

Grotere mogelijkheden voor kleinschalige biomassavergisting



Auteur: Albert Herman Bulsink Bsc.

Begeleider: Prof Dr. H. Folmer
Tweede beoordelaar: Prof Dr. P.H. Pellenbarg
Afstudeer richting: Economische Geografie
Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen
Rijksuniversiteit Groningen

Augustus 2007

Voorwoord

Door duidelijk zichtbaar wordende problemen als klimaatsverandering, is het besef ontstaan dat de energievoorziening in Nederland moet veranderen. De laatste jaren is het aandeel duurzame energie in energieopwekking aanzienlijk gestegen. De weg naar een volledig duurzame energiehuishouding is echter nog lang. Eén van de duurzame energiebronnen is biomassa. Vergisting van energiegewassen kan in Nederland vooral belangrijk worden als de productie van energie en de teelt van energiegewassen op het optimale schaalniveau wordt gedaan.

Voor u ligt het onderzoek uitgevoerd ter afronding van de master economische geografie. Deze masterthesis is het product van ruim een half jaar onderzoek in bibliotheken, op internet en in de praktijk. Ik heb geprobeerd om de grenzen van het huidige economisch geografisch onderzoek binnen de faculteit ruimtelijke wetenschappen te verruimen.

Het college “corperate greenhouse” gegeven door Yda Schreuder, docent aan de University of Delaware (VS), heeft mijn interesse gewekt in de energiesector. De faculteit probeert zich op dit terrein verder te ontwikkelen. Mede door de aanstelling van nieuwe doctoren is er meer kennis op energie gebied. Ik hoop dat er in de toekomst verder onderzoek gedaan zal worden naar energie, en duurzame energie in het bijzonder.

Hierbij wil ik mijn begeleider de heer H. Folmer bedanken voor zijn inzet. De snelheid waarmee hij reageerde op e-mails en ingezonden stukken was erg plezierig. Daarnaast waardeer ik de bijdrage van mijn tweede begeleider de heer P.H. Pellenbarg.

De familie Kloosterman wil ik bedanken voor het interessante interview en de rondleiding op hun maïsvergistingscentrale. Daarnaast wil ik iedereen in mijn vriendenkring bedanken voor hun interesse, geduld en ondersteuning. Het samen studeren heb ik als bijzonder aangenaam en motiverend ervaren. In het bijzonder wil ik mijn ouders bedanken voor de ondersteuning tijdens mijn studietijd. Zonder hun steun had ik vermoedelijk mijn studieloopbaan niet met dit resultaat kunnen afronden.

Bert Bulsink.

Groningen, augustus 2007.

Samenvatting

Er zijn een aantal problemen die veroorzaakt worden door de huidige fossiele energieproductie in de wereld. Het gaat hierbij om het broeikaseffect, klimaatsverandering en de fossiele energie problematiek.

Broeikaseffect en klimaatsverandering

De studies van het IPCC hebben uitgewezen dat het versterkte broeikaseffect wordt veroorzaakt door de uitstoot van CO₂ uit fossiele brandstoffen. Het versterkte broeikaseffect betekent een stijging van de gemiddelde temperatuurstijging op aarde. Dit heeft tot gevolg dat het klimaat verandert. Deze veranderingen zijn: het veranderen van weerpatronen en de verplaatsing van vegetatiezones. Daarnaast is de verwachting dat de zeespiegel zal stijgen en de golfstroom verandert. In de meeste gevallen hebben deze veranderingen negatieve gevolgen voor mensen, ook voor Nederland. Op klimaatsverandering wordt al ingespeeld door de Nederlandse overheden. Ontwikkelingslanden beschikken vaak niet over middelen om de gevolgen van klimaatsverandering in te perken. Voor deze landen zijn de gevolgen dan ook het grootst.

Fossiele energie problematiek

De huidige energieproductie in de wereld, is voor het grootste deel gebaseerd op fossiele brandstoffen. Het gebruik van deze brandstoffen zal in deze eeuw moeten afnemen, omdat de voorraden kleiner worden. Daarnaast zorgt een ongelijke geografische verdeling van de voorraden fossiele brandstoffen voor machtsverschillen, en daardoor voor conflicten tussen landen.

Oplossingen

Er zijn een aantal opties om het versterkte broeikaseffect tegen te gaan:

- Efficiënter omgaan met energie uit fossiele brandstoffen of efficiënter energie opwekken uit fossiele brandstoffen.
- CO₂ ondergronds opslaan.
- Fossiele brandstoffen vervangen door CO₂-vrije alternatieven.

Deze laatste optie lost tevens de fossiele energieproblematiek op. Het gaat hierbij om duurzame energiebronnen. Dit betekent dat er energie wordt opgewekt uit bronnen die op korte termijn aangevuld kunnen worden en minder vervuiling veroorzaken.

Duurzame energie

De opkomst van duurzame energie is al zichtbaar in Nederland. Bij de rijksoverheid spreekt men van '*de energietransitie*'. Tot nu toe is de ontwikkeling van deze duurzame energiebronnen nog zeer beperkt. De bekendste duurzame energiebronnen zijn wind, zon en biomassa. De ontwikkeling van duurzame energiebronnen is in de meeste gevallen nog lang niet voltooid.

De Nederlandse duurzame energieproductie is in vergelijking met andere Europese landen laag. De rijksoverheid probeert de energietransitie in Nederland te stimuleren.

Biomassa

Energie uit biomassa kan een belangrijke rol spelen in de duurzame energieproductie. Er bestaan verschillende processen om energie op te wekken, dit zijn: verbranding, vergassing en vergisting. In de meeste onderzoeken wordt er vanuit gegaan dat de verbranding of vergassing van droge

biomassa de beste manier is om energie op te wekken in Nederland. De nadruk ligt hierbij op import van droge biomassa, omdat in Nederland te weinig droge biomassa, zoals hout, geproduceerd kan worden. Natte biomassa kan in Nederland wel goed geproduceerd worden. De landbouwsector is goed in de teelt van gewassen zoals maïs. In Nederland kan grond die braak gelegd wordt om de voedselproductie te verminderen gebruikt worden voor de teelt van natte biomassa. De hoeveelheid grond die in 2010 beschikbaar is door braak legging is ongeveer 3800 km². Dit betekent een productie tussen 26 en 30 miljoen ton energiemais per jaar. Deze productie zal naar verwachting niet gehaald worden omdat er geconcurrereerd moet worden met de teelt van andere non-food/non-feed gewassen.

Biomassavergisting

Biomassavergisting is het door bacteriën omzetten van natte biomassa in onder andere methaangas. Methaangas kan, net als aardgas, verbrand worden om energie op te wekken.

Biomassavergisting is een interessante manier van energieopwekking omdat het een opzet van een geheel nieuwe productie keten vergt. In de jaren 80 zijn de eerste biomassavergistingscentrales (verder bvc genoemd) opgestart maar door technische problemen waren deze niet rendabel. Door het oplossen van deze technische problemen is er weer interesse in biomassavergisting.

In 2006 was het aandeel biomassavergisting nog maar 0,3 % van totale energieproductie. In Duitsland is de energieproductie door vergisting 6 keer groter dan in Nederland. Deze productie biedt een aanknopingspunt voor de Nederlandse ontwikkeling.

Problemen voor biomassavergistingscentrales

Het is belangrijk om onderscheidt te maken tussen een co-vergistingscentrale en een bvc. Mestvergisting kan eigenlijk alleen een nevenactiviteit zijn van een veehouderij bedrijf, omdat vergisting van mest weinig energie oplevert. Een bvc vergist voornamelijk energiegewassen omdat deze veel energie opleveren.

De regelgeving in Nederland met betrekking tot afvalstoffen en ruimtelijke ordening sluit niet aan bij energieproductie uit energiegewassen. Wel zijn er binnenkort veranderingen in de wetgeving te verwachten, zoals de nieuwe mestwet en een nieuwe subsidieregeling voor duurzame energie.

Het is niet duidelijk of biomassavergistingscentrales een agrarische of industriële activiteit is. Akkerbouwers telen energiegewassen en kunnen deze zelf vergisten, maar productie van energie kan ook plaatsvinden op een industrieterrein door gespecialiseerde bedrijven. Dergelijke bedrijven zijn er echter nog niet in Nederland.

Een belangrijk probleem voor investeerders in een dergelijke biomassavergistingscentrale is dat er geen goed overzicht is van de te verwachte rendementen.

Voor de landbouw is een ontwikkeling van een alternatief gewas belangrijk. Het biedt akkerbouwers de mogelijkheid om hun landbouwgrond optimaal te benutten.

De akkerbouwers die een biomassavergistingscentrale zijn begonnen zijn gestopt met andere agrarische activiteiten. Ze zijn volledig overgestapt van de teelt van bijvoorbeeld aardappels of suikerbieten op energieproductie. Het is echter onduidelijk hoe groot een centrale moet zijn om in het levensonderhoud van de agrariër en zijn gezin te voorzien.

Het onderzoek

De centrale vraag in dit onderzoek is:

Wat is de beste opzet en grootte, gebaseerd op kostenvoordelen en maatschappelijke wenselijkheid, van een biomassavergistingscentrale om duurzame energie op te wekken?

De economische theorie van schaalvoordelen is in dit onderzoek moeilijk toe te passen, omdat er een gebrek is aan informatie over de precieze kosten per eenheid productie van verschillende bvc's. Wel wordt in onderzoek naar energie opwekking uit biomassa er vanuit gegaan dat grotere centrales lagere kosten per eenheid product hebben. Dit is echter geen goede fundering voor een duidelijke afweging van de optimale grootte en de beste opzet van bvc's. Daarom is er in dit onderzoek gekeken naar: overheidsbeleid, de keuze van energiedrager, ondernemersschap en financiering, de aan en afvoer van biomassa en de verkoop van energie en de invloed van de omgeving op bvc's. Door deze factoren te bestuderen kan er onderscheidt gemaakt worden tussen vier type centrales. Hiervan hebben twee type centrales een goede opzet om kosteneffectief duurzame energie te produceren. Hierbij gaat het om de volgende twee centrales:

Een bvc die opgezet is om als primair inkomen te dienen voor een agrarische ondernemer of ondernemers. Het kan gaan om een samenwerkingsverband van agrariërs die genoeg energiegewassen produceren voor een gezamenlijke bvc. De centrale vergist energiegewassen, die zelf geteeld worden. Daarnaast kunnen er energiegewassen ingekocht worden om te vergisten. De huidige regels staan de toevoeging van andere biomassoorten of andere gewassen niet toe. Het is te verwachten dat in de toekomst andere biomassa wordt toegevoegd, maar geen mest. De hoeveelheid biomassa die ingevoerd kan worden zal in de meeste gevallen maximaal 36.000 ton bedragen. Dit komt door de huidige regelgeving en de beperkte middelen die een agrariër (of een groep agrariërs) tot zijn beschikking heeft.

Een industriële bvc die opgezet is door een investeringsgroep. De centrale wordt op een industrie terrein gebouwd. Alle biomassa wordt gekocht van akkerbouwers. Deze centrales zullen naar verwachting de grootste bvc's zijn. De belangrijkste aanleiding om een grote centrale op te zetten zijn de schaalvoordelen van een grotere productie. Er is op een industrieterrein genoeg ruimte en de financieringsopzet maakt het mogelijk dat een centrale gebouwd wordt van 50 MW.

De afweging tussen deze twee type bvc's hangt voor een belangrijk deel af van de agrarische ondernemer. Akkerbouwers met sterke ondernemingsgeest en behoefte om zelfstandig een goed inkomen te verdienen zullen een eigen bvc willen bouwen.

Als het echter gaat om de teelt van energiegewassen naast de gebruikelijke landbouwproducten dan is het laatste type centrale de beste optie voor duurzame energieopwekking.

Welk type bvc er uiteindelijk het meest gebouwd gaan worden hangt voor een groot deel af van de Nederlandse overheid en de manier waarop zij de energietransitie sturen. Voor agrariërs is het te hopen dat de huidige regelgeving verandert en de ruimte biedt voor de ontwikkeling van een op biomassa gerichte duurzame energieproductie.

Inhoudsopgave

	Pagina
Hoofdstuk 1: Inleiding	1
1.1 Aanleiding onderzoek	1
1.2 Probleemstelling, doel van onderzoek en centrale vraag	3
1.3 Relevantie van onderzoek	4
1.4 Methodologie	5
1.5 Outline.....	5
Hoofdstuk 2: Noodzaak energietransitie	6
2.1 Het versterkte broeikaseffect.....	6
2.2 Mogelijke gevolgen van het versterkte broeikaseffect.....	9
2.3 Aanpassen aan klimaatsverandering	10
2.4 Voorkomen van klimaatsverandering	11
2.5 Huidige energieproductie	13
Hoofdstuk 3: Duurzame energieopwekking.....	16
3.1 Duurzame energie	16
3.2 Vormen van duurzame energie	16
3.3 Energie uit biomassa	19
Hoofdstuk 4: Biomassavergisting	23
4.1 Werking van biomassavergisting	23
4.2 Historische ontwikkeling biomassavergistingscentrales	24
4.3 Schaalniveau biomassavergisting.....	26
4.4 Overheidsbeleid voor biomassavergistingscentrales.....	28
4.5 Keuze voor elektriciteit, restwarmte of gas.....	32
4.6 Ondernemer of investeerder met manager	34
4.7 Externe contacten	35
4.8 Sociale en maatschappelijke omgeving.....	36
4.9 Case studie.....	38
Hoofdstuk 5: Conclusie.....	42
Literatuurlijst.....	47
Bijlage 1: Beschikbaarheid biomassa wereldwijd.....	52

Hoofdstuk 1: Inleiding

1.1 Aanleiding onderzoek

“Humanity is sitting on a ticking time bomb. If the vast majority of the world's scientists are right, we have just ten years to avert a major catastrophe that could send our entire planet into a tail-spin of epic destruction involving extreme weather, floods, droughts, epidemics and killer heat waves beyond anything we have ever experienced.”

(Al Gore 2006)

Er zijn een aantal problemen die veroorzaakt worden door de huidige fossiele energieproductie in de wereld. Het bovengenoemde citaat van Al Gore typeert het startpunt van dit onderzoek. Al Gore probeert onder andere met zijn film “An Inconvenient Truth” de wereldopinie te overtuigen van het broeikaseffect en de dramatische gevolgen daarvan. Ook in de media wordt het broeikaseffect en de klimaatsverandering steeds vaker genoemd. Bijna in elk weerbericht waarin ‘uitzonderlijk’ weer wordt voorspeld, komt klimaatsverandering aan de orde. Ook op politiek vlak lijkt er een verschuiving plaats te vinden. In de meeste politiek partijprogramma’s zijn wel plannen met betrekking tot klimaatsverandering te vinden (D66 2006) (PVDA 2006).

Daarnaast zullen de voorraden fossiele brandstoffen ooit opraken. De schattingen over wanneer deze bronnen opraken verschillen erg. De hoeveelheden olie, gas en kolen die beschikbaar zijn zullen deze eeuw dalen en daardoor in prijs stijgen (Considine 2007).

Verder zijn veel landen afhankelijk van fossiele brandstoffen door hun ongelijke geografische beschikbaarheid. De internationale machtsverdeling wordt voor een deel bepaald door de beschikbare voorraden fossiele brandstoffen van landen en regio’s. De mondiale instabiliteit die deze machtsverdeling kan veroorzaken blijkt onder andere uit het buitenlandse beleid van Rusland. Dit land probeert haar olie en gasreserves te gebruiken als machtsmiddel tegen omliggende landen als Oekraïne en Wit Rusland. Er moeten dus hernieuwbare alternatieven komen voor fossiele brandstoffen

Tevens is de toegang tot energie voor sommige bevolkingsgroepen beperkt. Twee miljard mensen hebben slechts zeer beperkte toegang tot energiebronnen (KNAW 2007). De huidige manieren van (fossiele) energieopwekking zijn te duur voor de meeste mensen in ontwikkelingslanden.

Alle hierboven genoemde punten geven de noodzaak weer voor een verandering in de energieproductie. Eén van de mogelijke oplossingen van de problemen van fossiele brandstoffen is om op een duurzame manier energie te produceren. Dit betekent dat er energie wordt opgewekt uit bronnen die op korte termijn aangevuld kunnen worden en minder vervuiling veroorzaken.

De opkomst van duurzame energie is al zichtbaar in Nederland. De opkomst van groene stoom is misschien wel de meest zichtbare verandering voor consumenten. Daarnaast is men ook in andere sectoren bezig met de overschakeling van fossiele brandstoffen naar duurzame alternatieven, zo zijn er afspraken gemaakt tussen overheden en oliemaatschappijen en stijgt daardoor het aandeel biobrandstoffen (Europese Parlement, Europese Raad 2003) (CBS 2007b).

Bij de rijksoverheid spreekt men van ‘*de energietransitie*’ (Ministerie van Economische Zaken 2007a). Dit is de overgang van een op fossiele brandstof gebaseerd economie systeem naar een duurzaam systeem. Tot nu toe is de ontwikkeling van dit duurzame systeem nog zeer beperkt. In Nederland was in 2005 het aandeel duurzame energiedragers ongeveer 6 % van het totale binnenlandse verbruik (CBS 2007a). Voor de EU (15 landen) was dat aandeel 14 % uitgedrukt in het percentage van het totale verbruik (Eurostat).

De bekendste duurzame energiebronnen zijn wind, zon en biomassa. De rijksoverheid probeert de ontwikkeling en het gebruik van duurzame bronnen te stimuleren. Voor het slagen van de energietransitie is het nodig dat geen duurzame energiebron wordt uitgesloten van overheidsstimulering of onderzoek op basis van de huidige potentie. De ontwikkeling van de duurzame energiebron is in de meeste gevallen nog lang niet voltooid, innoverende toepassingen kunnen een duurzame ontwikkeling sterk beïnvloeden (KNAW 2007).

Een degelijk overheidsbeleid is één van succesfactoren achter de ontwikkeling van duurzame energie in de EU. In Duitsland en Denemarken zijn veel windmolens en biomassainstallaties gebouwd met ondersteuning van nationale en regionale overheden (Smakman 2003).

De Nederlandse overheden zijn in het stimuleren van de ontwikkeling van duurzame energieproductie tot nog toe minder succesvol. De Nederlandse duurzame energie wordt voor meer dan één derde opgewekt door het bijstoken van droge biomassa in kolencentrales. Dit is een goedkoop alternatief voor kolen en voornamelijk door de energieproducenten zelf opgezet met een geringe rol van de overheid. Het aandeel windenergie is met 2,6 %, laag voor een land met een winderig zeeklimaat. In Denemarken wordt 17 % van het totale energieverbruik door windturbines opgewekt. Het aandeel windenergie in de duurzame energievoorziening is de laatste jaren in Nederland wel sterk gestegen. Het is na biomassa de grootste duurzame energiebron. Deze stijging is onder andere te danken aan het energietransitie beleid van het ministerie van Economische Zaken. Het opzetten van de MEP subsidie¹ is hiervan het belangrijkste onderdeel (ministerie van Economische Zaken 2007b).

In dit onderzoek is gekozen om biomassa als energiebron te bestuderen, vanwege de grote rol in de huidige duurzame energieproductie. Daarnaast zijn er naar verwachting genoeg mogelijkheden om de productie uit te bereiden.

Energieopwekking uit biomassa kan op verschillende manieren: verbranding, vergassing en vergisting. De focus van dit onderzoek ligt op de vergisting van biomassa. Vergisting is het door bacteriën omzetten van biomassa in onder ander methaangas. Methaangas kan, net als aardgas, verbrand worden om energie op te wekken. Het is een interessante manier van energieopwekking omdat het een opzet van een geheel nieuwe productie keten vergt. Hierin speelt de agrarische sector een belangrijke rol, omdat zij de biomassa moet produceren.

In 2006 was het aandeel biomassavergisting nog maar 0,3 % van totale energieproductie (CBS 2006a). In Duitsland is de energieproductie door vergisting 6 keer groter dan in Nederland. Deze productie kan een aanknopingspunt zijn voor de Nederlandse ontwikkeling (Eurostat 2007).

¹ Milieukwaliteit Elektriciteit Productie, subsidie per kWh waardoor duurzame energieproductie in eerder rendabel wordt.

1.2 Probleemstelling, doel van onderzoek en centrale vraag

Biomassavergisting is nog volop in ontwikkeling. Wanneer je kijkt naar de ontwikkelingen in het buitenland dan zijn er in Nederland genoeg mogelijkheden om de productiecapaciteit uit te breiden (Smakman 2003). In Nederland zijn de eerste biomassavergistingscentrales nog maar enkele jaren in gebruik. De meeste van deze centrales vergisten voornamelijk mest. Mestvergisting is opgezet met als voornaamste doel het verminderen van vervuiling. Dit onderzoek richt zich primair op de vergisting van energiegewassen. Energiegewassen zijn gewassen zoals energiemaïs die speciaal gekweekt zijn om snel en lang door te groeien. Hierdoor kan er veel biomassa geproduceerd op een perceel. Daarnaast kan afval uit de voedingsmiddelen industrie en landbouw wel toegevoegd worden aan de vergister². Het primaire doel van de centrale blijft echter energieproductie.

Er zijn nog maar een paar centrales in Nederland die opgezet zijn om energiegewassen te vergisten tot duurzame energie. Er is naar verwachting echter genoeg ruimte voor verder ontwikkeling. Deze potentiële ontwikkeling zal in dit onderzoek verduidelijkt worden.

Gezien het kleine aantal centrales en de recente ontwikkeling hiervan, is het niet verwonderlijk dat er nauwelijks onderzoek is verricht naar de vergisting van energiegewassen. Wel zijn er onderzoeken gedaan, die bijdragen aan de kennis over biomassa en vergisting in het algemeen. De potentie van biomassa komt hierin veelvuldig naar voren. Hierin is duidelijk geen overeenstemming, sommige onderzoekers verwachten dat er geen ruimte is voor energieteelt in Nederland. Daarnaast wordt er getwijfeld aan de duurzaamheid van biomassa. Andere onderzoekers als Rosillo-Calle et al. (2000) en instantie als het KNAW (2007) zien wel ruimte voor de ontwikkeling van biomassa als belangrijke duurzame energiebron. Opvallend is dat er in de onderzoeken naar energie uit biomassa maar weinig gekeken wordt naar de vergisting van biomassa. Het gaat voornamelijk om het verbranden of vergassen van biomassa. Daarnaast ligt de nadruk vooral op de import van biomassa naar Nederland. Dit is opvallend omdat Nederland één van de best ontwikkelde agrarische sectoren in de wereld heeft. Daarnaast is Nederland een grote exporteur van agrarische producten.

