt van de formule van de optimale grootte. De basiscapaciteiten (M_o) bedragen in de referentiecasse verbranding voor een klein- en grootschalige installatie respectievelijk 5 000 en 30 000 kW. In figuur 5 is te zien hoe de waarde van s invloed heeft op de waarde van de factor $M_o^{(1-s)}$.

Wanneer s gelijk is aan nul, is $M_o^{(1-s)}$ gelijk aan de ingegeven basiscapaciteiten: 5 000 kW (kleinschalig) en 30 000 kW (grootschalig). Verder wordt het verschil tussen de waarden van $M_o^{(1-s)}$ voor klein- en grootschalig kleiner naarmate de waarde van s toeneemt. Wanneer s gelijk is aan één, is $M_o^{(1-s)}$ gelijk aan één voor beide installaties (groot- en kleinschalig).



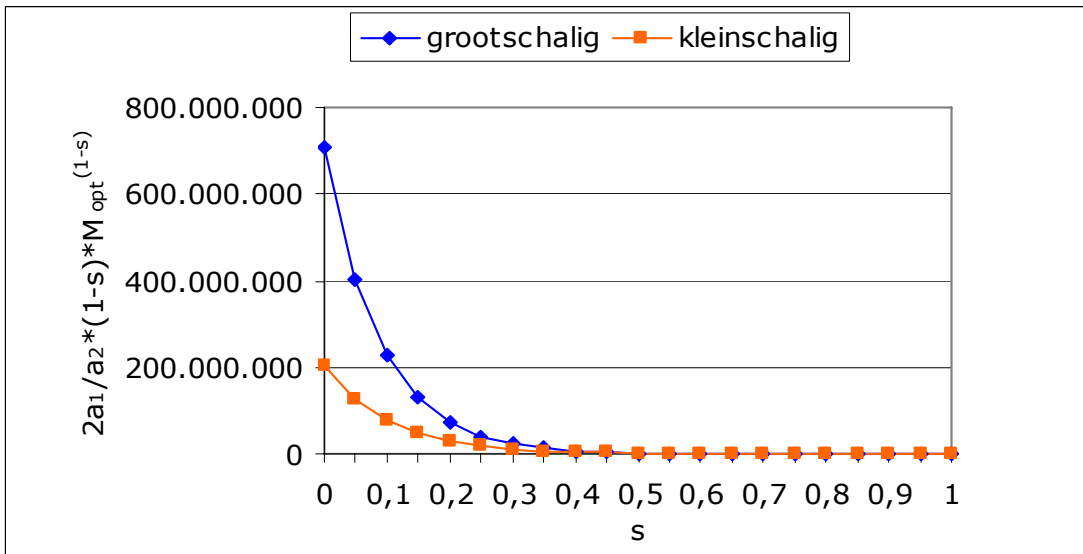
Figuur 5: Invloed van het schaalvoordeel op $M_{opt}^{(1-s)}$

Wanneer we de formule vervolgens verder uitbreiden bekommen we volgende factor:

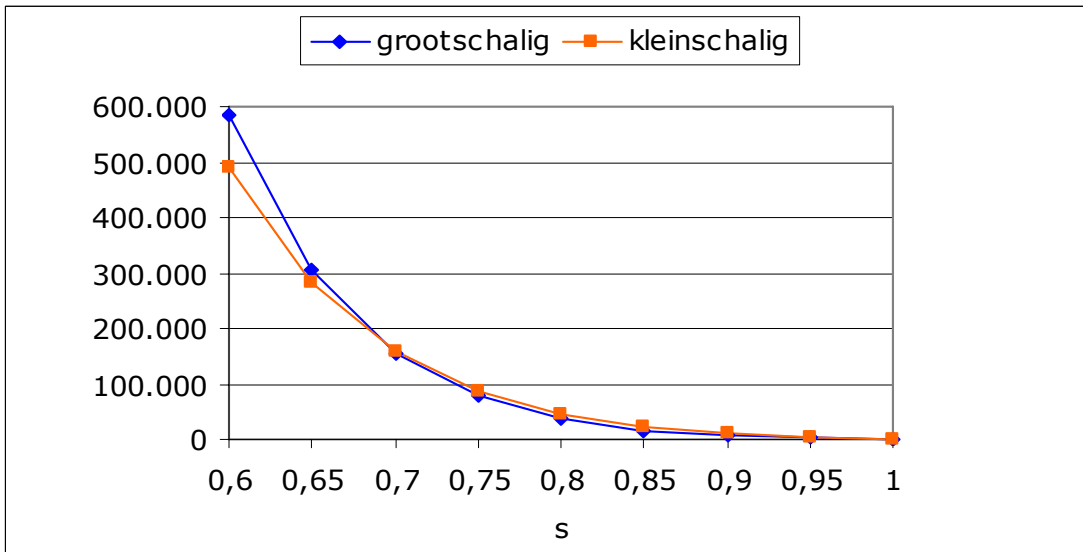
$$\left(2 \times \frac{a_1}{a_2} (1-s) \times M_o^{1-s} \right).$$

In de factor ontbreekt enkel de machtsverheffing tot $1/(1,5-s)$ om de formule van M_{opt} te bekomen. In figuur 6 wordt het verloop van deze factor onder veranderlijke s weergegeven. Dit verloop lijkt sterk op het verloop van $M_o^{(1-s)}$. Wel is het verschil tussen beide grafieken groter dan bij het verloop van $M_o^{(1-s)}$. Daarenboven is er ook op deze grafiek een snijpunt bij een waarde van s van bijna 0,7. Dit is niet te zien op figuur 6, daarom wordt het relevante deel deze figuur uitvergroot (zie figuur 7). Zo wordt zichtbaar dat voor het snijpunt (met s kleiner dan 0,7) de grafiek van de grootschalige installatie boven ligt. Na het snijpunt (s groter dan 0,7) ligt de grafiek voor een kleinschalige installatie vanboven. Dit kan verklaard worden doordat, hoe groter s wordt (één benaderend), hoe kleiner het verschil is tussen kleine en grootschalige installatie betreffende de waarden bekomen voor de factor $M_o^{(1-s)}$. Doordat dit verschil kleiner wordt, winnen de K_o en R_o (die zoals beschreven in paragraaf 5.1 bepalend zijn voor de factor a_1) aan invloed op het uiteindelijke resultaat van M_{opt} . Aangezien deze 2 parameters groter zijn voor een kleinschalige installatie, ligt de grafiek voor de kleinschalige installatie na het snijpunt vanboven.

Het uiteindelijke verloop van M_{opt} wordt vervolgens verkregen door de machtsverheffing tot $1/(1,5-s)$ door te voeren.



Figuur 6: Invloed van het schaalvoordeel op $\left(2 \times \frac{a_1}{a_2} (1-s) \times M_o^{1-s} \right)$



Figuur 7: Inzoom op figuur 6

5.3.4 Conclusies

Een eerste parameter die de sensitiviteitsanalyse onderzocht was de transportkost. Deze parameter bleek veruit de meeste invloed te hebben op zowel de nodige investering in het Fiala-model als de optimale grootte in beide modellen. Wanneer de transportkost gehalveerd werd, namen de nodige investering en de optimale grootte sterk toe omdat. Wel was deze invloed op de optimale grootte veel groter in het Jenkins-model.

Daarnaast werd ook de invloed van de bezettingsgraad op de optimale grootte getest. Wanneer de bezettingsgraad slechts 50% bedroeg in plaats van 100% in de referentiecasse, nam de optimale grootte af voor allebei de modellen. De nodige investering ondervond hetzelfde effect als de optimale grootte. Het effect op de productiekost en de optimale straal was echter een toename bij halvering van de bezettingsgraad.

Een derde parameter die van belang bleek te zijn, is de efficiëntie. In het Jenkins-model zorgt een toename van de efficiëntie voor een toename van de optimale grootte en een daling van de productiekost. Een toename van de rendementen (elektrisch en thermisch) zorgt ook in het Fiala-model voor een toename van het optimaal installeerbare vermogen. Om optimaal te zijn, moet een efficiëntere installatie dus groter zijn. Daarnaast was er ook een recht evenredig verband tussen de efficiëntie en de nodige investering. Wat ook opviel was dat de invloed van de elektrische efficiëntie hoger lag dan de invloed van de thermische efficiëntie.

Hoewel in het Jenkins-model de oppervlakte geen invloed heeft op de optimale grootte en de invloed op de productiekost te verwaarlozen is, heeft de straal volgens de sensitiviteitsanalyse in het Fiala-model wel veel invloed. Zowel de nodige investering als de vermogens nemen toe als de straal toeneemt.

Een parameter uit het Jenkins-model die geen invloed bleek te hebben was het laadvermogen. Hoe groot de vrachtwagen is, is bijgevolg van geen belang.

De marktwaarde van de GSC was de volgende parameter in het Fiala-model die onderzocht werd. Deze had volgens de sensitiviteitsanalyse enkel invloed op de nodige investering. De optimale grootte werd hierdoor niet beïnvloed. Voor een vergistingsinstallatie was het effect groter dan voor de andere twee installaties.

Een laatste parameter van het Jenkins-model die onderzocht werd was het schaalvoordeel. Hierdoor kon een verklaring gevonden worden voor het feit dat bij de referentiecasses de kleinschalige verbrandingsinstallatie een groter optimaal vermogen had dan de grootschalige

installatie. De waarde van het schaalvoordeel beïnvloedt namelijk hoe de waarden van de optimale grootte van klein- en grootschalige verbrandingsinstallatie ten opzichte van elkaar evolueren. Dit werd vooral duidelijk uit figuur 4 en 7.

Samenvattend kan gesteld worden dat volgende parameters (van de onderzochte parameters) een invloed hebben op de optimale grootte:

- Wanneer de transportkost daalt, neemt de optimale grootte toe in beide modellen;
- Een daling van de bezettingsgraad zorgt voor een daling van de optimale grootte in beide modellen;
- De efficiëntie heeft ook een verband met de optimale grootte in beide modellen: een toename van deze efficiëntie (elektrisch of thermisch) zorgt namelijk voor een toename van de optimale grootte.
- In het Fiala-model heeft ook de straal een invloed op de optimale grootte. Een toename van de straal laat de optimale grootte ook toenemen.
- Als laatste parameter met invloed in het Jenkins-model kan het schaalvoordeel opgenoemd worden. De invloed is echter niet lineair. Het schaalvoordeel is recht evenredig met de optimale grootte tot een bepaald. Na dit punt zorgt een verdere toenames van het schaalvoordeel voor een daling van het optimale vermogen.

Daarnaast kan besloten worden dat de twee modellen ook op dit vlak erg verschillen. Sommige parameters, zoals de transportkost en de bezettingsgraad, hebben in het Jenkins-model meer invloed op de optimale grootte dan in het Fiala-model. Daarnaast zijn er ook parameters, zoals de oppervlakte, die geen invloed hebben op de optimale grootte in het Jenkins-model maar wel in het Fiala-model. Welk het 'beste' model is, is moeilijk te besluiten vermits beide modellen hun voor en nadelen hebben. Maar vermits de invloed van enkele onderzochte parameters (zoals transportkost en bezettingsgraad en efficiëntie) in beide modellen dezelfde is, zij het in grotere of kleinere mate, kan toch besloten worden dat deze sensitiviteit te vertrouwen is. Bij het bepalen van de grootte van de installatie is het bijgevolg aan te raden deze parameters te onderzoeken vermits deze parameters belangrijk zullen zijn voor de optimale grootte en het effect van de parameters op deze optimale grootte gekend is.

Wat ook volgt uit deze analyse, is dat de typen installaties sterk van elkaar verschillen. De nodige investering voor een vergistingsinstallatie is bijvoorbeeld gevoeliger voor veranderingen in de parameters. Voorbeelden hiervan zijn de invloed van de transportkost, de bezettingsgraad en de marktwaarde van GSC op deze nodige investering.

6 Algemene conclusies

De Kempense bodem is door de jarenlange non-ferro-industrie vervuild geraakt met zware metalen. Doordat cadmium, één van de metalen waarmee de bodem vervuild is, een hoge mobiliteit heeft, wordt het gemakkelijk opgenomen door planten. Wanneer mensen eten van gewassen, geteeld op de vervuilde bodem, kunnen zij de cadmium opnemen wat schadelijk is voor de gezondheid. Doordat de planten de zware metalen opnemen voldoen ze niet aan de Europese normen en kunnen ze bijgevolg niet verkocht worden. Een mogelijke oplossing hiervoor is het telen van gewassen die niet voor consumptie bedoeld zijn. Deze 'energieteelten' kunnen vervolgens ingezet worden in de productie van groene energie door de biomassa te verwerken tot elektriciteit en warmte.

