



Application Centre for Renewable RESources

acrres

een WAGENINGEN UR initiatief

Duurzaamheid van ethanolbieten

Het toetsingskader toegepast

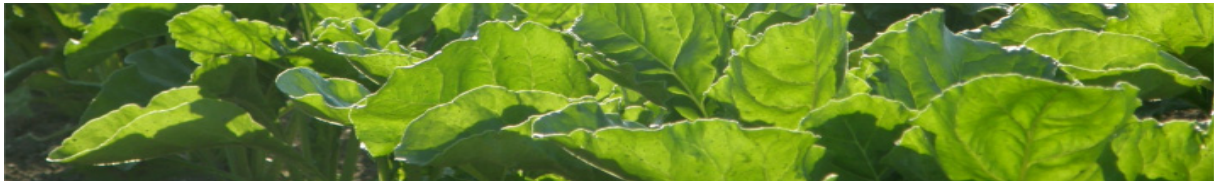
Chris de Visser, Gerrie van de Ven, Hans Langeveld,
Sander de Vries, Lubbert van den Brink



ACRRES - Wageningen UR
juli 2008

rapportcode: AC2008/01





© 2008 Wageningen, ACRRES – Wageningen UR

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van ACRRES - Wageningen UR

ACRRES – Wageningen UR is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

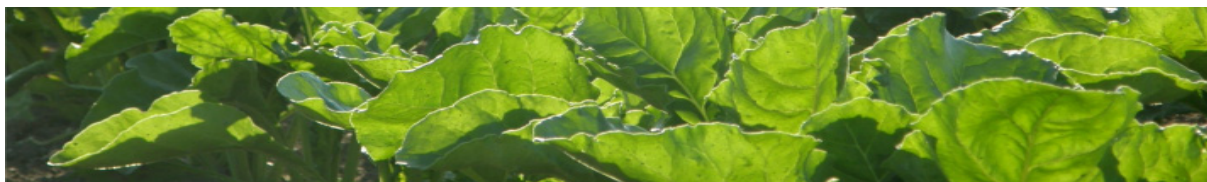
ACRRES – Wageningen UR publicatiecode: AC2008/01



De auteurs Chris de Visser en Lubbert van den Brink zijn werkzaam bij Praktijkonderzoek Plant & Omgeving - onderdeel van Wageningen UR, Gerrie van de Ven en Sander de Vries zijn werkzaam bij Wageningen Universiteit – onderdeel van Wageningen UR en Hans Langeveld is werkzaam bij Plant Research International - onderdeel van Wageningen UR.

ACRRES – Wageningen UR

Adres : Edelhertweg 1, Lelystad
: Postbus 430, 8200 AK Lelystad
Tel. : 0320 – 291 111
Fax : 0320 – 230 479
E-mail : info@acrres.nl
Internet : www.acrres.nl



Inhoudsopgave

pagina

1.	INLEIDING.....	5
2.	METHODEN	7
2.1	Relatie met Toetsingskader	7
2.2	Aanpak	8
2.3	Basisgegevens	8
2.3	Rekenmethoden energie en broeikasgasemissie	9
2.3.1	Keten.....	9
2.3.2.	Referentie	10
2.3.3	Opbrengstberekening ethanol per ha.....	11
2.3.4	Berekening van het energieverbruik.....	12
2.3.5	Berekening van de broeikasgasemissie	15
2.3.3	Allocatie van de broeikasgasemissie naar nevenproducten.....	18
2.3.4	Reductie van emissie van broeikasgassen.....	19
2.3.5	Berekening energie-efficiëntie	20
2.3.6	Effect op gehalte organische stof in de bodem	20
3.	RESULTATEN.....	23
3.1	Emissiereductie broeikasgassen (criterium 1.1)	23
3.1.1	Berekende broeikasgasemissies en lachgasproductie.....	23
3.1.2.	Emissiereducties van broeikasgassen	26
3.2	Behoud ondergrondse koolstof reservoirs bij aanleg (criterium 2.2) en 'best practices' behoud bodem en bodemkwaliteit (criterium 5.2).....	27
3.3	'Best practices' beperking watergebruik, behoud en verbetering grond- en oppervlaktewaterkwaliteit (criterium 6.2).....	29
3.4	Inzicht in verandering landgebruik (criterium 3.1).....	30
3.5	Energieverbruik en efficiëntie.....	30
4.	DISCUSSIE	35
4.1	Duurzaamheid	35
4.1.1	Broeikasgasemissies	35
4.1.2	Behoud bodem en bodemkwaliteit.....	36
4.1.3	Behoud grond- en oppervlaktewaterkwaliteit.....	37
4.1.4	Verandering landgebruik en verdringing	38
4.2	Energie-efficiëntie	38
4.3	Onzekerheden	39
4.4	Perspectieven voor verbetering	40
4.5	Conclusies	41
5.	REFERENTIES	43
	BIJLAGE 1. SAMENVATTING VAN HET TOETSINGSKADER VOOR DUURZAME BIOMASSA (2007).....	47
	BIJLAGE 2. TEELTREGISTRATIE WESTMAAS	51
	BIJLAGE 3. TEELTREGISTRATIES VALTHERMOND.....	53





1. Inleiding

In de ontwikkeling van duurzame energie wordt aan biomassa een belangrijke rol toegedicht. Het Worldwatch institute presenteerde in 2006 een overzicht waarin de potentie van bio-energie in 2050 in een bandbreedte wordt ingeschat van 40-1100 ExaJoules en waarbij een bandbreedte van 250-500 EJ als realistisch wordt gekenmerkt. Deze 250-500 EJ/jaar komt overeen met het technische potentieel in een recent uitgevoerd assessment (Dornburg *et al.*, 2008). In haar rapport 'How much energy can Europe produce without harming the environment?' (2006), geeft de European Environment Agency aan dat het voor de EU-25 mogelijk is om in 2030 295 MtOE op een duurzame wijze uit biomassa kan produceren. Dat zou neerkomen op circa 15% van de energiebehoefte. Siemons *et al.* (2004) komen in hun studie voor de EU-15 in 2020 uit op 172 MtOE. In 2006 presenteerde de Biofuels Research Advisory Council onder verantwoordelijkheid van het 'Directorate-General for Research' van de Europese Commissie een visie waarbij in 2030 Europa 25% van haar behoefte aan transportbrandstoffen gedekt worden door biobrandstoffen. In toenemende mate zullen dat tweede generatie biobrandstoffen zijn.

Rapeseed biofuel 'produces more greenhouse gas than oil or petrol'

A renewable energy source designed to reduce greenhouse gas emissions is contributing more to global warming than fossil fuels, a study suggests. Measurements of emissions from the burning of biofuels derived from rapeseed and maize have been found to produce more greenhouse gas emissions than they save.

Bron: www.timesonline.co.uk, 22 september 2007

De grote aandacht voor en verwachtingen van bio-energie heeft ook vragen opgeroepen over de duurzaamheid, zoals de bijdrage aan de broeikasgasemissie, de relatie met biodiversiteit en de voedselproblematiek. Crutzen *et al.* (2007) hebben recent nog bijgedragen aan deze discussie (zie kader over koolzaadolie). Ook de invloed op de prijzen van voedsel, en daarmee de sociaaleconomische duurzaamheid, is een terugkerend discussiepunt als het gaat om bio-energie. Stijgende prijzen van maïszetmeel, tarwe en andere commodities worden in verband gebracht met de stijgende vraag naar met name biobrandstoffen.

Rising Food Prices 'Threaten World's Poor'

Rising food prices threaten world's poor people. A New report examines the impact of growth, climate change, and biofuels.

