

2011
2012

BEDRIJFSECONOMISCHE WETENSCHAPPEN

*master in de toegepaste economische wetenschappen:
beleidsmanagement*

Masterproef

*Evaluatie van het economisch onderzoek en het beleid
inzake fytoremediatie en biomassaconversie*

Promotor :
Prof. dr. Bernard VANHEUSDEN

Mariano Ciarlariello

*Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van master in de toegepaste
economische wetenschappen , afstudeerrichting beleidsmanagement*

2011
2012

BEDRIJFSECONOMISCHE WETENSCHAPPEN

*master in de toegepaste economische wetenschappen:
beleidsmanagement*

Masterproef

*Evaluatie van het economisch onderzoek en het beleid
inzake fytoremediatie en biomassaconversie*

Promotor :
Prof. dr. Bernard VANHEUSDEN

Mariano Ciarlariello

*Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van master in de toegepaste
economische wetenschappen , afstudeerrichting beleidsmanagement*

Voorwoord

Deze eindverhandeling is geschreven in het kader van mijn opleiding Master in de Toegepaste Economische Wetenschappen, met als afstudeerrichting Beleidsmanagement, aan de Universiteit Hasselt.

Het onderwerp sprak me aan onder andere vanwege het toekomstig potentieel van fyto-remediatie gekoppeld aan verschillende biomassaconversietechnieken. Daarnaast heb ik het onderwerp gekozen omwille van de economische en beleidsmatige aspecten die er in verweven zitten.

Bij het tot stand komen van de eindverhandeling kon ik rekenen op de hulp van een aantal mensen. Om te beginnen zou ik mijn promotor Professor dr. Bernard Vanheusden willen bedanken voor zijn advies, informatie en begeleiding. Verder wil ik Mevrouw Nele Witters bedanken voor de tijd die ze heeft willen vrijmaken om mij op het goede spoor te helpen. Daarnaast wil ik ook nog Bruno Mattheeuws (PR-Manager van Organic Waste Systems te Gent) en Tom Kuppens (Assistent en lid van de onderzoeksgroep Milieueconomie). Dankzij hen heb ik inzicht gekregen in de problemen, uitdagingen en oplossingen in de praktijk.

Tenslotte wil ik graag mijn ouders bedanken omdat de ze mij de kans hebben gegeven deze studie aan te vatten en ze mij gedurende de hele opleiding gesteund hebben. Een laatste dank gaat uit naar eindredacteur Sylvain Christiaens voor zijn taalkundige hulp en suggesties.

Samenvatting

Fytoremediatie is het gebruik van levende planten en/of bomen om een vervuilde bodem of om grondwater te saneren. Een bodem die met zware metalen verontreinigd is, kan door toepassing van deze techniek gesaneerd worden. In Europa heeft men weet van heel wat locale sites die met dit soort vervuiling te maken hebben. Denk maar aan de Belgische en Nederlandse Kempen.

Ten opzichte van klassieke saneringstechnieken is fyto­remediatie op het eerste gezicht vooral een goedkoop alternatief. Na een afweging van de voor- en nadelen van fyto­remediatie in vergelijking met een klassieke saneringsaanpak blijkt dat er hier toch meer nuancering nodig is. Het "Bodemdecreet"¹ kan hierbij helpen.

Wanneer de bodemverontreiniging een ernstige bedreiging vormt – in het geval van historische bodemverontreiniging – of de bodemsaneringsnormen overschreden zijn – bij nieuwe bodemverontreiniging – zal in het algemeen een klassieke saneringsaanpak beter geschikt en wenselijker zijn. Fyto­remediatie daarentegen zal algemeen genomen de beste optie zijn wanneer de verontreiniging volgens het Bodemdecreet geen ernstige bedreiging vormt of de bodemsaneringsnormen niet overschreden zijn. Om tot specifiekere algemene voorwaarden te komen waarin fyto­remediatie als techniek toepasbaar is, is er in *Hoofdstuk 1.2* een overzicht gemaakt van de beperkingen en mogelijkheden van fyto­remediatie die in de literatuur beschreven zijn.

Naast de mogelijkheid een bodem te saneren, is het ook belangrijk dat een fyto­remediatieproject vanuit economisch standpunt het beste alternatief is. Aangezien fyto­remediatieprojecten langlopende projecten zijn, kan de integratie van een rendabele operatie hierbij helpen. Aangezien planten biomassa produceren kan er een rendabele operatie in het proces geïntegreerd worden door de omzetting van biomassa in bio-energie.

¹ Decreet van 27 oktober 2006 betreffende de bodemsanering en de bodembescherming.

Om te komen tot een energieconversietechniek die gekoppeld aan fyto-remediatie de beste toekomstperspectieven biedt, is er in *Hoofdstuk 1.4* een vergelijking en analyse van drie thermische processen (verbranding, vergassing, pyrolyse), coverbranding, extractie van oliehoudende zaden en vergisting van energimaïs² gemaakt. Ondanks het feit dat bovenvermelde technieken niet altijd even vergelijkbaar zijn, is er in de literatuur voldoende bewijs te vinden om te besluiten dat (flash-)pyrolyse en vergisting van energimaïs de meest beloftevolle technieken zijn. De hoge energierendementen van deze technieken spelen hierin een belangrijke rol. Maar ook de aanwendbaarheid van de eindproducten (pyrolyse olie en biogas) in een warmtekrachtkoppelingsinstallatie is een interessante opportuniteit en groot voordeel.

In *Hoofdstuk 2* gaan we kijken wat de rol van het beleid in de implementatie van nieuwe technologieën is. Na een bespreking van de steunmaatregelen die er voor diverse technieken zijn, wordt er voor elke biomassaconversietechniek nagegaan hoe het gesteld is met de beleidsmatige omkadering ervan. Belangrijke vaststelling hier is dat een techniek zoals coverbranding misschien wel te veel steun krijgt. Dit zorgt ervoor dat verouderde steenkoolcentrales rendabel en operationeel blijven. Als gevolg hiervan zouden rendabelere en minder vervuilende technieken uit de markt geduwd worden.

Voor de vergisting van energimaïs bestaan er investeringssteunmaatregelen om de hoge investeringskosten van een vergistingsinstallatie te kunnen dragen. Het delen van de investeringslasten met verschillende partners is ook een optie. Toch blijkt uit de praktijk dat het onmogelijk is om op een winstgevende manier een vergistingsinstallatie op vervuild energimaïs te exploiteren. Een beleid dat zich richt tot het rendabel maken van de exploitatie kan hier een oplossing bieden.

² Op plantkundig vlak is er geen verschil tussen snijmaïs en energimaïs. Het enige verschil is het teeltdoel. Bij snijmaïs is het doel voornamelijk een maximale Voeder Eenheid Melk (VEM)-opbrengst per hectare en een zo hoog mogelijke kwaliteit. Terwijl energimaïs gericht is op een maximale drogestofproductie per hectare en een zo hoog mogelijke methaanopbrengst per kg drogestof. (van der Voort et al., 2008; Kenens, 2010)

In het tweede onderdeel van *Hoofdstuk 2* wordt er onderzocht wat er in de economische literatuur gezegd wordt over de implementatie van nieuwe technologieën (zoals fytoremediatie) in het algemeen en wat de rol van het beleid hierin zou moeten zijn. De meest bestudeerde theorieën worden besproken, en de gebieden die nog meer onderzoek vereisen, worden toegelicht.

Opvallende bevinding in dit onderdeel is dat beleidsmakers te veel aandacht besteden aan het proberen te voorspellen welke de “groenste” of de “beste” technologieën zijn. Andere auteurs benadrukken dan weer dat het niet mogelijk is om uit verschillende beleidsinstrumenten een instrument te identificeren dat het beste is. Een belangrijke conclusie in dit onderdeel is dat beleidsmakers best een beleid voeren dat gericht is op het stimuleren van de ontwikkeling van duurzame technologieën. Men kan dit via beleidsmatige weg verwezenlijken door omstandigheden te creëren waarin enkel de groenste technologieën overleven.

Het derde en laatste hoofdstuk staat rechtstreeks in verband met de centrale onderzoeksvraag. Hierin wordt er dieper ingegaan op de lacunes in het onderzoek naar de verschillende aspecten van fytoremediatie. Deze “gaps” in de literatuur zijn aan het licht gekomen tijdens het schrijven van de voorgaande hoofdstukken. De bedoeling van de bespreking van deze lacunes is aan te geven welke behoeften aan wetenschappelijk onderzoek ingevuld moeten worden om de ontwikkeling en toepassing van fytoremediatie in de toekomst te verzekeren.

In de conclusie van *Hoofdstuk 3* valt op dat er buiten lacunes in het onderzoek naar fytoremediatie, nog andere factoren zijn die de ontwikkeling en de toepassing van fytoremediatie belemmeren. Zo is er bijvoorbeeld een kloof tussen het onderzoek naar fytoremediatie zelf en de toepassing van een fytoremediatioptie.

Wat de lacunes in het onderzoek zelf betreft, is er voornamelijk nood aan fytotechnologieprojecten op grote schaal, met als doelstelling een aantal langetermijnaspecten te bestuderen. Dit om eventuele vragen, onzekerheden en twijfels bij belanghebbenden (stakeholders) weg te nemen. Hiernaast moet men in het achterhoofd houden dat elk bodemverontreiniginggeval verschillend is en dus wellicht een andere aanpak vereist.

Lijst van figuren

Figuur 1.1: Voornaamste conversiemogelijkheden voor biomassa naar een secundaire energiedrager

Figuur 1.2: Het productieproces van biodiesel uit koolzaad

Figuur 1.3: CO₂-neutraliteit van biomassa

Figuur 1.4: Invloed van subsidie op de gevraagde hoeveelheid

Figuur 2.1: Schema groenestroomcertificaten

Lijst van tabellen

Tabel 1.1: Extractie van cadmium om de concentratie in de bodem te verminderen van 5 tot 2 mg kg⁻¹ voor energimaïs, koolzaad en wilg

Tabel 2.2: Ecoklasse / Ecologiegetal

Tabel 2.3: Subsidiebonus

Tabel 2.4: Verhoogde investeringsaftrek

Inhoudsopgave

Voorwoord	1
Samenvatting.....	2
Lijst van figuren.....	5
Lijst van tabellen	5
Inhoudsopgave	6
Inleiding	9
A. Situering	9
B. Probleemstelling en centrale onderzoeksvraag	12
1. Heeft fyto remediatie ten opzichte van de klassieke saneringstechnieken een toekomst?	15
1.1 Voor- en nadelen van fyto remediatie ten opzichte van klassieke alternatieven.	15
1.1.1 Voordelen	15
1.1.2 Nadelen	17
1.1.3 Samenvattend besluit	19
1.2 Onder welke omstandigheden kunnen planten met behulp van hun bio-energie potentieel een grond rendabel saneren?	21
1.2.1 Wortels van de plant	21
1.2.2 Groei van de plant.....	21
1.2.3 Site-en bodemeigenschappen	22
1.2.4 Criteria voor de keuze van planten voor de aanplanting op vervuilde grond	24
1.3 Zijn er problemen gekend bij de energieconversie van aangereikte biomassa?	25
1.3.1 Korte-omloop hout / pyrolyse olie	26
1.3.2 Koolzaad / biodiesel	27
1.3.3 Energiemaïs / biogas	28

1.3.4 Besluit	28
1.4 Welke biomassaconversietechniek biedt, gekoppeld aan fyto-remediatie, vanuit economisch standpunt de beste toekomstperspectieven en waarom? ..	29
1.4.1 Verbranding van biomassa (800-1000 °C / veel zuurstof).....	32
1.4.2 Vergassing van biomassa (700-900°C / weinig zuurstof).....	32
1.4.3 Pyrolyse van biomassa (500°C / geen zuurstof).....	33
1.4.4 Coverbranding van biomassa	34
1.4.5 Extractie van oliehoudende zaden	37
1.4.6 Vergisting van energiemais	40
1.4.6.1 Warmtekrachtkoppelinginstallatie	43
1.4.7 Besluit: energieconversietechniek met de beste toekomstperspectieven	44
2. Wat is de rol van het beleid voor de implementatie van nieuwe technologieën zoals fyto-remediatie?	47
2.1 Hoe stimuleert het bestaande beleid rond bio-energie de ontwikkeling en toepassing van beloftevolle technieken? Zou dit beter kunnen?	47
2.1.1 Huidige stimuli omtrent bio-energie.....	47
2.1.2 Speelt het huidige beleid voldoende in op de ontwikkeling en toepassing van beloftevolle biomassaconversietechnieken?	59
2.2 Milieubeleid voor de toepassing van nieuwe technologieën	69
2.2.1 Efficiëntie van regelgeving	70
2.2.2 Onzekerheid en strengheid van regelgeving	71
2.2.3 Path dependency en lock-in	72
2.2.4 Overheidsinstrumenten.....	74
2.2.5 Design van het milieubeleid	75
2.2.6 Besluit	76
3. Lacunes in het onderzoek	79
3.1 Lacunes in het onderzoek naar fyto-remediatie	79
3.1.1 Algemene opmerkingen	80
3.2 Lacunes in het onderzoek naar energieconversie van biomassa	82
3.3 Lacunes in het economisch onderzoek naar fyto-remediatie.....	83
3.4 Lacunes betreffende het beleid rond fyto-remediatie	84

3.4.1 Lacunes betreffende de stimuli rond fyto-remediatie en vergisting van energiemaïs	85
3.4.2 Lacunes betreffende de stimuli rond fyto-remediatie en (flash-)pyrolyse van KOH.....	88
3.5 Andere gebieden voor verder onderzoek	90
3.5.1 Socio-economische factoren.....	90
3.5.2 Technische factoren.....	92
3.6 Conclusie en perspectieven	92
Lijst van geraadpleegde werken	97
Lijst van geraadpleegde sites	106
Bijlagen	108

Inleiding

A. Situering

Fytoremediatie is het gebruik van levende planten en/of bomen om een vervuilde bodem of grondwater te saneren. De vervuiling kan organisch (pesticiden, dioxines, enz.) of anorganisch (zware metalen) zijn. In deze thesis ligt de focus op bodemvervuiling door zware metalen.

Oorzaken van deze verontreiniging zijn veelal de metaalindustrie en de landbouwsector. Maar ook de verbranding van fossiele brandstoffen en afvalverbrandingsovens zorgen voor een uitstoot van zware metalen. De meest gekende metalen die hierdoor in het milieu verspreid raken, zijn: koper, lood, zink en cadmium. Omdat deze metalen niet afbreekbaar zijn door de natuur en schadelijk zijn voor de mens is dit een van de ergste soorten vervuiling.

Hoewel er in Europa geen wijdverspreide bodemverontreiniging is, heeft men wel weet van vele locale sites die vervuild zijn met zware metalen. Voorbeelden van zogenaamde hotspots zijn: Nord-Pas de Calais in Frankrijk, Ruhr- en Saargebied in Duitsland en de Kempen in België. Uit een rapport van de European Environment Agency blijkt dat er geen geharmoniseerd systeem voor het bewaken van bodemverontreiniging bestaat in Europa (L. Van Ginneken et al., 2007). De meeste lidstaten hebben tevens geen nationale inventaris van risicovolle gronden. Ongeveer 250.000 sites gelegen in de EEA lidstaten zijn volgens het Snowman Rejuvenate Final Research Report (2009) tot nog toe geïdentificeerd als te saneren gronden. Men verwacht dat dit aantal de volgende jaren zal stijgen. Het is dus zeker geen marginaal fenomeen in Europa³.

Traditionele technieken om met vervuilde grond om te gaan zijn het afgraven van het terrein of het afbakenen en isoleren van de verontreinigde bodem. Het nadeel van afgraven is dat het een dure methode is en de vervuiling in principe gewoon wordt verplaatst en eventueel elders wordt gesaneerd, met alle nadelen van transport en dergelijke. Afbakening en isolatie maken een grond dan weer onbruikbaar voor tal van activiteiten en onderhevig aan toezicht. Beide

³ Zie Bijlage 1

technieken zijn duur en hebben onwenselijke nadelen. Fytoremediatie biedt een alternatief voor de traditionele technieken. Het is een veelbelovende methode omdat de saneringskosten laag zijn. Een obstakel dat de toepassing van fytoremediatie meestal belemmert, is de lange duurtijd om een site te saneren.

Een aantal fytoremediatietechnieken die getest en onderzocht worden, zijn: fytoextractie, fytostabilisatie, fytotransformatie, fytovolatilisatie, fytodegradatie en rhizofiltratie. Hieronder volgt een korte beschrijving van elke techniek.

Fytoextractie en **fytostabilisatie** zijn technieken die meestal worden gebruikt om metaalverontreinigde bodems te behandelen. Bij extractie accumuleert de gebruikte plant of boom verontreiniging in de wortels en bovengrondse delen. In theorie kan de behandelde grond van zijn vervuiling ontdaan worden en opnieuw voor andere doeleinden aangewend worden. Uit onderzoek blijkt fytoextractie veelbelovend omdat deze techniek afhankelijk van de gebruikte plant of boom een bepaalde hoeveelheid biomassa produceert waaraan een economische waarde kan worden gehecht.

Fytostabilisatie beoogt het immobiliseren van kleine hoeveelheden vervuiling in een bodem. Zo wordt het risico ingedijkt en verhinderd dat vervuiling zich verder kan verspreiden door wind of watererosie.

Volgens Vidali (2001) is **fytotransformatie** de opname van organische vervuiling en de omzetting ervan naar een stabiele, minder toxische of minder mobiele vorm.

Fytovolatilisatie is een vorm van fytoextractie waarbij planten contaminatie in een bodem transformeren in volatiele delen. Een voor de hand liggend nadeel van dit proces is dat er geen controle is over de bestemming van de gevolatiliseerde deeltjes (Brett Robinson et al., 2006).

Mirck et al. (2005) definiëren **fytoodegradatie** of **rhizodegradatie** als de ontbinding en afbraak van organische pollutie door de activiteit in de rhizosfeer (gebied rond de wortels) van een plant.

Rhizofiltratie is een waterremediatietechniek waarbij vervuiling door de wortels van een plant wordt opgenomen (M. Vidali, 2001). Deze methode wordt toegepast om verontreiniging in draslanden te reduceren.

Vele studies concentreren zich op de productie van bio-energie uit de biomassa aangeleverd door een fyto-extractie of -stabilisatieproces. Volgens Robinson et al. (2003) zal fytoextractie pas commercieel geïmplementeerd kunnen worden indien het aan twee basisvoorwaarden kan voldoen. Ten eerste moet een bodem gesaneerd kunnen worden tot op een niveau dat voldoet aan geldende regelgeving. Ten tweede zal de keuze voor fytoextractie ook economisch aantrekkelijk moeten zijn. Het zal met andere woorden ook vanuit economisch standpunt beter moeten zijn dan andere alternatieven.

Bovengenoemde voorwaarden kunnen in bepaalde gevallen verwezenlijkt worden door de combinatie van een fytoremediatietechniek met een winstgevende operatie. Na een eerste verkenning van de literatuur is duidelijk dat er daartoe vooral mogelijkheden voor fytoextractie en fytostabilisatie zijn. Het grote voordeel van de integratie van een rendabele operatie (namelijk de productie van bio-energie uit de aangeleverde biomassa) is dat er een opbrengst voorhanden is. Hierdoor zal de meestal lange duurtijd van een sanering door middel van fytoremediatie mogelijk minder in de weg staan.

In het eerste onderdeel van de thesis zal dan ook aandacht besteed worden aan de verschillende biomassaconversietechnieken. Er zal onder andere in de literatuur gezocht worden naar eventuele problemen en uitdagingen bij de energieconversie van aangereikte biomassa. Een ander belangrijk aandachtspunt zal het identificeren zijn van een conversietechniek die gekoppeld aan fytoremediatie de beste toekomstperspectieven heeft.

De beleidsmatige omkadering van een innoverende technologie speelt een grote rol in het bekomen van een succesvolle implementatie ervan. Dit aspect zal samen met de huidige stimuli omtrent bio-energie en innoverende technologieën in het tweede onderdeel van de thesis behandeld worden.

In het derde en laatste onderdeel zullen de lacunes in het onderzoek die in de economische en beleidsmatige evaluatie gevonden zijn, samengebracht worden.

B. Probleemstelling en centrale onderzoeksvraag

Er is al veel onderzoek naar fytoremediatie gedaan. Het is volgens mij dan ook hoog tijd voor een evaluatie. Op deze manier zal het mogelijk zijn om op zoek te gaan naar lacunes.

De bedoeling van deze eindverhandeling is om een algemeen beeld te scheppen van de mogelijkheden die er zijn en deze dan vanuit een economisch standpunt te evalueren. De uiteindelijke doelstelling hiervan is om te weten te komen of we de weg van fytoremediatie de volgende jaren moeten blijven volgen en of we tot nu toe de juiste wegen binnen fytoremediatie aan het volgen zijn. Wanneer de bovenstaande vragen beantwoord kunnen worden, is het tijd om te beginnen nadenken hoe het beleid hierop kan inspelen.

Het onderzoek naar fytoremediatie is veelzijdig. Er zijn dan ook heel wat planten en bomen die in aanmerking komen voor saneringsdoeleinden. Elk met hun eigen techniek, tolerantie voor contaminatie en productie van biomassa. Het probleem hierbij is dat men na verloop van tijd het bos door de bomen niet meer ziet.

In eerste instantie zal ik mij focussen op fytoextractie. Dit omdat deze techniek na een eerste verkenning van de literatuur de beste toekomstperspectieven lijkt te hebben. Eventuele opbrengstenstromen die deze techniek zou kunnen genereren, hebben hier zeker mee te maken. Indien na verder onderzoek blijkt dat andere technieken vanuit economisch standpunt ook veelbelovend zijn, dan zal hier in tweede instantie aandacht aan worden geschonken.

Een verdere afbakening van het onderzoeksgebied brengt ons bij de verschillende remediërende planten die in aanmerking komen voor de bovenvermelde technieken.

Enkele planten en bomen die in de literatuur meermaals voorkomen zijn: wilgen, populieren, koolzaad, en energiemais.

Als laatste zou ik het onderzoeksgebied nog willen beperken tot planten die metaalverontreiniging kunnen aanpakken en die bovendien in Europa en zeker in België kunnen groeien.

Met de eerder vermelde opsomming van planten, bomen en processen wil ik aangeven waar ik mij in de eerste plaats op ga toeleggen. De bedoeling is een overzicht te geven van het onderzoek dat hiernaar is verricht en te zoeken naar lacunes. Wanneer na verder onderzoek blijkt dat er vanuit economisch standpunt alternatieven of processtappen zijn die nog niet werden onderzocht, zal ik met ondersteuning van literatuur uitleggen waarom deze alternatieven en processtappen een interessante onderzoeksmaterie zijn.

De centrale onderzoeksvraag van deze thesis luidt:

“Wat staat de evolutie van fytoremediatie tot een economisch rendabele saneringstechniek in de weg?”.

Op de volgende pagina is er een opsplitsing van de centrale onderzoeksvraag in een aantal deelvragen en subdeelvragen gemaakt.

1. Heeft fytoremediatie ten op zichte van de klassieke saneringstechnieken een toekomst?

1.1 Onder welke omstandigheden kunnen planten met behulp van hun bio-energie potentieel een grond rendabel saneren?

1.2 Zijn er problemen gekend bij de energieconversie van aangereikte biomassa? Is bijvoorbeeld een hoge metaalwaarde in een plant problematisch?

1.3 Welke biomassaconversietechniek biedt gekoppeld aan fytoremediatie, vanuit economisch standpunt de beste toekomstperspectieven en waarom?

2. Wat is de rol van het beleid voor de implementatie van nieuwe technieken zoals fytoremediatie?

2.1 Hoe stimuleert het bestaande beleid rond bio-energie de ontwikkeling en toepassing van beloftevolle technieken? Zou dit beter kunnen?

2.2 Welke concrete beleidsvoorstellen kunnen ervoor zorgen dat een winstgevende techniek daadwerkelijk toegepast wordt?

3. Zijn er vragen in het economisch onderzoek naar fytoremediatie die nog niet opgelost zijn? Zo ja, wat zijn de oorzaken van deze lacunes?

3.1 Lacunes in het onderzoek naar fytoremediatie.

3.2 Lacunes in het onderzoek naar energieconversie van biomassa.

3.3 Lacunes betreffende het beleid rond fytoremediatie.

3.4 Lacunes in het economisch onderzoek naar fytoremediatie.

3.5 Andere gebieden voor verder onderzoek.

3.6 Conclusie en perspectieven.

1. Heeft fyto remediatie ten opzichte van de klassieke saneringstechnieken een toekomst?

Om op de deelvraag of fyto remediatie een toekomst heeft in vergelijking met de klassieke saneringsmethodes een antwoord te vinden, is het noodzakelijk om te beginnen met een bespreking van de voor- en nadelen van fyto remediatie ten opzichte van klassieke alternatieven.

Eens hierover een duidelijker beeld is geschapen, zal er in sub-deelvraag 1.2 besproken worden onder welke omstandigheden planten met behulp van hun bio-energie potentieel een grond rendabel kunnen saneren. Vervolgens zal er in 1.3 nagegaan worden of er problemen gekend zijn bij de energieconversie van aangereikte biomassa.

Tenslotte wordt *Hoofdstuk 1* afgesloten door in sub-deelvraag 1.4 te onderzoeken welke biomassaconversietechniek (gekoppeld aan fyto remediatie) vanuit economisch standpunt de beste toekomstperspectieven heeft.

1.1 Voor- en nadelen van fyto remediatie ten opzichte van klassieke alternatieven.

Hieronder volgt een overzicht van de gevonden voor- en nadelen. De sub-deelvraag wordt afgesloten met een samenvattend besluit.

1.1.1 Voordelen

Fyto remediatie is een techniek die toepasbaar is op een brede waaier van zowel organische als niet-organische vervuiling zoals onder andere zware metalen (Alkorta et al., 2004; Ghosh et al., 2005). Het gebruik maken van planten om een bodem te saneren brengt heel wat voordelen met zich mee. Om te beginnen moet men de vervuilde bodem niet afgraven en vervoeren. Het vervoer van dergelijke grond brengt logischerwijze meer blootstellingrisico's mee dan het in situ uitvoeren van een remediatie. Men kan hierbij denken aan bijvoorbeeld

transportongevallen (Vidali, 2001). Doordat fyto-remediatie een in situ toepassing is, is er dus minder risico in verband met verspreiding van vervuiling via lucht en water en zal er ook geen bodemverstoring plaatsvinden (Alkorta et al., 2004; Ghosh et al. 2005). Deze verspreiding via water wordt ook nog eens ingedijkt door de wortels van de planten die het doorsijpelen van water en dus ook van metalen beperken (Biorenew, 2002).

