

M.J.G. van Onna

Med. No. 442

**MOGELIJKHEDEN VAN DE LANDBOUW  
OM DE UITSTOOT VAN CO2 TE VERMINDEREN**



SIGN: L27-442  
EX. NO: B  
MLV:

April 1991

Landbouw-Economisch Instituut  
Afdeling Landbouw

## REFERAAT

### MOGELIJKHEDEN VAN DE LANDBOUW OM DE UITSTOOT VAN CO<sub>2</sub> TE VERMINDEREN

Onna, M.J.G. van

Den Haag, Landbouw-Economisch Instituut, 1991

Mededeling 442

ISBN 90-5242-111-0

117 p., tab., fig., bijl.

Via twee wegen kan de landbouw een bijdrage leveren aan de vermindering van de toename van de CO<sub>2</sub>-uitstoot: via vastlegging van CO<sub>2</sub> in biomassa en via vervanging van fossiele brandstoffen door bio-energie. Waar het gaat om de C-vastlegging komen snelgroeiende gewassen zoals riet en Miscanthus in aanmerking alsmede groenbemesters ter verlenging van het groeiseizoen. Van bio-energie zijn drie vormen te onderscheiden: bio-energie voor warmte- en/of elektriciteitsproductie, bio-ethanol en biodiesel.

In deze studie zijn de verschillende opties beoordeeld op (1) hun energierendement (2) de mate waarin zij bijdragen aan het terugdringen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot en (3) op hun financiële rendement. Het blijkt dat riet met een lange levensduur de grootste C-opslagcapaciteit heeft en uit oogpunt van energieverbruik, CO<sub>2</sub>-uitstoot en financieel saldo per eenheid opgeslagen C de voorkeur verdient in de strategie "landbouw ten behoeve van de C-vastlegging". Miscanthus en groenbemesters volgen daarop. Wat betreft de strategie "landbouw als energieleverancier" is de warmteproductie uit stro, riet en Miscanthus de meest aantrekkelijke optie. Bio-ethanol en veresterde biodiesel scoren lager. Tussen beide transportbrandstoffen bestaat weinig verschil wanneer de energetisch meest gunstige verwerkingsstap voor bio-ethanol wordt gekozen. Onveresterde, ruwe biodiesel scoort hoger dan de veresterde biodiesel, maar heeft een beperkter toepassingsgebied.

CO<sub>2</sub>/Broeikaseffect/C-vastlegging/Bio-energie/Bio-ethanol/Biodiesel/Energieverbruik/Energierendement/CO<sub>2</sub>-uitstoot/CO<sub>2</sub>-rendement

---

Overname van de inhoud toegestaan, mits met duidelijke bronvermelding.

# Inhoud

	Blz.
WOORD VOORAF	7
SAMENVATTING	9
1. INLEIDING	15
1.1 Broeikasproblematiek	15
1.1.1 Broeikaseffect	15
1.1.2 Gevolgen van de toename aan CO2 in de atmosfeer	15
1.1.3 Maatregelen in het kader van de CO2- problematiek	17
1.2 Doelstelling van het onderzoek	19
1.2.1 Project "Bosbouw en CO2"	19
1.2.2 Deelproject "Landbouw en CO2"	20
1.3 Landbouw en distikstofoxide en methaan	21
1.4 Opbouw van het rapport	22
2. WERKWIJZE	23
2.1 Algemene aanpak	23
2.2 Bepaling van het energie-, CO2- en financieel rendement	24
2.2.1 Algemeen	24
2.2.2 Bepaling van het energierendement	25
2.2.3 Bepaling van het CO2-rendement	26
2.2.4 Bepaling van het financieel rendement	30
2.3 Uitgangspunten	30
3. REFERENTIEBASIS	33
3.1 Inleiding	33
3.2 Uitgangssituatie	33
3.2.1 Areaal cultuurgewassen	33
3.2.2 Grasopbrengst en -kosten, snijmaïso- brengst en -kosten	34
3.3 Opslagcapaciteit van landbouwgewassen	35
3.4 Energie- CO2- en financieel rendement	38
3.5 Conclusie	39
4. DE LANDBOUW ALS GROTER C-OPSLAGRESERVOIR	41
4.1 Inleiding	41
4.2 Groenbemesting	41
4.2.1 Teelt	41
4.2.2 Opslagcapaciteit	41
4.2.2.1 C-opslag per hectare	41
4.2.2.2 Potentieel areaal	42
4.2.2.3 Potentiële opslagcapaciteit	43

## INHOUD (1e vervolg)

	Blz.
4.2.3 Energie- CO2- en financieel rendement	43
4.3 Phragmitus	44
4.3.1 Teelt	44
4.3.2 Opslagcapaciteit	45
4.3.2.1 C-opslag per hectare	45
4.3.2.2 Potentieel areaal	47
4.3.2.3 Potentiële opslagcapaciteit	47
4.3.3 Energie- CO2- en financieel rendement	47
4.3.3.1 Energie- en CO2-rendement	47
4.3.3.2 Financieel rendement	48
4.4 Miscanthus	49
4.4.1 Teelt	49
4.4.2 Opslagcapaciteit	51
4.4.2.1 C-opslag per hectare	51
4.4.2.2 Potentieel areaal	52
4.4.2.3 Potentiële opslagcapaciteit	52
4.4.3 Energie- CO2- en financieel rendement	53
4.4.3.1 Energierendement	53
4.4.3.2 CO2-rendement	54
4.4.3.3 Financieel rendement	54
4.5 Conclusie	55
5. DE LANDBOUW ALS ENERGIELEVERANCIER	59
5.1 Inleiding	59
5.2 Warmte en elektriciteit	60
5.2.1 Productie van biomassa voor warmte en elektriciteit	60
5.2.2 Omzetting van biomassa in warmte en elektriciteit	61
5.2.3 Afzet van warmte en elektriciteit	63
5.2.3.1 Marktsegmenten	63
5.2.3.2 Potentiële afzet	64
5.2.4 Energie-, CO2- en financieel rendement	64
5.2.4.1 Inleiding	64
5.2.4.2 Energierendement	65
5.2.4.3 CO2-rendement	65
5.2.4.4 Financieel rendement	66
5.3 Bio-ethanol	67
5.3.1 Productie van grondstof voor bio-ethanol	67
5.3.2 Verwerking van grondstof tot bio-ethanol	67
5.3.3 Afzet van bio-ethanol	67
5.3.3.1 Marktsegmenten	67
5.3.3.2 Potentiële afzet	68
5.3.4 Energie-, CO2- en financieel rendement	69
5.3.4.1 Energierendement	69

## INHOUD (2e vervolg)

	Blz.
5.3.4.2 CO2-rendement	72
5.3.4.3 Financieel rendement	72
5.4 Biodiesel	75
5.4.1 Produktie van grondstof voor biodiesel	75
5.4.2 Verwerking van koolzaadolie tot biodiesel	76
5.4.3 Afzet van biodiesel	76
5.4.3.1 Marktsegmenten	76
5.4.3.2 Potentiële afzet	77
5.4.4 Energie-, CO2- en financieel rendement	77
5.4.4.1 Inleiding	77
5.4.4.2 Energierendement	78
5.4.4.3 CO2-rendement	79
5.4.4.4 Financieel rendement	79
5.5 Conclusie	80
6. CONCLUSIES	85
7. AANBEVELINGEN	89
LITERATUUR	91
BIJLAGEN	
BEGRIPPENLIJST	96
Bijlage 1 CO2-emissie in de glastuinbouw	99
Bijlage 2 Oppervlakte akkerbouwgewassen in de periode 1985-1988	100
Bijlage 3 Berekeningswijze van de grasopbrengst	101
Bijlage 4 Financieel rendement	102
Bijlage 5 Energieverbruik	103
Bijlage 6 Energieverbruik van groenbemesters	106
Bijlage 7 Phragmitus	107
Bijlage 8 Miscanthus	109
Bijlage 9 Voorbehandelingsmethoden	111
Bijlage 10 Conversietechniek: verbranding	113
Bijlage 11 Richtlijnen voor terugleverantie van elektriciteit	115
Bijlage 12 Economische haalbaarheid van vergassing ten behoeve van warmte	116
Bijlage 13 Saldoberekening voor koolzaad	117

## Woord vooraf

De toename van de concentratie aan broeikasgassen leidt tot verhoging van de temperatuur van de onderste lagen van de atmosfeer. Het absolute bewijs is hiervoor nog niet geleverd maar de wetenschap is wel overtuigd van de relatie tussen beide factoren. Gelet op het grote risico van klimaatverandering, is er internationaal overeenstemming over de noodzaak van reductie van de uitstoot aan broeikasgassen. Eén van de broeikasgassen is CO<sub>2</sub>. De Nederlandse regering heeft in de laatst verschenen versie van het Nationaal Milieubeleidsplan, het NMP-plus, het streven naar vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot geconcretiseerd. Dit wil zij onder andere via de aanleg van bos realiseren. Om deze optie te beoordelen achtte men een afweging noodzakelijk ten opzichte van de mogelijkheden die de landbouw in dit kader biedt.

In opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij en het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu is het onderzoek "Bosbouw en CO<sub>2</sub>" uitgevoerd.

Dit onderzoek is opgebouwd uit vier deelstudies, waarvan de in dit rapport beschreven studie er één is. De andere deelstudies zijn uitgevoerd door: het Instituut voor Bosbouw en Groenbeheer "De Dorschkamp", de Grontmij en DHV.

De directeur,

  
L.C. Zachariasse

Den Haag, maart 1991

## Samenvatting

### - *Aanleiding*

De toename van de concentratie aan broeikasgassen leidt tot verhoging van de temperatuur van de onderste lagen van de atmosfeer. Wetenschappelijk bewijs hiervoor is nog niet geleverd, maar er bestaat wel consensus over het bestaan van een relatie tussen beide factoren. Verder is duidelijk dat verhoging van de temperatuur gepaard gaat met een wereldwijde klimaatverandering die op regionale schaal grote gevolgen kan hebben. CO<sub>2</sub> is één van broeikasgassen en in de laatst verschenen versie van het Nationaal Milieubeleidsplan, het NMP-plus, heeft de Nederlandse regering daarom een streven van vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot geformuleerd. Dit wil zij onder andere via de aanleg van bos realiseren. Om deze optie daartoe te beoordelen achtte men een afweging noodzakelijk ten opzichte van de mogelijkheden die de landbouw in dit kader biedt.

### - *Onderwerp van studie*

De landbouw kan langs twee wegen de toename van de concentratie aan CO<sub>2</sub> afremmen, namelijk via (1) vergroting van de opslagcapaciteit van de biosfeer en (2) vervanging van fossiele brandstoffen, zodat de daarin vastgelegde C niet vrijkomt. De feitelijke mogelijkheden en de mate waarin de landbouw een bijdrage aan de CO<sub>2</sub>-problematiek kan leveren zijn onderwerp van deze studie. Daarbij wordt niet alleen gekeken naar de mate waarin de optie een bijdrage levert aan de doelstelling, maar tevens naar de daarmee gepaard gaande aanslag op (schaarse) energiebronnen en het financieel rendement. De volgende criteria zijn hierbij geformuleerd.

- (1) De hoeveelheid vastgelegde C per hectare per jaar;  
De hoeveelheid vastgelegde C per hectare per jaar is de som van de hoeveelheid vastgelegd in de levende biomassa en die in het produkt. Daarmee is de hoeveelheid vastgelegde C afhankelijk van de drogestofopbrengst per hectare, de lengte van het groeiseizoen en de levensduur van het produkt.
- (2) Het CO<sub>2</sub>-rendement, dat wil zeggen de netto-besparing aan uitstoot van CO<sub>2</sub>;  
Het CO<sub>2</sub>-rendement is een afgeleide van het energierendement. Immers alle energieverbruik gaat gepaard met CO<sub>2</sub>-uitstoot en vervanging van fossiele brandstoffen betekent een vermeden emissie van CO<sub>2</sub>-uitstoot uit fossiele brandstoffen.
- (3) Het energierendement ten opzichte van het CO<sub>2</sub>-rendement, dat wil zeggen de netto-besparing aan fossiele brandstoffen per eenheid netto-besparing aan CO<sub>2</sub>-emissie;

Het energierendement is de energie-output in de vorm van vergelijkbare gebruikswaarden als fossiele brandstoffen verminderd met de energie-input die daarvoor nodig. Bij de energie-input gaat het om onder andere: kunstmest, gewasbeschermingsmiddelen, aanslag op kapitaalgoederen, transportbrandstoffen.

- (4) Het financieel rendement ten opzichte van het CO<sub>2</sub>-rendement, dat wil zeggen het financieel saldo per eenheid netto-besparing aan CO<sub>2</sub>-emissie.

- *Huidige C-opslagcapaciteit in de biosfeer door de landbouw*

De huidige C-opslagcapaciteit van de Nederlandse landbouw is circa acht miljoen ton C per jaar. Grasland vormt met 4,8 miljoen ton C circa zestig procent van de C-opslagcapaciteit. Dit grote aandeel komt voort uit vooral het grote aandeel in het grondgebruik. De akkerbouw neemt de resterende 3,2 miljoen ton C voor haar rekening. Bij de berekening is uitgegaan van een levensduur van de produkten van één jaar, een groeiperiode van circa zeven maanden voor akkerbouwprodukten en een groeiperiode van één jaar voor gras.

- *Vergroting van de C-opslagcapaciteit in de biosfeer door de landbouw*

Vergroting van de C-opslagcapaciteit in de biosfeer kan via de teelt van snelgroeiende meerjarige gewassen zoals Phragmitus (riet) en Miscanthus. Deze gewassen zijn ook interessant vanwege hun langer houdbare produkten. Grootschalige rietteelt voor commerciële doeleinden vindt nu nog niet plaats evenmin als de teelt van Miscanthus; ook vanwege het feit dat de opname van deze gewassen in het bouwplan nauwelijks bijdraagt aan de verruiming ervan is het potentieel areaal voorzichtig ingeschat, op 10.000 hectare. Echter voor beide gewassen en met name Miscanthus, zijn zeker afzet- en toekomstperspectieven.

Een tweede mogelijkheid ter vergroting van de C-opslagcapaciteit is de verlenging van het groeiseizoen door inzaai van bijvoorbeeld groenbemesters. De technische en organisatorische aanpassingen op agrarisch bedrijfsniveau om groenbemesters in te zaaien zijn gering en daarom kan hier gerekend worden met een aanzienlijk groter potentieel areaal. In tabel 1 is weergegeven hoe de verschillende opties beoordeeld zijn. Uit de tabel blijkt de volgorde van toename van de C-opslagcapaciteit per hectare:

- groenbemesters;
- Phragmitus met een produkt met een levensduur van drie jaar;
- Miscanthus met een produkt met een levensduur van drie jaar;
- Phragmitus met een produkt met een levensduur van vijftig jaar;

Aan deze rij kan Miscanthus, met een produkt dat circa twintig jaar intact blijft worden toegevoegd. Deze mogelijkheid wordt



Tabel 1 Score van de opties op de criteria

Criterium	Groenbemester				Phragmitus		Miscanthus	
	bladram- menas	raai- gras	vl. bloem.	vi. bloem.	levensduur		mate van afvalverbranding	
					3 jaar	50 jaar	0%	86%
Opslagcapaciteit (ton C)/ha	0,85	2,1	0,7	0,7	16	125	99	99
CO <sub>2</sub> -emissie (kg C) per kg vastgelegde	0,12	0,05	-0,01	-0,01	0,006	0,0007	0,004	-0,06
Energie-input (MJ) per kg vastgelegde C	6,0	2,5	-0,69	-0,69	0,29	0,03	0,20	-3,8
Financieel saldo (gld.) per kg vastge- legde C	-0,35	-0,17	0,27	0,27	-0,06 *	-0,007 *	-0,011 *	-0,011 *

\*) Alleen de kosten van de teelt.

slechts zijdelings genoemd, omdat de opslagcapaciteit van *Miscanthus* in sterke mate wordt bepaald door de hoge drogestofproductie terwijl deze slechts op proefveldresultaten is gebaseerd.

Uitgaande van een geschat potentieel areaal voor *Phragmitus*, *Miscanthus* en groenbemesters is de vergroting van de opslagcapaciteit ten opzichte van het huidige niveau aanmerkelijk: tot zestien procent wanneer *Phragmitus* met een produkt van vijftig jaar wordt geteeld. *Phragmitus* van drie jaar levert een vergroting van de C-opslagcapaciteit van twee procent en *Miscanthus* van drie jaar van twaalf procent.

De vergroting van de C-opslagcapaciteit bij de onderzochte opties gaat gepaard met een lager energieverbruik per eenheid vastgelegde C en daarmee samenhangend met een lagere CO<sub>2</sub>-uitstoot per eenheid vastgelegde C. Een verklaring hiervoor kan gevonden worden in het vrij extensieve karakter van de teelt, waarbij de toename van de opslagcapaciteit over het algemeen niet gepaard gaat met een verregaande intensivering.

- *Vervanging van fossiele brandstoffen*

Bij de vervanging van fossiele brandstoffen door agrarische grondstoffen is gekeken naar de vervanging van aardgas, benzine en dieselolie op de markt voor warmte en transportbrandstoffen. Energie ten behoeve van warmte is het meest aantrekkelijk op basis van snelgroeiende gewassen zoals *Phragmitus* en *Miscanthus* en

*Tabel 2 Energie- en CO<sub>2</sub>-rendement van bio-ethanol en biodiesel \*)*

Grondstof	Energierendement (MJ/ha)	CO <sub>2</sub> -rendement (kg C/ha)
<b>Warmte</b>		
Stro	66.320	1.080
<i>Phragmitus</i>	218.560	3.550
<i>Miscanthus</i>	436.000	7.052
<b>Bio-ethanol</b>		
Suikerbieten		
- Variant 1	-4.827	184
- Variant 2	29.373	902
Tarwe	-23.483	-366
<b>Biodiesel</b>		
Koolzaad		
- Variant 1	13.610	384
- Variant 2	18.290	492

\*) Exclusief bijprodukten, zoals veevoeders.

op basis van stro. Bio-ethanol, uit onder andere graan en suikerbieten, kan als vervanger van benzine worden toegepast. Biodiesel is op koolzaadolie gebaseerd, al dan niet na verestering. Groot-schalige commerciële toepassing vindt voor geen van de bovengenoemde opties plaats in Nederland.

In tabel 2 zijn de verschillende opties op hun energie- en CO<sub>2</sub>-rendement beoordeeld en in tabel 3 is de kostprijs voor de verschillende energiedragers op basis van agrarische grondstoffen gegeven.

*Tabel 3 Prijs per liter brandstof op basis van agrarische grondstoffen \*)*

Suikerbieten	1,10
Tarwe	1,00
Koolzaad onveresterd	1,05 - 1,58
Koolzaad veresterd	1,70 - 2,12

\*) Uitgaande van de wereldmarktprijs.

Uit oogpunt van energie-, CO<sub>2</sub>- en financieel rendement is de warmteproductie uit stro, Phragmitus en Miscanthus de meest aantrekkelijke optie ter vermindering van de toename van de concentratie aan CO<sub>2</sub>.

De onderlinge verschillen tussen bio-ethanol op basis van suikerbieten en de energetisch meest gunstige procesvariant en biodiesel ten aanzien van de drie criteria zijn gering. Bio-ethanol op basis van suikerbieten en de energetisch minder gunstige procesvariant is nu energetisch- en CO<sub>2</sub>-oogpunt minder aantrekkelijk. Dit geldt in nog sterkere mate voor bio-ethanol op basis van tarwe. Daarbij moet in aanmerking genomen worden dat bij de omzetting van tarwe tot ethanol een (energierijk) bijproduct vrijkomt. Bovendien is het graangewas als geheel (korrel plus stro) uit energetisch oogpunt wel aantrekkelijk.

De optie van biodiesel op basis van ruwe, niet-veresterde plantaardige olie is niet op haar energie-, CO<sub>2</sub>- en financieel rendement doorgerekend, omdat gegevens voor de berekening van het energie- en CO<sub>2</sub>-rendement niet aanwezig zijn. Wél is duidelijk dat deze biodiesel hoger scoort op zowel het energie- en CO<sub>2</sub>-rendement als het financieel rendement dan de biodiesel op basis van veresterde plantaardige olie.

De potentiële bijdrage van de verschillende opties is sterk afhankelijk van de ingeschatte haalbaarheid. Deze wordt bepaald door de houding van de leverancier van fossiele brandstoffen en de overheid, wanneer de energie niet direct op het eigen bedrijf wordt aangewend. Ook de inpasbaarheid in het bestaande bouwplan is bepalend voor de haalbaarheid. Phragmitus en Miscanthus vragen de nodige aanpassingen en bovendien levert het niet of nauwelijks

een bijdrage aan verruiming van het bouwplan. Granen (en stro), suikerbieten en koolzaad daarentegen worden momenteel al verbouwd en vragen dus relatief weinig technische en organisatorische aanpassingen.

De toepassing van agrarische grondstoffen leidt tot een reductie van de CO<sub>2</sub>-uitstoot door de sector "transport" (zestien procent van de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot) van vier tot zes procent. Uitgangspunt is een vervanging van vijftien procent van de markt voor benzine en een vervanging van twintig procent van de markt voor dieselolie.

## 1. Inleiding

### 1.1 Broeikasproblematiek

#### 1.1.1 Broeikaseffect

De broeikasproblematiek wordt in de volksmond aangeduid met de term "broeikaseffect" omdat de processen die zich hier afspelen grote overeenkomst vertoont met wat er in een kas gebeurt. De atmosfeer laat (kortgolvlige) straling van zon door en houdt een bepaalde hoeveelheid (lange golf)straling tegen, afhankelijk van de vochtigheidsgraad en de aanwezigheid van bepaalde gassen. De aanwezigheid van sporengassen als waterdamp, kooldioxide, methaan, distikstofoxide en ozon (de zogenaamde broeikasgassen) in de atmosfeer zorgt ervoor dat de temperatuur op aarde circa 33 graden Celsius hoger is dan hij zou zijn zonder atmosfeer. Dit is het natuurlijk broeikaseffect. De toename van de concentratie aan broeikasgassen leidt ertoe dat er meer lange golfstraling wordt tegengehouden; de stralingshuishouding wordt verstoord en daarmee het natuurlijk broeikaseffect. De toename van de concentratie aan broeikasgassen leidt dus tot een toename van het natuurlijk broeikaseffect (IPPC, 1990).

#### 1.1.2 Gevolgen van de toename aan CO<sub>2</sub> in de atmosfeer

De wetenschap gaat ervan uit dat de toename van de concentratie aan broeikasgassen via de toename van het natuurlijk broeikaseffect leidt tot een temperatuurstijging in de onderste lagen van de atmosfeer (IPPC, 1990). Hierover bestaat echter nog geen absolute zekerheid. De toename van de concentratie aan broeikasgassen van de laatste jaren gaat wel gepaard met een temperatuurstijging, maar deze valt nog binnen de natuurlijke variatie.

De temperatuurstijging als gevolg van de toename van de broeigassen leidt tot klimaatverandering op wereldniveau. Er treedt een verandering op in het neerslagpatroon, in de luchtstromen en het gemiddelde en extreme temperatuurverloop. Dit leidt tot stijging van de zeespiegel en verschuiving van vegetatiezones en vraagt dus een enorme aanpassing van maatschappelijke activiteiten en van ecosystemen.

Het is moeilijk te voorspellen hoe de aarde reageert op een klimaatverandering die zo groot en snel is. Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPPC) heeft met behulp van klimaatmodellen berekend dat de temperatuurstijging circa drie graden Celsius is rond het midden van de volgende eeuw en vier graden Celsius tegen het einde van de volgende eeuw. Dit leidt tot een verhoging van het gemiddelde zeeniveau met circa dertig centime-

ter rond 2050 tot meer dan zestig centimeter tegen het einde van 2100. Deze resultaten gelden onder het zogenaamde "Business as Usual"-scenario, dat wil zeggen het scenario waarbij wordt uitgegaan van voortzetting van de voorgaande ontwikkeling van energie- en landgebruik.

De gevolgen van de toename van de concentratie aan broeikasgassen voor het klimaat op regionale schaal zijn op basis van de huidige stand van kennis nog niet vast te stellen. Dit geldt met name voor het neerslagpatroon en de vochthuishouding, omdat het gedrag van de oceaan, golfstromen en bewolking nog onvoldoende duidelijk is. Wél is de verwachting dat regionale klimaatveranderingen zullen optreden die sterker zijn dan de wereldwijde veranderingen.

Het effect van de toename van de CO<sub>2</sub>-concentratie op de landbouw is van directe aard en van indirecte aard.

De extra kooldioxide in de atmosfeer heeft een produktieverhogende werking. Door de verhoging van het kooldioxidegehalte verbetert de fotosynthese. De groeisnelheid neemt naar verwachting met een factor anderhalf toe wanneer de CO<sub>2</sub>-concentratie tot duizend cm<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> is gestegen. Bij het huidige CO<sub>2</sub>-gehalte is er sprake van een sub-optimale groeiconditie (Goudriaan, 1987).

De stijging van de temperatuur betekent een verlenging van het groeiseizoen. De temperatuursom uitgedrukt in het aantal graaddagen - dagen met een temperatuur hoger dan nul tot tien graden, waarbij gewasgroei mogelijk is - stijgt wanneer de concentratie aan CO<sub>2</sub> in de atmosfeer toeneemt. Dat leidt ertoe dat andere gewassen (zoals korrelmaïs en mogelijk ook zonnebloem) in Nederland geteeld zouden kunnen worden. De teeltmogelijkheden verschuiven van het Zuiden in Noordelijke richting. Ook kunnen meer dagen van het jaar benut worden voor produktie van landbouwgewassen door eerder te zaaien en/of later te oogsten. Daartegenover moet ook rekening gehouden worden met een grotere ziektegevoeligheid van de gewassen, eerdere afrijping, verandering in waterhuishouding en dergelijke. Deze factoren zijn sterk afhankelijk van de verandering van klimaatfactoren zoals neerslag, temperatuur, wind en dergelijke. De mate van verandering van deze klimaatfactoren op lokaal niveau zijn echter vooralsnog onvoldoende duidelijk.

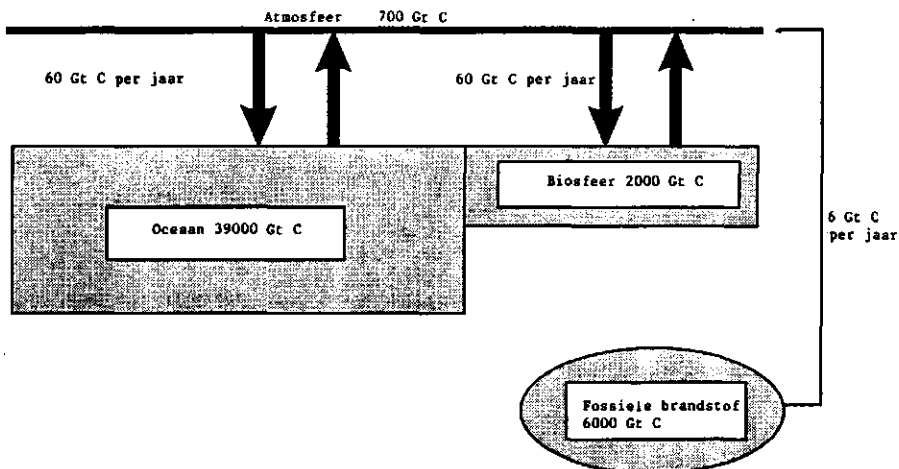
Benutting van de voordelen van de temperatuurstijging en omzeilen van de nadelen ervan vereist dus een aanpassing van het landbouwsysteem aan de nieuwe klimatologische omstandigheden. De gevolgen voor de landbouw zijn dan ook niet onverdeeld nadelig wanneer de landbouw zich aan de nieuwe omstandigheden weet aan te passen. Overigens zijn de gevolgen van de zeespiegelstijging hierbij buiten beschouwing gelaten (Goudriaan, 1988). Aanpassing van de landbouw kan in de richting gaan van overschakeling op gewassen die een langer en intensiever groeiseizoen en een hogere temperatuur nodig hebben.

### 1.1.3 Maatregelen in het kader van de CO<sub>2</sub>-problematiek

De Nederlandse regering heeft als doelstelling om de kool-dioxide-uitstoot voor 1994/1995 te stabiliseren op het niveau van 1989-1990, namelijk 182 miljoen ton CO<sub>2</sub> per jaar. Onder de autonome ontwikkeling - bij een economische groei van tweeënhalf procent per jaar - zou de CO<sub>2</sub>-uitstoot 195 miljoen ton zijn. Voor het jaar 2000 wordt gestreefd naar een absolute reductie van de CO<sub>2</sub>-emissie tot 173-177 miljoen ton. De CO<sub>2</sub>-uitstoot onder autonome ontwikkeling zou 220 miljoen ton CO<sub>2</sub> zijn (NMP-plus, 1990). Deze doelstellingen sluiten aan bij het pleidooi op de internationale Noordzeeconferentie van november 1989 in Noordwijk. Daar werd de intentie tot een stabilisatie van de kooldioxide-uitstoot in het jaar 2000 in de geïndustrialiseerde landen uitgesproken.

Het beleid wordt gesteund door het Nationale Onderzoekprogramma Mondiale Luchtverontreiniging en Klimaatverandering. In het kader van dit programma worden een aantal voorstudies uitgevoerd ten aanzien van nieuwe onderzoekthema's op de beleidsterreinen luchtverontreiniging en klimaatverandering. De voorliggende studie is een deelproject van een studie met als thema "bosbouw in Nederland als maatregel in het kader van de klimaatproblematiek" (zie paragraaf 1.2).

In figuur 1.1 is de C-kringloop gegeven. Aan de hand hiervan kan gezocht worden naar maatregelen ter vermindering van de toename van de concentratie aan CO<sub>2</sub> in de atmosfeer.



**Figuur 1.1 Koolstofkringloop**  
Bron: Goudriaan, 1990.

De C-kringloop kent een aantal reservoirs waartussen C in de vorm van CO<sub>2</sub> wordt uitgewisseld. Uit de figuur blijkt dat de oceaan het grootste reservoir is met 39.000 Gton C. De potentiële opnamecapaciteit van de oceaan is echter nog groter. Momenteel wordt circa veertig procent van de CO<sub>2</sub> die in de atmosfeer terecht komt geabsorbeerd door de oceaan maar de potentiële absorptie ligt op circa 85 procent. De maximale benutting van de opnamecapaciteit vereist een goede menging van de verschillende waterlagen. Nu is er sprake van een menging van alleen bovenste water (tot circa honderd meter diep) en vormt de thermische gelaagdheid de barrière voor menging met diepere lagen. Deze trage mixing leidt ertoe dat vergroting van de opnamecapaciteit een kwestie van (zeer) lange termijn is. Pas wanneer de thermische gelaagdheid is gebroken kan het water (dat CO<sub>2</sub> bevat) verder de diepte in en is de opslagcapaciteit vergroot. De toename van de uitgestoten hoeveelheid CO<sub>2</sub> in de atmosfeer kan dus niet in zijn geheel worden opgevangen door de oceaan zodat de concentratie aan CO<sub>2</sub> in de atmosfeer stijgt.