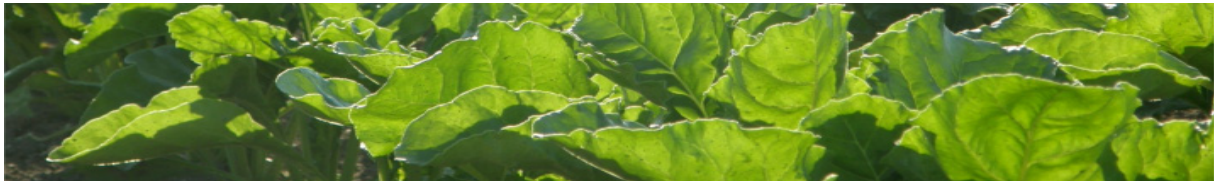
Bron: www.oneworld.net, 30 december 2007

De projectgroep "Duurzame productie van biomassa", ingesteld door de Nederlandse overheid, heeft een toetsingskader ontwikkeld voor duurzame biomassa waarbij criteria binnen 6 thema's zijn ontwikkeld:

- Broeikasgasemissie
- Concurrentie met voedsel en lokale toepassingen van biomassa
- Biodiversiteit
- Milieu
- Welvaart
- Welzijn

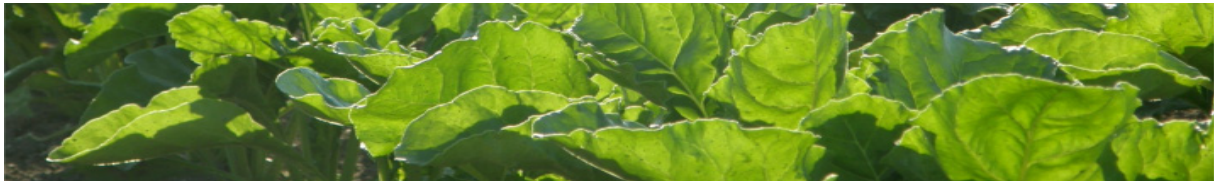
Dit kader is in Nederland richtinggevend voor de ontwikkeling van certificeringssystemen die de mate van duurzaamheid van biomassa voor bio-energie gaan vastleggen.

De behoefte aan bio-energie en de zorg voor de duurzaamheid geven de noodzaak aan om productiesystemen te ontwikkelen binnen de kaders gesteld door de genoemde projectgroep. Om bruikbaar te zijn in de praktijk en sturing te geven aan de productie, is het nodig een slag dieper te gaan bij het uitwerken van dat kader en de meer in algemene termen geformuleerde criteria. Hierbij is het van groot



belang om een meetlat te ontwikkelen die rekening houdt met zoveel mogelijke aspecten en die bij het ontwikkelen van dergelijke productiesystemen voldoende adequaat en werkbaar is. In onderhavige studie is een poging gedaan om in een concrete bio-energieketen en aan de hand van concrete datasets, het toetsingskader toe te passen waar mogelijk. Gekozen is voor ethanolproductie op basis van suikerbieten waarbij het accent is gelegd op het agronomische deel van de keten.

In literatuur zijn verschillende bronnen voor het schatten van parameters beschikbaar. De meeste studies leggen de nadruk bij één of meerdere onderdelen. Uitzondering hierop is de studie van Kaltschimidt en Rheinhardt (1997), die zich vooral baseren op de Duitse situatie. ElSayed. *et al.* (2003) baseren zich vooral op deze studie, waarbij zij gegevens aanpasten aan de situatie in het Verenigd Koninkrijk. Veel latere auteurs baseren zich op het werk van ElSayed *et al.*, dat een goede basis biedt voor berekeningen van energieverbruik tijdens de productie van biobrandstoffen uit een aantal uiteenlopende grondstoffen. In 2004 heeft dezelfde onderzoeksgroep een vervolgstudie uitgebracht. Hierin wordt voor een beperkt aantal productieketens, waaronder bio-ethanol uit suikerbieten, gekeken naar de mogelijkheden voor het besparen van energie tijdens de verwerkingsfase. In dit rapport gebruiken wij deze studie (Mortimer *et al.*, 2004), aangevuld met kengetallen uit ElSayed *et al.* (2003) als basis voor onze berekeningen. De in deze studies gekozen kengetallen, alsmede de resultaten van hun en onze berekeningen zullen worden vergeleken met overige recente literatuur.



2. Methoden

2.1 Relatie met Toetsingskader

Er zijn de afgelopen jaren verschillende methodieken en sets van indicatoren ontwikkeld om de duurzaamheid van biomassa in kaart te brengen. We zijn voor deze studie uitgegaan van de criteria zoals geformuleerd in het toetsingskader duurzame biomassa door de projectgroep “Duurzame Productie van Biomassa” zoals dat in 2007 is gepubliceerd. Deze commissie heeft zes thema’s gedefinieerd die van belang zijn voor duurzame productie van biomassa (zie bijlage 1: kolom 1 in de tabel 1). Deze thema’s zijn vertaald in negen principes (bijlage 1: kolom 2, tabel 1) die het algemene uitgangspunt vormen voor de kwaliteitseisen. Voor elk principe zijn één of meer criteria gedefinieerd (kolom 3) met voor elk criterium een indicatoren en in één geval 2 indicatoren (kolom 4). Met de criteria worden de thema’s uitgewerkt in meetbare eisen; indicatoren zijn parameters waarop getoetst wordt (kwantitatieve of kwalitatieve minimumeisen).

Niet alle indicatoren kunnen worden gekwantificeerd en in die gevallen vraagt de certificeerder een rapportage. Een rapportage bevat informatie, maar geen minimumeisen. Het ligt voor de hand om via certificering een bepaalde mate van zekerheid te verkrijgen over de duurzaamheid van biomassa die gebruikt wordt om bio-energie van te maken. Voor een gedetailleerdere beschrijving van deze methodiek wordt verwezen naar het Toetsingskader voor duurzame biomassa (Cramer, 2007).

Alle criteria hebben betrekking op de teelt van biomassa. Uitzondering is de vereiste netto-emissiereductie van broeikasgassen t.o.v. gebruik van fossiele brandstoffen (criterium 1). Dit heeft betrekking op de hele keten, van productie tot verbruik. Wat ontbreekt in de criteria van de Commissie Cramer is een verwijzing naar de energiebalans van het teeltsysteem en verderop in de keten. In deze studie is dit criterium toegevoegd, omdat dit aangeeft welke netto energieproductie de keten oplevert. Een hoger cijfer geeft een betere rentabiliteit in termen van energiebalans.

De criteria die relevant werden geacht voor de Nederlandse situatie zijn gebruikt in deze studie:

- Criterium 1.1: over de gehele keten een netto emissiereductie GHG's t.o.v. referentie met fossiele brandstoffen
- Criterium 2.2 behoud ondergrondse koolstof reservoirs bij aanleg
- Criterium 5.2 ‘best practices’ behoud bodem en kwaliteit
- Criterium 6.2 ‘best practices’ beperking watergebruik, behoud en verbetering grond- en oppervlaktewaterkwaliteit

Daarnaast wordt een aantal criteria betrokken in de discussie:

- Criterium 3.1: inzicht in verandering landgebruik regionaal
- Criterium 3.2: inzicht in verandering prijzen voedsel en grond in regio
- Criterium 4.1, 5.1, 6.1 & 7.1: geen overtreding regels en wetten
- Criterium 4.3 geen aantasting andere gebieden met hoge biodiversiteitswaarde c.q. agrarische natuur- en cultuurwaarden
- Criterium 5.3: restproducten niet in strijd met behoud bodem
- Criterium 7.2 ‘best practices’ tegen luchtvervuiling
- Criterium 8.1: positieve bijdrage bedrijf aan lokale economie
- Criterium 9.4: positieve bijdrage welzijn lokale bevolking



2.2 Aanpak

Om berekeningen aan de duurzaamheid van ethanolproductie uit suikerbieten te baseren op Nederlandse praktijkgegevens is gekozen voor twee teeltgebieden waarvoor verwacht mag worden dat ethanolproductie uit suikerbieten in de toekomst interessant zou kunnen zijn, namelijk de noordoostelijke zand- en dalgronden en de zuidwestelijke zeelei. In deze gebieden is er ruimte in het bouwplan om meer suikerbieten te gaan telen. Ook zijn in deze gebieden de alternatieven om hoogsalderende gewassen in het bouwplan op te nemen minder groot dan in andere gebieden, zoals in de Flevopolder (m.n. bloembollen en groentegewassen) of in het zuidoostelijk zandgebied (m.n. groentegewassen).