Naast het gebrek aan onderzoek van biomassavergisting zijn er ook problemen in de praktijk. De regelgeving in Nederland met betrekking tot afvalstoffen en ruimtelijke ordening sluit niet aan bij energieproductie uit energiegewassen.

Het is niet duidelijk of biomassavergistingscentrales in de agrarische sector horen of een industrie tak is. Akkerbouwers telen energiegewassen, maar de uiteindelijke productie van energie kan plaatsvinden op een industrieterrein door gespecialiseerde bedrijven. Een belangrijk probleem voor investeerders in een dergelijke biomassavergistingscentrale is dat er geen goed overzicht is van de te verwachte rendementen. Dergelijke bedrijven zijn er dan ook in Nederland nog niet.

Het is ook mogelijk dat de akkerbouwer zelf de energiegewassen vergist. Hierbij is het belangrijk om verwarring met mestvergisting te voorkomen. Mestvergisting kan eigenlijk alleen een nevenactiviteit zijn van een veehouderij bedrijf, omdat vergisting van mest weinig energie oplevert. Hierdoor kan het niet de basis vormen voor een gezinsinkomen. Bij de vergisting van energiegewassen op een redelijk schaalniveau is dit wel mogelijk. Het is dan ook de vraag of de vergisting van energiegewassen als een nevenactiviteit gezien moet worden. De boeren die een biomassavergistingscentrale zijn begonnen die alleen energiegewassen vergist doen geen andere

² Dit is een de silo waarin de biomassa vergist wordt door bacteriën.

agrarische activiteit meer. Ze zijn volledig overgestapt van de teelt van bijvoorbeeld aardappels of suikerbieten op energieproductie. Het is echter onduidelijk welk schaalniveau een centrale moet hebben om in het levensonderhoud van de boer en zijn gezin te voorzien.

Het probleem dat in dit onderzoek centraal staat is:

Het ontbreken van duidelijkheid over de definiëring de potentie van biomassavergistingscentrales, en een gebrek aan inzicht over het optimale schaalniveau van biomassavergistingscentrale.

Het doel van dit onderzoek is de potentie van biomassavergisting als duurzame energiebron te verduidelijken. Daarnaast wordt gekeken naar welke opzet en omvang een centrale het beste kan hebben. Het gaat hierbij om de keuze van energiedrager, ondernemersschap en financiering maar ook om de invloed van het overheidsbeleid en de sociale omgeving op de ontwikkeling van energie uit biomassavergisting.

De centrale vraag in dit onderzoek is:

Wat is de beste opzet en grootte, gebaseerd op kostenvoordelen en maatschappelijke wenselijkheid, van een biomassavergistingscentrale om duurzame energie op te wekken?

Om deze vraag te kunnen beantwoorden is het nodig de achtergrond van de duurzame energie ontwikkeling te verduidelijken, met andere woorden de aanleidingen van de energietransitie.

Al is in de huidige energiemarkt, het gebruik van duurzame energie klein, het is het startpunt voor van toekomstige ontwikkelingen. Daarom maakt de huidige duurzame energie markt deel uit van dit onderzoek. Biomassavergisting heeft een aantal overeenkomsten met andere vormen van energiebenutting uit biomassa, zoals de beschikbaarheid van grond voor de energieteelt. Er zijn naar de beschikbaarheid van grond een aantal onderzoeken gedaan. Deze onderzoeken worden gebruikt om de beschikbaarheid van grond voor de Nederlandse teelt van energiegewassen vast te stellen. Daarnaast is er onderscheid te maken tussen centrales voor het vergisten van energiegewassen, deze worden besproken en vergeleken. Welke opzet van biomassavergistingscentrales de beste mogelijkheden biedt om duurzame energie op te wekken kan hierna vastgesteld worden. Het schaalniveau van de centrale staat hierbij centraal.

1.3 Relevantie van onderzoek

Dit onderzoek heeft een sterke maatschappelijke relevantie. Het biedt duidelijkheid over de mogelijkheden van biomassavergisting. Een succesvolle opzet van biomassavergisting verhoogt de duurzame energieproductie. Voor de akkerbouw is een ontwikkeling van een alternatief gewas belangrijk³. Het biedt akkerbouwers de mogelijkheid om hun landbouwgrond optimaal te benutten.

³ Om de grondkwaliteit te verbeteren en de gevoeligheid voor ziekte te verminderen noodzakelijk om gewassen per jaar te wisselen. Aardappels zijn een belangrijk gewas voor akkerbouwers maar aardappels kunnen niet elk jaar verbouwd worden vanwege ziektes als aardappelmoehheid. Naast aardappels verbouwen veel akkerbouwers suikerbieten. Er is echter meer afwisseling nodig voor een optimale opbrengst. Dit gebeurt nu met graan maar de opbrengsten hiervan zijn gering in Nederland ondanks EU-subsidies. Gewassen als energiegewassen kunnen zorgen voor de benodigde afwisseling van gewassen, met daarnaast een goede opbrengst voor de akkerbouwer.

Binnen de wetenschap is er zeer weinig onderzoek gedaan naar biomassavergistingscentrales. De mogelijke relevantie van deze vorm van duurzame energieopwekking in de toekomst maakt verder onderzoek nodig. Dit onderzoek is een eerste opzet voor verder (geografisch) onderzoek naar de vergisting van energiegewassen in Nederland.

1.4 Methodologie

In dit onderzoek is voornamelijk gebruikt gemaakt van literatuur. Daarnaast zijn verschillende kranten en agrarische vaktijdschriften geraadpleegd, om de actualiteit van het onderwerp weer te geven. Tevens hebben internet websites een rol gespeeld in de informatievoorziening. Deze bron is vooral nuttig gebleken tijdens het verwerken van de nieuwste ontwikkelingen in dit onderzoek. De praktische kijk op de ontwikkeling van biomassa mocht in dit onderzoek niet ontbreken. Er is een bezoek gebracht aan de eerste maïsvergistingcentrale in Nederland, die door een akkerbouwer is opgezet. Het bezoek aan deze centrale is uitgewerkt in een casestudie.

1.5 Outline

Deze scriptie is als volgt opgebouwd. Allereerst is belangrijk om de noodzaak van de energietransitie te verduidelijken. Het gaat hierbij om het broeikas effect, klimaatsverandering en de fossiele energie problematiek. Hierbij wordt tevens kort besproken welke mogelijkheden er zijn om de problematiek van het broeikas effect op te lossen.

Daarna zal in hoofdstuk 3 gekeken worden naar alternatieve vormen van energieopwekking. Hierbinnen zal biomassa als duurzame energiebron uitvoerig behandeld worden. Daarbij worden de mogelijkheden van energieteelt behandeld.

In hoofdstuk 4 wordt na biomassavergisting en de ontwikkeling daarvan op het uiteindelijke schaalniveau behandeld. Allereerst zal het onderzoeksterrein worden afgebakend aan de hand van economische theorieën en studies naar de omvang van biomassacentrales. Hieruit volgen een aantal factoren, die onderzocht worden in de daaropvolgende paragrafen. De factoren die behandeld gaan worden zijn achtereenvolgens: overheidsbeleid zoals subsidies en regelgeving, de keuze van energiedrager, het management, de levering van biomassa en energie en als laatste de sociale omgeving. Per schaalniveau wordt de invloed op de grootte van biomassavergistingscentrales bepaald. Vervolgens wordt de casestudie van een maïsvergistingcentrale besproken. Hierin zullen de factoren uit de voorgaande paragrafen getoetst worden aan de case. Tot slot volgt er een conclusie waarin de uitkomsten van dit onderzoek worden besproken en er een afweging gemaakt kan worden van het optimale schaalniveau van biomassavergisting.

Hoofdstuk 2: Noodzaak energietransitie

In dit hoofdstuk zal gekeken worden naar de aanleidingen van de transitie naar een duurzame energievoorziening. Daarnaast worden de oplossingen voor het broeikaseffect kort besproken.

2.1 Het versterkte broeikaseffect

Onder het broeikaseffect wordt verstaan: de warmte vasthouding op de aarde door atmosferische gassen. Hierdoor ligt de gemiddelde temperatuur aanzienlijk hoger dan zonder dit effect (Dorland 2007).

Het belangrijkste broeikasgas is waterdamp, daarna koolstofdioxide (verder in dit onderzoek als CO₂ aangeduid). Andere belangrijke broeikasgassen zijn methaan, lachgas en ozon.

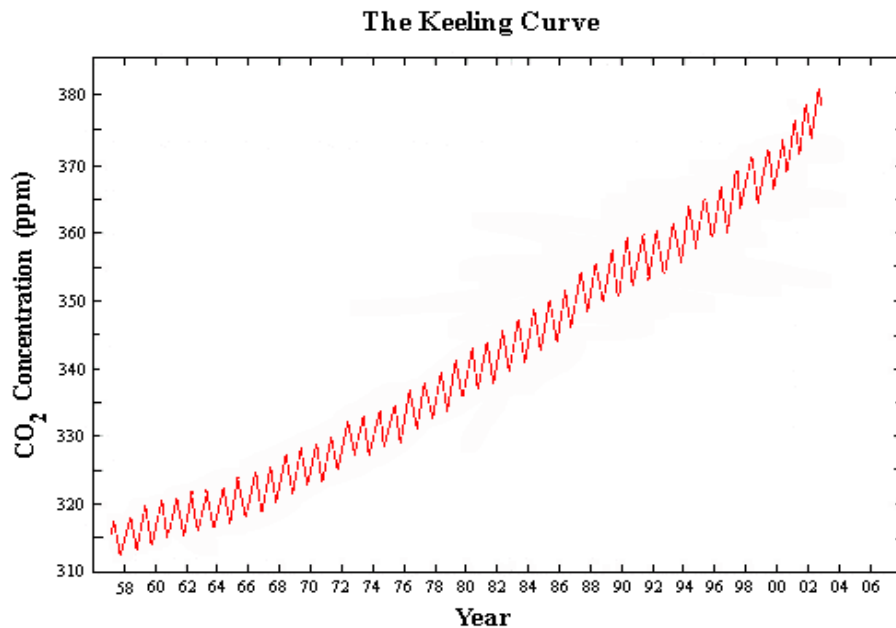
In tabel 2.1 staan alle gassen waarop de mens een belangrijke invloed heeft op de concentraties in de atmosfeer. De impact die deze gassen hebben op het broeikaseffect staan vermeld in verhouding tot de impact van CO₂. Het ontstaan van waterdamp wordt maar voor een klein deel door menselijke activiteiten bepaald en is dus niet vermeld. Ozon is in deze tabel niet genoemd omdat de broeikaswerking afhankelijk is van waar de ozon zich in de atmosfeer bevindt. In de lagere luchtlagen is ozon een broeikasgas, terwijl het in de bovenste luchtlagen juist een verkoelend effect heeft (Wikipedia 2007a). Ozon in de lagere luchtlagen wordt vooral door menselijk vervuiling veroorzaakt en is dus een voorbeeld van hoe de mens het broeikaseffect versterkt (KNMI 2007a).

Broeikasgassen	CO₂-equivalent	Menselijke bronnen o.a.
Koolstofdioxide (CO ₂)	1	Energieopwekking, Metaalproductie, ontbossing, droogleggen veen/moeras.
Methaan (CH ₄)	21	Landbouw, afval, droogleggen veen/moeras
Lachgas (N ₂ O)	310	Landbouw, Nylon productie, salpeterzuurproductie
Waterstoffluorkoolwaterstoffen (HFK) Waterstofchloorfluorkoolwaterstoffen (HCFK)	150-11.700	Koeling, airco installaties
Perfluorcarbonaten (PFC)	6.500 – 9.200	Metaalindustrie
Zwavelhexafluoride (SF ₆)	23.900	Electrochips

Tabel 2.1 Broeikasgassen en bijbehorende productie sectoren

Bron: Eigen bewerking: Ankersmit et al. (2001)

Van nature is er een zekere balans tussen de verschillende gassen in de lucht. Het ene proces brengt een gas de lucht in, een ander haalt het gas er weer uit. Hierdoor ontstaat er een kringloop. Een goed voorbeeld van een dergelijke kringloop is de koolstofkringloop. Deze kringloop beschrijft hoe een deeltje koolstof door planten uit de lucht wordt opgenomen. Wanneer planten sterven of gegeten worden komt de koolstof weer vrij in de lucht via verrotting, verbranding of vertering. Hierdoor blijft de concentratie CO₂ ongeveer gelijk. Het is echter steeds duidelijker dat de mens deze balans verstoort⁴ (KNMI 2007a).



Figuur 2.1 De Keeling Curve is een dataset van CO₂ metingen die genomen zijn op de top van de Mauna Loa vulkaan op Hawaï sinds 1958. Bron: Wikipedia 2007a.

In figuur 2.1 is de stijging van het CO₂ percentage weergegeven in de beroemde Keeling curve. Dit was één van de eerste bewijzen dat de concentratie CO₂ de afgelopen eeuw sterk is gestegen. De zigzag in de curve wordt veroorzaakt door seizoensinvloeden. Door middel van fotosynthese wordt er CO₂ vastgelegd in de planten. In de zomer vindt er meer fotosynthese plaats dan in de winter. De meeste landmassa en daarmee de meeste planten zijn te vinden op het Noordelijk halfrond. Wanneer het op het Noordelijk halfrond zomer is wordt er gemiddeld over de aarde het meeste CO₂ vastgelegd. In de winter van het Noordelijk halfrond vindt op de wereld minder fotosynthese plaats. Hierdoor stijgt het CO₂ percentage.

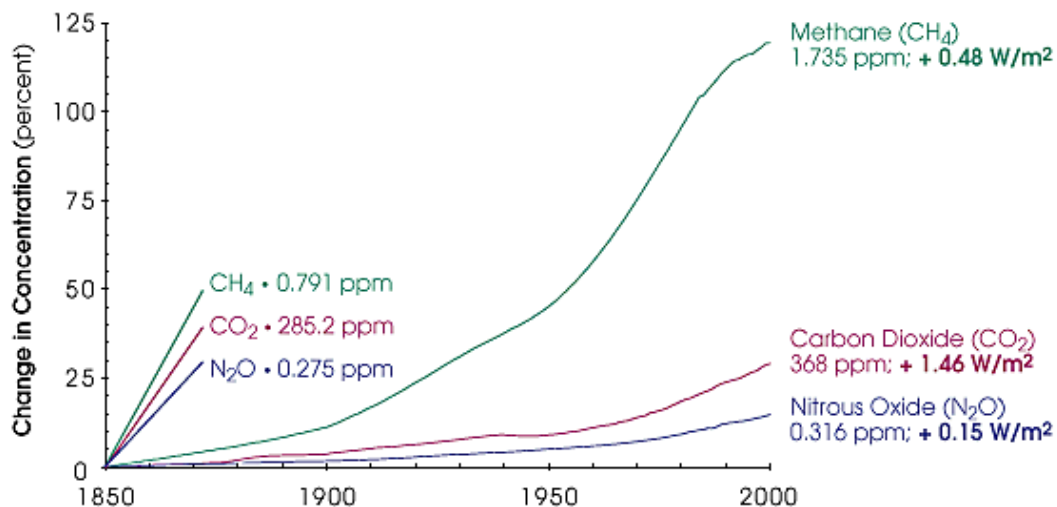
Naast deze seizoensgebonden schommelingen wisselt het percentage CO₂ door natuurlijke fenomenen zoals vulkaanuitbarstingen en bosbranden (zover niet door de mens veroorzaakt). Deze natuurlijke factoren bieden geen verklaring voor de jaarlijkse stijging van het percentage CO₂ in de atmosfeer (KNMI 2007a).

⁴ Hierbij moet opgemerkt worden dat er geen algemene consensus heerst binnen de wetenschappelijke gemeenschap over de relatie tussen CO₂ en de stijgende temperatuur.

De meest waarschijnlijke en geaccepteerde verklaring voor het stijgende aandeel CO₂ in de atmosfeer zijn menselijke activiteiten. Het Intergovernmental Panel for Climate Change (verder IPCC genoemd) van de Verenigde Naties (VN) geeft hiervoor de meest onderbouwde argumentatie (KNMI 2007a). Dit jaar zal het nieuwste klimaatsrapport uitkomen. De IPCC heeft geconcludeerd dat de CO₂ stijging in de atmosfeer wordt veroorzaakt door industriële ontwikkeling gebaseerd op fossiele brandstoffen en wijzigingen in landgebruik. Wijzigingen in landgebruik zijn onder ander processen als ontbossing en ontginnen van veengebieden voor landbouwgrond (KNAW 2007) (Wikipedia 2007a).

Naast dat het percentage CO₂ in de afgelopen eeuwen is gestegen, zijn ook de andere broeikasgassen in de atmosfeer toegenomen. In figuur 2.2 is, naast de stijging van het aantal p.p.m.⁵ CO₂, ook te zien dat het aandeel methaan en lachgas gestegen is. Vooral de stijging van methaangas in de atmosfeer is bijzonder sterk. Dit is onder andere te verklaren door ontwatering van landbouwgrond en de drooglegging van veengebieden. Tevens is door de ontwatering de hoeveelheid lachgas in de atmosfeer toegenomen.

De verhouding van methaan en lachgas ten op zichte van het aantal p.p.m. CO₂ blijft echter nog zeer gering. Hierdoor is ondanks een sterkere broeikaswerking van methaan en lachgas de menselijke invloed op het broeikas effect het sterkst door de uitstoot van CO₂.



Figuur 2.2 Stijging belangrijkste broeikasgassen door de mens bepaald.

Bron: NASA 2003.

⁵ Parts per million

2.2 Mogelijke gevolgen van het versterkte broeikaseffect

In de vorige paragraaf is beschreven hoe hogere concentraties broeikasgassen, in het bijzonder CO₂, leiden tot een temperatuurstijging op aarde. Het IPCC geeft aan dat de temperatuurstijging voor deze eeuw tussen de 2 en 6 °C zal bedragen. De marge van 4 °C is ruim genomen. Hierbij speelt de ontwikkeling in de uitstoot van CO₂ een rol. Daarnaast bestaat er onzekerheid over bijvoorbeeld het effect van wolken. Wolken kunnen, omdat ze zonlicht weerkaatsen, een verkoelend effect hebben. Maar ook een opwarmend effect omdat ze warmte terugkaatsen naar de aarde (IPCC 2007).

Deze 2 tot 6 °C temperatuurstijging is een gemiddelde stijging van de temperatuur. Dit betekent niet dat het overall even veel warmer wordt. Het IPCC geeft aan dat er onduidelijkheid en onzekerheid heerst over de invloed van het versterkte broeikaseffect op weerpatronen. Wel heeft het IPCC een aantal studies samengevat, die de meest waarschijnlijke klimaatsveranderingen en de gevolgen daarvan weergeven (IPCC 2007) (KNMI 2007a).

Het weer

Het is zeer waarschijnlijk dat de huidige klimatologische verdeling van warmte, regen en wind zal veranderen. Verwacht wordt dat er meer extreme weersituaties voor zullen komen. Meer hittegolven, zwaardere regenval, langdurige droogte, meer stormen en sterkere orkanen en tyfoons. Hittegolven hebben een effect op de volksgezondheid, vooral ouderen hebben last van de warmte. Dit blijkt uit de sterftcijfers van deze bevolkingsgroep tijdens hittegolven (CBS 2007a). Daarnaast zullen er door hittegolven in combinatie met langdurige droogtes meer bosbranden ontstaan. De verandering in neerslag kan leiden tot het mislukken van oogsten. Tevens neemt door zwaardere regenval de bodemerosie toe. Hierdoor wordt niet alleen vruchtbare grond weggespoeld maar vinden er ook meer landverschuivingen plaats. De meest bekende voorbeelden van veranderingen van neerslag zijn El'nino en El'nina. In Zuid-Amerika leiden deze verschijnselen tot sterk wisselende weersituaties (KNMI 2007b). De schade die orkanen en tyfoons kunnen aanrichten zijn onder andere duidelijk geworden bij de overstroming van New Orleans⁶.

In Nederland worden grotere neerslaghoeveelheden verwacht, wat zal leiden tot een hogere rivierafvoer. De kans op overstromingen zal groter worden door een toename van sterkere stormen in combinatie met de zeespiegelstijging. Al deze verwachte weersveranderingen zullen aanzienlijke economische en sociale gevolgen hebben (IPCC 2007).

Vegetatiezones

Door veranderingen van het weer en een stijging van de gemiddelde temperatuur kunnen de grenzen tussen vegetatiezones verplaatsen. Verwacht wordt dat vooral een daling van de neerslaghoeveelheden zal leiden tot grote droogtes. Hierdoor zullen de huidige woestijngebieden zich waarschijnlijk uitbreiden. Het betekent echter ook een verplaatsing of het uitsterven van planten en diersoorten in gebieden. Een voorbeeld hiervan zijn jonge koolmezen die verhongeren omdat er geen rupsen meer zijn (De Natuurkalender 22-3-2006)

Er worden echter ook positieve effecten voorspeld. Zo wordt er in de koudere regio's op aarde een toename van de landbouwproductie verwacht (IPCC 2007).

⁶ In augustus 2005 veroorzaakte de orkaan Katrina voor vele miljoenen aan schade en kwamen er 1800 mensen om het leven.

Zeespiegel

Eén van de meest bekende gevolgen van het versterkte broeikaseffect is de zeespiegelstijging. Hiervoor is het smelten van landijs zoals gletsjers en de ijskap op Groenland en Antarctica, de belangrijkste oorzaak. De uitzetting van warmer wordend zeewater draagt ook bij aan de zeespiegelstijging.