Volgens Vidali (2001) zal de publieke acceptatie voor fyto-remediatie hoger liggen dan voor andere technologieën doordat het gaat om een natuurlijke manier om een bodem te saneren. Vanzelfsprekend zal de hoeveelheid grond die naar stortplaatsen gaat om niet meer gebruikt te worden, verminderen aangezien het bij fyto-remediatie altijd de bedoeling is om een grond terug in gebruik te brengen. Alkorta (2004) vermeldt ook dat er voor fyto-remediatie geen duur materiaal of gespecialiseerd personeel noodzakelijk is, en dat bijgevolg schattingen van kosten erop wijzen dat de conventionele remediatietechnieken duurder zijn. Planten zijn goedkoop en een hernieuwbare bron die voor iedereen toegankelijk is en eens geplant relatief gemakkelijk te onderhouden zijn (Alkorta et al., 2004).

In het kader van de European commission environment research program vermeldt het samenvattingrapport Biorenew (2002) dat de visuele impact van de vegetatie een esthetische verbetering van de site tijdens de remediatieperiode tot gevolg zal hebben. Bovendien zal transport geassocieerd met de remediatie minimaal zijn in vergelijking met alternatieve technieken. Een minder voor de hand liggend voordeel van minder transport is dat fyto-remediatie als techniek geen storend omgevingsgeluid met zich meebrengt. Bomen zouden zelfs het geluid van andere industriële activiteiten kunnen verminderen (Alkorta et al., 2004). Dit lijkt op het eerste gezicht misschien geen belangrijk voordeel, maar het zou wel eens een belangrijke rol kunnen spelen indien het gaat om de sociale acceptatie van een techniek. Methodes zoals fytoextractie en fytostabilisatie brengen een biomassa met een energetische en dus ook monetaire waarde met zich mee. Bij de bespreking van de nadelen van fyto-remediatie zal duidelijk worden waarom deze monetaire waarde van de gegenereerde biomassa wel eens van groot belang zou kunnen zijn.

Het gebruik van biomassa voor energie kan bijdragen tot de reductie van de uitstoot van koolstofdioxide (CO₂) (Witters, 2011). Dit komt doordat aanwending

van biomassa als energiebron geen netto productie van CO₂ tot gevolg heeft (Robinson et al., 2006). In economische termen spreken we dan van positieve externe baten of externaliteiten. Externaliteiten zijn gevolgen van een productieproces die aan een maatschappij of aan het milieu opgelegd worden zonder dat er in de productprijs rekening mee wordt gehouden (Lewandowski et al., 2006). Op termijn kan een beleid met overheidstussenkomst noodzakelijk blijken om de economische efficiëntie te verbeteren. Dit is enkel toegestaan omdat de externe baten van CO₂ -reductie momenteel niet correct in de prijs van biomassa verwerkt zit en er dus bij economische optimalisatie ook geen rekening mee wordt gehouden (Witters, 2011).

Biomassa kan fossiele brandstoffen voor de toelevering van warmte, elektriciteit en transportbrandstof vervangen, en kan ook dienen als grondstof voor materiaalproductie (Dornburg en Faaij, 2005; Witters, 2011). Aangezien bio-energie en de resulterende biobrandstoffen gescheiden zijn van de voedselconsumptie en voedselteelten, zijn hoge metaalwaarden in brandstofteelten minder zorgwekkend dan ze in het geval van voedselteelten zouden zijn (Robinson et al., 2006). In sommige gevallen kan fyto-remediatie de biodiversiteit ten goede komen door het creëren van een habitat voor verschillende diersoorten. Zo vermelden Laureysens en Ceulemans (2002) dat de aanplanting van houtachtige gewassen zoals populieren en wilgen leidt tot een verhoging van de biodiversiteit (Cidad et al., 2003).

1.1.2 Nadelen

Het zwaarste nadeel van fyto-remediatie is dat het verschillende jaren kan duren vooraleer een site gesaneerd is (Vidali, 2001; Ghosh et al., 2005; Thewys et al., 2009; Witters, 2011). Robinson (2006) vermeldt zelfs dat fyto-extractie van zware metalen slechts toepasbaar is op enkele sites door de hoge kosten die gepaard gaan met de lange remediatieperiode. Maar dit nadeel kan ontweken worden indien de remediatie van een site gelinkt kan worden aan een winstgevende operatie (Robinson et al., 2006). Volgens Ghosh (2005) is de commercialisatie van fyto-remediatie nog niet tot stand gekomen door de verwachting dat de sanering van een site in een zelfde tijdsbestek als conventionele saneringstechnieken tot stand moet komen. Hier kan de productie

van biobrandstoffen en dus het gebruik van de biomassa die technieken als fytoextractie en fytostabilisatie ons aanleveren, een belangrijke rol spelen. De productie van biobrandstoffen kan een effectieve manier zijn om vervuilde grond te saneren gekoppeld aan een positieve economische return (Ghosh et al., 2005). Wat uiteindelijk de te bereiken doelstelling verwezenlijkt, namelijk de remediatieduur, wordt van ondergeschikt belang.

Een ander belangrijk nadeel is dat de mogelijkheid om fytoremediatie toe te passen beperkt is in diepte van de contaminatie in de bodem. Fytoremediatie is met andere woorden slechts toepasbaar voor verontreiniging die zich situeert in de omgeving van de wortels van de remediërende plant (Alkorta et al., 2004; Ghosh et al., 2005). Remediatietechnieken als fytoextractie en fytostabilisatie zijn enkel geschikt voor bodems met een lage tot middelmatige concentratie van vervuiling (Vidali, 2001; Alkorta et al., 2004; Ghosh et al., 2005; Witters, 2011). Dit komt omdat de planten die voor deze technieken gebruikt worden elk hun eigen tolerantie voor onder andere zware metalen hebben. In het rapport "Introduction to phytoremediation" van de U.S. Environmental protection agency (2000) vermeldt men dat hoge concentraties contaminatie de groei van planten kunnen belemmeren en dus de toepasbaarheid van fytoremediatie op sommige sites of delen van sommige sites kunnen beperken. Nog limiterende factoren zijn het klimaat en de seizoenen: planten zijn klimaatgevoelig en kunnen beschadigd geraken of ziek worden waardoor de effectiviteit verloren gaat (Alkorta et al., 2004; Ghosh et al., 2005).

Bij de keuze van de remediërende plant vermijdt men volgens Alkorta (2004) en Ghosh (2005) best uitheemse planten, dit omdat ze de biodiversiteit wel eens zouden kunnen aantasten. Geoogste biomassa afkomstig van fytoremediatie zou afhankelijk van geldende wetgeving geklasseerd kunnen worden als gevaarlijk afval. Het is dan ook van uiterst belang dat er correct en veilig wordt omgegaan met biomassa die bijvoorbeeld aangereikt is met zware metalen. Anders bestaat volgens Alkorta (2004) de kans dat deze verontreiniging wordt doorgegeven aan een ander medium, het milieu, en/of de voedselketen. Zoals Ghosh (2005) vermeldt, is de consumptie of het gebruik van vervuilde biomassa dan ook niet verwonderlijk een heikel punt dat publieke ongerustheid meebrengt.

1.1.3 Samenvattend besluit

Samenvattend kunnen we stellen dat fyto remediatie geschikt is voor grote oppervlaktes diffuus verontreinigde grond met een lage tot middelmatige concentratie van verontreiniging (Adams et al., 2000; Vidali, 2001; Biorenew Consortium, 2002; Bardos et al., 2010). Conventionele remediatietechnieken zijn beter geschikt voor hogere concentraties contaminatie en kleinere oppervlaktes (Adams et al., 2000). Er mag geen tijdsdruk zijn indien men fyto remediatie wil toepassen, aangezien dit in de meeste gevallen een proces van lange adem is. Primeert snelheid dan zal een klassieke saneringsmethode beter geschikt zijn. Vangronsveld (2009) waarschuwt wel voor het maken van onrealistische beloftes op basis van laboratoriumexperimenten betreffende de mogelijkheden van extractie van zware metalen uit de bodem.

In het algemeen worden de klassieke saneringstechnieken in de literatuur gezien als een duurder alternatief dan fyto remediatie indien er geen rekening wordt gehouden met de langere remediatieperiode van fyto remediatie. Of wanneer er geen rekening gehouden wordt of moet gehouden worden met het alternatief gebruik van een stuk grond. Over het kostenplaatje van fyto remediatie stelt Vangronsveld (2009) dat kosteninformatie voor de gevestigde remediatietechnologieën beschikbaar is, maar dat bij alternatieve behandelingstechnologieën met een beperkte toepasbaarheid meestal de gegevens over performantie en kosten ontbreken. Verklaring hiervoor is dat fyto remediatiekosten zeer locatiespecifiek zijn. Men kan hierbij denken aan de soort en diepte van de verontreiniging, de toestand van de bodem en of er eventueel mogelijkheden zijn om een waardevolle biomassa te genereren (Vangronsveld et al., 2009).

Gezien de voorgaande bespreking van voor- en nadelen kunnen we stellen dat fyto remediatie zeker een toekomst heeft. Ik baseer mij hiervoor op het feit dat het niet echt allemaal voor- en nadelen zijn tussen klassieke saneringstechnieken en fyto remediatie, maar het soms meer een verschil in toepasbaarheid is tussen de klassieke saneringstechnieken en fyto remediatie. Fyto remediatie is geschikt voor grote oppervlaktes diffuus verontreinigde grond, waarbij de concentratie van de contaminatie niet hoger dan laag tot gemiddeld is, en er geen tijdsdruk is om de grond te saneren.

Conventionele saneringstechnieken zijn geschikter voor het omgekeerde van alle genoemde eigenschappen, namelijk kleinere oppervlaktes grond met hoge concentraties vervuiling die zo snel mogelijk geremedieerd moeten worden.

Denk hierbij aan het "Bodemdecreet". Indien er bij historische bodemverontreiniging geen ernstige bedreiging is, is er geen tijdsdruk. In geval van ernstige bedreiging moet de site zo snel mogelijk en verplicht gesaneerd worden. Fytoremediatie is dus best geschikt in de gevallen dat een historisch verontreinigde site volgens het Bodemdecreet geen ernstige bedreiging vormt.

In geval van nieuwe bodemverontreiniging zal fytotherapie toegepast kunnen worden indien de bodemsaneringsnormen niet overschreden zijn. Dan wordt er ook vanuit gegaan dat de verontreiniging geen ernstige bedreiging vormt. Een uitzondering hierop is wanneer de saneringsplichtige zou kunnen bewijzen dat fytotherapie de best beschikbare techniek is en geen overmatig hoge kosten met zich meebrengt.

Belangrijk te vermelden hierbij is de reden waarom men zou overgaan of overwegen om een site te saneren die niet verplicht gesaneerd moet worden. Redenen hiervoor kunnen het gevoel van "common concern" en het streven naar duurzaamheid zijn. Deze concepten zullen in 3.4.1 verder behandeld en uitgewerkt worden.

Vanuit **economisch standpunt** kan de doelstelling van fytotherapie van een vervuilde grond driedelig zijn: (1) indijken van een risico, we kunnen hierbij aan fytostabilisatie denken; (2) fytoextractie van zware metalen met een marktwaarde; (3) duurzaam landbeheer waarbij fytoextractie langzaamaan de kwaliteit van de bodem verbetert, zodat er uiteindelijk weer gewassen met een hogere marktwaarde op geteeld kunnen worden of er een andere economische activiteit op kan plaatsvinden (Vangronsveld et al., 2009).

1.2 Onder welke omstandigheden kunnen planten met behulp van hun bio-energie potentieel een grond rendabel saneren?

In deze sub-deelvraag zal dieper ingegaan worden op de beperkingen en mogelijkheden van fytoremediatie, dit met de bedoeling tot algemene voorwaarden te komen waarin fytoremediatie als techniek toepasbaar is.

1.2.1 Wortels van de plant

Een van de eerste criteria waaraan gedacht moet worden bij de keuze voor fytoremediatie is de worteldiepte van de plant. De wortels van de gebruikte plant moeten in contact zijn met de verontreinigde bodem. Dit komt omdat het de bedoeling is dat de wortels de vervuiling absorberen. Algemeen genomen mag de diepte van de bodemvervuiling de worteldiepte dan ook niet overschrijden. Het is met andere woorden noodzakelijk dat de wortels tot aan de vervuiling reiken. Adams et al. (2000) vermelden dat een uitzondering gemaakt kan worden indien de vervuiling naar hoger gelegen gedeelten van de bodem verplaatst kan worden. (Adams et al., 2000; Wins, 2008)

Worteldiepte is voor elke plant verschillend maar kan ook voor één bepaalde soort sterk variëren door de lokale omstandigheden van een terrein zoals onder andere de bodemtoestand (vochtigheid van de bodem, bodemstructuur, vruchtbaarheid van de bodem,...) en klimaatomstandigheden of andere factoren.

Volgens Adams et al. (2000) ligt de effectieve worteldiepte voor de meeste niet-houtachtige soorten tussen 30,5 centimeter en 61 centimeter. Voor de wortels van bomen zou de effectieve worteldiepte tussen 3,05 meter en 6,10 meter liggen.

1.2.2 Groei van de plant

Een tweede belangrijk criterium is de groei van de plant. Een plant accumuleert een bepaalde hoeveelheid vervuilende stof per kilogram biomassa. Dus hoe meer een plant groeit (hoe meer biomassa een plant aanmaakt), des te meer vervuilende stoffen een plant kan accumuleren (Wins, 2008). Indien een plant

een snelle groei kent, zal ze sneller een grote hoeveelheid biomassa hebben en bijgevolg veel sneller een grote hoeveelheid vervuilende stoffen kunnen accumuleren.

Andere belangrijke factoren in deze context zijn de concentratie van de verontreiniging en de hoeveelheid van een vervuilende stof die een plant kan accumuleren. De concentratie van de verontreiniging is van belang omdat te hoge concentraties de groei van een plant kunnen belemmeren. De hoeveelheid vervuilende stof die een plant kan opslaan, is belangrijk omdat op basis daarvan de totale opname van een zwaar metaal door de plant berekend kan worden.

Planten die buitengewone grote hoeveelheden metalen kunnen opnemen in vergelijking met andere planten en de totale metaalconcentratie in de bodem noemt men hyperaccumulatoren. Over het algemeen zal de totale hoeveelheid verwijderde metalen bij hyperaccumulatoren echter aan de lage kant zijn. Dit komt doordat ze gewoonlijk een lage biomassaproductie en trage groei kennen. (Adams et al., 2000)

Aangezien bij fytoextractie van zware metalen zowel de hoeveelheid biomassa als de concentratie van zware metalen in die biomassa van belang is, zal de voorkeur gegeven worden aan een plant die een lagere concentratie metalen accumuleert, maar een veel grotere hoeveelheid biomassa produceert dan de meeste hyperaccumulatoren. De reden hiervoor is volgens Adams et al. (2000) dat de totale hoeveelheid verwijderde metalen veel groter zal zijn.

Wins (2008) schrijft ook dat de keuze best valt op een plant die al van nature in de omgeving voorkomt omdat deze al aangepast zijn aan het lokale klimaat, de insecten en de ziekten.

1.2.3 Site-en bodemeigenschappen

Oppervlakte van de site

De oppervlakte van een site is een belangrijk gegeven in het bepalen of fytoremediatie vanuit economisch standpunt een haalbare oplossing is voor de remediatie van het terrein. Over het algemeen worden sites met een grotere

oppervlakte gezien als beter geschikt voor fyto-remediatie dan sites met een kleinere oppervlakte.

Lokale omstandigheden kunnen kleinere sites toch rendabel maken. Zulke lokale omstandigheden kunnen bijvoorbeeld zijn dat er biobrandstofproducenten in de nabije omgeving gelegen zijn, of dat er lokaal aannemers aanwezig zijn of eindgebruikers van biobrandstof (Biorenew Consortium, 2002).

Het Biorenew Consortium (2002) vermeldt dat het niet mogelijk is om een absolute minimumgrootte van een site te specificeren voor de toepasbaarheid van fyto-remediatie. Toch is het wel juist te vermelden dat hoe kleiner een site is, hoe kleiner de kans is dat fyto-remediatie er toepasbaar zal zijn. Volgens het Biorenew Consortium (2002) komt dit doordat het verschil in kosten tussen fyto-remediatie en alternatieve remediatie strategieën de neiging zal hebben af te nemen wanneer de oppervlakte van de site vermindert.

Bij de afweging of de kosten voor de sanering door middel van fyto-remediatie acceptabel zijn, wordt er rekening gehouden met de kosten en de technische haalbaarheid van de beschikbare alternatieven, maar ook met de sociale- en economische doelstellingen verbonden aan de rehabilitatie van de site (Biorenew Consortium, 2002).

Het Biorenew Consortium wijst er ook op dat de kosten voor de sanering door de toepassing van fyto-remediatie de neiging hebben acceptabel te zijn indien er een economisch voordeel te behalen valt of wanneer er werkloosheid heerst, industriële recessie, deprivatisatie of er een achteruitgang van de toestand van het milieu is.

Toestand van de bodem

Volgens het Biorenew Consortium (2002) is de totale concentratie van een bepaald metaal in een bodem irrelevant. Een reden die ze hiervoor geven is onder andere dat slechts een fractie ervan bereikbaar is voor een plant.

De keuze om fyto-remediatie toe te passen is er dan ook geen omwille van de concentratie van de verontreiniging, maar eerder omwille van het risico die de

vervuiling meebrengt, de uitkomst die men wil bekomen en de prioriteiten die men stelt. Vandaar dat de totale concentratie van metalen in een bodem waarschijnlijk een van de minst belangrijke factoren in de selectie van fytoremediatie boven andere remediatie strategieën is (Biorenew Consortium, 2002).

Het Biorenew Consortium vermeldt ook dat de tolerantie van een plant voor zware metalen en de opname van zware metalen toeneemt wanneer respectievelijk de groeiomstandigheden voor een plant goed zijn en er voldoende nutriënten in de bodem aanwezig zijn.

De aanwezigheid van vegetatie op een site is een goede indicator voor de groeiomstandigheden. Indien men fytoremediatie wil toepassen, moet de bodem van een site in staat zijn om plantenleven mogelijk te maken. In geval van een minder goede bodemstructuur, ontwatering of nutriëntenstatus, kunnen bodemamendementen toegevoegd worden ter verbetering van de groeiomstandigheden (Biorenew Consortium, 2002).

Een verdichte bodem met slechte ontwatering als gevolg kan in sommige gevallen alleen al door bewerking van de grond verholpen worden. Andere sites daarentegen kunnen een substantiële verwijdering van grond nodig hebben voordat aanplanting erop mogelijk is (Biorenew Consortium, 2002).

Het Biorenew Consortium vermeldt dat het verwijderen van grond om de groei van planten mogelijk te maken duurder kan uitkomen dan het volledig afgraven van een bodem, zeker wanneer het om sites met een kleinere oppervlakte gaat. De beslissing om verder te gaan, zou men op basis van economische redenen of praktische redenen kunnen maken (Biorenew Consortium, 2002).

1.2.4 Criteria voor de keuze van planten voor de aanplanting op vervuilde grond

Om af te sluiten nog een korte opsomming van eigenschappen (waarvan enkele reeds vermeld) die planten moeten bezitten indien men ze voor fytoextractie wil gebruiken. (Alkorta en Garbisu, 2001; Biorenew Consortium, 2002)

- ✓ Tolerant zijn voor potentieel toxische omstandigheden;
- ✓ Metalen opnemen en opslaan in de oogstbare biomassa;
- ✓ Goede biomassaproductie hebben (ook in omstandigheden van weinig nutriënten en/of water);
- ✓ Diep wortelstelsel hebben, zodat de bodemdiepte die door het gewas bereikt kan worden voldoende diep is;
- ✓ Aanpasbaar zijn aan een wijde range van bodem pH-waarden (zuurtegraad van een bodem).

1.3 Zijn er problemen gekend bij de energieconversie van aangereikte biomassa?

Bij het gebruik van vervuilde biomassa kunnen afhankelijk van de samenstelling van de biomassa, het omzettingsproces en de eventueel aanwezige rookgasreiniging milieubelastende restproducten vrijkomen zoals onder andere stikstofoxiden, kwik en zware metalen (Bio-energy, 2007; Ceunen, 2008). De aanwezigheid van zware metalen in biomassa maakt het ook mogelijk dat er zware metalen in de biobrandstoffen terecht komen. Het is van belang dat daar aandacht aan wordt geschonken teneinde te voorkomen dat tijdens de omzettingsprocessen of bij het gebruik van de biobrandstoffen de zware metalen opnieuw in het milieu terecht komen.

De bedoeling van deze sub-deelvraag is nagaan wat er in de literatuur gezegd wordt over de energieconversie van biomassa die aangereikt is met zware metalen. Het soort vragen dat hierbij rijzen zijn: zijn er problemen gekend bij de energieconversie, zijn er aanpassingen nodig aan de omzettingsinstallaties en zijn de eindproducten vrij van zware metalen.

Hieronder volgt een beknopte bespreking van de belangrijkste processen waarvan literatuur beschikbaar was. Een uitgebreidere bespreking is te vinden in Witters (2011).

1.3.1 Korte-omloophout / pyrolyse olie

Korte-omloophout zoals wilg en populier zijn omwille van hun relatief hoge extractiecapaciteit van zware metalen zeer geschikt voor fytoextractie (Kuppens et al., 2010). Volgens het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO, 2006) beschikt populier over de juiste karakteristieken om als remediërend gewas te dienen. Wilg beschikt ook over deze eigenschappen en experimentele plantages hiermee hebben reeds plaatsgevonden (Van Ginneken et al., 2007; Ruttens et al., 2008). (Vanheusden, 2010)

Volgens Kuppens et al. (2010) wordt wilg best omgezet door thermische omzettingstechnieken zoals flash-pyrolyse. De reden hiervoor is dat flash-pyrolyse bij een matige temperatuur van ongeveer 450 graden plaatsvindt waarbij er bijna geen metalen gevolatiliseerd (vluchtig gemaakt) worden (Stals et al., 2010; Kuppens et al., 2010). Hierdoor zullen bijna alle metalen geconcentreerd worden in de overblijvende houtskool (char) van het pyrolyseproces (Stals et al., 2010; Kuppens et al., 2010).

Kuppens et al. (2010) vermelden dat experimenten van flash-pyrolyse met wilg dat geteeld werd op grond vervuild met zware metalen (in de Kempen in België), aantonen dat minder dan 1 procent van de in de wilgenbiomassa aanwezige zinkelementen gevolatiliseerd worden en in de pyrolyse olie terechtkomen. Dit is volgens de Belgische/Vlaamse milieuwetgeving een aanvaardbaar niveau (Stals et al., 2010).

Aangezien de zware metalen in de vervuilde biomassa zich na flash (co-) pyrolyse in de overblijvende char zullen bevinden, zal deze niet aantrekkelijk zijn voor gebruik als houtskool. Kuppens et al. schrijven (2010) dat men er daarom vanuit gaat dat men zich er enkel correct kan van ontdoen door het te verwijderen in overeenstemming met het afvalstoffendecreet van het Vlaamse Gewest en het Vlaamse Reglement inzake afvalvoorkoming en -beheer.

1.3.2 Koolzaad / biodiesel

Wat de effecten van metalen in biomassa op het biodieselproductieproces betreft, haalt Witters (2011) aan dat er hierover geen data beschikbaar zijn. Bijgevolg zijn er aan de installatie geen wijzigingen nodig (Witters, 2011).

Witters vermeldt dat aangezien ervan uitgegaan wordt dat alle metalen in de koolzaadkoek (cake) eindigen, ook aan de motor geen wijzigingen nodig zijn voor de verbranding van PPO of biodiesel.

Van Ginneken et al. (2007) vermelden dat sommige cruciale vragen betreffende de inhoud van zware metalen in biodiesel verkregen van de olie van planten gebruikt voor fytoremediatie van bodems verontreinigd met zware metalen, onbeantwoord blijven. Volgens Van Ginneken et al. (2007) is in een studie⁴ van Angelova et al. (2005) aangetoond dat hoewel het concentratie-effect van zware metalen het laagste is in de zaden (waarin de plantenolie zit), de hoeveelheden lood, koper en cadmium in de koolzaadolie hoger waren dan de maximale toelaatbare concentratie voor menselijke consumptie.

Om te voorkomen dat het remediatie-effect van fytoremediatie niet ongedaan gemaakt wordt door een hogere uitstoot van zware metalen door voertuigen die op biodiesel rijden, afkomstig van fytoremediatieplanten, is het volgens Van Ginneken et al. (2007) noodzakelijk om hier verder wetenschappelijk onderzoek naar te verrichten.

In deze context vermelden Mench et al. (2010) dat de emissies van spoorelementen van voertuigen die op biodiesel of PPO (afkomstig van fytoremediatiegewassen) rijden, geminimaliseerd kunnen worden door de planten te selecteren op basis van hun lage inhoud van spoorelementen in de zaden. Volgens Mench et al. (2010) zitten dit soort biobrandstoffen in de ontwikkelings- en demonstratiefase, en creëert het een mogelijk gebruik voor

⁴ ANGELOVA, V.; IVANOVA, R.; IVANOV, K. Heavy metal accumulation and distribution in oil crops. Communications in Soil Sci. *Plant Analysis*, 2005, Vol. 35, No. 17-18, p 2551-2566.

fytoremediatiebiomassa. Dit mits de concentraties spoorelementen het proces niet verstoren (Mench et al., 2010)

1.3.3 Energiemaïs / biogas

Thewys (2010) en Witters (2011) schrijven dat informatie, data en studies betreffende de potentiële invloed van metaalgehalten in de biomassa op het vergistingsproces schaars zijn. In hoge concentraties hebben metalen volgens Thewys (2010) en Witters (2011) een bewezen effect op de enzymen verantwoordelijk voor de afbraak van de biomassadeeltjes.

Of ze de biogasproductie stimuleren of afremmen, is onder andere afhankelijk van de totale metaalconcentratie, maar ook van de chemische vorm van de metalen en procesgerelateerde aspecten (Witters, 2011).

Witters vermeldt dat verschillende experimenten erop wijzen dat metalen een effect hebben op het vergistingsproces, maar dat ze niet toelaten tot een eenduidige conclusie te komen omtrent de biogasproductie uit verontreinigd energiemaïs.

Vervolgens vermeldt Witters dat er op basis van een veldexperiment geen significant verschil te vinden was in het biogasproductiepotentieel van maïs geteeld op verontreinigde grond ten opzichte van maïs geteeld op niet vervuilde grond. Een verdere bevestiging van deze bevindingen kan in Van Slycken et al. (2011) gevonden worden. Op basis hiervan moeten er volgens Thewys (2010a) geen wijzigingen aan een biogasinstallatie gemaakt worden. Aangezien alle metalen in het digestaat terecht komen, kan het verkregen biogas bovendien gebruikt worden als brandstof voor een warmtekrachtkoppelingsinstallatie zonder enige wijziging van deze installatie. (Witters, 2011).

1.3.4 Besluit

Voor de pyrolyse van wilg kan besloten worden dat de zware metalen zich in de houtskool zullen concentreren en niet in de pyrolyse olie, en bovendien geen effect zullen hebben op de efficiëntie van het energieomzettingsproces.

Ook voor koolzaad en energiemais kan aangenomen worden dat de metalen geen effect hebben op de efficiëntie van het energieconversieproces. Daarenboven komen er ook hier geen metalen in de energiedrager (de eindproducenten) terecht, maar zullen ze geconcentreerd worden in de restproducten (in de koek en het digestaat).