Een eerste conclusie die volgt uit de literatuurstudie, is dat er veel soorten biomassa bestaan maar dat niet al deze soorten kunnen ingezet worden in de Kempen. De gebruikte biomassa moet immers de zware metalen uit de bodem kunnen opnemen. Daarenboven moeten ze ook een hoge biomassaproductie opleveren. Twee biomassasoorten die op basis hiervan in aanmerking komen zijn maïs en korte-omloophout (populier en wilg). Deze biomassasoorten werden daarom in dit werk toegepast.

De biomassa moet vervolgens verschillende fasen ondergaan namelijk de voorbereiding, het transport, de opslag en de verwerking. De voorbereiding kan op veel verschillende manieren gebeuren, afhankelijk van de soort biomassa. Voor hout is vooral het verkleinen en drogen van de biomassa nodig. Maïs wordt tijdens de oogst verhakseld en daarna ingekuuld.

Vermits de economische analyse aandacht besteed aan de economische rendabiliteit van de verwerkingsinstallaties, spitste het verder onderzoek zich toe op installaties die biomassa van energieteelten verwerken tot groene energie. Er bestaan diverse installaties die deze verwerking kunnen uitvoeren. Vermist reeds gekozen werd om korte-omloophout en maïs te gebruiken, werd gekozen voor verwerkingsmethoden die deze biomassasoorten kunnen verwerken tot energie. De keuze viel daarom op de verbranding en co-verbranding van hout en de vergisting van maïs.

Vervolgens werd de wetgeving voor de gekozen verwerkingsinstallaties onderzocht. Voor de verbranding van hout zijn het Vlare I en II van toepassing. Het Vlare I vermeld procedures voor het aanvragen van een milieuvergunning. Deze procedure wordt bepaald door de klasse waartoe de activiteit behoort. Op basis van de indelingslijst in bijlage 1 van het Vlare I kan een kleinschalige verbrandingsinstallatie gerangschikt worden als klasse 2. Een grootschalige verbrandingsinstallatie behoort tot klasse 1. Aanvragen moeten daarom voor grootschalige,

respectievelijk kleinschalige verbrandingsinstallaties bij de bestendige deputatie van de provincie, respectievelijk bij het college van burgemeesters binnen gebracht worden. In het Vlare II vervolgens is ondermeer een tabel opgenomen met de emissiegrenswaarden waar een verbrandingsinstallatie zich aan moet houden. Deze waarden liggen hoger voor een kleinschalige verbrandingsinstallatie.

In verband met een vergistingsinstallatie probeert omzendbrief RO/2006/01 duidelijkheid te scheppen. Een samenvatting van deze omzendbrief is dat grootschalige vergistingsinstallaties niet in agrarisch gebied mogen ingeplant worden. Kleinschalige vergistingsinstallaties kunnen onder bepaalde voorwaarden wel ingeplant worden in een agrarisch gebied.

Verder werden ook enkele kritische succesfactoren besproken. Hieruit bleek dat de kost die betaald moet worden voor de biomassa bepalend is voor de rendabiliteit van een installatie. Daarnaast werd ook het beleid genoemd. Het is bijgevolg van belang dat er een duidelijk kader wordt gecreëerd zoals met decreten en omzendingen.

Hierna volgde de economische analyse waarbij onder andere de kosten van de voorbewerking werden besproken. Voor hout bleek het natuurlijk drogen goedkoper dan drogen op kunstmatige manier. Voor maïs werden de kosten van het inkuilen gegeven. De kosten in verband met de werking van de installatie zoals de investerings-, de kapitaal- en de werkingskost volgen daarna. Deze blijken lager te liggen voor een vergistingsinstallatie dan voor een verbrandingsinstallatie. Voor co-verbrandingsinstallatie is enkel de additionele investeringskost belangrijk. Deze liggen hoger voor indirecte meestook.

De toepassing van hernieuwbare bronnen wordt ondersteund door de overheid met verschillende steunmaatregelen. De steunmaatregelen die van toepassing zijn op investeringen voor installaties die hout of maïs (co)verbranden of vergisten zijn de ecologiesteun en de verhoogde investeringsaftrek. Andere steunmaatregelen komen niet in aanmerking omdat ze ofwel niet cumuleerbaar zijn met ecologiesteun (zoals de groeipremie) ofwel enkel van toepassing zijn op landbouwers (zoals de steun voor energiegewassen). Daarenboven komen de in dit werk onderzochte installaties ook in aanmerking voor Vlaamse groenestroomcertificaten (GSC) en warmtekrachtkoppelingcertificaten (WKC).

Na deze economische aspecten volgde de analyse van de optimale grootte van een biomassa verwerkingsinstallatie. Hiervoor werden de modellen uit Fiala et al. (1997) en Jenkins (1997) gebruikt. De werkwijze van deze modellen verschilt sterk van elkaar. Zo maakt het Fiala-model gebruik van kosten en opbrengsten om de optimale grootte te berekenen terwijl het Jenkins-model enkel de kosten in rekening brengt. Deze modellen werden licht aangepast zodat ook rekening gehouden werd met de te verkrijgen steunmaatregelen.

Door de parameters van beide modellen in te vullen met zo realistisch mogelijk waarden, werd voor elke situatie (verbranden van hout, co-verbranden van hout en vergisten van maïs) een referentiecasse bekomen. Beide modellen berekenen op die manier de optimale grootte van de installatie. Daarnaast gaf het Jenkins-model ook de gerelateerde productiekost. Het Fiala-model leverde naast de optimale grootte ook de nodige investering en de optimale oppervlakte op. De resultaten die deze referentiecasses opleverden voor de optimale grootte verschillen redelijk tussen de twee modellen. Daarnaast waren sommige resultaten niet echt realistisch. Voor de verbrandingsinstallatie lagen de resulterende waarden voor de optimale straal en grootte redelijk hoog.

Na deze eerste analyse werden de referentiecasses onderworpen aan een sensitiviteitsanalyse. Hieruit volgde dat verschillende parameters invloed hebben op de optimale grootte.

- De transportkost is omgekeerd evenredig met de optimale grootte, een halvering van deze kost zorgt namelijk voor een toename van het optimale installeerbare elektrische vermogen met 58,74% (Fiala) respectievelijk een toename van de optimale grootte van 228,96% (Jenkins).
- Wanneer de bezettingsgraad afneemt van 100% tot 50%, neemt in het Jenkins-model de optimale grootte van de installatie af met 44,86%. In het Fiala-model heeft deze afname van de bezettingsgraad een daling van het optimale installeerbare elektrische vermogen van 20,63% tot gevolg.
- Ook de efficiëntie heeft invloed op de optimale grootte. Jenkins geeft bij een toename van deze efficiëntie van 30 naar 35% een toename van de optimale grootte van respectievelijk 32,41% (verbranding, grootschalig); 26,34% (co-verbranding, direct) en 17,28% (vergisting). Het Fiala-model maakt een onderscheid tussen elektrische efficiëntie. Een toename van de elektrische efficiëntie van 30 naar 35% zorgt voor een toename van het optimale elektrisch installeerbare vermogen van 16,67% voor zowel de verbrandings- als de vergistingsinstallatie. Eenzelfde toename van de thermische efficiëntie zorgt voor eenzelfde toename van het optimale thermische installeerbare vermogen. Bij de co-verbranding nam de elektrische efficiëntie toe van 39,5 naar 45%. De thermische efficiëntie bedroeg 50% in plaats van 46%. Dit zorgde voor een toename van de installeerbare vermogen van respectievelijk 13,93% (elektrisch) en 8,70% (thermisch).
- Aantal subregio's, het laadvermogen en de oppervlakte hebben in het Jenkins-model geen invloed op optimale grootte.
- In het Fiala-model zijn er ook parameters die geen invloed hebben op het optimaal installeerbare elektrische vermogen, bijvoorbeeld de marktwaarde van de GSC.
- De straal had in het Fiala-model wel invloed op het optimaal installeerbare elektrische vermogen. Een toename van ongeveer 13% in de straal zorgde voor een toename van ongeveer 38% voor de drie typen installaties.

- Een laatste parameter die onderzocht werd was het schaalvoordeel. De invloed van deze parameter is echter niet rechtlijnig. Een toename van het schaalvoordeel zorgt voor een stijging van de optimale grootte. Maar na een bepaald punt, zorgt een verder toename van deze parameter voor een daling van deze optimale grootte.

Ook uit de sensitiviteit blijkt dat de modellen sterk van elkaar verschillen. De invloed die de verschillende parameters hebben op de resultaten is namelijk afhankelijk van het model. De modellen verschillen sterk van elkaar. Een mogelijke verklaring hiervoor is hun verschillende werkwijze. Fiala et al. (1997) werken immers zowel met kosten als opbrengsten terwijl Jenkins (1997) enkel de kosten in rekening brengt. Daardoor hebben de verschillende parameters andere invloeden binnen het model. Wat juist aan de basis ligt van de grote verschillen tussen de twee modellen, kan misschien een aanleiding zijn tot verder onderzoek.

Wanneer een biomassaproject opgestart wordt, moet rekening worden gehouden met allerlei aspecten. Eerst moet de soort biomassa gekozen worden, daarna moet bekeken worden op welke manier deze biomassa zal verwerkt worden. Vervolgens kan nagegaan worden welke wetgeving op de gekozen verwerkingsinstallatie van toepassing is en welke vergunningen moeten aangevraagd worden. Voor het economische deel van het project is de optimale grootte van de in te planten installatie van belang. Een project is enkel haalbaar als de installatie zelf rendabel is. Om deze optimale grootte te berekenen, is heel wat informatie nodig. Zo spelen de transportkost, de bezettingsgraad, de efficiëntie van de installatie, de oppervlakte van het gebied, en eventuele schaalvoordelen een rol bij de bepaling van de optimale grootte.

Lijst geraadpleegde werken

Bibliografie

Actief Bodembeheer de Kempen (2005), *Grensoverschrijdend milieuproject, Vlaanderen en Nederland werken samen in BeNeKempen*, nr. 6, Projectbureau Actief Bodembeheer de Kempen.

Amon T., Amon B., Kryvoruchko V., Machmüller A., Hophner-Sixt K., Bodiroza V., Hrbek R., Friedel J., Pötisch E., Wagenristl H., Schreiner M. en Zollitsch W. (2007), *Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations*, *Biosource Technology*, nr. 98, p. 3204 – 3212.

Boehmel C., Lewandowski I. en Claupein W. (2008), *Comparing annual and perennial energy cropping systems with different management intensities*, *Agricultural Systems*, nr. 96, p. 224 – 236.

Boer H.C. de, Duinkerken G. van, Philipsen A.P. en Schooten H.A. van (2003), *PraktijkRapport Rundvee 27, Alternatieve Voedergewassen*, Wageningen UR.

Bridgewater A.V., Toft A.J. en Brammer J.G. (2002), *A techno-economic comparison of power production by biomass fast pyrolysis with gasification and combustion*, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, nr. 6, p. 181-248.

Calus A., Dumoulin A., Ghekiere G., Mattheeuws B., Platteau W., Tavernier P., Vanwalleghem J., Velghe F., Verstrynghe B. en Willaert L. (2007), *Vergisting op boerderijschaal, techniek, grondstoffen en eindproducten*, POVLT, Rumbeke-Beitem.

Cameron J.B., Kumar A. en Flynn P.C. (2007), *The impact of feedstock cost on technology selection and optimum size*, *Biomass & Bioenergy*, nr. 31, P. 137 – 144.

Caputo A.C., Palumbo M., Pelagagge P.M. en Scacchia F. (2005), *Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants: effects of logistic variables*, *Biomass & Bioenergy*, nr. 28, p. 35-51.

Cidad V.G., Mathijs E., Nevens F. en Reheul D. (2003), *Energiegewassen in de Vlaamse Landbouwsector*, Steunpunt beleidsrelevant onderzoek Duurzame Landbouw.