Het uitgangspunt voor onze berekeningen en kwalitatieve rapportages wordt gevormd door de huidige teeltfrequentie van suikerbieten in de praktijk. Dat is de referentiesituatie. Deze situatie is vergeleken met een intensievere teeltvariant voor suikerbieten om zodoende het effect van een groter suikerbietenoppervlak in te kunnen schatten. De effecten van deze intensivering zijn vastgesteld door de relevante indicatoren (zie sectie 2.1, bijlage 1) voor suikerbieten in Nederland zo goed mogelijk te kwantificeren. De hele keten van productie van inputs voor de teelt tot aan aflevering van de ethanol bij het distributiecentrum is in de analyse betrokken.

2.3 Basisgegevens

De teeltgegevens van suikerbieten op de praktijkbedrijven van Wageningen UR in Westmaas en Valthermond in de jaren 2005, 2006 en 2007 zijn gebruikt om de berekeningen uit te voeren. Tussen de jaren zit een spreiding, zowel ten aanzien van de opbrengsten als van de input, zodat een beeld kan ontstaan van de variatie die in de praktijk mogelijk is. In Tabel 1 zijn de belangrijkste opbrengst- en inputgegevens vermeld.

De hoeveelheid diesel die verbruikt is bij de verschillende bewerkingen, is niet direct gemeten. Daarom is uitgegaan van benadering op basis van het totale dieserverbruik op de bedrijven zoals aangegeven in Bos *et al.* (2007). In Westmaas werd in 2007 aanmerkelijk meer diesel verbruikt dan in andere jaren. Dit hing samen met het uitvoeren van beregening in het vroege voorjaar en de slechte bodemstructuur, waardoor het zaaibed in twee keer klaar gemaakt moest worden.

Tabel 1. Opbrengst- en inputgegevens per ha suikerbieten in Valthermond en Westmaas in 2005-2007.

		Valthermond			Westmaas		
		2005	2006	2007	2005	2006	2007
Schone biet*	ton/ha	70,7	67,7	68	80	66,9	52,8
Suikergehalte	%	17,1	16,8	18,1	17,0	16,5	18,3
Tarra*	ton/ha	11,5	10,3	7,6	15,1	10,1	9,6
Input:							
Zaaizaad	kg/ha	3	3	3	3	3	3
Bemesting N	kg/ha	56	27,5	27,5	140,4	150	145
P205	kg/ha	0	0	0	75,6	0	69,8
K20	kg/ha	74,7	74,7	60,3	0	120	120
varkensdrijfmest	m3/ha	25	0	0	0	0	0
slachtkuikenmest	m3/ha	0	6	6	0	0	0
Herbiciden	kg a.s./ha	4,25	3,98	3,58	3,42	3,98	4,07
Fungiciden	kg a.s./ha	0,20	0,20	0,42	0,20	0,00	0,43
Insecticiden	kg a.s./ha	0,00	0,00	0,00	0,13	0,13	0,13
Diesel	kg/ha	128,1	122,3	122,3	133,2	151,2	206,8
Aantal bewerkingen		19	21	21	13	13	22

Opm: *versgewicht



In Westmaas loopt het organischestofgehalte van de grond op de percelen uiteen van 2,0 tot 2,7%. Dit gehalte komt goed overeen met de gemiddelde organische stofgehalten in het zuidwestelijk zeekleigebied. In Valthermond bedroeg het organische stofgehalte gemiddeld op de percelen 10%. Dit is representatief voor de dalgronden in de Veenkoloniën.

In Westmaas wordt voor de bietenteelt een 1 op 8 rotatie aangehouden terwijl dat op Valthermond een 1 op 6 rotatie is. Dit komt overeen met de praktijk in het betreffende gebied. Op delen van beide bedrijven kan een frequentere bietenteelt plaatsvinden als de omstandigheden dat aantrekkelijk maken. De hoogst denkbare frequentie is een 1 op 4 teelt. In deze rotatie wordt in Westmaas korrelmais vervangen door suikerbieten. Dit is weergegeven in Tabel 2. Naast deze vervanging blijft de 1:4 rotatie gelijk aan de 1:8 rotatie. Voor Valthermond wordt in de 1:4 variant zomergerst vervangen door suikerbieten (Tabel 2). Buiten deze veranderingen zijn geen wijzigingen voorzien. Variëteit en teeltwijze van suikerbieten worden in beide teeltfrequenties identiek verondersteld.

Het zij opgemerkt dat in Westmaas nooit dierlijke mest wordt gebruikt en dat het graanstro altijd wordt ondergeploegd ter ondersteuning van de organische stof balans. In Valthermond wordt in zomergerst geen dierlijke mest gebruikt. In aardappelen wordt daarentegen standaard 25 m³ varkensdrijfmest toegepast terwijl in suikerbieten 25 m³ varkensdrijfmest of 6 m³ slachtkuikemest wordt gebruikt. Graanstro wordt op deze locatie altijd ondergeploegd. De teeltgegevens waarmee in deze studie wordt gewerkt, zijn afkomstig uit de 1:8 c.q. 1:6 rotatie. De 1:4 rotatie dient om aan te geven welke andere gewassen in het bouwplan vervangen zouden worden bij een hogere teeltfrequentie van suikerbieten (verdringingseffect).

Tabel 2. Rotaties in Westmaas en Valthermond.

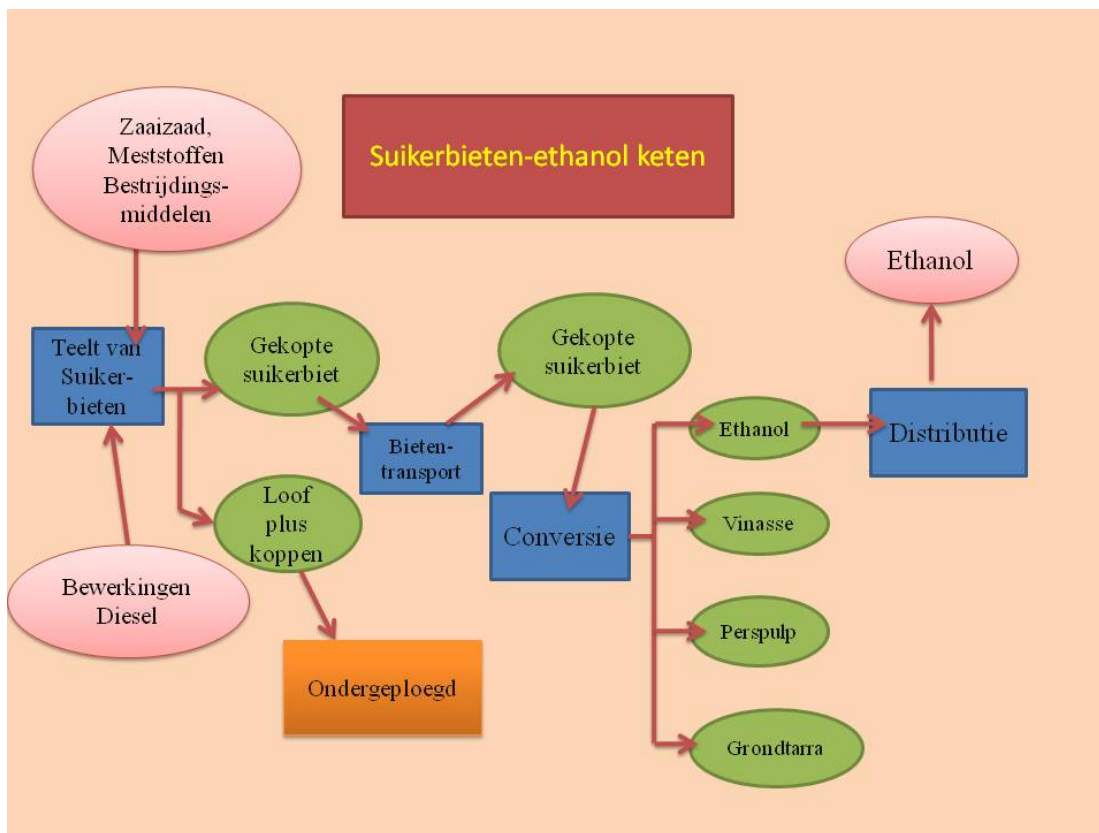
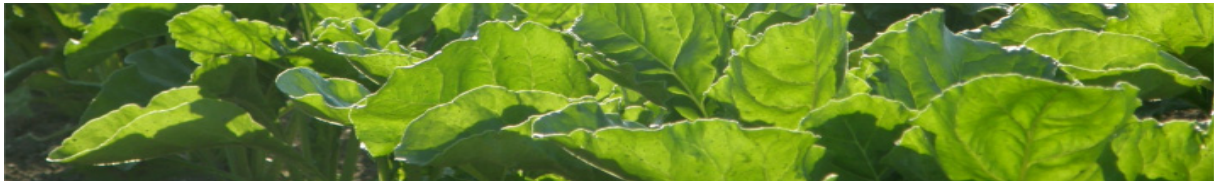
	Westmaas		Valthermond	
	1 op 4 rotatie	1 op 8 rotatie	1 op 4 rotatie	1 op 6 rotatie
jaar 1	suikerbieten	suikerbieten	suikerbieten	suikerbieten
jaar 2	w. tarwe*/gele mosterd	w. tarwe*/gele mosterd	aardappelen	aardappelen
jaar 3	aardappelen	aardappelen	z.gerst/bladrammenas	z.gerst/bladrammenas
jaar 4	w. tarwe/gele mosterd	w. tarwe/gele mosterd	aardappelen	aardappelen
jaar 5	suikerbieten	korrelmais	suikerbieten	zomergerst
jaar 6	w. tarwe*/gele mosterd	z. gerst/gele mosterd	aardappelen	aardappelen
jaar 7	aardappelen	aardappelen	zomergerst	
jaar 8	w. tarwe/gele mosterd	w. tarwe/gele mosterd	aardappelen	