1.4 Welke biomassaconversietechniek biedt, gekoppeld aan fytoremediatie, vanuit economisch standpunt de beste toekomstperspectieven en waarom?

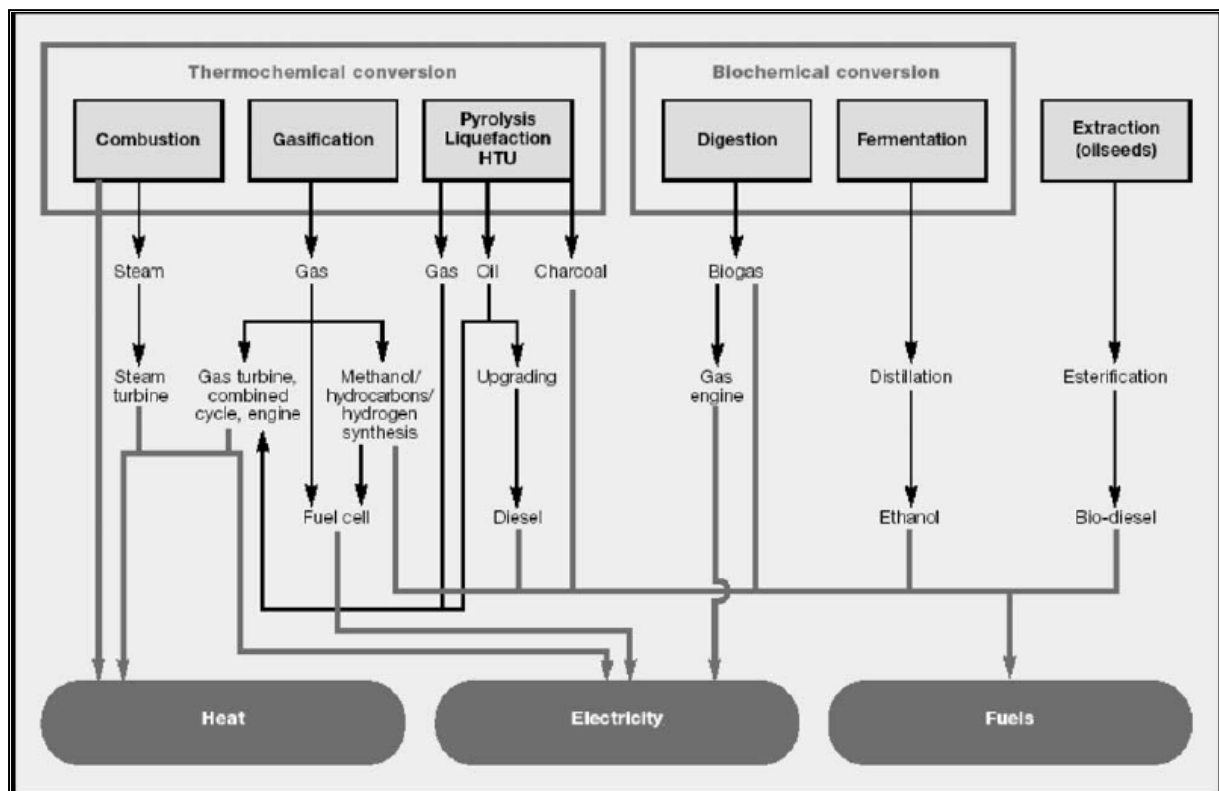
Fytoremediatie wordt vaak voorgesteld als een goedkope remediatietechniek. Dit komt door het maken van kostenvergelijkingen met traditionele technieken. Wanneer we dergelijke vergelijkingen gaan maken is het van belang om een gemeenschappelijk saneringsdoel voor ogen te houden teneinde een zinvolle vergelijking te kunnen maken (Vassilev et al., 2004). Dit wil zeggen dat de remediatieperiode wel mag en kan variëren, maar dat fytoremediatie hier vanuit economisch standpunt een fundamenteel nadeel heeft. Namelijk, fytoremediatie is een proces dat over het algemeen veel langer duurt om een bepaald saneringsdoel te bereiken. Een econoom denkt hierbij aan de eerder terugverdiende inkomsten van een site die sneller gesaneerd is door een traditionele techniek (Vassilev et al., 2004). Volgens Vassilev (2004) zullen deze de meerkosten van de traditionele techniek verminderen wanneer we deze gaan vergelijken met de kosten van fytoremediatie. Daarnaast is het ook van belang om in het achterhoofd te houden dat een vergelijking van kosteninformatie tussen verschillende technieken slechts zinvol is indien dit gebeurt op site-specifieke basis. Dit omdat zoals Vassilev (2004) vermeldt kosten van eenzelfde remediatietechniek sterk kunnen variëren per site.

Zoals al eerder gezegd kan het nadeel van de lange duurtijd van fytoremediatie omzeild worden door kostenrecuperatie. Wij denken hierbij aan: (1) het verkopen van de gewonnen metalen bij fytoextractie – een bedenking hierbij is dat het moeilijk zal zijn om hiervoor een verwerker en een markt te vinden; (2) verkopen van de biomassa als grondstof – houtproducten zijn hier een goed voorbeeld van, enige bezorgdheid over contaminatiegehalten zou hierbij een

probleem kunnen zijn; (3) het valoriseren van de biomassa door de conversie ervan in een andere energievorm – zoals bijvoorbeeld pyrolyse olie of biogas. (Vassilev et al., 2004)

Bovendien kunnen we een onderscheid maken tussen verschillende biomassaconversietechnieken die de duurtijd van fyto-remediatie onrelevant kunnen maken en bijgevolg economischer zijn dan traditionele technieken. Hieronder zal een beschrijving van de verschillende conversietechnieken volgen gekoppeld aan een bespreking van de economische aspecten van elke techniek. De bedoeling hiervan is om uit de literatuur af te leiden welke biomassaconversietechniek gekoppeld aan fyto-remediatie in het algemeen de beste perspectieven biedt.

Figuur 1.1: Voornaamste conversiemogelijkheden voor biomassa naar een secundaire energiedrager



Bron: André P.C. Faaij, (2006), Bio-energy in Europe: changing technology choices.

Zoals we op figuur 1.1 kunnen zien zijn er twee grote groepen bio-energie conversiemogelijkheden. De eerste groep zijn de thermische conversieprocessen waaronder directe verbranding van biomassa, vergassing en pyrolyse thuishoren. Daarnaast hebben we nog de biologische en fysische omzettingstechnieken. De biologische omzettingstechnieken bestaan uit anaërobe vergisting en fermentatie. Welke biomassa geschikt is voor welke conversietechniek hangt af van het aanwezige vochtgehalte in de biomassa (Ceunen, 2008). Drogere biomassa is geschikter voor thermische omzettingsprocessen en vochtigere biomassa gebruikt men beter voor biologische conversieprocessen. De reden hiervoor is dat het anders te veel energie zou vragen om biomassa te drogen in vergelijking met de energieopbrengst die er via een thermisch proces gerealiseerd kan worden (Ceunen., 2008).

Uiteraard zijn er nog andere factoren die een rol spelen in de keuze van een goede conversietechniek. Ceunen (2008) vermeldt dat welke conversietechniek men ook kiest, het belangrijk is om weten dat de potentiële energie-inhoud van een bepaalde biomassabron steeds dezelfde blijft. Wat dus verandert bij wijziging van de conversietechniek is de gewonnen hoeveelheid energie en de vorm ervan (warmte en/of elektriciteit, olie,...).

Om verschillende omzettingstechnieken met elkaar te vergelijken is **netto energierendement** (bruto energierendement min benodigde energie-input) één van de belangrijkste meetinstrumenten (Ceunen, 2008). Een hoog energierendement wil zeggen dat men maar weinig land nodig heeft om een bepaalde hoeveelheid energie op te wekken. Vanzelfsprekend is het vanuit economisch standpunt dan ook beter om een hoog netto energierendement te hebben.

Nog een belangrijk criterium voor de vergelijking van omzettingstechnieken is volgens Ceunen (2008) de **energieratio** (verhouding tussen energie output en energie input). Hoe groter deze ratio, hoe beter. Indien de ratio kleiner is dan 1 dan is de energie input groter dan de output.

Na een verkenning van de literatuur blijkt dat aan de drie thermische productieprocessen al veel aandacht is besteed. Het belangrijkste verschil tussen de drie thermische omzettingsprocessen is de hoeveelheid lucht (meer bepaald

zuurstof) die wordt toegevoegd. Bij verbranding wordt er veel zuurstof toegevoegd, vergassing vindt plaats bij een geringe hoeveelheid zuurstof en pyrolyse gebeurt bij afwezigheid van zuurstof. Afgaande op de afbakening die ik in de probleemstelling heb gemaakt zijn de thermische omzettingsprocessen interessant voor onderlinge vergelijking.

1.4.1 Verbranding van biomassa (800-1000 °C / veel zuurstof)

Elke vorm van biomassa kan in principe verbrand worden, maar economisch gezien is de verbranding van biomassa enkel rendabel indien het materiaal een vochtgehalte van minder dan 50 procent heeft (Ceunen, 2008). Anders zou er te veel energie verloren gaan aan de verdamping van het aanwezige vocht (Mckendry, 2002; Ceunen, 2008)

Afhankelijk van de gebruikte techniek ligt het rendement van verbranding tussen 10 en 90 procent. Indien het de bedoeling is om elektriciteit op te wekken, zal de vrijgekomen warmte gebruikt worden om water te verwarmen. Warm water produceert stoom die op zijn beurt een turbine aandrijft. Een generator zorgt voor de uiteindelijke elektriciteitsopwekking. Bij dit soort technieken ligt het energierendement zeer hoog.

Een niet te onderschatten nadeel van verbranding is dat het rookgasen met zich meebrengt en dat er na verbranding assen overblijven. Bij hoge temperaturen zijn metalen, die bijvoorbeeld in korte omloophout aanwezig zijn, vluchtig en komen ze bijgevolg in de rookgasen terecht. Een zware investering is noodzakelijk om te vermijden dat de metalen die via fytoextractie onttrokken zijn aan de bodem niet opnieuw in de atmosfeer en dus ook in de bodem belanden (Kuppens, 2008).

1.4.2 Vergassing van biomassa (700-900°C / weinig zuurstof)

Bij vergassing wordt biomassa in vaste vorm omgezet in een gasvormige brandstof. Deze brandstof kan gebruikt worden om elektriciteit of warmte op te wekken door verbranding in een gasturbine of gasmotor (Vassilev et al., 2004). In deze gevallen spreekt men van stookgas en kunnen volgens Ceunen (2008)

elektrische rendementen van 30 procent behaald worden. Men kan er ook voor kiezen om de gasvormige brandstof niet te verbranden, maar te gebruiken voor de productie van brandstoffen zoals methanol en waterstof. De gebruikte gasvormige brandstof krijgt dan de benaming synthesegas in de plaats van stookgas. Volgens Vassilev (2004) hebben op vergassing gebaseerde systemen schaalvoordelen ten opzichte van verbranding en bovendien een milieuvriendelijkere en efficiëntere werking. Het rendement dat men met een vergasser kan bereiken, ligt doorgaans hoger dan dat van verbranding en er moeten minder rookgassen gereinigd worden.

1.4.3 Pyrolyse van biomassa (500°C / geen zuurstof)

Pyrolyse is een derde thermisch conversieproces. Hierbij wordt de biomassa verhit (tot circa 500°C) zonder er zuurstof aan toe te voegen. Als resultaat hiervan ontstaan er cokes (koolstofresten), gassen en oliën. Voordelen van pyrolyse ten opzichte van vergassen en verbranden zijn dat er praktisch geen metalen gevolatiliseerd worden (Stals et al., 2010) en dat de geproduceerde olie getransporteerd en opgeslagen kan worden. Metalen (zoals cadmium) volatiliseren gemakkelijker bij hogere temperaturen. Hierdoor zullen gassen die ontstaan bij verbranding en vergassing meer zware metalen bevatten dan gassen uit pyrolyse. (Faes, 2011)

Flash (snelle) pyrolyse is een speciale vorm van pyrolyse waarbij de biomassa voor heel korte tijd (maximum 3 seconden) verwarmd wordt en temperaturen tot 900°C bereikt kunnen worden. Het gevolg is dat er pyrolyse olie en gassen ontstaan. Ceunen (2008) vermeldt dat de rendementen die behaald kunnen worden afhankelijk zijn van de eindproducten die men wenst te bekomen. Langzame pyrolyse heeft als eindproduct cokes en kan een rendement van 35 procent behalen, terwijl flash pyrolyse een rendement van 80 procent kan behalen met als eindproduct pyrolyse olie of gas (McKendry, 2002; Ceunen, 2008). Flash pyrolyse heeft de beste toekomstperspectieven wat betreft rendement en de valorisatie van pyrolyse olie. Dit komt doordat de bij trage pyrolyse geproduceerde cokes alle metalen die oorspronkelijk in de biomassa zaten, zullen bevatten (Thewys et al., 2008).

De eindproducten van pyrolyse kunnen op verschillende manieren aangewend worden om elektriciteit te produceren. Cokes kunnen verbrand worden om stoom te genereren die op zijn beurt naar een stoomturbine geleid wordt. Vergassing van de cokes is ook mogelijk. Hierbij ontstaat er een gas dat gelijkwaardig is aan de gasvormige brandstof die men bij vergassing verkrijgt. De verkregen pyrolyse olie kan verbrand worden in een warmtekrachtkoppelinginstallatie om warmte en elektriciteit op te wekken (WKK-installatie)

1.4.4 Coverbranding van biomassa

Naast de drie thermische conversietechnieken bestaan er nog interessante mogelijkheden voor de omzetting van biomassa in energie. Het coverbranden van biomassa is een dergelijke optie. Coverbranding is het simultaan verbranden van twee of meer brandstoffen voor de productie van één of meerdere energiedragers (Hansson et al., 2009).

Meestoken in een steenkoolcentrale

Meestoken van biomassa in een steenkoolcentrale is een goedkoop en op korte termijn inzetbaar alternatief voor het gebruik van biomassa. De afname van de CO₂ -uitstoot die coverbranding in een steenkoolcentrale tot stand brengt, is de voornaamste reden waarom de omschakeling naar coverbranding zinvol zou zijn (Ceunen, 2008). Dit komt doordat het meestoken van biomassa in een steenkoolcentrale algemeen genomen gezien wordt als de goedkoopste methode met het laagste risico om de CO₂ -uitstoot te verminderen (De en Assadi, 2009). Commercialisatie van dit soort technieken is volgens Baxter (2005) dan ook de beste korte- en langetermijnoplossing om de broeikasgasemissies van energieopwekking te reduceren.

Nadelen van deze conversietechniek zijn de extra kosten voor bijvoorbeeld de nodige voorbehandeling van biomassa, of de extra transport- en opslagkosten. Indien we coverbranding vergelijken met pure steenkoolverbranding moeten we besluiten dat het kostenplaatje van coverbranding hoger ligt. Als er geen reden of aansporing zou zijn om de CO₂-emissies te reduceren, zou er dus ook geen rationele reden voor het gebruik van deze techniek zijn. Kortom: het

overschakelen van steenkoolverbranding naar coverbranding is financieel gezien niet aantrekkelijk volgens Ceunen (2008). Maar de relevantere kostenvergelijkingen zijn eigenlijk deze met andere hernieuwbare energiebronnen, aangezien de biomassacomponent van coverbranding een hernieuwbare energiebron is. Als we de vergelijking zo maken dan is co-verbranding volgens Baxter (2005) de goedkoopste manier om hernieuwbare energie te produceren.

Een vaak vermeld voordeel in vergelijking met andere groene technologieën is dat de investeringskosten laag zijn aangezien men een bestaande energiecentrale kan gebruiken (Cidad et al., 2003; Ceunen, 2008). Bijgevolg is volgens Hansson (2009) het coverbranden van biomassa met steenkool, de goedkoopst te implementeren elektriciteitsopwekkende optie die gebaseerd is op biomassa. Hansson (2009) vermeldt ook dat de economische haalbaarheid van coverbranding van biomassa zal afhangen van de relatieve kosten van steenkool en biomassa, alsook van de prijzen van de verhandelbare CO₂-emissierechten. Baxter (2005) stelt dat coverbranding zelfs aantrekkelijk zou kunnen blijven onder stijgende biomassaprijzen, dit omwille van de hoger vermelde lage investeringskosten in vergelijking met andere bio-energiefaciliteiten. Bovendien biedt het een lage kosten alternatief om de CO₂-uitstoot te verminderen (Baxter, 2005).

Het toevoegen van biomassa in een steenkoolcentrale heeft weinig impact op de efficiëntie van een centrale. In het slechtste geval is er een lichte afname van de efficiëntie van de centrale (Baxter, 2005). Dit komt volgens Baxter door de nood aan een energie-intensieve voorbehandeling van de biomassa en een stijging van het vocht in de brandstof (Ceunen, 2008). Wat het omzettingsrendement van biomassa bij coverbranding betreft, vermeldt de auteur dat in vergelijking met conversietechnieken die enkel op basis van biomassa werken, het omzettingsrendement van coverbranding hoger ligt (tussen 30 en 38 procent).

Beleid in verband met coverbranding en CO₂-emissiereductie in het algemeen zal een belangrijke rol spelen voor de toekomstperspectieven van deze omzettingstechniek. Maar ook het beleid omtrent de alternatieve opties voor

gebruik van biomassa speelt een rol aangezien dit leidt tot competitie op het gebied van beschikbare hoeveelheid biomassa (Baxter, 2005).

Een mogelijke negatieve bedenking die we bij deze conversietechniek kunnen maken is dat het aanpassen van steenkoolcentrales voor coverbranding tot een verlenging van de gebruiksduur van de steenkoolcentrales zal leiden. Bijkomend nadeel is dat het de ontwikkeling van andere bio-energie alternatieven kan afremmen door een groot gedeelte van de beschikbare biomassa in beslag te nemen (Hansson, 2009).

Meestoken van biomassa in een gasgestookte Stirlingmotor

Zoals al eerder gezegd, kan biomassa omgezet worden in gas of warmte om daarna elektriciteit op te wekken. Een eerste manier is door de omzetting van biomassa naar gas via het proces van vergassing of (trage) pyrolyse. Dit gas kan men vervolgens verbranden in een gasmotor of gasturbine. Hier spreekt men dan van interne verbranding van biomassa (Ceunen, 2008).

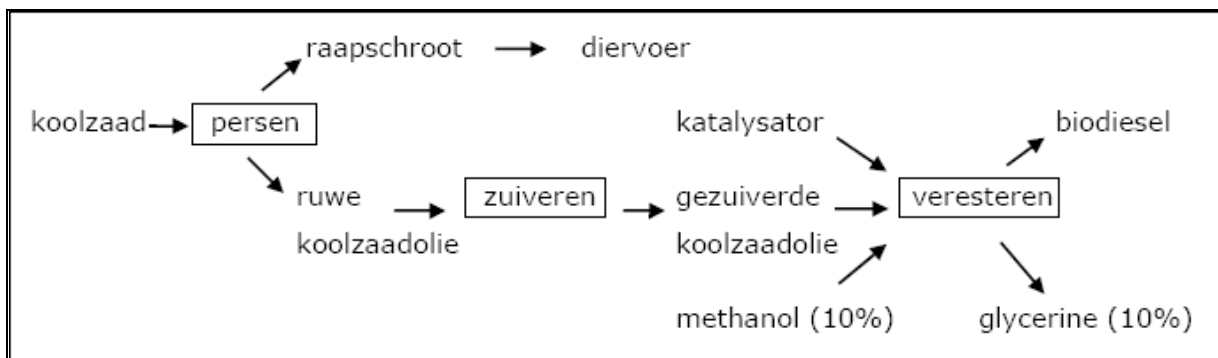
Maar biomassa kan ook extern verbrand worden. Bij een Stirlingmotor (heteluchtmotor) bijvoorbeeld kan de benodigde warmte voor de aandrijving van de motor uit de verbranding van biomassa gehaald worden. De kracht die deze motor opwekt kan dan gebruikt worden voor de aandrijving van een elektromotor. Hier zijn de omzettingsrendementen bij externe verbranding maximaal slechts 30 tot 35 procent. Het voordeel van externe verbranding is dan weer wel dat er geen rookgassen gereinigd hoeven te worden. Dit is wel het geval bij interne verbranding, waarvan de omzettingsrendementen veel hoger liggen (Ceunen, 2008).

De voordelen van externe en interne verbranding worden echter gecombineerd wanneer men biomassa samen met natuurlijk gas gaat stoken voor de aandrijving van een Stirlingmotor. Er is dan namelijk geen rookgasreiniging nodig en er kunnen hogere rendementen gehaald worden (De Ruyck et al., 2007; Ceunen, 2008). De maximale hoeveelheid biomassa die volgens De Ruyck (2007) ingezet kan worden zonder een effect te hebben op de efficiëntie van het proces is 5 procent van de totale energie input.

1.4.5 Extractie van oliehoudende zaden

Oliehoudende zaden zoals koolzaad kunnen geëxtraheerd worden. De verkregen olie kan vervolgens na een chemisch proces (esterificatie) als alternatief voor diesel dienen. In Europa is de productie (zie figuur 1.2) van koolzaad gevolgd door esterificatie een goed ontwikkelde techniek. Er worden jaarlijks grote hoeveelheden RME (rapeseed methyl ester) geproduceerd in de EU (Faaij, 2006).

Figuur 1.2: Het productieproces van biodiesel uit koolzaad



Bron: Annevelink et al., (2006); Bewerking door De Clerq (2009), Een analyse van de Belgische biodieselmkt.

Het gebruik van biodiesel is niets nieuws. Het concept om plantaardige olie te gebruiken dateert van 1895. Omstreeks 1900 ontwikkelde Rudolf Diesel de eerste dieselmotor op plantaardige olie. Reeds toen stelde hij dat plantaardige olie op een dag aan belang zou winnen. Met het groeien van het milieubewustzijn en het besef dat fossiele brandstoffen niet onuitputtelijk zijn, zou hij wel eens gelijk kunnen krijgen (Murugesan et al., 2009).

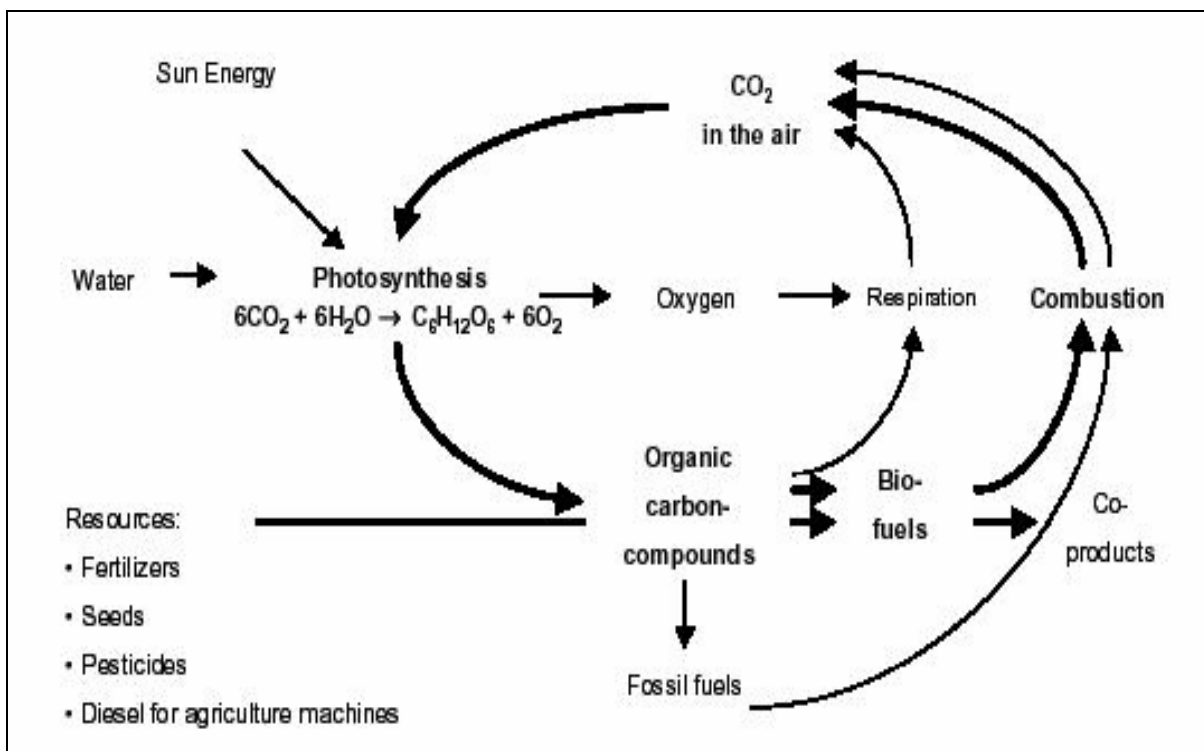
1.4.5.1 Biobrandstof voor de transportsector

De benaming "biobrandstoffen" is een overkoepelende term voor brandstoffen die gemaakt worden van biomassa aan de hand van verschillende omzettingstechnieken. Biobrandstoffen worden als milieuvriendelijker beschouwd met betrekking tot het broeikasprobleem. Dit komt omwille van hun theoretische

CO₂-neutraliteit. Planten zetten met behulp van het zonlicht (fotosynthese) de CO₂ die ze opnemen om in energierijke biomassa. Tijdens verbranding ervan wordt de biomassa opnieuw omgezet in CO₂ wat gepaard gaat met het vrijkomen van energie. In de praktijk klopt deze CO₂-neutraliteit echter niet volledig. Bij de teelt van energiegewassen en de productie van biobrandstoffen worden ook vervuilende stoffen zoals CO₂ uitgestoten. Dit is zichtbaar op figuur 1.3. (Schussler, 2007)

Een groot voordeel van biobrandstoffen is dat ze compatibel zijn met een groot deel van de hedendaagse aandrijfvormen. Hierdoor kunnen ze vermengd worden met traditionele fossiele diesel en benzine, wat de introductie van deze biobrandstoffen geleidelijk aan laat gebeuren. De belangrijkste vormen van biobrandstoffen die we kunnen onderscheiden zijn: biodiesel, bio-ethanol en in mindere mate pure plantaardige olie (PPO) en biogas. (Schussler, 2007)

Figuur 1.3: CO₂-neutraliteit van biomassa



Bron: Quirin et al., (2004), CO₂ Mitigation through Biofuels in the Transport Sector ; Ooms (2006), De introductie van biobrandstoffen voor transport binnen het Vlaams economisch kader.