Een verwachte stijging van de zeespiegel van decimeters tot meters in de komende eeuw zal waarschijnlijk de meest dramatische gevolgen hebben voor ontwikkelingslanden. Vooral voor dichtbevolkte landen, met lage uiterwaarden, zoals Bangladesh. De ontwikkelingslanden hebben niet de middelen om hun bevolking te beschermen tegen het water zoals Nederland. Overigens is het opmerkelijk dat de stijging van de zeespiegel ook positieve neveneffecten kan hebben. Het is het een bron van inkomsten voor bedrijven die gespecialiseerd zijn in waterkeringen, dijken, gemalen of afwatering⁷. Dit wordt wel een kans voor de Nederlandse economie genoemd (Tegenlicht 2-7-2007).

De golfstroom

Een ander mogelijk gevolg van de temperatuurstijging is de verandering van de golfstroom. De golfstroom in de oceanen heeft invloed op het klimaat in Europa. Het is mogelijk dat de Golfstroom verandert of stil komt te staan door de aanvoer van zoet smeltwater uit de Groenlandse ijskap. Hierdoor wordt het kouder in Europa, en zou er een nieuwe ijstijd kunnen ontstaan. Dit scenario is volgens het IPCC voor deze eeuw nog zeer onwaarschijnlijk (IPCC 2007).

2.3 Aanpassen aan klimaatsverandering

Op de klimaatsverandering wordt al ingespeeld door de overheden. In Nederland houden “de Kustnota”, “de Nota Ruimte” en “de Planologische Kernbeslissing Ruimte voor de Rivier”, allemaal rekening met een stijging van de zeespiegel en een verhoogde rivierafvoer. Daarnaast worden er onderzoeken verricht naar hoe er omgegaan kan worden met klimaatsverandering. Hiervoor is het programma “Klimaat voor Ruimte” gestart. In dit programma ligt de nadruk op inrichtingsvraagstukken voor de lange termijn, vooral voor West-Nederland (Donkers 2005) (VROM 2006a). Inspelen op de klimaatsverandering kost veel geld, bijvoorbeeld dijkverhogingen en overstromingspolders. Ontwikkelingslanden beschikken vaak niet over de middelen om de gevolgen van klimaatsverandering in te perken. Het IPCC verwacht dan ook dat in deze landen de negatieve gevolgen het grootst zullen zijn (IPCC 2007).

⁷ Nederlandse bedrijven zijn actief in New Orleans, om daar te adviseren en te bouwen aan zeeweringen (Tegenlicht 2-7-2007).

2.4 Voorkomen van klimaatsverandering

In paragraaf 2.1 is naar voren gekomen dat de uitstoot van CO₂ de belangrijkste veroorzaker is van het versterkte broeikaseffect. Een beperking van het broeikaseffect kan dus het beste gebeuren door een vermindering van de CO₂ uitstoot. De uitstoot van CO₂ groeit wereldwijd jaarlijks met 4 %. Zonder maatregelen, die deze groei beperken zal in het jaar 2100 het aandeel CO₂ in de atmosfeer ongeveer 1000 p.p.m. bedragen. Dit zal betekenen dat er een zeer sterke temperatuurstijging plaats vindt (IPCC 2007).

Het beperken van de CO₂ uitstoot kan op drie manieren:

1. efficiënter omgaan met energie uit fossiele brandstoffen of efficiënter energie opwekken uit fossiele brandstoffen⁸.
2. CO₂ ondergronds opslaan
3. fossiele brandstoffen vervangen door CO₂-vrije alternatieven.

Energie efficiëntie

Ter verbetering van de energie efficiëntie zijn er internationale initiatieven opgezet. Het Kyoto-protocol is een opzet van de meeste geïndustrialiseerde landen om de uitstoot van CO₂ te beperken. Hierdoor wordt het gebruik van fossiele brandstoffen ingeperkt en ontstaat er de noodzaak om de energie efficiëntie te verhogen. De EU heeft als één partij aan het protocol bijgedragen. Binnen de EU heeft Nederland afgesproken haar CO₂ uitstoot in 2012 met 6 % verminderd te hebben ten opzichte van de uitstoot in 1992. Opvallend is dat er binnen de richtlijn van de EU alleen gekeken naar de uitstoot van CO₂ en niet van de andere broeikasgassen of hun equivalent, zoals in het Kyoto protocol (VROM 2006b) (VROM 2004).

Naast grootschalige opzetten om de efficiëntie te verbeteren, zijn er ook veel kleinschalige projecten, zoals spaarlampen acties. In het onderzoek van het KNAW (Koninklijke Nederlandse Akademie voor Wetenschap) (2007) wordt het belang van energie efficiëntie onderstreept. Hierbij wordt energie efficiëntie gedefinieerd als:

“Het beperken van de hoeveelheid energiegebruik per eenheid activiteit” (KNAW 2007, p.29).

Een voorbeeld van energie efficiëntie is auto's die minder brandstof per gereden kilometer gebruiken. Jaarlijks neemt de energie efficiëntie gemiddeld in de wereld met 1 % per jaar toe (Jepma 2006). Deze toename van de energie efficiëntie is echter minder dan de groei van het gebruik. Om tot een netto daling van het energieverbruik in Nederland te komen is dan ook een verbetering van de energie efficiëntie van meer dan 2 a 3 % nodig (KNAW 2007).

Energie efficiëntie een noodzakelijk onderdeel van de energietransitie. De ontwikkeling van duurzame energiebronnen is er op gericht om fossiele brandstoffen uiteindelijk te vervangen. Wanneer de vraag naar energie stijgt, is het niet te verwachten dat duurzame energiebronnen de energieproductie van fossiele brandstoffen op middenlange termijn (20 a 50 jaar) kunnen vervangen (KNAW 2007).

⁸ Bij bijvoorbeeld de elektriciteitsopwekking uit kolen wordt maar 40 % van de energie die in fossiele brandstoffen zit omgezet in elektriciteit. De rest gaat verloren aan warmte.

Bij het behalen van een hogere energie efficiëntie kan gebruik gemaakt worden van bestaande en nog in ontwikkeling zijnde technieken. Het toepassen van bestaande technologieën kan de komende decennia al zorgen voor een toename van de energie efficiëntie van 25 – 40 % (KNAW 2007). Daarnaast zijn er nog technieken in ontwikkeling die de energie efficiëntie nog verder kunnen vergroten. Een aantal van deze technieken kunnen gebruikt worden voor een toename van de energie efficiëntie van biomassavergisting. Deze technieken zullen in hoofdstuk 4 behandeld worden.

Dat de ontwikkeling van de energie efficiëntie echter achterblijft bij de technische mogelijkheden heeft een aantal oorzaken. Zo is er sprake van een gebrek aan kennis, inzicht of wil bij bedrijven, instellingen en huishoudens. Daarnaast kan de scheiding van eigenaar en huurder zorgen voor een gebrek aan motivatie. Voor de eigenaar is energiebesparing, waarvan de huurder profiteert, alleen maar een kostenpost. Daarnaast is het niet altijd mogelijk om de nieuwste technieken toe te passen op bestaande netwerken. Bijvoorbeeld het aardgasnetwerk dat niet geschikt is voor ander gas. Dit voorbeeld zal in hoofdstuk 4 verder worden behandeld.

CO₂ opslag

Fossiele brandstoffen zullen voorlopig de belangrijkste energiebronnen blijven. Er zal dus ‘fossiele’ CO₂ uitgestoten worden. Daarnaast komt CO₂ ook bij andere processen vrij, zoals bij het productieproces van aluminium. Een, al dan niet tijdelijk, alternatief om de klimaatsverandering tegen te gaan, is door de CO₂ uitstoot op te slaan. De techniek van CO₂ opslag bestaat al. Het is alleen nog niet voldoende ontwikkeld om op grote schaal toegepast te worden. Daarnaast zijn er hoge kosten aan verbonden en er is veel energie voor nodig. Er zijn momenteel projecten in uitvoering, vooral in de VS. In Nederland is het de bedoeling om CO₂ op te slaan in oude aardgasvelden. Hierdoor komt de CO₂ weer terug in de grond waar het als fossiele brandstof vandaan kwam. Het biedt een oplossing voor de uitstoot van broeikasgassen maar is zeker niet duurzaam.

Toch wordt het door het huidige kabinet⁹ gezien als een tijdelijke oplossing voor klimaatsverandering. Daarnaast kan het ervoor zorgen dat Nederland zijn Kyoto doelstellingen haalt.

Op welke termijn CO₂ opslag grootschalig en kosteneffectief uitgevoerd kan worden is nog onbekend. Wel wordt er bij de pas afgegeven vergunningen voor de bouw van nieuwe kolencentrales rond 2012, rekening gehouden met de mogelijkheid tot CO₂ opslag (Oudshoff 2006) (Uffelen 2007).

CO₂-vrije alternatieven

De derde mogelijkheid tot het terugdringen van broeikasgassen bestaat uit het zorgen voor alternatieven voor fossiele brandstoffen. De bespreking van dergelijke alternatieven zal in hoofdstuk 3 plaatsvinden.

⁹ Balkenende 4.

2.5 Huidige energieproductie

De huidige energieproductie in Nederland is voor het grootste deel gebaseerd op fossiele brandstoffen. Dit geldt voor zowel de energieproductie van warmte, transport als elektriciteit (CBS 2007a). De vraag naar energie stijgt elk jaar met 4 % als gevolg van economische groei. Hierdoor zou de energievraag in 2100 ongeveer 6 keer meer bedragen dan nu (Jepma 2006). Het voorzien in deze vraag vergt zeer grote uitgaven. De uitgaven aan infrastructuur en energiecentrales worden voor de komende jaren alleen al geschat op 10.000 miljard dollar en nog eens 6.000 miljard dollar aan investeringen voor de winning van fossiele brandstoffen (Jepma 2006).

Zoals al eerder vermeld, zullen fossiele brandstoffen een belangrijk deel van de energievoorziening blijven verzorgen. Met de huidige snelheid van de energietransitie zal de vraag naar kolen, olie en gas in de wereld en ook in Nederland verder blijven stijgen. Gebaseerd op deze stijgende vraag en de beschikbaarheid van fossiele brandstoffen staat hieronder een overzicht van de fossiele brandstoffen en de periode waarin deze op zullen raken.

Aardolie

Aardolie is de belangrijkste brandstof voor de wereldeconomie. Het is onzeker hoelang er nog genoeg olie is om aan de vraag te voldoen. Sommige schattingen laten zien dat de piek in de olieproductie al bijna behaald is. Anderen gaan uit van een productie die groot genoeg zal zijn voor de komende decennia (Considine 2007). Hierbij speelt de ontwikkeling van de vraag natuurlijke een grote rol.

Olie vindplaatsen zijn verspreid over de gehele wereld. Een deel van de landen met olievoorraden zijn aangesloten bij de OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries). Daarnaast zijn er landen die grote voorraden olie hebben, zoals Rusland, maar niet aangesloten zijn bij de OPEC. De macht van OPEC en Rusland, samen verantwoordelijk voor de helft van de wereldwijde olieproductie, werkt in het nadeel van de Westerse landen die afhankelijke zijn van deze aardolie. Dit kan leiden tot conflicten met olie als machtsmiddel. Daarnaast worden er in de ogen van de westerse wereld zogenaamde 'foute' regimes financieel en politiek gesteund.

Aardgas

De komende 60 jaar is er waarschijnlijk nog genoeg aardgas, maar ook hiervoor geldt hetzelfde als bij de schattingen over de olie beschikbaarheid. Gas is minder geografisch verspreid dan olie. Veruit het grootste deel van de gasvoorraden liggen in politiek onstabiele gebieden als het Middenoosten en Rusland. Daarnaast heeft gas als bijkomende moeilijkheid dat het vervoer ervan meestal via pijpleidingen gaat. Deze leidingen zijn erg kwetsbaar en geven het land waarover de pijpleiding loopt ook zeggenschap en invloed. De problemen met de pijpleiding door Wit-Rusland en de Oekraïne is hiervan een voorbeeld. De Russen sloten het gas af voor deze landen vanwege een prijsconflict. Hierdoor bereikte het aardgas West Europa niet meer waardoor er aardgas tekorten dreigden te ontstaan.

Kolen

De komende 100 jaar zijn er waarschijnlijk nog genoeg kolen, zowel steen- als bruinkool. Er zijn veel vindplaatsen van steen en bruinkool verspreid over de gehele wereld. Steenkool is zeer vervuilend vooral door de uitstoot van zwavel en roetdeeltjes. Roetdeeltjes hebben ook een broeikasversterkende werking. Bruinkool vervuult het zwaarst en het biedt geen voordelen boven steenkool. Door nieuwe technieken zoals kolenvergassing, die zorgen voor een betere verbranding, is de vervuiling van steen- en bruinkool wel minder dan in het verleden.

De meeste nieuwe energiecentrales in de wereld worden gebouwd om steenkool te verbranden. De belangrijkste redenen hiervoor zijn de lage prijs en de beschikbaarheid. Ook in Nederland is deze trend zichtbaar.

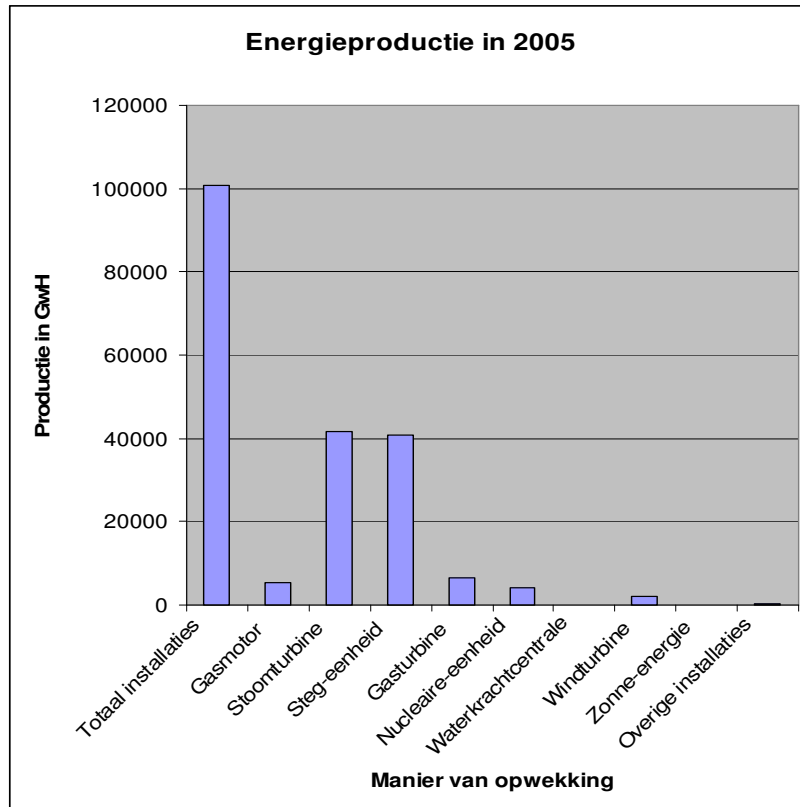
Kernenergie

Om een zo volledig mogelijk beeld te geven van de energiemarkt is het ook nuttig om in het kader van dit onderzoek kernenergie te behandelen. Een mogelijke oplossing voor de toekomstige tekorten van fossiele brandstoffen is het gebruik van kernenergie. Er zijn momenteel ongeveer 200 kerncentrales in de wereld waarvan 30 % in EU. In Nederland wordt 15 % van de gebruikte energie opgewerkt in kernreactoren. Hiervan komt het grootste deel uit het buitenland. Maar 3 % van de gebruikte kernenergie wordt in de kerncentrale in Borssele opgewekt (CBS 2007a). Kerncentrales hebben als voordeel dat er bij de energieopwekking geen broeikasgassen vrijkomen. Bij de ontginning van Uranium, de verrijking en het transport komt er echter wel CO₂ vrij. Toch is het een relatief CO₂ arm alternatief voor fossiele brandstoffen. Kernenergie heeft echter andere nadelen zoals radioactief afval, gevaar voor straling, de beperkte voorraad en het kleine aantal vindplaatsen van uranium (ODE 2006). Het wordt daarom, al heerst hierover geen algemene consensus, niet gezien als een goed alternatief voor de oplossing van het energievraagstuk (Dagblad van het Noorden 14-12-2005)

Energieproductiemethoden

In figuur 2.3 zijn de manieren van energie opwekking in Nederland genoemd. De meeste centrales in Nederland wekken energie op uit fossiele brandstoffen via een stoomturbine of een STEG-eenheid¹⁰. Onder de productiekolom van stoomturbine en gasmotor worden niet alleen fossiele brandstoffen verbrand maar ook biomassa.

¹⁰ STEG staat voor stoom en gasturbine.



Figuur 2.3 Mechanieken van het benutten van energiebronnen in Nederland.
Bron: CBS 2007a.

De verschillen in het rendement van de verschillende mechanieken zijn groot. Een STEG-eenheid, is een elektriciteitscentrale waarbij twee turbines worden aangedreven. Het rendement van een dergelijke installatie is (maximaal) 58,4 %. Dit lijkt weinig maar in vergelijking met andere centrales is dit een hoog rendement. Een kolencentrale heeft een rendement rond de 40 % en een kerncentrale van 25 %. Het rendement van kolencentrales kan hoger worden door de toepassing van kolenvergassing. Hierbij behaalt de kolencentrale een rendement van rond de 50 of 55 % (Wikipedia 2007b) (KNAW 2007).

Kortom de manier waarop fossiele brandstof gebruikt wordt voor elektriciteitsproductie maakt uit in de uitstoot van CO₂ en andere afvalstoffen. Toch wordt er niet altijd voor de meest schone manier gekozen, vooral buiten de EU worden oude technieken vaak nog toegepast.

Hoofdstuk 3: Duurzame energieopwekking

In dit hoofdstuk zal gekeken worden naar duurzame vormen van energieopwekking.

3.1 Duurzame energie

Voordat we ingaan op de verschillende vormen van duurzame energie zullen we eerst vast moeten stellen wat duurzame energie is. Het CBS en het Eurostat definiëren duurzame energie als hernieuwbare energie. Onder hernieuwbare energie wordt verstaan, energie die komt uit bronnen die op korte termijn aangevuld kunnen worden (CBS 2006a) (Eurostat 2007).

In de literatuur over duurzame energie wordt regelmatig het begrip vervuiling toegevoegd aan de definitie. Dit betekent dat duurzame energiebronnen ook minder milieubelastend moeten zijn dan andere energiebronnen. Hierbij is duurzame energie niet alleen hernieuwbaar maar ook minder milieubelastend.

De energietransitie van fossiele naar hernieuwbare energie is een voorbeeld van sustainable development. De definitie van sustainable development is volgens de World Commission on Environment and Development (WCED) (1987):

“A development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their needs”.

Duurzame energie zal daarom gedefinieerd worden zoals beschreven door Brendsen (2000, p. 278):

“Duurzame energie is energie waarover de mensheid in de praktijk voor onbeperkte tijd kan beschikken en waarbij, door het gebruik ervan, het leefmilieu en de mogelijkheden voor toekomstige generaties niet worden benadeeld”.

3.2 Vormen van duurzame energie

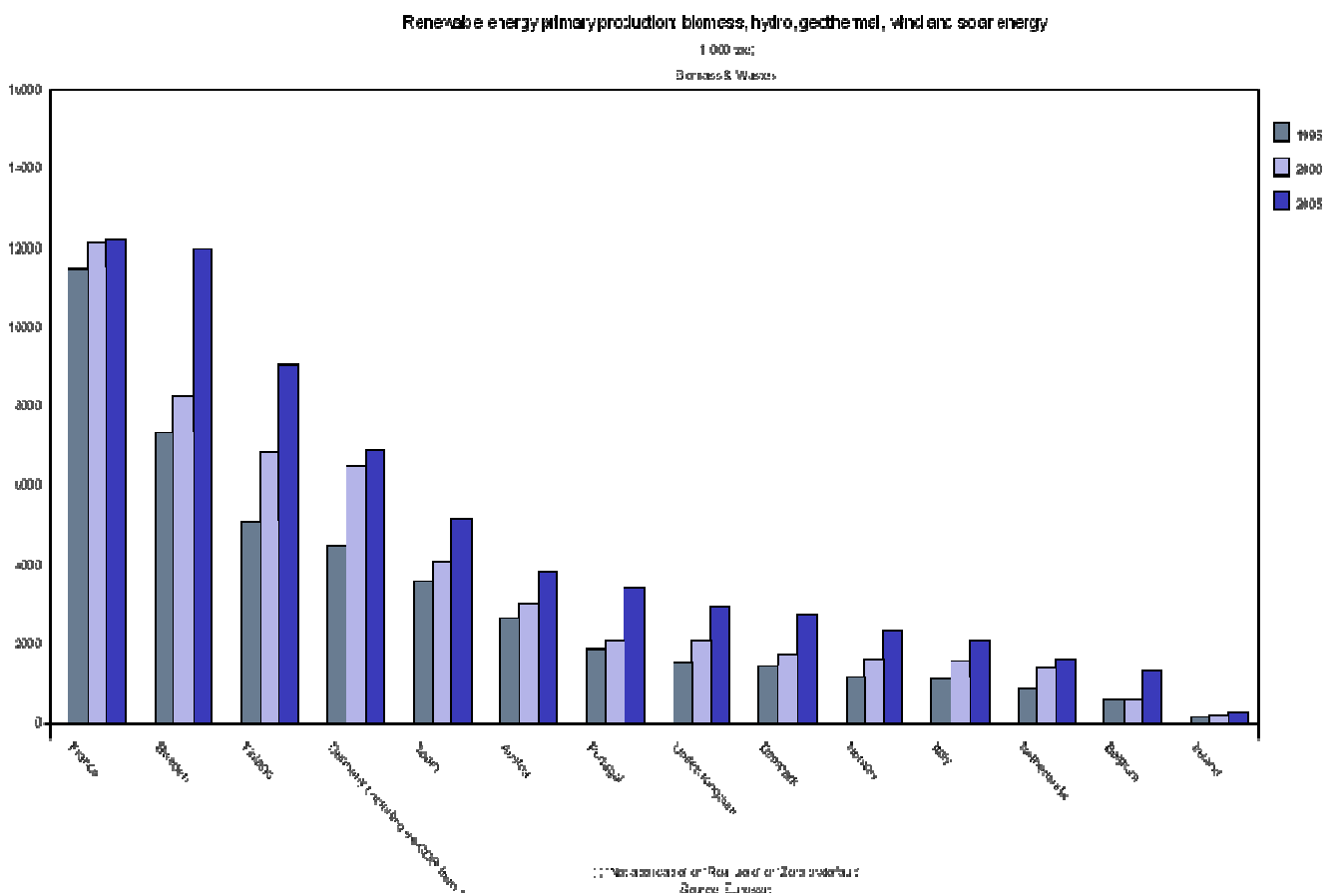
Er zijn verschillende vormen van duurzame energie. Deze zijn onder te verdelen in (KNAW 2007):

- zonne-energie
- windenergie
- omgevingsenergie
- energie uit water
- biomassa.