Devriendt N. en Vanderstraeten P. (2003), *Studie optimale energetische valorisatie van houtafval*, VITO in opdracht van ANRE.

Devriendt N., Briffaerts K., Lemmens B., Theunis J. en Vekemans G. (2004), *Hernieuwbare warmte uit biomassa in Vlaanderen*, VITO, studie in opdracht van ANRE.

Drift A. van der, Doorn J. van, Derijcke E. en Uitzinger J. (2007), *Warmte uit biomassa, Vergelijking van de opties bioWK, kachel en SNG*, ECN in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken.

Ehlert P., Kuikman P., Oudendag D. en Zwart K. (2006), *Duurzaamheid co-vergisting van dierlijke mest*, Wageningen, Alterra-rapport1437, in opdracht van Senternovem, uitgeverij Cereales.

Faaij A.P.C. (2006), *Bio-energy in Europe: changing technology choices*, Energy Policy, nr. 34, p. 322-342.

Fiala M., Pellizzi G. en Riva G. (1997), *A Model for the Optimal Dimensioning of Biomass-fuelled Electric Power Plants*, Silsoe Research Institute, nr. 67, p. 17-25.

French C.J., Dickinson, N.M. en Putwain P.D. (2006), *Woody biomass phytoremediation of contaminated brownfield land*, Environmental Pollution, nr. 141, p. 387-395.

Goossens S. (2007), *Warmtekrachtkoppeling met droge vergisting van energiegewassen: haalbaarheidsstudie*, VLAO, studie uitgevoerd met de steun van de Europese Unie, de provincie Oost-Vlaanderen en de Vlaamse Gemeenschap.

Govaerts L., Pelkmans L., Dooms G., Hamelinck C., Geurds M., De Vlieger I., Schrooten L., Ooms K. en Timmermans V. (2006), *Potentieelstudie biobrandstoffen in Vlaanderen*, VITO & 3E, Studie uitgevoerd in opdracht van ANRE en ALT.

Hernández-Allica J., Becerill J.M. en Garbisu C (2008), *Assessment of the phytoextraction potential of high biomass crop plants*, Environmental Pollution, nr. 152, p. 32-40.

Jacobs A., Gielen B., Van Tomme I., De Roock CH. En Dijkmans R. (2003), *Beste beschikbare technieken (BBT) voor de houtverwerkende nijverheid*, VITO.

Jenkins (1997), *A comment on the optimal sizing of a biomass utilization facility under constant and variable cost scaling*, Biomass and Bioenergy, nr. 13, p. 1-9.

Kempenaar C., Brink L.v.d., Bus C.B., Groten J.A.M., Visser C.L.M. de en Lotz L.A.P. (2003), *Gangbare landbouwkundige praktijk en recente ontwikkelingen voor vier akkerbouwgewassen in Nederland*, Plant Research International B.V., Wageningen.

Laveren E., Engelen P.-J., Limère A. en Vandemaele S. (2004), *Handboek financieel beheer*, Intersentia Antwerpen-Oxford.

Martinez-Perez N., Cherryman S.J., Premier G.C., Dinsdale R.M., Hawkes D.L., Hawkes F.R., Kyazze G. en Guwy A.J. (2007), *The potential for hydrogen-enriched biogas production from crops: Scenarios in the UK*, Biomass & Bioenergy, nr. 31, p. 95 – 104.

Mercken R. (2004), *De investeringsbeslissing Een beleidsgerichte analyse*, Garant Antwerpen-Apeldoorn.

Moorkens I., Claes K., Polders C. en Vercaemst P. (2005), *Onrendabele toppen van duurzame elektriciteitsopties in Vlaanderen*, VITO in opdracht van ANRE.

Murphy J.D. en Carthy K. (2005), *The optimal production of biogas for use as a transport fuel in Ireland*, Renewable Energy, nr. 30, p. 2111-2127.

Neyens J. (2006), *Advies van ODE-Vlaanderen en Biogas-E over de studie "Onrendabele toppen van duurzame elektriciteitsopties in Vlaanderen"*, ODE-Vlaanderen.

Noord M. de en Sambeek E.J.W. van (2003), *Onrendabele top berekeningsmethodiek*, ECN in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken.

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

ODE-Vlaanderen (2001), *Biomassa*, ODE Vlaanderen met steun van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Alfons Maes, EPO, Berchem.

ODE-Vlaanderen (2006), *Vergisting. Omzetten van biomassa in een energierijk gas*, ODE-Vlaanderen, drukkerij Geers.

Omzendbrief RO/2006/01, *Afwegingskader/randvoorwaarden inplanting van installaties voor mestbehandeling en vergisting*.

Pulford I.D. en Watson C. (2003), *Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees – a review*, Environment International, nr. 29, p.529-540.

Reddy M.S., Basha S., Joshi H.V., Kumar S., Jha B. en Ghosh P.K. (2005), *Modeling the energy content of combustible ship-scraping waste at Alang–Sosiya, India, using multiple regression analysis*, Waste Management, nr. 25, p.747–754.

Ree R. van, Gerlagh T., Groenendaal B., Dinkelbach L., Doorn J. van en Hemmes K. (2000a), *Kritische succesfactoren biomassa. Identificatie/Specificatie Kritische Succesfactoren bij de Ontwikkeling en de Marktintroductie van Biomassaconversiesystemen voor de Productie van Elektriciteit en/of Warmte en/of Gasvormige/Vloeibare Secundaire Energiedragers*; ECN.

Ree R. van, Korbee R., Lange T. de, Eenkhoorn S. en Groenendaal B. (2000b), *Mee-/bijstookpotentiaal biomassa in kolengestookte en aardgas-gestookte installaties*, ECN.

Ryckaert I., Holmstock K. en Chow T.T. (2006), *Landbouw en Energie*, Vlaamse overheid Departement Landbouw en Visserij.

Schooten H. van, Philipsen B. en Groten J., (2006), *Handboek snijmais*, Animal Sciences Group/Praktijkonderzoek, Wageningen.

Sokhansanj S. en Eng P. (2006), *Cost benefit of biomass supply and pre-processing*, Biocap.

Steunpunt Milieu en Gezondheid (2004), *Zware metalen in de Noorderkempen, de Gezondheidsinspectie laat van zich horen ...*, Steunpunt Milieu en Gezondheid.

Tijmensens M.J.A., Mombarg H., Broeck R.C.A. van den en Wasser R. (2002), *Haalbaarheid van co-vergisting van oogstresten in de mestvergister De Wieringermeer*, Ecofys bv en Centrum voor Landbouw en Milieu.

Tilburg X. van (2006), *Onrendabele Topberekening Zelfstandige biomassainstallaties: hout klein- en grootschalig*, ECN in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken.

Tilburg X. van, Cleijne J.W., Pfeiffer E.A., Lensink S.M., Mozaffarian M. en Wakker A. (2008), *Technisch-economische parameters van duurzame elektriciteitsopties in 2008-2009. Eindadvies basisbedragen voor de SDE-regeling*, ECN in samenwerking met KEMA en in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken.

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

Vanes F.R. en Verheirstraeten A. (1978), *De geld- en kapitaalmarkt – 1*, Acco Leuven, vierde herziene uitgave.

Verbeke W. in samenwerking met vzw Hout (2001), *Hout, eigenschappen en soortherkenning*, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap AMINAL – Afdeling Bos & Groen, Geers Offset NV.

Vervaeke P., Luysaert S., Mertens J., Meers E., Tack F.M.G. en Lust N. (2003), *Phytoremediation prospects of willow stands on contaminated sediment: a field trial*, Environmental Pollution, nr. 126, p. 275-282.

Vlaamse Regering (2004), *Beleidsnota energie en natuurlijk rijkdommen 2004-2009*, neergelegd door Kris Peeters, Vlaams minister van Openbare Werken, Energie, Leefmilieu en Natuur.

Vlao (2008), *Subsidieleidraad voor het bedrijfsleven. U werkt energie- en milieubewust*, Vlaams Agentschap Ondernemen.

Welink J.-H. en Koogh E. van der, (2004), *Energie uit afval en biomassa. Een handleiding bij het kiezen van methoden*, DUP Satellite.

Wiersma G. en Berg W.J. van den (2004), *Biomassa ketens: energetisch en economisch vergeleken*, KNN Milieu BV.

Wijholds K.H. (2008), *Energieteelt in de Veenkoloniën 2006*, Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V., in opdracht van Dienst Landelijk Gebied en gefinancierd door Stuurgroep Agenda voor de Veenkoloniën.

Sitografie

Agentschap Economie & Vlaams Energieagentschap (2007), *Limitatieve technologieënlijst*, online, geraadpleegd op 24 april 2008

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL: http://www.vlaanderen.be/NASApp/cs/ContentServer?pagename=MVG_AEO_ECO/Page/S howPage&id=1072097517343&divIK=1076408604572&loggedIn=no>

Agentschap Economie van de Vlaamse Overheid, *Groeipremie voor KMO*, online, geraadpleegd op 27 maart 2008-03-28

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL: http://ewblpublicatie.vlaanderen.be/servlet/ContentServer?c=Page&pagename =Ondernemen%2FPage%2FMVG_CMS4_VT_Special_Subnav&cid=1195700506784>

Agentschap Economie, Vlaamse Overheid (2008), *Groeipremie voor KMO*, online, geraadpleegd op 28 maart 2008

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL: http://ewbl-publicatie.vlaanderen.be/servlet/ContentServer?c=Page& pagename =Ondernemen%2FPage%2FMVG_CMS4_VT_Special_Subnav&cid= 1195700506784>

Ashton S. en Cassidy P. (2007), *Energy basics fact sheet 5.8, Sustainable Forestry for Bioenergy and Bio-based Products: Trainers Curriculum Notebook*, p. 189-192, online, geraadpleegd op 27 maart 2008

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL: <http://www.forestbioenergy.net/training-materials/fact-sheets/module-5-fact-sheets/fact-sheet-5-8-energy-basics>>

BBT-kenniscentrum (2001), *Coverbranding: elektriciteitscentrale*, VITO, online, geraadpleegd op 18 december 2007

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL: <http://www.emis.vito.be/AFSS/fiches/Technieken/Elektriciteitscentrale.pdf>>

BiogaS International, *Biomassa vergisting installatie*, online, geraadpleegd op 24 mei 2008

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL: <http://www.biogas.nl/processtappen-bij-de-productie-van-biogas/>>

Biogas-E, Subsidies, online(a), geraadpleegd op 8 februari 2008

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL: <http://www.biogas-e.be/Wetgeving/Subsidies.htm>>

Biogas-E, *Vergisting, Eindproducten, Energie uit biogas*, online(b), geraadpleegd op 24 mei 2008

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL:http://www.biogas-e.be/Vergisting/Eindproducten/Energie_uit_biogas.htm>

Emis (2006), *Hervorming groeipremie*, online, geraadpleegd op 8 februari 2008

Dit document is beschikbaar op volgend webadres:

<URL: http://www.emis.vito.be/index.cfm?PageID=45&News_ID=1898>

Envirodesk (2007), *BeNeKempen: grensoverschrijdend project bodemsanering*, online,

geraadpleegd op 8 mei 2007

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL:<http://www.envirodesk.be/site/news.asp?module=NEWS&level=DETAILS&newsId=1808>>

Europese Commissie Directoraat-generaal Landbouw en plattelandsontwikkeling, *Steun voor energiegewassen*, online, geraadpleegd op 27 maart 2008

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL: http://ec.europa.eu/agriculture/capreform/infosheets/energy_nl.pdf>

FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie – Algemene Directie Statistiek en Economische Informatie, *Conversietabel NaceBel 2003 – Nace-Bel 2008*, online, geraadpleegd op 21 april 2008

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL:http://www.statbel.fgov.be/figures/nacebel2008_nl.asp>

FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie (2004), *Arbeidskosten en gewerkte uren per sector*, online, geraadpleegd op 26 maart 2008

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL:http://statbel.fgov.be/figures/d321_nl.asp#5>

Glasreg, Technische adviesdienst energie glastuinbouw (2005), *Energieprijzen vergelijken*, online, geraadpleegd op 26 maart 2008

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL:<http://glasreg.khk.be/energie/publicaties/Energieprijzenvergelijken.pdf>>

Milieu Centraal, *Hout stoken*, online, geraadpleegd op 18 december 2007

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL: <http://www.milieucentraal.nl/pagina?onderwerp=Hout%20stoken>>