1.4.5.2 Biodiesel

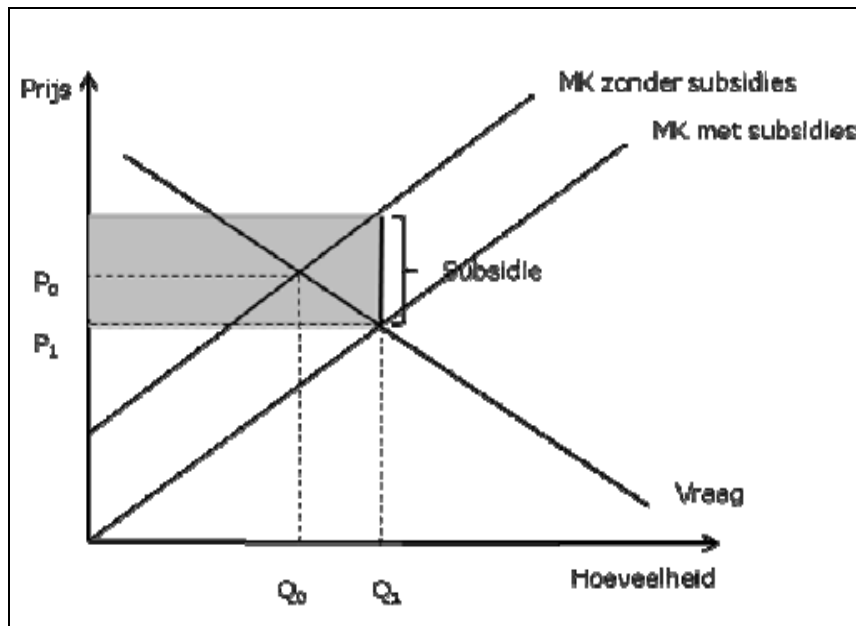
Voor de productie van biobrandstoffen voor de transportsector zijn er meerdere mogelijkheden (zie *Figuur 1.1*). In het kader van deze thesis is de biodieseloptie voornamelijk relevant. Na een overzicht van de literatuur lijkt de link met biomassa afkomstig uit fyto-remediatie het duidelijkst. Dit uiteraard wat de biobrandstoffen voor de transportsector betreft. Koolzaad kan gebruikt worden om metaalverontreinigde bodems te saneren. Geteelde koolzaad kan na persing omgezet worden in biodiesel. Vervolgens zullen de mogelijkheden, voordelen en nadelen van deze omzettingstechniek besproken worden.

De **voordelen** van biodiesel zoals de afname van energieafhankelijkheid, de eerder aangehaalde lagere milieu-impact en zelfs de bevordering van de economie zijn moeilijk te kwantificeren. Dit kan men bijvoorbeeld afleiden uit de uiteenlopende resultaten die studies bekomen voor CO₂-reductie. (Ooms, 2006)

De **nadelen** van biodiesel zijn volgens Ooms (2006) dan weer wel gemakkelijk te becijferen. Ooms (2006) vermeldt dat de relatief hoge kostprijs van biobrandstoffen in vergelijking met fossiele brandstoffen een negatieve impact zal hebben op de verdere commercialisering, tenzij de overheid acties onderneemt om de kostprijs te drukken. Zo is volgens Faaij (2006) het grootste nadeel van biodiesel ook dat er vandaag nog te veel subsidies voor de productie ervan nodig zijn om biodiesel concurrentieel te maken met diesel.

Ten opzichte van meerjarige gewassen zoals wilg en populier is het netto energierendement laag. Dit wil zeggen dat men veel land nodig heeft om een bepaalde hoeveelheid energie op te wekken. Bovendien zou de keuze voor koolzaad voor de sanering van een metaalverontreinigde bodem resulteren in een lange remediatie duurtijd. Witters (2011) vermeldt dat men dan in feite niet meer kan spreken van bodemsanering, maar wel van duurzaam landbeheer met risicobeheersing als hoofddoelstelling. Volgens Faaij (2006) is er op lange termijn nog marge voor verbetering van de energiebalans en economische performantie van extractie. Hij verwijst hierbij naar het efficiënt gebruik van het residuele hooi voor warmte en energieproductie.

Figuur 1.4: Invloed van subsidie op de gevraagde hoeveelheid



Bron: Pindyck & Rubinfeld, (2005); Bewerking door De Clerq, (2009), Een analyse van de Belgische biodieselm Markt.

1.4.6 Vergisting van energiemais

De belangrijkste vorm van biologische energieomzetting is anaerobe vergisting. Bij dit omzettingsproces wordt biomassa door micro-organismen (bacteriën) in de afwezigheid van zuurstof omgezet in biogas. Het biogas dat vrijkomt is een mengeling van methaan en CO_2 . Energiemaïs kan omwille van zijn hoge biomassaopbrengst per hectare en omdat het een zetmeelhoudend gewas is via het proces van anaerobe vergisting omgezet worden in biogas (Bonneux, 2008). Dit gas heeft een hoge energie-inhoud en er zijn verschillende alternatieven voor de aanwending ervan (Thewys et al., 2010; Ceunen, 2008).

Het gas kan direct gebruikt worden in een gasturbine of gasmotor of het kan gezuiverd worden tot een kwaliteit die vergelijkbaar is met natuurlijk gas. In geval van de laatst vermelde optie moet onder andere het aanwezige CO_2 uit het biogas verwijderd worden. Indien men kiest voor de eerste optie, het direct gebruik in een gasturbine of gasmotor voor de opwekking van elektriciteit, ligt

het omzettingsrendement van biomassa naar elektriciteit tussen de 10 en 16 procent (Ceunen, 2008).

Een bijproduct dat bij vergisting van biomassa ontstaat, is het digestaat. Dit is een mengsel van water en gestabiliseerde organische materie. Al de metalen die de energiemais uit de bodem heeft opgenomen, zullen zich in het digestaat bevinden. Digestaat is algemeen genomen een goed alternatief voor chemische mest. Het digestaat kan dus gedeeltelijk gebruikt worden als mest of gedeeltelijk verbrand worden, volgens de Vlaamse en Europese wetgeving hieromtrent (Witters, 2011).

Vergisting biedt heel wat voordelen. De belangrijkste zijn: een hoge energie-inhoud van het geproduceerde biogas, een lage energiebehoefte voor de productie van dit biogas, en de mogelijkheid om grote hoeveelheden tegelijkertijd te verwerken (Chen et al., 2008; Smits, 2009).

Laatstgenoemd voordeel kan een ander probleem uit de weg ruimen, namelijk de investeringskosten van een vergistingsinstallatie. Thewys et al. (2010) stellen voor om de investeringskosten te delen met verschillende partners om de haalbare schaalvoordelen ten volle te benutten. Een logischere oplossing lijkt de investeringskosten te verminderen door in een kleinere vergistingsinstallatie te investeren. Maar volgens Biogas-E vzw (2010), in Vlaanderen opgericht ter ondersteuning van de realisatie van vergistingsprojecten, zijn kleine installaties minder rendabel en is extra steun (subsidies) noodzakelijk indien men decentraal kleine vergistingsinstallaties wil inplanten. De oorzaak van de lagere rendabiliteit van een minder grote biogasinstallatie zijn de hoge vaste kosten die de exploitatie van dergelijke installaties met zich meebrengen (Biogas-E vzw, Voortgangsrapport 2010).

Ondanks de bovenvermelde voordelen van vergisting is het vergistingsproces nog niet wereldwijd gecommercialiseerd. Belangrijkste en meest aangehaalde oorzaak hiervan is de lage stabiliteit van het productieproces (Chen et al., 2008; Smits, 2009).

Wat ongetwijfeld ook bijdraagt tot de beperkte toepassing van deze techniek in combinatie met energiemais afkomstig van fyto-remediatie, is dat de focus van

lopend onderzoek de bestemming van de metalen in het digestaat is. Om deze conversietechniek correct te beoordelen zou de evaluatie eveneens de recuperatie, het hergebruik of de veilige verwijdering van de beoogde metalen moeten bevatten. Een niet te vergeten nadeel van vergisting en dus in dit geval energiemais om een grond te saneren is de lange remediatieduur die nodig is om een acceptabel saneringsniveau te bereiken. Net zoals bij de keuze voor koolzaad als remediërend gewas kan er dan niet meer gesproken worden van bodemsanering, maar wel van duurzaam landbeheer met inperking van risico's als hoofddoelstelling (Witters, 2011).

Kiezen voor korte-omloophout zoals wilg voor een met metalen verontreinigde bodem te saneren betekent een aanzienlijke vermindering van de saneringstijd ten opzichte van koolzaad of energiemais (zie Tabel 1.1). Langs de andere kant zouden dan wel de economische voordelen van de teelt van energiemais en koolzaad verloren gaan, grotendeels door de meerkosten die de minder bekende teelt van wilg meebrengt (Witters, 2011). Daar moet rekening mee gehouden worden wanneer men economisch efficiënte beslissingen wil nemen omtrent de keuze van remediërend gewas.

Tabel 1.1: Extractie van cadmium om de concentratie in de bodem te verminderen van 5 tot 2 mg kg⁻¹ voor energiemais, koolzaad en wilg.

	<i>Biomass (ton dm ha⁻¹)</i>	<i>Cd (mg kg⁻¹ dm)</i>	<i>Cd removal (kg ha⁻¹ y⁻¹)</i>	<i>Clean up time (y)</i>
Maize	20	3	0,06	188
Rapeseed	5,2	6	0,03	361
Willow-twigs	4,8	24	0,12	195
Willow-leaves	1,2	60	0,07	
Willow-total	6		0,19	120

Bron: Vangronsveld et al., (2009), Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field.

1.4.6.1 Warmtekrachtkoppelinginstallatie

Een interessante opportuniteit in deze context is een warmtekrachtkoppelinginstallatie (WKK). Via een WKK-installatie kan men in één installatie tegelijkertijd warmte en energie opwekken. Er bestaan verschillende technologieën om deze gecombineerde productie te bekomen. De meeste WKK's werken op fossiele brandstoffen, maar hernieuwbare energiebronnen zijn ook mogelijk. De voor deze thesis en dit onderdeel relevante optie is de WKK-installatie op biogas. In dit geval zal er dus gebruik gemaakt worden van een gasturbine of een verbrandingsmotor op gas om de energie op te wekken. Op de eerste plaats komt de productie van warmte en als tweede de elektriciteitsproductie. De installatie wordt op maat ontworpen, inspeland op de lokale warmtebehoefte. (Vercampt, 2006)

Volgens COGEN Vlaanderen (expertisecentrum en ontmoetingsplaats voor het WKK gebeuren in Vlaanderen) kan een toename van het aantal WKK's ervoor zorgen dat de elektriciteitsproductie opschuift van een sterke gecentraliseerde productie naar een decentrale productie, wat een reductie van de verliezen via het elektrisch transportnet tot gevolg zal hebben. (Cogen, 2011)

Het grootste voordeel van warmtekrachtkoppeling is dat bij de gezamenlijke opwekking van warmte en elektriciteit de in de brandstof aanwezige energie veel beter benut wordt. Er zal bij WKK dan ook minder brandstof nodig zijn dan bij een gescheiden productie van eenzelfde hoeveelheid warmte en elektriciteit. Aangezien het hier gaat om een WKK-installatie op biogas is het voordeel dubbel. Er wordt namelijk gebruikt gemaakt van een milieuvriendelijke (hernieuwbare) brandstof (emissiereductie) en ze wordt optimaal benut.

Naast bovenvermelde voordelen zijn WKK-installaties ook interessant omwille van de steunmaatregelen die ze genieten. Hieronder volgt een opsomming van de maatregelen.

De belangrijkste maatregel is de Europese WKK-richtlijn (Richtlijn 2004/8/EG inzake de bevordering van warmtekrachtkoppeling op basis van de vraag naar nuttige warmte binnen de interne energiemarkt en tot wijziging van Richtlijn 92/42/EEG). Deze richtlijn vormt het kader voor de ondersteuning van WKK en

heeft als doelstelling het geïnstalleerd vermogen aan WKK in Europa te doen stijgen.

WKK-installaties vallen in België binnen een aantal subsidieprojecten die een ruimer toepassingsgebied hebben dan WKK. De verhoogde investeringsaftrek is hier een goed voorbeeld van. Dit is een federale maatregel ter ondersteuning van energiebesparende maatregelen zoals WKK. (Cogen, 2011)

Steunmaatregelen voor WKK in Vlaanderen zijn: verhoogde investeringsaftrek, warmtekrachtcertificaten en groenestroomcertificaten (Cogen, 2011).

1.4.7 Besluit: energieconversietechniek met de beste toekomstperspectieven

De bedoeling van dit besluit is een algemene balans op te maken van de technieken die besproken zijn. De intentie hiervan is een techniek te identificeren die algemeen genomen de beste toekomstperspectieven lijkt te hebben.

Niet elke besproken techniek is onderling vergelijkbaar met een andere. De omgevingsfactoren en de context waarin een techniek wordt toegepast speelt ook een belangrijke rol. In bepaalde situaties zal het zelfs allesbepalend zijn.

Wel gemakkelijk vatbaar voor onderlinge vergelijking zijn de drie thermische conversieprocessen. Bij verbranding van biomassa moet er zwaar geïnvesteerd worden in rookgasreiniging zodat de metalen in de biomassa (door fyto-remediatie) niet opnieuw in bodem en atmosfeer belanden. Op dit vlak scoort vergassing al beter: er moeten minder rookgassen gereinigd worden en het rendement is bovendien hoger dan bij verbranding. Vergassing is dus milieuvriendelijker en efficiënter dan verbranding.

Nog beter dan de twee conversiemethodes van de vorige alinea is pyrolyse. De productgassen van pyrolyse bevatten nagenoeg geen zware metalen en de geproduceerde pyrolyse olie kan daarenboven getransporteerd en opgeslagen worden. Onderzoek van Stals et al. (2010) toont aan dat bij pyrolyse op 350°C bijna alle metalen in de asresten/char overblijven en dat de pyrolyse olie heel weinig metalen bevat (Faes, 2011). De rendementen van pyrolyse zijn in

vergelijking met de andere twee technieken ook hoog, namelijk 35% voor trage pyrolyse en 80% voor flash pyrolyse.

Uiteindelijk lijken de beste toekomstperspectieven in de context van fyto-remediatie dan ook voor pyrolyse; meer specifiek flash pyrolyse is veelbelovend. Hier heeft het hoge rendement uiteraard mee te maken, maar ook het feit dat de eindproducten (pyrolyse olie of biogas) ervan gemakkelijk valoriseerbaar zijn.

Iets heel anders is de coverbranding van biomassa. Coverbranding is het goedkoopst en snelst inzetbare alternatief voor het gebruik van biomassa. De afname van CO₂-uitstoot van een steenkoolcentrale is de voornaamste reden voor een omschakeling naar coverbranding.

Het is met name de goedkoopste methode met het laagste risico om de CO₂-uitstoot te verlagen. In vergelijking met andere hernieuwbare energieproductiemethoden zou coverbranding door zijn lage investeringskosten een van de goedkoopste vormen van hernieuwbare energieproductie zijn. Groot nadeel van deze techniek is dat het de gebruiksduur van de huidige steenkoolcentrales zou kunnen verlengen. In dat opzicht is deze conversiemethode een prima overgangstechnologie naar een periode met volledig hernieuwbare energieconversieprocessen, maar ook niet meer dan dat.

Hetzelfde geldt voor het meestoken van biomassa in een gasgestookte Stirlingmotor. Het is een veelbelovende techniek want er kunnen hoge rendementen uit gehaald worden en er is geen rookgasreiniging nodig. Maar het kan slechts gezien worden als een overgangstechnologie, niet als een volwaardige toekomstige energieproductiemethode.

De problemen die biobrandstof kent, hebben voornamelijk te maken met de hoge kostprijs ervan in vergelijking met fossiele brandstoffen. Het gevolg hiervan is dat het moeilijk te commercialiseren is en er vervolgens te veel subsidies nodig zijn om het concurrentieel te maken. Bovendien heeft koolzaad (voor de productie van biodiesel) een laag energierendement. Reken daar nog eens de lange remediatieduurtijd van koolzaad bij en het hoeft niet gezegd dat de toekomst van dit proces op dit ogenblik niet veelbelovend is.

Vergisting van energiemais daarentegen heeft een hoog energierendement. Het investeringskostenprobleem kan weggewerkt worden door de mogelijkheid om grote hoeveelheden tegelijkertijd te verwerken. Men zou met andere woorden de schaalvoordelen die er met deze techniek zijn toch nog volledig kunnen benutten door de installatie te delen met verschillende partners.

Minpunten van deze techniek zijn de lage stabiliteit van het productieproces en de bestemming van de metalen in het digestaat. Overigens is de saneringsduur van energiemais net als bij koolzaad lang. Maar dit zou hier wel eens minder in de weg kunnen staan aangezien het energierendement wel hoog is. Ondanks deze minpunten ziet het toekomstperspectief van vergisting er goed uit.

Conclusie

Na de afweging van de voor- en nadelen van elke techniek kunnen we stellen dat pyrolyse van KOH en vergisting van energiemais de interessantste alternatieven zijn.

Wat ook voor het gebruik van deze technieken pleit is dat de eindproducten ervan (pyrolyse olie en biogas) in een WKK-installatie gebruikt kunnen worden. Met het oog op de reeds behandelde energetische voordelen van WKK is de koppeling van deze technieken een interessant domein voor verder onderzoek. Bovendien geniet WKK van een aantal steunmaatregelen.

In het volgende deel zal onderzocht worden hoe het huidige beleid de ontwikkeling en toepassing van beloftevolle technieken stimuleert. De steunmaatregelen die er voor diverse technieken zijn, zullen besproken worden, dit met het doel te achterhalen of het beleid voldoende inspeelt op het potentieel van de hierboven vermelde technieken

2. Wat is de rol van het beleid voor de implementatie van nieuwe technologieën zoals fyto-remediatie?

2.1 Hoe stimuleert het bestaande beleid rond bio-energie de ontwikkeling en toepassing van beloftevolle technieken? Zou dit beter kunnen?

2.1.1 Huidige stimuli omtrent bio-energie

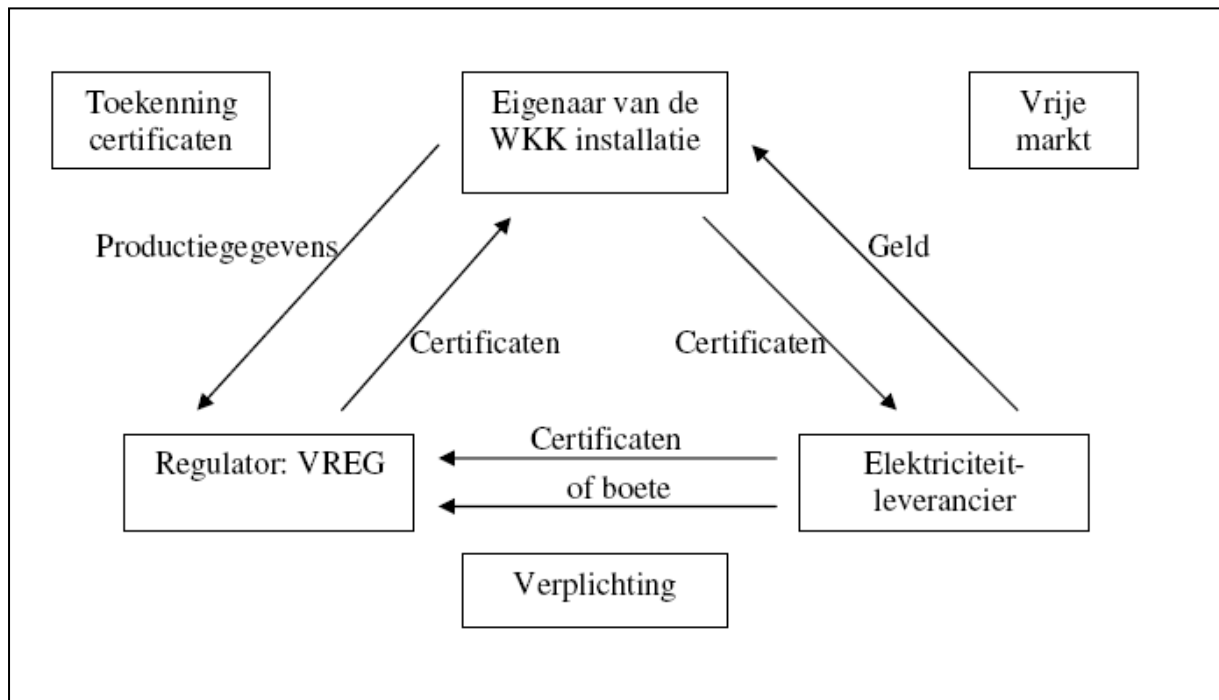
In dit onderdeel zal een overzicht en bespreking gegeven worden van de beleidsmatige instrumenten die gebruikt worden om de toepassing van beloftevolle hernieuwbare energieconversietechnieken te stimuleren. Het nut hiervan is achterhalen op welke manier de toepassing van de in het vorige onderdeel vermelde technieken aangemoedigd wordt.

2.1.1.1 Groenestroomcertificaten

De productie van groene stroom uit hernieuwbare energiebronnen wordt door de Vlaamse regering aangemoedigd door het systeem van groenestroomcertificaten (GSC). Dit systeem is opgenomen in de artikels 7.1.1 tot en met 7.1.14 van het Energiedecreet van 8 mei 2009. Het bestaat uit de volgende twee delen:

- enerzijds krijgen producenten van elektriciteit uit hernieuwbare energiebronnen zoals zon, wind, biomassa,... GSC van de Vlaamse Regulator van de Elektriciteit- en Gasmarkt (VREG);
- anderzijds moeten elektriciteitsleveranciers een bepaald aantal GSC's (het quotum) inleveren bij de VREG. Zoniet krijgen ze een boete opgelegd door de VREG. (VREG, 2011)

Figuur 2.1: Schema groenestroomcertificaten



Bron: Vercampt, (2006).

Een producent kan per MWH elektriciteit die hij in Vlaanderen op basis van een hernieuwbare energiebron opwekt een groenestroomcertificaat ontvangen van de VREG. Vervolgens kan hij deze certificaten verkopen:

1. op de bilaterale certificatenmarkt aan een te onderhandelen prijs;
2. op de Green Certificate Exchange van Belpex aan de prijs die tijdens de handelssessie tot stand komt;
3. tegen een wettelijk vastgelegde minimumprijs aan de transmissie- of distributienetbeheerder(s). (VREG, 2011)

Uiteindelijk wordt de kringloop, zoals in de figuur voorgesteld, vervolledigd doordat de energieleveranciers een bepaald quotum aan GSC moeten inleveren bij de VREG. Het systeem zoals hier beschreven en in de figuur voorgesteld, is een vereenvoudigde voorstelling. In de realiteit is de werking complexer, de volledige beschrijving hiervan ligt buiten het bestek van deze thesis.

De uitvoeringsmodaliteiten van het certificatenstelsel zijn vastgelegd in het Energiebesluit van 19 november 2010 artikel 6.1.1 tot en met 6.1.24.

De VREG kent GSC toe voor de opwekking van elektriciteit uit: zonne-energie, windenergie, waterkracht, getijdenenergie, golfslagenergie, aardwarmte of geothermie, **biogas** (via de vergisting van organisch materiaal), stortgas, rioolwaterzuiveringsgas, **biomassa** (via het biologisch afbreken van materiaal). (VREG, 2011)

Voor deze thesis zijn uiteraard enkel de mogelijkheid om GSC te verkrijgen door de productie van elektriciteit uit de hernieuwbare energiebron biogas (via een WKK-installatie) en biomassa relevant.

2.1.1.2 Warmtekrachtkoppelingcertificaten

Om de besparing van primaire energie te stimuleren heeft de Vlaamse regering een systeem van warmtekrachtcertificaten (WKC) ingevoerd. De bedoeling hiervan is dat de primaire energiebesparing er komt door de aanmoediging van het gebruik van kwalitatieve WKK-installaties voor de productie van elektriciteit en warmte. De voorwaarden waaraan een kwalitatieve WKK moet voldoen zijn vastgelegd in de reeds vermelde Europese richtlijn (2004/8/EG) betreffende warmtekrachtkoppeling. Het Vlaamse Gewest past dezelfde definitie toe.

Het systeem is cumuleerbaar en analoog met dat van de GSC (*zie Figuur 2.1*), het bestaat namelijk ook uit twee delen:

- de eigenaars van kwalitatieve warmtekrachtinstallaties (WKK-producenten) krijgen warmtekrachtcertificaten van de VREG;
- de elektriciteitsleveranciers moeten een bepaald aantal WKC's (het quotum) inleveren bij de VREG. Zoniet krijgen ze een boete opgelegd door de VREG. (VREG, 2011)

Net als bij groenestroomcertificaten kunnen in dit geval de WKK-producenten, per MWH bespaarde primaire energie in het Vlaams Gewest, bij de VREG een warmtekrachtcertificaat ontvangen. De producenten kunnen deze certificaten op hun beurt zoals bij de GSC verkopen.

Details over het systeem, toekenning van de WKC's en andere uitvoeringsregels zijn opgenomen in het Energiebesluit van 19 november 2010 artikels 6.2.1 tot 6.2.19. De omzetting van de Europese WKK-richtlijn en de werking van het systeem is eveneens terug te vinden in het Energiedecreet van 8 mei 2009 (zelfde artikels als bij GSC). (VREG, 2011)

Ten opzichte van andere elektriciteitsopwekkingsystemen wordt bij WKK de geproduceerde warmte wel gevaloriseerd. Het gevolg hiervan is dat het een besparing op het gebruik van fossiele brandstoffen zal hebben. Aanmoediging van dergelijke technieken is dus zeker aangewezen. Voor dit onderdeel van de thesis zijn warmtekrachtcertificaten interessant omdat biogas in een WKK-centrale gebruikt kan worden voor energieopwekking.

2.1.1.3 Ecologiepremie Plus (Investeringssteun)

De ecologiepremie is een steunmaatregel waarmee de Vlaamse overheid ondernemingen wil stimuleren om hun productieproces milieuvriendelijk en energiezuinig te organiseren. Ondernemingen die ecologie-investeringen realiseren op het Vlaams Gewest zullen investeringssteun krijgen. Met ecologie-investeringen bedoelt men milieu-investeringen en investeringen op energiegebied. De investeringssubsidie bestaat er in dat de Vlaamse overheid een deel van de extra kosten die een ecologie-investering inhoudt voor haar rekening zal nemen. Deze maatregel speelt een belangrijke rol in de toepassing van duurzame bedrijfsprocessen in onze economie en kadert in het economisch beleid van de Vlaamse regering dat de ontwikkeling van een groene economie centraal stelt. (Vlaamse Overheid, 2011; Agentschap Ondernemen)

Vanaf begin februari 2011 is er een nieuwe steunregeling die ondernemingen meer transparantie en rechtszekerheid moet bieden, zodat een bedrijf dat aan de gestelde voorwaarden voldoet zeker is van de subsidie en vooraf weet hoeveel deze zal bedragen, er van uitgaande dat het past binnen de budgettaire mogelijkheden van de Vlaamse overheid.

Als bedrijf komt men in aanmerking indien men een aanvaardbare activiteit beoefent en ecologische investeringen uitvoert in het Vlaams Gewest, ongeacht of het om een kleine, middelgrote of grote onderneming gaat.