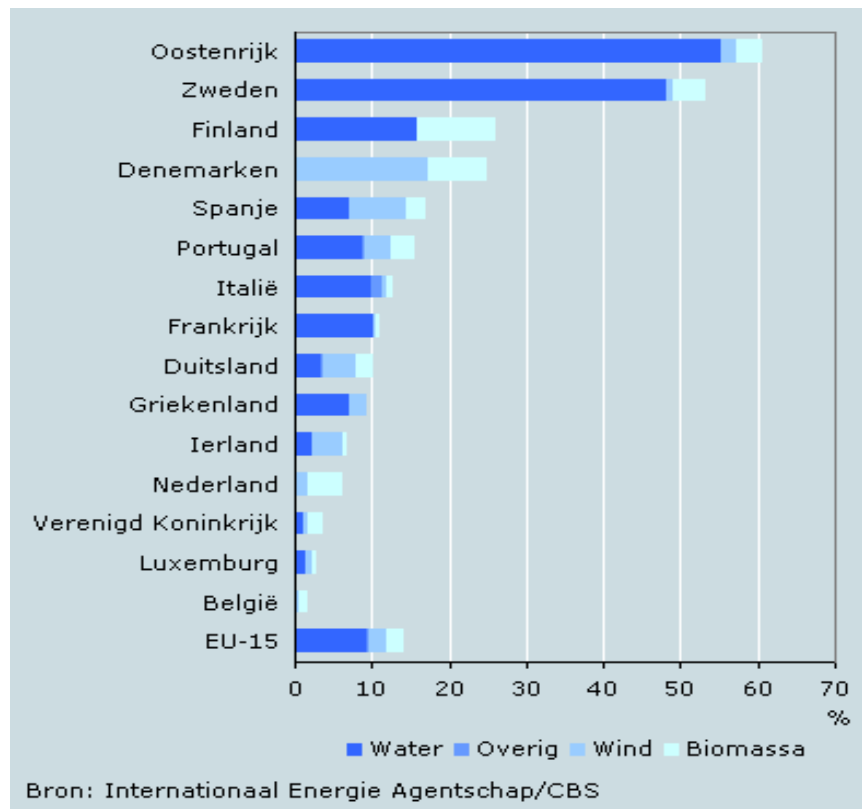
Ter verduidelijking, omgevingsenergie is energie die direct opgewekt wordt uit de aarde of de lucht. Een voorbeeld hiervan is de warmtepomp. Onder energie uit water valt niet alleen waterkracht maar ook de energieopwekking uit de elektrochemische spanning tussen zout en zoet water (KNAW 2007). Deze vormen van energieopwekking hebben elk voor- en nadelen. De discussie over welke vorm van duurzame energie de beste oplossing biedt binnen de energietransitie zal in dit onderzoek niet worden behandeld. De in de volgende paragraaf

behandelde potentie van biomassa demonstreert dat biomassa wel genoeg potentie heeft om een belangrijk aandeel binnen de transitie te hebben.

De Nederlandse duurzame energieproductie is, zoals te zien is in figuur 3.1, in vergelijking met andere Europese landen laag. Gezien de oppervlakte van Nederland en de kleinere energiemarkt is dat ook te verwachten. Toch is het aandeel duurzame energie in het totale verbruik ook lager dan in de meeste EU-15 landen, zie figuur 3.2. In de inleiding van deze scriptie is al aandacht besteed aan de beperkte mogelijkheden voor sommige vormen van duurzame energie in Nederland. Toch kan zeker op het gebied van windenergie en biomassa de productie sterk verhoogd worden (Eurostat 2007) (CBS 2007a).



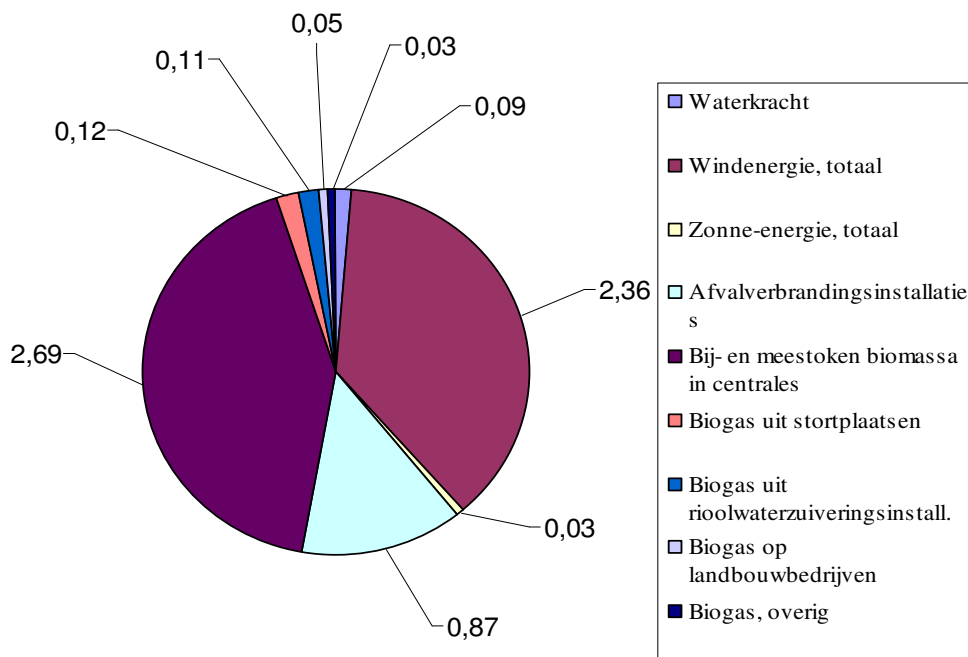
Figuur 3.1 Duurzame energieproductie in Nederland en omliggende EU landen.
Bron: Eurostat (2007).



Figuur 3.2 Aandeel duurzame energieproductie in 2005, weergegeven als percentage van totaal verbruik per land.

Bron: CBS 2006

In figuur 3.3 is de huidige duurzame energieproductie weergegeven als aandeel van het totale binnenlands verbruik. Hierbij is de import van duurzame energie niet vermeld. In 2006 bedroeg de import van duurzame energie in Nederland 7,8 %. Deze energie werd voornamelijk opgewekt uit waterkracht en biomassa (CBS 2007a).



Figuur 3.3 Nederlandse duurzame energieproductie in 2006, weergegeven in percentage van het totale verbruik van Nederland.
Bron CBS (2007)

3.3 Energie uit biomassa

In deze paragraaf zal specifiek gekeken worden naar biomassa als duurzame energiebron.

Woods en Hall (1994) definiëren biomassa als:

“All forms of plant derived material that is part of a short carbon cycle, thus excluding fossilised material”.

De in paragraaf 2.1 genoemde fotosynthese en koolstofkringloop vormen de basis van de duurzame energie productie uit biomassa. De in planten vastgelegde CO₂ komt vrij tijdens het verbranden van biomassa of de uit biomassa gewonnen energiedragers, zoals methaangas of ethanol. Vervolgens wordt deze CO₂ weer vastgelegd in nieuwe planten. Door deel uit te maken van deze kringloop is energie uit biomassa CO₂ neutraal (Broek 2000).

De menselijke behoefte aan energie werd voor de industriële revolutie geheel gedekt door biomassa, voornamelijk door hout. De ontwikkeling van goedkopere fossiele brandstoffen hebben de positie van biomassa als primaire energiebron langzamerhand verdrongen.

Biomassa vervult tegenwoordig 13 % van de wereld energiebehoefte (Bain et al. 1998). De verschillen tussen landen zijn erg groot: 90 % in ontwikkelingslanden als Uganda en Tanzania, 45 % in India en slechts 4 % in de VS (Rosillo-Calle et al. 2000). Biomassa voorziet voornamelijk in de behoefte aan warmte. Een aanzienlijk deel van de mensen in ontwikkelingslanden kookt op hout en andere droge biomassa.

De negatieve effecten van fossiele brandstoffen zijn in hoofdstuk 2 behandeld en geven aanleiding tot een herwaardering van biomassa als energiebron. Daarnaast kan biomassa een rol spelen in het halen van de Kyoto-doelstelling om de uitstoot van broeikasgassen te beperken.

Biomassa kan door de volgende energieketens gebruikt worden in de energievoorziening (McKendry 2002):

1. Het gebruik van gewassen (bijvoorbeeld: palmolie, zonnebloemen, koolzaad, suikerbieten en energiemaïs¹¹) voor vloeibare biobrandstof productie, zowel biodiesel als ethanol.
2. Het gebruik van droge biomassa producten (cellulosegewassen en residuen) voor thermische chemische omzetting (vergassing, verbranden).
3. Het gebruik van natte biomassa producten (bijvoorbeeld: energiemaïs en suikerbieten) voor anaërobe vergisting (waarbij methaangas ontstaat)

De EU landen streven er naar om in 2010 5,75 % van de transportbrandstof uit biomassa te halen. Het huidige aandeel biobrandstoffen in Nederland bedraagt ongeveer 2 % (Europees Parlement, Europese Raad 2003).

Biomassa is in te delen naar watergehalte, als natte (>50 procent water) en droge (<50 procent water) biomassa¹² (KNAW 2007). De droge biomassa kan verbrand worden in een simpel houtvuur of in een moderne installatie. De manier van verbranding is uiterst belangrijk voor de hoeveelheid energie die het oplevert en de hoeveelheid as die overblijft. Droge biomassa speelt momenteel de belangrijkste rol in de energieopwekking uit biomassa. Het bijstoken in kolencentrales, door het verbranden van hout of andere droge plantenresten, geeft in Nederland de grootste bijdrage aan biomassa energie (CBS 2007a)

Natte biomassa wordt beperkt gebruikt voor de energievoorziening. In Nederland werd in 2006 0,3 % van de energievraag opgewekt door biomassavergistingscentrales. Hierbij gaat het voornamelijk om boeren die mest vergisten (CBS 2007a). In hoofdstuk 4 zal de vergisting van natte biomassa uitgebreider behandeld worden.

Beschikbaarheid van grond en de productie van energiegewassen

De ontwikkeling van biomassa als energiebron is afhankelijk van de beschikbaarheid van grond en de productie van energiegewassen. Dit staat los van de keuze voor energieomzetting. Daarom zal in deze paragraaf de beschikbaarheid van grond voor energielandbouw of energiebosbouw worden behandeld.

Novem heeft onderzoek verricht, genaamd GRAIN, waarin studies naar de wereldwijde beschikbaarheid van grond voor de productie van energiegewassen worden samengevat. Afhankelijk van de beschikbaarheid van grond is in het GRAIN onderzoek de mogelijke energieproductie uit biomassa bepaald¹³. In bijlage 1 is een overzicht van de uitkomsten van het GRAIN onderzoek te zien. De grootste energiebijdrage kan komen uit energielandbouw, zie categorie I in bijlage 1 (Novem 2000).

¹¹ Energiemaïs verschilt van andere maïs soorten. Energiemaïs wordt groter en groeit langer, dit resulteert in een hogere opbrengst per hectare.

¹² Dit is een ruwe indeling, zoals beschreven door het KNAW (KNAW 2007, p. 69)

¹³ Bij het bepalen van de invloed van deze variabelen is er van uitgegaan dat voedselproductie voorrang heeft op de teelt van energiegewassen. Deze voorrang is gebaseerd op financiële, beleidsmatige en ethische kwesties. Energiegewassen telen terwijl grote groepen mensen honger leiden wordt door verschillende maatschappelijke organisaties en overheden gezien als onethisch (KNAW 2007).

De bijdrage van de energielandbouw is echter erg onzeker. De productie van de energiegewassen is afhankelijk van een aantal variabelen, die moeilijk in te schatten zijn. Deze variabelen zijn (Novem 2000) (KNAW 2007):

- bevolkingstoename, de gemiddelde voedingssamenstelling en economische ontwikkeling
- intensiviteit en productiviteit van het systeem van de voedselproductie wereldwijd en de snelheid waarmee dit systeem zich ontwikkelt, in het bijzonder in ontwikkelingslanden
- de haalbaarheid van het gebruik van marginaal/uitgeputte landbouwgrond
- productiviteit van bossen en de duurzame hout opbrengsten uit deze bossen
- toename van het gebruik van biologische materialen.

Het is mogelijk dat sommige variabelen de beschikbaarheid van grond voor energieteelt beperken. Toch is de verwachting dat er genoeg grond beschikbaar is voor de teelt van energiegewassen. Bij een beperkte invloed van de genoemde variabelen op de beschikbaarheid van grond voor energieteelt, betekent dat de huidige wereldwijde energievraag van 450 EJ¹⁴ per jaar, geheel uit biomassa opgewekt kan worden (Novem 2000) (KNAW 2007).

Voor deze scriptie naar biomassavergisting is het van belang om een kanttekening te plaatsen bij de uitgevoerde analyse in het GRAIN onderzoek. Bij de berekening van de energieproductie wordt uitgegaan van energiegewassen zoals Wilgen, Eucalyptus, Miscanthus¹⁵. Hierbij wordt uitgegaan van een productie per hectare van 8-12 ton ovdroge biomassa. De Nederlandse productie van energie gewassen voor biomassavergisting verschilt nogal van deze soorten. Energiemaïs is het meest geteelde gewas met de meeste potentie voor vergisting (De Boerderij, 9-05-2006). Bij energiemaïs is een opbrengt tussen de 70 en 80 ton maïs per hectare te verwachten¹⁶. Dit komt overeen met 21 tot 24 ton ovdroge biomassa per hectare, uitgaande van een vochtpercentage van 70 %¹⁷. (Boerderij, 9-05-2006) (Kloosterman 2007).

De Nederlandse beschikbaarheid van grond voor energiegewassen is afhankelijk van dezelfde variabelen als de wereld beschikbaarheid van grond, maar er zijn enkele verschillen. Het aantal marginale/uitgeputte gronden in Nederland is zeer gering. Verder is de bevolkingssamenstelling en de gemiddelde voedingsbehoefte binnen Nederland niet direct van invloed op de voedselproductie. Nederland produceert meer dan nodig is voor de voeding van haar eigen bevolking. De internationale handelspositie van de Nederlandse landbouwsector bepaalt daarom voor een groot deel de behoefte aan grond voor de Nederlandse landbouw. Immers wanneer er een grote vraag is naar bijvoorbeeld Nederlandse aardappels dan zal er meer geproduceerd worden en dus meer grond nodig zijn.

Daarnaast is er door overheidssteun aan boeren de productie van een deel van de agrarische producten losgekoppeld van de marktprijs. Hierdoor wordt er meer geproduceerd dan er gevraagd wordt op de markt. De overheidssteun heeft daardoor een invloed op de beschikbaarheid van

¹⁴ EJ staat voor exajoule ofwel 10¹⁸ Joule.

¹⁵ Miscanthus is een grassoort, de bekendste soort is olifantegras.

¹⁶ De 70 ton per hectare is een schatting uit het vaktijdschrift 'Boerderij' (9-05-2006). Het is mogelijk om een productie van 80 ton per hectare te halen. Dit was de gemiddelde opbrengst per hectare van de bezochte vergistingscentrale die in de casestudie in hoofdstuk 4 beschreven zal worden.

¹⁷ Voor vergisting is een hoog vochtgehalte gunstig. Droge biomassa kan niet vergist worden zonder dat er water toegevoegd wordt. Bij verbranding of vergassing van biomassa is vocht nadelig voor de verbranding (BECO groep 2007).

grond. De EU bepaalt de inkomenssteun aan boeren. Om te komen tot een vermindering van het productie overschot wordt er vanuit de EU subsidie gegeven aan boeren die grond braak leggen¹⁸. De EU verwacht dat de boeren teveel blijven produceren. Om dit te beperken is de doelstelling van de EU in 2010 12 % van de landbouwgrond in de EU-15 landen braak te leggen (Kavalov 2004). Deze grond zou aangewend kunnen worden voor de teelt van energiegewassen. Het toestaan van de productie van zogenaamde non-food/non-feed¹⁹ producten op braakpercelen is al opgenomen binnen het EU beleid van braaklegging (DLV 2007) (Rienks et al. 2005).

Wanneer 12 % van de totale Nederlandse landbouwgrond (32000 km²) gebruikt wordt voor de teelt van energiegewassen, is dat ongeveer 3800 km² ²⁰(LEI 2007). Uitgaande van de eerder genoemde opbrengst van 70 tot 80 ton energiemaïs per hectare, betekent dit een productie tussen 26 en 30 miljoen ton energiemaïs per jaar²¹.

Het is echter ook mogelijk dat andere non-food/non-feed producten op deze braak liggende percelen verbouwd gaan worden. Bijvoorbeeld het verbouwen van energiegewassen voor het produceren van biobrandstof. Daarnaast kunnen vezelgewassen als Hennep verbouwd worden. De productie van energiegewassen voor vergisting zal moeten concurreren met deze gewassen. Binnen dit onderzoek zal daarom getracht worden de economische potentie van biomassavergisting te verduidelijken.

¹⁸ Braak leggen houdt in dat er geen gewassen worden geteeld voor een jaar of langer.

¹⁹ Voedingsgewassen of van gewassen die dienen als veevoer.

²⁰ Bij het gebruik van braak percelen geldt niet dat een perceel elk jaar braak ligt. Een boer kan elk jaar een ander perceel braak leggen. Dit is gewenst/noodzakelijk voor de productie van energiemaïs omdat het een gewas betreft dat de grondkwaliteit niet verbetert. Hierdoor kan er op een perceel niet elk jaar maïs verbouwd worden (Hammink 2005).

²¹ Deze schatting houdt geen rekening met de kwaliteit van de grond. Het is daardoor de maximale productie.

Hoofdstuk 4: Biomassavergisting

Dit hoofdstuk zal als eerste kijken naar de werking van biomassavergisting en hoe in een biomassavergistingscentrale energie opgewekt kan worden. Daarna zal gekeken worden op welk schaalniveau biomassavergistingscentrales het beste duurzame energie kunnen produceren. De potentie van biomassavergisting wordt hierbij ook verduidelijkt. De nadruk zal liggen op het vergisten van energiegewassen, maar ook andere bio-energiebronnen worden besproken. Aan het einde van dit hoofdstuk wordt een casestudie van een maïsvergistingcentrale besproken.

4.1 Werking van biomassavergisting

Uit biomassa kan door anaërobe vergisting methaangas gewonnen worden. De omzetting van biomassa naar methaangas gebeurt in vier stappen (Biogas-E vzw 2007) (Pol 1984) (Huissteden 2007):

1. Hydrolyse, waar complexe organische moleculen afgebroken worden in: eenvoudige suikers, alcoholen, aminozuren en vetzuren.
2. Fermentatie of zuurvorming, is de opsplitsing in eenvoudiger moleculen. Dit zijn vluchtige vetzuren, zoals: mierenzuur, melkzuur, boterzuur en propionzuur. Hierbij komt er alcohol, waterstof, en CO₂ vrij.
3. Acetogenese, de vluchtige vetzuren worden omgezet in acetaat, waterstofgas en carbonaat.
4. De laatste stap is methanogenese, waarin acetaat, waterstofgas en carbonaat worden omgezet in methaangas en CO₂.

Bij deze stappen spelen verschillende soorten bacteriën een rol. Deze bacteriën komen in de natuur voor. Ze vermenigvuldigen zich snel als er genoeg voedsel is, zoals in een vergistingsinstallatie. Naast voedsel zijn de condities in de vergister zoals de zuurgraad en de temperatuur van belang voor de bacteriële ontwikkeling en de gasproductie (Biogas-E vzw 2007).

Na de vergisting van biomassa blijven er naast de verschillende gassen ook vaste reststoffen over, de zogenaamde digestaat. Deze vaste reststoffen bevatten voornamelijk mineralen zoals fosfaat, calcium, kalium en magnesium en overgebleven organische stoffen, zoals lignine.

Het uiteindelijke gasmengsel dat uit een vergister komt bestaat uit methaangas, CO₂, zwavel, waterstofsulfide, waterdamp en enkele sporen van andere gassen. Om bruikbaar biogas²² te verkrijgen moet de zwavel, waterstofsulfide en waterdamp verwijderd worden. Er blijft gezuiverde biogas²³ over, dat bestaat uit 2/3 methaan, 1/3 koolstofdioxide en sporen van andere gassen. Om de energie uit biogas te krijgen moet het verbrand worden. Bij een volledige verbranding ontstaat er CO₂ en H₂O (Biogas-E vzw 2007) (BECO groep 2007).