*: soms wordt de wintertarwe vervangen door zomergerst.

2.3 Rekenmethoden energie en broeikasgasemissie

2.3.1 Keten

Voor de berekeningen van het energiegebruik en de broeikasgasemissie is uitgegaan van de gehele keten van teelt van suikerbieten tot en met distributie van de ethanol. Op deze manier wordt het mogelijk om de emissiereductie van broeikasgassen met ethanol ten opzichte van gebruik van benzine te berekenen. De keten kan als volgt uitgebeeld worden:



In deze keten zijn vier fasen te onderscheiden:

- Teelt van suikerbieten
- Transport van suikerbieten
- Conversie van suikerbieten in ethanol en restproducten
- Distributie van de geproduceerde ethanol naar de consument

2.3.2. Referentie

Bij de bepaling van de referentie wordt onderscheid gemaakt tussen een vergelijking die zich uitstrekt tot de distributie van ethanol (levering aan de pomp; 'cradle-to-gate') of één die verder gaat (nl. verbruik van ethanol in de benzinemotor; 'well-to-wheel'). Veel studies (bv Malça and Freire 2006, Hill *et al.*, 2006) gebruiken de 'cradle-to-gate' benadering. Anderen staan niet expliciet stil bij de gebruikte keuze, onder andere omdat geen reductie van broeikasgasemissies wordt berekend (dit geldt b.v. voor de studies van Sheffield Hallam University, die volstaan met de kwantificering van veroorzaakte emissies tijdens de productie en distributie van ethanol).

De keuze voor al dan niet meenemen van de verbranding is van belang, omdat de efficiëntie van verbranding van ethanol bij een gelijke energie-inhoud niet gelijk is aan die van benzine. Vaak wordt, al dan niet expliciet, uitgegaan van een zogenaamd 'equal utility'. Doet men dat niet, dan heeft dat gevolgen voor de berekende reductie van broeikasgassen. In deze studie wordt gekozen voor de 'well-to-wheel' benadering, waarbij bij de analyse rekening wordt gehouden met de werkelijke energie-inhoud van ethanol en benzine.

Deze energiewaarde is voor ethanol is lager dan voor benzine. Een automotor zal dus minder arbeid kunnen verrichten met een liter ethanol (of een mengsel van ethanol en benzine) dan met een liter pure benzine. Als men aanneemt dat een hoeveelheid benzine dient te worden vervangen door een hoeveelheid ethanol met



een gelijke energie-inhoud, zou er $32.40/21.11 = 1.53$ liter ethanol nodig zijn om een liter benzine te vervangen; 32.40 en 21.11 zijn de respectievelijke 'lower heating values' van benzine (Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH 2002) en ethanol (Elsayed et al. 2003) in MJ/l. In werkelijkheid ligt het getal echter tussen 1.53 en 1.00 (Henke et al. 2005), omdat bovengenoemd effect gedeeltelijk wordt gecompenseerd door het hogere octaangetal van ethanol (dat hogere compressieverhoudingen mogelijk maakt) en doordat het de thermodynamische efficiëntie verbetert (Nguyen et al. 2007).

Over de exacte vervangingsratio van ethanol en benzine bestaat nog geen consensus in de literatuur (Henke *et al.*, 2005); één en ander hangt onder meer af van factoren als de fractie ethanol in het mengsel en de buitentemperatuur, terwijl ook het type auto invloed heeft. In een uitgebreide studie concludeert Egeback (2005) dat bij rijden op E10¹ het brandstofverbruik met 2-3% toeneemt ten opzichte van rijden op benzine. Als we uitgaan van een gemiddelde van 2.5% betekent dit dat de effectieve energiewaarde van E10 gelijk is aan $32.4/1.025 = 31.61$ MJ/l. Als we een hoeveelheid van 10 liter E10 beschouwen (316.10 MJ) kunnen we de hoeveelheid energie die effectief wordt geleverd door de daarin aanwezige ethanol (1 liter) berekenen door de energie van 9 liter benzine in mindering te brengen op het totaal: $316.10 - (9 * 32.40) = 24.50$ MJ: hoger dan de eigenlijk energiewaarde van 21.11 MJ/l. Voor vervanging van een liter benzine is in het geval van E10 dus $32.40/24.50 = 1.32$ liter ethanol nodig. Het verschil ten opzichte van de eerder berekende vervangingsratio van 1.53 kan worden toegeschreven aan het efficiëntieverhogende effect van ethanol op de verbranding.

Kijkend naar de situatie in Nederland lijkt het onwaarschijnlijk dat op korte termijn veel brandstof verkocht zal gaan worden met meer dan 10% ethanol, aangezien er nog nauwelijks voertuigen op de weg zijn die deze brandstof kunnen tanken. We gaan daarom vooralsnog uit van een E5 of E10 scenario en een daarmee gepaard gaande stijging van het brandstofverbruik aan van 2.5%, hoewel dit voor E5 waarschijnlijk iets te hoog is ingeschat. Daarbij hoort de hierboven berekende vervangingsratio van 1,32 liter ethanol voor 1 liter benzine: we vergelijken dus ook de broeikasgasemissies van productie en verbranding van een liter benzine met die van de productie van 1.32 liter ethanol². Bij productie en verbranding van een liter benzine komen 2.619 kg CO₂ equivalenten vrij (Mortimer *et al.*, 2004).

2.3.3 Opbrengstberekening ethanol per ha

De opbrengsten zoals vermeld in Tabel 1 geven de opbrengsten aan bieten weer inclusief kop- en grondtarra alsmede het suikergehalte van zogenaamde netto biet (dus na aftrek van grond- en koptarra).

¹ De aanduiding E10 wordt gebruikt voor een mengsel bestaand uit 10% ethanol en 90% benzine (volume).

² CO₂ die vrijkomt bij de verbranding van ethanol wordt buiten beschouwing gelaten, aangezien deze CO₂ eerder, tijdens de groei van de suikerbieten, door fotosynthese uit de atmosfeer is vastgelegd. Emissies van CH₄ en N₂O uit verbranding van ethanol in automotoren worden verwaarloosd.



Tabel 3. Berekningen van de ethanolopbrengst per ha suikerbiet exclusief en inclusief koptarra.