Investeringen die in aanmerking komen voor een ecologiepremie (150-tal) staan opgesomd op de limitatieve technologieënlijst⁵ (LTL) met daarbij:

- een naam met een code
- een omschrijving
- de investeringscomponenten
- de ecologische meerkosten (als een percentage van de investeringscomponenten)
- het ecologiegetal
- de ecklasse
- het subsidiepercentage voor kleine- en middelgrote ondernemingen en grote ondernemingen

Komen NIET in aanmerking:

- de technologieën die genieten van groenestroomcertificaten
- de technologieën die genieten van warmtekrachtcertificaten
- de technologieën die hiervan onderdeel uitmaken (zelfs niet indien deze onderdelen wel op de LTL vermeld staan)

De hoogte van de premie wordt bepaald door de performantie van de technologie waarin geïnvesteerd wordt en de grootte van de onderneming. De performantie van een technologie wordt uitgedrukt door een ecologiegetal.

Dit getal is een indicatie van de mate waarin een technologie bijdraagt tot het behalen van de Kyoto- en de milieudoelstellingen van de Vlaamse Overheid. Vervolgens wordt een technologie op basis van het ecologiegetal ingedeeld in een ecklasse met daaraan gekoppeld een subsidiepercentage (zie *Tabel 2.2*).

⁵ Op de website van het Agentschap Ondernemen kan men de volledige lijst raadplegen.
<http://www.agentschapondernemen.be/artikel/welke-investeringen-komen-aanmerking-incl-limitatieve-technologie%C3%ABnlijst>

Tabel 2.2: Eeklasse/ Ecologiegetal

Eeklasse	Ecologiegetal	Kleine en middelgrote ondernemingen	Grote ondernemingen
A	9	30%	15%
B	6	20%	10%
C	4 - 3	10%	5%
D	2 - 1	5%	0%

Bron: Agentschap ondernemen, (2011).

Verder is het nog van belang te weten dat de subsidie verhoogd kan worden met een subsidiebonus. Een onderneming die op datum van indiening van de subsidieaanvraag beschikt over een geldig energie-, milieu-, of eco-efficiëntiescan, een geldig milieucertificaat of een gecertificeerd milieumanagementsysteem komt hiervoor in aanmerking. Afhankelijk van de grootte van de onderneming varieert de bonus tussen de 3 en 10% (zie *Tabel 2.3*).

Belangrijk om te onthouden betreffende de Ecologiepremie Plus is dus dat deze vorm van investeringssteun niet cumuleerbaar is met de steunmaatregelen die eerder besproken zijn.

Voor 2011 zou er een budgettaire enveloppe van 121 miljoen euro beschikbaar zijn geweest. Gedetailleerde informatie betreffende de voorwaarden, de aanvraagprocedure en uitzonderingen zijn terug te vinden op de website: www.vlaanderen.be/ecologiepremie.

Tabel 2.3: Subsidiebonus

	Subsidiebonus% Kleine en middelgrote ondernemingen	Subsidiebonus% Grote ondernemingen
Eerstelijns milieu-, energie- of eco- efficiëntiescan	3%	-
Milieucertificaat	5%	-
Milieumanagementsysteem (ISO 14001/EN 16001/EMAS)	10%	5%

Bron: Agentschap ondernemen, (2011).

2.1.1.4 Verhoogde investeringsaftrek (Investeringssteun)

Een onderneming kan onder bepaalde voorwaarden een investeringsaftrek krijgen wanneer er bij de oprichting of uitbreiding van het bedrijf een investering wordt uitgevoerd. Artikel 96 van het Wetboek der Inkomstenbelasting schept deze mogelijkheid.

Definitie investeringsaftrek: "De investeringsaftrek is een vrijstelling van de winst en baten van de onderneming, gelijk aan een deel (percentage) van de aanschaffings- of beleggingswaarde van de materiële vaste activa die in nieuwe staat verkregen zijn of tot stand gebracht, en van de nieuwe immateriële vaste activa, indien die vaste activa in België voor het uitoefenen van de beroepswerkzaamheid van de belastingplichtige worden gebruikt."

Deze investeringsaftrek wordt dus in mindering gebracht van de winst of baten van het belastbaar tijdperk waarin men de vaste activa heeft verkregen of tot stand zijn gebracht. Zoals gesteld in de definitie bedraagt de aftrek een bepaald

percentage van de investeringen. Dit percentage bestaat uit de basisaftrek en een verhoogde investeringsaftrek.

De verhoogde investeringsaftrek is de maatregel waar het hier om gaat, dit omdat het de verbetering van het energetisch rendement van bestaande installaties beoogt en ook omdat het gebruik van hernieuwbare energiebronnen hierdoor wordt gestimuleerd en bevordert.

Meer bepaald kan men een verhoogde investeringsaftrek bekomen wanneer er wordt geïnvesteerd in: vaste activa die dienen voor een rationeel energieverbruik, voor verbetering van industriële processen uit energetische overwegingen en in het bijzonder voor de terugwinning van energie in de industrie. De basisaftrek wordt dan verhoogd met 10%.

In *Tabel 2.4* zijn de toe te passen tarieven terug te vinden voor investeringen gedaan tijdens het belastbaar tijdperk verbonden aan het aanslagjaar 2011. Deze gelden ook voor aanslagjaar 2012.

Tabel 2.4: Verhoogde investeringsaftrek

	Natuurlijke personen	KMO	Andere vennootschappen
Octrooien	13,5%	13,5%	13,5%
Energiebesparende investeringen	13,5%	13,5%	13,5%
Groene investeringen	13,5%	13,5%	13,5%
Hergebruik van verpakkingen	-	3%	3%
Andere investeringen	3,5%	0%	0%

Gespreide aftrek groene investeringen	20,5%	20,5%	20,5%
Gespreide aftrek Andere investeringen (1)	10,5%	0%	0%

(1) Natuurlijke personen die minder dan 20 werknemers tewerkstellen, kunnen, als ze dit wensen, de investeringsaftrek spreiden. De gespreide aftrek voor groene investeringen is daarentegen niet gebonden aan de minimale tewerkstelling van 20 werknemers.

Bron: Vlaamse Overheid (2011) : Informatiefolder Vlaams energieagentschap; aanslagjaar 2011.

Zoals in *Tabel 2.4* zichtbaar kan het basispercentage (van 3,5% voor het aanslagjaar 2011 en 2012) ook met 10% verhoogd worden in andere gevallen. Enkel de vetgedrukte optie "energiebesparende investeringen" is voor deze thesis en dit onderdeel relevant. Dit omdat energieconversietechnieken zoals vergisting hieronder vallen, maar ook bijvoorbeeld een WKK-installatie in aanmerking komt voor deze vorm van investeringssteun.

Er bestaat een limitatieve lijst van investeringen die als energiebesparend mogen beschouwd worden. Deze lijst bestaat uit 12 categorieën die onderverdeeld zijn in 6 groepen⁶. Een investering kan pas in aanmerking komen voor een verhoogde investeringsaftrek indien ze onder één van de 12 categorieën gerangschikt kan worden.

De 6 groepen geven telkens weer welk het hoofddoel is dat nagestreefd moet worden:

⁶ Via de website van het Vlaams Energieagentschap kan men een informatiefolder raadplegen. Hierin kan men de voorwaarden terugvinden, alsook de lijst van energiebesparende investeringen die in aanmerking komen.

http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/doc/verhoogde_investeringsaftrek_informatiedocument2012.pdf

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

Zo valt bijvoorbeeld een WKK-installatie en een vergistingsinstallatie respectievelijk onder groep 3 en groep 4 van de lijst.

Tenslotte is het belangrijk om te vermelden dat het hier niet gaat om een subsidie, maar om een belastingvoordeel. Het gevolg is dat deze fiscale steunmaatregel cumuleerbaar is met de voorheen besproken ecologiepremie. (Vlaamse Overheid: Informatiefolder Vlaams energieagentschap; aanslagjaar 2011)

2.1.1.5 Steun voor demonstratieprojecten energietechnologieën (Investeringssteun)

In het oorspronkelijk koninklijk besluit van 10 februari 1983 ligt de klemtoon voornamelijk op rationeel energieverbruik. Doorheen de jaren en onder invloed van verschillende beleidsdocumenten ligt de nadruk nu ook bij het verminderen van CO₂-emissies en andere schadelijke milieueffecten.

Samenvattend kan de doelstelling van deze beleidsmaatregel als volgt worden geformuleerd: het rationeel energieverbruik bevorderen en het veiligstellen van de energievoorziening in de breedste zin van het woord. Met dit laatste bedoelt men de ontwikkeling van een duurzame en betrouwbare energievoorziening tegen een aanvaardbare kostprijs en aanvaardbare voorwaarden.

Een bijkomende maar toch nog belangrijke afgeleide doelstelling dat dit instrument kan helpen bereiken, is de versterking van de technologische basis van de energie-industrie. Hieruit kunnen vervolgens voordelen voor de economie, werkgelegenheid en export van Vlaamse bedrijven groeien.

De overheid wil bovenstaande doelstellingen verwezenlijken door demonstratieprojecten, productieprocedés of technieken te stimuleren die nog onvoldoende doorgebroken zijn. Hiermee hoopt men twijfels in verband met een techniek of procedé weg te nemen, en het vertrouwen van potentiële investeerders in de economische haalbaarheid ervan te vergroten.

De stimulans vanwege de overheid komt in de vorm van een subsidie. Iedere fysieke of rechtspersoon, onderneming of niet-commerciële instelling, particulier of intercommunale, kan hiervoor in aanmerking komen. De hoogte van de financiële steun bedraagt maximaal 50% van de kosten die in aanmerking komen. Namelijk de kosten die rechtstreeks afgeleid zijn van de toepassing van het innoverende deel van de nieuwe technologie. Kosten die aanvaard worden voor de berekening van de subsidie zijn steeds exclusief BTW.

Werkelijke steunpercentages schommelen in de praktijk tussen de 30% en 35% en de financiële tegemoetkoming is beperkt tot 250.000 euro per project. Belangrijk om weten is dat men het Vlaams Energieagentschap in kennis moet stellen van alle overheidssteun die men ontvangen heeft of waarvoor men een aanvraag heeft ingediend of zal indienen. Hiervoor zijn twee redenen, ten eerste mag de totale ontvangen overheidssteun maximaal 50% van de totale projectkosten bedragen (inclusief steun ontvangen van federale of internationale instanties), ten tweede omdat deze subsidie niet cumuleerbaar is met andere toelagen van het Vlaamse Gewest.

Verder is het nog van belang om te weten dat een project moet passen in de prioriteiten die de overheid jaarlijks stelt om kans te maken op de subsidie. Voor projecten die aan deze prioriteiten en nog een aantal voorwaarden voldoen, gelden er uiteindelijk een aantal selectiecriteria. Op de website www.emis.vito.be/thema-energietechnologie kan men een informatiepakket met alle informatie over deze maatregel terugvinden.

2.1.1.6 Vlaams landbouwinvesteringsfonds (Investeringssteun)

Zoals de titel al doet vermoeden, is deze financiële steunmaatregel enkel bedoeld voor land- en tuinbouwers. De doelstelling ervan is landbouwers stimuleren om

via investeringen hun bedrijfsstructuren aan te passen aan wijzigende omstandigheden.

Op het eerste gezicht lijkt dit investeringsbeleid weinig te maken te hebben met de promotie van hernieuwbare energie of hernieuwbare energie conversietechnieken. Maar als we de limitatieve lijst van subsidiabele investeringen bekijken kunnen we zien dat ook investeringssteun verkregen kan worden voor heel wat landbouwinvesteringen.

Dit zijn allemaal investeringen die behoren tot groep 2 van de 4 investeringsgroepen waaruit de lijst is opgesteld. Investeringssteun behorende tot groep 2 worden omschreven als: "Investeringssteun gericht op de realisatie van een landbouw met verbrede doelstellingen, duurzame landbouw of de reconversie van een landbouwbedrijf". Bij investeringen van groep 2 bedraagt de steun 28%.

De site van de Vlaamse Overheid (www.vlaanderen.be/landbouw; 2011) vermeldt dat de investeringssteun niet in strijd mag zijn met het beleid op andere vlakken (marktbeleid, milieubeleid, ruimtelijk beleid,...) en de doelstellingen hiervan niet mag doorkruisen.

Voor de periode van 2007-2013 is het investeringsbedrag waarop maximaal investeringssteun verkregen kan worden beperkt tot 1.000.000 euro per bedrijfsleider. Het minimuminvesteringsbedrag daarentegen is 15.000 euro (exclusief BTW). Dit bedrag mag betrekking hebben op één of meerdere investeringen.

Uiteraard vormt het bovenstaande slechts een bespreking in grote lijnen van de steunmaatregel. Andere gestelde voorwaarden betreffende de aanvrager, het bedrijf en de investering zijn terug te vinden op de vermelde site van de Vlaamse Overheid.

2.1.2 Speelt het huidige beleid voldoende in op de ontwikkeling en toepassing van beloftevolle biomassaconversietechnieken?

Voor elke conversietechniek zal nu onderzocht worden op welke van de in het vorige onderdeel besproken steunmaatregelen elke techniek kan rekenen of aanspraak kan maken.

2.1.2.1 Verbranding, vergassing en pyrolyse van biomassa

De hieronder vermelde technieken komen in aanmerking voor de Ecologiepremie Plus.

- Productie van warmte op basis van de verbranding van biomassa (inclusief houtpelletkachels).
- Productie van warmte op basis van de vergassing van biomassa.
- Productie van warmte op basis van de pyrolyse van biomassa.

Voor alle drie de situaties bedraagt het gedeelte van het investeringsbedrag dat in aanmerking komt voor steunberekening 80% (meerkostenpercentage). De hoogte van de steun die men voor deze technieken kan krijgen is afhankelijk van het ecologiegetal.

Dit is voor elk van de drie technieken telkens het ecologiegetal 3. Als we naar *Tabel 2.2* kijken kunnen we zien dat de hoogte van de steun voor kleine- en middelgrote ondernemingen 10% bedraagt en voor grote ondernemingen 5%.

Investerings in verbranding, vergassing of pyrolyse van biomassa kunnen in aanmerking komen voor een Verhoogde Investeringsaftrek via "Groep 4: energetische valorisatie van biomassa en afvalstoffen" van de limitatieve lijst van energiebesparende investeringen. De onderdelen van de investering die in aanmerking komen voor de verhoogde investeringsaftrek zijn verder gespecificeerd in de lijst.

Hierdoor kan men voor de vermelde onderdelen van de investering een verhoogde aftrek van 13,5% krijgen (percentage geldig voor investeringen gedaan in 2010 en 2011). Zoals al eerder aangegeven betreft het hier geen

subsidie, maar een fiscaal voordeel, en is deze investeringssteun cumuleerbaar met de ecologiepremie.

Vervolgens komen ook investeringen voor de energieproductie op basis van hernieuwbare energie in aanmerking. Het gaat hierbij om de apparatuur, nodig voor de productie van mechanische, thermische of elektrische energie door aanwending of omzetting van hernieuwbare energie.

Een goed voorbeeld in deze context is een kwalitatieve WKK-installatie met als energiebron pyrolyse olie (of biogas). Voor de opwekking van elektriciteit uit biomassa kent de VREG overigens groenestroomcertificaten toe, hiervoor zou men dan ook in aanmerking kunnen komen. Dit geldt eveneens voor warmtekrachtcertificaten, maar dan voor de warmtekrachtbesparing die de kwalitatieve WKK-installatie zou realiseren.

Landbouwers die de biomassa van hun bedrijf als hernieuwbare energiebron willen gebruiken, kunnen hiervoor VLIF-steun krijgen. Dit geldt ook voor investeringen in de productie van biomassa met als doel de omzetting in energie. Het steunpercentage bedraagt telkens 28%.

Conclusie

Verbranden, vergassen of pyrolyse van biomassa zijn technologieën die in België op gebied van investeringssteun op het eerste gezicht goed omkaderd zijn. Aangezien pyrolyse van KOH en vergisting van energiemais na een studie van de literatuur (*Hoofdstuk 1*) de meest beloftevolle technieken blijken te zijn, zal er in de rest van de thesis ook op deze technieken gefocust worden.

Na een gesprek met Tom Kuppens (Assistent en lid van de onderzoeksgroep Milieueconomie aan de U Hasselt) heb ik een inzicht gekregen in hoe de investeringssteun voor pyrolyse van KOH wordt vertaald naar de praktijk toe.

Om pyrolyse rendabel toe te kunnen passen, moeten we beschikken over een oppervlakte van tenminste 6000 hectare die vervuild is met zware metalen en waarop men wilg kan aanplanten. Hieraan kunnen we voldoen indien we de Belgische en de Nederlandse Kempen samen nemen. Om de biomassa waarover

we dan kunnen beschikken te converteren in pyrolyse olie hebben we een pyrolyse reactor met een capaciteit van 12 megawatt nodig. De kostprijs van zo een reactor schommelt rond de 13 miljoen euro. Ervan uitgaande dat het de bedoeling is om met de olie elektriciteit en warmte op te wekken, rekenen we hierbij nog eens ongeveer 8 miljoen euro voor een WKK-installatie. Op het totaal van 21 miljoen euro kan men maximaal een investeringssubsidie van 1 miljoen euro krijgen.

Bovenstaand voorbeeld is een schatting en slechts bedoeld om een idee te krijgen van de impact van de subsidies die er zijn. Wat we hieruit toch kunnen afleiden is dat ondanks de investeringssteun er toch nog een aanzienlijk bedrag te financieren is. Hiermee is het niet gezegd dat dit de oorzaak is dat pyrolyse in de context van fyto-remediatie (of in een andere context) nog niet in de praktijk (commercieel) toegepast wordt. Het is volgens mij wel een deel van de oorzaak. In *Hoofdstuk 3* zal er dieper ingegaan worden op de stand van zaken in verband met pyrolyse.

2.1.2.2 Co-verbranding van biomassa (in een steenkoolcentrale)

Voor het bijstoken van biomassa in steenkoolcentrales kunnen in België Groenestroomcertificaten verkregen worden. Het produceren van elektriciteit door het coverbranden van biomassa in steenkoolcentrales wordt dus gezien als groenestroomproductie.

Indien elektriciteitsproducenten minder dan of gelijk aan 60% biomassa bijstoken, komen de overeenkomstige certificaten voor de helft in aanmerking voor de certificatenverplichting. Als er meer dan 60% biomassa bijgestookt wordt, komen alle GSC in aanmerking voor de certificatenverplichting. (VREG, 2011)

Volgens de Bond Beter Leefmilieu (Vlaamse koepelorganisatie van milieu- en natuurverenigingen) is het toevoegen van biomassa in steenkoolcentrales een verspilling van kostbare biomassa. De Bond Beter Leefmilieu (BBL) vermeldt in het dossier "Steenkool kan niet zonder certificaten" (Claeys, 2009) dat co-verbranding van biomassa in de Belgische context zeker niet interessant is. Dit

omdat de oude steenkoolcentrales die Electrabel gebruikt een laag energetisch rendement hebben en zeer vervuilend zijn.

Bovendien worden volgens hen steenkoolcentrales rendabel gehouden door de GSC die ze ontvangen. Uit berekeningen van het VITO zou ook blijken dat steenkoolcentrales enkel dankzij de certificaten die ze ontvangen goedkoper zijn dan gascentrales (Claeys, 2009).

Conclusie

Zoals de Bond Beter Leefmilieu argumenteert, lijkt het mij in de Belgische context ook niet logisch dat er GSC gegeven worden voor de coverbranding van biomassa in steenkoolcentrales. Zeker niet als er hierdoor rendabelere en minder vervuilende technologieën uit de markt worden geduwd.

Bij de initiële bespreking van coverbranding werd gezegd dat deze techniek op korte termijn heel wat voordelen en mogelijkheden heeft. Deze hadden betrekking op de lage investeringskosten en goedkope manier om de CO₂-uitstoot te verlagen. Theoretisch klopt dit, maar wel slechts voor een bepaalde context en een beperkte periode, namelijk als overgangstechnologie.

Als het inderdaad klopt dat de steenkoolcentrales enkel rendabel zijn door de GSC die ze ontvangen, moet het voldoende zijn om de GSC voor deze technologie af te schaffen. Een verbod van coverbranding lijkt me niet nodig aangezien pure steenkoolverbranding financieel gezien goedkoper is dan coverbranding.

Het zou misschien interessant zijn om de resterende steenkoolcentrales in België te verplichten een bepaalde hoeveelheid biomassa bij te stoken. Welteverstaan zonder dat ze hiervoor GSC krijgen en ervan uitgaande dat dit geen belemmering is voor de ontwikkeling van volledig hernieuwbare conversietechnologieën (beschikbaarheid van biomassa). Zodat, indien men ze toch nog een aantal jaar open wil houden, ze minder vervuilend zijn.

2.1.2.3 Productie van biodiesel op basis van koolzaad (Biobrandstoffen voor de transportsector)

Hieronder volgt een korte bespreking van de maatregelen die genomen zijn om het gebruik van biobrandstoffen aan te moedigen.

De eerste maatregel is de Europese richtlijn 2003/96/EG betreffende de volledige of gedeeltelijke **accijnsvrijstelling** van biobrandstof in de lidstaten. Lidstaten kunnen na het indienen van een voorstel van accijnsvrijstelling bij de Europese Commissie toestemming krijgen voor een vermindering of een volledige vrijstelling van accijnzen.

De accijnsvermindering zal geweigerd worden indien ze niet te verantwoorden valt en dus tot concurrentievervalsing zou leiden ten opzichte van fossiele brandstoffen. Deze richtlijn is in Belgische wetgeving omgezet na de goedkeuring van de accijnsvrijstelling. Dit gebeurde door de "Wet betreffende biobrandstoffen van 10 juni 2006" (Financiën, 2006). Ondertussen zijn er enkele wijzigingen doorgevoerd. Petrochemische bedrijven kunnen nu een accijnsvrijstelling krijgen indien ze 5% FAME (Fatty Acid Methyl Ester) bijmengen. (De Clercq, 2009)

Een tweede maatregel betreft de **duurzaamheidcertificaten**. Deze certificaten zijn een bewijs dat de biodiesel op een duurzame wijze geproduceerd is. Nationaal garandeert de Belgian Biodiesel Board de duurzaamheid van in België geproduceerde biodiesel waarvan het koolzaad ook op Belgische bodem geplet is. (De Clercq, 2009)

De derde maatregel gaat over het opleggen van **normen en specificaties** waaraan de biodiesel moet voldoen. In de richtlijn 2003/96/EG heeft Europa een bijmengingnorm op biodiesel ingesteld. Deze norm laat een bijmenging van maximum 5% toe, dit omdat hogere bijmengingpercentages eventuele aanpassingen van huidige motoren vereisen. Een tweede reden voor het opleggen van deze normen is dat het een goed instrument is om de marktwerking te stimuleren. In België bijgemengde biobrandstof moet volgens het KB van 4 maart 2005 voldoen aan de CEN (Centre Européen de Normalisation of European Committee for Standardization) normen. (De Clercq, 2009)

De vierde maatregel bevat de **subsidies** die de overheid kan geven aan producenten van producten waarvan zij de vraag wil stimuleren. Toegepast op biodiesel kan de overheid subsidies geven aan productiebedrijven. Hierdoor kunnen zij hun product goedkoper aanbieden en zal de consument bijgevolg zijn product interessanter vinden. We denken hierbij aan de subsidies die koolzaadverwerkende land- en tuinbouwbedrijven krijgen. (De Clercq, 2009)

De vijfde maatregel heeft betrekking op **invoerbeperingen en invoerheffingen**. Naast subsidies kan men de eigen industrie ook stimuleren door ze af te schermen van meer ontwikkelde buitenlandse industrieën. De overheid kan bijvoorbeeld invoerbeperingen opleggen voor buitenlandse producenten. Op deze manier zal de binnenlandse industrie zich ongestoord kunnen ontwikkelen.

Een andere manier om de binnenlandse markt te beschermen, is door het heffen van invoertaksen. Hier geldt hetzelfde principe als bij de invoerbeperingen: door de taks zal de import duurder gemaakt worden; hierdoor kunnen binnenlandse bedrijven toch nog concurreren met de in principe goedkopere import. Bijgevolg kan de binnenlandse industrie zich zoals eerder gezegd makkelijker ontwikkelen. Europa heeft om een eerlijke markt te bekomen in 2009 invoerrechten doorgevoerd op biodiesel afkomstig uit de Verenigde Staten. (De Clercq, 2009)

Maatregel zes: zoals andere Europese lidstaten heeft België om de biodieselfazet te stimuleren een **verplichte bijmenging** van biodiesel ingesteld (De Clercq, 2009). De "Wet van 22 juli 2009 betreffende de bijmenging van biobrandstof in fossielemotorbrandstoffen" zorgde ervoor dat aardoliemaatschappijen verplicht werden om 4% biobrandstof bij te mengen in benzine en diesel (Wetgeving leefmilieu, natuur en energie, 2009).

Conclusie

De doelstelling van de besproken maatregelen was en is om de markt op gang te trekken. Voor de wetgeving er kwam, had de toenmalige situatie er al voor gezorgd dat bedrijven die zwaar geïnvesteerd hadden in biobrandstoffen hun producten niet verkocht kregen en hierdoor in de problemen geraakten. (De Clercq, 2009)

De Europese Unie heeft in het kader van de verlaging van de CO₂-uitstoot en de olieafhankelijkheid zich de doelstelling gesteld om tegen 2020 10 procent biobrandstof bij te mengen. Hoe men dit wil verwezenlijken en of het wel realistisch is, zal de toekomst uitwijzen. De slaagkans wordt echter niet hoog ingeschat. (De Clercq, 2009)

Als we weten dat er in België in 2008 minder dan 1% biodiesel werd bijgemengd, kunnen we voorzichtig stellen dat sommige maatregelen niet echt effectief zijn gebleken. Volgens De Clercq zou de reden hiervoor kunnen zijn dat er op de biodieselmkt meer problemen zijn dan aanvankelijk gedacht werd.

Het is uitgesloten dat biodiesel (in de huidige vorm) ooit de markt van de fossiele diesel zal overnemen. Meest voor de handliggende oorzaak is dat er een beperking is van de beschikbare grond voor de teelt van koolzaad (en andere oliehoudende gewassen). Bovendien zijn de productiekosten veel hoger en het energierendement veel lager dan die van fossiele diesel. Bijmengen van biodiesel heeft in het kader van de reductie van CO₂-uitstoot en de olieafhankelijkheid wel zin. Maar dan moeten de doelstellingen van de Europese Unie wel verwezenlijkt worden door het beleid van de lidstaten.

2.1.2.4 Vergisting van energiemais

De productie van warmte op basis van de anaerobe fermentatie van afval of biomassa is een techniek die in aanmerking komt voor de Ecologiepremie Plus. Bij deze techniek hoort een ecologiegetal van 3 en een meerkostenpercentage van 80%. In *Tabel 2.3* kunnen we zien dat de hoogte van de steun voor kleine- en middelgrote ondernemingen 10% bedraagt en voor grote ondernemingen 5%.

Vergisting van energiemais komt ook in aanmerking voor een Verhoogde Investeringsaftrek. In de lijst van energiebesparende investeringen valt vergisting onder groep 4. Het percentage van de aftrek bedraagt zoals al eerder vermeld 13,5% voor investeringen gedaan in 2010 en 2011.