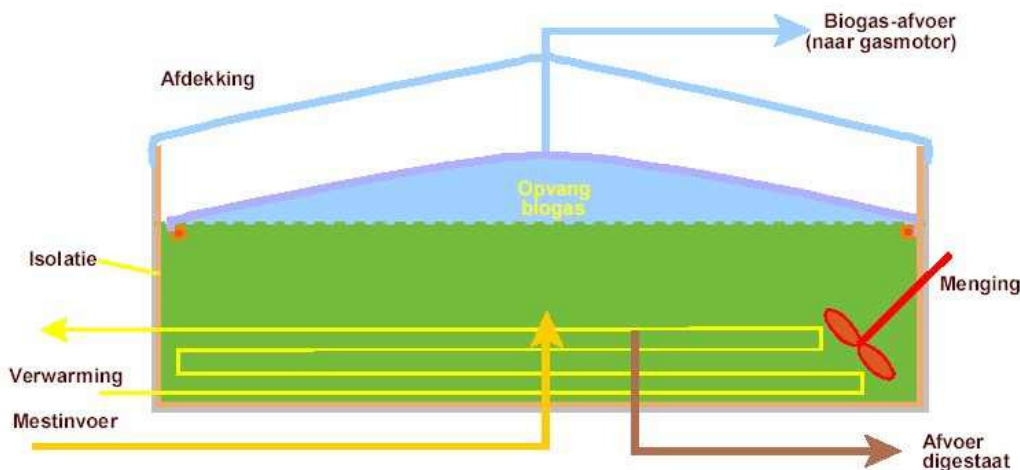
²² Naam voor de groep gassen uit een biomassavergister die in samenstelling overeenkomen met aardgas.

²³ Dit is nog steeds niet zo zuiver als aardgas en kan daarom niet geleverd worden aan consumenten via het aardgasnet.

Voor de invoer van een vergistingsinstallatie kunnen veel soorten biomassa gebruikt worden. De meest gebruikte bronnen voor biomassavergisting in Nederland zijn: gft-afval, mest, rioolslib, landbouw producten, resten van de voedingsmiddelen industrie en stortvuil.

Biomassavergisting is, ondanks dat het een natuurlijk proces is, goed te controleren. In figuur 4.1 is een voorbeeld gegeven van een vergister gebaseerd op mest invoer. Bij vergisting van maïs en andere energiegewassen is geen verwarming nodig in de vergistingstank. Bij deze installaties wordt meestal een navergister²⁴ gebruikt, deze moet wel verwarmd worden.

De verblijftijd van biomassa ligt tussen de 25 en 60 dagen, hierna is de biomassa volledig omgezet in biogas en digestaat (Bijman 2005). De verblijftijd verschilt per soort biomassa. Mest verblijft korter in een vergister dan energiegewassen omdat het gedeeltelijk al verteerd is. De invoer van biomassa en de afvoer van gas en digestaat is een continu proces. De hoeveelheid biomassa en de temperatuur zijn de belangrijkste manieren om het proces te beïnvloeden (Biogas-E vzw 2007) (Huissteden 2007).



Figuur 4.1 Voorbeeld vergister met mestinvoer. Bron: DLV 2007

4.2 Historische ontwikkeling biomassavergistingscentrales

De eerste biomassavergistingscentrales

In de jaren zeventig kwam in Nederland biomassa vergisting in de belangstelling. Stankoverlast in de intensieve veehouderij vormde een groot probleem waarvoor een oplossing gezocht moest worden. Daarnaast werd er, door de energiecrisis, gezocht naar nieuwe manieren om energie op te wekken.

Er werd een Europees onderzoeksprogramma opgezet. Onder leiding van het IMAG (Instituut voor Milieu en Agritechniek) werden er omstreeks 1980 twintig biogasinstallaties gebouwd bij boerderijen. Hierbij ging het om onderzoek naar de potentiële gasopbrengsten uit verschillende mestsoorten en de samenstelling van digestaat. Ook werd er gekeken naar verschillende technische

²⁴ Nadat een deel van de biomassa is vergist wordt het uit de eerste vergister gepompt in de verwarmde navergister om zo het meeste biogas uit de biomassa te halen.

systemen die destijds op de markt waren. Er bleken al snel technische problemen te zijn. De meeste projecten werden al na enkele jaren stopgezet. De daling van de energieprijzen, betekende ook een daling van de inkomsten uit de geleverde energie. Hierdoor waren nieuwe investeringen niet meer rendabel. In Denemarken en Duitsland bleven de vergistinginstallaties wel bestaan en ging de ontwikkeling verder. De reden voor het blijven bestaan van vergistingsinstallatie in Denemarken was omdat er veel samengewerkt werd met de voedingsindustrie. Deze industrie gebruikte vergisting om haar afval nuttig te verwerken. In Duitsland werden er veelal kleinschalige, simpele en goedkope vergisters bij boerderijen gebouwd. Hierbij ging het voornamelijk om de vermindering van stank²⁵ en de betere mestkwaliteit na vergisting. De energieproductie was niet zozeer van belang. (Krieg & Fischer Ingenieure 2007) (North sea Bioenergy 2007).

De nieuwe generatie biomassavergistingscentrales

De aanleidingen voor de energietransitie zijn in hoofdstuk 2 behandeld. Voor de veehouderijsector zijn stankproblemen nog steeds actueel²⁶. De technische problemen uit de jaren '80 zijn nu grotendeels opgelost. Enkele voorbeelden hiervan zijn (Krieg & Fischer Ingenieure 2007):

- Vereenvoudigde gasreiniging: biologische ontzwaveling door het bijmengen van lucht aan het biogas waardoor zwavelminnende bacteriën het zeer corrosieve zwavelwaterstof kunnen omzetten in zwavel en water.
- Goedkope gasmeters: ontwikkeling van goedkope, (draagbare) analyse apparatuur om methaan, zuurstof en zwavelwaterstof te meten. Hierdoor kan er beter gelet worden op de kwaliteit en kunnen er vervolgens aanpassing gedaan worden aan het vergistingsproces.
- Speciale biogasmotoren: de nieuwste generatie gasmotoren met een rendement van circa 40 %.
- De ontwikkeling van energiegewassen: er zijn nieuwe soorten maïs ontwikkeld met grotere opbrengsten per hectare.
- Bewezen techniek: er is de laatste jaren veel ervaring opgebouwd (vooral in Duitsland) met de bouw van vergisters, aangepaste roerwerken, gasopslag en gasmotoren op biogas.

De hernieuwde interesse van Nederlandse boeren in biomassa vergisting is mede ingegeven door de ontwikkeling van centrales in Duitsland.

Binnen de nieuwe generatie biomassavergistingscentrales wordt er door Mulder (2004) op basis van de locatie onderscheidt gemaakt tussen twee type centrales.

Een centrale opgezet bij een boerderij. Dit kan een veehouder zijn die mest vergist en hierbij mogelijk andere biomassa toevoegt, dit wordt een co-vergistingsinstallatie genoemd. Of een akkerbouwer die energiegewassen teelt, om deze vervolgens in zijn eigen installatie te vergisten.

Een biomassavergistingscentrale op een industrieterrein. Deze centrales worden opgezet door een investeerder of een groep investeerders. De biomassa wordt hierbij niet zelf geproduceerd maar gekocht van agrariërs.

²⁵ In Duitsland was het landbouw beleid anders dan in Nederland. In Nederland werd de stank problematiek aangepakt via het landbouwbeleid. Er werden andere stallen gebouwd en er kwam wetgeving voor het uitrijden van mest.

²⁶ Door schaalvergroting komen agrarische bedrijfspanden vrij voor andere functies, zoals wonen. Het brengt mensen, zonder agrarische achtergrond, in direct contact met de veehouderij en met de stank, dit kan conflicten opleveren (Telos 2000).

4.3 Schaalniveau biomassavergisting

In deze paragraaf zal als eerste uit de bestaande literatuur de maximale omvang van een biomassavergistingscentrale (verder aangeduid als bvc) worden bepaald. Daarna zullen de economische theorieën van schaal worden behandeld. Hieruit volgen een aantal kernthema's die behandeld zullen worden in de daaropvolgende paragrafen.

Onderzoeksafbakening

Het aantal onderzoeken naar de omvang van biomassacentrales is beperkt. De KEMA (Fleuren et al. 2005) heeft een onderzoek uitgevoerd naar mogelijkheid van een 1000 MW²⁷ biomassacentrale. In dit onderzoek is er gekeken naar de manier van energieopwekking uit biomassa. Hierbij kwam de optie van biomassavergisting ook aan de orde. Geconcludeerd wordt dat vergisting op een schaal van 1000 MW geen geschikte manier van energieproductie uit biomassa is. Om genoeg biomassa te vergisten voor een centrale met een vermogen van 1000 MW zouden er erg veel vergisters gebouwd moeten worden. De centrale zou praktisch gezien niet in Nederland gebouwd kunnen worden (Fleuren et al. 2005). Uitgegaan wordt van een maximaal vermogen van 4 MW voor een bvc.

De bijdrage van biomassavergisting aan duurzame energieproductie moet daarom komen uit meerdere kleine centrales. SenterNovem noemt een maximale omvang van een bvc van 50 MW (SenterNovem 2007a). Een bvc van 50 MW is nog nergens in de wereld gerealiseerd. Toch zou een dergelijk centrale in Nederland gerealiseerd kunnen worden. De moeilijkheden van een dergelijk project komen in dit onderzoek uitvoerig aan de orde.

De kleinste mogelijke centrale wordt nergens als zodanig beschreven. De kleinste installatie die gevonden is, had een vermogen van 37 kW²⁸ (Cogen Projects & Energieprojecten.com 2004).

Theorieën over schaal

De nieuwe generatie bvc's zijn nog in ontwikkeling. Het is daarom niet zinvol om een volledige en actuele kosten-batenanalyse uit te voeren voor bvc's. Voor dit onderzoek zal er daarom een inschatting gemaakt worden van schaalvoordelen van een centrale. Bij deze analyse bieden economische theorieën van schaal uitkomst. Belangrijke begrippen bij schaalniveaus zijn 'economy of scale' en 'diseconomy of scale' (Besanko et al. 2000, p. 72).

“The production process for a specific good or service exhibits economies of scale over a range of output when average cost (i.e., cost per unit of output) declines over that range. For average cost to decline as output increases, the marginal cost (i.e., the cost of the last unit produced) must be less than the overall average cost”.

“If average cost is increasing, then marginal cost must exceed average cost, and we say that production exhibits diseconomies of scale”.

In de huidige economie zie je veel ondernemingen fuseren of andere ondernemingen overnemen. De belangrijkste voordelen die hieruit behaald worden zijn: schaalvoordelen, de toegang tot

²⁷ Mega Watt of 1.000.000 Watt

²⁸ Kilo Watt

nieuwe technologieën, producten & diensten en (internationale) markten. Hierbij nemen kostenoverwegingen (schaalvoordelen) dikwijls een dominante positie in. In de literatuur over biomassa, wordt er gesproken over schaalvoordelen. Zo wordt in het KEMA onderzoek naar de beschikbaarheid van grond, gesproken over schaalvoordelen. Wat deze schaalvoordelen zouden moeten zijn is echter onduidelijk.

Er ook nadelen aan grote ondernemingen. Bijvoorbeeld, grotere ondernemingen zijn doorgaans minder flexibel en ondoorzichtiger (Pindyck en Rubinfeld 2001).

De ontwikkeling van bvc's, zeker op het gebied van de vergisting van energiegewassen, is nog maar net begonnen. Tevens is de invloed van bvc's op de energieproductie, de economie en de maatschappij nog erg klein. Het is dan ook niet verwonderlijk dat in de literatuurstudie van dit onderzoek geen theoretische analyses zijn gevonden van de schaalvoordelen en -nadelen van bvc's.

Onderzoeksopzet

Het optimale schaalniveau van een bvc is het punt waarbij de schaalvoordelen van een grotere centrale niet meer opwegen tegen de schaalnadelen van een grotere centrale.

De bepaling van dit punt is echter zeer lastig omdat:

- Er een gebrek is aan empirisch onderzoek naar de exacte kosten en investeringen van biomassacentrales.
- Commerciële bvc's die als primair doel hebben duurzame energie te produceren, zijn nog maar enkele jaren in bedrijf.
- Er voortdurend nieuwe technieken worden ontwikkeld die grote impact hebben op de kosten en baten van bvc's.
- Het overheidsbeleid ten opzichte van duurzame energie en biomassa regelmatig verandert.
- De sociale omgeving van een bvc invloed heeft op het schaalniveau van bvc's. Verzet tegen de komst van een bepaald type centrale kan de ontwikkeling van dat type centrale beïnvloeden.

Daarom wordt in dit onderzoek gekeken naar factoren die de invloed van deze punten kunnen verduidelijken. Om tot een afweging van de optimale omvang van een bvc te komen zal gekeken worden naar volgende factoren:

- Overheidsbeleid
- Technische opties
- Management opzet
- Regelen van aanvoer van biomassa en verkoop van energie
- Sociale omgevingsinvloeden

Per factor zal de invloed op de operationele- en investeringskosten aan de orde komen. Het is helaas niet mogelijk gebleken om een exacte inschatting te maken van de kosten per eenheid product op basis van een bepaald schaalniveau van bvc's.

In de hierop volgende paragrafen zullen deze factoren behandeld worden.

4.4 Overheidsbeleid voor biomassavergistingencentrales

Het overheidsbeleid dat van invloed is op bvc's zal in deze paragraaf worden behandeld. Het gaat hierbij om de visie van de Nederlandse overheid op biomassa vergisting, het afval- en reststoffenbeleid, subsidies en vergunningen. Hierbij zal het gaan om de Nederlandse beleidssituatie voor bvc's. Aan het eind van deze paragraaf volgt een korte conclusie over de invloed van het besproken overheidsbeleid op het schaalniveau van bvc's

Nederlands beleid voor biomassa

Voor het promoten van biomassa als energiebron heeft het ministerie van Economische zaken in 2003 een actieplan opgesteld. De titel van dit actieplan luidt: 'Biomass Action Plan: working together on bio-energy'. In dit actieplan wordt de wens uitgesproken om biomassa verder te ontwikkelen. Opvallend is dat er een maximale energieproductie uit biomassavergisting van 6 PJ²⁹ wordt genoemd (Ministerie van Economische Zaken 2003a). De huidige productie overstijgt dit maximum al met 2 PJ (CBS 2007a). Voor dit onderzoek zijn de geïdentificeerde knelpunten voor de ontwikkeling van biomassa in het actieplan van belang. Een aantal van de in het actieplan genoemde knelpunten zijn de laatste jaren opgelost, deze worden dan ook niet vermeld. De actuele knelpunten zijn (Ministerie van Economische Zaken 2003a):

- De onzekerheid over de hoogte en looptijd van duurzame energiesubsidies.
- Te lange planprocedure en vergunningstrajecten.
- Gebrek aan kennis en deskundigheid bij overheidsorganen.
- Het beleid voor co-vergisting is niet in overeenstemming met het mestbeleid.
- Het afval en reststoffenbeleid wordt niet goed gehandhaafd waardoor er veel (biomassa) resten, die voor energieopwekking gebruikt kunnen worden, verloren gaan.
- Er zijn veel verschillende technologieën om energie uit biomassa te halen. Hierdoor is de keuze van technologie voor ondernemers en investeerders erg lastig.
- Onduidelijkheid over de duurzaamheid van energie uit biomassa.
- Een gebrekkige biomassamarkt.
- Er is geen zogenaamd 'level playing field' binnen de EU³⁰.
- Geen kwaliteitskeurmerk voor de verschillende soorten biomassa.

Sommige van deze knelpunten zullen ook naar voren komen in het vervolg van dit hoofdstuk.

Een onderdeel van het biomassa actieplan is 'biomassa 2040'. Hierin wordt door het ministerie van Economische Zaken in samenwerking met andere ministeries, bedrijven en milieu organisaties een visie gegeven op de rol van op biomassa in 2040. In deze visie over de energieproductie in 2040 zijn de knelpunten uit het biomassa actieplan opgelost. De betrokken partijen zullen zich inzetten om de visie werkelijkheid te laten worden (Ministerie van Economische Zaken 2003b).

Het is opvallend dat de Nederlandse overheden weinig aandacht hebben voor energieteelt in Nederland. De sterke aandacht voor mest of co-vergisting werkt nadelig voor vergistingencentrales die alleen energiegewassen vergisten. Beleidsmakers gaan er vanuit, dat een vergistingsinstallatie

²⁹ PJ: petajoule, of 1 000 000 000 000 000 joule (een 1 met 15 nullen)

³⁰ De regelgeving en subsidies verschillen in de EU landen onderling. Hierdoor is er geen eerlijke concurrentie en uitwisseling van grondstoffen mogelijk tussen biomassacentrales in verschillende landen.

mest moet vergisten, een ander type centrale is bij hen onbekend. Hierdoor kan het moeilijk zijn de juiste vergunningen te krijgen. Een voorbeeld hiervan is de afhandeling van de digestaat.

Afval- en mestbeleid

Het beleid voor digestaat is erg ingewikkeld, omdat het niet aangepast is op biomassavergisting. Binnen Nederland geldt mestwetgeving die betrekking heeft op mineralen (nitraat en fosfaat) die in de landbouw sector omgaan. Bij een co-vergister moet de helft van de hoeveelheid ingevoerde biomassa bestaan uit mest. Wanneer een co-vergister ook biomassa (zoals maïs) gebruikt, geldt alle digestaat als mest. Deze ingevoerde biomassa mag alleen vergist worden als het op de positieve lijst van het ministerie van Landbouw Natuur en Visserij (LNV) staat. Op deze lijst staan de meest gebruikte gewassen en restproducten voor vergisting beschreven (SenterNovem 2007c) (Infomil 2005).

De situatie van bvc's die alleen energiegewassen vergisten is bijzonder. Bij de als eerste opgezette centrales viel de digestaat van de maïsvergister niet onder de mestwet omdat er bij de vergisting geen mest werd ingevoerd, het was immers geen co-vergister. Hierdoor viel de digestaat onder de afvalstoffenwet. Dit zou betekenen dat de digestaat als afval verwerkt zou moeten worden. Dit vormt een dergelijke hoge kosten post, dat een bvc financieel niet haalbaar meer is. Door een ontheffing van het ministerie van LNV, valt de digestaat niet onder de afvalwetgeving. Ontheffing betekent dat eigenlijk alles gedaan mag worden met de digestaat. Het kan goed gebruikt worden voor bemesting van de energiegewassen.

Er wordt gewerkt aan een nieuwe mestwetgeving die waarschijnlijk in 2008 in werking zal treden. Hierin zal de afhandeling van de digestaat waarschijnlijk opgenomen worden. Hierdoor zal de huidige opmerkelijk positie van bvc verdwijnen.

De invloed van de nieuwe mestwet op het schaalniveau van bvc's is lastig te voorspellen. Stel dat een bvc al haar digestaat moet afvoeren als mest, volgens de regels van de huidige wetgeving. Dit zou tot gevolg hebben dat een uitgebreide stikstof en fosfaat registratie bijgehouden moet worden. Daarnaast zou een bvc genoeg landbouwgrond moeten hebben voor het verspreiden van digestaat, of dit via contracten met agrariërs moeten regelen. Akkerbouwers die een centrale beginnen om voornamelijk eigen energiegewassen te vergisten, hebben waarschijnlijk genoeg grond om de digestaat te verspreiden. Voor centrales die opgezet zijn om alleen ingekochte energiegewassen te vergisten zou het betekenen dat er regelingen getroffen moeten worden om de digestaat af te voeren. Dit brengt kosten met zich mee (Infomil 2005).

Subsidies

Naast de afval- en mestwetgeving spelen ook verschillende vormen van subsidies een rol op de grootte van bvc's.

Een regeling die in een grote invloed heeft gehad op de ontwikkeling van biomassavergisting in Nederland is de MEP (milieukwaliteit elektriciteitsproductie) regeling. De MEP subsidie is bedoeld voor het produceren van duurzame elektriciteit en voor producenten van elektriciteit uit warmtekrachtkoppeling (wkk)³¹. Producenten van duurzame elektriciteit of exploitanten van een wkk-installatie krijgen jaarlijks subsidie gekoppeld aan hun productie in kWh. Na toekenning van de MEP wordt er 10 jaar lang subsidie verleend. De toegekende subsidie verschilt per energiebron

³¹ Dit is een installatie om elektriciteit op te wekken uit warmte.

en is gebaseerd op basis van een berekening van de zogenaamde onrendabele top (ministerie van Economische Zaken 2006) (ministerie van Economische Zaken 2007b).

In 2006 is de MEP regeling stopgezet. De reden hiervoor was dat de doelstellingen van het kabinet Balkenende 3³² gehaald werden door de tot dan toe gesubsidieerde projecten. Het kabinet had als doelstelling om 9 % van de elektrische energieopwekking duurzaam te produceren in 2010. Verder werden de kosten te hoog door het grote succes van de regeling (E kwadraat 2005). Een aantal agrariërs kwam door deze plotselinge stopzetting in de problemen. Ze waren te laat met het aanvragen van de MEP subsidie maar hadden al wel kosten gemaakt in de planning van een (co-)vergistingcentrales. Aan deze groep agrariërs is tegemoet gekomen. Hierbij is het interessant om op te merken dat deze tijdelijk MEP regeling bedoeld was voor bvc's met een maximaal vermogen van 2 MW.

Er komt een vervolg op van de MEP regeling. De ministerraad heeft op 13 juli 2007 ingestemd met het 'Ontwerpbesluit stimulering duurzame energieproductie' (SDE). De SDE regeling zal naar verwachting in 2008 in werking treden. Een verschil met de MEP is dat het niet alleen zal gaan om subsidiëren van elektrische energieopwekking maar ook om duurzaam biogas. De hoogte van de SDE subsidie zal afhangen van de markt prijs van energie (SenterNovem 2007b). De nadruk van de SDE zal liggen op kosteneffectiviteit, duurzaamheid, evenwichtige ontwikkeling van een duurzaam energieaanbod en het stimuleren van innovatieve ontwikkelingen met een goed lange termijn perspectief. Het is lastig om de invloed van de SDE op het schaalniveau van bvc's in te schatten. Wanneer er gekeken wordt naar de economische theorieën van schaal dan is het waarschijnlijk dat grotere bvc's het meest kosteneffectief zijn. Wanneer de nadruk op kosteneffectiviteit ligt dan zullen deze centrales in verhouding misschien meer steun krijgen dan kleinere centrales. De huidige capaciteitsgrens voor MEP subsidie bedraagt 50MW. Dit wordt in de SDE waarschijnlijk verlaagd omdat nu geen enkele duurzame energiecentrale deze capaciteit haalt. Een verlaging zou betekenen dat grote centrales minder aantrekkelijk zijn, omdat er minder subsidie wordt verleend als de centrale boven een bepaald productieniveau uitkomt. Echter wanneer de SDE, zoals de MEP subsidie, per kWh. wordt uitgekeerd zonder maximum dan is er geen effect op het schaalniveau.