NME-Steunpunt De Mieden, *Biomassaverfassers en –vergisters*, online, geraadpleegd op 24 mei 2008

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL:<http://www.nme-demieden.nl/pages/pagina.aspx?id=46b40bb7-0eab-4af7-aa42-40f8b313127c&s=1>>

ODE-Vlaanderen, *Biomassa: een duurzame energiebron?*, online, geraadpleegd op 13 mei 2007

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL:http://www.ode.be/index.php?option=com_content&task=category§ionid=12&id=105&Itemid=453>

OVAM (2003-2006a), *Intereg-project BeNeKempen*, online, geraadpleegd op 8 mei 2007

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL:<http://www.ovam.be/jahia/Jahia/pid/1079>>

OVAM (2003-2006b), *Werkgroep Landbouw*, online, geraadpleegd op 13 mei 2007

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL:<http://www.ovam.be/jahia/Jahia/pid/1586>>

OVAM (2003-2006c), *Werkgroep Natuur*, online, geraadpleegd op 8 mei 2007

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL:<http://www.ovam.be/jahia/Jahia/pid/1587>>

OVAM (2003-2006d), *Zware metalen in de Kempen*, online, geraadpleegd op 8 mei 2007

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL:<http://www.ovam.be/jahia/Jahia/pid/1563>>

Tombeur G. (2004), *Vergelijking calorische waarden en prijzen van diverse brandstoffen*, online, geraadpleegd op 26 maart 2008

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL:<http://users.telenet.be/annette-guy/calc/energie.htm>>

Unizo (2008), *Unizo Startwijzer- ondernemingsvormen*, online, geraadpleegd op 19 april 2008

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL:<http://www.unizo.be/starters/viewobj.jsp?id=57621>>

Vlaams energieagentschap, *Bio-energie uit biomassa*, online, geraadpleegd op 13 mei 2007

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL:http://www.energiesparen.be/duurzame_energie/biomassa/bioenergie.php>

Vlaamse Overheid beleidsdomein Landbouw en Visserij, *VLIF-steun voor vestiging, investeringen, en groeperingen*, online, geraadpleegd op 27 maart 2008

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL: <http://lv.vlaanderen.be/nlapps/docs/default.asp?id=191>>

Vlaamse Overheid, Agentschap Economie en Vlaams Energieagentschap (2008), *Limitatieve technologieënlijst*, online, geraadpleegd op 19 april 2008

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL: <http://ewbl-publicatie.vlaanderen.be/Uploads/LTL-call-200801-persector,0.pdf>>

Vlaamse Regering (1991), *Titel I van het Vlarem. Besluit van de Vlaamse Regering van 6 februari 1991 houdende vaststelling van het Vlaamse reglement betreffende de milieuvergunning*, gecoördineerde versie 1 juni 2007, geraadpleegd op 27 december 2007

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL:http://www.mina.be/uploads/vlarem_i_versie_2008_01_01.pdf >

Vlaamse Regering (1995), *Titel II van het Vlarem. Besluit van de Vlaamse Regering van 1 juni 1995 houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne*, gecoördineerde versie 1 juni 2007, geraadpleegd op 27 december 2007

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL:http://www.mina.be/uploads/vlarem_ii_versie_2008_01_01.pdf >

Voka, *Steu maatregelen hernieuwbare energie en R.E.G.*, online, geraadpleegd op 27 maart 2008

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL:<http://www.voka.be/milieu/infotheek/energieadvies/Documents/Dossier%20Steu maatregelen%20energie.pdf>>

VREG (2008a), *Aantal verhandelde groenestroomcertificaten en gemiddelde prijs*, online, geraadpleegd op 19 april 2008

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL:<http://www.vreg.be/vreg/documenten/Statistieken/54946.pdf>>

VREG (2008b), *Aantal verhandelde warmtekrachtcertificaten en gemiddelde prijs*, online, geraadpleegd op 19 april 2008

Dit document is raadpleegbaar op volgend webadres:

<URL:<http://www.vreg.be/vreg/documenten/statistieken/54945.pdf>>

Bijlagen

Bijlagen

Inhoudsopgave van de bijlagen

Bijlage 1 Indelingslijst Vlarem I

Bijlage 2 Procedure voor klasse 1 inrichtingen

Bijlage 3 Toelichting bij tabel 10

Bijlage 4 Berekeningen in verband met WKK-certificaten

Bijlage 5 Steunmaatregelen toegepast

Bijlage 6 Gegevenstabellen voor verbranding van hout

Bijlage 7 Gegevenstabellen voor co-verbranding van hout

Bijlage 8 Gegevenstabellen voor vergisting van energiemais

Bijlage 9 Inpuutabel referentiecasses Fiala

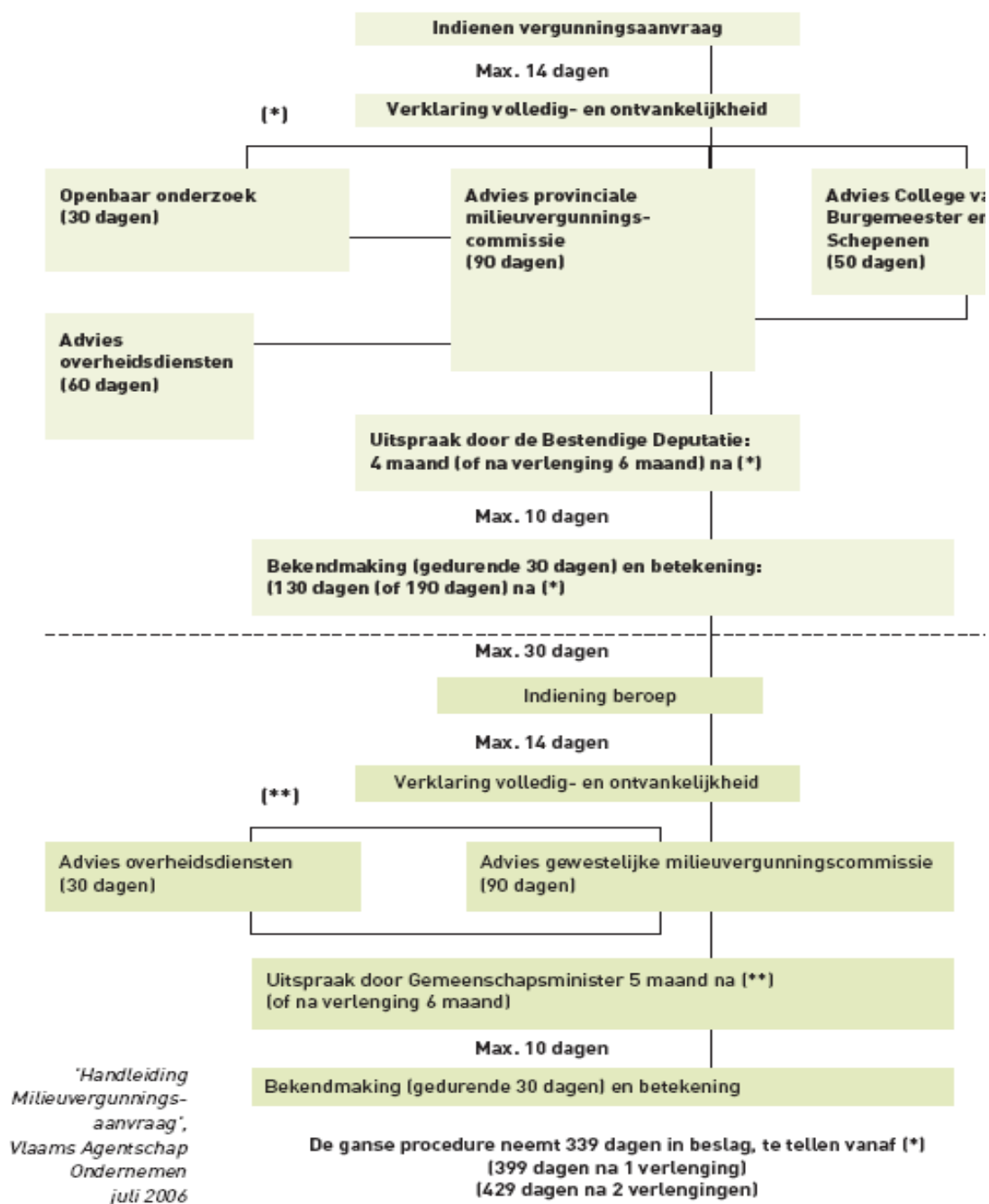
Bijlage 10 Inpuutabel referentiecasses Jenkins

Bijlage 1 Indelingslijst Vlarem I (Vlaamse Regering, 1991)

Rubriek	Omschrijving en Subrubrieken	Klasse
2.3.4	<p>Opslag en verbranding of meeverbranding, al dan niet als experiment, met of zonder energiewinning en met of zonder terugwinning van stoffen van:</p> <p>Uitzondering: Het verbranden van onbehandeld stukhout in houtkachels voor de verwarming van woonverblijven en werkplaatsen, in sfeerverwarmers en gelijksoortige toestellen met een nominaal thermisch vermogen van maximaal 300 kW, is geen inrichting voor de verwerking van afvalstoffen.</p>	
2.3.4.1	<p>Opslag en verbranding van:</p> <p>a) biomassa-afval</p> <p>1°</p> <ul style="list-style-type: none"> - plantaardig afval van land- en tuinbouw - onbehandeld houtafval, met een nominaal thermisch vermogen van: <ul style="list-style-type: none"> 1) tot en met 5 MW 2) meer dan 5 MW <p>2° niet verontreinigd behandeld houtafval, met een nominaal thermisch vermogen van: <ul style="list-style-type: none"> 1) tot en met 5 MW 2) meer dan 5 MW </p>	<p>2</p> <p>1</p> <p>2</p> <p>1</p>
2.3.4.2	<p>Opslag en medeverbranding van:</p> <p>a) biomassa-afval</p> <p>1°</p> <ul style="list-style-type: none"> - plantaardig afval van land- en tuinbouw - onbehandeld houtafval, met een nominaal thermisch vermogen van: 	

	1) tot en met 5 MW 2) meer dan 5 MW 2° niet verontreinigd behandeld houtafval, met een nominaal thermisch vermogen van: 1) tot en met 5 MW 2) meer dan 5 MW	2 1 2 1
43.	Verbrandingsinrichtingen <i>Verbrandingsinrichtingen waarin afvalstoffen worden verwerkt of worden verbrand zijn uitsluitend ingedeeld in rubriek 2.3.4. Indien afvalstoffen worden gebruikt als hulp- of toevoegbrandstof zijn zowel de rubriek 2.3.4. als 43. van toepassing</i>	
43.2	Verbrandingsinrichtingen met elektriciteitsproductie (thermische centrales), met inbegrip van het ombouwen ervan op een andere brandstof, met een totaal warmtevermogen van: 1° 300 kW tot en met 5 000 kW 2° meer dan 5 000 kW	2 1

AANVRAAG VOOR EEN MILIEUVERGUNNING KLASSE 1. PROCEDURESHEMA.