Het biogas dat door de vergisting van energiemais geproduceerd wordt, kan in een WKK-installatie als energiebron aangewend worden. Investeren in een WKK-

installatie kan een interessante opportuniteit zijn in deze situatie, aangezien dit soort investering onder groep 5 valt en dus ook van een verhoogde investeringsaftrek kan genieten.

Om van VLIF-steun te genieten moet de vergistingsinstallatie binnen het landbouwbedrijf vallen, en moet 30% van de inputstroom van het eigen bedrijf komen (exclusief mest). Volgens Biogas-E vzw (2010) wordt de biogasinstallatie echter als apart bedrijf opgericht. Redenen die ze hiervoor geven, zijn onder andere de financiële onzekerheid die ermee gepaard gaat. Wat zeker zal meespelen in de overweging om voor VLIF-steun te kiezen is het feit dat er dan geen beroep meer gedaan kan worden op de ecologiepremie. Biogas-E vzw geeft in zijn "Voortgangsrapport 2010" ook aan dat de aanvraag van VLIF-steun lang kan aanslepen; dit zou de financiële onzekerheid mede in de hand kunnen werken. Het steunpercentage bedraagt zoals in onderdeel 2.1.1.6 vermeld 28%.

Conclusie

Wat vergisting van energiemais betreft, is al besproken dat het een veelbelovende techniek is (hoog energierendement). Overkomelijk nadeel van deze techniek zijn de hoge investeringskosten van een vergistingsinstallatie; die kosten kunnen zoals reeds vermeld gedeeld worden met verschillende partners.

Bovendien kan men een beroep doen op de bovenvermelde investeringssteunmaatregelen die specifiek ontworpen zijn om de toepassing van dit soort beloftevolle hernieuwbare energieconversietechnieken aan te moedigen.

Uit een gesprek met Bruno Mattheeuws (PR-Manager van Organic Waste Systems) – OWS specialiseert zich sinds 1988 in anaerobe vergisting van vaste- en halfvaste organische substraten – blijkt echter dat deze steunmaatregelen onvoldoende zijn om op een winstgevende manier een vergistingsinstallatie op vervuild energiemais te exploiteren. Volgens Bruno Mattheeuws is het proces technisch en juridisch perfect toepasbaar. Enkel in het economische luik zijn er problemen. Een verdere bespreking hiervan volgt in *Hoofdstuk 3*.

2.1.2.5 Warmtekrachtkoppeling

De toepassing van warmtekrachtkoppeling is in het kader van deze thesis relevant indien de gebruikte hernieuwbare energiebron pyrolyse olie of biogas (afkomstig van de vergisting van energiemais) is. De investeringssteun waarvan men dan kan genieten is de Verhoogde Investeringsaftrek en eventueel VLIF-steun. Daarnaast bestaan zijn er nog de groenestroomcertificaten en warmtekrachtcertificaten. Hieronder volgt een korte toelichting.

Een investering in WKK valt onder groep 3 van de lijst van energiebesparende investeringen. Warmtekrachtkoppelingapparatuur komt dus in aanmerking voor een verhoogde aftrek. Er zijn wel twee voorwaarden.

De eerste voorwaarde is dat de som van het elektrisch rendement en tweederde van het thermisch rendement minstens gelijk is aan 50%. Ten tweede moeten zowel het elektrisch als het thermisch rendement minstens 25% bijdragen in de totale brandstofbenutting. Het percentage van de aftrek is 13,5%.

Per MWH groene stroom die een kwalitatieve WKK-installatie in Vlaanderen realiseert, kent de VREG één groenestroomcertificaat toe. Groenestroomcertificaten en warmtekrachtcertificaten zijn cumuleerbaar, met een WKK-installatie kan men dus van beide steunmaatregelen genieten.

Conclusie

Warmtekrachtkoppeling is een oude techniek die in het verleden in onbruik is geraakt omdat het goedkoper was om elektriciteit van het net af te nemen en warmte in een afzonderlijke installatie op te wekken. Tegenwoordig wordt WKK steeds meer toegepast omdat de overheid energiezuinige energieopwekking stimuleert, en omdat het in de strijd tegen de broeikasgassen ook een nuttige bijdrage kan leveren (minder CO₂-uitstoot).

Voorlopig wordt WKK meestal gebruikt in situaties waarin tegelijkertijd veel warmte en elektriciteit nodig is (zoals onder andere in de industrie, ziekenhuizen, zwembaden,...). Aangezien de techniek evolueert zal WKK in de toekomst ook in woonhuizen toegepast kunnen worden. We spreken dan over een micro-WKK.

Algemeen genomen kunnen we niet zeggen dat de overheid de toepassing van WKK onvoldoende of slecht aanmoedigt. WKK-installaties kunnen genieten van investeringssubsidies (verhoogde investeringsaftrek) en uitbatingssubsidies (GSC). Indien een hernieuwbare energiebron als brandstof gebruikt wordt voor de installatie (dat is in de context van deze thesis het geval), dan kan men ook in aanmerking komen voor WKC.

Bijkomend voordeel is dat er soepelere regels gelden voor het bekomen van WKC indien een hernieuwbare energiebron als brandstof wordt gebruikt. Vandaar dat al eerder vermeld werd dat dit een interessante optie is. Enige voorwaarde hierbij is wel dat alle warmte van de WKK nuttig besteed wordt.

Een bevestiging dat het WKK-beleid in Vlaanderen niet slecht is, kan men vinden in het feit dat de Vlaamse Overheid in 2008 op de COGEN Europe Conference de "Policy Development award" kreeg voor het meest efficiënt implementeren van de wetgeving in haar WKK-beleid. (COGEN Vlaanderen, 2011)

2.2 Milieubeleid voor de toepassing van nieuwe technologieën

In dit onderdeel van de thesis zal er nagegaan worden wat er in de economische literatuur gezegd wordt over de implementatie van nieuwe technologieën (zoals fyto-remediatie) in het algemeen en wat de rol van het beleid hierin zou moeten zijn. De meest bestudeerde theorieën worden besproken, en de gebieden die nog meer onderzoek vereisen, worden toegelicht.

De meest voorkomende bevinding in de economische literatuur omtrent innovatie is dat de industrie de neiging heeft te weinig te investeren in Onderzoek, Ontwikkeling en Demonstratie (Taylor et al., 2005). Voor milieutechnologieën gebeurt dit in het algemeen nog minder omdat er vanwege hun karakteristieken van publiek goed weinig stimulansen zijn voor privé-investeerders. Milieutechnologieën worden niet alleen ontwikkeld onder druk van concurrentie, ze worden voor een groot deel gevormd door specifieke overheidsmaatregelen. Enkele voorbeelden hiervan zijn: het creëren (en vernietigen) van de vraag naar verscheidene technologieën via regelgeving; het leiden en ondersteunen van Onderzoek, Ontwikkeling en Demonstratie ter ondersteuning van milieudoelstellingen; en het promoten van technologieën via subsidies. (Taylor et al., 2005)

Taylor et al. stippen aan dat de literatuur betreffende milieubeleidsinstrumenten de neiging heeft zich minder te focussen op brede types van beleidsmaatregelen. Zoals bijvoorbeeld de toepassing van "technology-push" (door aan Onderzoek, Ontwikkeling en Demonstratie te doen) versus "demand-pull" (door de markt die regelgeving creëert voor technologieën die de naleving ervan beogen). Nochtans zou er juist wel moeten worden gekeken naar de effectiviteit van het stimuleren van innovatie via regelgeving ("demand-pull"). Het grootste deel van de literatuur over dit onderwerp concentreert zich volgens Taylor op de efficiëntie van regelgeving of op de onzekerheid en strengheid van regelgeving.

Volgens Taylor et al. (2005) is er nog veel werk op het gebied van milieubeleidsinstrumenten. Vooral op gebied van "technology-push" door de

overheid en op gebied van "demand-pull" via regelgeving zijn er aspecten die nog verder bestudeerd moeten worden.

In het volgende deel volgt een beschrijving van de meest besproken argumenten op het gebied van efficiëntie, onzekerheid en strengheid van regelgeving.

2.2.1 Efficiëntie van regelgeving

Beleid omtrent milieu kan uitgaan van "command-and-control" of van een meer marktgebaseerde aanpak. Voorbeelden van marktgebaseerde instrumenten zijn subsidies, verhandelbare emissierechten en belastingen op milieuvervuiling. Dit soort instrumenten spoort bedrijven aan om vrijwillig een inspanning te doen op het gebied van vermindering van milieuvervuiling. De bedoeling hiervan is dat de inspanning het bedrijf uiteindelijk ten goede komt en dat meerdere bedrijven samen een bepaalde milieudoelstelling verwezenlijken. Bij command-and-control regelgeving daarentegen worden bedrijven gedwongen een gelijkaardige last te dragen, ongeacht wat de kosten voor de bestrijding van de milieuvervuiling zijn.

Als het om regelgeving en innovatie gaat, is het dominante standpunt hieromtrent dat marktgebaseerde instrumenten die economische incentives geven (zoals verhandelbare emissierechten en belastingen), instrumenten zijn die een grotere en constantere stroom van innovatie tot stand brengen dan command-and-control regelgeving. Voorstanders van dit standpunt gaan ervan uit dat command-and-control omwille van zijn lagere flexibiliteit ten opzichte van economische incentives ook minder innovatie zal stimuleren. (Taylor et al., 2005)

Sommige onderzoekers gaan hier niet mee akkoord: Driesen (2003) levert in "The Economic Dynamics of Environmental Law" interessante tegenargumenten. Om te beginnen stelt hij de vergelijkingsbasis tussen de twee in vraag. Volgens hem is het onderscheid tussen economische incentives en command-and-control onjuist. Driesen argumenteert dat traditionele regelgeving ook een flexibele economische incentive voor innovatie geeft, aangezien ze bedrijven aanzet tot het gebruik van vernieuwende technologieën om zo te voldoen aan de vastgestelde milieuprestaties tegen zo laag mogelijke kosten.

Het tweede argument hieromtrent is dat systemen zoals dat van de verhandelbare emissierechten waarschijnlijk de incentives voor innovatie

verzwakken. Bedrijven met hoge marginale reductiekosten zullen in dit systeem emissierechten kopen van bedrijven met lage marginale reductiekosten in plaats van te innoveren. Aangezien een faciliteit met lage marginale controlekosten in deze situatie voor de reductie zorgt, zal er bijgevolg ook weinig innovatie mee gemoeid zijn (Driesen, 2003).

Als laatste argument geeft Driesen aan dat noch traditionele regelgeving, noch marktgebaseerde regelgeving (zoals verhandelbare emissierechten) een incentive zijn voor een continue stroom van innovatie. Hij pleit dan ook voor een verbetering van het design van regelgeving.

2.2.2 Onzekerheid en strengheid van regelgeving

Naast de efficiëntie van regelgeving, spitst het grootste deel van de literatuur over regelgeving en innovatie zich volgens Taylor toe op het bestaan en de anticipatie van regelgeving, alsook op de zekerheid en de strengheid van regelgeving, als belangrijke drijfveren voor innovatie.

Volgens Taylor et al. (2005) groeit ook het werk dat verricht is rond de "Porter hypothese". Porter introduceerde in 1991 het theoretische argument dat milieustandaarden die de nadruk leggen op preventie en geen beperkingen opleggen wat betreft technologiekeuze, en gevoelig zijn voor kosten, innovatie kunnen prikkelen en bijgevolg het industrieel competitief voordeel kunnen verhogen.

Wat de strengheid van regelgeving betreft, vermelden Taylor et al. (2005) dat Ashford, Ayers en Stone reeds in 1985 stelden dat een hoge graad van strengheid noodzakelijk is indien men meer innovatieve activiteiten wil stimuleren.

Het gebied van onzekerheid van regelgeving is volgens Taylor et al. (2005) nog niet zo goed bestudeerd, de resultaten ervan zijn vaag. Ashford, Ayers en Stone (1985) maakten hierover de nuchtere opmerking dat te veel onzekerheid innovatie zal afremmen, maar dat te weinig onzekerheid enkel de toepassing zal stimuleren van technologieën die slechts toelaten aan de minimumvereisten van regelgeving te voldoen.

Wat het effect van strengere regelgeving omtrent bodemverontreiniging met zware metalen zou zijn, is moeilijk te zeggen. Op dit moment vereist het Bodemdecreet een verplichte sanering van historisch verontreinigde bodem indien de verontreiniging een ernstige bedreiging vormt. Omwille van de lange saneringstijd van fytoextractie is dit echter niet het kader waarin fytoextractie toegepast wordt. Momenteel wordt fytoextractie gezien als een goede keuze als er weinig tijdsdruk is om de sanering te voltooien, en er dus ook geen sprake is van een ernstige bedreiging.

2.2.3 Path dependency en lock-in

De meeste economische literatuur die de verhouding van beleid en regelgeving tot de implementatie van nieuwe technologieën bestudeert, bespreekt of vermeldt "path dependency" en "lock-in".

"Path dependency" wil zeggen dat de keuzes die gemaakt zijn in het verleden, de keuzes in het heden mee bepalen. De keuzes gemaakt in het verleden sluiten met andere woorden andere keuzemogelijkheden in het heden uit.

Padafhankelijkheid leidt tot insluiting (lock-in) van bestaande technologieën. Het ontstaat door systeem- of netwerkexternaliteiten en het feit dat technologieën nauw verbonden zijn aan hun sociale en economische omgeving (Foxon en Pearson, 2008). Andere factoren die meespelen, zijn toenemende opbrengsten door schaalvoordelen, imitatie, informatie-effecten – wat het best verkocht is, is het meest gekende en verkoopt bijgevolg meer – en technische complementariteit (van den Bergh et al., 2006).

Voornamelijk toenemende opbrengsten zijn vaak het resultaat van positieve feedbackmechanismen en leiden op hun beurt tot nog meer positieve feedback (van den Bergh et al., 2006). De situatie waarin technologieën dominant worden door positieve feedbackmechanismen wordt vaak "lock-in" genoemd.

Het gevolg hiervan is dat nieuwe technologieën niet alleen met componenten van een bestaande technologie moeten concurreren, maar ook het met hele systeem waarin de technologie zit verankerd (Foxon en Pearson, 2008). Van den Bergh et

al. (2006) benadrukken dat deze situatie het uiterst moeilijk maakt om technologieën te introduceren buiten het dominante technologische model.

Voor het industrieel en socio-economisch model betekent dit dat ze vast zullen komen te zitten in een bepaald technologisch model. Volgens Foxon en Pearson (2008) is het dan ook noodzakelijk dat de overheid nieuwe technologieën of technologische systemen aanmoedigt en dat ze helpt barrières te overwinnen die door de dominante technologie of het dominante systeem zijn gecreëerd.

Kort samengevat waarschuwt deze theorie voor een beleid dat te weinig technologische diversiteit promoot en bijgevolg weinig beleidsmatige opties overhoudt indien een technologie of technologisch systeem niet duurzaam blijkt.

Toegepast in de praktijk kunnen we niet zeggen dat we op dit moment omtrent het pad van fyto-remediatie het gevaar lopen er afhankelijk van te worden of er ingesloten in te geraken. Wel moet er op vlak van beleid met betrekking tot saneringstechnieken toegezien worden dat er voldoende technologische diversiteit heerst.

Momenteel wordt fyto-remediatie nauwelijks overwogen als alternatief bij de nood aan sanering van een grond. Hier zijn waarschijnlijk een aantal redenen voor (zoals: economische, beleidsmatige, technische, ...), maar vanuit theoretisch standpunt kunnen we hier wel zeggen dat we afhankelijk zijn van een pad waarin fyto-remediatie geen optie is. Volgens Foxon en Pearson kan dit verholpen en voorkomen kunnen worden door te zorgen voor een beleid dat voldoende technologische diversiteit promoot.

De mogelijkheden die de auteurs voorstellen om voldoende technologische diversiteit aan te moedigen zijn:

- de ondersteuning van niches waarin men kan leren,
- de ontwikkeling van basisvaardigheden,
- de ontwikkeling van kennisnetwerken, en
- de verbetering van de positieve verwachtingen van toekomstige marktopportunities. (Foxon en Pearson, 2008)

Een interessante vraag in dit verband is of we binnen het onderzoeksgebied van fyto-remediatie goed op weg zijn en of het een saneringstechniek is die we moeten blijven onderzoeken.

2.2.4 Overheidsinstrumenten

Wat zijn nu de beleidsinstrumenten waarvan de overheid gebruik kan maken om technologische innovatie te stimuleren zodat er een duurzamer industrieel systeem tot stand komt. De overheid is niet afhankelijk van enkele instrumenten, maar kan over heel wat verschillende maatregelen beschikken. De uitdaging hiervan is volgens Ashford en Hall (2011) de keuze en de vormgeving van het juiste instrument (of instrumenten) om bepaalde problemen op te lossen.

De variëteit aan maatregelen waarover de overheid beschikt, bestaat onder andere uit:

- financiële steun aan de academische wereld en de industrie voor onderzoek en ontwikkeling via subsidies, fiscale stimuli, beurzen;
- het schrappen van regelgeving die innovatie verhindert;
- het bevorderen van de kennisoverdracht van universiteiten naar kleine- en middelgrote ondernemingen;
- het stimuleren van innovatie door correcte prijzen voor natuurlijke hulpbronnen inclusief energie te hanteren;
- het gebruik van regelgeving om milieuvriendelijkere, veiligere, en werkgelegenheidscreërende innovatie te stimuleren;
- culturele activiteiten gebruiken om de bereidwilligheid en openheid om deel te nemen aan verandering te vergroten. (Ashford en Hall, 2011)

De verschillende beleidsinstrumenten die een overheid ter beschikking heeft hebben allemaal het potentieel om een bepaalde hoeveelheid technologische verandering door te drukken of te induceren. Dit komt volgens Jaffe, Newell en Stavins (2002) doordat ze van bedrijven vereisen of bedrijven induceren dingen te doen die ze anders niet zouden doen. Zo kan het vastleggen van milieustandaarden bijvoorbeeld het tot stand komen van uitvindingen en innovatie stimuleren doordat ze bedrijven dwingen aan de standaard te voldoen.

Het gevolg hiervan is wel dat het opstellen van milieubeleidsdoelstellingen en de keuze van beleidsinstrumenten belangrijk zijn. (Jaffe, Newell en Stavins; 2002)

Economische theorieën betreffende het proces van technologische verandering werden reeds in 1942 ontwikkeld door Josep Schumpeter. Zijn basisidee van hoe een nieuwe superieure technologie de markt doordringt, bestaat uit drie fases. De eerste fase van de ontwikkeling van een wetenschappelijk of technisch nieuw product of proces is een **uitvinding**. Vervolgens is het de bedoeling dat de uitvinding zich ontwikkelt tot een **innovatie**. Men kan van een innovatie spreken als het nieuw product of proces gecommercialiseerd wordt en dus beschikbaar is op de markt. De meeste uitvindingen ontwikkelen zich echter niet tot innovaties. Wanneer een succesvolle innovatie wijdverspreid en voor iedereen beschikbaar is dan zit de nieuwe technologie (of het proces) in de derde fase, **diffusie** genaamd. Deze drie fasen vormen samen het proces van technologische verandering. (Jaffe, Newell en Stavins; 2002)

2.2.5 Design van het milieubeleid

Volgens Vicki Norberg-Bohm (1999) ligt het vermogen om milieuvriendelijke innovaties te creëren voornamelijk in de private sector. Overheidsbeleid is slechts één van de vele variabelen die de snelheid en richting van technologische innovatie kunnen beïnvloeden. Andere bepalende factoren die de auteur vermeldt zijn: de factorprijzen, de structuur van de industrie, de organisatie en management van bedrijven, de historische (gevolgde) technologische paden en het huidig technologisch pad, en de normen en leiderschapsvoorkeuren van een samenleving. Het gevoerde milieubeleid beïnvloedt de technologische innovatie door sommige van deze sleutelvariabelen te wijzigen. Een voor de hand liggend voorbeeld hiervan is wanneer een milieubelasting de factorprijzen verandert. (Norberg-Bohm, 1999)

De vier karakteristieken van milieubeleid die in staat zijn om de bovenvermelde sleutelvariabelen te beïnvloeden en dus technologische "groene" innovatie te stimuleren zijn de volgende:

- het vermogen om door de industrie gegenereerde informatie te stimuleren,
- politieke of economische stimulansen te creëren,

- langetermijn onzekerheid weg te nemen, en
- flexibiliteit te bieden. (Norberg-Bohm, 1999)

Twee bijkomende karakteristieken van milieubeleid zijn volgens de auteur noodzakelijk om ervoor te zorgen dat innovatie streeft naar het genereren van zo weinig mogelijk afval, namelijk een multimediale aanpak en rekening houden met de volledige levenscyclus van een product. Deze analyse suggereert niet dat milieubeleid aan deze zes design karakteristieken moet voldoen, maar wel dat beleid dat aan meerdere karakteristieken voldoet een grotere kans heeft om “groene” technologische innovatie te stimuleren. (Norberg-Bohm, 1999)

2.2.6 Besluit

Het is zeer moeilijk, zonet onmogelijk om uit de verschillende beleidsinstrumenten een instrument te identificeren dat het beste is. Jaffe, Newell en Stavins (2002) vermelden in hun analyse van de theorieën die er bestaan over de effecten van milieubeleid op technologische verandering ook dat het algemeen genomen niet mogelijk is een exhaustieve rangschikking te maken van de verschillende instrumenten op basis van theorie alleen.

Volgens van de Bergh et al. (2006) besteden beleidsmakers teveel aandacht aan het proberen te voorspellen welke de “groenste” of de “beste” technologieën (in welk opzicht dan ook) zullen zijn. Aangezien dit toch niet mogelijk is, kunnen beleidsmakers beter een beleid zouden voeren dat gericht is op het stimuleren van de ontwikkeling van duurzame technologieën. Dit kan men verwezenlijken indien het beleid de nadruk legt op het creëren van omstandigheden waarin enkel de groenste technologieën kunnen overleven. (van den Bergh et al., 2006)

In veel gevallen en verschillende industrietakken is er momenteel een gebrek aan een commerciële of bijna commerciële technologie die op een winstgevende manier een milieuprobleem kan oplossen. Op gebied van sanering van met metaal verontreinigende gronden zou fytoextractie op termijn zo een technologie kunnen worden. Eén van de uitdagingen van dergelijke technologieën is dat er vaak twijfel bestaat over het potentieel voor winst (Norberg-Bohm, 1999). Dit maakt op zijn beurt dat investeringen vanuit de privésector riskant zijn. De oplossing die Vicki Norberg-Bohm hiervoor voorstelt, is een combinatie van een

verlaging van het langetermijn risico en sterkere incentives voor dit soort investeringen. Een mogelijkheid is dat men met langetermijn doelen gaat werken. Hierdoor worden bedrijven aangemoedigd om technologische verandering en vooruitgang te zien als een deel van hun bedrijfsstrategie.

Veel beleidsmatige analyses hebben het – zoals het in deze bespreking ook verschillende keren vermeld is – over het belang van innovatie voor een goed milieubeleid. Volgens Vicki Norberg-Bohm is het belangrijk erop te wijzen dat innovatie slechts één criterium is voor milieubeleid en het toegevoegd moet worden aan de meer traditionele criteria zoals efficiëntie, effectiviteit en gelijkheid, in de plaats van ze te vervangen.

Zoals door van den Bergh de mogelijkheid om op voorhand de beste technologie te kiezen in twijfel wordt getrokken, betwijfelt Vicki Norberg-Bohm ook dat men vooraf kan bepalen welk beleidsinstrument meer technologische innovatie stimuleert.

Beleid dat succesvol innovatie promoot, zal in veel gevallen een veelzijdig beleid zijn, dat ontworpen is om op unieke eigenschappen van verschillende industrieën en milieu-uitdagingen in te spelen, rekening houdend met de belangen en perspectieven van een reeks stakeholders. (Norberg-Bohm, 1999)

3. Lacunes in het onderzoek

Het doel van dit laatste hoofdstuk is de lacunes in het onderzoek naar fyto remediatie te identificeren. De aspecten van fyto remediatie waarvan achtereenvolgens de "gaps" in de literatuur besproken zullen worden, zijn:

- ✓ onderzoek naar fyto remediatie zelf,
- ✓ onderzoek naar de energieconversie van biomassa (afkomstig van fyto remediatie),
- ✓ economisch onderzoek naar fyto remediatie,
- ✓ beleid omtrent fyto remediatie,
- ✓ en andere gebieden voor verder onderzoek.

De bedoeling van deze bespreking is aan te geven welke behoeften aan wetenschappelijk onderzoek ingevuld moeten worden om de ontwikkeling en toepassing van fyto remediatie in de toekomst te verzekeren. Hieronder volgen per bovengenoemd aspect een bespreking en aanbevelingen voor verder onderzoek en ontwikkeling.

3.1 Lacunes in het onderzoek naar fyto remediatie

Volgens Mench et al. (2010) kunnen fyto technologieën een invloed hebben op de biodiversiteit in de omgeving van de remediatieactiviteit. Zij vermelden dat ecologische onderzoeken van vijf tot tien jaar durende fyto remediatieproeven onverwachte biotische interacties hebben ontdekt, zoals de ontwikkeling van insecten en kleine zoogdiersoorten. Er is meer bepaald een gebrek aan informatie over de effecten van het herhaaldelijk oogsten.

Om de duurzaamheid en de gevolgen van de keuze voor fyto remediatie op gebied van langetermijnbeheer te kennen, maar ook de impact op de omliggende omgeving, moet door middel van langetermijnproeven meer onderzoek verricht worden. Brown et al. (2005) vermelden hieromtrent dat onder andere de effectiviteit van de toepassing van fytostabilisatie als wapen tegen bodemerosie nog niet naar behoren is gekwantificeerd. Er moet rekening worden gehouden

met de volledige levenscyclus van de plantensoorten die in deze processen worden ingezet. (Mench et al., 2010)

3.1.1 Algemene opmerkingen

De toepassing en demonstratie van veldexperimenten en pilootprojecten is volgens Adriaensen et al. (2008) een van de meest dringende behoeften, zodat aan de belanghebbenden het juiste gebruik van deze technieken aangetoond wordt. Het verspreiden van informatie over pilootprojecten en zelfs betrokkenheid van beleidsmakers bij pilootprojecten zou volgens de auteurs een belangrijke en noodzakelijke stap voorwaarts zijn in de toepassing van "Gentle Remediation Options" (GRO).

Remediatietechnologieën

Wat de remediatietechnologie fytoextractie zelf betreft, moet het onderzoek volgens Adriaensen et al. (2008) gericht worden op het zoeken naar teelten die een hoge metaaltolerantie hebben en een grote hoeveelheid biomassa opleveren. Een mogelijk antwoord hierop biedt het kruisen van hyperaccumulatoren met planten die een grote hoeveelheid biomassa opleveren. Adriaensen et al. vermelden dat er op dit gebied inspanningen worden geleverd, maar dat er tot nog toe geen doorbraak is.