Het onverwachts stopzetten van de MEP subsidie veroorzaakte onzekerheid bij investeerders in duurzame energie. De subsidiëring via de MEP was juist bedoeld om de investeringszekerheid te verhogen en het investeringsklimaat voor duurzame elektriciteitsopwekking te verbeteren. Voor de nieuwe SDE regeling is het dan ook van belang dat er zekerheid geboden wordt voor de langere termijn, ook na de huidige kabinetsperiode. De Duitse regeling (het Erneuerbare-Energie-Gestz) kan hierbij als voorbeeld dienen. Hierbij wordt overheidssteun toegezegd aan vergistingcentrales voor 20 jaar (SenterNovem 2007b) (Ministerie van Economische Zaken 2007b).

Naast subsidies bestaan er ook fiscale maatregelen om milieuvriendelijke maatregelen te stimuleren. De Energie-investeringsaftrek (EIA) is daar een voorbeeld van. Bij de EIA kan de ondernemer de kosten van een investering in een (co-)vergistingcentrale aftrekken van het ondernemersresultaat (winst voor belasting). Hierdoor hoeft de ondernemer minder belasting af te dragen.

³² Het kabinet Balkenende 3 heeft als doelstelling dat de elektriciteitsproductie voor 9 % in het jaar 2010 uit duurzame elektriciteit bestaat (Ministerie van Economische Zaken 2006).

Naast de EIA kan een ondernemer een zogenaamde “groen verklaring” aanvragen. Met deze “groen verklaring” kan tegen een lagere rente een hypotheek worden afgesloten bij verschillende banken. Dit is vooral aantrekkelijk voor bedrijven die zelf hun centrale willen financieren. Voor een investeerdersgroep is deze regeling niet van belang. Een investeerdersgroep heeft immers geen hypotheek nodig om een bvc te financieren.

Vergunningen en noodzakelijke onderzoeken

Om een bvc te kunnen realiseren zijn er vergunningen en onderzoeken nodig.

Een bouwvergunning is altijd vereist voor bvc's. De procedure van een bouwvergunning verschilt voor een kleine en grote centrales maar weinig.

Voordat er een bouwvergunning aangevraagd kan worden moet er een milieuvergunning worden afgegeven, door de gemeente als de er minder dan 36.000 ton biomassa wordt vergist en door de provincie als de centrale meer biomassa vergist. In deze milieuvergunning staan de voorschriften waaraan een inrichting dient te voldoen. Grotere centrales hebben meer impact op het landschap, daarom beslist de provincie hierover. Dit vereist een andere en langere vergunningsprocedure. Centrales die meer dan 36.000 ton biomassa vergisten vereisen dus een degelijke juridische onderbouwing (degelijker dan kleinere centrales). Er moeten duidelijk voordelen zijn om aan een grotere centrale te bouwen om de grens van 36.000 ton biomassa te overschrijden (Infomil 2005).

De impact op de omgeving van een bvc moet in sommige gevallen onderzocht worden in een Milieu Effect Rapportage (MER). Voor centrales die mest of andere afvalstoffen verwerken met een verwerkingscapaciteit groter dan 100 ton biomassa per dag moet er een MER opgesteld worden. Toch kan een provincie het nodig vinden dat er een MER wordt opgesteld bij een kleinere capaciteit (SenterNovem 2007b). Een vergister op die energiegewassen vergist is dus niet verplicht om een MER procedure te doorlopen.

Als de vergistinginstallatie niet binnen de bestaande bouwkegel valt, is een wijziging of ontheffing van het bestemmingsplan nodig. Daarnaast is er de Wet verontreiniging oppervlaktewateren maar deze is niet van invloed op de grootte van een centrale (DLV 2007) (DWA installatie- en energieadvies 2007).

Conclusie overheidsbeleid

De belangrijkste conclusies voor het schaalniveau van bvc's uit deze paragraaf zijn:

- De Nederlandse overheid heeft weinig aandacht voor de vergisting van energiegewassen.
- De huidige regelgeving is niet geschikt voor bvc's die alleen energiegewassen vergisten. Dit heeft de grootste gevolgen voor centrales die biomassa inkopen.
- De invloed van deze SDE regeling is vooralsnog moeilijk te voorspellen. Het kan zowel positief als negatief zijn voor de financiële situatie van zowel kleine als grote bvc's.
- De zekerheid die de SDE regeling biedt is van belang voor de potentiële ontwikkeling van biomassavergisting.
- De EIA is voordelig voor ondernemers omdat hierdoor de ondernemer minder belasting hoeft af te dragen.
- Een “groen verklaring” is vooral voordelig voor ondernemers die zelf hun centrale willen financieren.

- Er is onderscheid te maken tussen centrales die meer en minder dan 36.000 ton biomassa vergisten. Centrales die meer dan 36.000 ton biomassa vergisten vereisen een betere juridische onderbouwing dan kleinere centrales.
- Voor centrales die mest of andere afvalstoffen verwerken met een verwerkingscapaciteit groter dan 100 ton biomassa per dag moet er een MER opgesteld worden. Maar ook kleinere centrales kunnen een MER nodig hebben.
- De beschrijving van een locatie in het bestemmingsplan en de grote van een centrale heeft invloed op de noodzaak voor een wijziging of ontheffing van het bestemmingsplan.

4.5 Keuze voor elektriciteit, restwarmte of gas

Deze paragraaf kijkt naar de keuze van energiedrager en mogelijke technische oplossingen die bij kunnen dragen aan de productie van deze energiedragers. Aan het einde van deze paragraaf volgt een korte conclusie over de invloed van de keuze van energiedragers op het schaalniveau van bvc's

De meeste bvc's in Nederland produceren elektriciteit. De efficiëntie van de energieomzetting is hierbij maar 40 %. De overige 60 % van de energie uit biogas komt vrij als warmte. Een deel hiervan (meestal rond de 15 % van de totale energie in biogas) wordt gebruikt voor de navergisters, de rest wordt in het milieu geloosd (Platform Nieuw Gas 2007).

Dit rendement kan vergroot worden door warmtekrachtkoppeling. Hierbij wordt de restwarmte gebruikt om elektrische energie op te wekken. Dergelijke installaties worden echter nog niet gebruikt bij bvc's. Het is onduidelijk wanneer deze techniek wel toepasbaar zal zijn. Een grotere centrale zal waarschijnlijk sneller deze techniek kunnen toepassen. Bij de toepassing van nieuwe technieken zijn het vaak grotere bedrijven, die de financiële risico's kunnen dragen van een dergelijke innovatie.

Een andere mogelijkheid om het rendement van een centrale te verhogen is door de restwarmte te leveren aan bedrijven of woonwijken in de omgeving. Bij sommige installaties wordt restwarmte gebruikt voor de opwarming van het woonhuis of melk voor de kalfjes op een veebedrijf.

Er is echter nog een ander mogelijkheid om het rendement van bvc's te verhogen. Het leveren van biogas aan het aardgasnetwerk zou een betere benutting zijn van de energie uit biogas. Dit is echter lastig vanwege de lagere kwaliteit van het biogas. Zelfs na de eerder genoemde zuivering van zwavel en water is biogas nog niet geschikt voor het aardgasnet. De energiewaarde is te laag omdat er andere gassen inzitten. Het belangrijkste is dat CO₂ uit het biogas verwijderd dient te worden. Naast CO₂ moeten er ook enkele andere gassen³³ verwijderd worden. Na zuivering wordt biogas groen gas genoemd. (Platform Nieuw Gas 2007).

Tot voor kort waren er geen betaalbare installaties beschikbaar voor de reiniging van biogas bij boerderijen. Daarnaast subsidieert de MEP alleen duurzame elektriciteitsproductie, geen gas. De techniek voor kleinschalige vergistingcentrales heeft zich de laatste jaren snel ontwikkeld, er zijn nu betaalbare opties om biogas om te zetten naar groen gas dat via het aardgasnetwerk verkocht

³³ Het betreft hier gassen zoals siloxanen, organisch actief materiaal, chloor en zwavel (Platform Nieuw Gas 2007).

kan worden. In tabel 4.1 is een overzicht gegeven van de technieken die CO₂ verwijderen³⁴. Het is interessant om de toepasbaarheid op de capaciteit van elk type biogaszuiveraar te bekijken. Deze capaciteit komt ongeveer overeen met de verdeling van bvc's in:

- installaties die biomassa vergister naast de normale bedrijfsvoering
- akkerbouwerbedrijven die alleen energie produceren
- groot opgezette centrales door investeerdersgroepen.

Bij geschiktheid gaat het om de investeringskosten en de operationele kosten in verhouding tot de huidige opbrengst van biomassavergisting (Platform Nieuw Gas 2007).

Techniek voor biogasopwaarderding	Geschiktheid bij capaciteit (m ³ per uur)			Voor/na-behandeling	Methaan-verlies	Overige opmerkingen
	< 500	500 – 2000	> 2000			
Gaswassing Vloeistof neemt CO ₂	ja	ja	ja	veel	laag	Bij wassing met chemische vloeistof
Membraanfiltratie Afscheiding CO ₂ door membraan	ja	ja	nee	minder	hoog	Eenvoudig toepasbaar, kwaliteit daalt in de tijd
PSA (pressure swing absorption) Actieve kool absorbeert CO ₂	ja, vanaf 200m ³	ja	ja	weinig	middel	Verwijdert tevens deels eventueel aanwezige N ₂ en O ₂
Cryogene techniek Afscheiding vloeibare CO ₂	ja	ja	ja	weinig	laag	Vloeibare CO ₂ voor hergebruik geschikt

Tabel 4.1 De toepasbaarheid van technieken voor biogasopwaarderding.

Bron: Platform Nieuw Gas 2007.

Er wordt onder andere door het TNO gewerkt aan technologie om biogas op boerderij niveau op te waarden naar aardgaskwaliteit. Deze installatie wordt ontwikkeld voor een schaalgrootte van 25 tot 300 m³ biogas per uur. De doelstelling hierbij is dat de installatie minder gaat kosten dan een gasmotor met generator (Platform Nieuw Gas 2007).

Conclusie

Het rendement van de huidige bvc's is redelijk laag. Er zijn echter technische optie om de elektriciteitsproductie van deze centrales te verhogen. Dergelijke installatie zullen waarschijnlijk vooral voor grotere centrales rendabel zijn.

Het produceren van groen gas is een aantrekkelijke optie die waarschijnlijk over een aantal veelvuldig toegepast zal worden. De ontwikkeling van kleine installaties die biogas reinigen maakt het voor kleine bvc's ook een aantrekkelijk om groen gas te produceren en te verkopen via het aardgasnet.

³⁴ Om de andere gassen te verwijderen zijn andere technieken maar hiervan is geen overzicht beschikbaar.

4.6 Ondernemer of investeerder met manager

Deze paragraaf kijkt naar de keuzes van een investering- en managementstructuur en de invloed hiervan op het schaalniveau van bvc's.

Een bvc kan opgezet worden door een groep investeerders. Dergelijke centrales zijn meestal groter dan centrales die door een individuele agrariër wordt opgezet. Dit hoeft echter niet het geval te zijn. Ook agrariërs of een groep agrariërs kunnen een grote centrale opzetten. Als het gaat om een centrale op een industrieterrein is het echter waarschijnlijk, dat het wordt gebouwd door een investerdersgroep. De investeringskosten zijn dermate hoog dat het onwaarschijnlijk is dat een ondernemer een dergelijk centrale wil opzetten.

De omvang van een onderneming heeft invloed op de bedrijfsvoering. Bij de bouw van een bvc door een investerdersgroep, nemen de investeerders vaak het initiatief een bvc te beginnen. Na de bouw wordt een manager aangesteld de bvc te leiden.

Voor de bouw van een kleine vergistingsinstallaties bij een boerderij, hoeft geen investeerder van buiten het bedrijf aangetrokken te worden. Het initiatief voor dergelijke projecten ligt vaak bij de agrariër zelf. Het is ook praktisch dat de agrariër zelf de regie in handen heeft. Een manager aanstellen is voor een kleine centrale niet nodig.

Er is geen duidelijke grens vast te stellen tussen een centrale met een managementstructuur en een centrale gemanaged door een zelfstandige ondernemer. De variabelen die deze grens beïnvloeden zijn:

- De doelstelling van de bvc's kan verschillen. Wordt er gestreefd naar een optimale vergisting dan zullen regelmatig aanpassingen gedaan moeten worden aan de vergisters. Dit vereist continue controle. Echter een vergistingsinstallatie met een goed geautomatiseerd productiesysteem, heeft weinig controle en aanpassing nodig. Het rendement kan wel lager worden door het niet tijdig signaleren van bijvoorbeeld een te hoge zuurgraad.
- Bij een grotere centrale gaat het om een aanzienlijke investering. Niet alle agrarische bedrijven beschikken over dergelijke middelen.
- Daarnaast moet een agrariër die geïnteresseerd is in een bvc ook beschikken over de wil om risico's te lopen en een zekere ondernemingsgeest hebben.

Aan elke management- en investeringsopzet zijn nadelen verbonden. Zoals bij een opzet waarbij een groep investeerders een centrale bouwt en een agrariër de dagelijkse leiding heeft. De baten en lasten moeten dan verdeeld worden over meerdere partijen. Een agrariër die samenwerkt met een groep investeerders moet zich verdiepen in hoe baten en lasten verdeeld worden. Bij fouten in een dergelijke constructie zal het project niet slagen. Als de productie wordt stilgelegd heeft de agrariër een installatie op zijn erf.

Nadelen van een opzet waarbij de agrariër alles zelf financiert en leidt is de werkdruk. Zeker wanneer er gestreefd wordt naar een optimale vergisting kan vergt het veel van de ondernemer.

Conclusie

Kleinere centrales worden opgezet door een agrariër of een groep agrariërs. Hoe groter het schaalniveau van een bvc, des te groter de kans, dat deze wordt opgezet door een investeerdersgroep. Hierbij is er een manager nodig, dit kan een agrariër zijn. De afspraken moeten in een dergelijke structuur duidelijk vastgelegd worden om problemen te voorkomen.

4.7 Externe contacten

In de vorige paragraaf is de bedrijfsvoering gedeeltelijk behandeld. Hierbij is nog geen aandacht besteed aan de basis waarop energiegewassen geteeld worden of andere biomassastromen geleverd worden. Daarnaast is de energieverkoop nog niet behandeld. Deze zaken zijn van belang bij het bepalen van de optimale omvang van bvc's.

Biomassa levering

Energiegewassen kunnen worden ingekocht, zelf geteeld of een combinatie zijn van inkoop en eigen teelt. Bij kleine centrales gaat het meestal om eigen energieteelt of restproducten. Hoe groter een centrale is des te kleiner het aandeel eigen teelt in de energieproducten.

Wanneer een centrale opgestart of gemanaged wordt door een groep agrariërs is het van belang duidelijke afspraken te maken over de levering van biomassa. Industriële centrales vereisen een professionelere opzet om de aanvoer van energiegewassen en andere biomassa te garanderen. De leveringszekerheid is hierbij van groot belang.

Ter indicatie van de hoeveel biomassa die nodig is voor de productie van energie in een bvc, is hier een kort overzicht gegeven van energiemais.

In Nederland ligt de opbrengst van energiemais rond de 70 ton per hectare per jaar. 70 ton energiemais komt overeen met ongeveer 21 ton drogestof³⁵ op (Meijering 2006) (Oppewal 2006). 21 ton drogestof levert in de huidige centrales met een rendement van 40% ongeveer 25.000 kWh op. Een grote industriële centrale met bijvoorbeeld een vermogen van 5 MW vergist per jaar ongeveer 100.000 ton energiemais, hiervoor is ongeveer 1500 hectare aan energiemais nodig (Meijering 2006) (Oppewal 2006) (Kloosterman Biogas 2006). Om de levering van biomassa aan een dergelijke centrale te garanderen, moet een groot aantal leveringscontracten afgesloten worden.

Energieverkoop

De energie die opgewekt is uit de biomassa moet verkocht worden op de energiemarkt. De Nederlandse energiemarkt is geliberaliseerd in 1998. Daarvoor was de productie en verkoop in handen van de rijksoverheid. De liberalisering van de energiemarkt biedt de producenten van duurzame energie de mogelijkheid te leveren aan de door hen uitgekozen energiebedrijven.

De huidige energiemarkt is gunstig voor duurzame energieproducenten. De productie van energie en het gebruik ervan zijn in Nederland niet met elkaar in evenwicht. Nederland heeft een te lage elektriciteitsproductie capaciteit. Daarom wordt een deel van de energie geïmporteerd uit het buitenland. Hiervan is een deel (7,8 %) duurzame energie (CBS 2007a). Er is dus volop ruimte

³⁵ Energiegewassen verschillen in de hoeveelheid water die ze bevatten. Daarom wordt er gerekend met het drogestof gehalte.

voor Nederlandse producenten om duurzame energie te verkopen³⁶. Ook de vraag naar groene stroom geeft de duurzame energieproducenten in Nederland een betere marktpositie.

Voor de verkoop van duurzame energie kan een constante levering van energie voordelig zijn. Het ontbreken van constante productie, bijvoorbeeld windmolens, geldt ook voor kleinere bvc's. Deze zijn vaak niet in staat om 24 uur per dag energie te leveren. Grotere centrales hebben hierbij het voordeel van constante levering (ECN 2004).

Voor de verkoop van groen gas is nog geen markt opgezet. Sommige energiebedrijven bieden consumenten al wel groen gas aan. Het gaat hierbij echter om aardgas waarvan het gebruik gecompenseerd wordt door de aanplant van bomen en/of het beschermen van bestaande bossen (Greenchoice 2007). De discussie of het aanplanten van bomen, aardgas duurzaam maakt zal hier niet worden gevoerd. Het biedt echter een goede mogelijkheid om groen gas uit biomassavergisting te verkopen als duurzame energie. De consument is al bekend met de term groen gas. Overheidssubsidie kan hieraan bijdragen, net zoals bij de vraag naar groene stroom. Groen gas zou hierdoor even duur zijn als aardgas. Net zoals bij elektriciteitsproductie is het beter om als grote centrale gas te verkopen vanwege continue levering. Daarnaast kunnen grotere centrales een constantere gaskwaliteit garanderen. Dit komt onder ander omdat grotere centrales meerdere vergisters hebben met elk een unieke bacteriekolonie. Daarnaast is de kwaliteit van de biomassa constanter, omdat grotere hoeveelheden energiegewassen van meerdere percelen gemengd worden ingevoerd in de vergister

Conclusie

De leveringszekerheid van biomassa aan een centrale wordt kleiner hoe groter de centrale is. Vanwege het grote aantal agrariërs waarvan biomassa ingekocht moet worden zijn duidelijke afspraken en contracten bij grote centrales extra belangrijk.

Grotere centrales hebben bij de levering van elektriciteit en gas een voordeel. Ze kunnen continue energie leveren van constantere gaskwaliteit.

4.8 Sociale en maatschappelijke omgeving

De interactie tussen de initiatiefnemers van een project voor biomassavergisting en de sociale omgeving varieert tussen de verschillende schaalniveaus.

Binnen de vergunningsprocedures voor een bvc is altijd een bezwaarprocedure opgenomen. Voor bvc's die geplant zijn op een industrieterrein, is de relatie met de directe omgeving waarschijnlijk geen beperkende factor voor de omvang van een centrale. Bij de locatie van de in deze paragraaf besproken bvc's wordt er vanuit gegaan dat het hierbij gaat om een landelijke omgeving.

Verandering in de omgeving is voor sommige omwonenden redenen bezwaar te maken tegen de komst van de bvc.

Het verzet tegen een bvc kan verklaard worden door te kijken naar het zogenaamde nimby gedrag. Nimby staat voor Not in my back yard (niet in mijn achter tuin) (Van der Moolen en Voogd 1995). Er zijn mensen die positieve denken over duurzame energie, maar niet zelf in de buurt van een

³⁶ Hierbij wordt verondersteld dat het voor energiebedrijven voordeliger is om binnenlandse productie in te kopen.

centrale willen wonen. Een duidelijk voorbeeld hiervan is het verzet van omwonende tegen windmolens. Dergelijke voorbeelden van bvc's zijn er maar weinig. Toch was er verzet op Texel tegen de bouw van een co-vergistinginstallatie bij een loonwerker en veehouderij bedrijf. De bezwaren kwamen onder ander van de werkgroep 'Landschapszorg'. De bezwaarmakers vinden dat mestvergisting een industriële activiteit is. Daarom hoort de installatie op een industrieterrein thuis. Daarnaast is men bang voor een grote toename van het aantal verkeersbewegingen. De groepen vinden dat de installatie het bestaande open weidelandschap op Texel beschadigd. Ook bestaat er angst voor stankoverlast, als gevolg van de mest die vanaf het vaste land zal worden aangevoerd.

De initiatiefnemers van het project brengen als tegenargument, dat de mest door vergisting geen ziektekiemen meer bevat. Daarnaast wordt de stikstof na vergisting beter opgenomen door de planten en stinkt het minder (Cosas Verdes 2005).

De unieke situatie op Texel en het belang van de toeristische sector kan opwegen tegen de voordelen van een dergelijke centrale. Een kleinere centrale zou hierbij handiger kunnen zijn. Een kleinere centrale heeft immers geen aanvoer van het vaste land nodig en veroorzaakt minder verkeersoverlast.

De weerstand tegen een bvc heeft te maken met zowel rationele als irrationele bezwaren. De meeste argumenten tegen de komst van een bvc zijn irrationeel. Het gaat om de beeldvorming bij een bvc. In werkelijkheid zal de overlast zeer beperkt zijn. Toch is een toename van het aantal verkeersbewegingen vanwege de benodigde aanvoer van biomassa te verwachten. Het zal echter waarschijnlijk alleen voor overlast zorgen als het om erg grote centrales gaat, die honderden hectares maïs nodig hebben.