Data	eenheid	Westmaas			Valthermond		
		2005	2006	2007	2005	2006	2007
suikergehalte	%	17,01%	16,50%	18,30%	17,05%	16,80%	18,10%
Bietenloof*	t/ha	32,3	32,3	32,3	32,3	32,3	32,3
vuile biet (incl tarra)*	t/ha	95,1	77	62,4	82,2	78	75,6
schone biet*	t/ha	80	66,9	52,8	70,7	67,7	68
suikeropbrengst	t/ha	13,61	11,04	9,66	12,05	11,37	12,31
ethanolopbrengst	t/ha	6,83	5,54	4,85	6,05	5,71	6,18
t ethanol/t schone biet*	w/w	0,0854	0,1021	0,1293	0,0966	0,1009	0,1004
Correcties op basis van koptarra							
gecorrigeerd suikergehalte	%	16,85%	16,34%	18,14%	16,89%	16,64%	17,94%
gecorrigeerd schone biet*	t/ha	86,0	71,9	56,8	76,0	72,8	73,1
suikeropbrengst	t/ha	14,49	11,75	10,30	12,84	12,11	13,12
ethanolopbrengst	t/ha	7,27	5,90	5,17	6,44	6,08	6,58
t ethanol/t schone biet*	w/w	0,0846	0,0820	0,0910	0,0848	0,0835	0,0900

*versgewicht

Echter, in de koptarra zit ook suiker die geconverteerd kan worden tot ethanol. Gemiddeld wordt deze koptarra in de fabriek op 7% geschat (mond. med. IRS). In onze berekeningen is de opbrengst schone biet met dit percentage vermeerderd. Daarentegen daalt het suikergehalte van de schone biet inclusief koptarra. Om deze reden is het suikergehalte uit Tabel 1 in de berekeningen verlaagd met 0,16% (mond. med. IRS). Bij de berekening van de ethanolopbrengst is gebruik gemaakt van een omzettingsefficiëntie van suiker in ethanol. Mortimer *et al.* (2004) gaan uit van 1 ton ethanol per 1,99 ton suiker op basis van 12,86 ton schone biet met een suikergehalte van 15,5%, hetgeen een efficiëntie van 0,502 kg ethanol per kg suiker oplevert. In onze berekeningen is dit cijfer gecorrigeerd voor de gecorrigeerde opbrengst aan schone biet en het daaraan verbonden gecorrigeerde suikergehalte alvorens de ethanolopbrengst te berekenen (Tabel 3).

2.3.4 Berekening van het energieverbruik

Het energieverbruik tijdens de teelt is berekend is aan de hand van de teeltregistratie van de Wageningen UR praktijkbedrijven te Westmaas en Valthermond. Deze registraties betreffen:

- Aard en aantal bewerkingen
- Inzet van bestrijdingsmiddelen
- Gebruik van meststoffen (kunstmest en dierlijke mest)

Energieverbruik van de gehele productieketen (E_{tot}) wordt weergegeven als volgt:

$$E_{\text{tot}} = E_{\text{teelt}} + E_{\text{transp}} + E_{\text{conv}} + E_{\text{distr}} \quad [1],$$

Waarin:

E_{teelt} = energieverbruik tijdens de teelt van suikerbieten (inclusief transport naar de rand van het veld) (MJ/ha)

E_{transp} = energieverbruik tijdens het transport van suikerbieten inclusief tarra naar de fabriek (MJ/ha)

E_{conv} = energieverbruik tijdens de omzetting van bieten naar alcohol inclusief Opwerking en zuivering van de ethanol (MJ/ha)

E_{distr} = energieverbruik tijdens het transport van de ethanol naar een verwerker of consument (MJ/ha)



Het energieverbruik tijdens de teelt is berekend als volgt:

$$E_{\text{teelt}} = E_{\text{machines}} + E_{\text{diesel}} + E_{\text{zaad}} + E_{\text{bemesting}} + E_{\text{gewasbesch}} \quad [2],$$

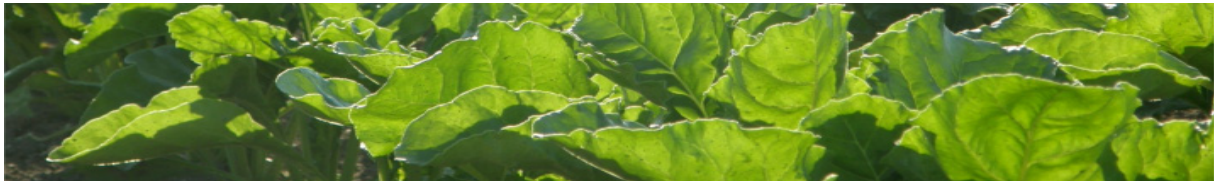
Waarin:

- E_{machines} = (in)direct energieverbruik van machines die worden gebruikt;
- E_{diesel} = (in)direct energieverbruik van de inzet van diesel;
- E_{zaad} = (in)direct energieverbruik voor inzet van zaaizaad (met eventuele hulpstoffen)
- $E_{\text{bemesting}}$ = (in)direct energieverbruik voor inzet van meststoffen;
- $E_{\text{gewasbesch}}$ = (in)direct energieverbruik voor inzet van gewasbeschermingsmiddelen.

Indirect energieverbruik van deze termen bestaat uit energie die nodig is om de inputs te maken en naar de boerderij te vervoeren. Op eenzelfde manier zijn ook de termen E_{transp} , E_{conv} en E_{distr} opgebouwd uit directe en indirecte energieverbruik tijdens respectievelijk transport van de bieten (en aanklevende grond) naar de fabriek, alsmede de productie en distributie van de ethanol. E_{conv} bestaat uit energie-inzet tijdens onder andere het wassen, vermalen en 'diffuseren' van de bieten en het fermenteren, destilleren en zuiveren (dehydrateren) van de ethanol. Ook hoort hierbij energie die nodig is (geweest) voor het bouwen en onderhouden van de fabriek.

In Tabel 4 zijn de kengetallen vermeld die gebruikt zijn in de berekeningen. Bij bestrijdingsmiddelen is gekozen voor het gebruik van generieke energiewaarden voor fungiciden, herbiciden en insecticiden en is afgezien van specifieke waarden voor elk individueel product. De reden hiervoor is dat specifieke waarden niet van alle middelen beschikbaar zijn en hun invloed op de einduitkomst beperkt is. Voor kunstmest zijn de cijfers van Kaltschmitt & Reinhardt (1997) gebruikt. Hierin zijn transportkosten verdisconteerd. In onze berekeningen hebben we er voor gekozen om voor de dierlijke mest uit te gaan van gelijke cijfers als voor kunstmest per eenheid stikstof (N), fosfaat (P_2O_5) en kalium (K_2O), zonder rekening te houden met de transportkosten. Deze kosten zijn voor dierlijke mest apart toegerekend met een geschatte transportafstand van 15 km en een energiebehoefte van 1,1053 MJ per ton en per kilometer zoals gebruikt door Mortimer *et al.* (2004). De hoeveelheden dierlijke mest die toegepast zijn in Valthermond (zie Tabel 1) zijn omgezet naar giften N, P_2O_5 en K_2O door gebruik te maken van kengetallen voor dichtheid van de mest en gehalten voor N-totaal (dus Norg + Nmin), P_2O_5 en K_2O , zoals gepubliceerd in de Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouwgewassen (Dijk, van, 2007).

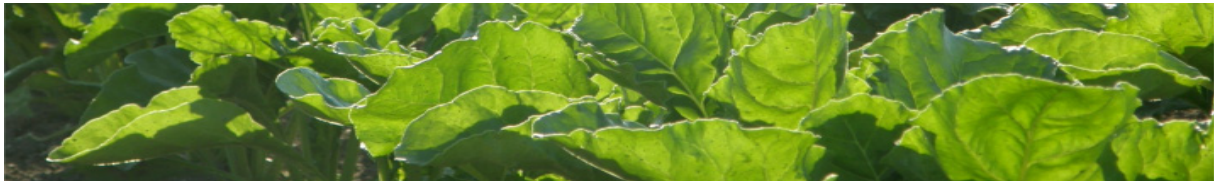
Bij de transportkosten van bieten naar fabriek is uitgegaan van een afstand naar de fabriek van 100 km. Voor de distributie van ethanol vanuit de fabriek naar de gebruiker (pompstation) is eveneens een afstand gerekend van 100 km. Voor de berekening van de energiebehoefte is uitgegaan van 1,1053 MJ per ton en per kilometer (Mortimer *et al.*, 2004).