Verder zeggen de auteurs dat het knelpunt van fytoextractie niet ligt bij de maximale hoeveelheid metaal die een plant kan verdragen, maar eerder bij de beschikbaarheid van metaal voor extractie door een plant (Hernandez-Allica et al., 2008; Robinson et al., 2003; Van Nevel et al., 2007). Adriaensen et al. geven hierbij aan dat er op dit gebied nieuwe inzichten nodig zijn. De toegankelijkheid tot de vervuiling moet met andere woorden vergroot worden en tegelijkertijd moet de opname en opslag van de contaminatie door de plant geoptimaliseerd worden.

Effecten van remediatie op het milieu

Het onderzoek naar positieve en negatieve effecten van GRO op de bodem dat door Adriaensen et al. werd uitgevoerd (Sumatecs project), onthult een nood aan studies op korte en lange termijn hieromtrent. Voor het evalueren en vaststellen van de resultaten van GRO moeten algemene en sitespecifieke indicatoren die op het herstel van de bodem duiden, geïdentificeerd worden. Het feit dat GRO een positieve invloed heeft op het milieu moet volgens de auteurs op een kwantitatieve manier bewezen worden. Een grote uitdaging van de benadering van een remediatietechniek vanuit een kwantitatief oogpunt is het geven van een monetaire waarde aan een milieu-impact of milieuverbetering. Dit wordt nog moeilijker wanneer er remedieopties onderling vergeleken moeten worden. Een gedeeltelijke verklaring hiervoor kan gevonden worden in het gebrek aan ervaring in de toepassing van bestaande economische tools op de remediatie van gronden. (Adriaensen et al., 2008)

In heel wat wetenschappelijke teksten wordt gesproken over de socio-economische impact van fyto-remediatie. Volgens Adriaensen et al. (2008) kan deze vage term tot misverstanden leiden en moet er duidelijkheid geschapen worden over wat er mee bedoeld wordt. Zij halen dan ook een verdere studie van de literatuur omtrent socio-economische aspecten van fyto-remediatie aan als een gebied voor verder onderzoek. Het bestuderen van case studies en het zoeken naar uitgevoerde veldexperimenten met "Gentle Remediation Methods" kan volgens Adriaensen et al. ook nuttige informatie opleveren.

Over de uitvoering van veldexperimenten vermelden de auteurs dat er bij de uitvoering niet enkel aandacht moet besteed worden aan het remediatieproces, maar ook aan de socio-economische aspecten.

Na dit overzicht van behoeften die er zijn op gebied van onderzoek naar fyto-remediatie zoals onder andere veldexperimenten en pilootprojecten, is het noodzakelijk te vermelden dat er de jongste jaren veel inspanningen gebeuren om hieraan tegemoet te komen. Enkele voorbeelden hiervan zijn:

- ✓ Rejuvenate project (fase 1), ontwikkeling van een decision support tool (Bardos et al., 2010);

- ✓ Rejuvenate project (fase 2), overgang naar een tweede fase waarbij men concreet de praktisch toepassing van het DST aan het testen is;
- ✓ Sumatecs project (Adriaensen et al., 2008);
- ✓ Greenland project dat de praktische toepassing onderzoekt van GRO op sites die met spoorelementen verontreinigd zijn (www.greenland-project.eu);
- ✓ Hombre project over de regeneratie van brownfields (www.zerobrownfields.eu);
- ✓ BeNeKempen project (scenario's voor beheer en sanering van grensoverschrijdende bodemverontreiniging in de Kempen, www.ovam.be).

3.2 Lacunes in het onderzoek naar energieconversie van biomassa

Biomassa waardering

Mogelijke opties voor energieopwekking uit biomassa die door de literatuur worden voorgesteld, zijn reeds in *Hoofdstuk 1.3* besproken. Lacunes in het onderzoek en verdere behoeften aan ontwikkeling op dit gebied hebben te maken met de verbetering van het proces waarbij de biomassa verbrand wordt. Specifieker zoekt men naar manieren om de metalen van de assen te scheiden en oplossingen en verbeteringen voor de aan assen gerelateerde problemen (Adriaensen et al., 2008). Volgens Adriaensen et al. kan hierdoor de kans op een duurzaam gebruik van de assen vergroot worden.

Verschillende auteurs stellen voor om brandstof (biodiesel) of olie te produceren van vervuilde biomassa. Aangezien er hieromtrent onbeantwoorde vragen zijn, is verder onderzoek noodzakelijk (Van Ginneken et al., 2007; Adriaensen et al., 2008; Mench et al., 2010).

Van Ginneken et al. (2007) vragen zich af of voertuigen die op dergelijke biodiesel rijden geen hogere uitstoot van zware metalen zullen hebben. Adriaensen et al. (2008) vermelden hierover dat verder onderzoek zich moet concentreren op spoorelementen in de eindproducten zodat de geldende

regelgeving nageleefd kan worden. Volgens Mench et al. (2010) kunnen de emissies van spoorelementen van voertuigen die rijden op biodiesel (afkomstig van fytoremediatiegewassen) geminimaliseerd worden door de planten te selecteren op basis van hun lage inhoud aan spoorelementen in de zaden.

Er zijn volgens Adriaensen et al. (2008) weinig studies uitgevoerd betreffende met metaal verontreinigde biomassa. Bovendien zijn de studies die hierover bestaan, verricht op schaal van een (klein) veldexperiment, terwijl fytoextractie als een beheer- en saneringsoptie een grote hoeveelheid vervuilde biomassa zou (moeten) voortbrengen. Hieruit vloeit volgens Adriaensen et al. (2008) de behoefte voort aan veldexperimenten op grote schaal, met grote hoeveelheden verontreinigde biomassa. Op deze manier kunnen er – rekening houdend met regelgeving en potentiële winsten – verschillende biomassaconversie-opties overwogen en getest worden. (Adriaensen et al., 2008)

Betreffende biomassaomzettingstechnieken vermelden Adriaensen et al. (2008) dat het gedrag van metalen gedurende verschillende processen nog niet gekend is. Verder onderzoek op dit gebied is volgens Adriaensen et al. noodzakelijk opdat de technologische ontwikkeling hieromtrent voortgestuwd kan worden.

3.3 Lacunes in het economisch onderzoek naar fytoremediatie

Commerciële organisaties zouden graag een remediatie-instrument kunnen aanbieden dat gebruikt kan worden in gestandaardiseerde omstandigheden, en dat met een hoge graad van zekerheid de vooropgestelde remediatiedoelstellingen kan bereiken (Mench et al., 2010). Door een gebrek aan homogeniteit van gecontamineerde sites moeten ze volgens de auteurs samenwerken met wetenschappers en ingenieurs om effectieve strategieën te commercialiseren.

Het veelvuldig falen van verschillende technieken in het verleden en het ontbreken van metaalverontreinigde sites die bijvoorbeeld door fytoremediatie gesaneerd zijn, toont volgens Mench et al. (2010) aan dat het investeren in de ontwikkeling van nieuwe procedures een groot risico inhoudt.

Volgens Vassilev et al. (2004) is er vanuit economisch standpunt behoefte aan onderzoek dat zich concentreert op:

- het verzamelen van gedetailleerde data met betrekking tot de kosten en baten van verscheidene veldexperimenten,
- het ontwikkelen van een standaard Kosten-Batenmodel waarin de sensitiviteit van de Netto Huidige Waarde (NHW) voor belangrijke kostendrijvers (zoals bijvoorbeeld: de remedatieperformantie van een plant, de toestand van een bodem of het verschil tussen het initiële niveau van vervuiling en de doelstelling) voor eender welk fytoremediatieproject onderzocht kunnen worden,
- het meten van de sociale- en private baten van een saneringsproject, onder andere in de context van landbeheer.

Er is behoefte aan het uitvoeren van meerdere demonstratieprojecten voor het meten en optimaliseren van de onderliggende economische aspecten van fytoremediatie. Dit kan men bijvoorbeeld doen door middel van haalbaarheidsstudies. Op termijn zal dit zorgen voor een grotere acceptatie bij het bredere publiek en het overtuigen van beleidsmakers. (Vassilev et al., 2004)

Ook hier moet er net als in 3.1 gewezen worden op het feit dat er om aan bovenstaande behoeften te voldoen reeds veel inspanningen gebeuren. Rejuvenate is bijvoorbeeld juist in het leven geroepen om de haalbaarheid van de productie van biomassa op "marginale" (verontreinigde) grond te onderzoeken.

3.4 Lacunes betreffende het beleid rond fytoremediatie

Adriaensen et al. (2008) vermelden dat de kloof tussen Onderzoek en Ontwikkeling en de toepassing van fytoremediatie gedeeltelijk komt door:

- het niet op de hoogte zijn van beleidsmakers en probleemeigenaren,
- een gebrek aan expertise en kennis van de dienstverleners en opdrachtnemers betreffende:

- mogelijke opties,
- wat beschikbaar is,
- duurzame efficiëntie (van verschillende fytoremediatieopties),
- en hoe dit te meten valt (eventuele monitoringbenodigdheden).

Het wettelijke aspect omtrent bodemvervuiling en fytoremediatie is volgens Mench et al. (2010) van belang omdat regelgeving betreffende bodemsanering die zich in het verleden focuste op de totale concentratie spoorelementen nu vervangen wordt door op risico gebaseerde evaluaties. Deze verandering noodzaakt het gebruik van geavanceerdere managementprocedures voor verontreinigde grond.

Alle mogelijkheden om een vastgelegde set van richtlijnen voort te brengen zouden aangemoedigd moeten worden, zodoende dat belanghebbenden over voldoende informatie en ondersteuning kunnen beschikken. (Mench et al., 2010)

3.4.1 Lacunes betreffende de stimuli rond fytoremediatie en vergisting van energiemais

Het in *Hoofdstuk 2* aangehaalde probleem in verband met het niet rendabel kunnen exploiteren van een vergistingsinstallatie op vervuild energiemais, vloeit voort uit een gebrekkig beleid omtrent fytoremediatie.

Vergisting als techniek krijgt zoals in het vorige hoofdstuk besproken voldoende steun. Het probleem situeert zich echter ergens anders. Om het vergistingsproces te optimaliseren en een hoger biogasrendement te verkrijgen, moet aan de biomassa glycerine toegevoegd worden. Aangezien de te betalen prijs voor glycerine zeer variabel is, zorgt dit voor grote meerkosten en in veel gevallen een onrendabele (winst)marge. Een gedeeltelijke oplossing hiervoor is aan het vergistingsproces slib toe te voegen – waarvoor men een vergoeding krijgt – maar zelfs dan krijgt men de grote meerkosten van glycerine niet gedekt.

Volgens het Milieu- en energietechnologie Innovatie Platform (MIP)-project EOSAN⁷ (2011) wordt de toepassing van deze techniek enkel belemmerd door het economische luik. Juridisch en technisch zou de techniek perfect toepasbaar zijn. De metalen in de biomassa vormen dus geen probleem. Wel zouden er nog vraagtekens bestaan rond een hoog chloridgehalte waarvan de oorzaak nog niet gekend is. Maar aangezien dit geen problemen veroorzaakt, kunnen we zeggen dat er op technisch gebied geen hindernissen zijn.

De uitdagingen die er op economisch gebied zijn, zouden aangepakt kunnen worden indien er (beleidsmatige, financiële) steun zou bestaan voor fytoextractie en fytostabilisatie. Men kan hierbij denken aan de ondersteuning van alternatieve stromen (oogstresten), zoals bijvoorbeeld een subsidie voor het afval van maïs bestemd voor vergisting. Of nog specifiek voor vergisting, een subsidiëring van glycerine, bedoeld om de prijschommelingen op te vangen. Aangezien dit nog niet gebeurt, duidt dit op een gebrek aan incentive bij de beleidsmakers.

Dit valt enerzijds te verklaren door het feit dat historisch verontreinigde gronden⁸ wettelijk niet gesaneerd hoeven te worden indien ze geen ernstige bedreiging vormen. En anderzijds kunnen we stellen dat op gebied van bodemvervuiling de concepten van duurzaamheid en "common concern" bij de publieke opinie en de beleidsmakers nog niet doorgedrongen zijn.

Het is dan ook nuttig om eens na te denken over de motivering voor verontreinigde grond die niet verplicht gesaneerd moet worden, toch te saneren. Een eerste en misschien wel de belangrijkste reden om dit soort gronden te saneren, is dat het de duurzaamheid van het bodemgebruik ten goede komt.

Verder bevordert de productie van biomassa op een matig verontreinigde bodem, die geen ernstige bedreiging vormt, de duurzame ontwikkeling. Een belangrijke motivering waarom we zulke sites moeten saneren is dan ook dat het in ons eigen belang is, en dat het onze plicht is ten opzichte van toekomstige

⁷ Met energie- en voedselproductie naar een gezonde bodem

⁸ In geval van nieuwe verontreiniging is er geen sprake van ernstige bedreiging en verplichte sanering indien de bodemsaneringsnormen niet overschreden zijn. In deze situatie zou er dan ook weinig incentive zijn om over te gaan tot sanering.

generaties. We mogen het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien niet in gevaar brengen. Door reeds vervuilde gronden te saneren en bovendien biomassa te produceren die bestemd is voor de opwekking van bio-energie, zet men een grote stap in de richting van duurzame ontwikkeling.

Bardos et al. (2009) wijzen er op dat er een significante hoeveelheid marginale grond is die niet optimaal benut wordt. Een opwaardering van deze gronden is vaak moeilijk omwille van economische redenen. Hiernaast is het ook een feit dat er meer vraag is naar gronden voor de productie van biomassa (voor energie, brandstof of grondstof) en er een toegenomen interesse voor de vermindering van de CO₂ -uitstoot is (Bardos et al., 2009). Het samenvoegen van de behoefte aan grond en de interesse voor het verminderen van de CO₂ -emissies creëert een opportuniteit voor duurzame ontwikkeling, namelijk het gebruik van marginale grond voor de productie van biomassa. Deze opportuniteit kan ervoor zorgen dat er een drijfveer ontstaat voor de herontwikkeling van moeilijk te ontwikkelen (marginale, vervuilde en braakliggende) gronden. (Bardos et al., 2009)

Bijkomende duurzaamheidsvoordelen die dit type landgebruik volgens Bardos et al. met zich mee kunnen brengen zijn:

- een positieve impact op de biodiversiteit,
- een voordeel voor de lokale gemeenschap en het genereren van kapitaal,
- een educatieve waarde en stijging van de werkgelegenheid.

Volgens een richtlijn van de Europese Unie moet het aandeel duurzame energie in het totale energieverbruik van België 13 procent bedragen tegen 2020. Het produceren van biomassa (voor bio-energiedoeleinden) op marginale gronden draagt bij aan het behalen van deze doelstelling.

Door energiegewassen te telen op braakliggende (en vervuilde) gronden gaat het niet ten koste van landbouwgrond die bedoeld is voor voedselproductie en is er geen verdringing van de voedselproductie.

3.4.2 Lacunes betreffende de stimuli rond fyto-remediatie en (flash-)pyrolyse van KOH

Zoals in 2.1.2.1 vermeld, is één van de eerste hindernissen voor de toepassing van pyrolyse van KOH de beschikbare hoeveelheid grond die vervuild is met zware metalen. Indien we de Belgische en Nederlandse Kempen samennemen komen we wel aan een oppervlakte van 6000 hectare die nodig is voor het rendabel zijn van (flash-)pyrolyse van KOH (wilg). De reden waarom we 6000 hectare nodig hebben opdat pyrolyse rendabel wordt, zijn schaalvoordelen.

Een tweede en waarschijnlijk de grootste hindernis voor de toepassing van (flash-)pyrolyse van KOH is de grote economische onzekerheid die ermee gepaard gaat. Men zal bijvoorbeeld een landbouwer die in de Kempen veevoedergewassen teelt moeilijk kunnen overtuigen om over te schakelen op het telen van KOH zoals wilg. De redenen hiervoor zijn onder andere:

- gebrek aan kennis over het telen van KOH en dus weinig vertrouwen;
- er is geen markt voor KOH en bijgevolg schept dit onzekerheid.

Andere redenen die economische onzekerheid in de hand werken en bijgevolg landbouwers of andere investeerders afschrikken zijn:

- er is geen markt voor pyrolyse olie;
- hoge investeringsbedrag voor een pyrolyse reactor: voor een kleine reactor moet men rekenen op ongeveer 7 miljoen euro ;
- daarenboven schommelt de prijs voor een WKK ook zeer sterk (men weet niet vooraf hoeveel het exact gaat kosten): tussen 7 en 13 miljoen euro ;
- een WKK-installatie moet omgebouwd worden indien men ruwe pyrolyseolie wil gebruiken (anders tast het de motor aan) of de olie moet gezuiverd worden, in ieder geval zijn dit extra kosten;
- men moet ook nog denken aan de kosten voor de infrastructuur.

Om te komen tot de stimuli omtrent (flash-)pyrolyse kunnen we zeggen dat de overheid zorgt voor een investeringssubsidie (verhoogde investeringsaftrek), GSC en WKC. Wat de investeringssubsidie betreft is er in 2.1.2.1 een beeld gegeven op wat men ongeveer kan rekenen. De GSC en WKK waarop men kan

rekenen wanneer men de pyrolyse olie in een WKK gaat aanwenden zouden 60 procent van de inkomsten uitmaken. Dit is uiteraard een grote steun in het rendabel maken van een pyrolyse-installatie en is dus een goede aanmoediging voor ondernemers om ermee te starten. Het enige probleem met de bovenstaande steunmaatregelen is dat ze kunnen wegvallen en bijgevolg niet leiden tot meer economische zekerheid.

Hiermee wil ik niet zeggen dat de huidige stimuli slecht zijn, het is volgens mij zeer moeilijk om daar uitspraken over te doen en dus een eenduidig antwoord te vinden op de vraag: "Zijn de huidige steunmaatregelen goed of slecht?". Wat ik hierover wel kan zeggen, is dat de beleidsmakers de stimuli misschien op andere cruciale factoren zouden moeten richten of bijkomstig subsidiëren.

Net als bij vergisting van energiemaïs is het bij pyrolyse van KOH van belang dat er een steun – subsidiëring – komt voor het gebruik van vervuilde biomassa. Hiermee bedoel ik biomassa die aangerijkt is met zware metalen. Voor vergisting is er vermeld dat dit in de vorm van een subsidiëring voor het gebruik van afval van maïs voor vergisting zou kunnen zijn.

In geval van pyrolyse zou dit dan een subsidiëring voor het gebruik van bijvoorbeeld wilg aangerijkt met zware metalen, kunnen zijn. Deze subsidie zou gerechtvaardigd zijn omwille van ecologische-, gezondheids- en duurzaamheidsredenen. Een bedrijf dat aan pyrolyse doet met KOH dat afkomstig is van fytoremediatie (aangerijkt met zware metalen, in de Kempen cadmium bijvoorbeeld) zorgt ervoor dat zware metalen uit het milieu verwijderd worden. Dit is beter voor mens en milieu, en vervuilde gronden worden gesaneerd. Met vervuilde gronden bedoel ik ook bodems die niet verplicht gesaneerd moeten worden. Het hierboven beschreven scenario zou daar misschien de mogelijkheid toe bieden en het zou in dit scenario een goede reden zijn om een niet verplicht te saneren bodem toch te saneren.

Eigenlijk moet men zich bij het afvragen of dit soort subsidie een goed idee is de vraag stellen: "Waarom zou een investeerder die investeert in een biomassaconversie-installatie (pyrolyse of vergisting) gebruik maken van vervuilde biomassa?". Voor de investeerder heeft dit immers tot gevolg dat het omzettingsproces heel wat complexer wordt en het extra problemen en kosten

meebrengt. De baten daarentegen zijn voor de samenleving. Dit zou volgens mij een subsidie voor het gebruik van vervuilde biomassa rechtvaardigen.

3.5 Andere gebieden voor verder onderzoek

Heel wat aspecten van fytoremediatie vereisen verder onderzoek om lacunes in de kennis op te vangen. Dit blijkt ook uit de beperkte toepassing van technieken zoals fytoextractie. Andere factoren die de beperkte toepassing van dit soort "Gentle Remediation Techniques" (GRT) mee veroorzaken zijn volgens Adriaensen et al. (2008) **socio-economische factoren** en **technische factoren**.

3.5.1 Socio-economische factoren

Betreffende de socio-economische oorzaken vermelden Adriaensen et al. (2008) een algemene gebrekkige kennis op gebied van "Decision Support Tools" (DSTs) als de hoofdoorzaak van de beperkte toepassing. Meer specifiek is er een gebrek aan kennis over de DSTs die kunnen helpen bij de selectie en toepassing van GRT zoals fytoextractie en fytostabilisatie. Om aan dit gebrek aan kennis tegemoet te komen is in 2010 de tweede fase van het Rejuvenate project gestart.

De bedoeling van dit project is om concrete aanpakken uit te werken voor het gebruik van verontreinigde bodems voor de productie van biobrandstoffen. De doelstelling van Rejuvenate 2 is dus om op basis van concrete veldexperimenten het in Rejuvenate 1 ontwikkelde DST te testen. Op deze manier wil men tot een gedetailleerde tool komen die gebruikt kan worden voor verschillende types verontreinigde bodems. (Vanheusden, 2011)

Volgens een bevraging in het kader van het Sumatecs project zouden de volgende acties ervoor kunnen zorgen dat socio-economische redenen de toepassing van GRT niet of minder afremmen (Adriaensen et al., 2008):

- meer communicatie en informatieverschaffing over de technieken,
- beleidsmakers overtuigen van de haalbaarheid en voordelen van GRO,
- succesvol pilootprojecten uitvoeren om de performantie van de methodes aan te tonen,
- zorgen voor financiële steun.

Deze bevraging vermeldt verder ook dat het noodzakelijke toezicht voor een lange periode – kenmerkend voor fyto-remediatietechnieken – voor afschrikking kunnen zorgen. Klassieke saneringstechnieken zouden dan heel wat aantrekkelijker kunnen lijken aangezien men daarbij, na de verwijdering van de grond en de dumping elders, zich nergens meer zorgen over hoeft te maken (“dump and forget”).

De lange remediatieperiode die remediatietechnieken zoals fyto-remediatie kenmerkt, brengt nog andere problemen mee die de toepassing van dergelijke technieken verder afremmen en bemoeilijken. Het is meer bepaald moeilijk om een evaluatie van de impact van fyto-extractie op de lange termijn te maken. Ook het opstellen van economische evaluaties met een langetermijnperspectief is niet vanzelfsprekend. (Adriaensen et al., 2008)

Deze moeilijkheden worden buiten het langetermijnaspect gerekend, veroorzaakt door het feit dat men de voordelen van fyto-remediatie meestal enkel in kwalitatieve termen kan uitdrukken. De reden hiervoor is dat het technisch en wetenschappelijk zeer moeilijk is om de waarde van de baten van een GRO (zoals fyto-extractie) te bepalen. Bovendien zijn de voordelen niet altijd zichtbaar.

Het gevolg is dat er een gebrek is in kennis wat de (kwantitatieve) baten en dus ook de waarde van een GRT betreft. De opmerking van Brown et al. (2005) dat de effectiviteit van fytostabilisatie nog niet naar behoren gekwantificeerd is, is hier een goed voorbeeld van.

Volgens Adriaensen et al. (2008) is er ook een gebrek aan een degelijke risicogebaseerde aanpak en risico-evaluatie. Dit kan ervoor zorgen dat de risico's voor de gezondheid van de mens overschat worden.

Een laatste gebrek waar Adriaensen et al. op wijzen is onvoldoende ondersteuning en begeleiding doorheen het hele toepassingsproces van

fyto-remediatietechnieken. Bestaande DSTs zijn te algemeen, bevatten onvoldoende details over het bereik van GRO, of ze zijn juist te ingewikkeld voor een wijdverspreid gebruik door beleidsmakers. Deze problemen zijn echter wel door het Rejuvate project (fase 1) aangepakt. Bardos et al. (2010) hebben in dit project een DST uitgewerkt, rekening houdend met de bovenstaande geschetste tekortkomingen van bestaande DSTs. Toch is het belangrijk erop te wijzen dat een DST onder invloed van wijzigende omstandigheden (wetenschappelijke ontwikkelingen, technologische vooruitgang, beleidswijzigingen,...) snel niet meer geschikt en ontoereikend kan worden.

3.5.2 Technische factoren

Op technisch gebied zou er meer onderzoek en ontwikkeling naar het vergroten van de toepasbaarheid van de fyto-remediatietechnieken verricht moeten worden. De beperkte toepasbaarheid op gronden met middelmatige vervuiling zorgt ervoor dat de meeste gronden die door GRT gesaneerd worden niet eens in aanmerking zouden komen voor een conventionele saneringstechniek (Adriaensen et al., 2008). Indien men het toepassingsgebied van fyto-remediatietechnieken wil vergroten moet men er dus voor zorgen dat zwaarder verontreinigde gronden ook door GRT aangepakt kunnen worden.

3.6 Conclusie en perspectieven

Een groot aantal fyto-technologieën bevinden zich in het demonstratiestadium, en sommige technologieën worden reeds in de praktijk toegepast (Adriaensen et al., 2008; Vangronsveld et al., 2009; Mench et al., 2010).

Aangezien elk bodemverontreiniginggeval verschillend is, kunnen niet alle problemen door middel van fyto-technologieën aangepakt worden. Ook de manier waarop men met bodemverontreiniging omgaat is voor elk geval verschillend. Men moet voor elk geval apart afwegen wat de relevante factoren zijn, hoe het gesteld is met de sociale acceptatie, en welke financiële steunmaatregelen men voor in aanmerking komt.

Het op grote schaal toepassen van fytotechnologieën wordt dikwijls belemmerd door de beperkingen van een plant. Om dit aan te pakken stellen Mench et al. (2010) voor om multidisciplinaire onderzoeksteams en doeltreffende samenwerkingen tussen stakeholders te realiseren. Hierdoor zou onderzocht kunnen worden wat de lange termijn ecologische, ecotoxicologische, sociale en financiële effectiviteit van verschillende fytotechnologieën inhouden. Het onderzoeken van deze lange termijn effecten biedt ook de mogelijkheid om de duurzaamheid van verschillende fyto-remediatietechnieken na te gaan.

De kloof tussen onderzoek naar fyto-remediatie, en de toepassing van een fyto-remediatieoptie is er deels door een gebrek aan kennis van de belanghebbenden (stakeholders) over het potentieel en de toepassing van fytotechnologieën. Deels ook door een gebrek aan kennis over decision support tools die ter ondersteuning gebruikt kunnen worden (Mench et al., 2010).

Andere hindernissen volgens Mench et al. (2010) zijn onzekerheden in verband met de lange termijn effectiviteit en de moeilijkheden die men ondervindt bij het overbrengen van interessante eigenschappen naar planten die veel biomassa voortbrengen.

Zoals in het begin van de conclusievorming reeds vermeld, vereist elk geval van bodemverontreiniging een verschillende aanpak. Dit geldt nog meer wanneer we bijvoorbeeld een fytotechnologie die in een bepaald land ontwikkeld is, gaan toepassen in een ander land. De technologie zou dan door het verschil in geo(hydro)logische omstandigheden niet zo efficiënt kunnen zijn.