Stank overlast wordt vooral van mestvergistinginstallaties verwacht. Bij een goede bedrijfsvoering ontsnapt er echter geen methaangas of ammoniak en is er van stankhinder dus geen sprake. Bij veehouderijbedrijven vermindert de stank juist door een mest vergistinginstallatie.

Ook geluidsoverlast komt nauwelijks voor. Centrales kunnen gebouwd worden met geluidswerende materialen, die vooral het geluid van de motoren en generatoren reduceerde tot een aanvaardbaar minimum.

Horizonvervuiling of een vermindering van de landschapskwaliteit zal in de meeste gevallen beperkt zijn. De omvang van de centrale bij een boerderij is beperkt en heeft dezelfde impact op het landschap als de boerderij zonder installatie zou hebben (Mulder 2004). Grotere centrales met een groot aantal vergisters (voor zover deze niet op een industrieterrein worden gebouwd) kunnen wel zorgen voor horizonvervuiling of een vermindering van de landschapskwaliteit.

Op het gebied van veiligheid zijn er weinig risico's voor omwonenden. Er wordt op het bedrijf maar een geringe hoeveelheid gas opgeslagen en er zijn door de overheid strenge veiligheidseisen gesteld.

Kortom met uitzondering van een toename van het verkeer, zijn de risico's en hinder van bvc uiterst beperkt.

Kleine bvc's die bij bestaande agrarische bedrijven gebouwd worden, beïnvloeden de bestaande agrarische functie niet. Het zal gaan om het vergisten van mest, restproducten en een geringe hoeveelheid energiegewassen. In de meeste gevallen zullen omwonende niet echt iets merken van de aanwezigheid van deze centrale.

Grotere centrales hebben meer invloed op hun omgeving. Een dergelijke centrale betekent verandering van agrarisch bedrijf naar energiebedrijf. Toch is de overlast van een dergelijke

centrale beperkt wanneer de installatie aan de huidige milieueisen voldoet, zoals voldoende geluid isolatie.

Centrales die opgezet zijn door investeerders van buiten de regio, zijn opgezet buiten de sociale omgeving van omwonenden. Hiermee wordt bedoeld dat kleinere centrales opgezet worden door een agrariër uit de directe omgeving met meestal meer interactie met de omwonenden. De fysieke omvang van grote bvc veroorzaakt waarschijnlijk het meeste nimby gedrag. De bezwaren zullen bij de planning van deze centrales dan ook het grootst zijn. Deze kunnen echter gedeeltelijk voorkomen worden door goed te communiceren met omwonenden (Van der Moolen en Voogd 1995).

Conclusie

Het aantal bezwaren tegen de komst van een bvc is naar verwachting beperkt. Grotere centrales hebben meer impact op het landschap. Tegen de komst van deze centrales zal naar verwachting de meeste bezwaren komen van omwonenden. Deze kunnen echter gedeeltelijk voorkomen worden.

4.9 Case studie

In de voorgaande paragrafen zijn de verschillende factoren onderzocht die van belang zijn bij het bepalen van het optimale schaalniveau van bvc's. In deze paragrafen wordt een casestudie uitgevoerd naar een maïsvergistingscentrale. De factoren komen hierbij opnieuw aan de orde.

Beschrijving van de centrale

Figuur 4.2 is een luchtfoto van de bezochte centrale. Dit is een foto van genomen tijdens de bouw van de centrale, de vergisters zijn hierin al wel voltooid maar de opslag voor de maïs nog niet. Deze opslag bevindt zich aan boven kant en links van de vergisters op de foto.



Figuur 4.2 Foto van de bezochte centrale van de heer Kloosterman.
Bron: Kloosterman Biogas (2007)

De bezochte centrale ligt in het buitengebied van het Drentse Nieuweroord. Het project is opgezet door de familie Kloosterman. De maïsvergisteringsinstallatie heeft een capaciteit van 1,7MW. Dit levert 13 miljoen kilowatt energie per jaar op, dat overeenkomt met het totale elektriciteitsverbruik van ± 4000 huishoudens. Op jaarbasis wordt er ± 36.000 ton maïs vergist. Deze maïs wordt deels door de agrariër zelf verbouwd op 200 ha³⁷, daarnaast wordt er ongeveer 300 – 400 ha maïs ingekocht, afhankelijk van de opbrengst. De elektrische energie wordt opgewekt met 2 motoren/generatoren. Verder bestaat de centrale uit (Kloosterman Biogas 2007):

- 3 vergisters, 18 meter doorsnee en 6 meter hoog
- 2 verwarmde navergisters, 28 meter doorsnee en 6 meter hoog
- 1 silo voor de eindopslag van digestaat, 35 meter doorsnede en 6 meter hoog
- Een hal voor de invoer van maïs en de huisvesting van de generatoren en overige apparatuur.

Opstartfase

De heer Kloosterman had enkele jaren geleden al bvc's in Zuid-Duitsland en Oostenrijk bezocht. Volgens hem was de wetgeving in Nederland toen nog niet rijp voor de komst van bvc's. Toen de MEP subsidie kwam en zekerheid bood, is begonnen met de planning van de centrale. De centrale is uiteindelijk gebouwd door een Nederlandse aannemer maar naar Duits voorbeeld.

De centrale was de eerste Nederlandse vergister die uitsluitend energiemaïs verwerkt. Er wordt geen mest toegevoegd, zoals bij de andere centrales die tot dan toe gebouwd waren.

In augustus van 2006 ging de centrale in bedrijf. Drie maanden na het opstarten van de centrale behaalde de centrale haar volledige capaciteit. Deze opstarttijd heeft te maken met de groei van de verschillende soorten bacteriën.

Overheidsbeleid

De betrokken ambtenaren dachten dat het niet mogelijk was zonder mest een vergistingsinstallatie te laten werken. Er was geen expertise bij de gemeente en er werd ook niet naar centrales in het buitenland gekeken. Hierdoor was het moeilijk de juiste vergunningen te verkrijgen.

De capaciteit van de centrale werd aangepast op de maximaal toegestane invoer van 36.000 ton biomassa. Overigens vond de heer Kloosterman het aanhouden van een hoeveelheid biomassa geen goede maatstaaf om de capaciteit van een centrale mee te bepalen. De keuze van de soort biomassa heeft een zeer grote invloed op het vermogen van de bvc. Een centrale die alleen mest vergist produceert 10 keer minder gas dan een centrale op maïs.

De bijzondere situatie van de bvc met betrekking tot de digestaat kwam aan de orde tijdens het interview met de heer Kloosterman. Er was, en nog steeds is, geen beleid voor een vergister zonder mestinvoer.

De heer Kloosterman kon echter een ontheffing regelen op basis van het argument dat het digestaat geen mest is omdat het niet door een dier verteerd wordt. De digestaat wordt nu gebruikt voor het bemesten van de eigen landbouwgrond, hierdoor is geen dierlijke mest meer nodig. Een gevolg van de ontheffing is echter, dat de centrale nu aangemerkt staat bij het ministerie van LNV als maïsvergister. Dit betekent dat alleen maïs vergist mag worden en geen andere gewassen of reststoffen, zelfs niet in kleine hoeveelheden.

³⁷ Hiervan is 120ha in eigen bezit en wordt er 80ha gehuurd van andere agrariërs.

Technische opties

De heer Kloosterman heeft twee gasmotoren met generator. Het rendement hiervan is 40 % de rest is warmte, die gedeeltelijk gebruikt wordt voor de verwarming van de twee navergisters. Wanneer er een betaalbare warmtekrachtkoppeling beschikbaar zou komen om restwarmte om te zetten in elektriciteit dan wordt deze direct aangeschaft. Daarnaast verwachtte hij dat over enkele jaren geen elektriciteit meer wordt opgewekt, maar dat het gas geleverd wordt aan het aardgasnet.

Management opzet

De centrale wordt door de eigenaar en familie gemanaged. Vooral het bijstellen van de vergisters moet regelmatig gebeuren om de bacteriën optimale condities te bieden. Het is vooral een probleem de zuurgraad in de vergisters op pijl te houden.

Ook de opzet van de maïsvergister heeft de eigenaar zelf onderzocht en laten bouwen. De totale investeringskosten waren rond de 5 miljoen euro (Oppewal 2006). Met de hulp van een bank is het project gefinancierd. Onduidelijk is of dit gedaan is met een “groen verklaring”. Het is opmerkelijk dat de centrale op deze manier gefinancierd is. Het is dan ook de vraag of alle agrarische bedrijven beschikken over dergelijke middelen. Daarnaast moet een agrariër ook beschikken over de wil om risico's te lopen en een zekere ondernemingsgeest hebben. De heer Kloosterman heeft duidelijk risico gelopen in het opzetten van de centrale in de huidige vorm.

SenterNovem (2005) vermeld in een artikel op haar internetsite het project van de familie Kloosterman. Uit het artikel kwam het volgende naar voren:

Er is in Nederland nog geen ervaring met maïsvergisting. Daarnaast is er onvoldoende kennis over de teelt van energimaïs op lange termijn. Het gaat om een demonstratieproject.³⁸ Aan het project zijn voor de maatschap³⁹ grote technische en financiële risico's verbonden. De haalbaarheid moet zich nog in de praktijk bewijzen. Om een hoog rendement te halen uit de vergistingsinstallatie moet in de praktijk kennis opgedaan worden. Daarnaast is er nog weinig specialistische kennis over de teelt van energimaïs. Het dient als stimulatieproject om andere agrarische ondernemers te overtuigen ook met duurzame energieproductie te beginnen⁴⁰. Deze omschrijving geeft een beeld van de ondernemersgeest van de familie Kloosterman.

Daarnaast kwam in het interview naar voren dat de heer Kloosterman alles in eigen beheer wilde hebben. Dit geldt natuurlijk niet voor elke agrariër. De heer Kloosterman vertelde dat een aantal projecten bij hem in de beurt niet slaagden mede door de structuur van investeerder en manager. Hij vond een dergelijk opzet dan ook riskant.

Regelen van aanvoer van maïs en de afzet van energie

De heer Kloosterman kreeg regelmatig vragen van energiebedrijven voor de levering van energie. Hij verkoopt de energie dit jaar aan een energiemaatschappij uit het westen van Nederland. De belangstelling van energiebedrijven duurzame energie af te nemen had mede te maken met de omvang van de productie in zijn centrale. Daarnaast wordt de continue levering van duurzame energie door energiemaatschappijen als een voordeel gezien.

³⁸ Dat het een demonstratieproject betreft, is niet naar voren gekomen tijdens het interview dat gehouden is voor dit onderzoek. Deze vermelding zou te maken kunnen hebben met de toekenning van subsidie door SenterNovem. SenterNovem regelt in opdracht van het ministerie van EZ subsidie voor demonstratie projecten op het gebied van duurzame energie (SenterNovem 2007)

³⁹ Het bedrijf is een familie maatschap.

⁴⁰ Ook dit is niet naar voren gekomen tijdens het interview. Wel waren er regelmatig geïnteresseerden op bezoek, of het hierbij ging om agrariërs die een maïsvergistingscentrale wilden beginnen is onduidelijk.

De heer Kloosterman heeft gekozen zoveel mogelijk zelf maïs te telen op eigen of gepachte grond. Toch werd het grootste deel van de maïs ingekocht. Hij had hiervoor een mondelinge⁴¹ afspraak gemaakt met een handelaar. Deze handelaar kocht bij een groot aantal agrarische bedrijven energimaïs. De familie Kloosterman heeft besloten de aanvoer van maïs uit te besteden, omdat het teveel werk zou betekenen. Toch hadden ze met een paar agrariërs een contract om energimaïs te leveren. Opvallend is dat de meeste maïs niet uit de directe omgeving van de centrale kwam. Tot 30 km afstand werd er maïs aangevoerd.

Relatie met de omgeving

De agrariërs uit de omgeving hadden geen belangstelling om, zoals de heer Kloosterman het noemde, aan een collega boer te verkopen. Hij doelde hierbij op culturele en sociale factoren. Voor aanvraag van de bouwvergunning heeft de heer Kloosterman een informatiebijeenkomst gehouden om zijn de plannen toe te lichten. Hierdoor waren er waarschijnlijk geen bezwaren van omwonenden.

Conclusie

De bezochte centrale is een grote bvc. Zeker als je kijkt naar de benodigde investeringen dan is het opmerkelijk dat de centrale door een ondernemer is opgezet. Het is dan waarschijnlijk ook de maximale schaalomvang van een bvc die opgezet kan worden door een individuele ondernemer. De problemen die de heer Kloosterman tegen kwam zijn voorbeelden van de in de voorgaande paragrafen behandelde zaken. Vooral de moeilijkheden met het overheidsbeleid en met ambtenaren zijn belangrijk voor dit onderzoek. Het geeft aan dat de Nederlandse overheid tot nog toe eerder een beperkende rol dan een stimulerende rol hebben gespeeld in de ontwikkeling van bvc. Alleen de MEP subsidie heeft positief bijgedragen aan de ontwikkeling van de bvc.

⁴¹ De heer Kloosterman vond contracten niet dwingend en daardoor niet bijzonder nuttig.

Hoofdstuk 5: Conclusie

Dit hoofdstuk behandelt het antwoord op de in dit onderzoek centraal staande vraag:

Wat is de beste opzet en grootte, gebaseerd op kostenvoordelen en maatschappelijke wenselijkheid, van een biomassavergistingscentrale om duurzame energie op te wekken?

In de zoektocht naar het antwoord op deze vraag, is er als eerste gekeken naar de achtergrond van de duurzame energie ontwikkeling. De achterliggende factoren zijn: het broeikaseffect, de daarmee samenhangend klimaatsverandering en de fossiele energie problematiek.

Bij het bestuderen van deze verschijnselen is gebleken dat het versterkte broeikaseffect veroorzaakt wordt door menselijk gedrag. Vooral de uitstoot van CO₂ uit fossiele brandstoffen draagt bij aan het opwarmen van de aarde. Deze opwarming veroorzaakt veranderingen in het klimaat. Dit zal vooral negatieve gevolgen hebben voor bewoners van kustgebieden. Door de verschuiving van klimaatszones kunnen de gevolgen ook voor de flora groot zijn. In het bijzonder zullen mensen in ontwikkelingslanden de negatieve gevolgen van klimaatsverandering ondervinden. Zij hebben niet de middelen om zich te beschermen tegen de verandering van het klimaat.

De huidige energieproductie in de wereld is voor het grootste deel gebaseerd op fossiele brandstoffen. Het gebruik van deze brandstoffen zal in deze eeuw beperkt moeten worden omdat de voorraden kleiner worden. Daarnaast zorgt een ongelijke geografische verdeling van de voorraden fossiele brandstoffen voor machtsverschillen, en daardoor voor conflicten tussen landen.

Er zijn een aantal opties om het versterkte broeikaseffect tegen te gaan. Het verminderen van het gebruik van, of het efficiënter omgaan met, fossiele brandstoffen, zijn de beste mogelijkheden om zowel het broeikaseffect als de fossiele energieproblematiek aan te pakken.

Duurzame energie biedt een alternatief voor fossiele energiebronnen. Energie uit biomassa kan een belangrijke rol spelen in de duurzame energieproductie.

Er bestaan verschillende technieken om energie op te wekken uit biomassa. In de meeste onderzoeken wordt er vanuit gegaan dat de verbranding of vergassing van droge biomassa de beste manier is om energie op te wekken in Nederland. De nadruk ligt hierbij op import van droge biomassa, omdat Nederland te weinig droge biomassa kan produceren

Dit onderzoek richt zich echter op biomassavergisting. Het probleem dat in dit onderzoek centraal staat is:

Het ontbreken van duidelijkheid over de definiëring, de potentie van biomassavergistingscentrales en een gebrek aan inzicht over het optimale schaalniveau van biomassavergistingscentrale.

Voor de productie van energiegewassen en de energieopwekking uit deze gewassen is er in Nederland potentie. Biomassavergisting biedt namelijk een aantal voordelen ten opzichte van andere vormen van energieopwekking uit biomassa. Het telen van droge biomassagewassen, zoals

wilgen, levert minder biomassa per hectare op dan natte biomassa, zoals energiewaai. Daarnaast is de Nederlandse landbouw gericht op de productie van dit soort natte biomassa gewassen. Tevens, is er behoefte aan een nieuw gewas voor akkerbouwers naast de huidige aardappels, bieten en granen. Het landbouwbeleid van de EU biedt de mogelijkheid om op braak gelegde percelen energiegewassen te telen. Dit kan in 2010, 3800 km² bedragen, waarop ongeveer 26 tot 30 miljoen ton energiewaai per jaar geteeld kan worden. Er is dus genoeg productiecapaciteit om de benodigde biomassa te produceren voor vergistingscentrales. Wel moet hierbij opgemerkt worden dat deze teelt afhankelijk is van de financiële aantrekkelijkheid van energiegewassen in verhouding tot andere gewassen.

Reststoffen, zoals mest, kunnen ook gebruikt worden voor energieopwekking uit biomassa. Veel van de huidige bvc's zijn mest- of co-vergistingscentrales. De vermindering van de luchtvervuiling is hierbij een belangrijk motief om een dergelijke centrale te bouwen. De productie van energie uit mest vergisting is echter beperkt. Het levert beduidend minder biogas op dan eenzelfde hoeveelheid energiegewas.

Centraal in dit onderzoek staat welk type centrale, in zowel omvang als opzet het beste past bij de ontwikkeling van biomassavergisting. De theorie over schaalvoordelen is moeilijk toe te passen op bvc's. Het ontbreekt aan informatie over de precieze kosten per eenheid productie van verschillende centrales. Wel wordt er in onderzoek naar energie opwekking uit biomassa vanuit gegaan dat grotere centrales lagere kosten per eenheid product hebben. Een onderbouwing hiervan ontbreekt echter. Toch is het aannemelijk dat er lagere kosten zijn per eenheid voor grotere bvc's. Dit is echter geen goede fundering voor een duidelijke afweging van de optimale schaalgrootte en opzet van bvc's. Daarom is er in dit onderzoek gekeken naar andere factoren. Het gaat hierbij om: overheidsbeleid, de keuze van energiedrager, ondernemersschap en financiering, de aan en afvoer van biomassa en de verkoop van energie en de invloed van de omgeving op bvc's. Daarnaast hebben deze factoren niet alleen invloed op het schaalniveau van bvc maar ook op de mogelijke ontwikkeling ervan. De invloed van deze factoren op bvc's wordt hieronder toegelicht. Hierbij is tevens de informatie uit de casestudie gebruikt.

Overheidsbeleid

Er zijn knelpunten die de ontwikkeling van biomassa beperken. Wel is er bereidheid bij de verschillende overheidsinstanties en andere betrokken partijen om deze knelpunten op te lossen. Het is opvallend dat de Nederlandse overheid biomassavergisting niet ziet als een belangrijke vorm van duurzame energie. Ook de aandacht voor energieteelt in Nederland is beperkt. Daarnaast ligt er een te sterke nadruk op mestvergisting.

Het beleid ten aanzien van digestaat is erg ingewikkeld. De huidige regelgeving is niet geschikt voor bvc's die alleen energiegewassen vergisten. In de nieuwe mestwetgeving zal de afhandeling van de digestaat waarschijnlijk opgenomen worden, hoe is echter onbekend. Wel is de verwachting dat de afvoer van digestaat in deze wet geregeld wordt en dus beperkingen oplegt aan bvc's. Dit heeft de grootste gevolgen voor centrales die biomassa inkopen omdat deze bedrijven niet over genoeg grond beschikken om de digestaat te verspreiden.

De problemen die de heer Kloosterman tegen kwam bij de planning van zijn centrale geven aan dat er onduidelijkheid en een gebrek aan wetgeving is voor bvc's. Het geeft aan dat de Nederlandse overheden tot nog toe eerder een beperkende rol dan een stimulerende rol hebben gespeeld in de

ontwikkeling van bvc. Eigenlijk heeft alleen de MEP subsidie positief bijgedragen aan de ontwikkeling van de bvc en zelfs daaraan valt in sommige gevallen te twijfelen. Hiermee wordt bedoeld dat het plotseling stopzetten van de MEP subsidie voor onzekerheid heeft gezorgd bij investeerders. Het vertrouwen in de financiële zekerheid die de overheid biedt aan duurzame energieproducenten is hierdoor beschadigd. De opvolger van de MEP zal de SDE regeling worden. De invloed van deze regeling op het schaalniveau van bvc's is nog moeilijk te voorspellen. Wanneer de opzet van de SDE hetzelfde is als de MEP regeling dan is er geen effect op het schaalniveau. Wel is de zekerheid die de SDE biedt van belang voor de potentiële ontwikkeling van biomassavergisting.

De EIA biedt voordelen voor ondernemers omdat hierdoor de ondernemer minder belasting hoeft af te dragen. Een "groen verklaring" is vooral van belang voor ondernemers die zelf hun centrale willen financieren. Het is goed mogelijk dat de familie Kloosterman ook een "groen verklaring" heeft aangevraagd om een hypotheek met een lagere rente af te kunnen sluiten.

Op basis van vergunningen kan er onderscheidt gemaakt worden tussen centrales die minder dan 36.000 ton biomassa vergisten en centrales die meer vergisten. De provincie moet bij de aanvraag van een milieuvergunning voor een bvc die meer dan 36.000 ton beslissen. Bij kleinere centrales is de gemeente bevoegd. De vergunningsprocedure bij de provincie vereisen een betere juridische onderbouwing dan bij de gemeente.

Technische opties

Het rendement van de huidige bvc's is redelijk laag. Er zijn echter technische opties om de elektriciteitsproductie van deze centrales te verhogen. Dergelijke installaties zullen waarschijnlijk vooral voor grotere centrales rendabel zijn.

Het produceren van groen gas is een aantrekkelijke optie, die waarschijnlijk over een aantal jaren veelvuldig toegepast zal worden. De heer Kloosterman verwacht binnen enkele jaren een efficiëntie vergrotende wkk-koppeling te hebben of groen gas te produceren.

De ontwikkeling van kleine installaties die biogas reinigen maakt het voor kleine bvc's ook aantrekkelijk om groen gas te produceren en te verkopen via het aardgasnet.