Bijlage 3 Toelichting bij tabel 10

- (1) KMO-vennootschappen zijn Belgische vennootschappen die aan de volgende voorwaarden voldoen: de aandelen of de delen van de vennootschap behoren voor meer dan de helft toe aan één of meer natuurlijke personen, deze aandelen moeten de meerderheid van het stemrecht in de vennootschap vertegenwoordigen.
- (2) Sinds het aanslagjaar 2007 is de gewone investeringsaftrek voor KMO-vennootschappen afgeschaft (zowel de éénmalige als de gespreide) als gevolg van de 'notionele interestaftrek' die vanaf aanslagjaar 2007 van kracht werd.
- (3) De gespreide aftrek voor gewone investeringen kan enkel worden toegepast indien de onderneming minder dan 20 werknemers tewerkstelt. Sinds aanslagjaar 2007 is de gespreide aftrek voor vennootschappen afgeschaft. Indien deze aftrek echter werd verleend voor een vroeger aanslagjaar, dan blijft de investeringsaftrek lopen voor de resterende periode ervan.
- (4) Om te kunnen genieten van de verhoogde investeringsaftrek voor energiebesparende investeringen moeten de investeringen opgenomen zijn in een bepaalde categorie. Een lijst van deze categorieën vindt u als bijlage in de brochure 'Subsidieleidraad – U werkt energie- en milieubewust'.
- (5) Sinds het aanslagjaar 2007 kunnen vennootschappen opteren voor het belastingskrediet voor onderzoek en ontwikkeling. Het fiscale voordeel wordt hierbij niet toegekend in de vorm van een aftrek van het fiscale resultaat, maar op de verschuldigde vennootschapsbelasting wordt er een belastingvermindering toegepast. Vennootschappen die kiezen voor dit belastingskrediet kunnen nooit meer de investeringsaftrek toepassen voor octrooien en milieuvriendelijke investeringen in onderzoek en ontwikkeling (zowel de éénmalige als de gespreide).
- (6) Milieuvriendelijke investeringen in onderzoek en ontwikkeling zijn investeringen in onderzoek en ontwikkeling van nieuwe producten en toekomstgerichte technologieën die geen negatief effect op het leefmilieu hebben of die het negatieve effect op het leefmilieu beogen te minimaliseren.
- (7) Voor de gespreide aftrek voor milieuvriendelijke investeringen in O&O is de voorwaarde van een tewerkstelling van minder dan 20 werknemers niet van toepassing.

- (8) Investerings met betrekking tot de productie en recyclage van herbruikbare verpakkingen geven recht op een aftrek van 3 %. Dit is niet relevant voor natuurlijke personen gezien het percentage van 3 % lager is dan de gewone investeringsaftrek van 3,5 %.
- (9) Deze categorie betreft de investeringen voor de beveiliging van de beroepslokalen; deze moeten aanbevolen en goedgekeurd zijn door ambtenaar belast met de adviezen inzake techno-preventie in de betrokken politiezone. Naast de KMO-vennootschappen hebben ook kleine vennootschappen recht op deze aftrek vanaf het aanslagjaar 2006. Kleine vennootschappen zijn vennootschappen met een gemiddeld personeelsbestand van minder dan 100 werknemers en die voor het laatst afgesloten boekjaar niet meer dan één van de volgende criteria overschrijden:
- gemiddeld personeelsbestand < 50 werknemers;
 - omzet < € 7 300 000;
 - en balanstotaal < € 3 650 000.
- (10) De investeringsaftrek van 30 % voor investeringen in zeeschepen is enkel van toepassing op vennootschappen die uitsluitend winst uit zeescheepvaart verkrijgen.
- (11) De investeringsaftrek is specifiek voor horeca-inrichtingen die investeren in een rookafzuigstelsel in een rookkamer.

Bijlage 4 Berekeningen in verband met WKK-certificaten (Vlao, 2007)

De relatieve primaire energiebesparing (RPEB) die bepaalt of een installatie kwalitatief is, wordt berekend op basis van volgende formule:

$$RPEB = 1 - \frac{1}{\frac{\alpha_e}{\eta_e} \times \frac{\alpha_E}{\eta_E}}$$

Het aantal te verkrijgen certificaten wordt bepaald aan de hand van de primaire energiebesparing (PEB) en een degressiefactor (X):

Aantal certificaten = primaire energiebesparing x degressiefactor

De twee factoren uit vorige formule worden als volgt berekend:

$$PEB = E \times \left(\frac{1}{\eta_E} + \frac{\alpha_e}{\alpha_E \times \eta_e} - \frac{1}{\alpha_E} \right)$$

$$X = \frac{RPEB - 0,002 \times (T - 48)}{RPEB}$$

Gedurende de eerst 48 maanden (4 jaren) is deze degressiefactor bijgevolg gelijk aan 1 waardoor het aantal certificaten gelijk is aan de PEB.

Symbolen

α_e = thermisch rendement van de WKK-installatie

η_e = thermisch rendement van de referentieketel: stoom 85 %, warm water 90 %, warme lucht 93 %, productie van koude 500 %. Indien de ontstane CO₂ in de tuinbouwsector wordt opgenomen door de geteelde producten, plus 10 %.

α_E = elektrisch rendement van de WKK-installatie

η_E = elektrisch rendement van de referentiecentrale. HS (< 15 kV) 55%, LS 50 %

E = hoeveelheid geproduceerde elektriciteit (MWh)

T = aantal maanden van ingebruikname van de installatie.

Bijlage 5 Steunmaatregelen toegepast

Ter illustratie volgt een voorbeeld uit ODE & VITO (2006) in verband met het toepassen van ecologiesteun en verhoogde investeringsaftrek. Deze steunmaatregelen zijn beiden van toepassing op de verbranding van houtpellets en houtsnippers.

De investering van € 25 000 (gelijk voor beide alternatieven) betreft een automatische ketel die met houtpellets/houtsnippers wordt gestookt om zo een gebouw te verwarmen met biomassa. Omdat deze investering voor de ecologiepremie beschouwd wordt als biomassaverbranding, bedraagt het percentage van de meerkost 80 % van de investering (exclusief BTW). Van dit bedrag wordt 35 % als steun verleend. Zo komen we op een bedrag van 7 000 euro ($=0,8 \times 0,35 \times 25\ 000$) voor beide alternatieven.

De verhoogde investeringsaftrek die in het voorbeeld wordt toegepast, bedraagt 14,5 %. Voor dit bedrag moet u dus geen winstbelasting (bedraagt 33 %) betalen. Daarenboven komen ook investeringen in gebouwen die noodzakelijk zijn voor het gebruik van de installatie in aanmerking. De ruimte die nodig is voor de opslag van zowel houtpellets als houtsnippers beslaat 70 % van de constructiekosten die respectievelijk € 20 000 bedragen voor houtpellets en € 25 000 voor houtsnippers. Deze 70 % komt dus samen met de investering in de ketel in aanmerking.

$$\text{Pellets:} \quad 25\ 000 + 0,7 \times 20\ 000 = 39\ 000$$

$$\text{Houtsnippers:} \quad 25\ 000 + 0,7 \times 25\ 000 = 42\ 500$$

De werkelijke baten bedragen vervolgens 33 % van 14,5 % van vorige bedragen:

$$\text{Pellets:} \quad 0,33 \times 0,145 \times 39\ 000 = 1\ 866$$

$$\text{Houtsnippers:} \quad 0,33 \times 0,145 \times 42\ 500 = 2\ 034$$

Dit brengt ons op een totale baat van € 8 866 voor pellets en € 9 034 voor houtsnippers.

Bijlage 6 Gegevenstabellen voor verbranding van hout

Technische gegevens in verband met de installatie

1. Aantal draaiuren per jaar

Bron	Capaciteit	Aantal draaiuren (u/jaar)
Fiala et al. (1997)	Niet gespecificeerd	7 000 (standaardwaarde)
Jenkins (1997)	25 MW (referentiewaarde)	6 575
Tilburg et al. (2007)	5 MWe	7 500
	30 MWe	7 500
Tilburg (2006)	5 MWe	7 500
	30 MWe	7 500
Caputo et al. (2005)	5 MW	8 000
	50 MW	8 000

2. Economische levensduur

Bron	Capaciteit	Economische levensduur (jaar)
Fiala et al. (1997)	Niet gespecificeerd	20 (standaardwaarde)
Jenkins (1997)	25 MW	20
Tilburg (2006)	5 MWe	10
	30 MWe	15
Caputo et al. (2005)	5MWe	20
	50 MWe	20

3. Elektrische efficiëntie

Bron	Capaciteit	Electrische efficiëntie (%)
Fiala et al. (1997)	Niet gespecificeerd	22 (standaardwaarde)
Jenkins (1997)	25 MW	25
Tilburg et al. (2007)	5 MWe	22
	30 MWe	30
Tilburg (2006)	5 MWe	22
	30 MWe	30
Cidad et al. (2003)	5 MWe	16 (bruto) / 15 (netto)
Faaij (2006)	20 MWe	20
	100 MWe	40

4. Thermische efficiëntie

Bron	Capaciteit	Thermische efficiëntie (%)
Fiala et al. (1997)	Niet gespecificeerd	62 (standaardwaarde)
Tilburg et al. (2007)	5 MWe	35
	30 MWe	0 ⁽¹⁾
Tilburg (2006)	5 MWe	35
	30 MWe	0 ⁽¹⁾
Cidad et al. (2003)	5 MWe	69 (bruto) / 65 (netto)

(1) Er wordt verondersteld dat de thermische efficiëntie voor grootschalige installaties nul is omdat het in grote installaties moeilijk is om de vrijgekomen warmte nuttig in te zetten.

5. Benuttingsgraad van de geproduceerde warmte

Bron	Benuttingsgraad (%)
Fiala et al. (1997)	50 (standaardwaarde)
Eigen veronderstelling	100 ⁽¹⁾

(1) Zoals reeds verklaard werd, veronderstellen we in dit werk dat alle geproduceerde warmte door de installatie zelf zal gebruikt worden.

6. Onderhoudsfactor per jaar

Bron	Onderhoudsfactor (%)
Fiala et al. (1997)	3 (standaardwaarde)
Tilburg (2006)	10 ⁽¹⁾

(1) Investeringskost = 4 000 €/kWe en onderhoudskost = 400 €/kWe

7. Aantal werknemers

Bron	Capaciteit	Aantal werknemers (eenheden)
Fiala et al. (1997)	Niet gespecificeerd	12 (standaardwaarde)
Caputo et al. (2005)	5 MWe	12
	50 MWe	36

8. Gemiddeld jaarlijks loon per werknemer

Bron	Gemiddeld loon per werknemer (€/jaar)
Fiala et al. (1997)	30 000 ECU/jaar (standaardwaarde)
FOD Economie (online)	48 018 ⁽¹⁾
Bridgewater et al. (2002)	25 000
Caputo et al. (2005)	26 000

(1) Dit is een gemiddelde jaarkost voor arbeiders uit de industrie in 2004.

9. Schaalvoordeel

Bron	Schaalvoordeel
Jenkins (1997)	0,9179
Cameron et al. (2007)	0,75

Economische gegevens in verband met de installatie

1. Specifieke investering

Bron	Capaciteit	Specifiek investering (€/MW)
Fiala et al. (1997)	Niet gespecificeerd	2,1 miljoen ECU/MW
Jenkins (1997)	25 MW	2 000 \$/kW = 2 miljoen \$/MW
Tilburg et al. (2007)	5 MWe	4 000 €/kWe = 4 miljoen €/MWe
	30 MWe	3 100 €/kWe = 3,1 miljoen €/MWe
Tilburg (2006)	5 MWe	4 000 €/kWe = 4 miljoen €/MWe
	30 MWe	3 100 €/kWe = 3,1 miljoen €/MWe
Cidad et al. (2003)	5 MWe	17,5 miljoen € = 3,5 miljoen €/MWe
Caputo et al. (2005) ⁽¹⁾	5 MWe	4 400 €/kW = 4,4 miljoen €/MW
	50 MWe	1 700 €/kW = 1,7 miljoen €/MW
Faaij (2006)	20 MWe	2 500 €/kW = 2,5 miljoen €/MW
	100 MWe	1 600 €/kW = 1,6 miljoen €/MW

(1) In tegenstelling tot de andere bronnen, die waardes geven per MWe, geeft Caputo et al.

(2005) een waarde per MW. Dit wil zeggen dat de kost niet berekend wordt per aantal MW opgewekte elektriciteit (zoals de andere bronnen doen) maar wel per totale hoeveelheid opgewekte energie, dus zowel elektrisch als thermisch energie.

2. Rentevoet

Bron	Rentevoet (%)
Fiala et al. (1997)	10
Jenkins (1997)	6
Noord en Sambeek (2003)	6 (bankleningen), 15 (eigen vermogen)
Tilburg (2006)	5 (leningen), 6 (projectrente)
Caputo et al. (2005)	9

3. Energiesteun

Bron	Steunmaatregel	Percentage (%)
Vlao (2008)	Ecologiesteun: subsidiepercentage (KMO)	20
Vlaamse Overheid (2008, online)	Ecologiesteun: meerkost	50
Vlao (2008)	Verhoogde investeringsaftrek	13,5
Unizo (2008, online)	Vennootschapsbelasting	33,99
		Marktwaarde (€/MW)
VREG (2008a, online)	Groenstroomcertificaten	107,33
VREG (2008b, online)	Warmtekrachtkoppeling- certificaten	41

Technische gegevens in verband met biomassa (hout)

1. Biomassaopbrengst

Bron		Biomassaopbrengst (ton d.s. ⁽¹⁾ /km ² jaar)
Fiala et al. (1997)		200
Jenkins (1997)		1 000
Cidad et al. (2003)	Wilg en populier, onmiddellijk verkleind	10,8 ton/ha/jaar ⁽²⁾ = 1 080 ton/km ² jaar
	Wilg, oogsten van de stammen	10,4 ton/ha/jaar ⁽²⁾ = 1 040 ton/km ² jaar
	Populier, oogsten van de stammen	9,4 ton/ha/jaar ⁽²⁾ = 940 ton/km ² jaar
Boehmel et al. (2008)	Wilg	7 – 14 ton d.s./ha jaar = 700 – 1 400 ton /km ² jaar

(1) d.s. staat voor droge stof opbrengst.