Tabel 4. Kengetallen voor berekening energiewaarden tijdens de teelt van suikerbieten.

omschrijving	getal	dimensie	bron
Dieselvebruik			
Ploegen klei	35,7	kg diesel/ha	Bos <i>et al.</i> , 2007
Ploegen zand	23,4	kg diesel/ha	Bos <i>et al.</i> , 2007
Zaaibed maken 3m klei	12,9	kg diesel/ha	Bos <i>et al.</i> , 2007
Zaaibed maken 3m zand	4,6	kg diesel/ha	Bos <i>et al.</i> , 2007
zaaien 12 rijig	6	kg diesel/ha	Bos <i>et al.</i> , 2007
schoffelen klei	3,9	kg diesel/ha	Bos <i>et al.</i> , 2007
schoffelen zand	3,9	kg diesel/ha	Bos <i>et al.</i> , 2007
anaarden, klei	8,1	kg diesel/ha	Bos <i>et al.</i> , 2007
anaarden, zand	8,1	kg diesel/ha	Bos <i>et al.</i> , 2007
Transport dierlijke mest	7,5	kg diesel/ha	Bos <i>et al.</i> , 2007
Uitrijden dierlijke mest	12	kg diesel/ha	Bos <i>et al.</i> , 2007
Kunstmest strooien	1,8	kg diesel/ha	Bos <i>et al.</i> , 2007
sputten 24 m	1,8	kg diesel/ha	Bos <i>et al.</i> , 2007
beregenen	34,5	kg diesel/ha	Bos <i>et al.</i> , 2007
bunkerrooier, klei	48,7	kg diesel/ha	Bos <i>et al.</i> , 2007
bunkerrooier, zand	35	kg diesel/ha	Bos <i>et al.</i> , 2007
Cultivateren vaste tand, klei	14,3	kg diesel/ha	Bos <i>et al.</i> , 2007
Cultivateren vaste tand, zand	8	kg diesel/ha	Bos <i>et al.</i> , 2007
productie werktuigen			
productie werktuigen	2245	MJ/ha	Bos <i>et al.</i> , 2007
energie-inhoud diesel	42,5	MJ/kg	Bos <i>et al.</i> , 2007
transport drijfmest	0,02	l diesel/km, m3 mest	Bos <i>et al.</i> , 2007
transport vaste mest	0,02	l diesel/km, m3 mest	Bos <i>et al.</i> , 2007
Energie inhoud			
bietenzaaizaad	35,5	MJ/kg	Mortimer <i>et al.</i> , 2004
N-kunstmest	40,0	MJ/kg N	Jenssen & Kongshaug, 2003
P-kunstmest	5,2	MJ/kg P2O5	Jenssen & Kongshaug, 2003
K-kunstmest	5,0	MJ/kg K2O	Jenssen & Kongshaug, 2003
Dierlijke mest			
- N	40,000	MJ/kg N	Jenssen & Kongshaug, 2003
- P2O5	5,200	MJ/kg P ₂ O ₅	Jenssen & Kongshaug, 2003
- K2O	5,000	MJ/kg K ₂ O	Jenssen & Kongshaug, 2003
Pesticiden			
- herbiciden	267,5	MJ/kg	Bos <i>et al.</i> , 2007
- fungiciden	176	MJ/kg	Bos <i>et al.</i> , 2007
- insecticiden	217,4	MJ/kg	Bos <i>et al.</i> , 2007

Voor de berekening van het energieverbruik tijdens de conversie van bieten naar ethanol is gebruik gemaakt van kengetallen van Mortimer *et al.* (2004). Deze auteurs gebruiken verschillende modellen van energieverbruik in de fabriek. Voor de onderhavige studie is gebruik gemaakt van het model 4a ("Natural gas-fired combined heat and power plant with a steam turbine"), omdat dit model het meest lijkt op de verwerking van suikerbieten in Nederland (mond. med. IRS). De conversiegetallen zijn opgenomen in Tabel 5.



Tabel 5. Energieverbruik tijdens de conversie van suikerbieten naar ethanol in de fabriek.

onderdeel	energieverbruik	eenheid
- voorbewerking	426	MJ/t schone biet*
- verwerking	910	MJ/t schone biet*
- bouw fabriek	475	MJ/t ethanol
- onderhoud fabriek	142	MJ/t ethanol

*versgewicht

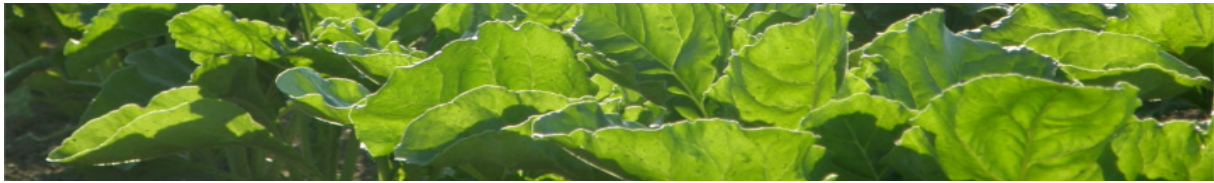
2.3.5 Berekening van de broeikasgasemissie

Bij de berekening van de broeikasgasemissie is uitgegaan van de publicatie van Mortimer *et al.* (2004). De gebruikte kengetallen staan vermeld in Tabel 6. De emissie verbonden aan stikstof bemesting is exclusief de directe emissie van lachgas (0,0036 kg N₂O per kg N). De directe emissie is separaat berekend (zie verder). Bij de berekening van de bijdrage van methaan en lachgas aan het broeikaseffect is uitgegaan van 23 respectievelijk 296 CO₂-equivalenten per kg (Houghton, 2001). Voor dierlijke mest is uitgegaan van dezelfde kengetallen als bij kunstmest.

Tabel 6. Broeikasgasemissie samenhangend met de productie van inputs gebruikt bij de teelt van suikerbieten.

GHG emissie	CO ₂ (kg/kg)	CH ₄ (kg/kg)	N ₂ O (kg/kg)	Totaal (kg CO ₂ eq per kg)
bietenzaaizaad	1,775	0,002	0,001	2,117
N-kunstmest	1,904	0,0036	0,0147	6,338
P ₂ O ₅ -kunstmest	0,7	0,000023	0,000042	0,713
K ₂ O-kunstmest	0,453	0,000021	0,0000094	0,456
Pesticiden				
- herbiciden	4,921	0,00018	0,00151	5,372
- fungiciden	4,921	0,00018	0,00151	5,372
- insecticiden	4,921	0,00018	0,00151	5,372
Diesel (kg CO ₂ eq/MJ)	0,0767	0,000021	0,00000059	0,077

Voor de transportfase is eveneens uitgegaan van Mortimer et al (2004) die voor CO₂, CH₄ en N₂O emissiefactoren aanhielden zoals vermeld in Tabel 7.



Tabel 7. Broeikasgasemissie tijdens de transportfase.

Broeikasgas	emissie	eenheid
kooldioxide	0,0723	kg CO ₂ / ton-km
methaangas	0,000021	kg CH ₄ / ton-km
lachgas	0,00000048	kg N ₂ O / ton-km
Totaal	0,07292508	kg CO ₂ eq / ton-km

Voor de berekening van de broeikasgasemissie tijdens de conversie van suikerbiet naar ethanol is gebruik gemaakt van kengetallen van Mortimer *et al.* (2004); zie Tabel 8.

Tabel 8. Kengetallen broeikasemissie tijdens de conversie van suikerbiet naar ethanol.

Onderdeel	CO ₂ (kg/kg)	CH ₄ (kg/kg)	N ₂ O (kg/kg)	Totaal	eenheid
voorbewerking	21	0,043	0	21,989	kg CO ₂ eq/t schone biet*
bewerking	42	0,091	-0,001	43,797	kg CO ₂ eq /t schone biet*
constructie en onderhoud fabriek `versgewicht	31	0,008	0	31,184	kg CO ₂ eq/t ethanol

Berekeningen lachgasemissie

Mogelijke stikstofemissies bij de teelt van suikerbieten zijn afkomstig van kunstmest, dierlijke mest, gewasresten en (mineralisatie van) organische stof in de bodem. Deze emissies kunnen bovendien optreden in verschillende chemische vormen: de belangrijkste zijn nitraat (uitspoeling), ammoniak (vervluchtiging gevolgd door neerslag) en lachgas (gasvormige emissies). In het onderstaande wordt de emissie van de laatste categorie (lachgas) besproken.