Andere reservoirs zijn: de in de sedimenten vastgelegde C als fossiele brandstof en de biosfeer. In de biosfeer kunnen verschillende opslagvormen met uiteenlopende verblijftijden worden onderscheiden:

- levende biomassa met een verblijftijd van minder dan één jaar: 600 Gton C;
- humus met een verblijftijd van enkele tientallen jaren: 700 Gton C;
- inerte C met een verblijftijd van enkele eeuwen: 700 Gton C.

De figuur geeft een belangrijk aanknopingspunt voor maatregelen: het voorkomen dat de C opgesloten in fossiele brandstof, vrijkomt. Fossiele brandstoffen zijn niets anders dan vormen van biomassa die in de loop der geologische tijden verandering hebben ondergaan. De hierin opgeslagen CO<sub>2</sub> zit "veilig" opgeborgen en het is zaak om te voorkomen dat deze CO<sub>2</sub> weer in de atmosfeer terecht komt. De maatregelen in het kader van de CO<sub>2</sub>-problematiek grijpen ook op dit punt aan.

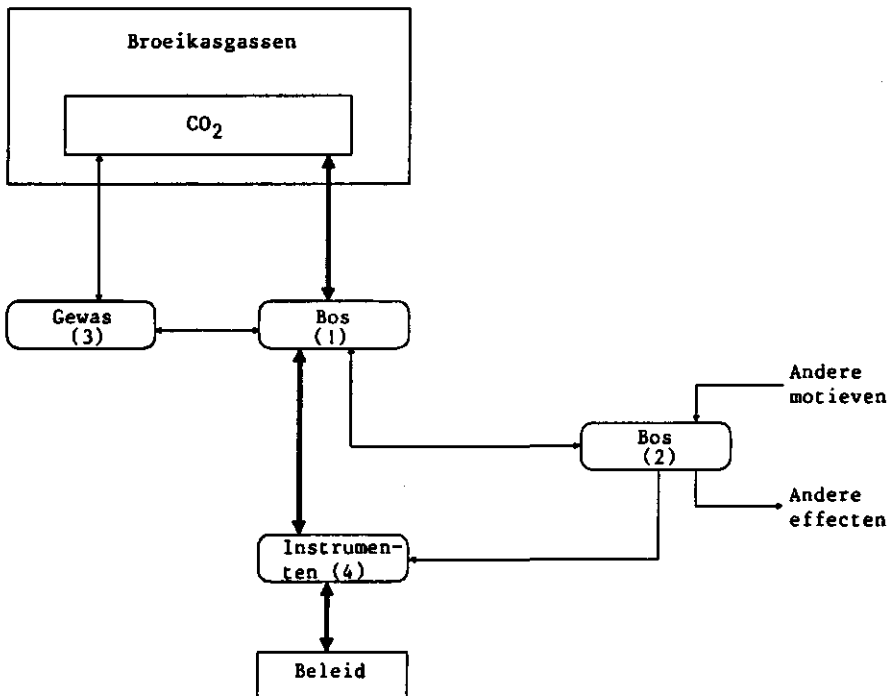
De maatregelen die door zowel het Worldwatch Institute als door het RIVM worden genoemd als meest effectief onder relatief lage kosten, zijn de volgende. Allereerst de verhoging van de energie-efficiency. Een wereldwijde verbetering van de energie-efficiency met drie procent zou de C-uitstoot in de periode 1990-2010 met drie miljard ton C verminderen. De tweede set van maatregelen omvat de inzet van hernieuwbare energiebronnen zoals windenergie, geothermische energie en zonne-energie. Maatregelen zoals het overschakelen op fossiele brandstoffen die per eenheid energie relatief weinig C uitstoten, het afvangen van C uit rookgassen, kernenergie en de omzetting van fossiele brandstoffen in waterstof en CO<sub>2</sub> waarna de CO<sub>2</sub> gecompriëerd en geïnjecteerd wordt in oude olie- of gasvelden worden om redenen van hoge kosten, relatief geringe effectiviteit, negatieve milieu-effecten op een ander terrein dan CO<sub>2</sub>-uitstoot, veiligheidsaspecten of ruimtelijke bezwaren minder acceptabel geacht.



## 1.2 Doelstelling van het onderzoek

### 1.2.1 Project "Bosbouw en CO2"

In het project "bosbouw en CO2" staat de bosbouw in relatie tot de CO2-problematiek centraal. Bosbouw kan een bijdrage leveren aan de reductie van de CO2-uitstoot als (1) C-opslagplaats en (2) substituut van de fossiele brandstof. In deze studie wordt de mate waarin deze bijdrage kan worden geleverd, vastgesteld. Daarnaast wordt de vertaalslag gemaakt naar het beleid door te bezien welke instrumenten aanwezig en beschikbaar zijn om de CO2-bosbouw te realiseren. Voor een meer volledig beeld van de problematiek wordt tevens aandacht besteed aan andere overwegingen om tot uitbreiding van het bosareaal te komen (natuur, landschap, open lucht recreatie) en aan de mogelijkheid om via de teelt van (landbouw)gewassen aan de CO2-doelstellingen te voldoen. Het project kent vier onderzoeksvragen waarbij de bosbouw in relatie tot de CO2-problematiek en het beleidsinstrumentarium de centrale as vormen waaromheen twee deelprojecten zijn gesitueerd, zie figuur 1.2.



Figuur 1.2 Organisatie van het project "Bosbouw en CO2"

Voor de te onderscheiden deelprojecten zijn de volgende onderzoeksvragen te beantwoorden:

1. Wat kan de bosbouw in Nederland betekenen voor de aanpak van de klimaatproblematiek uit het oogpunt van:

- a) CO<sub>2</sub>-opslag;
- b) duurzaam houtgebruik en
- c) vervanging van fossiele energiebronnen.

Dit project wordt door het Instituut voor Bosbouw en Groenbeheer "De Dorschkamp" uitgevoerd.

2. Welke andere overwegingen zijn er voor bosbouw.

Dit project wordt door de Grontmij uitgevoerd.

3. Wat zijn de mogelijkheden van andere gewassen voor de aanpak van de klimaatproblematiek.

Dit project wordt door het Landbouw-Economisch Instituut uitgevoerd.

4. Welke instrumenten (financieel, juridisch, ruimtelijk, voorlichting) staan hierbij ter beschikking.

Dit project wordt door DHV uitgevoerd.

#### 1.2.2 Deelproject "Landbouw en CO<sub>2</sub>"

Zoals uit figuur 1.1 blijkt wordt er over de gehele wereld circa tweeduizend Gigaton C vastgelegd. De vraag is welke hoeveelheid C in de Nederlandse biosfeer wordt vastgelegd. Het gaat daarbij dus om de opslagvorm waarvan de verblijftijd circa één jaar is. Dit leidt tot de volgende doelstelling:

doelstelling 1: Vaststelling van de uitgangssituatie

1.1 Inventarisatie van de hoeveelheid C die door de Nederlandse landbouw is vastgelegd.

1.2 Inventarisatie van de hoeveelheid benodigde energie, de daarmee gepaard gaande CO<sub>2</sub>-uitstoot en het financieel saldo van de gewassen die C vastleggen.

De landbouw kan via twee wegen een bijdrage leveren aan de vermindering van toename van de concentratie aan CO<sub>2</sub> in de atmosfeer.

(1) Vergroting van de opslagcapaciteit van de biosfeer.

Groene planten binden CO<sub>2</sub> in de vorm van suikers en kunnen daarmee als tijdelijke opslagplaats dienen van CO<sub>2</sub>. Bij het gebruik van de biomassa komt de opgeslagen CO<sub>2</sub> weer vrij.

(2) Verlaging van de CO<sub>2</sub>-emissie via vervanging van de fossiele brandstoffen.

Door verbranding van fossiele brandstoffen komt de daarin vastgelegde kooldioxide vrij waardoor het evenwicht tussen kooldioxideopname en vrijkomen wordt verstoord. Het gebruik van agrarische producten als brandstoffen leidt niet tot een verstoring van het evenwicht; er is sprake van een cyclus waarbij de kooldioxide die in het ene groeiseizoen vrijkomt kan worden opgenomen in het volgende groeiseizoen. Er wordt dus netto-gemeten geen kooldioxide in de kringloop gebracht. Wanneer de nu niet in gebruik zijnde

grond voor biomassa ten behoeve van brandstof wordt gebruikt en fossiele brandstof vervangt is er sprake van een stabilisatie van de kooldioxide-uitstoot wat betreft brandstoffen. Pas wanneer er een re-allocatie van de produktiemiddelen van bestaande produktierichting naar de produktie van brandstoffen plaatsheeft, is er sprake van een vermindering van de kooldioxide-uitstoot.

De maatregelen ter vermindering van de toename van de concentratie aan CO<sub>2</sub> gaan gepaard met de inzet van (schaarse) energie, de daaraan gerelateerde CO<sub>2</sub>-uitstoot en een financieel saldo. De vraag is via welke optie(s) onder een minimale inzet van energie en de daarmee samenhangende CO<sub>2</sub>-uitstoot en een zo hoog mogelijk financieel saldo, een maximale bijdrage aan de CO<sub>2</sub>-doelstelling kan worden bewerkstelligd. Deze doelstelling is voor de "opslagvariant": maximale netto C-opslag en voor de "energievariant": maximale vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot bij energieverbruik. Hieruit afgeleid kunnen de volgende doelstellingen worden geformuleerd:

doelstelling 2: Selectie van de optie(s) die uit oogpunt van energieverbruik, CO<sub>2</sub>-uitstoot en financieel saldo een maximale bijdrage kan leveren aan de vergroting van de opslagcapaciteit.

doelstelling 3: Selectie van de optie(s) die uit oogpunt van energieverbruik, CO<sub>2</sub>-uitstoot en financieel saldo een maximale bijdrage kan leveren aan de vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot bij inzet van energie.

### 1.3 Landbouw en distikstofoxide en methaan

Zoals uit paragraaf 1.2 blijkt spitst dit onderzoek zich toe op de relatie tussen landbouw en het broeikasgas CO<sub>2</sub>, maar de landbouwsector heeft ook relaties met andere broeikasgassen, zoals distikstofoxide en methaan. Daar wordt in het kort aandacht aan besteed.

Tabel 1.1 Lachgasproduktie per bodemgebruiksvorm voor 1985, in miljoen kilogram lachgas

Gebruiksvorm	% Lachgasvorming bij denitrificatie		Aandeel (%)
	3%	5%	
Grasland	7,9	13,2	74
Maïsland	0,5	0,9	5
Bouwland	2,2	3,7	21
Totaal	10,7	17,8	100

Bron: Informatie en Kennis Centrum, 1990.

Distikstofoxide (lachgas) wordt gevormd als tussenproduct bij de omzetting van nitraat tot stikstof (denitrificatie). De hoeveelheid lachgas die wordt gevormd hangt nauw samen met de mestgift, de grondsoort, het bodemgebruik, de grondwatertrap. In tabel 1.1 is af te lezen hoe groot de bijdrage van de verschillende vormen van grondgebruik is, uitgaande van areaalverdeling in 1985. Daarbij is gerekend met respectievelijk drie en vijf procent aandeel lachgas in de stikstofproductie die vrijkomt bij de denitrificatie.

Uit de tabel blijkt dat grasland verreweg het grootste aandeel in de lachgasproductie uit de landbouw voor haar rekening neemt. Echter naar verwachting neemt met name bij grasland de lachgasemissie af. In het jaar 2000 wordt een lachgasemissie van 35 procent minder verwacht als gevolg van de mestregelgeving. Deze overheidsmaatregel zal ertoe leiden dat de hoeveelheid meststoffen beter wordt afgestemd op de behoefte en dat er technieken gericht op een betere benutting van de dierlijke mest worden ingevoerd.

Methaan wordt gevormd bij de vertering door herkauwers van ruwvoer en bij vergistingsprocessen bij varkens. Daarnaast ontstaat methaan tijdens de opslag en bewaring van mest, maar dit aandeel is te verwaarlozen ten opzichte van de methaanproductie uit dieren.

De methaanproductie uit de Nederlandse veestapel in 1988 tussen 271-419 miljoen kilogram, waarbij rundvee het grootste aandeel heeft met ruim negentig procent.

Ook hier treedt naar verwachting een daling in de emissie op. Dit wordt veroorzaakt door voornamelijk de inkrimping van de rundveestapel als gevolg van een stijgende melkproductie per koe en kwalitatief beter ruwvoer.

#### 1.4 Opbouw van het rapport

In hoofdstuk twee wordt beschreven langs welke weg de doelstellingen van het onderzoek worden bereikt met daarbij de uitgangspunten die aan diverse berekeningen ten grondslag liggen. Daaropvolgend geeft hoofdstuk drie de uitgangssituatie weer. Op basis van de berekende C-opslagcapaciteit per gewas kan het C-reservoir van heel Nederland worden vastgesteld. In hoofdstuk vier en vijf worden de twee opties ter vermindering van de toename van de concentratie CO<sub>2</sub> in de atmosfeer nader bekeken. In hoofdstuk vier komt de "opslagoptie" aan de orde en in hoofdstuk vijf de "energie-optie". In hoofdstuk zes worden conclusies getrokken en in hoofdstuk zeven worden de aanbevelingen voor verder onderzoek neergelegd.

## 2. Werkwijze

### 2.1 Algemene aanpak

De aanpak is opgebouwd uit een aantal stappen:

1. selectie van de potentiële mogelijkheden om (a) de C-opslagcapaciteit te vergroten en om (b) bio-energie te produceren;
2. bepaling van de bijdrage van ieder van de in stap één geselecteerde opties aan de doelstelling, dat wil zeggen de bepaling van de C-vastlegging en de energiebesparing;
3. bepaling van het energieverbruik, de daarmee gepaard gaande CO<sub>2</sub>-emissie en het financieel saldo van ieder van de opties;
4. koppeling stap twee en drie: koppeling van de noodzakelijke input aan energie-, CO<sub>2</sub>-emissie en economische kosten aan de doelstelling.

Hulpmiddelen bij deze aanpak zijn de verschillende rendementen: het CO<sub>2</sub>-rendement, het energierendement en het financieel rendement. Deze worden voor de uitgangssituatie bepaald (het referentiepunt) alsmede voor de te kiezen alternatieven voor een bijdrage aan de CO<sub>2</sub>-problematiek.

De toetsingscriteria die worden gehanteerd bij de afweging van de verschillende mogelijkheden verschillen voor beide opties, omdat de doelstellingen verschillen. In figuur 2.1 zijn de criteria waarop wordt getoetst weergegeven.

criterium	"Opslagoptie"	"Energie-optie"
Bijdrage aan de doelstelling	- opslagcapaciteit per ha - CO <sub>2</sub> -emissie per kg vastgelegde C	- netto-besparing aan CO <sub>2</sub> -emissie - CO <sub>2</sub> -rendement
Aanslag op schaarse energie	- energie-input per kg vastgelegde C	- energierendement t.o.v. CO <sub>2</sub> -rendement
Aanslag op financiële middelen	- financieel saldo per kg vastgelegde C	- financieel saldo t.o.v. CO <sub>2</sub> -rendement

*Figuur 2.1 Toetsingscriteria voor de "opslagoptie" en de "energie-optie"*

Tussen het energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-emissie enerzijds en de vervanging van fossiele energie en de vermindering van de CO<sub>2</sub>-

emissie anderzijds bestaat een relatie. Immers de input van fossiele brandstof gaat gepaard met CO<sub>2</sub>-emissie en de produktie van bio-energie leidt tot een vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot via een vermindering van het gebruik van fossiele brandstoffen. Het CO<sub>2</sub>-rendement is dus een afgeleide van het energierendement. Toch wordt het energierendement als afzonderlijk criterium meegenomen omdat verminderde inzet van fossiele brandstoffen niet alleen uit oogpunt van de CO<sub>2</sub>-problematiek wenselijk is. Ook motieven als de eindigheid van natuurlijke voorraden spelen hierbij een rol.

## 2.2 Bepaling van het energie-, CO<sub>2</sub>- en financieel rendement

### 2.2.1 Algemeen

De diverse rendementen worden berekend voor het gewas tot en met een zogenaamd "af-boerderij-produkt", waar het gaat om gewassen die niet primair voor energieproduktie worden geteeld. De ontwikkeling tot en met het gebruik van een consumabel eindprodukt kent een aantal fasen, te weten de toelevering, de (landbouw)teelt, de verwerking en het gebruik met tussen deze schakels: transport. Ieder van de schakels draagt bij aan de CO<sub>2</sub>-

Schakel	CO <sub>2</sub> -rendement	Energie-rendement	Financieel rendement
<b>Opslagoptie</b>			
Toeleverantie	emissie *)	kosten *)	kosten *)
Landbouwteelt	emissie *) opname *)	kosten *) vastlegging *)	kosten *)
Verwerking	emissie	kosten	kosten
Gebruik	emissie *)	opbrengst	opbrengst *)
Transport	emissie	kosten	kosten
<b>Energie-optie</b>			
Toeleverantie	emissie *)	kosten *)	kosten *)
Landbouwproduktie	emissie *) opname *)	kosten *) vastlegging *)	kosten *)
Verwerking	emissie *)	kosten *)	kosten *)
Gebruik	emissie *)	opbrengst *)	opbrengst *)
Transport	emissie	kosten	kosten

\*) In beschouwing genomen post.

*Figuur 2.2 Relatie tussen de te onderscheiden produktieschakels en het CO<sub>2</sub>-, energie- en financieel rendement vanuit het eindprodukt bezien*

emissie danwel -opname, vraagt of levert energie en kent kosten en opbrengsten. In figuur 2.2 is weergegeven hoe de verschillende schakels de diverse rendementen beïnvloeden.

Uitgaande van de ontwikkeling tot en met het af-boerderij-product, moeten de schakels "toeleverantie" en "landbouwteelt" in de bepaling betrokken worden. De fase "gebruik" is er dan voor een deel impliciet in betrokken. Wat betreft het CO<sub>2</sub>-rendement is immers de emissie die bij het verbruik ontstaat gelijk aan de opname aan CO<sub>2</sub> in de teeltfase. Waar het gaat om het financieel rendement op het niveau van het agrarische bedrijf zijn naast de opbrengsten op verbruikersniveau ook de kosten en opbrengsten bij de verwerking van agrarische produkten tot consumabel produkt relevant. De prijs die de agrariër krijgt wordt immers mede bepaald door de prijs die de gebruiker betaalt en de kostprijs van verwerking.

Bij de bepaling van het CO<sub>2</sub>-rendement en het energierendement voor landbouwgewassen waaruit energie gewonnen wordt, wordt niet alleen de CO<sub>2</sub>-emissie, CO<sub>2</sub>-imissie, energie-input en -output van het gewas zelf in de beschouwing betrokken. Ook de besparing aan energie in de vorm van fossiele brandstof en de daarmee gepaard gaande CO<sub>2</sub>-uitstoot wordt in de berekening meegenomen.

### 2.2.2 Bepaling van het energierendement

Het energierendement is een resultante van de inzet van energie door produktiemiddelen en de vervanging van fossiele brandstoffen. In figuur 2.3 is weergegeven welke posten in de energierendement zijn vervat.

Opslagoptie
input aan energie ten behoeve van de teelt
Energie-optie
input aan energie ten behoeve van de teelt
+ input aan energie ten behoeve van de omzetting tot energie
- besparing aan energie in de vorm van fossiele brandstoffen

*Figuur 2.3 Posten ter bepaling van het energierendement*

Het energierendement heeft dus betrekking op alleen de fossiele brandstoffen. Energie in veevoer of voedsel wordt hier buiten beschouwing gelaten. Deze energie heeft een heel andere gebruikswaarde dan die van transportbrandstoffen of elektriciteit, welke als substituut voor fossiele brandstoffen kunnen dienen. Bovendien zijn deze vormen van energie niet van betekenis voor de bepaling van het CO<sub>2</sub>-rendement; alleen vervanging van de fossiele brandstoffen leidt tot een vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot.

Bij de berekening van het energieverbruik nodig voor de teelt worden de energiekosten ter produktie van zaaizaad, kunstmest, bestrijdingsmiddelen en transportbrandstof in rekening gebracht, alsmede die van het gebruik van duurzame produktiemiddelen. Het energieverbruik bij de inzet van kapitaalgoederen, wordt verrekend naar de mate van de aanslag op het produktiemiddel door het uit te drukken in het energieverbruik per gulden afschrijving.

In tabel 2.1 is het energieverbruik voor de verschillende posten weergegeven.

*Tabel 2.1 Energieverbruik in de landbouw*

---

Kapitaalgoederen *)	
- Afschrijving gebouwen	6,5 MJ/gld.
- Afschrijving werktuigen	6,4 MJ/gld.
Brandstoffen	
- Dieselolie	39,3 MJ/l
- Smeerolie en vetten	35,7 MJ/l
- Elektriciteit	3,6 MJ/kwh
Kunstmest	
- Stikstof	65,0 MJ/kg
- Fosfaat	15,5 MJ/kg
- Kali	8,6 MJ/kg
Gewasbeschermingsmiddelen *)	16,0 MJ/gld.
Zaaizaad	7,4 MJ/gld.
Pootgoed	10,9 MJ/kg

---

Bron: Naar: Brascamp, 1983.

\*) Uitgedrukt in guldens van 1986. De factorkosten zijn ook van het jaar 1986.

Het energierendement wordt uitgedrukt in MegaJoule (MJ) per hectare per jaar.

### 2.2.3 Bepaling van het CO<sub>2</sub>-rendement

In figuur 2.4 is de berekening van het CO<sub>2</sub>-rendement schematisch weergegeven.

Het CO<sub>2</sub>-rendement wordt uitgedrukt in koolstof (C) per hectare per jaar. De achtergrond hiervan is dat CO<sub>2</sub> wordt vastgelegd in de vorm van een koolstofverbindingen.



#### Opslagoptie

opname tijdens de groei

- uitstoot door inzet van produktiemiddelen
- uitstoot bij afbraak door verbranding of rotting

#### Energie-optie

opname tijdens de groei

- uitstoot door inzet van produktiemiddelen
- uitstoot bij afbraak door verbranding of rotting
- + vermeden uitstoot als gevolg van vervanging van fossiele brandstoffen

*Figuur 2.4 Posten ter bepaling van het CO<sub>2</sub>-rendement*

#### - CO<sub>2</sub>-opname en CO<sub>2</sub>-uitstoot

Uitgangspunt is dat de vastgelegde kooldioxide weer vrijkomt op het moment dat de suikers worden afgebroken, bijvoorbeeld bij verbranding (als veevoer, voedsel of andere brandstof) of bij bacteriële omzetting (rotting). Dit laatste zal onherroepelijk, ooit plaatsvinden wanneer er geen maatregelen genomen worden om deze afbraak te voorkomen. Afhankelijk van de snelheid van de afbraak van het materiaal dat op de bodem achterblijft, kan de bodem dienen als tijdelijke opslagplaats. Het gaat dan om bijvoorbeeld aardappel- of bietenloof, graanstoppels maar ook groenbemers. Dit materiaal wordt ondergeploegd, waarbij micro-organismen het omzetten en zo de vastgelegde voedingselementen vrijmaken. De snelheid waarmee dit proces verloopt wordt bepaald door de aantastbaarheid van het organische materiaal voor de micro-organismen. Groene delen van de plant bevatten veel koolhydraten en eiwitten die makkelijk door micro-organismen kan worden afgebroken, terwijl houtige delen veel moeilijker afbreekbaar zijn. Daarnaast wordt de afbraaksnelheid bepaald door het micro-klimaat in de bodem. Uit bovenstaande kan worden afgeleid dat groene massa en groenbemers relatief snel worden afgebroken: na één jaar is er slechts 20 tot 25 procent van de oorspronkelijke hoeveelheid organische stof in de bodem aanwezig en na drie jaar is deze fractie tot 14 procent gedaald. De afbraaksnelheid neemt af in de loop van de tijd omdat de fractie resterende organische materiaal steeds moeilijker afbreekbaar is. Op den duur wordt per jaar maar twee procent afgebroken en spreekt men van humus: een stabiele vorm van organische stof (Janssen, 1976). Gezien de naar verhouding snelle afbraak wordt in deze studie de functie van de bodem als tijdelijke opslagplaats niet expliciet uitgewerkt.

#### - CO<sub>2</sub>-opname en groei

Fotosynthese is de enige weg waarlangs minerale koolstof uit de atmosfeer kan worden opgenomen in de levenscyclus. Fotosynthe-

se omvat de binding van CO<sub>2</sub> en de vorming van verbindingen van koolstof, waterstof en zuurstof, onder invloed van zonne-energie. Bijna alle koolstof die in de plant aanwezig is, is als CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer opgenomen. Dit leidt tot de conclusie dat er een nauwe relatie bestaat tussen de hoeveelheid vastgelegde CO<sub>2</sub> en de drogestofproductie (Goudriaan, 1987).

Er worden tal van verbindingen gevormd die aangaande het koolstofgehalte uiteenlopen. In tabel 2.2 is voor de vijf belangrijkste groepen van verbindingen die door de plant gevormd worden, het percentage aan koolstof weergegeven.

*Tabel 2.2 Koolstofgehalte in de vijf belangrijkste groepen van plantencomponenten en mineralen (gram koolstof per gram bestanddeel)*

Bestanddeel	Koolstofgehalte
Koolhydraten	0,451
Proteïnen	0,532
Vetten	0,774
Lignine	0,690
Organische zuren	0,375
Mineralen	0,0

Bron: Penning de Vries et al., 1989: 60.

Uit deze tabel blijkt dat vooral vetten en lignine interessant zijn uit oogpunt van koolstofopslag. Eiwitten en koolhydraten komen op een tweede plaats. Dit verschil in koolstofgehalte

*Tabel 2.3 Koolstofgehalte van verschillende plante-onderdelen van de belangrijkste Nederlandse gewassen (gram koolstof per gram drogestof)*

Plante-onderdeel	Koolstofgehalte
Vegetatieve organen *)	
- Blad	0,459
- Wortel	0,467
Opslagorganen	
- Aardappelknol	0,439
- Suikerbiet	0,446
- Tarwe-aar	0,471

\*) Exclusief voor rijst.

Bron: Penning de Vries et al., 1989:64.

per plantecomponent uit zich in het koolstofgehalte van verschillende plante-onderdelen: plante-onderdelen die relatief rijk aan vet zijn hebben een hoger koolstofgehalte. Zo zijn katoenbollen (0,540 gram C per gram d.s.), aardnoten (0,616 gram C per gram d.s.), sojabonen (0,527 gram C per gram d.s.) en zonnebloemzaad (0,549 gram C per gram d.s.) relatief koolstofrijk. Voor de gewassen die in Nederland voorkomen ligt het koolstofgehalte tussen veertig en vijftig procent en schommelt rond de 45 procent, zoals blijkt uit tabel 2.3.

- *CO2-emissie door inzet van produktiemiddelen*

Landbouwproductie vraagt inzet van produktiemiddelen, zoals kunstmest, bestrijdingsmiddelen, werktuigen. Voor de voortbrenging van deze produktiemiddelen is energie nodig (zie energierendement) waarbij CO2 vrijkomt. Bij de bepaling van deze hoeveelheid CO2 is ervan uitgegaan dat de produktie van alle input (kunstmest, bestrijdingsmiddelen, duurzame produktiemiddelen) op basis van zware stookolie plaatsvindt. Voor het gebruik van de directe brandstoffen kan de bijbehorende CO2-emissie in rekening gebracht worden.

- *Besparing op vermeden CO2-emissie uit fossiele energie*

Bij het bepalen van de hoeveelheid bespaarde fossiele brandstof hangt het ervan af in welke vorm de bio-energie wordt omgezet. In tabel 2.4 zijn de verschillende opties met de daarbij behorende referenties weergegeven.

*Tabel 2.4 Opties voor energie-opwekking en hun referentie*

Optie	Referentie voor het jaar 2000
- Warmte	gasgestookte ketel met rendement van 80%
- Kracht zonder warmtebenutting	elektriciteitcentrale met rendement van 43% op basis van 52% kolen en 48% aardgas
- Kracht met warmtebenutting	gasgestookte warmte-kracht-koppeling

In deze studie wordt uitgegaan van de eerste optie (zie paragraaf 4.2). Wanneer de biomassa uitsluitend voor warmteproductie wordt benut is de referentie (tot het jaar 2000) de gasgestookte ketel met een rendement van tachtig procent. De emissiefactor van aardgas is 56 kilogram CO2 per GJ.

Analoog aan de wijze waarop de uitstoot aan CO2 voortvloeiend uit de teelt van landbouwgewassen wordt berekend, wordt de vermeden CO2-emissie vastgesteld, dat wil zeggen dat de CO2-uitstoot in de schakels "winning", "produktie" en "verbruik" in de berekening worden betrokken. De CO2-emissies van verschillende brandstoffen zijn in tabel 2.5 weergegeven.

Tabel 2.5 CO<sub>2</sub>-emissies van verschillende brandstoftypes van winning, produktie en gebruik in gram CO<sub>2</sub> per MJoule

Brandstoftype	CO <sub>2</sub> -emissie
Aardgas	60-65
Benzine	86-97
Diesel	80-90

Bron: NRLO, 1990.

#### 2.2.4 Bepaling van het financieel rendement

Het financieel rendement wordt gemeten in het netto-overschot per hectare. Deze wordt bepaald uit de opbrengst minus de kosten. De kosten bestaan uit de zogenaamde toegerekende kosten: kosten van zaaizaad, pootgoed, kunstmest, bestrijdingsmiddelen en dergelijke en de kosten van werk door derden (WDD). Deze kosten zijn een gemiddelde van de waarden in de periode 1984-1988. Daarnaast zijn er kosten voortvloeiend uit de inzet van de produktiemiddelen: arbeidskosten, kosten van werktuigen en gebouwen en kosten van vermogensinzet. Deze kosten zijn gebaseerd op het jaar 1986. De kosten van grondgebruik worden niet in de berekening betrokken omdat het hier gaat om een afweging van de ene vorm van grondgebruik ten opzichte van de andere waarbij de veronderstelling is dat de kosten van het grondgebruik gelijk blijven.

#### 2.3 Uitgangspunten

De gewassen die als C-opslagplaats en als energiegewas het hoogst scoren op energie-, CO<sub>2</sub>- en financieel rendement worden gekenmerkt door: (1) een hoge drogestofproduktie per hectare, (2) (arbeids)extensief en (3) een lage non-factor input (kunstmest en bestrijdingsmiddelen). Voor energiegewassen is ook de behoefte aan nutriënten van betekenis met het oog op de emissie bij de omzetting ervan tot energie. Gewassen met een lage stikstofbehoefte verdienen in dat kader de voorkeur.

##### - Drogestofproduktie

De drogestofproduktie wordt bepaald door (1) de assimilatiesnelheid en (2) de lengte van het groeiseizoen. Gewassen met een hoge assimilatiesnelheid en/of een lang groeiseizoen zijn dus het meest aantrekkelijk. Wat betreft de fotosynthesesnelheid verdienen de zogenaamde C<sub>4</sub>-gewassen de voorkeur boven de zogenaamde C<sub>3</sub>-gewassen. C<sub>4</sub>-gewassen (zoals grasachtigen) hebben een hogere assimilatiesnelheid en de potentiële produktie ligt dus hoger. Suikerriet bijvoorbeeld heeft een netto-produktie van vierhonderd kilogram drogestof per hectare per dag. Echter C<sub>4</sub>-gewassen kunnen

alleen tot dergelijke produktieniveaus komen bij hogere temperaturen. Ze komen dan ook in het algemeen in de warmere streken voor. De belangrijkste C4-gewassen die in Nederland voorkomen zijn: snijmaïs, gras en riet. Mogelijk wordt *Miscanthus* ook interessant in Nederland.