Enkele nieuwe grenzen van fytotechnologieën die door de auteurs van "Successes and limitations of phytotechnologies at field scale" (Mench et al., 2010) geïdentificeerd zijn, zijn de volgende:

- biomassa energie en financiële opbrengsten,
- biodiversiteit en ecologische gevolgen,
- genetische isolatie en de overdracht van planteigenschappen,
- koolstofvastlegging,
- beoordeling en modellering van de effectiviteit en duurzaamheid van fyto-remediatieopties,
- bodem en water multi-functionaliteit.

Zoals we onder andere uit de bespreking hierboven kunnen afleiden, is er reeds veel technisch onderzoek gedaan. Dit technisch onderzoek is noodzakelijk en het is belangrijk dat dit voortgezet wordt. Maar tegelijkertijd is het moment aangebroken om de verworven technisch kennis in de praktijk toe te passen. Wat fyto-remediatie betreft is er nood aan economische incentives om eraan te beginnen. Toegepast in de praktijk is er dus nood aan subsidies om actie te ondernemen in de Kempen bijvoorbeeld.

Wat de biomassa en de conversietechnieken betreft, zijn er na het bestuderen van de literatuur (*Hoofdstuk 1*) op dit ogenblik twee haalbare, beloftevolle conversietechnieken. Deze zijn vergisting van energimaïs en (flash-)pyrolyse van KOH. Vandaar ook de verdere focus op deze technieken vanaf *Hoofdstuk 1* en besprekingen ervan in respectievelijk 3.4.1 en 3.4.2.

Indien we een geval van bodemverontreiniging met zware metalen willen aanpakken (ervan uitgaande dat de economische incentive er is) zijn er volgens mij momenteel twee scenario's mogelijk. Hieronder volgt een toelichting per techniek toegepast op de Belgische (en Nederlandse) Kempen.

De eerste optie is dat we landbouwers en andere investeerders aanzetten om op landbouwgrond en andere vervuilde gronden energimaïs te telen. In de Kempen heeft dit een redelijke kans tot slagen omdat de overstap naar energimaïs voor landbouwers niet zo drastisch is. Ze kennen maïs als voedergras, bezitten de kennis wat de teelt betreft en zijn er bijgevolg niet wantrouwig over. Energiemaïs saneert niet zo goed en eigenlijk zou men in dit scenario meer aan fyto-management doen dan aan fyto-remediatie. Maar in dit geval is een landbouwer zeker dat hij over een alternatief inkomen kan beschikken. Voor een vervuilde bodem die geen landbouwgrond is, is het ook van belang dat er een economische incentive komt om actie te ondernemen. De volgende stap in het proces is dat men de economische problemen rond vergisting van energimaïs aanpakt (*zie 3.4.1*). Een vorm van subsidie voor het gebruik van oogstresten van maïs of een subsidie om de schommelende prijs voor glycerine op te vangen, werd door Bruno Mattheeuws (Organic Waste Systems) voorgesteld. Kortom, er is momenteel steun nodig voor het toepassen van vergisting van energimaïs. Het is economisch (nog) niet rendabel en heeft bijgevolg steun nodig indien we het in de praktijk willen toepassen. Het lijkt me aangewezen om dit te doen

aangezien de toepassing in de praktijk de enige manier is om vast te stellen wat de knelpunten zijn. Het is overigens ook een goede manier om belanghebbenden en beleidsmakers te overtuigen (onzekerheden weg te nemen).

De tweede optie is het aanplanten van KOH (wilg) om de verontreinigde bodem in de Kempen te saneren. Een eerste probleem hierbij is dat de schaal in de Kempen hiervoor eigenlijk te klein is (zie 3.4.2). Indien we de Belgische en Nederlandse Kempen samennemen zouden we wel aan 6000 hectare komen die nodig zijn opdat (flash-)pyrolyse van KOH rendabel wordt. Bijkomend uitdaging in dit scenario is dat het moeilijk zal zijn om een landbouwer te overtuigen om KOH zoals wilg te telen omwille van de redenen besproken in 3.4.2 (onzekerheid, gebrek aan vertrouwen). Het verschil met energiemais is echter wel dat wilg veel beter saneert. Indien men een bodem daadwerkelijk wil saneren, zal er een economische incentive moeten zijn om dit te doen (zeker voor een landbouwer). De tweede stap in het proces is hier de verkregen biomassa (KOH) omzetten in pyrolyse olie. De belangrijkste problemen hiervan zijn ook besproken in 3.4.2 en hebben te maken met de grote economische onzekerheid die er met het proces gepaard gaat. Een gedeelte van deze economische onzekerheid zou weggenomen kunnen worden door een subsidie te geven voor het gebruik van vervuilde biomassa (in dit geval wilg aangerijkt met zware metalen). Zoals besproken in 3.4.2 zou een subsidie zelfs gerechtvaardigd zijn aangezien door dit proces zware metalen uit de bodem verwijderd worden. Het is een baat voor de samenleving aangezien het de mens en het milieu ten goede komt (ecologische-, gezondheids- en duurzaamheidsvoordelen). Op de korte termijn is er voornamelijk nood aan de ondersteuning van demonstratieprojecten (door onder andere de overheid). Door de verplaatsing van het academisch gebied naar de praktijk aan te moedigen kan men eventuele problemen die er zijn vaststellen. Ook in dit scenario is het de beste manier om de publieke acceptatie te vergroten en bij de belanghebbende en beleidsmakers de onzekerheid weg te nemen.

Lijst van geraadpleegde werken

Adams N., Carroll D., Madalinski K., Rock S., Wilson T., Pivetz B., (2000), *Introduction to phytoremediation*, National Risk Management Research Laboratory. <http://clu-in.org/download/remed/introphyto.pdf>

Adriaensen K., et al., (2008), *Sustainable management of trace element contaminated soils –Development of a decision tool system and its evaluation for practical application*, Snowman sumatecs final research report, p.74- 282.

Alkorta I., Garbisu C., (2001), *Phytoextraction: a cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment*, Bioresource Technology 77, p. 229-236.

Alkorta I., Hernández-Allica J., Becerril J.M., Amezaga I., Albizu I., Garbisu C., (2004), *Recent findings on the phytoremediation of soils contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc, cadmium, lead, and arsenic*, Reviews in Environmental Science and Bio/Technology 3, p. 71–90.

Angelova V., Ivanova R., Ivanov K., (2005), *Heavy metal accumulation and distribution in oil crops*, Communications in Soil Science, Plant Analysis, Volume 35, No. 17–18, p. 2551–2566.

Ashford N. A., Ayers C. and Stone R.F., (1985), *Using Regulation to Change the Market for Innovation*, Harvard Environmental Law Review 9, p. 419–466.

Ashford N.A., Hall R.P., (2011), *The Importance of Regulation-Induced Innovation for Sustainable Development*. Sustainability 3, p. 270-292.

Bardos R.P., Andersson-Sköld Y., Keuning S., Polland M., Suer P., Track T., (2010), *Crop Based Systems for Sustainable Risk Based Land Management for Economically Marginal Degraded Land*, Snowman rejuvenate research report, p. 34.

Baxter L., (2005), *Biomass-coal co-combustion: opportunity for affordable renewable energy*. Fuel 84, p. 1295-1302 (www.sciencedirect.com).

Biorenew Consortium, (2002), *Bioremediation and economic renewal of industrially degraded land by biomass fuel crops*. Summary report. European Commission Environment Research Programme Contract No. ENV4-CT97-0610. <http://publications.environment-agency.gov.uk/pdf/SP5-037-TR2-e-p.pdf>

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

Brown S., Sprenger M., Maxemchuk A., Compton H., (2005), *Ecosystem function in alluvial tailings after biosolids and lime addition*. Journal Environmental Quality 34, p.139-148.

Bergh J.C.J.M. van den, Faber A., Idenburg A.M. and Oosterhuis F.H., (2006), *Survival of the greenest: evolutionary economics and policies for energy innovation*. Journal of Integrative Environmental Sciences, 3: 1, p. 57-71.

Ceunen S., (2008), *Economische haalbaarheid van verbranding voor de omzetting van biomassa in energie*. Universiteit Hasselt. Document server.

Chen Y., Cheng J. J., Creamer K.S., (2008), *Inhibition of anaerobic digestion process: A review*. Bioresource Technology 99, p. 44-64.

Claeys B., (2009), *Steenkool kan niet zonder groene certificaten*, Bond Beter Leefmilieu, p. 1-15.

De Clerq S., (2009), *Een analyse van de Belgische biodieselmkt. Huidige knelpunten en toekomstige mogelijkheden*. Universiteit Hasselt. Document server.

De Ruyck J., Delattin F., Bram S., (2007), *Co-utilization of biomass and natural gas in combined cycles through primary steam reforming of the natural gas*. Energy 32, p. 371-377.

De S., en Assadi M., (2009), *Impact of cofiring biomass with coal in power plants –A techno-economic assessment*. Biomass and bioenergy, p. 283-293.

Driesen D.M., (2003), *The Economic Dynamics of Environmental Law: cost-benefit analyses, emission trading, and priority-setting*. Cambridge, Massachusetts, MIT Press.

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

Faes B., (2011), *Het gebruik van pyrolyse olie in warmtekrachtkoppeling, een haalbare kaart in de Kempen? Drie gevalstudies: zwembad, ziekenhuis en woon- en zorgcentrum*. Universiteit Hasselt. Document server.

Foxon T., Kemp R. *Innovation impacts of environmental policies*. In: Marinova D., editor, (2004), *International handbook on environment and technology management*.

Foxon T., Pearson P., (2008), *Overcoming barriers to innovation and diffusion of cleaner technologies: some features of a sustainable innovation policy regime*. Journal of Cleaner Production 16S1 , p. 148-161.

García Ciudad, V., Mathijs, E., Nevens, F. en Reheul, D., (2003), *Energiegewassen in de Vlaamse landbouwsector*. Steunpunt Duurzame Landbouw, nr. 1, p. 71.

Ghosh M., Singh S.P., (2005), *A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts*, Applied ecology and environmental research 3 (1), p. 1-18.

Hanegraaf M.C., Biewinga E.E. en van der Bijl G., (1998), *Assesing the ecological and economic sustainability of energy crops*. Biomass and Bioenergy Vol. 15, p. 345-355.

Hansson J., Berndes G., Johnsson F., Kjärstad J., (2009), *Co-firing biomass with coal for electricity generation –an assessment of the potential in EU 27*. Energy Policy 37, p. 1444-1455.

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

Hughes E., (2000), *Biomass cofiring: economics, policy and opportunities*, Biomass and bioenergy 19, p. 457-465.

Jaffe A. B., Newell R. G. and Stavins R. N., (2002), *Environmental Policy and Technological Change*. Environmental and Resource Economics 22, p. 41–69.

Kenens P. J., (2010), *Dubbele teelt voor meer biogasopbrengst*. Katholieke Hogeschool Kempen.

<http://www.kuleuven.be/cwte/viewpic.php?LAN=N&TABLE=DOCS&ID=353>

Koopmans G. F., Römkens P. F. A. M., Song J., Temminghoff E. J. M., Japenga J., (2007), *Predicting the phytoextraction duration to remediate heavy metal contaminated soils*. Springer Science en Business media, nr. 181, p. 355-371.

Kuppens T., Cornelissen T., Carleer R., Yperman J., Schreurs S., Jans M., Thewys T., (2010), *Economic assessment of flash co-pyrolysis of short rotation coppice and biopolymer waste streams*. Journal of environmental management, nr. 91, p. 2736-2747.

Laureysens I., en R. Ceulemans, *"Energieplantage boom"*, Studiedag Groene Energie, 21 mei 2002.

Lewandowski I., Schmidt U., Londo M., Faaij A., (2006), *The economic value of the phytoremediation function –Assessed by the example of cadmium remediation by willow*, Agricultural Systems 89, p. 68-89.

Licht L. A., Isebrands J.G., (2005), *Linking phytoremediated pollutant removal to biomass economic opportunities*, Biomass and Bioenergy, nr. 28, p. 203-218.

McKendry, P., (2002), *Energy production from biomass (part 1): overview of biomass*, Bioresource Technology, 83:1, pp. 37-46.

McKendry, P., (2002) *Energy production from biomass (part 2): conversion technologies*, Bioresource Technology, 83:1, pp. 47-54.

Meeus B., Vanacker K., Pante J., Demolder L., Maes G., (2010), *Voortgangsrapport 2010: anaerobe vergisting in Vlaanderen*. Biogas-E vzw.
<http://www.platformvergisting.be/warmtekracht>

Meiresonne L., (2006), *Kansen, mogelijkheden en toekomst voor de populierenteelt in Vlaanderen. Korte-omloophout voor energieproductie: Plaats in het Vlaams Bosbeleid*. In opdracht van Bos & Groen. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Geraardsbergen.

Mench M., Lepp N., Bert V., Schwitzguébel J.P., Gawronski S.W., Schröder P., Vangronsveld J., (2010), *Successes and limitations of phytotechnologies at field scale: outcomes, assessment and outlook from COST Action 859. J. Soils Sediments*, 10, p. 1039-1070.

Mirck J., Isebrands J.G., Verwijst T., Ledin S., (2005), *Development of short-rotation willow coppice systems for environmental purposes in Sweden*, Biomass and Bioenergy, nr. 28, p. 219-228.

Murugesan A., Umarani C., Subramanian R., Nedunchezian N., (2009), *Biodiesel as an alternative fuel for diesel engines -A review*. Science Direct. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 p. 653-662 (www.sciencedirect.com).

Murphy J., Gouldson A., (2000), *Environmental policy and industrial innovation: integrating environment and economy through ecological modernization*. Geoforum 31, p. 33-44.

Norberg-Bohm V., (1999), *Stimulating 'green' technological innovation: An analysis of alternative policy mechanisms*. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Policy Sciences 32, p. 13-38.

Ooms K., (2006), *De introductie van biobrandstoffen voor transport binnen het Vlaams economisch kader*. Universiteit Hasselt. Document server.

Oslaj M., Mursec B., Vindis P., (2010), *Biogas production from maize hybrids*, *Biomass and Bioenergy*, nr. 34, p. 1538-1548.

Robinson B., Fernández J.-E., Madejón P., Marañón T, Murillo J. M., Green S., Clothier B., (2003), *Phytoextraction: an assessment of biogeochemical and economic viability*, *Plant and Soil*, nr. 249, p. 117-125.

Robinson B., Schulin R., Nowack B., Roulier S., Menon M., Clothier B., Green S., Mills T., (2006), *Phytoremediation for the management of metal flux in contaminated sites*, *The scientific WSL journal: Forest Snow and landscape research*, nr. 80, p. 221-234.

Ruttens A., Vangronsveld J., Meiresonne L., Van Slycken S., Meers E., Tack F., Geysen D., Cardon M., (2008), *Sustainable use of metal contaminated agricultural soils: Cultivation of energy crops as an alternative for classical agriculture*, *OVAM*, p. 1-59.

Sartorius C., (2006), *Second-order sustainability — conditions for the development of sustainable innovations in a dynamic environment*. *Ecological Economics* 58, p. 268-286.

Schlusser J., (2007), *Analyse van alternatieve brandstoffen en aandrijfvormen voor personenvervoer met het oog op de gestelde Kyoto-normen*. Universiteit Hasselt. Document server.

Smits M., (2009), *Strategiën met betrekking tot de procesoptimalisatie van anaerobe vergisting*. Universiteit Gent.

http://lib.ugent.be/fulltxt/RUG01/001/341/328/RUG01001341328_2010_0001_A_C.pdf

Stals M., Thijssen E., Vangronsveld J., Carleer R., Schreurs S., Yperman J., (2010), *Flash pyrolysis of heavy metal contaminated biomass from phytoremediation: Influence of temperature, entrained flow and wood/leaves blended pyrolysis on the behaviour of heavy metals*. Journal of Analytical Applied Pyrolysis 87, p. 1-7.

Taylor M.R., Rubin E.S. and Hounshell D.A., (2005), *Regulation as the Mother of Innovation: The Case of SO₂ Control*. Law & Policy, 27: 2, p. 350-378.

Tews K., Busch P.O. and Jörgens H., (2003), *The diffusion of new environmental policy instruments*. Free University of Berlin, Germany, *European Journal of Political Research* 42, p. 569-600.

Thewys T., Kuppens T., (2008), *Economics of Willow Pyrolysis After Phytoextraction*. International Journal of Phytoremediation, 10: 6, p. 561-583.

Thewys T., Witters N., Ruttens A., Van Slycken S., Meers E., Tack F.M.G., Vangronsveld J., (2010a), *Economic Viability of Phytoremediation of an Agricultural Area Using Energy Maize. Part I: Impact on the Farmer's Income*, International Journal of Phytoremediation, 12: 7, p. 650-662.

Thewys T., Witters N., Meers E. and Vangronsveld, J., (2010b), *Economic Viability of Phytoremediation of an Cadmium Contaminated Agricultural Area Using Energy Maize. Part II: Economics of Anaerobic Digestion of Metal Contaminated Maize in Belgium*, International Journal of Phytoremediation, 12: 7 p. 663-679.

Thewys, T., Witters, N., Van Slycken, S., Ruttens, A., Adriaensen, K., Meers, E., Meiresonne, L., Tack, F.M.G., Laes, E., Vangronsveld, J., (2009), Short Rotation Coppice for phytoremediation of a Cd-contaminated agricultural area: A sustainability assessment, *BioEnergy Research*, 2, 3, p. 144-152.

Van Ginneken L., Meers E., Guisson R., Ruttens A., Elst K., Tack F.M.G., Vangronsveld J., Diels L., Dejonghe W., (2007), *Phytoremediation for heavy metal contaminated soils combines with bioenergy production*, Journal of environmental Engineering and landscape management, nr. 4, p. 227-236.

Vanheusden B., Hoppenbrouwers M., Witters N., Vangronsveld J., Thewys T., Van Passel S., (2011), *Legal and economic aspects of crops selection for phytoremediation purposes and the production of biofuel*, Universiteit Hasselt, Centrum voor Milieukunde.

Vanheusden B., Witters N., *Economic aspects of crops selection for phytoremediation purposes and the production of biofuel. Part 1: economic model based on literature review*. Report November 2010, p. 1-26.

Van Nevel L., Mertens J., Oorts K., Verheyen K., (2007), *Phytoextraction of metals from soils: How far from practice?*, Environmental Pollution, nr.150, p. 34-40.

Van Slycken S., Witters N., Meers E., Peene A. E., Michels E., Adriaensen K., Ruttens A., Vangronsveld J., Du Laing G., Thewys T. & Tack F.M.G., (2011), *Biomethanisation of energy maize (Zea mays L.) obtained from phytoattenuation of metals on moderately contaminated soils in the Campine region (Belgium)*, *Environmental Pollution*, to be submitted.

Vassilev A., Schwitzguébel, Thewys T., van der Lelie D., Vangronsveld J., (2004), *The Use of Plants for Remediation of Metal-Contaminated Soils*, The Scientific World Journal 4, p. 9-34.

Vercampt S., (2006), *Warmte-kracht koppeling en trigeneratie*. Universiteit Hasselt. Document server.

Vervaeke P., Tack F.M.G., Navez F., Martin J., Verloo M.G., Lust N., (2006), *Fate of heavy metals during fixed bed downdraft gasification of willow wood harvested from contaminated sites*, Biomass and Bioenergy, nr. 30, p. 58-65.

Vidali M., (2001), *Bioremediation. An overview*, Pure and Applied Chemistry, nr. 7, p. 1163-1172.

Vlaamse Overheid, (2010), *Verhoogde investeringsaftrek voor energiebesparende investeringen aanslagjaar 2011*, Vlaams Energieagentschap, p. 1-22.

Vlaamse Overheid, (2011), *Verhoogde investeringsaftrek voor energiebesparende investeringen aanslagjaar 2012*, Vlaams Energieagentschap, p. 1-24.

Vlaams Parlement, (2011), *Afvalstoffendecreet, Decreet van 2 juli 1981 betreffende de voorkoming en het beheer van afvalstoffen*, p. 1-21.

Vlaamse Regering, (2011), VLAREA, *Besluit van de Vlaamse regering van 5 december 2003 tot vaststelling van het Vlaams reglement inzake afvalvoorkoming en -beheer*, p. 1-131.

Voort M.P.J. van der, Timmer R.D., Geel W. van, Runia W., Corré W.J., (2008), *Economie van energiegewassen*, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Wins C., (2008), *Fytoremediatie in de Kempen*. Universiteit Hasselt. Document Server.

Witters N., (2011), *Phytoremediation: an alternative remediation technology and a sustainable marginal land management option*, doctoraatsstudie, Universiteit Hasselt.

Vangronsveld J., Herzig R., Weyens N., Boulet J., Adriaensen K., Ruttens A., Thewys T., Vassilev A., Meers E., Nehnevajova E., van der Lelie D., Mench M., (2009), *Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field*, Environmental Scientific Pollution Research 16, p. 765-794.

Van Nevel L., Mertens J., Oorts K., Verheyen K., (2007), *Phytoextraction of metals from soils: How far from practice?*, Environmental Pollution 150, p. 34-40.

Lijst van geraadpleegde sites

<http://www.bio-energy.nu/index.htm>

http://www.cogenvlaanderen.be/subpage.php?subpage_id=16 (Cogen, 2011)

<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:123:0042:0042:NL:PDF> (Europees Parlement en Raad, 2003)

http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg.pl?language=nl&la=N&cn=2005030431&table_name=wet (Volksgezondheid: veiligheid van de voedselketen en leefmilieu, 2005)

http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg.pl?language=nl&la=N&cn=2006061032&table_name=wet (Financiën, 2006)

<http://navigator.emis.vito.be/milnavconsult/plainWettekstServlet?wettekstId=32150&lang=nl> (Wetgeving leefmilieu, natuur en energie, 2009)

<http://codex.vandenbroele.be/ALLESNL/wet/detailframe.vwp?WETID=-1&SID=1> (Energiedecreet en Energiebesluit 2010)

<http://www.vreg.be/systeem-warmtekrachtcertificaten> (VREG, 2011)

<http://www.energiesparen.be/node/920>

[http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/doc/wkk_basishandboekco
gen.pdf](http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/doc/wkk_basishandboekco
gen.pdf)

http://ae.vlaanderen.be/html_agentschap_ondernemen/html_nb_dec10/nb_dec10_ecologiepremie.html

http://www.vlaanderen.be/servlet/Satellite?c=Solution_C&cid=1247814536287&pagename=Infolijn%2FView

<http://www.platformvergisting.be/nl/investeringssteun>

<http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/doc/demo.doc>

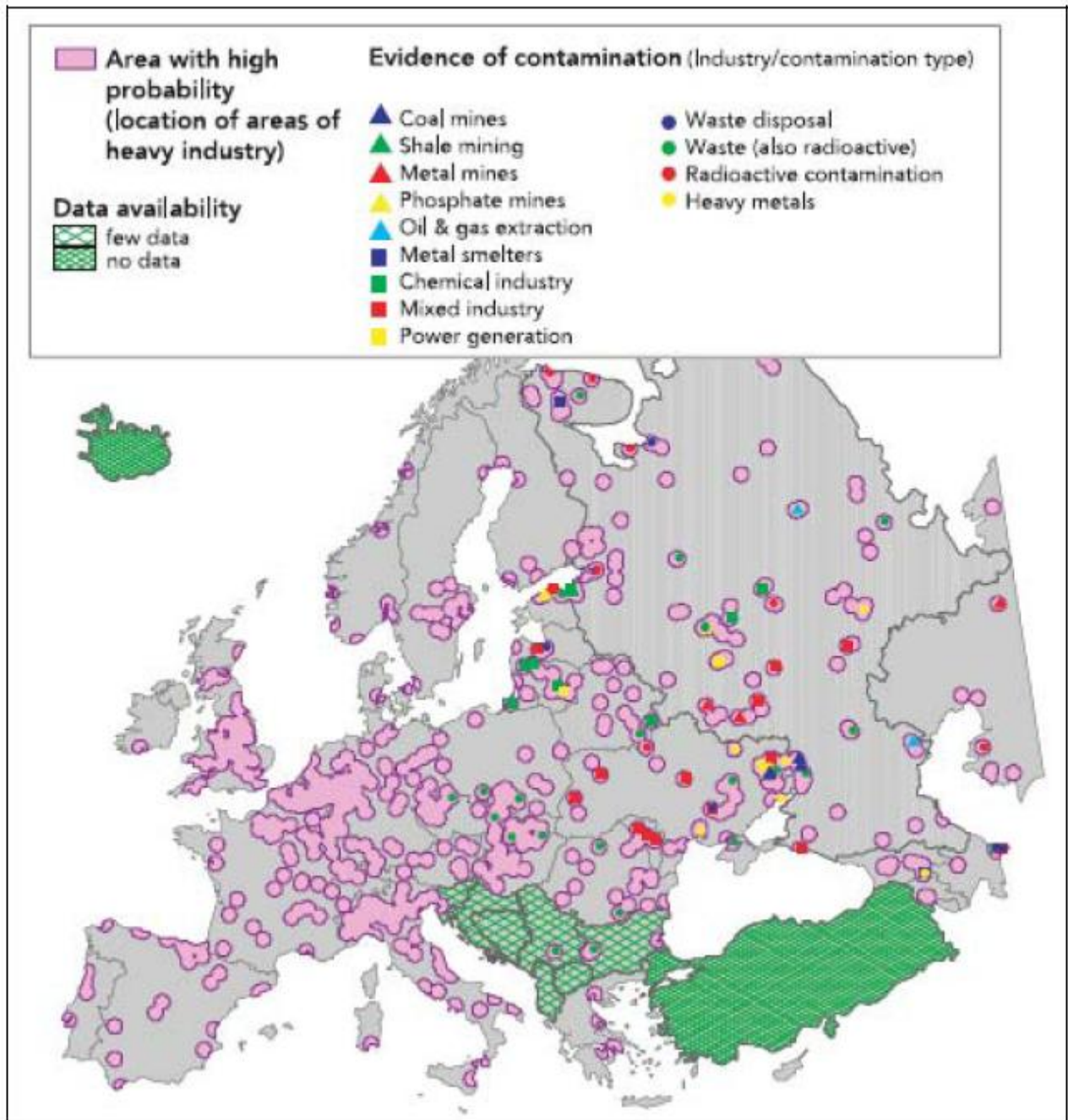
<http://lv.vlaanderen.be/nlapps/docs/default.asp?id=1838#doel>

<http://www.energiesparen.be/verhoogdeinvesteringsaftrek>

<http://www.energiesparen.be/book/export/html/329>

Bijlagen

Bijlage 1: Mogelijke probleemgebieden met hoge lokale contaminatie in Europa



Bron: Van Ginneken et al., (2007), Phytoremediation for heavy metal contaminated soils combines with bioenergy production.

Auteursrechtelijke overeenkomst

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

Evaluatie van het economisch onderzoek en het beleid inzake fyto-remediatie en biomassaconversie

Richting: master in de toegepaste economische wetenschappen-beleidsmanagement

Jaar: 2012

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

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

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

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

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

Voor akkoord,

Ciarlariello, Mariano

Datum: **1/06/2012**