N₂O (lachgas) komt vrij bij denitrificatie: de omzetting van nitraat (NO₃) naar stikstof (N₂). Denitrificatie treedt op onder zuurstofloze omstandigheden in aanwezigheid van afbreekbare organische stof. Bij afbraak van organische stof wordt zuurstof verbruikt. Situaties met veel organische stof kunnen leiden tot zuurstofloze omstandigheden en zo tot N-verliezen door denitrificatie (De Ruijter & Smit, 2007). Gerekend over een tijdshorizon van 100 jaar is het broeikaseffect van N₂O 296 keer sterker dan dat van CO₂ (Houghton, 2001).

Een deel van de minerale stikstof in de bodem zal direct worden omgezet in N₂O en 'verdwijnen' naar de atmosfeer; een ander deel zal eerst vervluchtigen (als ammoniak), vervolgens weer neerslaan en dan pas worden omgezet. Weer een ander deel zal eerst uit- of afspoelen en vervolgens worden omgezet. IPCC (2006) geeft rekenregels om de grootte van deze drie termen te benaderen: hierbij wordt onderscheid gemaakt in stikstof afkomstig uit kunstmest, dierlijke mest, gewasresten en organische stof in de bodem. De directe N₂O emissies kunnen worden berekend als volgt:

$$N_2O_{N_{inputs}} = (F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM}) \cdot EF_1 \cdot 44/28 \quad [3],$$

waarbij:

N ₂ O _{N inputs} =	de directe N ₂ O emissies ten gevolge van stikstoftoevoer aan cultuurgronden, kg N ₂ O/jaar
F _{SN} =	de hoeveelheid toegediende N kunstmest, kg N/jaar
F _{ON} =	de hoeveelheid dierlijke mest, compost, rioolslib en andere organische stikstoftoedieningen aan bodems, kg N/jaar
F _{CR} =	de hoeveelheid stikstof uit gewasresten (boven- ondergronds), inclusief stikstofbindende gewassen en het scheuren van grasland, kg N/jaar



- F_{SOM} = de hoeveelheid gemineraliseerde stikstof, in samenhang met de afbraak van bodem organische stof (en dus koolstofemissie) ten gevolge van veranderend landgebruik of management, kg N/jaar
 EF_1 = de emissie factor van N_2O emissies ten gevolge van stikstoftoevoer, kg N_2O /(kg N input). De standaard waarde die genoemd wordt door IPCC is 0.01
 $44/28$ = massa conversie factor N => N_2O

F_{CR} bij suikerbieten teelt bestaat uit de stikstof in het bietenblad en de koppen die op het veld worden achtergelaten. De datasets bevatten geen waarnemingen aan de hoeveelheid bietenloof, zodat hiervoor inschattingen gemaakt moeten worden. Tijdens de groei van suikerbieten wordt een maximale verse loofhoeveelheid van circa 55 ton per ha gevormd (juli) waarna de loofhoeveelheid afneemt tot circa 30 ton per ha (Swaaij, van, 2001). Schröder et al (2005) gaan uit van 35 ton bietenloof per ha bij de oogst. Omdat Swaaij gegevens van 1984 gebruikt, wordt in dit verslag gebruik gemaakt van het cijfer van Schröder et al (2005). In het bietenloof kan uitgegaan worden van een N-gehalte van 3,4 g N per kg vers blad (mond. med. IRS) en dus een waarde van F_{CR} van 119 kg N per ha.

Een indicatie van F_{som} is niet te geven op basis van de beschikbare teeltgegevens van de gewassen in Westmaas en Valthermond. De F_{som} varieert onder praktijkomstandigheden erg sterk. De uiteindelijke mineralisatie kan liggen tussen de 50 en 200 of meer kg per ha per jaar. Dit is sterk afhankelijk van de aanvoer van organische stof uit gewasresten, dierlijke mest, groenbemesters en compost in voorafgaande jaren en van het organisch stofgehalte van de bodem alsmede de kwaliteit (samenstelling) van die organische stof. Met een organisch stofgehalte van 10% en het frequenter gebruik van dierlijke mest, is het realistisch om de mineralisatie op Valthermond hoger in te schatten dan die te Westmaas. Als richtgetal hebben we in de berekening een mineralisatie van 75 kg per ha per jaar genomen voor Westmaas en 125 kg per ha per jaar voor Valthermond.

IPCC (2006) geeft voor het schatten van N_2O emissies van uit- en afspoeling, in gebieden waar deze processen voorkomen, in de volgende vergelijking:

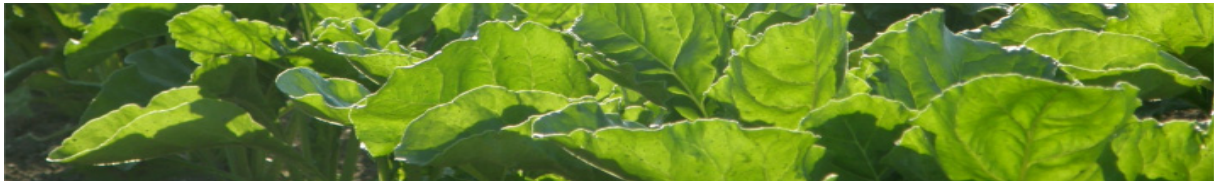
$$N_2O_{(L)} = (F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM}) \cdot \text{Frac}_{LEACH-(H)} \cdot EF_5 \cdot 44/28 \quad [4],$$

waarbij:

- $N_2O_{(L)}$ = de hoeveelheid N_2O die geproduceerd wordt na uit- en afspoeling van stikstof toevoer aan cultuurgronden, kg N_2O /jaar
 $\text{Frac}_{LEACH-(H)}$ = de fractie van alle toegevoegde/gemineraliseerde stikstof die af- en uitspoelt, kg N/(kg aangevoerde N). De standaard waarde die genoemd wordt door IPCC is 0.30: dat wil zeggen, als de netto neerslag tijdens enig moment in het groeiseizoen groter is dan het waterhoudend vermogen van de bodem.
 EF_5 = emissie factor voor N_2O emissies na uit- en afspoeling van stikstof, kg N_2O /(kg uit-/afgespoelde N). De standaard waarde die genoemd wordt door IPCC is 0.0075

De N_2O emissie ten gevolge van vervluchtiging, neerslag en vervolgens denitrificatie wordt in IPCC (2006) beschreven door:

$$N_2O_{(ATD)} = \{(F_{SN} \cdot \text{Frac}_{GASF}) + (F_{ON} \cdot \text{Frac}_{GASM})\} \cdot EF_4 \cdot 44/28 \quad [5]$$



$N_2O_{(ATD)}$ =	hoeveelheid N_2O geproduceerd door atmosferische depositie van N die eerder is vervluchtigd van cultuurgronden, kg N_2O /jaar
F_{SN} =	hoeveelheid toegediende stikstof kunstmest, kg N/jaar
$Frac_{GASF}$ =	fractie kunstmest stikstof die vervluchtigt als NH_3 en NO_x , kg N vervluchtigd/(kg N toegediend). De standaard waarde die genoemd wordt door IPCC is 0.1
F_{ON} =	de hoeveelheid dierlijke mest, compost, rioolslib en andere organische stikstoftoedieningen aan bodems, kg N/jaar
$Frac_{GASM}$ =	fractie van de toegediende organische stikstof (F_{ON}) die vervluchtigt als NH_3 en NO_x , kg vervluchtigd N/(kg neergeslagen N). De standaard waarde die genoemd wordt door IPCC is 0.20
EF_4 =	emissie factor voor N_2O emissies uit atmosferische depositie van stikstof op bodems en wateroppervlakken, kg N_2O /(kg vervluchtigde $NH_3-N + NO_x-N$). De standaard waarde die genoemd wordt door IPCC is 0.010