(2) 1 ha = 10 000 m², 1 km² = 1 000 000 m² dus 1 km² = 100 ha

2. Calorische waarde/verbrandingswaarde van hout

Bron	Calorische waarde (MWh/ton) ⁽¹⁾
Fiala et al. (1997)	4,5
Jenkins (1997)	20 000 MJ/ton = 20 MJ/kg = 5,56 MWh/ton
Cidad et al. (2007)	18 GJ/ton = 18 MJ/kg = 5 MWh/ton
Verbeke (2001)	17,8 MJ/kg (ovendroog loofhout) = 4,94 MWh/ton 19,7 MJ/kg (naaldhout) = 5,47 MWh/ton
Glasreg (2005, online)	18,59 MJ/kg = 5,16 kWh/kg = 5,16 MWh/ton
Tombeur (2004, online)	Hout, harsvrij (droog): 18-20 MJ/kg = 5 - 5,55 MWh/ton Hout, harshoudend (droog): 22.5 MJ/kg = 6,25 MWh/ton Hout pellets: 17.80 MJ/kg = 4,94 MWh/ton
Ashton en Cassidy (2007)	19,8 MJ/kg = 5,5 MWh/ton
Govaerts et al. (2006)	17 GJ/ton (pellets) = 17 MJ/kg = 4,72 MWh/ton
Ryckaert et al. (2006)	Resthout: 15,6 MJ/kg = 4,33 MWh/ton Pellets: 18,5 MJ/kg = 5,14 MWh/ton Korte omloop: 10,2 MJ/kg = 2,83 MWh/ton
Caputo et al. (2005)	14630 kJ/kg = 14,630 MJ/kg = 4,06 MWh/ton
Vande Walle et al. (2007)	19,63 kJ/g (populier) = 19,63 MJ/kg = 5,45 MWh/ton 19,92 kJ/g (wilg) = 19,92 MJ/kg = 5,53 MWh/ton
Reddy et al. (2005)	17,26 MJ/kg = 4,79 MWh/ton
Boehmel et al. (2008)	18,4 MJ/kg d.s. = 5,11 MWh/ton

(1) In de meeste bronnen wordt de waarde gegeven in Joule maar om deze waardes te kunnen invullen in het model moeten ze omgezet worden naar MWh. Omzetting gebeurt als volgt: 3,6 MJ = 1 kWh en 1 000 kWh = 1 MWh.

3. Laadvermogen van een vrachtwagen

Bron	Laadvermogen (ton)
Jenkins (1997)	20
Caputo (2005)	20

Economische gegevens in verband met biomassa (hout)

1. Specifieke aankoopkost van de biomassa, opslag inbegrepen

Bron	Aankoopkost (€/ton)
Fiala et al. (1997)	50 ECU/ton
Jenkins (1997)	30 \$/ton
Tilburg et al. (2007)	20 (5 MWe) 21 (30 MWe)
Tilburg (2006)	20 (5 MWe) 21 (30 MWe)
Cidad et al. (2003) ⁽¹⁾	64,17 – 95,87 (wilg) ⁽²⁾ 61,11 – 101,06 (populier) ⁽³⁾
Caputo et al. (2005)	26

(1) De inkoopprijs (€/ha) en de biomassaopbrengst (ton/ha) zijn gekend. Wanneer we de inkoopprijs delen door de biomassaopbrengst dan bekomen we de kost per ton. Wat opvalt, is het grote verschil tussen de gegevens van Cidad et al. (2003) en de andere bronnen. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat Cidad et al. (2003), vertrekt van een boete die betaald moet worden indien men geen groene energie produceert. Hieruit berekent hij de inkoopprijs die een elektriciteitsproducent bereid is te betalen voor de biomassa.

(2) Inkoopprijs = 693 – 997 €/ha, biomassaopbrengst = 10,4 – 10,8 ton/ha

(3) Inkoopprijs = 660 – 950 €/ha, biomassaopbrengst = 9,4 – 10,8 ton/ha

2. Kost van voorbehandeling (zit in de aankoopkost)

Bron	Methode	Kost (€/ton d.s.)
Cidad et al. (2003)	Natuurlijke drogen	0
	Ventileren met onverwarmde lucht	6,5
	Ventileren met verwarmde lucht	30
	Verkleinen	40 – 60

3. Transportkost

Bron	Transportkost (€/ton/km)
Fiala et al. (1997)	0,30 ECU/ton/km
Jenkins (1997)	0,1 \$/ton/km
Cidad et al. (2003)	0,08 – 0,25 ⁽¹⁾
Caputo et al. (2005)	0,057 ⁽²⁾
Goossens (2007)	0,05
Cameron et al. (2007)	0,125 \$/ton d.s. km
Sokhansanj et al. (2006)	0,2583 \$/ton km

(1) De kost van transport (€/ha) en de biomassaopbrengst (ton/ha) zijn gekend. Hieruit kan de kost per ton berekend worden. Daarenboven is de afstand gekend die de biomassa aflegt.

Kost van transport: 38 - 102 €/ha.

Biomassaopbrengst: 9,4 - 10,8 ton/ha.

De afstand gemiddeld per lading: 44 km.

Hieruit kunnen we dan een gemiddelde kost per ton per km berekenen.

$$\text{Ondergrens: } \frac{38\text{€ / ha}}{10,8\text{ton / ha} * 44\text{km}} = 0,08 \text{ €/ton km}$$

$$\text{Bovengrens: } \frac{102\text{€ / ha}}{9,4\text{ton / ha} * 44\text{km}} = 0,25\text{€/ton km}$$

(2) Geweten is dat een vrachtwagen 20 ton kan dragen. Daarnaast is ook de transportkost gekend: 1,14 €/km per vrachtwagen. Hieruit kunnen we de kost per ton per km berekenen.

4. Prijs van elektriciteit

Bron	Prijs van elektriciteit (€/MWh)
Fiala et al. (1997)	55 ECU/MWh
Tilburg (2006)	0,051 €/kWh = 51 €/MWh
Drift et al. (2007)	0,04 €/kWh = 40 €/MWh (2002) 0,06 €/kWh = 60 €/MWh (2020, 2040)
Statbel.fgov.be	0,052 €/kWh = 52 €/MWh (2000, industrie) 0,176 €/kWh = 176 €/MWh (2006, gezinnen)
Caputo et al. (2005)	0,103 €/kWh = 103 €/MWh

5. Prijs van thermische energie (aardgas)

Bron	Prijs van thermische energie (€/MWh)⁽¹⁾
Fiala et al. (1997)	20 ECU/MWh
Drift et al. (2007)	5 €/GJ (2002) = 1,39 €/MWh 5,7 €/GJ (2020) = 1,58 €/MWh 6,0 €/GJ (2040) = 1,67 €/MWh
Statbel.fgov.be	3,240 €/GJ = 0,9 €/MWh

(1) Ook hier zijn de data per joule gegeven. Daarom moeten deze waarden omgezet worden naar cijfers per MWh volgens volgende omzettingsregel: 1 kWh = 3,6 MJ dus 1 MWh = 3,6 GJ.

Bijlage 7 Gegevenstabellen voor co-verbranding van hout

Technische gegevens in verband met de installatie

1. Aantal draaiuren per jaar

Bron	Capaciteit	Aantal draaiuren (u/jaar)
Fiala et al. (1997)	Niet gespecificeerd	7 000 (standaardwaarde)
Jenkins (1997)	25 MW (referentiewaarde)	6 575
Tilburg et al. (2007)	Niet gespecificeerd	7 250
Ree et al. (2000b)	600 MW _e	6 000

2. Economische levensduur

Bron	Capaciteit	Economische levensduur (jaar)
Fiala et al. (1997)	Niet gespecificeerd	20 (standaardwaarde)
Jenkins (1997)	25 MW	20
Ree et al. (2000b)	600 MW _e	10

3. Elektrische efficiëntie

Bron	Capaciteit	Electrische efficiëntie (%)
Fiala et al. (1997)	Niet gespecificeerd	22 (standaardwaarde)
Jenkins (1997)	25 MW	25
Tilburg et al. (2007)	Niet gespecificeerd	37,5
Cidad et al. (2003)	> 100 MW _e	37 (bruto) / 34 (netto)
Faaij (2006)	5 MW _e	30
	20 MW _e	40
Devriendt en Vanderstraeten (2003)	directe meestook	39,5
	Indirecte meestook	38
Ree et al. (2000b)	600 MW _e	40
Moorkens et al. (2005)		39,5

4. Thermische efficiëntie

Bron	Capaciteit	Thermische efficiëntie (%)
Fiala et al. (1997)	Niet gespecificeerd	62 (standaardwaarde)
Cidad et al. (2003)	> 100 MW _e	50 (bruto) / 46 (netto)

5. Benuttingsgraad van de geproduceerde warmte

Bron	Benuttingsgraad (%)
Fiala et al. (1997)	50 (standaardwaarde)
Eigen veronderstelling	100 ⁽¹⁾

(1) Zoals reeds verklaard werd, veronderstelling we in dit werk dat alle geproduceerde warmte door de installatie zelf zal gebruikt worden.

6. Onderhoudsfactor per jaar

Bron	Onderhoudsfactor (%)
Fiala et al. (1997)	3 (standaardwaarde)

7. Aantal werknemers

Bron	Capaciteit	Aantal werknemers (eenheden)
Fiala et al. (1997)	Niet gespecificeerd	12 (standaardwaarde)
Caputo et al. (2005)	5 MW _e	12
	50 MW _e	36

8. Gemiddeld jaarlijks loon per werknemer

Bron	Gemiddeld loon per werknemer (€/jaar)
Fiala et al. (1997)	30 000 ECU/jaar (standaardwaarde)
FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie (online)	48 018 ⁽¹⁾
Bridgewater et al. (2002)	25 000
Caputo et al. (2005)	26 000

(1) Dit is een gemiddelde jaarkost voor arbeiders uit de industrie in 2004.

9. Schaalvoordeel

Bron	Schaalvoordeel
Jenkins (1997)	0,9179

Economische gegevens in verband met de installatie

1. Specifieke investering

Bron	Capaciteit	Specifiek investering (€/MW)
Fiala et al. (1997)	Niet gespecificeerd	2,1 miljoen ECU/MW
Jenkins (1997)	25 MW	2 000 \$/kW = 2 miljoen \$/MW
Tilburg et al. (2007)	Niet gespecificeerd	220 €/kW _{th} = 220 000 €/MW _{th}
Cidad et al. (2003)	100 MW _e	4 miljoen € = 40 000 €/MW _e
Faaij (2006) (additionele kost)	5 – 20 MW _e	250 €/kW = 250 000 €/MW
Ree et al. (2000b) (additionele investering)	Niet gespecificeerd 10% (directe) meestook	40 €/kW _e = 40 000 €/MW _e
	Niet gespecificeerd 40% (directe) meestook	25 €/kW _e = 25 000 €/MW _e
	Niet gespecificeerd 10% (indirecte) meestook	500 €/kW _e = 500 000 €/MW _e
	Niet gespecificeerd 40% (indirecte) meestook	285 €/kW _e = 285 000 €/MW _e
Moorkens et al. (2005) (additionele investering)	10% (directe) meestook	16 €/kW _{th} = 16 000 €/MW _{th}
	10% (indirecte) meestook	220 €/kW _{th} = 220 000 €/MW _{th}

2. Rentevoet

Bron	Rentevoet (%)
Fiala et al. (1997)	10
Jenkins (1997)	6
Noord en Sambeek (2003)	6 (op bankleningen) 15 (op eigen vermogen)
Ree et al. (2000b)	5,5 (op vreemd vermogen)

3. Energiesteun

Bron	Steunmaatregel	Percentage (%)
Vlao (2008)	Ecologiesteun: subsidiepercentage (KMO)	20
Vlaamse Overheid (2008, online)	Ecologiesteun: meerkost	50
Vlao (2008)	Verhoogde investeringsaftrek	13,5
Unizo (2008, online)	Vennootschapsbelasting	33,99
		Marktwaarde (€/MW)
VREG (2008a, online)	Groenstroomcertificaten	107,33
VREG (2008b, online)	Warmtekrachtkoppeling- certificaten	41

Technische gegevens in verband met biomassa (hout)

1. Biomassaopbrengst

Bron		Biomassaopbrengst (ton d.s. ⁽¹⁾ /km ² jaar)
Fiala et al. (1997)		200
Jenkins (1997)		1 000
Cidad et al. (2003)	Wilg en populier, onmiddellijk verkleind	10,8 ton/ha/jaar ⁽²⁾ = 1 080 ton/km ² /jaar
	Wilg, oogsten van de stammen	10,4 ton/ha/jaar ⁽²⁾ = 1 040 ton/km ² /jaar
	Populier, oogsten van de stammen	9,4 ton/ha/jaar ⁽²⁾ = 940 ton/km ² /jaar
Boehmel et al. (2008)	Wilg	7 – 14 ton d.s./ha jaar = 700 – 1 400 ton d.s./km ² jaar

(1) d.s. staat voor droge stof opbrengst.