De netto-productie van een gesloten gewas in Nederland is circa tweehonderd kilogram drogestof per hectare per dag. Deze productie wordt behaald onder optimale omstandigheden waarbij voldoende water en nutriënten aanwezig zijn en het gewas vrij van ziekten en plagen is. De gewassen hebben echter maar gedurende een beperkt deel van het jaar een gesloten, groen wasdek. Onder Nederlandse omstandigheden, bij optimale groeifactoren, wordt de groeisnelheid van tweehonderd kilogram drogestof per hectare per dag alleen in de periode van begin mei tot eind september behaald. De rest van het jaar is een dergelijk hoge productie niet te realiseren vanwege te lage straling, te lage temperatuur en te korte dagen. De mogelijkheden om door veredeling de assimilatie-efficiency te verhogen of andere gewastypen te gebruiken zijn niet erg groot en daarom zeker op korte termijn niet te verwachten (Rabbinge, 1982).

Waar het gaat om de verlenging van het groeiseizoen is er wél een kans voor de landbouw om als C-opslagplaats te groeien. Er kan dan gedacht worden aan meerdere gewassen per jaar en aan gewassen die een langere teeltduur hebben. Deze laatste zouden al in de herfst gezaaid kunnen worden en daardoor in het voorjaar eerder het stadium van volledige sluiting bereiken dan gewassen met voorjaarszaai.

Voorwaarde voor de mogelijkheid van de verlenging van het groeiseizoen is dat de gewassen resistent zijn tegen lage temperatuur: koude-resistentie. De zogenaamde wintergewassen hebben deze koude-resistentie nu al in zich. Voor andere gewassen is dit niet het geval.

Bijkomend voordeel van deze optie is dat de nutriënten kunnen worden benut die normaal gesproken uitspoelen of onbenut in de bodem worden vastgelegd. Bij de teelt van niet-marktbare gewassen die in het voorjaar worden ondergewerkt, komen de nutriënten vrij voor een volgend gewas. Dit kan leiden tot een besparing van het kunstmestgebruik. Bij de teelt van marktbaar gewassen komen de nutriënten ten goede aan het produkt.

Onder de huidige Nederlandse omstandigheden is de inzaai van groenbemesters de meest reële optie om langs de weg van hogere drogestofproductie over het hele jaar de C-opslagcapaciteit te vergroten.

#### - *Arbeidsinzet en non-factorinput*

Uit oogpunt van teeltintensiteit zijn vooral gewassen met ondergrondse uitlopers van betekenis. Deze gewassen kunnen één- of meermalen per jaar worden afgesneden waarbij de uitlopers achterblijven en nieuwe loten vormen. Vermeerdering is dus eenvoudig en vraagt weinig arbeid. Daarnaast zijn grondbewerkingen (zoals

ploegen) niet nodig. Ook met het oog op de behoefte aan nutriënten zijn dergelijke gewassen interessant. Deze gewassen vragen relatief weinig kunstmest omdat het gewas de nutriënten uit de bovengrondse biomassa in de ondergrondse delen opslaat en dus weinig nutriënten verspild.

Op basis van bovenstaande criteria is voor groenbemesting, *Phragmites* (riet) en *Miscanthus* een nadere inventarisatie gedaan teneinde een beoordeling te geven van de potentiële betekenis van deze gewassen als C-opslaggewassen in Nederland.

### 3. Referentiebasis

#### 3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een beeld van de grootte van het C-opslagreservoir van de landbouw. De C-opslagcapaciteit wordt voor gewassen met een relatief groot aandeel van het grondgebruik berekend, op basis waarvan de omvang van het C-reservoir voor Nederland kan worden vastgesteld. Tevens zijn de gewassen nader bekeken op hun merites ten aanzien van energieverbruik, de daarmee gepaard gaande CO<sub>2</sub>-uitstoot en het financieel saldo.

#### 3.2 Uitgangssituatie

##### 3.2.1 Areaal cultuurgewassen

In tabel 3.1 is de cultuurgrond naar type van grondgebruik voor de periode 1985-1988 verdeeld. Er wordt daarbij onderscheid gemaakt tussen akkerbouw, grasland, tuinbouw open grond, tuinbouw onder glas en braakliggend terrein.

*Tabel 3.1 Oppervlakte cultuurgrond naar grondgebruik, gemiddeld over de periode 1985-1988*

	Oppervlakte (ha)	Aandeel (%)
Akkerbouw	766.517	38
Grasland	1.136.187	56
Tuinbouw open grond	96.722	5
Tuinbouw onder glas	9.151	<1
Braakland	5.809	<1
Totaal	2.014.386	100

Bron: LEI/CBS, 1989:20.

Uit de tabel blijkt dat de Nederlandse cultuurgrond voor ruim de helft als grasland in gebruik is. De akkerbouw neemt bijna veertig procent van de cultuurgrond voor haar rekening en de tuinbouw open grond vijf procent. De inventarisatie spitst zich dan ook toe op akkerbouwgewassen en grasland. Daarbij is bijna 95 procent van de Nederlandse cultuurgrond in het onderzoek opgenomen.

De glastuinbouw heeft een positie in de CO<sub>2</sub>-problematiek die afwijkt van die van de akker- en weidebouw en de tuinbouw open grond: zij emitteert meer CO<sub>2</sub> dan dat zij opneemt. De glastuinbouw is een energie-intensieve bedrijfstak met een relatief hoog aardgasverbruik voor de kasverwarming. In 1989 emitteerde de sector 6 miljoen ton CO<sub>2</sub>. Op basis van LEI-prognoses is de verwachting dat de netto-CO<sub>2</sub>-emissie voor de hele glastuinbouwsector daalt tot 5,2 miljoen ton in het jaar 2000. Bij het scenario waarin de prijs van aardgas lager is dan die in het middenscenario is de daling minder: tot 5,8 miljoen ton en in het hoge prijsscenario is de daling sterker: tot 4,7 miljoen ton (Van der Velden, 1990). In bijlage 1 is een uitgebreide beschrijving gegeven.

Binnen de akkerbouw worden de belangrijkste gewassen aan een bepaling op energie-, CO<sub>2</sub>- en financieel rendement onderworpen. Een overzicht van de oppervlakten van de diverse akkerbouwgewassen in de periode 1985-1988 wordt in bijlage 2 gegeven, op basis waarvan de gewassen zoals in tabel 3.2 opgesomd zijn geselecteerd.

*Tabel 3.2 Oppervlakte akkerbouwgewassen in 1989, in hectare*

Wintertarwe	130.735
Zomergerst	42.389
Haver	7.787
Consumptie-aardappelen	71.345
Fabrieksaardappelen	60.204
Pootaardappelen	28.743
Suikerbieten	123.754
Groene erwten	15.024
Graszaad	25.696
Zaaiuien	8.477
Snijmaïs	202.691

Bron: LEI/CBS, 1990.

### 3.2.2 Grasopbrengst en -kosten, snijmaïsoopbrengst en -kosten

De fysieke en financiële grasopbrengst is via een omweg bepaald. Gras wordt in het algemeen niet als eindproduct door landbouwbedrijven verkocht zoals dat met andere plantaardige producten gebeurt. Gras wordt hoofdzakelijk op het bedrijf zelf gebruikt en tot waarde gebracht via dierlijke producten, vooral via melk. Dit leidt ertoe dat de handel in gras beperkt is. Het gaat slechts om de overschotten van veehouderijen en bijproducten van graszaadteelt van akkerbouwbedrijven die voorzien in de behoefte van tekortbedrijven. De marktprijzen voor gras (en hooi) worden dan ook in sterke mate bepaald door de verhouding tussen vraag en



aanbod: in tijden van overschot is de prijs laag. Daarmee is de marktprijs in mindere mate geschikt als graadmeter voor de fysieke (veevoeder)waarde die het gras heeft voor de veehouder. Tweede punt is dat de hoeveelheid gras, die per hectare vrijkomt, niet nauwkeurig wordt vastgelegd zoals dat bij marktbaar produkten plaatsvindt. Wat betreft de bepaling van de fysieke opbrengst komt daar nog een probleem bij. Een groot deel van de grasopbrengst wordt direct "geoogst" door de grazende dieren, via beweiding. Voor dit deel van de opbrengst is het onmogelijk de drogestofopbrengst op rechtstreekse wijze te bepalen. Alleen voor het deel dat gemaaid wordt, is een globale schatting van de opbrengst mogelijk. Een rechtstreekse vaststelling van de grasopbrengst is dus niet mogelijk. Daarom wordt gekozen voor een indirecte weg. Deze is in bijlage 3 uitgebreid beschreven.

Voor de financiële opbrengst is gekozen voor de verrekening met een schaduwprijs - de prijs die voor het beste alternatief betaald wordt - aangezien de marktprijs minder representatief is voor de veevoedkundige waarde van het gras. Deze prijs is circa dertig cent per kVEM (kiloVoederEenheidMelk). Bij de bepaling van het financiële rendement is de netto-opbrengst als basis genomen dat wil zeggen de opbrengst minus de maaiverliezen, de bewaarverliezen en voederverliezen.

De gras- en maïsoopbrengst per hectare is in tabel 3.3 weergegeven. Voor het cijfermateriaal dat hieraan ten grondslag ligt wordt eveneens verwezen naar bijlage 3.

Tabel 3.3 Gras- en maïsoopbrengst

Eenheid	Gras		Maïs	
	Gem.	Min. - Max.	Gem.	Min. - Max.
kg d.s./ha	9.816	9.354 - 10.523	13.467	12.353 - 15.333
kg C/ha	4.417	4.209 - 4.735	6.060	6.009 - 6.900
kVEM/ha	7.383	6.964 - 7.820	12.120	12.018 - 13.800
gld./ha	2.215	2.089 - 2.346	3.636	3.605 - 4.140

Bron: LEI, 1990.

### 3.3 Opslagcapaciteit van landbouwgewassen

De C-opslagcapaciteit is de som van de C-opslag in de levende biomassa en die in het produkt. Dit impliceert dat de C-opslagcapaciteit afhankelijk is van de lengte van het groeiseizoen en de levensduur van het produkt. De akkerbouwprodukten en gras verschillen ten aanzien van deze twee punten, zodat een onderscheid wordt gemaakt tussen akkerbouwprodukten enerzijds en gras anderzijds. Uitgangspunt is dat de lengte van het groeiseizoen

voor akkerbouwprodukten zeven maanden is en dat voor gras één jaar. Dit leidt ertoe dat bij een vastlegging van 4.355 kilogram C per hectare (tarwe)  $7/12 \cdot 1/2 \cdot 4.542 = 1.325$  kilogram C gemiddeld per jaar per hectare wordt opgeslagen in de biomassa en dat er bij gras  $1/2 \cdot 4.417 = 2.208$  kilogram C wordt opgeslagen in de biomassa. Waar het gaat om de levensduur van de produkten wordt voor zowel de akkerbouwprodukten als voor het gras aangenomen dat deze één jaar is. Dit betekent dat er voor de eerdergenoemde tarwe  $1/2 \cdot 4.542 = 2.271$  kilogram C gemiddeld per jaar per hectare in het produkt wordt vastgelegd en in het grasprodukt 2.208 kilogram C. In tabel 3.4 is de C-opslag per gewas gegeven.

Tabel 3.4 C-opslag per gewas, in kilogram C per hectare per jaar

Gewas	Vastleg- ging	C-opslag		
		biomassa	produkt	totaal
Wintertarwe	4.542	1.325	2.271	3.596
Zomergerst	3.154	920	1.577	2.497
Haver	3.552	1.036	1.776	2.812
Consumptie-aardappelen	5.291	1.543	2.645	4.188
Fabrieksaardappelen	5.135	1.498	2.567	4.065
Pootaardappelen	7.447	2.172	3.723	5.895
Suikerbieten	8.665	2.527	4.332	6.859
Groene erwtten	2.932	855	1.466	2.321
Graszaad	2.555	745	1.277	2.022
Zaaiuien	2.235	652	1.117	1.769
Snijmaïs	6.060	1.767	3.030	4.797
Gras	4.417	2.208	2.208	4.417

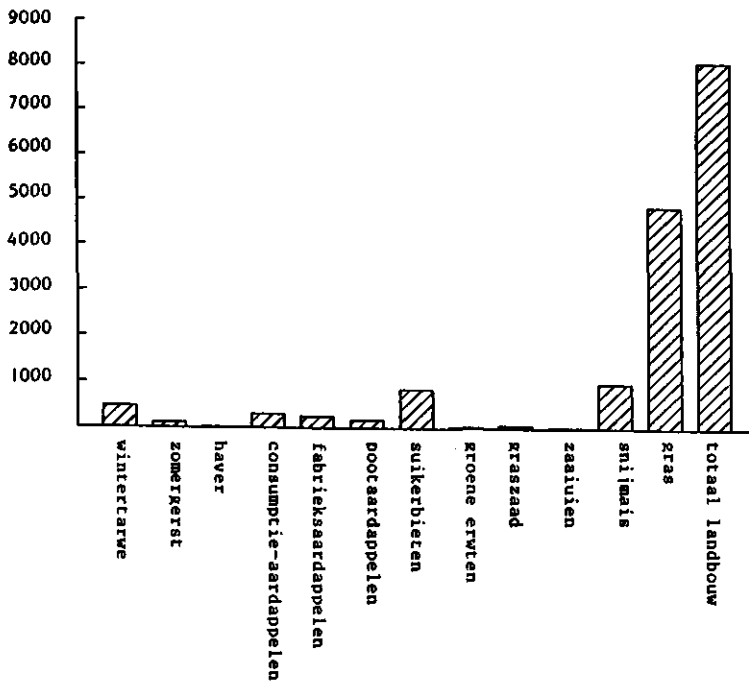
Uitgaande van de C-opslag per gewas (tabel 3.4) en het areaal aan de te onderscheiden gewassen (tabel 3.2) kan de C-opslagcapaciteit voor de verschillende gewassen berekend worden. Het resultaat hiervan is in tabel 3.5 gepresenteerd.

Uit de tabel blijkt dat de C-opslagcapaciteit van de akker- en weidebouw circa 8,0 miljoen ton C per jaar bedraagt.

De opslagcapaciteit van de akkerbouw is 3,2 miljoen ton C en die van grasland 4,8 miljoen ton. Daarmee komt de grootte van het C-opslagreservoir voor de gehele landbouw op 8,0 miljoen ton C. Grasland neemt dus het grootste deel van de opslagcapaciteit voor haar rekening met 60 procent, gevolgd door snijmaïs met 12 procent, suikerbieten met 10 procent en granen met 7 procent. In figuur 3.1 is de verdeling van de C-opslag over de verschillende grondgebruiksvormen gegeven.

Tabel 3.5 C-opslag in Nederland, in miljoen kilogram C per jaar

Gewas	C-opslag
<b>Akkerbouw</b>	
- Wintertarwe	470
- Zomergerst	106
- Haver	21
- Consumptie-aardappelen	299
- Fabrieksaardappelen	245
- Pootaardappelen	169
- Suikerbieten	849
- Groene erwten	34
- Graszaad	52
- Zaaizuien	14
- Snijmaïs	972
Totaal akkerbouw	3.231
Gras	4.853
Totaal landbouw	8.084



Figuur 3.1 Verdeling van de C-opslag in Nederland over de diverse vormen van grondgebruik door de landbouw

### 3.4 Energie-, CO<sub>2</sub>- en financieel rendement

In tabel 3.6 is het energierendement, het CO<sub>2</sub>-rendement en het financieel rendement naast elkaar gezet voor de belangrijkste akkerbouwgewassen en voor snijmaïs en gras. Bij de bepaling ervan zijn de uitgangspunten gehanteerd zoals in hoofdstuk 2 is beschreven. Voor uitgebreidere berekeningen wordt verwezen naar bijlage 4 en 5.

Tabel 3.6 *Energie-, CO<sub>2</sub>- en financieel rendement voor diverse gewassen*

	Rendement uit oogpunt van		
	energie (MJ/ha)	CO <sub>2</sub> (kg C/ha)	financieel *) (gld./ha)
Wintertarwe	-39.023	-813	937
Zomergerst	-26.359	-548	595
Haver	-27.157	-565	328
Consumptie-aardappelen	-68.763	-1.438	943
Fabrieksaardappelen	-63.496	-1.328	786
Pootaardappelen	-63.018	-1.318	269
Suikerbieten	-46.227	-965	2.070
Groene erwten	-29.527	-614	774
Graszaad	-38.863	-810	1.082
Zaaiuien	-64.372	-1.346	-499
Snijmaïs	-8.899	-185	1.041
Gras	-31.672	-661	767

\*) Gemiddeld over 1984-1988.

Het energierendement van de bovenstaande gewassen is in alle gevallen negatief, omdat er geen energie als vervanger van fossiele brandstof wordt geproduceerd. Er wordt alleen energie verbruikt. Evenzo is het CO<sub>2</sub>-rendement negatief; er wordt alleen CO<sub>2</sub> uitgestoten, zonder dat er sprake is van een vermeden CO<sub>2</sub>-emissie.

Uit de tabel blijkt dat aardappelen en zaaiuien het hoogste energieverbruik hebben (60-70 GJ per ha), gevolgd door suikerbieten (bijna 50 GJ per ha) en granen, peulvruchten en gras (30-40 GJ per ha). Met het energieverbruik hangt de CO<sub>2</sub>-uitstoot direct samen en ten aanzien van de CO<sub>2</sub>-uitstoot is dus eenzelfde patroon te zien. Deze verschillen kunnen voor een belangrijk deel worden toegeschreven aan het gebruik van kunstmest en bestrijdingsmiddelen.

### 3.5 Conclusie

De C-opslagcapaciteit van de Nederlandse landbouw is circa 8,0 miljoen ton C per jaar. Daarbij is uitgegaan van een levensduur van de produkten van één jaar, een groeiperiode van circa zeven maanden voor akkerbouwprodukten en een groeiperiode van één jaar voor gras. De akkerbouw neemt 3,2 miljoen ton C voor haar rekening en de grasverbouw circa 4,8 miljoen ton.

Gewassen die een relatief grote bijdrage aan de vorming van het C-reservoir leveren zijn grasland (60 procent), snijmaïs (12 procent), suikerbieten (10 procent) en granen (7 procent). Bij grasland en granen speelt vooral het relatief grote aandeel in het grondgebruik een rol. Voor snijmaïs en suikerbieten speelt daarnaast ook de grote C-opslagcapaciteit per hectare een rol.

In tabel 3.7 zijn de criteria waarop de verschillende gewassen tegen elkaar kunnen worden afgewogen, en de scores van de gewassen op deze criteria in beeld gebracht.

Tabel 3.7 Score van de gewassen op de criteria

Criteria	Capaciteit (kg C/ha)	Rendement t.o.v. C-opslagcapaciteit		
		energie (MJ/kg C)	CO <sub>2</sub> (kg C/kg C)	financieel (gld./kg C)
Wintertarwe	3.596	-10,8	-0,22	0,26
Zomergerst	2.497	-10,6	-0,21	0,23
Haver	2.812	-9,6	-0,19	0,11
Consumptie-aard.	4.188	-16,4	-0,34	0,22
Fabrieksaardappelen	4.065	-15,6	-0,33	0,20
Pootaardappelen	5.895	-10,7	-0,22	0,05
Suikerbieten	6.859	-6,7	-0,14	0,30
Groene erwten	2.321	-12,6	-0,26	0,33
Graszaad	2.022	-19,1	-0,40	0,54
Zaaiuien	1.769	-36,0	-0,76	-0,28
Snijmaïs	4.797	-1,8	-0,04	0,22
Gras	4.417	-7,2	-0,15	0,17

Uit de tabel blijkt dat uit oogpunt van benodigde energie met de daarmee gepaard gaande CO<sub>2</sub>-uitstoot per eenheid vastgelegde C granen, pootaardappelen, suikerbieten, snijmaïs, gras en groene erwten de meest aantrekkelijke gewassen zijn met minder dan circa 10 MJ en minder dan 0,25 kilogram C-uitstoot per kilogram vastgelegde C. Zaaiuien springt eruit als meest ongunstig: het gewas vraagt veel energie om een kilogram C vast te leggen.

De tabel laat verder zien dat graszaad, granen, suikerbieten en groene erwten het hoogste saldo per eenheid vastgelegde C le-

vert. Consumptie- en fabrieksaardappelen, snijmaïs en gras scoren op dit punt lager.

Alle criteria gecombineerd geeft het beeld dat suikerbieten, snijmaïs, gras en groene erwten aantrekkelijke gewassen zijn vast te leggen. Aardappelen en granen scoren iets lager, terwijl graszaad en zaaiuien het minst gunstig naar voren komen.

## 4. De landbouw als groter C-opslagreservoir

### 4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de mogelijkheden van en de bijdrage aan vergroting van de opslagcapaciteit met de daarvoor benodigde energie-inzet en de daarmee gepaard gaande CO<sub>2</sub>-emissie en het financiële saldo geïnventariseerd.

De gewassen die als C-opslagplaats interessant zijn en onder een relatief laag energieverbruik met weinig non-factorinput zijn gewassen met (1) een hoge drogestofproductie per hectare, (2) weinig arbeidsinzet en (3) een lage behoefte aan nutriënten en bestrijdingsmiddelen. Op basis van deze criteria worden de gewassen Phragmitus en Miscanthus nader op hun merites bekeken, in respectievelijk paragraaf 4.3 en 4.4. In paragraaf 4.2 wordt aandacht besteed aan de mogelijkheid van verlenging van het groeiseizoen om langs deze weg de drogestofproductie per hectare en daarmee de C-opslagcapaciteit te vergroten.

### 4.2 Groenbemesting

#### 4.2.1 Teelt

Groenbemesting wordt na de oogst ingezaaid om organische stof aan de bodem toe te voegen. De groenbemesting wordt niet geoogst en verkocht maar met het ploegen ondergebracht waarna het wordt verteerd. Daarbij komen de door de plant opgenomen nutriënten vrij en wordt organische stof toegevoegd aan de bodem. Nevenvoordeel van de inzaai van groenbemesting is derhalve dat de in de bodem aanwezige nutriënten worden vastgelegd en ter beschikking komen aan het volgende gewas, hetgeen tot besparing op kunstmest en een vermindering van de uitspoeling van nutriënten leidt. Bovendien kan het als bodembedekker een functie hebben bij de erosiebestrijding.

De volgende groenbemesters worden nu in Nederland gebruikt: bladrammenas, Italiaans en Engels raaigras, rode en witte klaver en wicken.

#### 4.2.2 Opslagcapaciteit

##### 4.2.2.1 C-opslag per hectare

De opslagcapaciteit bovengronds verschilt per groenbemester. Niet alleen de opbrengsten per hectare lopen uiteen maar ook de periode dat het gewas op het veld staat. De groenbemesters worden in het algemeen na de oogst (september-oktober) gezaaid en enkele

(bladrammenas, witte klaver en wikken) sterven af bij vorstinval terwijl andere (grassen en rode klaver) vorstbestendig zijn. De vorstgevoelige gewassen staan dus circa vier maanden op het veld terwijl de vorstbestendige gewassen zo'n zeven maanden kunnen gedijen. Echter in de kleigebieden wordt voor de winter geploegd, zodat de vorstbestendige gewassen in kleigebieden ook slechts vier maanden op het veld staan.

In tabel 4.1 zijn de opbrengsten gegeven. Bladrammenas levert na vier maanden 5.099 kilogram C, hetgeen een gemiddelde C-opslag van  $850 (4/12 * 1/2 * 5.099)$  kilogram C per jaar betekent.

*Tabel 4.1 Opbrengst en opslagcapaciteit van groenbemesters, in kg C per hectare*

Groenbemesters	Vastlegging na groeiperiode	Gemiddelde C-opslagcapaciteit
Bladrammenas	5.099	850
Italiaans raaigras	7.530	2.196
Engels raaigras	7.530	2.196
Rode klaver	3.480	1.014
Witte klaver	2.550	425
Wikken	3.870	645

Bron: Naar PAGV, 1990.

Uit oogpunt van C-opslagcapaciteit verdienen de raaigrassen de voorkeur, zo blijkt uit de tabel.

#### 4.2.2.2 Potentieel areaal

De inzaai van groenbemesters vindt momenteel al plaats in Nederland. Het areaal is echter beperkt tot circa 1.000 hectare (LEI/CBS, 1990) en kan worden uitgebreid. Wanneer op alle bedrijven in de kleigebieden na pootaardappelen en granen en in de zandgebieden groenbemesting wordt toegepast, is het areaal 400.000 hectare. In kleigebieden is groenbemesting niet altijd mogelijk omdat er voor de winter moet worden geploegd en dus alleen na de teelt van gewassen die vroeg geoogst worden (zoals pootaardappelen) groenbemesting kan worden toegepast. Groenbemesting na suikerbieten of consumptie-aardappelen is niet goed mogelijk. Daarnaast kan gras als groenbemester onder granen worden ingezaaid. In zandgebieden wordt ook in het voorjaar geploegd en is groenbemesting ook na laat te oogsten gewassen als consumptie-aardappelen of suikerbieten mogelijk.



#### 4.2.2.3 Potentiële opslagcapaciteit

Als uitgangspunt wordt genomen dat er 400.000 hectare potentieel areaal voor groenbemesting is en dat in zandgebieden alleen gras - niet wintergevoelig - wordt ingezaaid. De vorstgevoelige groenbemers (bladrammenas en vlinderbloemigen) worden hier niet gezaaid. Deze worden alleen in de kleigebieden ingezaaid. Het potentieel areaal voor gras als groenbemester is dus 400.000 hectare en die van bladrammenas en vlinderbloemigen 225.000 (alleen de kleigebieden).

De potentiële opslagcapaciteit voor de bladrammenas en de vlinderbloemigen (klavers en wikken) is dan respectievelijk 191.250 ton C en 156.300 ton C en die voor grassen 878.400 ton C.

#### 4.2.3 Energie-, CO<sub>2</sub>- en financieel rendement

In tabel 4.2 zijn de verschillende rendementen naast elkaar opgenomen. Uit de tabel blijkt dat het energie- en CO<sub>2</sub>-rendement positief is voor de klavers en de wikken. Deze gewassen behoren tot de vlinderbloemigen en kunnen stikstof uit de lucht vastleggen en vragen dus geen stikstofkunstmest én zij leveren stikstof leveren bij het onderbrengen waardoor een besparing van het gebruik van stikstofkunstmest en de daarvoor benodigde energie voor het volgende gewas kan plaatsvinden. Voor deze gewassen is de energiebesparing als gevolg van de besparing op het gebruik van stikstofkunstmest groter dan het verbruik voor de teelt. In bijlage 6 is het energieverbruik en de energiebesparing uitgebreid beschreven.

Tabel 4.2 Energie-, CO<sub>2</sub> en financieel rendement voor groenbemers

	Rendement uit oogpunt van		
	energie (MJ/ha)	CO <sub>2</sub> (kg C/ha)	financieel (gld./ha)
Bladrammenas	-5.100	-103	-298
Italiaans raaigras	-5.373	-108	-378
Engels raaigras	-5.448	-110	-389
Rode klaver	465	9	149
Witte klaver	280	6	174
Wikken	704	14	238

Bron: PAGV, 1990.

### 4.3 Phragmitus

#### 4.3.1 Teelt

Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar bijlage 7.

Riet (*Phragmitus australis* (Cav.) Trn. ex. Steundel) is een overblijvende plant die in de winter bovengronds afsterft en in het voorjaar weer uitloopt.

Het optimale groeimilieu voor de rietplant is een bodem van redelijke voedselrijkdom. De plant groeit op bijna alle gronden maar in een eutroof milieu is de fysieke opbrengst veel hoger dan in een oligotroof milieu. De ontwikkeling is goed op neutrale tot licht basische gronden met een pH van 5,5 tot 7,5. Verder groeit riet op bijna ieder substraat, maar heeft het een voorkeur voor een vaste minerale bodem (zand of klei) boven een week substraat. Naast de bodemgesteldheid is voor waterstand en de kwaliteit van het water sterk bepalend voor de groei. Zonder getijde wordt de maximale bovengrondse produktie bereikt bij een waterdiepte van circa twintig centimeter.

#### - Teelt van *Phragmitus*

Teeltmaatregelen voor riet worden in sterke mate bepaald door de eisen die aan het eindprodukt worden gesteld. De oogst is uiteraard altijd noodzakelijk. Daarbij wordt het riet tot veldbossen opgebonden. Afhankelijk van de gangbare handelsmaat in het segment waar het riet wordt afgezet, moet het riet doorgebonden worden tot zogenaamde handelsbossen. Ook de noodzaak van het "schonen" of "sloeken" (dat is het onkruidvrij maken van bossen) is afhankelijk van de eisen die het marktsegment stelt.

Verdere teeltmaatregelen blijven beperkt tot het bemalen van de percelen. Bemesting en gewasbescherming vindt in Nederland niet of nauwelijks plaats omdat de behoefte aan nutriënten relatief laag is en het aantal belagers relatief beperkt. Echter het extensieve karakter van de rietteelt in Nederland wordt ook veroorzaakt door het feit dat zij voornamelijk binnen het kader van natuurbeheersdoelstellingen plaatsvindt.

De mechanisatiegraad in de rietteelt is laag. Alleen bij het maaien wordt een lichte motormaaier ingezet. Vervolgens wordt handmatig geschoond en wordt het riet opgebonden tot veldbossen die later worden doorgebonden tot handelsbossen. Er is wel een zelfbinder op de markt die het gemaaide riet tot bossen opbindt, maar deze is vooral op grotere percelen inzetbaar en de kosten zijn relatief hoog.

De mechanisering heeft zich ook bij het doorbinden ontwikkeld. Machinaal kunnen de handelsbossen gebonden worden. Hiervoor geldt - evenals voor de aanschaf van een zelfbinder - dat de bedrijfsgrootte sterk bepalend is voor de economische haalbaarheid.

De arbeidspiek valt in de winter wanneer geoogst wordt. Het maaien duurt tot ongeveer half april. Daarna bestaat het gevaar

dat de jonge uitlopers beschadigd worden. De oogst omvat het maaien, (eventueel) schonen en opbinden tot veldbossen. In de zomer worden de veldbossen dan doorgebonden tot handelsbossen wanneer het om dekriet gaat (Augustijn et al., 1985).

- *Afzetmogelijkheden van Phragmites*

Riet wordt vanouds op de markt voor geotextiel (matten, platen voor onder andere oeverbescherming) afgezet. Verder wordt een groot deel als dekriet verkocht. Het riet moet daartoe wel aan bepaalde kwaliteitseisen voldoen, die niet altijd gehaald kunnen worden vanwege de teeltbeperkingen die de natuurbeheersdoelstellingen met zich meebrengen (Augustijn et al., 1985).