Management opzet

Kleinere centrales worden opgezet door een agrariër of een groep agrariërs. Hoe groter het schaalniveau van een bvc, des te groter de kans dat deze wordt opgezet door een investeerdersgroep. Hierbij is er een manager nodig, afhankelijk van de locatie en de omvang van de centrale, meestal zal dit een agrariër zijn. De afspraken moeten in een dergelijke structuur duidelijk vastgelegd worden om problemen te voorkomen. De familie Kloosterman heeft hun centrale geheel zelf opgezet. Hierbij hebben ze grote financiële risico's gelopen. De manier waarop de centrale tot stand is gekomen laat zien hoe belangrijk ondernemersgeest kan zijn voor een project. Hoeveel centrales er op een dergelijke manier worden opgezet is echter onzeker, niet elke agrariër wil zoveel risico lopen.

De aan en afvoer van biomassa en de verkoop van energie

De leveringszekerheid van kleine centrales wordt bepaald door de eigen productie van energiegewassen en de beschikbaarheid van restproducten. Een grotere centrales is afhankelijker van de aanvoer van biomassa van buiten het bedrijf.

Vanwege het grote aantal agrariërs waarvan biomassa ingekocht moet worden zijn duidelijke afspraken en contracten bij grote centrales extra belangrijk. De familie Kloosterman heeft gekozen weinig contracten met agrariërs aan te gaan, een handelaar regelde de aanvoer van energiemaïs. Grotere centrales hebben bij de levering van elektriciteit en gas een voordeel. Ze kunnen constant energie leveren. Daarnaast kunnen ze, als ze groen gas produceren, een constantere kwaliteit groen gas leveren.

Sociale omgevingsinvloeden

Het aantal bezwaren tegen de komst van een bvc is naar verwachting beperkt. Grotere centrales hebben meer impact op het landschap. Tegen de komst van deze centrales zal naar verwachting de meeste bezwaren komen van omwonenden. Hierbij gaat het vooral om erg grote centrales, in een landelijke omgeving, die opgezet zijn door een investeerdersgroep. Het aantal bezwaren kan echter verminderd worden door goede communicatie met omwonenden. Het houden van een informatiebijeenkomst is hiervan een voorbeeld.

De reactie van collega agrariërs op de komst van de bvc van de familie Kloosterman was opvallend. Ze hadden geen belangstelling om energiemaïs te leveren, ook niet tegen gunstige voorwaarden.

Het is nu mogelijk om onderscheid te maken tussen de volgende vier type bvc's. Dit onderscheid is gebaseerd op opzet, soort biomassa en locatie. Hierbij is geen sprake van een strikte scheiding in capaciteit tussen de verschillende type centrales. De volgorde waarin ze vermeldt staan geeft echter wel de omvang van de centrale aan, in vergelijking met de andere type centrales.

Type 1 Bvc's kleinschalig in opzet. Deze centrales bieden een aanvulling op het inkomen van agrarische ondernemer. Dit type centrale wordt ook wel een co-vergister genoemd. De vergisting van mest, afkomstig van het eigen bedrijf, is een belangrijke reden om de installatie te bouwen. Het is bij centrales ook mogelijk dat meerder boeren samen een installatie bouwen. De energieproductie staat niet centraal. Het rendement van een centrale die restproducten vergist is veel lager dan van een centrale die energiegewassen vergist.

Type 2 Bvc's die opgezet zijn om als primair inkomen te dienen van een agrarische ondernemer of ondernemers. Het gaat hierbij om zoveel mogelijk energie op te wekken tegen zo laag mogelijke kosten. Van reststoffen uit het eigenbedrijf is geen sprake. De centrale vergist energiegewassen, die zelf geteeld worden. Daarnaast kunnen er energiegewassen ingekocht worden om te vergisten. De huidige regels staan de toevoeging van andere biomassa-soorten of andere gewassen niet toe. Het is te verwachten dat in de toekomst andere biomassa wordt toegevoegd, maar geen mest. Ook hierbij kan het gaan om een samenwerkingsverband van agrariërs die samen energiegewassen telen. De hoeveelheid biomassa die ingevoerd kan worden zal in de meeste gevallen maximaal 36.000 ton bedragen. Dit komt door de huidige regelgeving en de beperkte financiële middelen. De centrale van de familie Kloosterman is een type 2 bvc.

Type 3 Bvc's die opgezet zijn door een investeringsgroep. De centrales worden bij een bestaande boerderij gebouwd. Er worden geen eigen energiegewassen geteeld maar alle biomassa wordt ingekocht. Het doel van deze bvc is om een zo groot mogelijk rendement voor haar investeerders te halen. De invoer van reststoffen is mogelijk maar dit zal, omdat dit weinig energie oplevert, geen belangrijke rol spelen.

Type 4 Industriële bvc's die opgezet zijn door een investeringsgroep. De centrales worden op een industrie terrein gebouwd. Alle biomassa wordt gekocht. Deze centrales zullen naar verwachting de grootste bvc's zijn. De belangrijkste aanleiding om een grote centrale op te zetten zijn de schaalvoordelen van een grotere productie. Er is op een industrieterrein genoeg ruimte en de financieringsopzet maakt het mogelijk dat een centrale gebouwd wordt van 50 MW.

Bij de afweging van welk type centrale de meeste potentie heeft om energie op te wekken uit biomassa is het doel van biomassavergisting van belang. Het doel van bvc's is in dit onderzoek de productie van energie.

De energieproductie uit reststoffen is beperkt en staat centraal bij het type 1 van bvc's. Daarom zal dit type centrale niet het optimale schaalniveau bevatten voor energieproductie uit biomassa. Wel hebben deze centrales een voordeel bij de huidige wetgeving die zich richt op co-vergisting.

Het 2e type centrale vergist energiegewassen waaruit veel energie geproduceerd kan worden. Een deel hiervan wordt zelf geproduceerd waardoor er een zekere zekerheid is in de levering van biomassa. Daarnaast is de EIA en de "groen verklaring" voordelig voor ondernemers. De milieuvergunning beperkt de grote van deze centrale. Het is echter mogelijk om voor grotere centrales een vergunning te krijgen als er een goed onderbouwde vergunningaanvraag wordt ingediend. De huidige regelgeving is niet geschikt voor bvc's die alleen energiegewassen vergisten. Dit is een nadeel voor zowel type 2, 3 als 4.

Type 3 bvc hebben als voordeel op type 2 dat er, door de financiering van investeerders, meer ruimte is voor een grote centrale. De constructie van een centrale bij een agrariër heeft echter nadelen, zeker als de centrale minder goed werkt dan verwacht. Ook is de levering van biomassa minder zeker omdat er geen eigen energiegewassen worden geteeld.

Type 4 hebben een duidelijke managementstructuur wat geen problemen oplevert zoals bij type 3 centrales. Voor een dergelijke centrale is de levering van biomassa wel van groot belang en deze moet dan ook goed geregeld en georganiseerd worden. Als er uitgegaan wordt van schaalvoordelen zoals beschreven in de theorie van de economie van schaal dan kan het type 4 centrale het meest efficiënt produceren. Hierbij zijn kostenvoordelen die besproken zijn bij de factoren die van invloed zijn op het optimale schaalniveau, zoals overheidssubsidies voor kleinere centrales, niet meegenomen.

Gebaseerd op het voorgaande hebben de types 2 en 4 van de bvc's de meeste potentie. Voor agrariërs om zelf energie te produceren biedt het type 2 centrale naar verwachting een goed inkomen. Het past bij agrariërs met een sterke ondernemingsgeest die zelfstandig willen ondernemen.

Het 4e type centrale maakt het produceren van duurzame energie efficiënt. Het biedt de landbouw een afzetmarkt voor energiewassen die naast de gebruikelijk gewassen geteeld kunnen worden. Toch zal zelfs bij een grote productie van energiegewassen het aantal centrales beperkt blijven omdat het om erg grote centrales gaat die veel ruimte in beslag nemen. Hoeveel centrales er uiteindelijk gebouwd worden hangt voor een groot deel af van de Nederlandse overheid en de manier waarop zij de energietransitie sturen. Voor agrariërs is het te hopen dat de huidige regelgeving verandert en de ruimte biedt voor de ontwikkeling van een op biomassa gerichte duurzame energieproductie.

Literatuurlijst

- Ankersmit J., Cozijnsen J., Walet K. (2001), Workshop. In: Amsterdam. *Van klimaatprobleem naar emissiehandel*. Amsterdam: Maycroft Consultancy.
- Besanko D., Dranove D., Shanley M. (2000), *Economics of strategy* Chicago: John Willy & Sons, Inc. second edition.
- Bain R.L., Overend R.P., Craig K.R. (1998), "Biomass-fired power generation." *Fuel Processing Technology*. 54, p. 1-16.
- BECO groep (2007), *Vergisting: omzetting van biomassa in een energierijk gas*. ODE Vlaanderen (organisatie voor duurzame energie) Kessel-Lo: BECO groep.
- Bijman T. (2005), Duurzame energie 2005. In: Maastricht. *Presentatie duurzame energie 2005: co-vergisting met warmte kracht/koppeling*. Lochem: Thecogas Planet Biotechnologie.
- Brendsen H.J.A. (2000), *Landschap in delen: Overzicht van de geofactoren* Assen: Van Gorcum.
- Broek R. van der (2000), *Sustainability of biomass electricity systems*. Delft: Uitgeverij Eburon.
- Considine T.J. (2007), *An Economic Perspective on Peak Oil*. University Park: The Pennsylvania State University.
- Dagblad van het Noorden (14-12-2005), *Lubbers: tijd voor meer kerncentrales*.
- D66 (2006), *Het gaat om mensen: Verkiezingsprogramma D66 tweede kamer 2006/2010*. Drukkerij Uleman-De Residentie
- Donkers H. (2005), "Staatssecretaris Pieter van Geel (klimaatbeleid): 'Er valt veel af te dingen op het Kyoto-protocol, maar er is geen alternatief'." *De geografie* 14(6), p. 20-23.
- Europese Parlement, Europese Raad (2003), *Richtlijn ter bevordering van het gebruik van biobrandstoffen of andere hernieuwbare brandstoffen in het vervoer*. Brussel: Europese Parlement.
- Fleuren W., Konings A.J.A., Lindeman H.H., Pfeifeer A.E., Pustjens H., Smeets R.D. (2005), *Opportunities for a 1,000 MW_e biomass-fired power plant in the Netherlands*. Arnhem: KEMA
- Infomil (2005), *LA06 Handreiking (co-)vergisting van mest*. Den Haag: Infomil.
- KNAW (2007), *Duurzaamheid duurt het langst: Onderzoeksuitdagingen voor een duurzame energievoorziening*. Amsterdam: KNAW.
- Ministerie van Economische Zaken (2006), "Wijziging Regeling subsidiebedragen milieukwaliteit 2006 en Regeling subsidiebedragen milieukwaliteit 2007." *Staatscourant* 5-12-2006. nr. 237, p. 14.

De Natuurkalender (22-3-2006), *Koolmees moet eerder pieken* Wageningen: Leerstoelgroep Milieusysteemanalyse/Wageningen UR.

Hammink H. (2005), "Energieteelt hier nog in de kinderschoenen." *Veehouderij* 90(17), p. 14-15.

Huissteden K. van (2007), *Moeras en broeikasgas*. Amsterdam: Vrije Universiteit, Faculty of Earth Sciences.

Jepma C.J. (2006), Symposium duurzame energie nu en in de toekomst. In: Groningen. "internationale energieproblematiek". Groningen: Energy valley.

Kavalov B. (2004), *Biofuel Potentials in the EU*. Luxemburg: EC (IPTS)

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

Meijering L. (2006), "Geen zomergerst maar energiemaïs." *Boerderij* 91(10), p. 22-23.

Ministerie van Economische Zaken (2003a), *Biomass action plan "working together on bio-energy"*. Den Haag: Ministerie van Economische Zaken

Ministerie van Economische Zaken (2003b), *Visie op biomassa: De rol van biomassa in de Nederlandse energievoorziening 2040*. Den Haag: Ministerie van Economische Zaken.

Mulder R. (2004), *Energie uit mest*. Groningen: Rijks Universiteit Groningen

Novem (2000), *Beschikbaarheid biomassa voor energie-opwekking. GRAIN: Global Restrictions on biomass Availability for Import to the Netherlands* Utrecht: Novem.

Oppewal J. (2006), "Vol overtuiging in de energiemaïs." *Boerderij* 92(5), p. 18-19.

Pindyck R.S. en Rubinfeld D.L. (2001), *Microeconomics*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall inc.

Platform Nieuw Gas (2007), *Opwaarderen tot aardgaskwaliteit: Van biogas naar groen gas*. Zwolle: SenterNovem.

PVDA (2006), *Samen sterk: samen werken aan een beter Nederland*.

Rienks W.A., Hermans C.M.L., Olde Loohuis R.J.W., Eck W. van (2005), *Landbouw op de Europese Kaart*. Wageningen: Alterra, Wageningen UR

Rosillo-Calle F., Sergio V., Bajay, Rothman H. (2000), *Industrial uses of biomass energy: the example of Brazil*. London: Taylor & Francis.

Tegenlicht (2-7-2007), TV Uitzending: *Hoera, het klimaat verandert!* VPRO.

Telos (2000), *Naar een duurzaam platteland*. Tilburg: Telos

Uffelen X. van (2007), "Opslag van CO2 is tijdelijke oplossing" *Volkscrant*. 6-07-2007.

VROM (2004), *Allocatieplan Co2-emissierechten 2005 t/m 2007: Nederlands nationaal toewijzingsplan inzake de toewijzing van broeikasgasemissierechten aan bedrijven*. Den Haag: VROM (Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer).

VROM (2006a), *Nationaal Programma Adaptatie Ruimte en Klimaat Ministerie*. Den Haag: VROM.

Woods J. en Hall D. (1994), *Bioenergy for development: technical and environmental dimensions*. London: Kings College.

Moolen B. van de, Voogd H. (red.) (1995), *Niet in mijn achtertuin, maar waar dan? Het Nimby-verschijnsel in de ruimtelijke planning*. Alphen aan de Rijn: Samson H.G. Tjeenk Willink.

World Commission on Environment and Development (1987), *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press.

Internet bronnen

Biogas-E vzw (2007), *Wat is anaërobie vergisting?* http://www.biogas-e.be/Vergisting/Eerste_les.asp (bezoekt op 28-8-2007).

CBS (2007a), www.statline.nl (bezoekt op 28-8-2007).

CBS (2007b), "Verkoop biobrandstoffen komt voorzichtig op gang". *Webmagazine*: <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/industrie-energie/publicaties/artikelen/archief/2007/2007-90052-wk.htm> (bezoekt op 28-8-2007).

Cogen Projects & Energieprojecten.com (2004), <http://www.energietech.info/biowkk> (bezoekt op 28-8-2007).

Cosas Verdes B.V. (2005), http://www.co2.nl/nieuws_media2.php?id=303 (bezoekt op 28-8-2007)

Core A. (2006), *An inconvenient truth*. <http://www.climatecrisis.net> (bezoekt op 28-8-2007).

DLV (2007), <http://www.dlvsubsidieadvies.nl/bio-brandstoffen/achtergronden.htm> (bezoekt op 28-8-2007).

Dorland R. van (2007), *Werking klimaatsysteem*. <http://www.knmi.nl/samenw/klimaatportaal/oorzaken/werkingklimsysteem.htm> KNMI (bezoekt op 28-8-2007).

DWA installatie- en energieadvies (2007), <http://www.biomassa.nu> (bezocht op 28-8-2007).

ECN (Energie Onderzoek Nederland (2004), <http://www.energie.nl/index2.html?evn/2004/evn04-086.html> (bezocht op 28-8-2007).

E kwadraat advies (2005), *Nieuwsbrief 13-05-05*. <http://www.ekwadraat.com/nieuws.php?id=14> (bezocht op 28-8-2007).

Eurostat (2007),
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page?_pageid=1996,45323734&_dad=portal&_schema=PORTAL&screen=welcomeref&open=/&product=Yearlies_new_environment_energy&depth=4
Europese commissie (bezocht op 28-8-2007).

Greenchoice (2007), *Groen gas* <http://www.greenchoice.nl/> (bezocht op 28-8-2007).

KNMI (2007a), *IPCC I: Meer bewijs menselijke bijdrage aan klimaatverandering*. Webmagazine: 7 maart 2007, http://www.knmi.nl/VinkCMS/news_detail.jsp?id=36110 (bezocht op 28-8-2007).

KNMI (2007b), *Achtergrondinformatie van het KNMI*.
http://www.knmi.nl/onderzk/oceano/enso/nino/noinfo_nl.html (bezocht op 28-8-2007).

Kloosterman biogas (2007), *Biogasinstallatie Kloosterman te Nieuweroord*.
<http://www.kloostermanbiogas.com/biogas.htm> (bezocht op 28-8-2007).

Krieg & Fischer Ingenieure (2007), *Description of a digestion Plant*.
http://www.kriegfischer.de/descr_digest.html (bezocht op 28-8-2007).

LEI (2007), *Binternet*. <http://www3.lei.wur.nl/binternet2/showtable.exe> (bezocht op 28-8-2007).

Ministerie van Economische Zaken (2007a), *Energietransitie*
<http://www.ez.nl/content.jsp?objectid=149040> (bezocht op 28-8-2007).

Ministerie van Economische Zaken (2007b), *MEP*.
<http://www.minez.nl/content.jsp?objectid=144515&rid=141741> (bezocht op 28-8-2007).

NASA (2003), www.nasa.gov (bezocht op 28-8-2007).

North sea Bioenergy (2007), <http://www.bioenergy-info.com/nlindex.php> (bezocht op 28-8-2007).

ODE (2006), *Mythe: kernenergie vrij van CO2-uitstoot*.
<http://news.ode.be/index.php?mact=News,cntnt01,detail,0&cntnt01articleid=56&cntnt01returnid=15>
(bezocht op 28-8-2007).

SenterNovem (2005), *Het winnen van biogas uit maïs als energiegewas*.
http://www.senternovem.nl/eos/Projecten/EOS_Demonstratie/2005/Vergisting_van_energiemaïs.asp
(bezocht op 28-8-2007).

SenterNovem (2007a), http://www.senternovem.nl/eos/Projecten/EOS_Demonstratie/Index.asp (bezocht op 28-8-2007).

SenterNovem (2007b), *MEP: Milieukwaliteit van de Elektriciteitsproductie*. <http://www.senternovem.nl/mep/> (bezocht op 28-8-2007).

SenterNovem (2007c), *Witte/gele lijst*. <http://www.infomil.nl/aspx/get.aspx?xdl=/views/infomil/xdl/page&ItmIdt=179126&SitIdt=111&VarIdt=82> (bezocht op 28-8-2007).

VROM (2006b), *Dossier klimaatverandering*. <http://www.vrom.nl/pagina.html?id=22990#b22077> (bezocht op 28-8-2007).

Wikipedia (2007a), <http://nl.wikipedia.org/wiki/Broeikaseffect> (bezocht op 28-8-2007).

Wikipedia (2007b), <http://nl.wikipedia.org/wiki/Categorie:Energiecentrale> (bezocht op 28-8-2007).

Bijlage 1: Beschikbaarheid biomassa wereldwijd

Category biomass	Most important assumptions	Potential energy supply in 2050	Other remarks
Category I: Energy farming on existing agricultural areas	Potential supply: 0-4 Gha (average between 1-2 Gha), Average higher productivity through better soil quality: 8-12 dry ton/ha*yr (*)	0 – 870 EJ (average development: 14 – 430 EJ)	Large areas for energy farming require global structural application of HEI production systems and therefore serious changes in the way food is being produced. This category may have zero potential.
Category II: Biomass production on marginal/degraded land	World wide maximum 1.7 Gha. Productivity 2-5 dry ton/ha*yr. (*)	(0) 60 – 150 EJ	Biomass production possibly expensive or non-competitive because of low productivity. This category may have zero potential through competition for supply.
Category III: Biomaterials	Range in the required area for the global additional material demand for biomaterials: 0.2-0.8 Gha. (average productivity: 5 dry ton/ha*yr).	Minus (0) 40 -15 EJ	The demand for biomass in this category must be deducted from categories I and II. In case the existing forest area can supply this demand then the area claim can theoretically become zero.
Category IV: Residue of food production	Depends of yield/residue ratios and total agricultural area. Large fraction of residues required for soil fertility and nutrient supply.	About 15 EJ (estimate from various studies)	Depends on the type of agricultural production system.
Category V: Residue from forestry	Potential of world wide forestry area is unclear: range is based upon literature values.	(0) 14 – 110 EJ	Low estimate: limited use of forestry residues within reasonable boundary conditions for sustainable forest management. High value: technical potential.
Category VI: Manure	Use of dry manure.	(0) 5 – 55 EJ	Low value: global present use. High value: technical potential. Long term utilisation uncertain.
Category VII: Organic waste	Literature estimates, strongly depends upon development stage, consumption and use of biomaterials; includes waste wood and organic fraction MSW.	5 - 50 (+) EJ (**)	Range based upon literature. High value possible with more intensive use of biomaterials.

TOTAL	Lowest value: no areas for energy farming only use of residues. Highest value: intensive agriculture on best soils.	40 – 1100 EJ (20 – 700 EJ)	Maximum range. Between brackets: average range for the total supply of biomass in a world, which uses bio-energy at a large scale for the energy supply.
--------------	--	-----------------------------------	--

(*) Heating value: 19 GJ/ton dry matter

(**) Rough estimate of the supply of biomaterials after use (Feber & Gielen 2000): the energy supply from biomaterials as waste may vary between 20 and 55 EJ. (See below; this is the material that may be used world wide, excluding cascade use and without taking into account the time period of the utilisation).

Paper: 275 Mton dry matter.

Plastics: 140 – 550 Mton dry matter.

Wood (eg. construction wood): 600 – 2000 Mton dry matter.

Cotton: 30 – 40 Mton dry matter.

Rubber: 10 – 13 Mton dry matter.

Total for biomaterials: 1100 – 2900 Mton dry matter (about 20-55 EJ)

Bron: Novem (2000)