(2) 1 ha = 10 000 m², 1 km² = 1 000 000 m² dus 1 km² = 100 ha

2. Calorische waarde/verbrandingswaarde van hout

Bron	Calorische waarde (MWh/ton) ⁽¹⁾
Fiala et al. (1997)	4,5
Jenkins (1997)	20 000 MJ/ton = 5 555,56 MWh/ton
Cidad et al. (2007)	18 GJ/ton = 18 MJ/kg = 5 MWh/ton
Verbeke (2001)	17,8 MJ/kg (ovendroog loofhout) = 4,94 MWh/ton 19,7 MJ/kg (naaldhout) = 5,47 MWh/ton
Glasreg (2005, online)	18,59 MJ/kg = 5,16 kWh/kg = 5,16 MWh/ton
Tombeur (2004, online)	Hout, harsvrij (droog): 18-20 MJ/kg = 5 - 5,55 MWh/ton Hout, harshoudend (droog): 22.5 MJ/kg = 6,25 MWh/ton Hout pellets: 17.80 MJ/kg = 4,94 MWh/ton
Ashton en Cassidy (2007)	19,8 MJ/kg = 5,5 MWh/ton
Govaerts et al. (2006)	17 GJ/ton (pellets) = 17 MJ/kg = 4,72 MWh/ton
Ryckaert et al. (2006)	Resthout: 15,6 MJ/kg = 4,33 MWh/ton Pellets: 18,5 MJ/kg = 5,14 MWh/ton Korte omloop: 10,2 MJ/kg = 2,83 MWh/ton
Caputo et al. (2005)	14630 kJ/kg = 14,630 MJ/kg = 4,06 MWh/ton
Vande Walle et al. (2007)	19,63 kJ/g (populier) = 19,63 MJ/kg = 5,45 MWh/ton 19,92 kJ/g (wilg) = 19,92 MJ/kg = 5,53 MWh/ton
Reddy et al. (2005)	17,26 MJ/kg = 4,79 MWh/ton
Boehmel et al. (2008)	18,4 MJ/kg = 5,11 MWh/ton

(1) In de meeste bronnen wordt de waarde gegeven in Joule maar om deze waarden te kunnen invullen in het model moeten ze omgezet worden naar MWh. Omzetting gebeurt als volgt: 3,6 MJ = 1 kWh en 1 000 kWh = 1 MWh.

3. Laadvermogen van een vrachtwagen

Bron	Laadvermogen (ton)
Jenkins (1997)	20
Caputo (2005)	20

Economische gegevens in verband met biomassa (hout)

1. Specifieke aankoopkost van de biomassa, opslag inbegrepen

Bron	Aankoopkost (€/ton)
Fiala et al. (1997)	50 ECU/ton
Jenkins (1997)	30 \$/ton
Tilburg et al. (2007)	20 (5 MW _e) 21 (30 MW _e)
Tilburg (2006)	20 (5 MW _e) 21 (30 MW _e)
Cidad et al. (2003) ⁽¹⁾	64,17 – 95,87 (wilg) ⁽²⁾ 61,11 – 101,06 (populier) ⁽³⁾
Caputo et al. (2005)	26

(1) De inkoopprijs (€/ha) en de biomassaopbrengst (ton/ha) zijn gekend. Wanneer we de inkoopprijs delen door de biomassaopbrengst dan bekomen we de kost per ton. Wat opvalt, is het grote verschil tussen de gegevens van Cidad et al. (2003) en de andere bronnen. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat Cidad et al. (2003), vertrekt van een boete die betaald moet worden, als men geen groene energie produceert. Hieruit berekent hij de inkoopprijs die een elektriciteitsproducent bereid is te betalen voor de biomassa.

(2) Inkoopprijs = 693 – 997 €/ha, biomassaopbrengst = 10,4 – 10,8 ton/ha

(3) Inkoopprijs = 660 – 950 €/ha, biomassaopbrengst = 9,4 – 10,8 ton/ha

2. Kost van voorbehandeling (zit in de aankoopkost)

Bron	Methode	Kost (€/ton d.s.)
Cidad et al. (2003)	Natuurlijke drogen	0
	Ventileren met onverwarmde lucht	6,5
	Ventileren met verwarmde lucht	30
	Verkleinen	40 – 60

3. Transportkost

Bron	Transportkost (€/ton/km)
Fiala et al. (1997)	0,30 ECU/ton/km
Jenkins (1997)	0,1 \$/ton/km
Cidad et al. (2003)	0,08 – 0,25 ⁽¹⁾
Caputo et al. (2005)	0,057 ⁽²⁾
Goossens (2007)	0,05
Cameron et al. (2007)	0,125 \$/ton d.s. km
Sokhansanj et al. (2006)	0,2583 \$/ton km

(1) De kost van transport (€/ha) en de biomassaopbrengst (ton/ha) zijn gekend. Hieruit kan de kost per ton berekend worden. Daarenboven is de afstand gekend die de biomassa aflegt.

Kost van transport: 38 - 102 €/ha.

Biomassaopbrengst: 9,4 - 10,8 ton/ha.

De afstand gemiddeld per lading: 44 km.

Hieruit kunnen we dan een gemiddelde kost per ton per km berekenen.

$$\text{Ondergrens: } \frac{38\text{€ / ha}}{10,8\text{ton / ha} * 44\text{km}} = 0,08 \text{ €/ton km}$$

$$\text{Bovengrens: } \frac{102\text{€ / ha}}{9,4\text{ton / ha} * 44\text{km}} = 0.25\text{€/tot km}$$

(2) Geweten is dat een vrachtwagen 20 ton kan dragen. Daarnaast is ook de transportkost gekend: 1,14 €/km per vrachtwagen. Hieruit kunnen we de kost per ton per km berekenen.

4. Prijs van elektriciteit

Bron	Prijs van elektriciteit (€/MWh)
Fiala et al. (1997)	55 ECU/MWh
Tilburg (2006)	0,051 €/kWh = 51 €/MWh
Drift et al. (2007)	0,04 €/kWh = 40 €/MWh (2002) 0,06 €/kWh = 60 €/MWh (2020, 2040)
Statbel.fgov.be	0,052 €/kWh = 52 €/MWh (2000, industrie) 0,176 €/kWh = 176 €/MWh (2006, gezinnen)
Caputo et al. (2005)	0,103 €/kWh = 103 €/MWh

5. Prijs van thermische energie (aardgas)

Bron	Prijs van thermische energie (€/MWh)⁽¹⁾
Fiala et al. (1997)	20 ECU/MWh
Drift et al. (2007)	5 €/GJ (2002) = 1,39 €/MWh 5,7 €/GJ (2020) = 1,58 €/MWh 6,0 €/GJ (2040) = 1,67 €/MWh
Statbel.fgov.be	3,240 €/GJ = 0,9 €/MWh

(1) Ook hier zijn de data per joule gegeven. Daarom moeten deze waarden omgezet naar cijfers per MWh volgens volgende omzettingsregel: 1 kWh = 3,6 MJ dus 1 MWh = 3,6 GJ.

Bijlage 8 Gegevenstabellen voor vergisting van energiemais

Technische gegevens in verband met de installatie

1. Aantal draaiuren per jaar

Bron	Capaciteit	Aantal draaiuren (u/jaar)
Fiala et al. (1997)	Niet gespecificeerd	7 000 (standaardwaarde)
Jenkins (1997)	25 MW	6 575
Tilburg et al. (2007)	0,6 MW _e	7 500
Neyens (2006)	0,25 MW _e	7 500

2. Economische levensduur

Bron	Capaciteit	Economische levensduur (jaar)
Fiala et al. (1997)	Niet gespecificeerd	20 (standaardwaarde)
Jenkins (1997)	25 MW	20
Neyens (2006)	0,25 MW _e	10

3. Elektrische efficiëntie

Bron	Capaciteit	Elektrische efficiëntie (%)
Fiala et al. (1997)	Niet gespecificeerd	22 (standaardwaarde)
Jenkins (1997)	25 MW	25
Neyens (2006)	0,25 MW _e	32
Tilburg et al. (2007)	0,6 MW _e	27
Cidad et al. (2003)	0,5 MW _e	30 (bruto) 17 (netto)
Faaij (2006)	Niet gespecificeerd	10 - 15

4. Thermische efficiëntie

Bron	Capaciteit	Thermische efficiëntie (%)
Fiala et al. (1997)	Niet gespecificeerd	62 (standaardwaarde)
Neyens (2006)	0,25 MW _e	21
Tilburg et al. (2007)	0,6 MW _e	10
Cidad et al. (2003)	0,5 MW _e	50 (bruto) 28 (netto)

5. Benuttingsgraad van de geproduceerde warmte

Bron	Benuttingsgraad (%)
Fiala et al. (1997)	50 (standaardwaarde)
Eigen veronderstelling	100 ⁽¹⁾

(1) Zoals reeds verklaard werd, veronderstellen we in dit werk dat alle geproduceerde warmte door de installatie zelf zal gebruikt worden.

6. Onderhoudsfactor per jaar

Bron	Onderhoudsfactor (%)
Fiala et al. (1997)	3 (standaardwaarde)
Neyens (2006)	+/- 10 ⁽¹⁾
Tijmensen et al. (2002)	3,5

(1) Investeringskost = 3 450 €/kW_e en onderhoudskost = 350 €/kW_e

7. Aantal werknemers

Bron	Capaciteit	Aantal werknemers (eenheden)
Fiala et al. (1997)	Niet gespecificeerd	12 (standaardwaarde)

8. Gemiddeld jaarlijks loon per werknemer

Bron	Gemiddeld loon per werknemer (€/jaar)
Fiala et al. (1997)	30 000 ECU/jaar (standaardwaarde)
FOD Economie (online)	48 018 ⁽¹⁾
Bridgewater et al. (2002)	25 000

(1) Dit is een gemiddelde jaarkost voor arbeiders uit de industrie in 2004.