#### 4.3.2 Opslagcapaciteit

##### 4.3.2.1 C-opslag per hectare

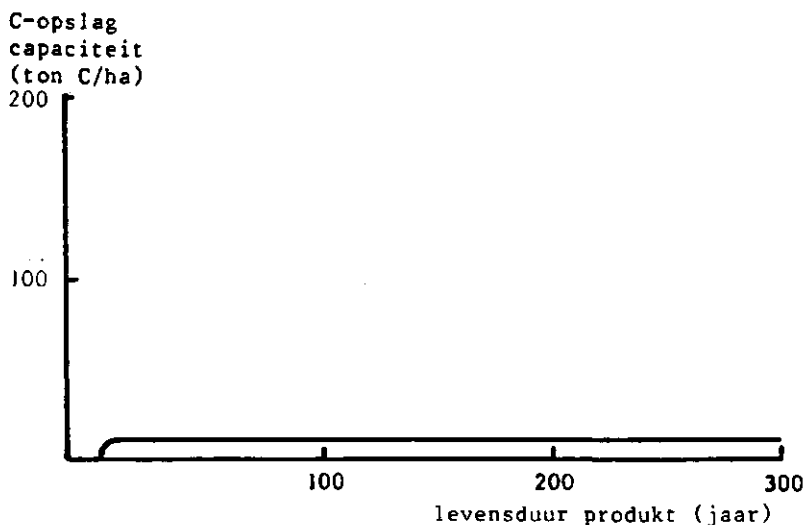
De C-vastlegging is 6,75 ton C per jaar, per hectare uitgaande van een produktie van vijftien ton drogestof.

Het moment van vrijkomen van de CO<sub>2</sub> is afhankelijk van de levensduur van het riet die in sterke mate bepaald wordt door de omgeving waarin het produkt wordt gebruikt. Wanneer riet (bijvoorbeeld als mat) onder water of onder de grondwaterstand onder zuurstofvrije omstandigheden wordt gebracht kan het tot meer dan honderd jaar intact blijven. In geval (eerste klas) (dek)riet als dakbedekking dient is de levensduur minder: circa dertig jaar omdat de micro-biologische afbraakprocessen eerder plaatsvinden in de open lucht onder invloed van vochtinwerking. Bij toepassing op plaatsen die afwisselend droog vallen of op de grens van bodem en water of dergelijke is het micro-klimaat dusdanig dat al na zo'n drie jaar afbraak begint (mondelinge mededeling Koster, 1990). Bovendien komt dan tevens methaan vrij, een gas dat ook bijdraagt aan het broeikas effect, en wel in nog sterkere mate dan CO<sub>2</sub>.

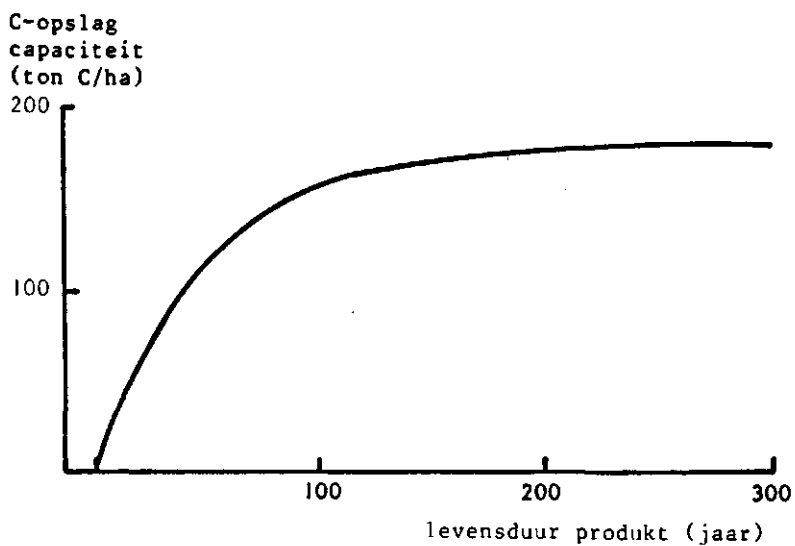
De hoeveelheid opgeslagen C in produkt en levende biomassa vastgelegd, die per hectare in de biosfeer wordt vastgelegd is voor de optie met een levensduur van drie jaar en één met een levensduur van vijftig jaar, in beeld gebracht in de figuren 4.1 en 4.2. Daarbij is gebruik gemaakt van het model van het Instituut voor Bosbouw en Groenbeheer "De Dorschkamp" (Mohren en Klein Goldewijk, 1990).

Uit de figuren blijkt dat voor een produkt met een langere levensduur de opslagcurve op een hoger niveau ligt maar dat het langer duurt voor dit evenwichtsniveau is bereikt.

Uit figuur 4.1 en 4.2 is af te lezen dat riet dat na drie jaar wordt afgebroken, een continue opslagcapaciteit van circa 16 ton C per hectare heeft. Na ongeveer elf jaar wordt dit niveau bereikt. De opslagcapaciteit van riet dat na vijftig jaar wordt afgebroken is hoger: namelijk circa 125 ton C per hectare én het duurt langer voordat dit evenwichtsniveau is bereikt. Na tien jaar is er 42 ton C vastgelegd en na dertig jaar 89 ton C per hectare.



*Figuur 4.1 Opslagcapaciteit van riet bij levensduur van vijf jaar*



*Figuur 4.2 Opslagcapaciteit van riet bij levensduur van vijftig jaar*

#### 4.3.2.2 Potentieel areaal

De grootte van het potentieel areaal zijn afhankelijk van (1) de mogelijkheden tot bemaling, (2) de bodemgesteldheid en (3) de verkavelingssituatie.

Bemaling vindt plaats met behulp van een pompinstallatie. De mogelijkheden om te bemalen worden bepaald door de maximaal mogelijk te overbruggen hoogte en de mogelijkheid om water van elders aan te voeren. De grondwaterstand mag niet te laag zijn en potentiële rietgebieden moeten daarom vooral in gebieden hogere grondwaterstand worden gezocht. Vooral de veenweidegebieden komen daarom in aanmerking voor rietteelt, maar ook in zand- en kleigebieden zijn gedeelten waar de grondwaterspiegel hoog is. Echter ook de mogelijkheid om water van elders aan te voeren en regulerende maatregelen in de waterhuishouding zijn bepalend. Voorts is er de voorkeur voor een minerale bodem boven een week substraat, wat wijst op de voorkeur voor zand of klei. Ten aanzien van de verkavelingssituatie zijn grootschaliger gebieden met grotere kavels (bijvoorbeeld 10-20 hectare) gewenst (Augustijn et al., 1985).

Naast de fysieke eisen die gesteld worden, worden de mogelijkheden tot uitbreiding tevens bepaald door de markt. Dekriet wordt voor een deel geïmporteerd en dit deel zou ook in Nederland geteeld kunnen worden. Verdere uitbreiding van het areaal vereist vergroting van de bestaande markten danwel verbreding van het afzetgebied tot meerdere segmenten.

Tenslotte moet rekening gehouden worden met het feit dat riet een meerjarig gewas is en dus geen bijdrage kan leveren aan de verruiming van het bouwplan voor akkerbouwers.

Gegeven bovenstaande beperkende factoren, wordt het potentieel areaal op (betrekkelijk willekeurig) 10.000 hectare gesteld.

#### 4.3.2.3 Potentiële opslagcapaciteit

Uitgaande van een areaal van tienduizend hectare neemt de opslagcapaciteit in geval van een produkt met een levensduur van drie jaar met 160.000 ton C toe en in geval van een produkt met een levensduur van vijftig jaar met 1,2 miljoen ton C toe.

#### 4.3.3 Energie-, CO<sub>2</sub>- en financieel rendement

##### 4.3.3.1 Energie- en CO<sub>2</sub>-rendement

De verschillende rendementen zijn voor Phragmitus moeilijk te bepalen omdat commerciële rietteelt alleen binnen de kaders van natuurbeheersdoelstellingen plaatsvindt en de inzet van produktiemiddelen, kunstmest en bestrijdingsmiddelen alsmede de output daar sterk door wordt beïnvloed. Dit heeft direct gevolgen voor het energie- en CO<sub>2</sub>-rendement. De gegevens die hier gebruikt

worden, gelden voor een aantal bedrijven uit het natuurgebied "De Weerribben".

Het energieverbruik en de daarmee gepaard gaande CO<sub>2</sub>-uitstoot zijn een afgeleide van de inzet van produktiemiddelen en de benodigde brandstof. Het energieverbruik in 1984 bedroeg 4.695 MJ per hectare, uiteenlopend van 3.335 MJ tot 6.056 MJ. De CO<sub>2</sub>-emissie die daarmee samenhangt was in 1984 94 kilogram C per hectare (4.695 MJ \* 74 gram CO<sub>2</sub>/MJ \* 12/44), variërend van 67 kilogram C tot 122 kilogram C.

Aandachtspunt hierbij is dat naast de beoordeling van het CO<sub>2</sub>-rendement hier ook rekening moet worden gehouden met het vrijkomen van methaan, omdat er sprake is van een teelt onder anaerobe omstandigheden. Methaan is naast CO<sub>2</sub> een gas dat leidt tot verhoging van de temperatuur en wel in sterkere mate dan CO<sub>2</sub>: de "warming potential" van een molecuul methaan is minstens een factor twintig hoger dan die van een molecuul CO<sub>2</sub>.

Er is kwantitatief nog vrij weinig bekend van de methaanuitstoot. De metingen van de hoeveelheid methaanuitstoot lopen uiteen 80 tot 200 mg per m<sup>2</sup> per dag in veengebieden. Deze parameter kan ook voor gebieden met andere grondsoorten gehanteerd worden.

Wanneer het landgebruik niet veranderd, dat wil zeggen wanneer gezaaid wordt in al bestaande gebieden waar anaerobe omstandigheden aanwezig zijn, zal er geen verandering in de uitstoot van methaan plaatsvinden. Echter wanneer Phragmitus wordt gezaaid in gebieden die nu ter produktie van akkerbouw en gras zijn ingericht is er wel sprake van een verhoging van de methaanuitstoot, namelijk 292-730 kg methaan per hectare per jaar (mondelijke mededeling Van der Born (RIVM), 1990).

#### 4.3.3.2 Financieel rendement

De basis voor een saldoberekening voor een meer commerciële rietteelt ontbreekt. Een saldoberekening gebaseerd op de rietteelt in zijn huidige vorm in Nederland is minder zinvol wanneer deze als basis dient in de afweging tegen andere commerciële teelten. Waarschijnlijk krijgen de diverse rendementen andere waarden bij grootschalige commerciële teelt. Om toch een indruk te geven van de rendementen wordt een studie naar de rietteelt in De Weerribben als basis genomen (Van Onna, 1985).

In deze studie zijn slechts dertien bedrijven in beschouwing genomen, waarvan de opbrengsten en kosten sterk uiteenlopen. Dit komt voort uit de grote verschillen in de aard van het perceel en in de te nemen maatregelen die door de natuurbescherming zijn toegestaan. Vanwege deze grote verscheidenheid worden de marges bij ieder van de resultaten vermeld.

Het financieel rendement is in tabel 4.3 gepresenteerd. Daarbij is het 90%-betrouwbaarheidsinterval voor iedere gemiddelde waarde gegeven. De kans is negentig procent dat de werkelijke waarde in dit interval ligt. Uit de ruime intervallen blijkt de grote variatie tussen de bedrijven, zowel aan de opbrengstenkant als aan de kant van de (arbeids)kosten.

Tabel 4.3 Financieel rendement voor riet, in guldens per hectare

	Gemiddelde	90%-b. b. i.
Opbrengst	1.703	1.203 - 2.203
Kosten		
- Arbeid	2.120	1.776 - 2.504
- Grond- en hulpstoffen	129	86 - 173
- Produktiemiddelen	310	257 - 363
Totaal	2.600	
Saldo inclusief arbeidsvergoeding	-897	
Saldo exclusief arbeidsvergoeding	1.223	

Bron: Van Onna, 1985.

#### 4.4 Miscanthus

##### 4.4.1 Teelt

Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar bijlage 8.

*Miscanthus sinensis* is een bamboe-achtig gras van Japanse afkomst dat drieëneenhalf tot vier meter hoog kan worden. Het is een meerjarig gewas. De bladeren vallen in november - met de vorst - af, de stengel "rijpt" in de winter en de rizomen vormen nieuwe uitlopers in het voorjaar.

Momenteel is er nog geen sprake van commerciële teelt van *Miscanthus*. Het gewas bevindt zich nog in de ontwikkelingsfase en onderzoek naar onder andere teeltmethoden en verwerkingsmethoden is nog noodzakelijk. In Denemarken zijn twee instituten actief met onderzoek naar teelt, oogst, opslag en verbranding van *Miscanthus*: het Danish Agricultural Engineering Institute en het Instituut for Landskapsplanter. Bij deze instituten zijn ook proefvelden aangelegd. Tevens is er onlangs een EG-onderzoeksprogramma van vier jaar gestart. Hier ligt het accent op teeltechnische aspecten. De invloed van vooral bodemsoorten, klimatologische omstandigheden en bemestingsniveau staat hierin centraal. In verschillende EG-landen zijn proefvelden ingericht. Daarnaast vindt bij het Deense bedrijf "Fredericia" een proef plaats waarbij de mogelijkheden van *Miscanthus* als grondstof voor papier wordt beoordeeld. Dit kan een grote impuls voor de *Miscanthus*-teelt betekenen wanneer de resultaten positief zijn en dan kan *Miscanthus* in versneld tempo in onderzoeksprogramma's terecht komen. Voorlopig is er in Nederland echter beperkte onderzoekcapaciteit ingezet op *Miscanthus* en vindt het onderzoek enigszins versnipperd plaats. Van een gestructureerd onderzoeksprogramma zoals voor vlas, karwij, oliën en vetten en hennep is opgesteld, is nog geen sprake.

Miscanthus groeit het best in een humusrijke bodem. De hoogste opbrengsten worden verkregen op veengrond maar de machinale oogst is hier problematischer vanwege de geringe draagkracht van veen. De laagste opbrengst wordt behaald op kleigrond vanwege de vorstgevoeligheid. Humusrijke zandgronden zijn dus het meest geschikt vanwege het humusgehalte en vanwege de draagkracht (Koster et al., 1991).

- *Teelt van Miscanthus*

Het uitplanten van de stekken vindt plaats in het voorjaar: van half april tot half mei. Het zaad van de plant is in deze streken niet kiemkrachtig. De vermeerdering kan daarom alleen vegetatief plaatsvinden.

De benodigde bemesting en de gewasbescherming beperken zich tot een minimum. Het eerste jaar zijn er slechts vijftig kilogram stikstof per hectare nodig, in de erop volgende jaren moet er honderd kilogram worden gegeven.

De onkruiden zijn goed te bestrijden en na het tweede jaar is dit niet meer nodig aangezien de bodem dan met een dichte laag bedekt is. Een ziekte bestrijding is evenals een insecticidebehandeling niet nodig.

De oogst vindt plaats in de periode februari tot april. Er komen verschillende oogstmethoden in aanmerking. De keuze voor een oogstmethode wordt niet alleen bepaald door de technische en economische omstandigheden bij de teler, maar ook door de eisen die de bestemming voor Miscanthus stelt. De Miscanthus kan gemaaid en in zwad (dat is een in één slag afgemaaide hoeveelheid) gelegd worden waarna het wordt geperst. Wat betreft de maaimachines bleken de bestaande rietoogstmachines echter niet geschikt te zijn voor de oogst. Verder is de mogelijkheid van toepassing van oogstmachines voor suikerriet nog in onderzoek. Een tweede oogstechniek is het verhakselen. Uit proeven is gebleken dat het oogsten met een aangepaste maishakselaar kan plaatsvinden (voor de verwerking moeten de stengels tot chips verhakseld worden). De meest optimale productie methode staat nog niet vast en is nog onderwerp van studie.

De hoogste opbrengst wordt verkregen in het derde tot en met het negende jaar. In het eerste jaar is er nog geen opbrengst, het tweede jaar kan er geoogst worden. In Denemarken (Noord-Jutland) is een opbrengst van acht tot elf ton drogestof per hectare na twee jaar verkregen. De verwachting is dat de opbrengst in de daarop volgende jaren 28 tot 30 ton per ha per jaar bedraagt. Na tien jaar loopt de productie terug en zal er een nieuwe cultuur opgezet moeten worden. Deze opbrengstniveaus zijn slechts proefveldresultaten van de Deense landbouwonderzoekinstellingen en dergelijke opbrengsten moeten zich nog bewijzen in de praktijksituatie (Koster et al., 1991).

Om een continue aanvoer van grondstof te garanderen zijn er dus meer culturen van verschillende leeftijden nodig.



#### - Afzetmogelijkheden

Zoals geschreven vindt commerciële productie van *Miscanthus* in Europa (nog) niet plaats. Wél is er onderzoek gaande omdat het gewas aantrekkelijk is om zijn (lange) vezel. Toepassingen in de papierindustrie en afzet op de markt voor geotextielen zijn mogelijke opties. Zoals genoemd heeft de (grootste) Deense cellulose fabrikant Frederica heeft al interesse in het produkt: zij heeft contracten voor meer dan zestig hectare afgesloten. Verder kan *Miscanthus* voor dakbedekking gebruikt worden. *Miscanthus* zou duurzamer zijn dan stro en goedkoper dan riet.

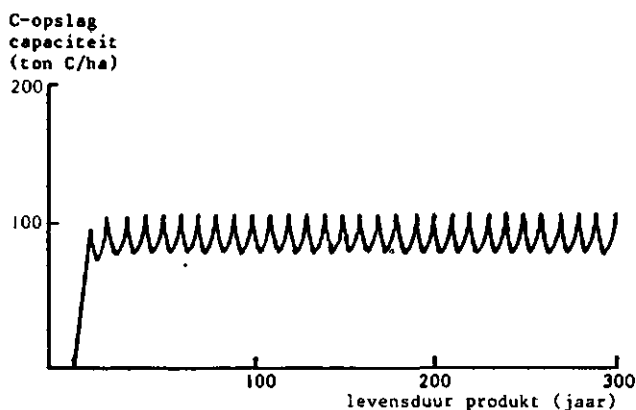
#### 4.4.2 Opslagcapaciteit

##### 4.4.2.1 C-opslag per hectare

De hoeveelheid C die jaarlijks per hectare wordt opgeslagen loopt van 4,5 ton C in het tweede jaar tot 13,5 ton C in de periode van het derde tot en met het negende jaar en tenslotte wordt er weer 4,5 ton opgeslagen. Daarbij wordt uitgegaan van een topproductie van dertig ton drogestof per hectare.

De lengte van de periode waarin de vastgelegde C wordt vastgehouden is - evenals bij riet - sterk afhankelijk van de omstandigheden waaronder de vezel wordt toegepast. Wanneer *Miscanthus* als papiergrondstof wordt gebruikt is de omlooptijd vrij kort en wanneer *Miscanthus* als bouw materiaal wordt gebruikt ligt de levensduur in de orde van tientallen jaren (mondelijke mededeling Koster, 1990).

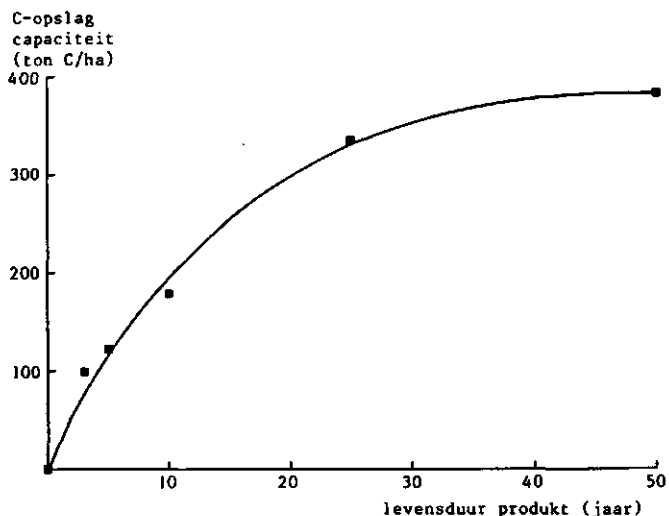
In figuur 4.3 is de curve voor de C-reservecapaciteit gegeven voor *Miscanthus* met een levensduur van vijf jaar. Deze optie sluit aan bij de mogelijkheid *Miscanthus* als grondstof voor papier af te zetten. Ook hier is gebruik gemaakt van het model van het Instituut voor Bosbouw en Groenbeheer "De Dorschkamp".



Figuur 4.3 Opslagcapaciteit van *Miscanthus* bij levensduur van vijf jaar

Uit figuur 4.3 blijkt dat de continue opslagcapaciteit van *Miscanthus* dat na circa drie jaar wordt afgebroken, op 99 ton C per hectare ligt.

Wanneer de levensduur van het produkt toeneemt, neemt de C-opslagcapaciteit ook toe. In figuur 4.4 is de relatie tussen de levensduur van het produkt en de C-opslagcapaciteit gegeven.



*Figuur 4.4 Opslagcapaciteit van Miscanthus bij verschillende levensduur*

Uit figuur 4.4 kan worden afgelezen dat de C-opslagcapaciteit tot ruim 300 ton C per hectare kan oplopen, wanneer er sprake is van een produkt dat meer dan circa twintig jaar meegaat.

#### 4.4.2.2 Potentieel areaal

Gegeven de onzekerheden over mogelijke afzetmarkten, wordt - evenals bij *Phragmitus* - uitgegaan van een potentieel areaal van 10.000 hectare. Ook voor *Miscanthus* geldt - hoewel in iets mindere mate als bij *Phragmitus* - dat opname van het gewas in het bouwplan niet leidt tot verruiming ervan.

#### 4.4.2.3 Potentiële opslagcapaciteit

Uitgaande van een areaal van tienduizend hectare en een produkt dat drie jaar intact blijft, is de potentiële opslagcapaciteit bijna één miljoen ton C.

Voor produkten die meer dan rond twintig jaar intact blijven, loopt de C-opslagcapaciteit op tot meer dan drie miljoen ton

C. In deze studie worden deze opties slechts zijdelings gezien, aangezien de heel hoge opslagcapaciteit met name wordt veroorzaakt door de relatief hoge drogestofproductie van Miscanthus welke nog bewezen moet worden voor de Nederlandse situatie.

#### 4.4.3 Energie-, CO<sub>2</sub>- en financieel rendement

##### 4.4.3.1 Energierendement

Evenals voor Phragmitus geldt, zijn bij Miscanthus de diverse rendementen slechts te schatten en in globale lijnen weer te geven. De meest optimale produktiemethode staat nog niet vast en is momenteel onderwerp van studie.

Als referentie voor de oogst wordt de maïsteelt gebruikt ervan uitgaande dat Miscanthus verhaakseld wordt. Daarbij is een correctiefactor twee toegepast omdat de opbrengst per hectare van Miscanthus circa drie keer zo hoog is als die van maïs. Voor de overige posten worden de uitgangspunten gehanteerd zoals in paragraaf 2.2.2 wordt beschreven.

Uitgaande van de hiervoor beschreven produktiemethode is de energie-input in het eerste jaar circa 12.000 MJ per hectare, in de jaren twee tot en met negen circa 20.000 MJ per hectare en in het tiende jaar 5.500 MJ per hectare.

De energie-output is nihil wanneer Miscanthus niet als energiegewas dienst doet maar op de vezelmarkt wordt afgezet. Daarbij wordt aangenomen dat het produkt bij afvalverwerking geen energie levert.

Interessant is de optie waarin het afvalprodukt wordt verbrand en de daarbij vrijkomende energie wordt benut. De overheid legt in de nota "Preventie en hergebruik van afvalstoffen" taakstellingen neer voor het jaar 2000 ten aanzien van hergebruik en verwijdering van afvalstoffen. In tabel 4.4 is dit voor de produkten waar Miscanthus als grondstof zou kunnen dienen, weergegeven.

*Tabel 4.4 Taakstelling voor het jaar 2000 ten aanzien van hergebruik en verwijdering van enkele afvalsoorten*

Afvalsoort	Hergebruik	Verbranding	Stort
Bouw- en sloopafval	6.000	-	1.500
Papier	1.500	600	100
Verpakkingsmateriaal	1.200	800	-

Bron: Tweede Kamer, 1988-1989.

Wanneer de taakstellingen gerealiseerd worden, ontstaat het volgende beeld: In de eerste optie wordt niets verbrand onder te-

rugwinning van energie, in de tweede optie wordt 86 procent van het te verwijderen afval verbrand en in de derde optie wordt alles verbrand. Het energierendement is voor de verschillende opties berekend. In tabel 4.5 is het resultaat gegeven.

*Tabel 4.5* *Energierendement voor Miscanthus bij verschillende maten van terugwinning van energie, in MJ per hectare*

Optie	Input	Output	Energierendement
1	20.000	0	-20.000
2	20.000	392.160	372.160
3	20.000	456.000	436.000

#### 4.4.3.2 CO2-rendement

Het CO2-rendement is een afgeleide van het energierendement. Wanneer de energie-output nihil is, is er geen besparing op fossiele brandstoffen en dus ook geen hoeveelheid vermeden CO2-uitstoot. Het CO2-rendement is dan -410 kilogram C per hectare.

Wanneer de eerder genoemde opties ten aanzien van afvalverwerking op hun CO2-rendement worden beoordeeld ontstaat het volgende beeld.

*Tabel 4.6* *CO2-rendement voor Miscanthus bij verschillende maten van terugwinning van energie, in kilogram C per hectare*

Optie	Uitstoot produktie	Vermeden emissie foss.br.	CO2- rendement
1	410	0	-410
2	410	6.417	6.007
3	410	7.462	7.052

#### 4.4.3.3 Financieel rendement

Hier wordt een kostprijsberekening van Miscanthus gegeven, waaruit een indicatie van de kosten is af te leiden. Bij deze berekening is ervan uitgegaan dat er met een maïshakselaar geoogst wordt.

Tabel 4.7 *Kostprijsberekening voor Miscanthus sinensis "Giganteus" per jaar, in gulden per hectare*

Omschrijving	Hoeveelheid (eenheid/ha)	Prijs (fl/eenh.)	Kosten (fl/ha)
<b>Jaar 1</b>			
Arbeid en machinekosten			
- Grondbewerking			400
- Planten			208
- Wieden			99
- Bemesten			36
Toegerekende kosten			
- Pootgoed (stuks)	25.000	0,25	6.250
- N-bemesting (kg)	50	1,20	60
Totaal			7.053
<b>Jaar 2-10</b>			
Arbeid en machinekosten			
- Bemesten			36
- Oogsten			940
Toegerekende kosten			
- N-bemesting (kg)	100	1,20	120
Totaal			1.096

Bron: Rijssenbeek, z.j.

#### 4.5 Conclusie

Voor de verschillende opties is in de voorgaande paragrafen de opslagcapaciteit bepaald alsmede het energie-, CO<sub>2</sub>- en financieel rendement. In deze laatste paragraaf worden de rendementen aan de doelstelling gekoppeld. Daarbij worden de volgende toetsingscriteria gehanteerd:

1. de C-opslagcapaciteit per hectare;
2. de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die geëmitteerd wordt per kilogram vastgelegde C;
3. de hoeveelheid energie die nodig is per kilogram vastgelegde C;
4. het financieel saldo per kilogram vastgelegde C.

Daarnaast wordt de potentiële opslagcapaciteit op basis van een potentieel areaal gegeven, waarbij de haalbaarheid van die mate van toepassing wordt ingeschat. In tabel 4.8 zijn de resultaten samengevat.

Uit de toetsing op de eerste vier criteria komt naar voren dat de snel groeiende gewassen met een lang houdbaar produkt het meest aantrekkelijk zijn uit oogpunt van C-opslag. In volgorde van toenemende score op de vier criteria:

- groenbemesters;

- Phragmitus met een produkt met een levensduur van drie jaar;
- Miscanthus met een produkt met een levensduur van drie jaar;
- Phragmitus met een produkt met een levensduur van vijftig jaar.

Aan deze rij kan nog worden toegevoegd: Miscanthus met een produkt met een levensduur van circa twintig jaar. Deze optie is niet in de tabel opgenomen, omdat de relatief hoge opslagcapaciteit voornamelijk voortkomt uit de hoge drogestofproduktie van Miscanthus en deze is grotendeels gebaseerd op proefveldresultaten.

De opslagcapaciteit per hectare neemt toe in deze trits, terwijl de CO<sub>2</sub>-emissie en energie-input per kilogram vastgelegde C afneemt. Dit kan worden verklaard uit het feit dat in alle gevallen de teelt een vrij extensief karakter heeft. Toename van de opslagcapaciteit gaat over het algemeen niet gepaard met een verregaande intensivering.

Binnen de groep van groenbemesters nemen de vlinderbloemigen een aparte positie in. Hoewel zij een relatief lage opslagcapaciteit hebben, zijn zij uit oogpunt van CO<sub>2</sub>- en energierendement aantrekkelijk vanwege hun vermogen stikstof uit de lucht te binden. Dit kan leiden tot een besparing op stikstofkunstmest en de voor de kunstmestproduktie benodigde energie.

Groenbemesters kunnen ondanks de relatief lage opslagcapaciteit per hectare, een aanmerkelijke bijdrage aan de vergroting van het opslagreservoir realiseren, namelijk circa elf procent ten opzichte van de huidige opslagcapaciteit (8,0 miljoen ton C). Groenbemesting kan immers op een groot areaal zonder veel technische of organisatorische aanpassingen worden toegepast.

Grootschalige rietteelt voor commerciële doeleinden vindt momenteel nog niet plaats evenmin als de teelt van Miscanthus. Het potentieel areaal en de haalbaarheid is voorzichtig ingeschat vanwege de geringe bijdrage aan de verruiming van het bouwplan. Het blijkt dat wanneer de 10.000 hectare Phragmitus of Miscanthus wordt geteeld een aanzienlijke vergroting van de opslagcapaciteit plaatsheeft: uiteenlopend van twee procent (Phragmitus drie jaar) via twaalf procent (Miscanthus drie jaar) tot zestien procent (Phragmitus vijftig jaar) ten opzichte van de huidige opslagcapaciteit van 8,0 miljoen ton C.

Tenslotte blijkt dat wanneer Miscanthusprodukten na gebruik worden verbrand onder terugwinning van energie twee doelstellingen worden bereikt: vergroting van de opslagcapaciteit én vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot. Wanneer alle afval wordt verbrand wordt er 7,0 ton C per hectare netto minder uitgestoten.

Tabel 4.8 Score van de opties op de criteria

Criterium	Groenbemester		Phragmitus		Miscanthus	
	bladram- raaigras vl. bloem. menas		levensduur		mate van afvalverbranding	
	3 jaar	50 jaar	3 jaar	50 jaar	0%	86%
Opslagcapaciteit (ton C)/ha	0,85	2,1	0,7	125	99	99
CO <sub>2</sub> -emissie (kg C) per kg vastgelegde C	0,12	0,05	-0,01	0,0007	0,004	-0,07
Energie-input (MJ) per kg vastgelegde C	6,0	2,5	-0,69	0,03	0,20	-4,4
Financieel saldo (gld.) per kg vastgelegde C	-0,35	-0,17	0,27	-0,007 *	-0,011 *	-0,011 *
Potentieel						
- areaal (ha)	225.000	400.000	225.000	10.000	10.000	10.000
- opslagcapaciteit (1.000 ton C)	191	878	156	1.250	1.000	1.000
Heelbaarheid	++	++	++	+	+	+

\*) Alleen de kosten van de teelt.

## 5. De landbouw als energieleverancier

### 5.1 Inleiding

De inzet van landbouwprodukten als energieleverancier leidt ertoe dat het gebruik van fossiele brandstoffen en de daarmee gepaard gaande CO<sub>2</sub>-uitstoot afneemt.

Het Energie Studie Centrum heeft in een studie de kansen voor alternatieve brandstoffen in het wegverkeer bekeken mede in relatie tot de CO<sub>2</sub>-uitstoot. Transport levert een bijdrage van zestien procent aan de CO<sub>2</sub>-uitstoot in Nederland (NMP-plus, 1990) en de inzet van alternatieve brandstoffen kan deze uitstoot verminderen. Brandstof uit biomassa (bio-ethanol en plantaardige olie) is één van de alternatieve brandstoffen. De studie had ten doel om aan te geven welke alternatieve brandstoffen onder welke omstandigheden aantrekkelijk zijn voor de Nederlandse energiehuishouding waarbij de kosten voor de nationale energiehuishouding minimaal zijn. Eén van de varianten daarin is de optie om een reductie van de CO<sub>2</sub>-uitstoot met vijftig procent in het jaar 2020 te bewerkstelligen. Wanneer de zogenaamde "midden"scenario's van de overheid en het Centraal Plan Bureau als uitgangspunt dienen, vindt de introductie van bio-ethanol en plantaardige transportbrandstoffen pas plaats bij sterk stijgende prijzen van fossiele energie en bij het streven naar een reductie van de CO<sub>2</sub>-emissie met vijftig procent in het jaar 2020. In het scenario met een CO<sub>2</sub>-plafond die in 2020 vijftig procent lager ligt dan in 1990 is het aandeel van alternatieve brandstoffen in het wegverkeer meer dan dertig procent. Er wordt dan CNG (gecomprimeerd aardgas) en bio-ethanol (op basis van aardgas) toegepast, elektrische stadsvoertuigen worden geïntroduceerd en bio-ethanol en plantaardige olie komen in beeld. Bio-energie zou dan voor ruim vijftien procent van de transportvraag worden ingezet. Uit deze studie blijkt dus dat op basis van de kosten op nationaal niveau bio-energie een bijdrage kan leveren aan het realiseren van de vijftig-procent reductie van de CO<sub>2</sub>-emissie in Nederland in 2020 (Kram en Okken, 1989).

Biomassa kan langs verschillende wegen tot verschillende energievormen omgezet worden. De onderscheiden energievormen zijn: warmte, kracht (elektriciteit), vloeibare brandstoffen (zoals methanol, bio-ethanol, plantaardige olie) en gasvormige brandstoffen (zoals biogas). Daarbij staan verschillende technieken ter beschikking die kunnen worden opgedeeld in thermochemische processen en biochemische processen. De thermochemische conversietechnieken omvatten verbranding, vergassing en pyrolyse die van elkaar verschillen op het punt van de hoeveelheid lucht die aan de biomassa wordt toegevoegd. Bij verbranding wordt een overmaat aan lucht toegevoegd, bij pyrolyse slechts een heel geringe



hoeveelheid en vergassing bevindt zich in een tussenpositie. De mate waarin een overmaat wordt toegevoegd bepaalt het verloop van de verbranding en de samenstelling van het eindprodukt. Evenzo kan via vergassing een veelheid aan produkten worden geleverd, afhankelijk van de toegevoegde hoeveelheid lucht.

De biochemische processen omvatten de fermentatie tot alcohol en de omzetting met behulp van micro-organismen tot biogas (een mengsel van methaan en kooldioxide).

In dit vooronderzoek komt de produktie van verschillende vormen van energie aan de orde. Allereerst de omzetting van biomassa in warmte en/of elektriciteit via thermochemische technieken. In de tweede paragraaf wordt de produktie van bio-ethanol langs de weg van fermentatie behandeld en in paragraaf drie wordt de produktie van transportbrandstof uit koolzaad, al dan niet na verestering, aan de orde gesteld.

## 5.2 Warmte en elektriciteit

### 5.2.1 Produktie van biomassa voor warmte en elektriciteit

In dit hoofdstuk worden Phragmitus en Miscanthus als potentieel interessant energiegewas nader bekeken (zie hoofdstuk 2). Hout als zijnde energieleverancier en potentieel (landbouw)gewas blijft hier buiten beschouwing omdat dit in een ander deelproject wordt gedaan (zie paragraaf 1.2).

Daarnaast wordt stro in de beschouwing meegenomen. De huidige afzetproblematiek voor dit produkt vormt de aanleiding hiertoe. Stro kan momenteel nauwelijks afgezet worden op de traditionele markt: in de veehouderij. De oorzaak hiervan ligt in de hogere zelfvoorzieningsgraad op de rundveehouderijbedrijven. Nu wordt het stro ondergeploegd of incidenteel in de open lucht verbrand. Het onderploegen van het stro levert een bijdrage aan de structuurverbetering van de grond, maar de voorkeur gaat uit naar een betere verwaarding van het produkt. Daar waar verbrand wordt, stuit dit op milieubezwaren en naar verwachting wordt dit aan banden gelegd. Er wordt dus gezocht naar alternatieve bestemmingen voor stro waarvan energie er één is.

Interessant in dit kader is het concept van de Zweedse firma Biocomb dat een oplossing probeert te geven voor de graanoverschotten. Biocomb zoekt die oplossing in de mogelijkheid om het hele gewas te verwaarden: de stengel, het kaf en de korrel. Er is een aantal technieken ontwikkeld en in ontwikkeling die moet uitmonden in een aaneenschakeling van technieken gericht op de vermarkting van het hele gewas. Het concept omvat vijf elementen: biospectron, het oogststelsel, de scheiding, de verbranding en de zogenaamde "biorefinery". Biospectron omvat de ontwikkeling en toelevering van geschikte rassen en het geven van teeltadviezen gericht op een maximale produktie en produkten van hoge kwaliteit. Het oogststelsel is geënt op het idee van "whole crop har-

vesting" waarbij het hele gewas wordt geoogst. Vervolgens kan het stro en het graan van elkaar worden gescheiden wanneer de bestemming van het stro een andere is dan die van het graan. Zo kan het graan in de biorefinery tot produkten voor specifieke markten worden omgezet en het stro als energiedrager worden benut danwel op bijvoorbeeld de vezelmarkt worden afgezet. Uitgaande van dit concept zou (hooi en) stro niet als bijprodukt moeten worden bestempeld maar als volwaardig nevenprodukt dat naast de graankorrel staat. Overigens kan ook de optie van verbranding van het hele gewas aantrekkelijk zijn.

In tabel 5.1 is de fysieke en energie-opbrengst voor de verschillende uitgangsmaterialen weergegeven. Daaruit blijkt dat uit oogpunt van energie-opbrengst per hectare riet en Miscanthus het meest interessant zijn omdat de fysieke opbrengst per hectare relatief hoog is en met name deze factor van invloed is op de energie-opbrengst per hectare. Immers qua verbrandingswaarde bestaan er geen grote verschillen, zo is uit de tabel af te lezen.

*Tabel 5.1 Energie-inhoud van stro en energiegewassen*

Uitgangsmateriaal	Opbrengst (ton d.s./ha)	Verbrandingswaarde (GJ/ton d.s.)	Opbrengst energie (GJ/ha)
Stro granen	4-5	18,8	75-94
koolzaad a)	2-3	21,2	42-64
b)	4-5	21,2	85-106
Phragmitus c)	1-6	18,8	19-113
d)	15	18,8	282
Miscanthus	30	19	570

Bron: NRLO, 1982.

LEI/CBS, 1989:88.

a) Maaien in het zwad gevolgd door opraapdorsen; b) Oogstmethode gelijk aan die van tarwe; c) Zonder bemesting P en K; d) Met bemesting P en K.

### 5.2.2 Omzetting van biomassa in warmte en elektriciteit

#### - Voorbehandeling

Voorbehandeling kan noodzakelijk zijn omdat de vervolginstallatie eisen stelt aan het materiaal waaraan het moet voldoen. Een tweede motief voor voorbehandeling is de lagere transportkosten per eenheid energie van een verdicht produkt en een derde overweging is dat verdicht materiaal minder opslagruimte vraagt.

Voorbehandelingsmethoden van hooi, stro, riet of Miscanthus zijn: verhakselen, briketteren en pelletiseren. Verhakselen is relatief het goedkoopst maar de mate van volumeverkleining is ook

het minst. Bij brikettering en pelletisering - waarbij onder druk wordt geperst - zijn de resultaten beter. Van deze methoden zijn in bijlage 9 de technische resultaten weergegeven, wanneer stro als input wordt gebruikt.

De kosten van het briketteren lopen uiteen van f 125,- per ton voor een installatie met een capaciteit van 320 kilogram briketten per uur en 1.000 draaiuren (Brenndorfer, 1985) tot f 140,- à f 200,- per ton voor de Zweede "biodryer". De kosten van pelletiseren met een verplaatsbare unit die 3.000 kilogram per uur kan verwerken en 320 uren draait, liggen rond de f 70,- per ton. Vergelijking van deze kosten met die van het briketteren wordt bemoeilijkt door de sterk uiteenlopende capaciteit en benuttingsgraad. Ook moet rekening gehouden worden met het feit dat deze installaties alleen voor stro zijn getest; de verwerking van Phragmitus of Miscanthus kan als gevolg van andere chemische samenstelling tot andere resultaten leiden.

#### - *Conversietechniek*

Voor de omzetting van biomassa met een hoog drogestofgehalte in energie zijn verbranding en vergassing de eerst in aanmerking komende technieken. Bij verbranding wordt warmte geproduceerd die in één of meer vervolgstappen kan worden omgezet in verschillende energievormen. Bij vergassing komt gas vrij waarvan de energie na verbranding vrijkomt. De verbrandingswaarde is afhankelijk van het te vergassen materiaal en de procescondities en kan variëren van 3 tot 33 MJ/m<sup>3</sup>. Dit gas kan als stookgas in een ketel worden gebruikt of als brandstof voor gasmotoren en/of gasturbines. Aan vergassers die in combinatie met interne verbrandingsmotoren worden ingezet wordt wel de eis gesteld dat er een teer- en stofvrij gas geleverd moet worden, vanwege de motorslijtage. Een vergaande gasreiniging is daarvoor dikwijls noodzakelijk (BTG, 1989).

In dit vooronderzoek wordt als basis gekozen de techniek en de optie die het eerst rendabel is om een indicatie te geven van een financieel rendement. De conventionele verbrandingstechnieken zijn op een termijn van circa tien jaar waarschijnlijk verdrongen door de nu in ontwikkeling zijnde technieken maar daarvan is op dit moment (1990) nog weinig aan technische en economische gegevens bekend. Van de vergassingsinstallaties is meer bekend en met name de optie van de warmte-opwekking. Vergassing ten behoeve van elektriciteitsopwekking bevindt zich nog in een pril stadium maar vergassing ten behoeve van warmte-opwekking is al commercieel. Warmte-opwekking kan plaatsvinden in al bestaande gasketels waar een vergassingsvoorschakelapparaat aan gekoppeld wordt, zodat alleen een aanvullende investering moet worden gedaan en de stap terug naar aardgas relatief gemakkelijk kan worden gezet (mondelinge mededeling Stassen, 1990).

De huidige investering voor vergassingstechnieken ten behoeve van warmte-opwekking en het aantal draai-uren dat noodzakelijk

is om van een rendabele produktie 1) te spreken, zijn in tabel 5.2 weergegeven.

Tabel 5.2 *Investering en voorwaarden voor rendabele produktie*

Vermogen	Huidige kostprijs (fl/kWh)	Aantal draai-uren voor rendabele produktie
3 MWth	185	8.000
10 MWth	170	> 6.000
20 MWth	150	> 4.000

Bron: BTG, 1989.

De daarbij behorende opbrengstprijzen voor het uitgangsmateriaal varieert van f 42,- tot f 60,- per ton input. Voor een uitgebreidere achtergrondberekening wordt verwezen naar bijlage 10.

### 5.2.3 Afzet van warmte en elektriciteit

#### 5.2.3.1 Marktsegmenten

Voor warmte en elektriciteit zijn de volgende categorieën van afnemers te onderscheiden:

1. het bedrijf waar de energie wordt geproduceerd;
2. een "derde" die de geproduceerde energie afneemt, zonder tussenkomst van een energiedistributeur;
3. de energieproducent en/of -distributeur.

De opbrengst die de producent van bio-energie kan verkrijgen, is maximaal de te vermijden kosten van het gebruik van fossiele brandstoffen. Voor warmte wordt daarom de opbrengst bepaald op basis van de vermeden kosten van aardgasgebruik. Wanneer aan de elektriciteitsdistributeur wordt geleverd is de opbrengst op basis van de vermeden kosten aan fossiele brandstoffen niet alleen gekoppeld aan de prijs van fossiele brandstoffen maar ook aan het tijdstip waarop wordt geleverd. Levering in de piekperiode(n), wanneer de distributeur een relatief hoge prijs moet betalen aan de elektriciteitsproducent, geeft een hogere prijs dan in de periode daarbuiten. De Vereniging van Exploitanten van Energiedistributiebedrijven in Nederland (VEEN) heeft richtlijnen opgesteld die als basis kunnen dienen voor vergoedingen voor terugleveringen uit bij zelfopwekkers opgesteld vermogen, waarin het tijdstip van teruglevering is verwerkt. Daarbij hanteert zij ook als uitgangspunt het "te vermijden kostenprincipe" (zie bijlage 11).

1) Voor een rendabele produktie geldt als criterium een terugverdientijd van drie jaar, overeenkomstig het gebruik in een groot deel van het bedrijfsleven (BTG, 1989).

### 5.2.3.2 Potentiële afzet

De potentiële afzet is gebaseerd op het stro van alle granen en de eerder genoemde 10.000 hectare Phragmitus en Miscanthus. Dit levert circa 550 miljoen kubieke meter aardgasequivalenten (de gasafzet van de Gasunie aan gasdistributiebedrijven in 1989 was: 20,3 miljard kubieke meter, Gasunie, 1989).

### 5.2.4 Energie-, CO<sub>2</sub>- en financieel rendement

#### 5.2.4.1 Inleiding

Het CO<sub>2</sub>-, energie- en financieel rendement moeten bij voorkeur voor een keten worden berekend, die economisch haalbaar is. Deze economische haalbaarheid wordt bepaald door een groot aantal factoren: de vorm waarin energie wordt aangeboden (warmte, elektriciteit, brandbaar gas), het tijdstip waarop, de conversietechniek, de eventuele voorbehandelingsmethode, de nabehandelings-techniek en de teelt. De keuze ten aanzien van de verschillende factoren wordt sterk bepaald door de feitelijke mogelijkheden en omstandigheden ter plaatse. Dit vormt het kader van het logistische vraagstuk waar schaalgrootte en capaciteit van de installatie, transport en grootte van het voorzieningsgebied integraal in relatie tot de kosten en markt voor energie moeten worden bezien.

Van een groot aantal factoren die van invloed zijn op het financieel rendement en de economische haalbaarheid van bio-energie is nog onvoldoende bekend om een uitspraak te doen over welke keten wanneer economisch perspectief biedt. Het gaat daarbij vooral om factoren zoals de kosten van de teelt van energiegewassen, de kosten van voorbehandeling en nabehandeling en de kosten van omzetting. Ieder van deze produktiemethoden is in ontwikkeling en er is hoogstens sprake van inzicht in de kosten van een proefproject. Deze kosten hebben echter slechts een indicatieve waarde voor de kosten waartegen uiteindelijk op praktijkschaal wordt geproduceerd. De kosten kunnen aanmerkelijk dalen door technische aanpassingen aan te brengen en door schaalvergroting maar er bestaat ook de kans dat bij de inzet op praktijkschaal dermate grote aanpassingen noodzakelijk blijken dat de kostprijs gaat stijgen.

Uit het voorgaande blijkt dat de keuze voor een optimale keten sterk afhankelijk is van de locatie en bovendien op dit moment (1990) nog niet gemaakt kan worden bij gebrek aan gegevens over kosten. Er wordt gekozen om de optie van vergassing ten behoeve van warmte-opwekking nader te bekijken en te beoordelen op haar CO<sub>2</sub>-, energie- en financieel rendement, omdat deze optie al commerciële toepassing vindt. Nadrukkelijk zij gesteld dat ook andere opties interessant kunnen zijn en dat hier slechts een indicatie kan worden gegeven van de economische haalbaarheid van de keten als geheel.

#### 5.2.4.2 Energierendement

In tabel 5.3 is het energierendement gegeven. In paragraaf 4.4.3 is de energie-input voor Miscanthus aan de orde gekomen. Ter bepaling van het energie- en CO<sub>2</sub>-rendement wordt voor Miscanthus alleen de topperiode - het derde tot en met het negende jaar - in de beschouwing betrokken. Wat betreft Phragmitus wordt aangenomen dat een aangepaste maïshakselaar wordt ingezet en waar het gaat om stro worden alleen de energiekosten van het persen (f 200,- per ha \* 6,4 MJ/gld.) aan het produkt toegerekend.

De energie-output is op basis van een conversierendement van tachtig procent berekend met tabel 5.1 als uitgangspunt.

*Tabel 5.3 Energierendement voor stro, Phragmitus en Miscanthus, in MJ per hectare*

	Input	Output	Energierendement
Stro	1.280	67.600	66.320
Phragmitus	7.040	225.600	218.560
Miscanthus	20.000	456.000	436.000

#### 5.2.4.3 CO<sub>2</sub>-rendement

Het CO<sub>2</sub>-rendement is een resultante van de CO<sub>2</sub>-uitstoot als gevolg van de inzet van produktiemiddelen en de te vermijden CO<sub>2</sub>-emissie door de verminderde aanslag op fossiele brandstoffen. Aangenomen wordt dat de CO<sub>2</sub> die vrijkomt bij de verbranding van de biomassa gelijk is aan de hoeveelheid die opgenomen is en dat het verbrandingsproces zelf geen energie kost en tot CO<sub>2</sub>-uitstoot leidt.

*Tabel 5.4 CO<sub>2</sub>-rendement voor stro, Phragmitus en Miscanthus, in kilogram C per hectare*

	Uitstoot teelt	Vermeden emissie foss.br.	CO <sub>2</sub> -rendement
Stro	26	1.106	1.080
Phragmitus	142	3.692	3.550
Miscanthus	410	7.462	7.052

#### 5.2.4.4 Financieel rendement

De huidige investering voor de conversietechnieken zijn:

- voor de installatie van 3 MWth: f 185,- per kWth;
- voor de installatie van 10 MWth: f 170,- per kWth en
- voor de installatie van 20 MWth: f 150,- per kWth.

Gegeven deze investering voor de omzetting van biomassa in energie, is de opbrengstprijis voor het uitgangsmateriaal f 42,- tot f 60,- per ton wil er sprake zijn van een rendabel opwekking (zie bijlage 12). De input moet conform de eisen die de vergasser stelt worden aangeboden. Deze eisen hebben betrekking op onder andere de deeltjesgrootte, hetgeen voor hooi, stro, riet en Miscanthus betekent dat een voorbehandeling moet plaatsvinden.

Zoals uit paragraaf 5.2.2 blijkt variëren de kosten van briketteren in de orde van f 125,- tot f 200,- per ton. Wanneer er grootschalig gepelletiseerd zou kunnen worden, zou de kostprijs tot wellicht f 70,- per ton kunnen dalen. Gesteld wordt dat de meest optimistische kostprijs voor brikettering van f 125,- per ton te realiseren is. Vervolgens zijn er de kosten van het uitgangsmateriaal. Voor stro zijn deze beperkt tot de kosten van het persen: f 200,- per hectare (Gewestelijke Raad voor Friesland, 1989). Voor riet zijn deze kosten niet bekend maar deze worden geschat op f 1.100,-, zijnde de kosten van een aangepaste maïshakselaar (circa dertig procent duurder dan een niet-aangepaste machine). De teeltkosten van Miscanthus liggen eveneens op bijna f 1.100,- per hectare.

De kosten en opbrengsten en het daaruit berekende saldo is in tabel 5.5 weergegeven.

Tabel 5.5 *Financieel rendement van stro, Phragmitus en Miscanthus als energiegewas, in gulden per hectare*

	Stro	Phragmitus	Miscanthus
Netto-opbrengst *)	189-270	630-900	1.260-1.800
Kosten			
- voorbehandeling	562	1.875	3.750
- teelt	200	1.100	1.096
Totale kosten	762	2.975	4.846
Saldo	-532	-2.210	-3.316
Saldo (gld./ton)	-118	-147	-110

\*) Gecorrigeerd voor de kosten van conversie.

### 5.3 Bio-ethanol

#### 5.3.1 Produktie van grondstof voor bio-ethanol

Bio-ethanol kan uit verschillende agrarische grondstoffen van verschillende gewassen worden geproduceerd. De meest genoemde zijn: granen, suikerbieten en fabrieksaardappelen. In deze studie worden fabrieksaardappelen buiten beschouwing gelaten omdat zij een extra verwerkingsstap behoeven om tot bio-ethanol te komen en omdat zij uit landbouwkundig oogpunt (onder andere hogere ziektedruk) minder aantrekkelijk zijn dan granen en suikerbieten (mondelinge mededeling Hutten, 1990).

#### 5.3.2 Verwerking van grondstof tot bio-ethanol

Bio-ethanolproductie via fermentatie bestaat uit drie stappen:

- (1) de behandeling van het uitgangsmateriaal om een suikeroplossing te krijgen;
- (2) de fermentatie met gist of bacteriën waarbij suikers worden omgezet in bio-ethanol en
- (3) de afdestillatie van de bio-ethanol uit de oplossing.

Verschillende voedingen vragen verschillende (voor)behandelingen. Suikerhoudende voeding zoals suikerriet of suikerbiet kan direct vergist worden, terwijl voeding op basis van maïs en andere granen eerst een enzymatische behandeling moet ondergaan waarbij het zetmeel wordt omgezet in suiker. Ligno-cellulosehoudende grondstoffen zoals hout, vereisen nog een extra stap, waarbij de cellulose van de lignine moet worden gescheiden (Stassen, 1982).

Momenteel is bio-ethanol uit suiker- en zetmeelhoudende grondstoffen goedkoper dan die uit ligno-cellulose houdende voedingen. Echter er zijn ontwikkelingen die ertoe kunnen leiden dat bio-ethanol uit hout kan concurreren met bio-ethanol uit andere grondstoffen.

#### 5.3.3 Afzet van bio-ethanol

##### 5.3.3.1 Marktsegmenten

Bio-ethanol kan direct als vervanger van fossiele brandstof dienen. De verbrandingswaarde per liter is dertig procent lager als die van benzine, maar wanneer er minder dan zeven procent wordt toegevoegd neemt de efficiëntie van de energie-omzetting toe zodat het benzineverbruik niet op een hoger niveau komt. Wanneer er echter meer dan tien of twintig procent (hierover zijn de deskundigen het nog niet eens) wordt bijgemengd is er sprake van een dusdanige verandering dat aanpassing van de automotoren noodzakelijk is.



Bio-ethanol is vooral als potentiële loodvervanger interessant. Het terugdringen van het loodgehalte in de benzine is gewenst omdat de uitstoot van loodhoudende gassen schadelijk voor de gezondheid is en omdat de katalysator beschadigd wordt door loodgebruik. Echter het terugdringen van het loodgehalte in de benzine vereist dat een loodvervanger wordt toegevoegd om het octaangetal te verhogen en daarmee de verbranding te verbeteren. Eén van die substituten is zuurstofhoudende brandstof zoals bio-ethanol, methanol, MTBE (methyl tertiair butyl ether) of ETBE (ethyl tertiair butyl ether).

ETBE wordt op basis van bio-ethanol geproduceerd. De bio-ethanol wordt dan in een chemisch proces met isobutyleen tot ETBE omgezet. De ETBE-optie wordt hier echter niet nader uitgewerkt omdat de kosten van verwerking van bio-ethanol tot ETBE nog niet bekend zijn. Alleen de kosten van de grondstof voor ETBE kunnen al vastgesteld worden. Bij een prijs voor isobutyleen van f 0,50 per liter, een prijs voor bio-ethanol van f 1,20 tot f 1,40 per liter, is de prijs voor de grondstoffen voor ETBE f 0,82 tot f 0,90 per liter. Daarbij komen nog de kosten van verwerking tot ETBE. De marktprijs van MTBE is f 0,65 tot f 0,70 per liter, hetgeen betekent dat ETBE op de factor "prijs" lager scoort. Echter ETBE scoort op de factor "kwaliteit" hoger.

#### 5.3.3.2 Potentiële afzet

De grootte van de markt is sterk afhankelijk van politieke besluitvorming. Ervaringen in het buitenland leren dat bio-ethanolproductie alleen mogelijk is wanneer de overheid een financiële ondersteuning geeft. Zij zal dit echter alleen doen wanneer daartoe politieke redenen aanwezig zijn, zoals minder grote afhankelijkheid van olie-importen (Brazilië) of het bieden van meer perspectief aan de agrarische sector (Verenigde Staten, Frankrijk). In Nederland vindt productie van bio-ethanol nog niet plaats en lijkt de politieke bereidheid voor subsidie ook niet groot. De haalbaarheid van de potentiële afzet wordt daarom onder de huidige politieke omstandigheden weinig positief ingeschat.

Wat betreft milieu-aspecten van het gebruik van bio-ethanol zijn er weinig problemen te verwachten evenmin als ten aanzien van de inpassing in het huidige bouwplan.

Een aantal landen hebben al ervaringen met bio-ethanol. Het meest bekende voorbeeld is Brazilië waar in 1975 het Proalcool-programma is gestart. In 1986 werd 126 miljoen hectoliter bio-ethanol geproduceerd waarmee twaalf procent van de nationale energieconsumptie werd gedekt. De auto-industrie is hierop ingegaan en bijna alle nieuwe Braziliaanse personenauto's kunnen op pure alcohol rijden. Echter de overheid wil deze ontwikkeling nu weer wat terugbuigen: de productie van auto's die op alcohol rijden moet worden beperkt. Economische motieven spelen hierbij de hoofdrol. Zelfs in een land waar de produktiekosten van suiker het laagst ter wereld is, is een subsidie van 35 procent per li-

ter nodig. Pas wanneer de olieprijs rond de veertig dollar per vat van 159 liter ligt, is er sprake van een rendabele produktie. Tot dezelfde conclusie komt men in de Verenigde Staten waar zelfs bij de zeer lage maïsprijs een flinke subsidie nodig is. In de Verenigde Staten is sinds 1974 uit maïs bio-ethanol geproduceerd, maar op kleinere schaal dan in Brazilië: dertig miljoen hectoliter in 1987 met een aandeel van zeven procent in de Amerikaanse benzinemarkt. Ook in enkele EG-landen (Frankrijk en Duitsland) wordt bio-ethanol geproduceerd - op een nog bescheidener schaal - waarbij de overheid financieel bijspringt (Zabel, 1989 en Van der Bijl, 1989).

Gegeven de weinig optimistische inschatting over de bereidheid ondersteuning te geven aan ethanolproduktie, wordt gekozen voor de optie waarin bijgemengd wordt. De potentiële afzetmarkt voor de optie waarin vijftien procent van de benzine wordt vervangen is: 0,675 miljard liter. Daartoe is een areaal van 282.000 hectare tarwe of 114.000 hectare suikerbieten nodig (het huidige areaal tarwe is 109.800 hectare en het huidig areaal suikerbieten is 129.800 hectare).

### 5.3.4 Energie-, CO<sub>2</sub>- en financieel rendement

#### 5.3.4.1 Energierendement

In tabel 5.6 wordt het energierendement voor bio-ethanol weergegeven. De bepaling van het energierendement wijkt enigszins af van de wijze waarop de Nationale Raad voor Landbouwkundig Onderzoek (NRLO) het energierendement heeft berekend. Hier wordt alleen de energie waarvan de gebruikswaarde vergelijkbaar is met die van fossiele brandstof als "opbrengst" in het energierendement betrokken. De NRLO beschouwt daarentegen ook energie in de vorm van andere gebruikswaarden (zoals veevoer) als "opbrengst". In haar uitgangspunten ten aanzien van data en haar overige uitgangspunten voor de berekening volgt de voorliggende studie de NRLO. Als voorbeeld kan hier genoemd worden: de bijprodukten die worden vergist tot biogas wordt in beider studies tot "opbrengst" gerekend. Dit in tegenstelling tot de werkwijze van Kropff en Rabbinge, die ervan uitgaan dat de bijprodukten moeten worden verwerkt en dus energie vragen (Kropff en Rabbinge, 1989).

Voor suikerbieten zijn er twee berekeningen gegeven, die wat betreft de energiebehoefte voor de produktie van bio-ethanol van elkaar verschillen. Dit komt voort uit een verschillende keuze waar het gaat om de lengte van de periode waarin produktie plaatsvindt en de keuze van de procesroute. De tweede variant verdient uit energetisch oogpunt de voorkeur, zo blijkt uit tabel 5.6, maar uit economisch oogpunt komt de eerste variant eerder in beeld.

Uit de tabel blijkt dat in twee van de drie varianten het energierendement negatief is wanneer de produkten anders dan

Tabel 5.6 Energierendement van bio-ethanol uit tarwe en suikerbieten, MJoules per hectare

	Energie-input		Energie-output		Energierendement		
	teelt	verwerking	totaal	exclusief bijprodukt	inclusief bijprodukt	exclusief bijprodukt	inclusief bijprodukt
Suikerbieten							
- variant 1	46.227	86.400	132.627	127.800	258.600	-4.827	125.973
- variant 2	46.227	52.200	98.427	127.800	255.000	29.373	156.573
Tarwe	39.023	39.627	78.650	55.167	171.458	-23.483	92.808

Bron: Naar NRLO, 1990:77-85.

bio-ethanol energetisch niet gewaardeerd worden. Tevens blijkt dat de energie-output van de bijprodukten een aanmerkelijk aandeel in de totale energie-output hebben. In tabel 5.7 is dit nog eens verduidelijkt. Daarbij is aangegeven in welke (energie)vorm de bijprodukten vrijkomen: als veevoer, als bemester of als (potentiële) vaste brandstof.

*Tabel 5.7 Verdeling van de energie-output over de verschillende gebruiksvormen, in procenten*

Energie-gebruiksvorm	Suikerbieten	Tarwe
Bijproduct teelt		
- vaste brandstof	0	56
- bemesting	4	1
- voedermiddel	30-32	0
Bijproduct bio-ethanolproductie		
- voedermiddel	16	10
Bio-ethanol	49-52	33
Totaal	100	100

Bron: Naar NRLO, 1990.

Uit de tabel blijkt dat de bijprodukten die bij de bio-ethanolproductie uit suikerbieten voornamelijk als veevoedermiddel worden aangewend. De energie die in deze aanwending zit, is moeilijk te vergelijken met de energie in de vorm van bio-ethanol. Waar het gaat om de bijprodukten van tarwe is deze vergelijking eerder mogelijk omdat het stro, evenals de bio-ethanol, fossiele brandstoffen kan vervangen (zie paragraaf 5.2).