9. Schaalvoordeel

Bron	Schaalvoordeel
Jenkins (1997)	0,9179

Economische gegevens in verband met de installatie

1. Specifieke investering

Bron	Capaciteit	Specifiek investering (€/MW)
Fiala et al. (1997)	Niet gespecificeerd	2,1 miljoen ECU/MW
Jenkins (1997)	25 MW	2 000 \$/kW = 2 miljoen \$/MW
Neyens (2006)	0,25 MW _e	3 450 €/kW _e = 3,45 miljoen €/ MW _e
Tilburg et al. (2007)	0,6 MW _e	2 500 €/kW _e = 2,5 miljoen €/MW _e
Cidad et al. (2003)	0,5 MW _e	19 miljoen = 38 miljoen €/MW _e
Tijmensens et al. (2002)	Niet gespecificeerd	1 510 €/kW _e = 1,51 miljoen €/MW _e
Murphy en Carthy (2005)	0,340 MW _e	1 181 €/kW _e = 1,181 miljoen €/MW _e

2. Rentevoet

Bron	Rentevoet (%)
Fiala et al. (1997)	10
Jenkins (1997)	6
Neyens (2006)	5 (lening)
Noord en Sambeek (2003)	6 (bankleningen), 15 (eigen vermogen)
Murphy en Carthy (2005)	4

3. Energiesteun

Bron	Steunmaatregel	Percentage (%)
Vlao (2008)	Ecologiesteun: subsidiepercentage (KMO)	20
Vlaamse Overheid (2008, online)	Ecologiesteun: meerkost	50
Vlao (2008)	Verhoogde investeringsaftrek	13,5
Unizo (2008, online)	Vennootschapsbelasting	33,99
		Marktwaaarde (€/MW)
VREG (2008a, online)	Groenstroomcertificaten	107,33
VREG (2008b, online)	Warmtekrachtkoppeling- certificaten	41

Technische gegevens in verband met biomassa (maïs)

1. Biomassaopbrengst

Bron		Biomassaopbrengst (ton d.s. ⁽¹⁾ /km ² jaar)
Fiala et al. (1997)		200
Jenkins (1997)		1 000
Cidad et al. (2003)	Kuilmaïs	15,2 ton d.s./ha jaar = 1 520 ton d.s./km ² jaar
	Korrelmaïs	8 – 9 ton d.s./ha jaar = 800 – 900 ton d.s./km ² jaar
Govaerts et al. (2006)	Kuilmaïs	16,3 ton d.s./ha jaar = 1 630 ton d.s./km ² jaar
	Korrelmaïs	8 ton d.s./ha jaar = 800 ton d.s./km ² jaar
Schooten et al. (2006)		11,5 – 16,5 ton d.s./ha jaar = 1 150 – 1 650 ton d.s./km ² jaar
Tijmensen et al. (2002)	Snijmaïs	13 020 kg d.s./ha jaar = 13,02 ton d.s./ha jaar = 1 302 ton d.s./km ² jaar
Boehmel et al. (2008)	Energiemaïs	6 ton d.s./ha jaar = 600 ton d.s./km ² jaar
Martinze-Perez et al. (2007)	Veevoedermaïs	17 – 21 ton d.s./ha jaar = 1 700 – 2 100 ton d.s./km ² jaar
Amon et al. (2007)	Maïs	15,12 ton VS ⁽³⁾ /ha jaar = 1 512 ton VS/km ² jaar

(1) d.s. staat voor droge stof opbrengst.

(2) 1 ha = 10 000 m², 1 km² = 1 000 000 m² dus 1 km² = 100 ha

(3) VS staat voor droge stof

2. Calorische waarde/verbrandingswaarde van energimaïs

Bron	Biogasopbrengst (m ³ /ton)
Ryckaert et al. (2006)	200 m ³ /ton
BiogaS International (online)	190 kuub/ton = 190 m ³ /ton
ODE-Vlaanderen (2006)	180 m ³ /ton

Bron	Methaangehalte van biogas (%)
Biogas-e (online,b)	Gemiddeld 65%
Ehlert et al. (2006)	55%
Devriendt et al. (2004)	67%
Wijholds (2008)	Gemiddeld 52%
Govaerts et al. (2006)	50 - 70%
ODE-Vlaanderen (2006)	65%

Bron	Verbrandingwaarde methaan (kWh/m ³)
Biogas-e (online,b)	35,8 MJ/m ³ = 9,94 kWh/m ³
Ehlert et al. (2006)	39,8 MJ/m ³ = 11,06 kWh/m ³
Devriendt et al. (2004)	18 - 22 MJ/m ³ = 5 - 6,11 kWh/m ³
ODE-Vlaanderen (2006)	10 kWh/m ³

3. Laadvermogen van een vrachtwagen

Bron	Laadvermogen (ton)
Jenkins (1997)	20
Caputo (2005)	20

Economische gegevens in verband met biomassa (mais)

1. Specifieke aankoopkost van de biomassa, opslag inbegrepen

Bron	Aankoopkost (€/ton)
Fiala et al. (1997)	50 ECU/ton
Jenkins (1997)	30 \$/ton
Tilburg et al. (2007)	15,5
Cidad et al. (2003) ⁽¹⁾	28,8 - 66,6 (kuilmais) ⁽²⁾
Tijmensen et al. (2002) ⁽³⁾	24,7 (eigen beheer) 79,6 (loonwerk)

(1) De inkoopprijs (€/ha) en de biomassaopbrengst (ton/ha) zijn gekend. Wanneer we de inkoopprijs delen door de biomassaopbrengst dan bekomen we de kost per ton. Wat opvalt, is het grote verschil tussen de gegevens van Cidad et al. (2003) en de andere bronnen. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat Cidad et al. (2003), vertrekt van een boete die betaald moet worden als men geen groene energie produceert. Hieruit berekent hij de inkoopprijs die een elektriciteitsproducent bereid is te betalen voor de biomassa.

(2) Inkoopprijs = 438 - 1 012 €/ha, biomassaopbrengst = 15,2 ton/ha.

(3) Kost inclusief inkuilen.

2. Kost van voorbehandeling (zit in de aankoopkost)

Bron	Methode	Kost (€/ton) ⁽¹⁾
Schooten et al. (2006) ⁽²⁾	Aanrijden kuil	55 €/ha = 3,33 – 4,78 €/ton
	Cultivateren	50 €/ha = 3,03 – 4,34 €/ton
Tijmensen et al. (2002) ⁽³⁾	Inkuilen (eigen beheer)	18,8 €/ha = 1,44 €/ton
	Inkuilen (loonwerk)	59,7 €/ha = 4,58 €/ton
Boer et al. (2003) ⁽⁴⁾	Hakselen	429 €/ha = 33,95 €/ton
	Aanrijden kuil	93 €/ha = 7,14 €/ton
	Cultivateren	49 €/ha = 3,76 €/ton

(1) In de betreffende literatuur wordt een kost per hectare gegeven. In het model is echter een kost per ton gevraagd. Door deze kost per hectare te delen door de biomassaopbrengst (ton d.s./ha) kunnen we de kost per ton berekenen.

(2) Schooten et al. (2003) geven een opbrengst van 11,5 – 16,5 ton d.s./ha.

(3) Tijmensen et al. (2002) vermelden een opbrengst van 13,02 ton d.s./ha.

(4) Boer et al. (2003) geven een opbrengst van 13 020 kg d.s./ha.

3. Transportkost

Bron	Transportkost (€/ton/km)
Fiala et al. (1997)	0,30 ECU/ton/km
Jenkins (1997)	0,1 \$/ton/km
Cidad et al. (2003)	0,78 ⁽¹⁾
Caputo et al. (2005)	0,057 ⁽²⁾
Sokhansanj et al. (2006)	0,2583 \$/ton km

(1) De kost van transport (€/ha) en de biomassaopbrengst (ton/ha) zijn gekend. Hieruit kan de kost per ton berekend worden. Daarenboven is de afstand gekend die de biomassa aflegt.

Kost van transport: 202 €/ha.

Biomassaopbrengst: 15,2 ton/ha.

De afstand gemiddeld per lading: 17 km.

Hieruit kunnen we dan een gemiddelde kost per ton per km berekenen.

$$\frac{202\text{€}/\text{ha}}{15,2\text{ton}/\text{ha} * 17\text{km}} = 0,78 \text{ €/ton km}$$

(2) Geweten is dat een vrachtwagen 20 ton kan dragen. Daarnaast is ook de transportkost gekend: 1,14 €/km per vrachtwagen. Hieruit kunnen we de kost per ton per km berekenen.

4. Prijs van elektriciteit

Bron	Prijs van elektriciteit (€/MWh)
Fiala et al. (1997)	55 ECU/MWh
Neyens (2006)	0,03 €/kWh = 30 €/MWh
ECN (excel-bestand)	0,051 €/kWh = 51 €/MWh
Drift et al. (2007)	0,04 €/kWh = 40 €/MWh (2002) 0,06 €/kWh = 60 €/MWh (2020, 2040)
Statbel.fgov.be	0,052 €/kWh = 52 €/MWh (2000, industrie) 0,176 €/kWh = 176 €/MWh (2006, gezinnen)
Caputo et al. (2005)	0,103 €/kWh = 103 €/MWh

4. Prijs van thermische energie (aardgas)

Bron	Prijs van thermische energie (€/MWh) ⁽¹⁾
Fiala et al. (1997)	20 ECU/MWh
Drift et al. (2007)	5 €/GJ (2002) = 1,39 €/MWh 5,7 €/GJ (2020) = 1,58 €/MWh 6,0 €/GJ (2040) = 1,67 €/MWh
Statbel.fgov.be	3,240 €/GJ = 0,9 €/MWh

(1) Ook hier zijn de data per joule gegeven. Daarom moeten deze waarden omgezet naar cijfers per MWh volgens volgende omzettingsregel: 1 kWh = 3,6 MJ dus 1 MWh = 3,6 GJ.

Bijlage 9 Inpuutabel referentiecasses Fiala

Parameter		Verbranding		Co-verbranding		Vergisting
		Groot-schalig	Klein-schalig	Direct	Indirect	
Draaiuren	t	7 500	7 500	7 000	7 000	7 500
Levensduur	V_u	15	10	15	15	15
Elektrische efficiëntie %	η_e	30	25	39,5	38	30
Thermische efficiëntie %	η_t	0	35	46	46	30
Benuttingsgraad %	f_u	100	100	100	100	100
Onderhoudsfactor %	k_r	10	10	10	10	10
Aantal werknemers	n_u	36	12	36	36	12
Loon	C_{ws}	48 000	48 000	48 000	48 000	48 000
Specifieke investering	I_s	2,5 mln	4 mln	25 000	300 000	2 mln
Intrestvoet %	i	5	5	5	5	5
Meerkost investering %		50	50	50	50	50
Ecologiesteun %		20	20	20	20	20
Investeringsaftrek %		13,50	13,50	13,50	13,50	13,50
Belasting %		33,99	33,99	33,99	33,99	33,99
GCS		107,33	107,33	107,33	107,33	107,33
WKC (gemiddeld)		0	18,95	36,28	36,10	24,23
Biomassaopbrengst	δ	1 000	1 000	1 000	1 000	1 300
Bezettingsgraad %	-	100	100	100	100	100
Calorische waarde	H_b	5	5	5	5	1,007
Specifieke aankoopkost	C_{bs}	30	30	30	30	40
Transportkost	C_{ts}	0,10	0,10	0,10	0,10	0,36
Prijs elektriciteit	p_e	50	50	50	50	50
Prijs thermische energie	p_t	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3

Bijlage 10 Inputtabel referentiecasses Jenkins

Parameter		Verbranding		Co-verbranding		Vergisting
		Groot-schalig	Klein-schalig	Direct	Indirect	
Basis capaciteit	M_o	30 000	5 000	600 000	600 000	600
Draaiuren	h	7 500	7 500	7 000	7 000	7 500
Levensduur	L	15	10	15	15	15
Elektrische efficiëntie %	η	30	25	39,5	38	30
Schaalfactor	s	0,9179	0,9179	0,9179	0,9179	0,9179
Onderhoudsfactor %		10	10	10	10	10
Aantal werknemers		36	12	36	36	12
Loon		48 000	48 000	48 000	48 000	48 000
Specifieke investering	K_o	2 500	4 000	25	300	2 000
Intrestvoet %	i	5	5	5	5	5
Meerkost investering %		50	50	50	50	50
Ecologiesteun %		20	20	20	20	20
Investeringsaftrek %		13,50	13,50	13,50	13,50	13,50
Belasting %		33,99	33,99	33,99	33,99	33,99
Biomassaopbrengst	q	1 000	1 000	1 000	1 000	1 300
Bezettingsgraad %		100	100	100	100	100
Calorische waarde	H	18 000	18 000	18 000	18 000	3 625
Laadvermogen vrachtwagen	w	20	20	20	20	20
Halve lengte van zijde van het vierkante gebied	X,Y	23	16	23	23	9,35
Aantal suregio's per zijde	m	10	10	10	10	10
Specifieke aankoopkost	C_p	30	30	30	30	40
Transportkost	C_t	0,10	0,10	0,10	0,10	0,36