Een tweede opmerking bij het energierendement betreft de absolute zuivering van de alcohol tot 99,8 procent. Wanneer bio-ethanol aan benzine wordt toegevoegd is het noodzakelijk absolute alcohol te produceren. Dat is niet nodig wanneer bio-ethanol als afzonderlijke brandstof wordt gebruikt. Er vindt dan een besparing van 1,3 MJoule per liter bio-ethanol plaats, hetgeen tien procent van de totale energie-input (inclusief teelt) is.

Een derde opmerking bij de vaststelling van het energierendement is het feit dat uitgegaan is van de huidige processen voor bio-ethanolproductie. De verwachting is dat hier een aanzienlijke energiebesparing kan plaatsvinden (meer dan zeventig procent) door de toepassing van de in ontwikkeling zijnde membraantechnologie bij het drogen van natte bijprodukten en alcoholproductie (NRLO, 1990, pp. 87).

#### 5.3.4.2 CO2-rendement

Ervan uitgaande dat de hoeveelheid opgenomen CO2 weer vrijkomt bij het gebruik van het gewas, zijn voor de berekening van het CO2-rendement de volgende posten relevant: de CO2-emissie als gevolg van de inzet van produktiemiddelen bij de teelt, de hoeveelheid CO2 die bij de verwerking vrijkomt en de hoeveelheid CO2 die vermeden wordt door verminderde inzet van fossiele brandstoffen. De CO2-emissie bij de teelt van tarwe en suikerbieten behorende, is in hoofdstuk drie berekend, de CO2-emissie bij de verwerking behorende, wordt gebaseerd op het gebruik van zware stookolie en de vermeden CO2-emissie wordt vastgesteld op basis van de CO2-emissie bij de produktie en verbranding van dieselolie. De resultaten zijn in tabel 5.8 weergegeven.

*Tabel 5.8 CO2-rendement van produktie van bio-ethanol uit suikerbieten en tarwe, in kilogram C per hectare*

Optie	Uitstoot teelt	Uitstoot verwerking	Totale uitstoot	Vermeden emissie foss.br.	CO2-ren- dement *)
Suikerbieten					
- variant 1	965	1.814	2.779	2.963	184
- variant 2	965	1.096	2.061	2.963	902
Tarwe	813	832	1.645	1.279	-366

\*) Op basis van alleen de vervanging van fossiele brandstoffen door bio-ethanol.

Ook hier is uitgegaan van de huidige techniek. Invoering van de membraantechnologie waardoor energiebesparing optreedt, geeft een gunstiger beeld.

#### 5.3.4.3 Financieel rendement

De economische haalbaarheid van bio-ethanolproduktie uit graan of suikerbieten wordt bepaald door de kostprijs van de landbouwgewassen en de prijs van verwerking ervan tot bio-ethanol enerzijds en de prijs van de fossiele brandstof anderzijds.

De kostprijs van fossiele brandstof (diesel, benzine) is moeilijk vast te stellen. Uit de ruwe olie worden verschillende produkten gewonnen en de kostprijs is dus een samenstelling van verschillende prijzen. Bovendien spelen voorraadvorming, prijsverwachtingen en -speculaties een grote rol in de kostprijs. Als alternatief voor de kostprijs kan de prijs aan de pomp genomen worden, gecorrigeerd voor heffingen, accijnzen en BTW. In tabel 5.9 is de prijs voor loodhoudende benzine, loodvrije benzine en

diesel gegeven. Ten tijde van het verschijnen van dit rapport bleek de gevoeligheid van de olieprijs voor internationale ontwikkelingen. De Iraakse inval in Koeweit in augustus 1990 heeft een sterk prijsopdrijvend effect gehad: de olieprijs liep van vijftien dollar per vat op tot rond veertig dollar per vat en de brandstofprijzen stegen navenant. Een dergelijke prijsstijging zet de optie van bio-ethanol en biodiesel in een geheel ander (financieel) daglicht.

*Tabel 5.9 Prijs van fossiele transportbrandstoffen op 8 februari 1990 (gulden per liter)*

Type brandstof	Prijs
Loodhoudende benzine	f 0,46
Loodvrije benzine	f 0,50
Diesel	f 0,25

Bron: NRLO, 1990:44.

Overigens kan de prijs van fossiele brandstoffen alléén niet als vergelijkingsbasis dienen. Bio-ethanol heeft namelijk eigenschappen die de fossiele brandstoffen niet hebben en waartoe zogenaamde oxygenaten moeten worden toegevoegd.

De kosten van verwerking is een factor die met de nodige onzekerheid is omgeven. De kosten zijn sterk afhankelijk van de schaal waarop wordt geproduceerd. Een produktie tussen 160.000 liter en 350.000 liter bio-ethanol per dag wordt als redelijk genoemd voor de Nederlandse situatie. De verwerkingskosten zijn dan f 0,30 per liter bio-ethanol wanneer suikerbieten als uitgangsmateriaal wordt genomen. Over de kosten van verwerking met tarwe als basis lopen de schattingen uiteen van f 0,30 tot f 0,45 per liter.

De kosten van bio-ethanol uitgaande van de bovengenoemde verwerkingskosten lopen uiteen voor verschillende grondstofprijzen. In het suikersysteem zijn drie categorieën onderscheiden op basis van de afzetmogelijkheden met daaraan gekoppeld drie prijzen: de A-, B- en C-prijs. In Nederland zijn de A- en B-prijs samengebracht in een mengprijs (in 1989/1990: circa f 130,- per ton). De C-suikerprijs is de prijs die op de wereldmarkt tot stand wordt gebracht: circa f 80,- per ton. Voor tarwe geldt eveneens een interne EG-prijs en een wereldmarktprijs: de interventieprijs is f 0,38 tot f 0,40 per kilogram en de wereldmarktprijs schommelt rond de f 0,25 per kilogram. In de tabel is tevens de optie van een daling van de interne prijzen met 25 procent opgenomen. Deze daling is niet ondenkbaar, gegeven de verwachting ten aanzien van de produktiviteitsontwikkeling (NRLO, 1990). In tabel 5.10 is de kostprijs van bio-ethanol voor een

aantal opties betreffende de prijs voor suikerbieten en tarwe weergegeven.

*Tabel 5.10 Kostprijs van bio-ethanol bij verschillende prijzen voor suikerbieten en tarwe*

Grondstof	Prijs grondstof (fl/ton)	Kostprijs bio-ethanol (fl/l)		
		grondstof	verwerking	totaal
<b>Suikerbieten</b>				
- mengprijs	130	1,30	0,30	1,60
- -25%	97,50	0,97	0,30	1,27
- wereldmarktprijs	80	0,80	0,30	1,10
<b>Tarwe</b>				
- interventieprijs	380-400	1,00	0,40	1,40
- -25%	292,50	0,73	0,40	1,13
- wereldmarktprijs	250	0,60	0,40	1,00

Bron: NRLO, 1990.

NB: Uitgangspunt is dat voor één ton suikerbieten honderd liter bio-ethanol levert en één ton tarwe vierhonderd liter bio-ethanol.

Uit tabel 5.10 blijkt dat onder de huidige prijzen voor tarwe en suikerbieten de prijs voor bio-ethanol rond f 1,50 per liter ligt. Dit betekent dat bio-ethanol op basis van agrarische grondstoffen nog niet kan concurreren met de fossiele brandstoffen. Ook wanneer de produktiviteit met 25 procent toeneemt, gepaard gaande met een evenredige prijsdaling is de concurrentiekracht onvoldoende.

*Tabel 5.11 Financieel rendement van bio-ethanol, in gulden per hectare*

	Suikerbieten			Tarwe		
	mengprijs	-25%	wereldmarktprijs	interventie	-25%	wereldmarktprijs
Opbrengst *)	2.760	2.760	2.760	1.191	1.191	1.191
Kosten	9.600	7.620	6.600	3.626	2.927	2.590
Saldo	-6.840	-4.860	-3.840	-2.435	-1.736	-1.399

\*) Op basis van de prijs voor loodhoudende benzine en ervan uitgaande dat het energierendement van benzine gelijk is aan die van ethanol in personenauto's (Okken, 1989). Verdere uitgangspunten: idem aan tabel 5.6.

Tabel 5.10 laat verder zien dat de kostprijs van bio-ethanol voor zeventig tot tachtig procent door de prijs van de agrarische grondstoffen wordt bepaald. Verbetering van de concurrentiepositie moet dus vooral uit verlaging van de prijs van agrarische grondstoffen komen.

Op basis van tabel 5.10 kan het financieel rendement worden uitgerekend. Deze is in tabel 5.11 vastgelegd.

## 5.4 Biodiesel

### 5.4.1 Productie van grondstoffen voor biodiesel

Er zijn verschillende gewassen die olie leveren die als brandstof kan worden toegepast. In deze studie wordt koolzaad er om twee redenen uitgelicht. Ten eerste vraagt dit gewas weinig aanpassingen om in het huidige, meest gangbare bouwplan te worden opgenomen. Er is al veel bekend van het gewas en problemen als ongelijke bloei, lage opbrengsten en ziekten zijn al aangepakt. Voorts is de olie van andere gewassen (zoals lijnzaad, karwij en blauwmaanzaad) meer geschikt voor andere doeleinden of is de fysieke opbrengst lager dan die van koolzaad.

Een probleem in de koolzaadteelt is dat koolzaad als waardplant fungeert voor het bietencystenaaltje. Dit probleem is op EG-niveau nauwelijks van betekenis, maar is wel op de Nederlandse schaal aan de orde. Zelf ondervindt koolzaad geen hinder van het aaltje maar ze geeft wel de gelegenheid voor het aaltje zich te vermeerderen. Momenteel is het areaal met verschijnselen van bietenmoehheid "beperkt" tot het Zuidwestelijk Kleigebied (circa 30.000 hectare) waar de meekrapcultuur in het verleden een populatie van het bietencystenaaltje met zich heeft meegebracht en een kwart van het areaal als "zwaar besmet" bestempeld kan worden. Maatregelen zoals een ruimere vruchtwisseling en (de uit milieu-oogpunt minder gewenste) grondontsmetting kunnen worden ingezet om de grootte van de populatie te verkleinen. Daarnaast is men bezig met het ontwikkelen van resistente rassen. Veredeling op resistentie tegen bietencystenaaltje langs de traditionele weg wordt bemoeilijkt door het feit dat binnen de soort geen resistente rassen bestaan. Alleen bij aanverwante soort zoals gele mosterd is dit kenmerk aanwezig. Men is dus aangewezen op de biotechnologie om resistentie in te bouwen. Deze technieken bieden de mogelijkheid soortgrenzen te overschrijden. Daarbij kan gedacht worden aan somatische hybridisatie waarbij protoplasten worden gefuseerd en de aldus gevormde kern als basis dient voor de nieuwe plant. Een tweede techniek is die van de recombinant-DNA, waarbij het gen dat verantwoordelijk is voor de resistentie van de ene soort naar de andere wordt overgebracht. Het probleem is dat het nog niet bekend is waar het gen van resistentie voor het bietencystenaaltje ligt (Bos, 1990).



#### 5.4.2 Verwerking van koolzaadolie tot "biodieselolie"

Koolzaadolie kan in haar ruwe vorm als vervanger van dieselolie dienen. Daartoe hoeft het koolzaad slechts geperst te worden. Het gaat dus om een relatief eenvoudige verwerkingsstap.

Er zijn drie methoden ontwikkeld om koolzaadolie te veresteren tot gemethyleerde koolzaadolie. Deze (veresterde) vorm biedt een breder toepassingsgebied dan de onveresterde vorm die minder vloeibaar is. De eerste methode voor verestering is in Oostenrijk ontwikkeld door de Bundesanstalt für Landtechnik, Wieselberg in samenwerking met de tractorfabriek Steyr. Men richt zich in Oostenrijk dus voornamelijk op de landbouw als het toepassingsgebied. In Duitsland is het Gesellschaft für Entwicklungstechnologie actief. Het onderzoek daar is gericht op het verkrijgen van een gewas dat geschikt is voor de produktie van een brandstof en op het installeren van een verwerkingsunit op dorpsniveau. Het Gesellschaft heeft een proefinstallatie opgezet waarbij de verestermethode op verschillende onderdelen wordt beproefd. Tenslotte is de firma Voest-Vogelbusch bezig met verestering van koolzaad (Bos, 1990).

#### 5.4.3 Afzet van "biodiesel"

##### 5.4.3.1 Marktsegmenten

Koolzaadolie kan als ruwe olie en als veresterde olie dienen als vervanger van dieselolie.

De ruwe olie kan, gemengd met dieselolie, in bestaande motoren worden gebruikt. Het mengsel mag dan circa vijf tot niet meer dan twintig procent ruwe olie bevatten, wil er geen nadelige effect op de motor optreden. Daarnaast kan ruwe olie worden gebruikt in daartoe aangepaste motoren: motoren die volledig op ruwe plantaardige olie kunnen draaien. Als voorbeeld dient de Elsbett-motor, die verschillende brandstoffen (waaronder plantaardige oliën) als input kan hebben. Wanneer de olie veresterd wordt is het niet noodzakelijk dat de motor wordt omgebouwd. In dat geval kan een (bestaande) motor op honderd procent plantaardige olie lopen. In figuur 5.1 is een en ander weergegeven.

Motor	Vorm van plantaardige olie	
	ruwe olie	veresterde olie
Bestaande dieselmotor	5-20%	5-20% 100%
Aangepaste motor	100%	

*Figuur 5.1 Toepassingsmogelijkheden van koolzaadolie*

#### 5.4.3.2 Potentiële afzet

Evenals bij bio-ethanol is ook hier de biotransportbrandstof niet concurrerend met fossiele brandstof. Wél zijn er tal van initiatieven en projecten. In Oostenrijk is men al enkele jaren bezig met veresterde olie. Men richt zich daarbij voornamelijk op de landbouw maar ook worden er proeven genomen met personen-auto's. Niet alleen in Oostenrijk zijn projecten opgestart met betrekking tot veresterde koolzaadolie, ook in Frankrijk, Duitsland en Zweden is men actief. Wat betreft de onveresterde vorm zijn de ontwikkelingen rond de Elsbett-motor van betekenis. In Duitsland - waar de motor ontwikkeld is - en in Nederland vinden proeven plaats. Er was zelfs sprake dat de fabriek voor de productie van Elsbett-motoren in Nederland zou komen, maar er is uiteindelijk gekozen voor Ierland als vestigingsplaats. De Elsbett-motor is een relatief schone motor: bij onveresterde koolzaadolie in de gangbare dieselmotor is het milieu een aandachtspunt, maar wanneer de olie in de Elsbett-motor wordt verbrand is dit probleem voor een belangrijk deel opgelost. Ook gaat de Elsbett-motor zuiniger om met haar brandstof.

Gegeven deze ontwikkelingen en in analogie met de bio-ethanol wordt als potentiële afzet voor veresterde olie de variant waarin twintig procent van de diesel in het weg- en waterverkeer wordt vervangen gekozen. Voor onveresterde olie wordt de optie van honderd procent vervanging van de pleziervaart genomen. Wellicht eerder te realiseren is de optie waarin de diesel op de akkerbouwbedrijven zelf wordt vervangen. Deze markt is circa 75,6 miljoen liter groot.

#### 5.4.4 Energie-, CO<sub>2</sub>- en financieel rendement

##### 5.4.4.1 Inleiding

In dit onderzoek wordt alleen veresterde plantaardige olie nader op al haar merites bekeken omdat alleen hiervan de gegevens ter bepaling van het energie- en CO<sub>2</sub>-rendement bekend zijn. Voor niet-veresterde, ruwe plantaardige olie kan slechts gemeld worden dat de verwerking (persen) een minder energie-intensief proces is dan de verestering. Deze olie scoort dus hoger op energie- en CO<sub>2</sub>-rendement. Ook ten aanzien van het financieel rendement verdient de niet-veresterde olie de voorkeur. In tabel 5.12 is de kostprijs van een liter biodiesel op basis van ruwe plantaardige olie gegeven. Daarbij zijn verschillende varianten ten aanzien van de opbrengstprijzen van de bijproducten en ten aanzien van de kosten van verwerking gezien. Voor de kosten van verwerking is de hoogste en laagste variant gekozen. Wanneer op boerderijniveau wordt (koud) geperst zijn de kosten het hoogst: f 21,15 per 100 kilogram en wanneer fabrieksmatig wordt geëxtraheerd zijn de kosten het laagst: f 13,20 per 100 kilogram. De kostprijs voor de diverse varianten is berekend zoals in tabel 5.12 is weergegeven.

**Tabel 5.12** *Kostprijsberekening onveresterde plantaardige olie, per kg koolzaad*

	Verwerkingskosten			
	hoog		laag	
	opbrengst bij- produkt		opbrengst bij- produkt	
	laag	hoog	laag	hoog
Prijs koolzaad	0,79	0,79	0,79	0,79
Prijs verwerking	0,21	0,21	0,13	0,13
Kostprijs	1,00	1,00	0,92	0,92
Opbrengst bijprodukt	0,27	0,43	0,27	0,43
Netto-kosten	0,73	0,57	0,65	0,49
Kosten per liter *)	1,58	1,23	1,40	1,05

Bron: Naar NRLO, 1990.

\*) Uit honderd kilogram koolzaad kan 46 liter onveresterde biodiesel gewonnen worden.

Uit de tabel blijkt dat biodiesel op basis van niet-veresterde plantaardige olie niet kan concurreren met diesel uit olie. Bij deze berekening is uitgegaan van de volledige kostprijs voor de produktie van koolzaad (f 2.710,- per hectare, 1986) waarin ook de kosten van inzet van duurzame produktiemiddelen en arbeid zijn opgenomen (zie bijlage 13).

Wanneer alleen de toegerekende kosten (f 1.074,- per hectare, 1986) in rekening worden gebracht, liggen de kosten op f 0,47 per kilogram lager. In dat geval kan de biodiesel met de diesel van fossiele afkomst concurreren wanneer de opbrengstprijs voor bijprodukten hoog is.

#### 5.4.4.2 Energierendement

Het energierendement is in tabel 5.13 weergegeven. Daarbij is gerekend voor de situatie waarin op regionale schaal wordt verwerkt (variant 1) en de situatie waarin grootschalige verwerking plaatsvindt (variant 2). Ook hier geldt - evenals voor de bio-ethanolproduktie - dat de berekening is gebaseerd op de huidige stand van de techniek, terwijl naar verwachting de invoering van de membraantechnologie een aanzienlijke energiebesparing kan bewerkstelligen.

**Tabel 5.13** *Energierendement van veresterde koolzaadolie, in MJoules per hectare*

Va- riant	Energie-input			Energie-output		Energierende- ment	
	teelt	verwer- king	totaal	exclu- sief bij- prod.	inclu- sief bij- prod.	exclu- sief bij- prod.	inclu- sief bij- prod.
1	18.670	2.500	21.450	35.060	60.200	13.610	38.750
2	18.670	2.900	21.850	40.140	60.200	18.290	38.350

Bron: Naar NRLO, 1990:86-87.

#### 5.4.4.3 CO<sub>2</sub>-rendement

Het CO<sub>2</sub>-rendement is grotendeels gebaseerd op het energierendement waarbij dezelfde varianten zijn aangehouden.

**Tabel 5.14** *CO<sub>2</sub>-rendement van produktie van biodiesel uit koolzaad, in kilogram C per hectare*

Optie	Uitstoot teelt	Uitstoot verwerking	Totale uitstoot	Vermeden emissie foss.br.	CO <sub>2</sub> - rendement
Variant 1	377	52	429	813	384
Variant 2	377	61	438	930	492

#### 5.4.4.4 Financieel rendement

In tabel 5.15 is de kostprijsberekening per liter koolzaadolie berekend voor verschillende niveaus van opbrengstprijzen van de bijprodukten (veevoer en glycerine). Daarbij is uitgegaan van een installatie die 36.000 ton verwerkt via de Duitse methode tot 13.500 m<sup>3</sup> biobrandstof, waarbij 22.500 ton veevoer en 1.100 ton glycerine vrijkomt.

Een vergelijking van tabel 5.12 met tabel 5.15 laat zien dat biodiesel op basis van ruwe plantaardige olie goedkoper is dan die op basis van veresterde plantaardige olie, hetgeen niet als verrassing naar voren komt. Tevens blijkt uit tabel 5.15 dat biodiesel op basis van veresterde plantaardige olie de concurrentie met diesel van fossiele afkomst niet aankan.

**Tabel 5.15** *Kostprijs veresterde koolzaadolie, in guldens per kilogram en per liter*

	Opbrengst bijproduct	
	hoog	laag
Prijs koolzaad	0,79	0,79
Prijs verwerking	0,27	0,27
Kostprijs	1,06	1,06
Opbrengst bijproduct	0,43	0,27
Netto-kosten	0,63	0,79
Kosten per liter*	1,70	2,12

Bron: Naar Bos, 1990.

\*) Uit honderd kilogram koolzaad kan 37 liter veresterde biodiesel gewonnen worden.

Ook hier is gerekend met de volledige kostprijs voor de teelt van koolzaad en levert de berekening op basis van alleen de toegerekende kosten een gunstiger beeld: de prijs per kilogram daalt met f 0,47. Daarmee komt de kostprijs van biodiesel op f 0,43 per liter in het geval van hoge opbrengst voor de bijprodukten en op f 0,85 per liter wanneer de opbrengst voor de bijprodukten laag is.

Op basis van deze tabel kan het financieel rendement per hectare berekend worden.

**Tabel 5.16** *Financieel rendement voor biodiesel uit koolzaad, in guldens per hectare*

Opbrengst	
- biodiesel	320
- bijprodukten	1.220
- totaal	1.540
Kosten	
- teelt	2.710
- verwerking	924
- totaal	3.634
Saldo	-2.094

## 5.5 Conclusie

Voor de verschillende opties is in het voorafgaande de mate waarin de CO<sub>2</sub>-uitstoot kan worden verminderd bepaald, alsmede het energie- en financieel rendement. In deze paragraaf worden de

verschillende rendementen aan elkaar gekoppeld. De toetsingscriteria zijn de volgende:

- (1) het CO<sub>2</sub>-rendement, dat wil zeggen de netto-besparing aan uitstoot van CO<sub>2</sub>;
- (2) het energierendement ten opzichte van het CO<sub>2</sub>-rendement, dat wil zeggen de netto besparing aan fossiele brandstoffen per eenheid netto-besparing aan CO<sub>2</sub>-emissie;
- (3) het financieel rendement ten opzichte van het CO<sub>2</sub>-rendement. Daarbij worden ook de potentiële arealen en afzetmogelijkheden en de haalbaarheid ervan in de afweging betrokken. In tabel 5.17 is de samenvatting gegeven.

Uit de tabel blijkt dat ten aanzien van de netto-reductie op CO<sub>2</sub>-uitstoot per hectare, de volgende prioritering kan worden gegeven:

- Stro, Phragmitus en Miscanthus ten behoeve van produktie van warmte;
- Bio-ethanol op basis van suikerbieten en de procesvariant met het gunstigste energierendement;
- Biodiesel;

Wanneer de netto-energiebesparing en het financieel saldo gekoppeld wordt aan de netto-reductie aan CO<sub>2</sub>-uitstoot, scoren stro, Phragmitus en Miscanthus weer het hoogst. Bio-ethanol en biodiesel verschillen weinig ten opzichte van elkaar, uitgaande van de energetisch meest gunstige procesvariant.

De combinatie van de eerste drie criteria wijst dus op stro, Phragmitus en Miscanthus ten behoeve van warmteproduktie als meest aantrekkelijke opties om reductie van de CO<sub>2</sub>-uitstoot te realiseren.

De optie van biodiesel op basis van ruwe, niet-veresterde plantaardige olie is niet op al haar merites doorgerekend, omdat gegevens voor de berekening van het energie- en CO<sub>2</sub>-rendement niet aanwezig zijn. Echter het is wel duidelijk dat deze biodiesel hoger scoort op deze rendementen dat de biodiesel op basis van veresterde plantaardige olie. Ook scoort zij hoger op het financieel rendement: de kostprijs per liter biodiesel is lager.

De potentiële bijdrage van de verschillende opties wordt sterk bepaald door de ingeschatte haalbaarheid. In alle gevallen is de haalbaarheid afhankelijk van de houding van de leverancier van fossiele brandstoffen en de overheid. Alleen wanneer de energie direct op het eigen bedrijf (warmte, elektriciteit, biodiesel) wordt aangewend, speelt deze factor geen rol. Los van de houding van overheid en leverancier van fossiele brandstoffen, moet rekening gehouden worden met de inpasbaarheid in het bestaande bouwplan. Voor granen (en stro), suikerbieten en koolzaad hoeven hiertoe relatief weinig technische en organisatorische aanpassingen plaats te vinden. Voor Phragmitus en Miscanthus zijn wel aanpassingen nodig en met name op het vlak van het bouwplan. Deze meerjarige gewassen leveren niet tot nauwelijks bij aan de verruiming van het bouwplan, hetgeen de aantrekkelijkheid van deze gewassen vermindert.

De toepassing van agrarische grondstoffen in een reductie van de CO2-uitstoot door de sector "transport" (zestien procent van de totale CO2-uitstoot) van vier tot zes procent. Daarbij is uitgegaan van een vervanging van vijftien procent vervanging van de markt voor benzine en twintig procent vervanging van de markt voor dieselolie.

Tabel 5.17 Score van de opties van de criteria

Criterium	Varmate				Bio-ethanol		Biodiesel	
	stro	Phragmitus	Miscanthus	suikerb.1	suikerb.2	tarwe	regionaal	grootsch.
CO2-rendement (kg C/ha)	1.080	3.550	7.052	184	902	-366	384	492
Energie-rendement ten opzichte van CO2-rendement (MJ/kg C)	61,4	61,6	61,8	-26	32	.	35,4	37,2
Financieringsrendement ten opzichte van CO2-rendement (gld./kg C)	-0,49	-0,62	-0,50	-20,87 a)	-4,26 a)	.	-5,45 b)	-4,26 b)
Potentieel	181.600	10.000	10.000					
- areaal								
- marktaandeel (%)								
- netto-CO2-reductie (ton CO2)	719.136	130.166	258.573	-378.444	1.220.000	1.564.000	1.213.000	1.553.000

a) Uitgaande van de wereldmarktprijs; b) Uitgaande van de wereldmarktprijs en een gemiddelde prijs voor de bijproducten.



## 6. Conclusies

De landbouw kan langs twee wegen de toename van de concentratie aan CO<sub>2</sub> afremmen, namelijk via (1) vergroting van de opslagcapaciteit van de biosfeer en (2) vervanging van fossiele brandstoffen, zodat de daarin vastgelegde C niet vrijkomt. De feitelijke mogelijkheden en de mate waarin de landbouw een bijdrage aan de CO<sub>2</sub>-problematiek kan leveren wordt in dit hoofdstuk samengevat.

### - *Huidige C-opslagcapaciteit in de biosfeer door de landbouw*

De huidige C-opslagcapaciteit van de Nederlandse landbouw is circa acht miljoen ton C per jaar. Daarbij is uitgegaan van een levensduur van de produkten van één jaar, een groeiperiode van circa zeven maanden voor akkerbouwprodukten en een groeiperiode van één jaar voor gras. Grasland vormt circa zestig procent van de C-opslagcapaciteit met 4,8 miljoen ton C, hetgeen wordt veroorzaakt door vooral het grote aandeel in het grondgebruik. De akkerbouw neemt de resterende 3,2 miljoen ton C voor haar rekening.

### - *Vergroting van de C-opslagcapaciteit in de biosfeer door de landbouw*

De C-opslagcapaciteit in de biosfeer kan worden vergroot door de teelt van snelgroeïende gewassen zoals Phragmitus en Miscanthus, die produkten leveren die lang houdbaar zijn. Groot-schalige rietteelt voor commerciële doeleinden vindt nu nog niet plaats evenmin als de teelt van Miscanthus; ook gezien de beperkte bijdrage aan de verruiming van het bouwplan die deze gewassen bieden, is het potentieel areaal voorzichtig ingeschat op 10.000 hectare. Echter voor beide gewassen, vooral voor Miscanthus, zijn zeker toekomst perspectieven aanwezig.

Een tweede mogelijkheid ter vergroting van de C-opslagcapaciteit is de verlenging van het groeiseizoen door inzaai van bijvoorbeeld groenbemesters. Deze kunnen op een groot areaal worden ingezaaid, omdat de technische en organisatorische aanpassingen op agrarisch bedrijfsniveau gering zijn.

In volgorde van vergroting van de C-opslagcapaciteit per hectare:

- groenbemesters;
- Phragmitus met een produkt met een levensduur van drie jaar;
- Miscanthus met een produkt met een levensduur van drie jaar;
- Phragmitus met een produkt met een levensduur van vijftig jaar.

Aan deze rij kan Miscanthus met een produkt dat circa twintig jaar intact blijft worden toegevoegd. Vanwege het feit dat de opslagcapaciteit van Miscanthus in sterke mate wordt bepaald door

de hoge drogestofproduktie terwijl deze op proefveldresultaten is gebaseerd, wordt deze optie slechts zijdelings genoemd.

Uitgaande van een ingeschat potentieel areaal voor Phragmitus, Miscanthus en groenbemesters is de vergroting van de opslagcapaciteit aanzienlijk: uiteenlopend van twee procent (Phragmitus drie jaar) via twaalf procent (Miscanthus drie jaar) tot zestien procent (Phragmitus vijftig jaar) ten opzichte van de huidige opslagcapaciteit.

De vergroting van de C-opslagcapaciteit per hectare gaat gepaard met een lager energieverbruik per eenheid vastgelegde C en daarmee samenhangend met een lagere CO<sub>2</sub>-uitstoot per eenheid vastgelegde C. Dit vindt zijn oorzaak in het vrij extensieve karakter van de teelt: toename van de opslagcapaciteit gaat over het algemeen niet gepaard met een verregaande intensivering.

#### - *Vervanging van fossiele brandstoffen*

De vervanging van fossiele brandstoffen door agrarische grondstoffen op de segmenten: warmte en transportbrandstoffen, betekent een vervanging van respectievelijk aardgas, benzine en dieselolie. Energie ten behoeve van warmte is het meest aantrekkelijk op basis van snelgroeiende gewassen zoals Phragmitus en Miscanthus en op basis van stro. Bio-ethanol, uit onder andere graan en suikerbieten, kan als vervanger van benzine worden toegepast. Biodiesel is op koolzaadolie gebaseerd, al dan niet na verestering. Voor alle opties geldt dat grootschalige commerciële toepassing nog niet plaatsvindt in Nederland.

De volgende drie criteria vormen de basis voor de afweging van de verschillende mogelijkheden:

- het CO<sub>2</sub>-rendement, dat wil zeggen de netto-besparing aan uitstoot van CO<sub>2</sub>;
- het energierendement ten opzichte van het CO<sub>2</sub>-rendement, dat wil zeggen de netto-besparing aan fossiele brandstoffen per eenheid netto-besparing aan CO<sub>2</sub>-emissie;
- het financieel rendement ten opzichte van het CO<sub>2</sub>-rendement, dat wil zeggen het financieel saldo per eenheid netto-besparing aan CO<sub>2</sub>-emissie.

Uitgaande van deze drie criteria verdient de warmteproductie uit stro, Phragmitus en Miscanthus verreweg de voorkeur ter vermindering van de toename van de concentratie aan CO<sub>2</sub>. Warmteproductie is aantrekkelijker dan de productie van bio-ethanol of biodiesel, op basis van toetsing aan de drie criteria. Bio-ethanol op basis van suikerbieten en de energetisch gunstige procesvariant en bio-diesel verschillen weinig ten aanzien van de score op deze drie criteria. Echter bio-ethanol op basis van suikerbieten en de minder gunstige procesvariant en bio-ethanol op basis van tarwe zijn uit energetisch en CO<sub>2</sub>-oogpunt minder aantrekkelijk. Daarbij moet rekening gehouden worden met het feit dat bij de omzetting van tarwe tot bio-ethanol een (energierijk) bijproduct vrijkomt. Ook heeft het graangewas als geheel (zaad plus stro) een positief CO<sub>2</sub>- en energierendement.

De optie van biodiesel op basis van ruwe, niet-veresterde plantaardige olie is niet op al haar merites doorgerekend, omdat gegevens voor de berekening van het energie- en CO<sub>2</sub>-rendement niet aanwezig zijn. Wél is duidelijk dat deze biodiesel hoger scoort op zowel het energie- en CO<sub>2</sub>-rendement als het financieel rendement dan de biodiesel op basis van veresterde plantaardige olie. Echter bio-ethanol op basis van suikerbieten en de minder gunstige procesvariant en bio-ethanol op basis van tarwe zijn uit energetisch en CO<sub>2</sub>-oogpunt minder aantrekkelijk. Daarbij moet rekening gehouden worden met het feit dat bij de omzetting van tarwe tot bio-ethanol een (energierijk) bijproduct vrijkomt. Ook heeft het graangewas als geheel (zaad plus stro) een positief CO<sub>2</sub>- en energierendement.

De potentiële bijdrage van de verschillende opties wordt sterk bepaald door de ingeschatte haalbaarheid. Deze is afhankelijk van de houding van de leverancier van fossiele brandstoffen en de overheid wanneer de energie niet direct op het eigen bedrijf wordt aangewend. Los van de houding van overheid en leverancier van fossiele brandstoffen, moet rekening gehouden worden met de inpasbaarheid in het bestaande bouwplan. Voor granen (en stro), suikerbieten en koolzaad liggen hoeven hiertoe relatief weinig technische en organisatorische aanpassingen plaats te vinden. Voor Phragmites en Miscanthus zijn wel aanpassingen nodig en met name op het vlak van het bouwplan. Deze meerjarige gewassen leveren echter niet tot nauwelijks bij aan de verruiming van het bouwplan, hetgeen de aantrekkelijkheid van deze gewassen vermindert.

De toepassing van agrarische grondstoffen leidt tot een reductie van de CO<sub>2</sub>-uitstoot door de sector "transport" (zestien procent van de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot) van vier tot zes procent. Daarbij is uitgegaan van een vervanging van vijftien procent vervanging van de markt voor benzine en twintig procent vervanging van de markt voor dieselolie.

## 7. Aanbevelingen

Uit het onderzoek komen een aantal leemten in kennis naar voren, waar nader onderzoek gewenst is. Daarbij is geoordeeld vanuit de potentiële bijdrage aan vermindering van de toename van de concentratie aan CO<sub>2</sub> in de atmosfeer.

- *Haalbaarheidsstudie naar de mogelijkheden voor produktie van bio-energie ten behoeve van warmte en elektriciteit*

In hoeverre produktie van energie ten behoeve van warmte en elektriciteit aantrekkelijk is wordt sterk bepaald door onder andere lokale omstandigheden en de mogelijkheden van afzet. De indruk bestaat dat in bepaalde situaties deze vorm van energieproduktie aantrekkelijk is, bijvoorbeeld wanneer de landbouwer de energie zelf kan benutten. Een haalbaarheidsstudie naar de voorwaarden waaronder de produktie van bio-energie economisch aantrekkelijk is, is aanbevelenswaardig.

- *Onderzoek naar de mogelijkheden van Miscanthusteelt in Nederland*

Uit oogpunt van de CO<sub>2</sub>-reductie is Miscanthus een aantrekkelijk gewas, maar de feitelijke mogelijkheden hiertoe zijn nog onvoldoende bekend. Onderzoek naar teeltechnisch optimale omstandigheden, optimale oogsttechnieken, verwerkings- en afzetmogelijkheden geeft inzicht in de haalbaarheid van dit gewas onder Nederlandse omstandigheden.

- *Onderzoek naar de mogelijkheden van grootschaliger teelt van Phragmitus in Nederland*

Ook Phragmitus is een aantrekkelijk gewas uit oogpunt van CO<sub>2</sub>-reductie, waarbij echter in aanmerking genomen moet worden dat er ook extra methaan vrijkomt wanneer gebieden in gebruik genomen worden waar nu nog geen anaerobe omstandigheden zijn aanwezig zijn. Echter de grootschalige teelt van Phragmitus vindt in Nederland niet of nauwelijks plaats. Inventarisatie van gebieden gekenmerkt door anaerobe omstandigheden waar de teelt van Phragmitus zou kunnen plaatsvinden, verdient aanbeveling. Daarbij zou breder gekeken moeten worden dan alleen de landbouwsector; ook de mogelijkheden in het kader van natuur- en landschapsbeheer kunnen aanknopingspunten bieden.

- *Onderzoek naar CO<sub>2</sub>-rendement van grondstof tot en met produkt*

Uit de studie blijkt dat de aard van het eindprodukt en de daaraan verbonden verwerkingstechniek sterk bepalend is voor de mate waarin de landbouw een reductie van de toename van het CO<sub>2</sub>-gehalte kan bewerkstelligen. Uitbreiding van het onderzoek tot en

met de verwerkingsfase leidt daarom tot een meer volledig overzicht op basis waarvan een betere afweging kan worden gemaakt.

- *Integraal onderzoek naar landbouw en broeikas-effect*

De bijdrage van de landbouw aan het broeikas-effect is vooral waar het gaat om lachgas en methaan nog niet volledig bekend. Vergroting van inzicht in de relaties tussen factoren die lachgas- en methaanemissie beïnvloeden verdient aanbeveling. Op basis daarvan kan een integraal beeld (CO<sub>2</sub>, lachgas en methaan) geschetst worden van de bijdrage van de landbouw aan het broeikas-effect, alsmede van de mogelijkheden de broeikasgasemissie te reduceren.

Naast onderzoek ter verkrijging van een beter beeld van de bijdrage die landbouw aan het broeikas-effect levert en kan leveren, is onderzoek naar de effecten van de toename van de temperatuur gewenst, zodat de landbouw tijdig een aanpassingsproces kan starten.

- *Onderzoek naar het gedrag van organische stof in de bodem*

Wanneer groene plantedelen op de bodem achterblijven, vindt microbiele omzetting plaats, waarvan de snelheid in de tijd afneemt. Het restprodukt is humus, een stabiele vorm van organische stof. Hoe dit proces plaatsvindt en langs welke wegen het humusgehalte (en daarmee de C-opslagcapaciteit) te verhogen is, is een relatief onbekend terrein. Inzicht in deze afbraakprocessen en beïnvloedingsmogelijkheden kan leiden tot aanknopingspunten voor vergroting van de C-opslagcapaciteit in de bodem.

## Literatuur

Augustijn, M. et al.  
Particuliere rietteelt in de Weerribben  
Wageningen, Landbouwhogeschool, 1985

Bijl, G. van der  
"Illusies en feiten rond de produktie van bio-ethanol"  
Spil (1989)79-80 pp. 21-27

Bos, A.  
Biodiesel: een alternatief voor de landbouw?  
Dronten, Hogere Agrarische School, 1990

Brascamp, M.H.  
Direct en indirect energieverbruik in de landbouw  
- Basismateriaal voor de LEI-energie databank -  
Apeldoorn, 1983, Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek, niet  
gepubliceerd

Brenndorfer, M.  
"Joint enterprise and utilization of a briquetting plant for  
straw"  
In: Palz w. et al. (ed.)  
Energy from Biomass third EC Conference  
London, New York, 1985 pp. 773-777

BTG Biomass Technology Group  
Universiteit Twente  
Marktverkenning toepassingsmogelijkheden biomassa vergassingssys-  
temen in het Nederlandse bedrijfsleven  
Enschede, 1989

Consulentschap in Algemene Dienst voor de akkerbouw en de groen-  
teteelt in de vollegrond en Proefstation voor de akkerbouw en de  
groenteteelt in de vollegrond  
Kwantitatieve informatie voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in  
de Vollegrond, Bedrijfssynthese 1989-1990  
Lelystad, 1989, Publikatie nr. 48

Goudriaan, J.  
"Biological cycling of CO<sub>2</sub>"  
International Energy Agency Executive Conference on "Solar  
Photoconversion Processes for Recycling Carbon Dioxide from the  
Atmosphere", Colorado Springs, 13-16 maart 1990

Goudriaan, J.  
"The biosphere as a driving force in the global carbon cycle"  
Netherlands Journal of Agricultural Science 35(1987) pp. 177-187

LITERATUUR (1e vervolg)

Goudriaan, J.

"Landbouw en klimaat"

Lucht en omgeving, maart 1988, pp. 6-8

Koster, R.A.C. et al.

Perspectieven in geotextielen

Onderzoek naar de mogelijkheden voor de afzet van natuurlijke vezels op de markten voor geotextielen

Den Haag, Landbouw-Economisch Instituut, nog niet gepubliceerd

Informatie en Kennis Centrum Veehouderij, Afdeling Veehouderij en Milieu

Bijdrage van de Nederlandse land- en tuinbouw aan het broeikas-effect

Ede, 1990, publikatie nr. 9 concept

Intergovernmental Panel on Climate Change

First assessment report - Overview

31 augustus 1990

Janssen, B.H.

Bodemvruchtbaarheid II

Landbouwhogeschool, Vakgroep Bodemkunde en Bemestingsleer

- interne nota - 1976

Kram, T. en P.A. Okken

Kansen voor alternatieve brandstoffen in het wegverkeer in

Nederland tot 2020 onder invloed van de olieprijs, NOx- en CO2-plafonds

Petten, Energie Studie Centrum ESC-52, 1989

Kropff, M.J. en R. Rabbinge

"De winning van energie op de akker"

In: Proceedings tweede nationale zonne-energie conferentie

april 1989, Noordwijkerhout

Landbouw-Economisch Instituut/Centraal Bureau voor de Statistiek

Landbouwcijfers 1989

Den Haag, Voorburg/Heerlen, 1989

Landbouw-Economisch Instituut/Centraal Bureau voor de Statistiek

Landbouwcijfers 1990

Den Haag, Voorburg/Heerlen, 1990

LITERATUUR (2e vervolg)

Mohren, G.M.J. en C.G.M. Klein Goldewijk  
CO<sub>2</sub>-fix: een dynamisch model voor de vastlegging door bos, afgeleid van OPTAB  
Instituut voor Bosbouw- en Groenbeheer, nog niet gepubliceerd

Nationale Raad voor Landbouwkundig Onderzoek  
Het gebruik van agrarische produkten voor transportbrandstoffen  
Den Haag, 1990, NRLO-rapport nr. 90/14

Okken, P.A.  
"Europa moet meer energie uit hout halen"  
Duurzame energie (1989)5 pp. 16-18

Onna, M.J.G. van  
Particuliere rietteelt in de Weerribben: een alternatief?  
een bedrijfseconomische analyse  
Wageningen, Landbouwhogeschool, 1985

Fenning de Vries, F.W.T. et al.  
Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops. Simulation Monographs 29  
Wageningen, Pudoc, 1989

Rabbinge, R.  
"Energiewinning door landbouwproductie"  
Landbouwkundig tijdschrift 94(1982)nr1 pp. 25-30

Rijssenbeek, W.L.M.M.  
Project proposal: technical and economic feasibility of cultivation and utilisation of cane species: an alternative for agriculture  
Biomass Technology Group, Enschede, z.j.

Stassen, H.E.M.  
"Energie uit hout en houtafval; technologieën en perspectieven"  
Nederlands bosbouw tijdschrift 54(1982)7/8 pp. 172-178

Tweede Kamer der Staten-Generaal  
Nationaal Milieubeleidsplan-plus  
Tweede Kamer, vergaderjaar 1989-1990, 21137, nr. 20

Tweede Kamer der Staten-Generaal  
Preventie en hergebruik van afvalstoffen  
Tweede Kamer, vergaderjaar 1988-1989, 20877, nr. 1-2



## LITERATUUR (3e vervolg)

Velden, N.J.A. van der, et al.  
Energie-efficiency en CO<sub>2</sub>-emissie in de glastuinbouw  
Den Haag, Landbouw-Economisch Instituut, 1990, publikatie nr.  
4.126

Wilden, C. et al.  
"Pelletization of straw"  
In: Palz W. et al. (ed.)  
Energy from biomass, third EC Conference  
Londen, New York, 1985 pp. 778-782

Zabel, M.  
"Utilization of agricultural raw material as an energy source - a  
case study on the alcohol industry in Sao Paulo State, Brazil"  
In: Grassi, G. G. Gosse en G. dos Santos (ed.)  
Biomass for energy and industry, 5th E.C. Conference, Volume 1  
Policy, Environment, Production and Harvesting  
Elsevier Applied Science, 1989, pp. 1.292-1.300

## OVERIGE LITERATUUR

### *Literatuur over CO<sub>2</sub>-problematiek*

Flavin, C.  
"De opwarming van de atmosfeer vertragen"  
In: Hoe is de wereld eraan toe? Een rapport van het World Watch  
Institute  
Keerbergen, Pauli, 1990, pp. 32-63

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne  
Zorgen voor morgen, Nationale milieuverkenning 1985-2010  
Alphen aan den Rijn, Samsom H.D. Tjeenk Willink, 1988

Schöne, S.  
"Het broeikas-effect"  
Intermediair 25(1989)23 pp. 59-63

Zwerver, S. et al.  
Een paar graden meer?  
Achtergronden en ontwikkelingen van het broeikas-effect door CO<sub>2</sub>  
Bilthoven, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut en  
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, 1990

LITERATUUR (4e vervolg)

*Literatuur over uitgangspunten berekeningen*

Centraal Veevoederbureau in Nederland  
Voedernormen landbouwhuisdieren en Voederwaarden veevoeders  
Lelystad, 1988

Gewestelijke Raad voor Friesland  
Advies tarieven voor loonwerkzaamheden in Friesland 1989  
Leeuwarden, 1989

Informatie en Kennis Centrum Veehouderij, Afdeling Rundvee-,  
Schapen- en Paardenhouderij  
Boeren met quotum 1990  
Ede, 1990, publikatie nr. 1

Ministerie van Landbouw en Visserij  
Kwantitatieve informatie veehouderij 1989-1990  
Den Haag, 1989

Rijkens, B.A. en H. Timmers  
Inventarisatie van agrarische afvalstoffen  
Wageningen, Instituut voor Bewaring en Verwerking van Landbouw-  
produkten, 1984

## Begrippenlijst

### C-vastlegging:

De bruto-C-opslag in levende (bio)massa en produkt, gemiddeld over een tijdsperiode, in kilogram koolstof per hectare per jaar.

### Conversie:

De omzetting van een agrarische grondstof tot energie, in procenten.

### CO<sub>2</sub>-rendement:

resultante van:

opname tijdens de groei

- uitstoot door inzet van produktiemiddelen

- uitstoot bij afbraak door verbranding of rotting

+ vermeden uitstoot als gevolg van vervanging van fossiele brandstoffen, in kilogram koolstof per hectare per jaar.

### Energierendement:

resultante van:

input aan energie ten behoeve van de teelt

+ input aan energie ten behoeve van de omzetting tot energie

- besparing aan energie in de vorm van fossiele brandstoffen, in MegaJoules per hectare per jaar.

### Financieel rendement:

Financiële opbrengst minus kosten (exclusief kosten van grondgebruik), in guldens per hectare per jaar.

### Toegerekende kosten:

Kosten die direct aan het gewas kunnen worden toegerekend: van zaaizaad, pootgoed, bestrijdingsmiddelen, werk door derden, in guldens per hectare per jaar.

### Verwerking:

De omzetting van een agrarische grondstof tot halffabrikaat of consumabel produkt.

## Bijlage 1 CO<sub>2</sub>-emissie in de glastuinbouw

De glastuinbouwsector heeft een positie in de CO<sub>2</sub>-problematiek die afwijkt van die van de akker- en weidebouw: zij emitteert meer CO<sub>2</sub> dan dat zij opneemt. Het gaat hier om een energie-intensieve bedrijfstak die voornamelijk aardgas voor de verwarming van de kassen gebruikt. Daarnaast gebruikt zij, in mindere mate, elektriciteit. Elektriciteit is nodig om het verwarmingssysteem te laten functioneren en het elektriciteitsverbruik hangt dan ook samen met het aardgasgebruik. Daarnaast zijn er een aantal ontwikkelingen die leiden tot een stijging van de vraag naar elektriciteit: watergift met druppelaars, substraatteelt, recirculatie van water, mechanisering en automatisering en belichting. De CO<sub>2</sub>-emissie hangt direct samen met het energieverbruik en daarom wordt hier kort aandacht besteed aan de energie-efficiency en de CO<sub>2</sub>-emissie zoals die zich in de periode 1980-1989 heeft ontwikkeld en de ontwikkeling ervan tot het jaar 2000 (Van der Velden et al., 1990).

In de periode 1980-1989 is de energie-efficiency (= energieverbruik per eenheid produkt) verbeterd met 42 procent van 26,4 MJ per eenheid produkt naar 15,3 MJ per eenheid produkt. Dit kan worden verklaard door een daling van de energiebehoefte per vierkante meter met 8 procent en een stijging van de produktie per vierkante meter met 59 procent. Op basis van de relatie tussen gasverbruik enerzijds en gasprijs en buitentemperatuur anderzijds, zoals die uit de gegevens van 1980-1989 kan worden afgeleid, is een schatting te maken voor het gasverbruik in de toekomst. Daarbij wordt het middenscenario uit de notitie energieprijspaden van het Ministerie van Economische Zaken aangehouden: 34,1 cent per m<sup>3</sup> aardgas naar het prijspeil van 1989. Gegeven deze prijs, zal een daling van de brandstofintensiteit (hoeveelheid aardgas per vierkante meter) optreden. Het elektriciteitsverbruik zal daarentegen stijgen. De daling van het verbruik van elektriciteit door minder intensief te verwarmen wordt meer dan gecompenseerd door de stijging als gevolg van de autonome ontwikkeling. De daling van het gebruik van aardgas en de stijging van het gebruik van elektriciteit resulteert in een netto-afname van de energiebehoefte per vierkante meter.

De totale energiebehoefte (aardgas en elektriciteit) per vierkante meter zal dus dalen. De produktie per vierkante neemt naar verwachting toe, hetgeen ertoe leidt dat de energie-efficiency gaat toenemen. Er treedt een verbetering van 61 procent op ten opzichte van 1980, uitgaande van het middenprijsscenario. De verbetering is minder in het lage gasprijsscenario (58 procent) en die in het hoge gasprijsscenario is groter (65 procent). Dit hangt samen met de mate waarin een besparing in het aardgasverbruik optreedt.

De netto-CO<sub>2</sub>-emissie is direct gerelateerd aan de energie-efficiency en daarmee aan de gasprijzen. De CO<sub>2</sub>-emissie van de totale glastuinbouw daalt echter niet in dezelfde mate als de energie-efficiency stijgt. Dit wordt veroorzaakt door een te verwachte toename van het areaal met 67 hectare per jaar tot 9.903 hectare in het jaar 2000 (in 1989: 9.166 hectare), als gevolg van de ontwikkelingen in de vraag naar glastuinbouwprodukten en de fysieke produktie per vierkante meter. Op basis van deze prognoses is de verwachting dat de netto-CO<sub>2</sub>-emissie voor de hele glastuinbouwsector daalt van 6 miljoen ton CO<sub>2</sub> in 1989 tot 5,2 miljoen ton in het jaar 2000. Bij het lage prijsscenario is de daling minder: tot 5,8 miljoen ton en in het hoge prijsscenario is de daling sterker: tot 4,7 miljoen ton.

Bijlage 2 Oppervlakte akkerbouwgewassen in de periode 1985-1988

Tabel B2.1 Oppervlakte akkerbouwgewassen in de periode 1985-1988 en hun aandeel

	Oppervlakte (1.000 ha)	Aandeel (%)
Granen	181,6	23,6
- wintertarwe	109,8	14,3
- zomertarwe	7,6	<1
- wintergerst	7,7	<1
- zomergerst	40,8	5,3
- rogge	5,3	<1
- haver	10,0	1,3
Peulvruchten	37,3	4,9
- groene erwten	25,7	3,3
- schokkers	0,1	<1
- kapucijners en grauwe erwten	0,9	<1
- bruine bonen	2,7	<1
- veldbonen	7,9	1
Handelsgewassen	14,8	1,9
- koolzaad	8,2	1
- karwijzaad	1,8	<1
- blauwmaanzaad	0,5	<1
- vlas	4,0	<1
- teunisbloem	0,3	<1
Graszaad	20,6	2,7
Hakvruchten	298,3	38,9
- consumptie-aardappelen klei	61,5	8,0
- consumptie-aardappelen zand- en veengrond	12,1	1,6
- pootaardappelen klei	28,8	3,7
- pootaardappelen zand- en veengrond	5,1	<1
- fabrieksaardappelen	58,8	7,7
- suikerbieten	129,8	16,9
- voederbieten	2,0	<1
Groenvoergewassen	195,0	25,4
- luzerne	3,7	<1
- snijmaïs	191,3	24,9
Groenbemestingsgewassen	0,9	<1
Groen te oogsten erwten en uien	21,4	2,8
- erwten	6,7	<1
- poot- en plantuien	3,1	<1
- zaaiuien	10,9	1,4
- zilveruien	0,7	<1
Overige akkerbouwgewassen	3,0	<1
<b>Totaal</b>	<b>766,5</b>	<b>100,0</b>

Bron: LEI/CBS, 1990, pp. 59.

### Bijlage 3 Berekeningswijze van de grasopbrengst

Wat betreft de bepaling van de fysieke opbrengst wordt voor de volgende aanpak gekozen. De voederbehoefte wordt vastgesteld, met daarop in mindering gebracht de aankoop van voer van buitenaf en de opbrengsten uit andere voedergrassen zoals snijmaïs. Dit resulteert in de produktie aan gras van het eigen bedrijf. Deze berekening is uitgedrukt in de gangbare energiemast voor ruwvoeder te weten kVEM. Vervolgens is de netto-kVEM-produktie van het grasland omgerekend naar de bruto-drogestofproduktie. Er is een verdeling gemaakt tussen weiden en maaien voor wintervoer aan de hand van het maaipercentage voor voederwinning. Bij beweiding is de VEM per kilogram drogestof bepaald, afhankelijk van de stikstofgift en is het verliespercentage van de drogestof vastgesteld aan de hand van het beweidingssysteem en de ontwateringstoestand. Bij maaien is de VEM per kilogram drogestof vastgesteld op 850 en is het verliespercentage van de drogestof afhankelijk van de ontwateringstoestand en de veldperiode. Toch blijft, zeer nadrukkelijk!, de werkelijke bruto-drogestofproduktie van het grasland onzeker. De berekende produktie kan afwijken van de werkelijke produktie door zowel afwijkingen in het graslandgebruik als afwijkingen in de voederwinning en/of in de voerbenutting. Wanneer de veehouder bijvoorbeeld grotere verliezen heeft bij het maaien zal hij meer moeten aankopen van buitenaf en leidt de berekening tot een lagere graslandproduktie dan in werkelijkheid gerealiseerd is.

Uit de dertien LEI-gebieden (zie voor de indeling de BUL, FR 11-88/89, blz. 15) zijn acht groepen overeenkomstig de regio-indeling zoals die in deze studie wordt gehanteerd. Alleen de bedrijven die een voederanalyse hebben opgesteld zijn in de beschouwing betrokken, omdat de bruto-drogestofproduktie van grasland zonder voederanalyse erg onnauwkeurig is. Er zijn 513 bedrijven met een voederanalyse, die te zamen circa 38.000 bedrijven vertegenwoordigen. De in de beschouwing betrokken bedrijven houden ruim 1,7 miljoen melkkoeien op circa 850.000 hectare grasland en ruim 99.000 hectare snijmaïs. Daarmee wordt circa 85 procent van de bedrijven met grasland en rundvee beschreven. Het wordt verwacht geacht de cijfers ook van toepassing te laten zijn op de ontbrekende vijftien procent.

Bijlage 4 Financieel rendement

Tabel B4.1 Netto-overschot per gewas (guldens per hectare)

Gewas	Saldo exclusief WDD	Factorkosten exclusief WDD	Kosten WDD	Netto-overschot
Wintertarwe	2.880	1.620	323	937
Zomergerst	2.393	1.505	293	595
Haver	2.180	1.505	347	328
Consumptie-aardappelen	5.158	3.376	839	943
Fabrieksaardappelen	3.145	2.124	235	786
Footaardappelen	8.697	7.776	652	269
Suikerbieten	5.159	2.454	635	2.070
Groene erwten	2.994	1.646	574	774
Graszaad	3.659	1.749	828	1.082
Zaaiuien	3.490	3.123	866	-499
Snijmaïs	1.826	1.187	307	332

Bijlage 5 Energieverbruik

Bijlage 5A Energieverbruik voor produktie van gras en snijmaïs

Het energierendement voor grasland is berekend op basis van het gewogen gemiddelde van enkele parameters van een groep van bedrijven die de oppervlakte van 36 hectare en de produktie van negenduizend kilogram melk per hectare zo dicht mogelijk naderen. Het energierendement van deze groep van bedrijven kan representatief geacht worden voor de rundveebedrijven. Het volgende overzicht geeft enkele technische kengetallen. De bedrijven zijn afkomstig uit de LEI-steekproef en gewogen met de wegingsfactor voor de BUL (bedrijfsuitkomsten in de landbouw, LEI-PR 11). Het volgende overzicht geeft enkele technische kengetallen van deze groep van bedrijven over de boekjaren 1986/1987 en 1987/1988.

Technische kengetallen	1986/87	1987/88
Aantal bedrijven in de steekproef	85	82
Oppervlakte in ha	36,06	37,02
Melkproduktie per ha	9312	8994
Melkproduktie per koe	5894	5967
Melkkoeien per ha	1,59	1,51
Grootvee-eenheden per ha	2,20	2,07
Kg krachtvoer per koe	1975	2040
Kg N per ha grasland uit kunstmest	327	321
Kg N per ha snijmaïs uit kunstmest	86	103
Percentage snijmaïsland	9,2	7,3
Grootvee-eenheden jongvee per koe (fokkerij)	0,32	0,30
Grootvee-eenheden niet-melkvee per ha	0,10	0,11
Saldo opbrengst minus toegerekende kosten/ha	5375	5903

In tabel B5.1 is de energiebalans gegeven voor de groep rundveebedrijven met specificaties zoals in bovenstaand overzicht omschreven.

Tabel B5.1 Energiebalans voor een groep rundveebedrijven met circa 36 hectare en circa 9000 kilogram melk per hectare, in MJ per bedrijf

Post	1986/87	1987/88
Brandstoffen en elektra (gebouw)	181.542	181.877
Brandstoffen (machines en werktuigen)	162.121	142.818
Veevoer	1.143.462	1.115.609
Aankoop vee	94.556	125.510
Meststoffen	754.060	778.785
waarvan stikstof	721.029	737.096
Zaaizaad en pootgoed	12.077	12.502
Gewasbeschermingsmiddelen	12.854	13.163
Werk door derden	68.684	84.172
Diensten	39.025	40.408
Onroerend goed	91.771	103.311
Machines, werktuigen en installaties	115.869	175.229
Totaal	2.676.021	2.773.384
Per kilogram melk	7,97	8,32

Uitgaande van de balans voor een rundveehouderij, zoals hierboven gegeven, is het energierendement voor grasland af te leiden. De posten die rechtstreeks



Bijlage 5 (1e vervolg)

naar grondgebruik (gras en snijmaïs) kunnen worden toegerekend zijn: brandstoffen voor machines en werktuigen, meststoffen, zaaizaad, gewasbeschermingsmiddelen en werk door derden. Voor de post machines, werktuigen en installaties moet een correctie voor de melkmachine worden aangebracht (uitgaande van circa f 7.000,- aan jaarlijkse kosten hiervoor, zijn de energiekosten 77.000 MJ per jaar). Vervolgens moeten deze posten naar de twee vormen van grondgebruik worden toegerekend. Daarbij zijn de volgende aannames gehanteerd:

- De werkzaamheden die op het bedrijf zelf uitgevoerd worden, zijn voornamelijk gericht op het graslandbeheer. Van de benutting van machines en werktuigen met het daarbij behorende brandstofverbruik gaat circa twee keer zoveel naar een hectare grasland als naar een hectare snijmaïs.
- De werkzaamheden door derden verricht, hebben betrekking op hoofdzakelijk de snijmaïs. De energiekosten van werk door derden per hectare snijmaïs worden daarom circa twee keer zo hoog ingeschat ten opzichte van die per hectare grasland.
- Het gebruik van meststoffen komt voor rekening van het grasland; op snijmaïs wordt hoofdzakelijk dierlijke mest als meststof toegepast.
- Het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen per hectare grasland is in orde van grootte gelijk aan die per hectare snijmaïs.
- De verhouding van het gebruik van zaaizaad per hectare van grasland ten opzichte van snijmaïs is één op tien.

In de tabellen B5.2 en B5.3 zijn de resultaten gegeven voor grasland en snijmaïs, uitgaande van de bovengenoemde aannames.

*Tabel B5.2 Energieverbruik voor grasland over de jaren 1986/1987 en 1987/1988, in MJ per hectare*

Post	1986/1987	1987/1988	Gemiddeld
Brandstoffen	4.719	4.006	4.362
Machines en werktuigen	1.131	2.755	1.943
Werk door derden	1.747	2.120	1.933
Meststoffen	23.060	22.705	22.882
Gewasbeschermingsmiddelen	357	356	356
Zaaizaad	184	204	194
<b>Totaal</b>	<b>31.198</b>	<b>32.146</b>	<b>31.672</b>

*Tabel B5.3 Energieverbruik voor maïsland over de jaren 1986/1987 en 1987/1988, in MJ per hectare*

Post	1986/1987	1987/1988	Gemiddeld
Brandstoffen	2.360	2.003	2.181
Machines en werktuigen	566	545	555
Werk door derden	3.495	4.240	3.867
Gewasbeschermingsmiddelen	357	356	356
Zaaizaad	1.838	2.039	1.938
<b>Totaal</b>	<b>8.616</b>	<b>9.183</b>	<b>8.899</b>

Bijlage 5 (2e vervolg)

Bijlage 5B Energieverbruik per akkerbouwgewas

Tabel B5.4 Energieverbruik per akkerbouwgewas, in MJ per hectare

	Kunstmest	Bestrij- dingsmid- len	Gebouwen	Werktuigen	Werk door derden	Brandstof	Zaai- zaad, pootgoed	Totaal
Wintertarwe	14.825	7.360	981	2.950	4.587	6.759	1.561	39.023
Zomergerst	7.709	2.608	981	2.950	4.161	6.759	1.191	26.359
Haver	8.384	1.920	981	2.950	4.927	6.759	1.236	27.157
Consumptie-aardappelen	22.917	14.888	2.333	5.728	11.914	6.759	4.232	68.763
Fabrieksaardappelen	32.546	13.616	663	1.920	3.337	6.759	4.655	63.496
Footaardappelen	12.830	17.296	2.411	7.693	9.258	6.759	6.771	63.018
Suikerbieten	14.117	11.376	981	2.445	9.017	6.759	1.532	46.227
Groene erwten	2.723	5.136	981	2.573	8.151	6.759	3.204	29.527
Graszaad	12.259	3.904	981	2.758	11.758	6.759	444	38.863
Zaaiuien	12.190	21.872	2.697	2.067	12.397	6.759	6.490	64.372

Bijlage 6 Energieverbruik van groenbemesters

Tabel B6.1 Energieverbruik van groenbemesters, in MJ per hectare

	Bladrammenas	Italiaans raaigras	Engels raaigras	Rode klaver	Witte klaver	Wikken
Zaai­zaad	792	473	548	747	932	1.613
N-bemesting	5.200	5.200	5.200	0	0	0
Onkruidbestrijding	0	304	304	0	0	0
Werk door derden	928	1.216	1.216	608	608	608
N-besparing	-1.820	-1.820	-1.820	-1.820	-1.820	-2.925
Totaal	5.100	5.373	5.448	-465	-280	-704

- *Phragmitus*

Riet (*Phragmitus australis* (Cav.) Trn. ex. Steundel) is een overblijvende plant die behoort tot de gras Gramineae. Riet komt wereldwijd voor, maar groeit vooral in de gematigde gebieden van het noordelijk halfrond.

In Nederland komen het veenecotype en het rivierecotype voor. Het veenecotype komt voornamelijk voor in de laagvenen van Noordwest- en West-Nederland en het riviertype is vooral op zavel- en kleigronden in het brak- en zoetwatergetijdengebied van Zuidwest-Nederland te vinden en langs rivieren en meren.

In West-Europa duurt het groeiseizoen van riet maximaal zeven maanden. In de winter sterft het bovengronds af, maar het rhizoom blijft in leven. Het volgende voorjaar ontstaan daaruit nieuwe stengels.

Riet kan zich zowel geslachtelijk als ongeslachtelijk voortplanten. De geslachtelijke voortplanting vindt alleen plaats op mogelijk nieuwe groeiplaatsen. Er worden hoge eisen gesteld aan de milieu-omstandigheden om het kiemplantje te kunnen laten overleven. Het moet er licht en warm zijn en de plaats moet droogvallen. De eerste zes tot acht weken is het kiemplantje erg gevoelig voor extreme milieu-omstandigheden zoals droogte, golfwerking en lage temperatuur. Tijdelijke uitdrogen is echter bevorderlijk voor de groei. In een later stadium daarentegen is waterbedekking noodzakelijk voor een goede groei. Aan het einde van het derde groeiseizoen bloeit het riet. Eind oktober is het zaad rijp en wordt via wind en water verspreid.

Het optimale groeimilieu voor de rietplant is op een bodem van redelijke voedselrijkdom. De plant groeit op bijna alle gronden maar in een eutroof milieu is de fysieke opbrengst veel hoger dan in een oligotroof milieu. De ontwikkeling is goed op neutrale tot licht basische gronden met een pH van 5,5 tot 7,5. Verder groeit riet op bijna ieder substraat, maar heeft het een voorkeur voor een vaste minerale bodem (zand of klei) boven een week substraat. Naast de bodemgesteldheid is voor waterstand en de kwaliteit van het water sterk bepalend voor de groei. Riet komt bij allerlei waterdiepten voor; in Nederland staat het zelden dieper dan één meter. Zonder getijde wordt de maximale bovengrondse productie bereikt bij een waterdiepte van circa twintig centimeter. Als de groeiplaats periodiek blank staat, mag de waterspiegel tot twintig centimeter beneden het maaiveld dalen. De stroomsnelheid van het water mag niet groter zijn dan één kilometer per uur. De aanwezigheid van een dun laagje water beperkt tevens de kans op nachtvorstschade. Vooral in het voorjaar is riet gevoelig voor nachtvorst.

Criteria die van betekenis zijn bij de keuze van groeiplaatsen voor riet zijn dus: de mate van verzuring, de aard van het substraat en de grondwaterstand. Wanneer de groei-omstandigheden goed zijn, kan de productie van riet oplopen tot twintig ton drogestof per hectare per jaar.

- *Teelt van Phragmitus*

Teeltmaatregelen voor riet worden in sterke mate bepaald door de eisen die aan het eindproduct worden gesteld. De maatregelen om eerste klas riet voor dakbedekking af te leveren zijn achtereenvolgens: oogsten, schonen (het uitkammen van onkruid), opbinden tot veldbossen en doorbinden tot handelsbossen. Voor eerste klas dekriet is het noodzakelijk onkruidvrije bossen te leveren, voor riet van mindere kwaliteiten is dit geen aparte eis. Het is niet onwaarschijnlijk dat aan riet voor energie dergelijke eisen ook buiten beschouwing blijven. De oogst en het opbinden tot bossen zijn daarentegen maatregelen die - ongeacht de eisen ten aanzien van de kwaliteit - noodzakelijk zijn. In de vezelmarkt (met name de geotextielen) wordt de hele stengel gebruikt en zijn de opgebonden (handels)bossen de meest gangbare handelsmaat. Wanneer riet ten behoeve van energie wordt geteeld is het niet noodzakelijk de stengel in zijn geheel te oogsten en kan ook gedacht worden aan hakselen.

## Bijlage 7 (vervolg)

Verdere teeltmaatregelen blijven beperkt tot het bemalen van de percelen. Bemesting en gewasbescherming vindt in Nederland niet of nauwelijks plaats. De behoefte aan nutriënten is relatief laag omdat veel voedingsstoffen met het vallen van het blad terug in de grond komen. Verder is het aantal belagers relatief beperkt hoewel de schade die zij veroorzaken aanzienlijk kan zijn. Echter ook het feit dat de rietteelt in sterke mate wordt bepaald door de beheersdoelstelling van natuurbeschermingsorganisaties vormt een belangrijke factor voor het feit dat riet in Nederland een extensieve teelt is.

De mechanisatiegraad in de rietteelt is laag. Alleen bij het maaien wordt een lichte motormaaier ingezet. Vervolgens wordt handmatig geschoond en wordt het riet opgebonden tot veldbossen die later worden doorgebonden tot handelsbossen. Er is wel een zelfbinder op de markt die het gemaaid riet tot bossen opbindt. Dit levert tijdwinst, ondanks het feit dat de bossen weer moeten worden opengesneden wanneer er geschoond moet worden. Deze zelfbinder is vooral op grotere percelen inzetbaar. De kosten zijn relatief hoog: voor een hoog produktief perceel van circa 2000 machinebossen per hectare (à zes tot zeven kilogram) komen de kosten op circa f 1,50 per bos. Dit betekent circa f 3.000,- per hectare en f 230,- per ton produkt (mondelijke mededeling Wildeman, 1990).

Een aandachtspunt bij de ontwikkeling van oogstmachines is de geringe draagkracht van de bodem en de uiterste gevoeligheid van rietloten voor beschadiging. Wanneer de wortel wordt geplet als gevolg van te hoge belasting vindt beschadiging en rotting plaats. Het wortelstelsel heeft dan een aantal jaren nodig om zich te herstellen. Maai- of hakselapparatuur (bij rietteelt ten behoeve van energie) moeten daarom zodanig zijn uitgevoerd dat de gronddruk van de machines laag is via bijvoorbeeld een rupsbandensysteem. Een maishakselaar kan daarom alleen in aangepast vorm worden ingezet. Naar schatting is de inzet van een dergelijke hakselaar ongeveer dertig procent duurder in vergelijking met de originele machine (mondelijke mededeling Wildeman, 1990). Daarmee komen de kosten van het oogsten voor energieproductie op circa f 780,- per hectare exclusief transport en circa f 1.100,- per hectare inclusief transport (naar: Ministerie van Landbouw en Visserij, 1989).

De mechanisering heeft zich ook bij het doorbinden ontwikkeld. Machinaal kunnen de handelsbossen gebonden worden. Hiervoor geldt - evenals voor de aanschaf van een zelfbinder - dat de bedrijfsgrootte sterk bepalend is voor de economische haalbaarheid.

De arbeidspiek valt in de winter wanneer geoogst wordt. Het maaien duurt tot ongeveer half april. Daarna bestaat het gevaar dat de jonge uitlopers beschadigd worden. De oogst omvat het maaien, (eventueel) schonen en opbinden tot veldbossen. In de zomer worden de veldbossen dan doorgebonden tot handelsbossen wanneer het om dekriet gaat.

## Bijlage 8 Miscanthus

### - *Miscanthus*

*Miscanthus sinensis* is een bamboe-achtig gras van Japanse afkomst dat drieënehalf tot vier meter hoog kan worden. Tot 1983 werd het voornamelijk als siergewas gebruikt maar door de hoge drogestofopbrengst ontstonden er mogelijkheden voor industrieel gebruik.

*Miscanthus* is een meerjarig gewas. De bladeren vallen in november - met de vorst - af, de stengel "rijpt" in de winter en de rizomen vormen nieuwe uitlopers in het voorjaar.

*Miscanthus* groeit het best in een humusrijke bodem. De hoogste opbrengsten worden verkregen op veengrond maar de machinale oogst is hier problematischer vanwege de geringe draagkracht van veen. De laagste opbrengst wordt behaald op kleigrond vanwege de vorstgevoeligheid. Humusrijke zandgronden zijn dus het meest geschikt vanwege het humusgehalte en vanwege de draagkracht.

### - *Teelt van Miscanthus*

In Nederland vindt (nog) geen commerciële productie van *Miscanthus* plaats. Het gewas bevindt zich in de ontwikkelingsfase en is onderwerp van nadere studie. Hier en daar zijn een aantal proefvelden aangelegd. In Denemarken wordt meer onderzoek naar *Miscanthus* gedaan en de Universiteit van Essex coördineert de proeven waarbij wordt gekeken naar het gedrag en de opbrengst van de plant in relatie tot de gegeven stikstofbemesting. Deze proeven zijn in 1990 gestart op vijftien locaties.

Het zaad van de plant is in deze streken niet kiemkrachtig. De vermeerdering kan daarom alleen vegetatief plaatsvinden. De plant wordt vermeerderd door de wortelstokken te scheuren. De teler kan kiezen voor opgekweekt materiaal - dat vier tot zes weken heeft gestaan - en niet-opgekweekt materiaal. Opgekweekt materiaal is weliswaar duurder maar het risico van slagen is groter. Het aantal te zetten planten van niet-opgekweekt materiaal is daarom veel hoger dan dat van opgekweekt materiaal: 10.000 opgekweekte planten per hectare tegen 15.000 tot 25.000 niet-opgekweekte planten. Daarnaast kunnen de ontwikkelingen in de weefselweek het mogelijk maken om het uitgangsmateriaal goedkoper te leveren. Nu worden er twintig rizomen van een moederplant gehaald en het streven is erop gericht om er zestig van te halen.

Vooraf bij niet-opgekweekte rizomen is het tijdstip van zaaien uiterst kritisch. De zaai vindt plaats in het voorjaar: van half april tot half mei.

De benodigde bemesting en de gewasbescherming beperken zich tot een minimum. Het eerste jaar zijn er slechts 50 kg N/ha nodig, in de erop volgende jaren moet er 100 kg worden gegeven. Goede ervaringen zijn er met het toedienen van kippemest, aldus P. Nygaard Nielsen, onderzoeker van het proefstation in Hornum, Denemarken. De onkruiden zijn goed te bestrijden en na het tweede jaar is dit niet meer nodig aangezien de bodem dan met een dichte laag bedekt is. Een ziekte bestrijding is evenmin nodig als een insecticide behandeling.

De oogst vindt plaats in de periode februari tot april. Er komen verschillende oogstmethoden in aanmerking. De keuze voor een oogstmethode wordt niet alleen bepaald door de technische en economische omstandigheden bij de teler, maar ook door de eisen die de bestemming voor *Miscanthus* stelt. De *Miscanthus* kan gemaaid en in zwad gelegd worden en het kan worden verhakseld. Uit proeven is gebleken dat het oogsten met een aangepaste maishakselaar kan plaatsvinden (voor de verwerking moeten de stengels tot chips verhakseld worden). Het is ook mogelijk om te maaien en dan grote balen te persen. Wat betreft de maaimachines bleken de bestaande rietoogstmachines echter niet geschikt te zijn voor de oogst. Verder is de mogelijkheid van toepassing van oogstmachines voor suikerriet nog in onderzoek.

De hoogste opbrengst wordt verkregen in het derde tot en met het negende jaar. In het eerste jaar is er nog geen opbrengst, het tweede jaar kan er ge-

Bijlage 8 (vervolg)

oogst worden. In Denemarken (Noord-Jutland) is een opbrengst van acht tot elf ton drogestof per hectare na twee jaar verkregen. De verwachting is dat de opbrengst in de daarop volgende jaren 28 tot 30 ton per ha per jaar bedraagt. Na tien jaar loopt de produktie terug en zal er een nieuwe cultuur opgezet moeten worden. Om een continue aanvoer van grondstof te garanderen zijn er dus meer culturen van verschillende leeftijden nodig.

Miscanthus heeft een dichtheid van 150 kilogram per m<sup>3</sup> en het vochtgehalte schommelt tussen de zestien en achttien procent. Bij een produktie van dertig ton per hectare is er dus tweehonderd m<sup>3</sup> aan opslagruimte nodig.

## Bijlage 9 Voorbehandelingsmethoden

Voorbehandelingsmethoden van hooi, stro, riet of Miscanthus zijn: verhakselen, briketteren en pelletiseren. Verhakselen is relatief het goedkoopst maar de mate van volumeverkleining is ook het minst. Bij brikettering en pelletisering - waarbij onder druk wordt geperst - zijn de resultaten beter. Van deze methoden zijn in tabel B9.1 de technische resultaten weergegeven, wanneer stro als input wordt gebruikt. Daaruit blijkt dat pelletisering een produkt geeft met een hogere dichtheid waarvan de lengte kleiner is. Bij pelletisering wordt het materiaal door een geperforeerde plaat gedreven waardoor er cilindervormige produkten worden gevormd, terwijl er bij brikettering pakketjes ontstaan. Pelletisering vereist wel een fijnere verdeling van het materiaal bij de inbreng in de installatie. Anderszijds kan er ook langer stro als input worden gebruikt.

Tabel B9.1 Technische resultaten van pelletiseren en briketteren

	Pelletiseren	Briketteren
Dichtheid	450-650 kg/m <sup>3</sup>	300-450 kg/m <sup>3</sup>
- deeltjesgrootte	6-20 mm	40-100 mm
- vochtgehalte	10-20%	10-15%

Bron: Wilen et al., 1985.

De kosten van brikettering zijn in tabel B9.2 opgenomen. Het gaat daarbij om een installatie van f 164.640,- met een capaciteit van 320 kilogram briketten per uur die 1.000 draaiuren per jaar maakt.

Tabel B9.2 Kosten van brikettering

	Kosten (gulden per jaar)	
	totaal	per ton briket of stro
Vaste kosten:		
15% van 164.640,-	24.696,-	77,18
Variabele kosten:		
- stroom	15.635,-	48,85
- onderhoud	224,-	0,70
- arbeid	.	.
Totaal (exclusief arbeid)	40.555,-	126,73

Bron: Brenndorfer, 1985.

De Zweedse firma Biocomb komt voor de zogenaamde "biodryer" op een kostprijs die tussen f 140,- en f 200,- per ton ligt. In deze installatie wordt het stro eerst gedroogd en vervolgens tot briketten geperst. De installatie wordt energetisch gevoed met stro: twee tot vier procent van de invoer is nodig om de installatie draaiende te houden.

Wat betreft de pelletisering zijn enkele experimenten uitgevoerd door het laboratorium van het Technologisch Onderzoeks Centrum in Finland met een verplaatsbare eenheid. Deze installatie had een output van eenhalve tot één ton per uur, afhankelijk van het materiaal dat als input fungeerde. Verschillende soorten stro werden getest zoals dat van rogge, gerst, tarwe en haver. De strosoorten werden gepelletiseerd zonder thermische droging vooraf. Uit de test kwam



Bijlage 9 (vervolg)

naar voren dat er geen aanmerkelijke verschillen bestaan waar het gaat om de kwaliteit van de diverse strosoorten.

De kosten voor pelletiseren zijn gebaseerd op de situatie waarin een verplaatsbare unit met een output van 3 ton/uur en 3.200 draaiuren per jaar bij verschillende dorpen en verschillende bedrijven wordt ingezet. Van het aantal draaiuren is zeventig procent effectief; dertig procent van de tijd gaat ten koste van opstarten en transport van de unit. Daarmee komt het aantal draaiuren dat effectief wordt gedraaid op ruim 2.200 uur. Op jaarbasis wordt er dan circa zeventuizend ton geproduceerd. Uitgaande van deze punten komen de kosten op f 70,50 per ton. Als de unit gekoppeld kan worden aan het elektriciteitsnetwerk van het dorp en hiervan elektriciteit kan afnemen in plaats van de toegevoegde diesel aggregaat, zijn de elektriciteitskosten aanzienlijk lager. De pelletiseringskosten bedragen dan f 56,40 per ton.

De kosten van een stationaire unit zijn circa tien procent hoger dan die van de verplaatsbare variant.

Vergelijking van de kosten van brikettering met die van pelletisering zoals hierboven is gegeven is weinig zinvol. Allereerst gaat het om installaties die qua schaalgrootte volstrekt niet met elkaar overeenstemmen, terwijl het schaal-effect een belangrijke invloed heeft op de kostprijs. Dit geldt ook voor de stand van de techniek: de hierboven gegeven kostprijs van pelletisering is gebaseerd op een meer moderne techniek in vergelijking met die voor brikettering. De gegeven kostprijzen hebben derhalve slechts een indicatieve waarde. Tenslotte geldt voor beide technieken dat zij alleen voor stro zijn getest; de verwerking van bijvoorbeeld riet of Miscanthus kan tot andere resultaten leiden, bijvoorbeeld omdat de chemische samenstelling afwijkt van stro en daarom bindmiddelen moeten worden toegevoegd.

## Bijlage 10 Conversietechniek: verbranding

### - *Vergelijking verbranding met vergassing*

Bij vergelijking van beide conversietechnieken ontstaat het volgende beeld. De voordelen van vergassing ten opzichte van verbranding zijn:

1. Het te reinigen gasvolume is circa drie keer kleiner dan het gasvolume dat bij directe verbranding ontstaat.
2. Bij vergassing ontstaat een gas dat zonder inzet van een stoomcyclus kan worden omgezet in mechanische energie, hetgeen bij verbranding niet mogelijk is.
3. Bij vergassing ontstaat een produkt dat via pijpleidingen over korte afstand vervoerd kan worden, terwijl verbranding direct bij de afnemer of de vervolgstap moet plaatsvinden.
4. Bij vergassing is de temperatuur waaraan de brandstof wordt blootgesteld gelijkmatig en hoog: 1000 tot 1400 graden Celsius.

Vergassing kent ook een aantal nadelen ten opzichte van verbranding:

1. De vergassingstechnologie is complexer dan de verbrandingstechnologie. Het gaat om een gevoelig proces dat bovendien de nodige eisen stelt aan de beveiliging.
2. De vergassingstechnologie voor vaste brandstoffen heeft een relatieve achterstand in de ontwikkeling ten opzichte van de verbrandingstechnologie, die al vele jaren wordt toegepast.
3. De vergassing vindt plaats bij hoge temperatuur waardoor het risico aanwezig is dat de ontstane slakken moeilijk zijn te verwijderen (BTG, 1989).

### - *Stand van zaken met betrekking tot verbrandingstechnieken*

Directe verbranding van hout of houtafval voor de produktie van elektriciteit en/of stoom is een bewezen technologie. Met de nut ontwikkelde (conventionele) technieken kan een rendement van circa 65 procent worden behaald. Er zijn echter verbrandingsinstallaties in ontwikkeling die een rendement van bijna tachtig procent kunnen halen: de zogenaamde tweetrapsverbrander en de installatie gebaseerd op omgekeerde verbranding. Beide zijn in het stadium van ontwikkeling en nog niet getest voor stro of dergelijke (mondeling mededeling Sulilatu, 1990). De installatie die al eerder is genoemd, is de zogeheten cyclo-burner van Biocomb. Al deze installaties vragen voorbehandeld, gebriketteerd stro. Van de installaties zijn (nog) geen investerings- en bedrijfskosten, waarbij stro als input dient, bekend. Ook de samenstelling van de rookgassen, wanneer stro wordt verbrand, is niet bekend. Van de installatie van de Deense fabrikant Volund is meer bekend. Deze installatie is specifiek ontwikkeld voor stro en wordt volop toegepast in Denemarken. Het gaat daarbij vooral om verbrandingsinstallaties annex stoomturbines die elektriciteit en warmte produceren. Dergelijke installaties worden niet standaard geleverd en de kosten worden dan ook sterk bepaald door de eisen die de specifieke situatie aan het ontwerp stelt. Wat betreft de noodzaak tot nabehandeling van de rookgassen is alleen bekend dat de Volund-installaties voldoen aan de Deense normen die echter minder streng zijn dan die in Nederland.

In Zweden is experimenteel getest met riet als input. Daarbij traden geen ernstige problemen op in units die specifiek voor stro (en riet) zijn ontwikkeld. Verder bleek dat een mix van houtsnippers en rietsnippers als input kan dienen in kleinere houtverbranders en dat waarschijnlijk rietsnippers alleen in grotere installaties voor houtverbranding kan worden gebracht (Granéli, z.f.).

### - *Nabehandeling*

Bij het verbrandingsproces ontstaan drie groepen van produkten:

1. de produkten die ontstaan als gevolg van volledige verbranding;
2. de produkten die ontstaan als gevolg van onvolledige verbranding (zoals koolmonoxide, koolwaterstoffen);

Bijlage 10 (vervolg)

3. de brandstofonreinheden (zoals zwavel, halogenen, metalen en metaaloxiden). De overheid stelt ten aanzien van deze uitstoot een aantal randvoorwaarden. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen afvalverbranding en stookinstallaties. Deze laatste zijn installaties die energie-opwekking als doel hebben en die niet onder de afvalstoffenwet vallen. In het kader van de wet inzake luchtverontreiniging is het Besluit Emissie Eisen Stookinstallaties (BEES) opgesteld. In dit besluit zijn de normen voor emissie van SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en stof vastgelegd. Waar nodig kan de vergunningverlener (GS, B&W) aanvullende eisen stellen. In tabel B10.1 zijn emissie-eisen die de nationale overheid stelt, gegeven.

Tabel B10.1 Maximale emissiewaarden voor luchtmissie (in 1)mg/m<sup>3</sup>)

	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Stof
Vaste brandstof > 300 MWth	200	200	20
< 300 MWth	700	200	20

Bron: Emissie-eisen BEES, ministerie VROM.

\*) Droog rookgas met 6% O<sub>2</sub> voor vaste brandstof.

Biomassa bevat nauwelijks tot geen brandstofonreinheden maar de groep van onvolledige componenten is wel een punt van aandacht. De stofnorm is dus bepalend voor de noodzaak tot rookgasreiniging. De belangrijkste oorzaak van deze onvolledige verbranding is vaak de onvoldoende menging van de lucht met de brandstof of een te lage verbrandingstemperatuur. Door een betere instelling van het proces kan de uitstoot van deze milieubelastende componenten nagenoeg worden voorkomen.

Ook de continuïteit van de brandstoftoevoer kan van invloed zijn op de grootte van de emissies. Bij discontinue brandstoftoevoer komen regelmatig aanzienlijke concentraties aan onverbrand in de rookgassen voor, direct na het invoeren van de brandstof (Poot en Kiers, 1984).

Wanneer de uitstoot aan milieubelastende componenten niet binnen de wettelijke norm valt, moet rookgasreiniging plaatsvinden. Apparatuur als cyclonen, natte scrubbers, elektrostatische filters of doelfilters is hiertoe inzetbaar. Deze inzet werkt echter kostenverhogend. Nu al staat vast dat de kosten die gemaakt moeten worden om de emissie te beperken een groot deel van de totale investering omvatten. In welke mate de verschillende installaties aanvullende behandeling van de rookgassen behoeven moet uit testen naar voren komen. Op dit moment is daarover geen uitspraak te doen.

## Bijlage 11 Richtlijnen voor terugleverantie van elektriciteit

De geadviseerde terugleververgoeding bestaat uit twee componenten: een vermogensvergoeding en een brandstofvergoeding. Deze vermogensvergoeding wordt jaarlijks aangepast en kan per regio en per distributiebedrijf verschillen. Voor 1989 werden de volgende richtlijnen gehanteerd:

- optie 1: terugleveren tijdens de verrekenmomenten (in 1989 twee pieken): f 160,- per kWatt;
- optie 2: terugleveren tijdens daguren (van 7.00 uur tot 23.00 uur) op werkdagen in de wintermaanden (november tot en met februari): 8 cent per kwh;
- optie 3: terugleveren voor werkdagen gedurende het hele jaar: 1,5 cent per kwh.

Daarnaast bestaat er de brandstofvergoeding die 95 procent van de vermeden brandstofkosten bedraagt. De redenering is dat de transportverliezen circa vijf procent bedragen.

Bij de vaststelling van de opbrengst wanneer elektriciteit wordt geproduceerd is het uitgangspunt dat de daarbij vrijkomende (rest)warmte wordt benut. De hieruit verkregen opbrengst vormt een aanzienlijke bron van neveninkomsten: circa 37 procent.

Wanneer deze uitgangspunten worden toegepast zijn de opbrengstprijzen zoals in tabel B11.1 weergegeven. Deze baten moeten hoger zijn dan de kosten, wil er sprake zijn van een rendabele productie.

*Tabel B11.1 Opbrengst voor elektriciteit bij verschillende levertijden, in gld. per ton uitgangsmateriaal*

- teruglevering tijdens verrekenmomenten	163 *)
- teruglevering tijdens daguren op werkdagen in de wintermaanden	246
- teruglevering gedurende het hele jaar	159

Bron: Naar VEEN.

\*) Voor een hoeveelheid van 163.800 ton stro (de productie van de hele provincie Zeeland in 1988).

Productie van elektriciteit waarbij een vergoeding op basis van het vermogen (de kWatt-vergoeding) de meest aantrekkelijke optie is, geldt alleen voor een installatie met een vermogen in de orde van grootte van (enkele) honderd(en) MWatts. Dit vraagt minstens 650.000 ton stro afkomstig van minimaal 144.000 hectare. Het areaal granen in heel Nederland is voor de periode 1986-1988 gemiddeld circa 180.000 hectare. Deze optie komt dus eerder in beeld wanneer ook biomassa van buiten de landbouw wordt verwerkt, zoals wegbermmaaisel, plantsoenafval en dergelijke.

Uit de tabel blijkt dat de vergoeding voor elektriciteit per kWh het hoogst is wanneer in de wintermaanden (november tot en met februari) tijdens daguren op werkdagen wordt geleverd. De opbrengst is dan f 246,- per ton, terwijl de opbrengst in de zomermaanden f 159,- ton is. Bovendien dalen de opslagkosten wanneer er niet het hele jaar geleverd hoeft te worden. De periode van opslag is immers minder groot. Concentratie van productie in de wintermaanden betekent echter dat een installatie met een grotere capaciteit moet worden ingezet, die tot een lagere bezettingsgraad komt dan in het geval er gedurende het hele jaar wordt verbrand.

Bijlage 12 Economische haalbaarheid van vergassing ten behoeve van warmte

De Biomass Technology Group heeft een studie gedaan naar de economische haalbaarheid van vergassing ter opwekking van warmte. Daarbij heeft zij zich gericht op de markt van industriële warmte en dus met een aardgasprijs voor grootverbruik gerekend: f 0,26 per m<sup>3</sup> aardgas voor het jaar 1990. In tabel B12.1 is aangegeven bij welke combinatie van technische en economische voorwaarden een terugverdiendtijd van drie jaar 1) wordt verkregen.

Tabel B12.1 Randvoorwaarden voor een terugverdiendtijd van minder dan drie jaar van vergassingssystemen ten behoeve van warmte-opwekking voor het jaar 1990

Optie	Randvoorwaarden				Opbrengst (f1/kWhth)
	technische		economische		
	vermogen (MWth)	bedrijfstijd (uur)	brandstof (f1./ton)	conv.techniek (f1./kWhth)	
1.	3	8.000	40	185	0,025
2.	10	6.000	50	170	0,023
3.	10	6.000	60	134	0,026
4.	10	8.150	60	170	0,025
5.	20	4.000	60	96	0,025
6.	20	4.000	42	150	0,021
7.	20	6.200	60	150	0,027

Bron: BTG, 1989.

Uit de tabel blijkt dat bijvoorbeeld een vergassingssysteem met een generend warmtevermogen van 10 MWth bij een maximum bedrijfstijd van 6000 uur per jaar (opties twee en drie) bij de voor het jaar 1990 geprognostiseerde conventionele energieprijzen een terugverdiendtijd van drie jaar kan realiseren wanneer de investeringskosten niet meer dan 170 gulden per geïnstalleerde kWhth bedragen en de kosten van de brandstof niet hoger zijn dan 50 gulden per ton. Ook wanneer de investeringskosten maximaal 134 gulden per geïnstalleerde kWhth zijn en de kosten van de brandstof niet meer dan 60 gulden per ton vragen, is een terugverdiendtijd van drie jaar te bewerkstelligen. De bijbehorende kostprijs van de warmte is 0,026 gulden per kWhth respectievelijk 0,025 gulden per kWhth.

- 1) De BTG hanteert als criterium voor de economische haalbaarheid een terugverdiendtijd van drie jaar, overeenkomstig het gebruik in een groot deel van het bedrijfsleven.

Bijlage 13 Saldoberekening voor koolzaad

Tabel B13.1 Saldoberekening voor koolzaad, in guldens per hectare

Opbrengst	
- hoofdprodukt *)	3.416
- bijprodukt	49
- totaal	3.465
Toegerekende kosten	1.237
Saldo	2.228
Niet-toegerekende kosten	1.473
Netto-overschot	755

\*) Bij een opbrengst van 3.067 kilogram en f 110,65 per 100 kilogram (dat wil zeggen inclusief EG-subsidie).

Tabel B13.2 Kosten voor koolzaad, in guldens per hectare

Toegerekende kosten a)	
- zaaizaad	108
- bemesting	386
- gewasbescherming	378
- divers	10
- werk door derden b)	355
- totaal	1.237
Niet-toegerekende kosten c)	
- grond en gebouwen	773
- arbeid d)	700
- totaal	1.473
Totale kosten	2.710

Bron: LEI-boekhouding.

a) Toegerekende kosten over de periode 1984-1988; b) Werk door derden omvat spuiten (2), oogsten (277), overig (76); c) Niet-toegerekende kosten voor het jaar 1986; d) Vergoeding per arbeidsuur is f 28,-.