De totale directe en indirecte aan N bemesting en mineralisatie gerelateerde N_2O emissies kunnen nu worden beschreven door

$$N_2O_{Nbemst} = N_2O_{Ninputs} + N_2O_{(L)} + N_2O_{(ATD)} \quad [6]$$

Totale emissies

Per afzonderlijke fase (productie, transport naar de fabriek, conversie en distributie van de ethanol) is de broeikasgasemissie berekend in CO_2 equivalenten voor elk van de verschillende datasets. Bij de productie is rekening gehouden met het gebruik van alle inputs en alle bewerkingen en het daarbij horende dieselgebruik. Bij het transport van bieten naar de fabriek is rekening gehouden met de tarra die eveneens getransporteerd wordt. Tijdens de conversiefase is uitgegaan van de voorbereiding (zoals omschreven door Mortimer *et al.*, 2004), de verwerking en de bouw en onderhoud van de fabriek. Bij de voorbereiding en bij de verwerking van de gecorrigeerde hoeveelheid schone biet (zie Tabel 3). Bij de emissies voor bouw en onderhoud van de fabriek is uitgegaan van de hoeveelheid geproduceerde ethanol (zie Tabel 3). In de fase van distributie is uitgegaan van de hoeveelheid geproduceerde ethanol en de emissie van ton-km.

2.3.3 Allocatie van de broeikasgasemissie naar nevenproducten

Tijdens de keten van teelt tot en met distributie van ethanol ontstaan enkele nevenproducten:

- Bietenloof en koppen zoals die ontstaan tijdens de oogst van de suikerbieten.
- Perspulp en vinasse, die beide ontstaan tijdens het verwerkingsproces van de bieten.

De kosten van de productie van ethanol in termen van energie (in MJ/ha) en broeikasgasemissie (in CO_2 eq/ha) dienen voor een deel toegerekend te worden aan de nevenproducten en voor een ander deel aan de ethanol. In deze studie is er voor gekozen om deze allocatie te baseren op de Lower Heating Value (LHV; in MJ/ha). Vergeleken met een allocatie op basis van geldelijke waarde (zoals Mortimer *et al.*, 2004, hanteren), levert allocatie op basis van LHV het voordeel op van stabiliteit is en onafhankelijkheid van fluctuerende marktprijzen.

Bij de allocatie op basis van LHV zijn we uitgegaan van de waarden zoals genoemd in Tabel 9. Om de allocatie naar perspulp en vinasse te kunnen berekenen is uitgegaan van een tweetal verhoudingsgetallen. Per kg (gecorrigeerde) schone biet wordt 210 kg perspulp geproduceerd van 24% droge stof (mond. med. IRS). Mortimer *et al.* (2004) gaan uit van 0,72 ton vinasse van 55% drogestof bij 13,296 ton schone biet, hetgeen neerkomt op 69 kg vinasse van 70% per ton schone biet.



Tabel 9. LHV-waarden en drogestofgehaltes van bietenproducten.

Bestanddeel	LHV-waarde	Eenheid	Drogestofgehalte
biet	17	MJ/kg droge stof	25%
perspulp	16,3	MJ/kg droge stof	24%
dikke vinasse	17	MJ/kg droge stof	70%
ethanol	26,7	MJ/kg	100%
bietenloof	0	MJ/kg droge stof	15%

Er is in deze studie voor gekozen om geen allocatie toe te passen naar het loof (plus bietenkoppen) bij de oogst door de LHV-waarde op 0 te stellen, omdat dit materiaal wordt ondergeploegd. Tijdens de transportfase van de bieten ontstaan geen nevenproducten zodat het energieverbruik en broeikasgasemissie van deze fase volledig toegerekend wordt naar de verschillende producten die ontstaan tijdens de conversie op basis van de berekende LHV. De “kosten” tijdens de distributie worden volledig toegerekend aan de geproduceerde ethanol.

2.3.4 Reductie van emissie van broeikasgassen

De emissiereductie van broeikasgassen wordt op twee wijzen berekend.

In de eerste plaats wordt de emissiereductie berekend op basis van CO₂ eq emissie tijdens productie en verbranding van ethanol ten opzichte van productie en verbranding van benzine per MJ energie-inhoud. Omdat bij de productie van ethanol CO₂ wordt vastgelegd die bij de verbranding weer vrijkomt, worden deze beide posten in de vergelijking tegen elkaar weggestreept:

$$\mathbf{EMred, mj = 1 - \{ GHGeth / (EthYield * LHVeth) / GHGbenz \}} \quad [7],$$

Waarin:

- EMred,mj = reductie van broeikasgasemissie van 1 MJ ethanol ten opzichte van 1 MJ benzine
- GHGeth = broeikasgasemissie geproduceerd tijdens de productie van ethanol (kg CO₂ eq/ha)
- EthYield = Ethanolopbrengst (kg/ha)
- LHVeth = Onderste Verbrandingswaarde van ethanol (26,72 MJ/kg ethanol)
- GHGbenz = broeikasgasemissie tijdens productie en verbranding van benzine (0,00865 kg CO₂ eq/MJ)

In de tweede plaats wordt een emissiereductie berekend, waarbij rekening gehouden wordt met de lagere verbrandingswaarde van ethanol per eenheid energie ten opzichte van benzine.

$$\mathbf{EMred = (1 - (EM_{eth} * 1,32) / EM_{benzine})} \quad [8],$$

Waarin:

- EMred = het percentage reductie (%);
- 1,32 = de correctiefactor die de lagere verbrandingsefficiëntie van ethanol per eenheid energie moet compenseren;
- EMth = broeikasgasemissie tijdens de productie van ethanol (2,619 kg CO₂ eq/l ethanol)
- EM_{benzine} = broeikasgasemissie tijdens productie, verwerking en verbranding van benzine (kg CO₂-eq/l benzine).



2.3.5 Berekening energie-efficiëntie

De efficiëntie van de geproduceerde energie in de vorm van ethanol wordt uitgerekend door deze energie-inhoud te relateren aan de energiehoeveelheid die gebruikt is bij de productie en distributie van ethanol.

$$EE_{eth} = (EthYield * LHV_{eth}) / Energy \quad [9],$$

Waarin:

EE _{eth} =	Energie-efficiëntie (-)
EthYield=	Ethanolopbrengst (kg/ha)
LHV _{eth} =	Onderste Verbrandingswaarde van ethanol (26,72 MJ/kg ethanol)
Energy=	Berekend directe en indirecte energieverbruik tijdens productie en distributie van ethanol (MJ/ha)

2.3.6 Effect op gehalte organische stof in de bodem

Het gehalte aan organische stof in de bodem komt op twee plaatsen in de het toetsingskader (bijlage 1) naar voren, namelijk bij principe 2 en bij principe 5.

Volgens principe 2 mag biomassa productie niet ten koste gaan van belangrijke koolstofreservoirs in de vegetatie en in de bodem. Daling van het gehalte aan organische stof in de bodem gaat gepaard met daling van de bodemvruchtbaarheid, daling van het watervasthoudend vermogen en kan leiden tot risico's voor erosie. De productiecapaciteit van de bodem op de langere termijn wordt hierdoor bepaald.

De 'Carbon pay back time' (CPBT) is gedefinieerd als het aantal jaren dat een energiegewas moet worden geteeld om de teruggang aan bodem-C door het veranderende landgebruik te compenseren in de vorm van vermeden C-uitstoot. Het criterium is dat dit binnen 10 jaar moet zijn gerealiseerd:

$$CPBT = C_{soil} / C_{prevent} \quad [10],$$

Waarin:

C _{soil} =	vermindering van de C-voorraad in de bodem als gevolg van veranderd landgebruik (ton C/ha)
C _{prevent} =	Jaarlijks vermeden C-uitstoot in de bio-energie productieketen (ton C/ha, jaar)

Vermeden C-uitstoot is een functie van de gewasopbrengst en de reductie van C-uitstoot in de productieketen. Deze benadering heeft alleen betrekking op de C in bodem organische stof (BOS). Het gaat dus niet om de het totaal aan broeikasgassen, zoals lachgas (N₂O) en methaan (CH₄) die beide sterkere broeikasgassen zijn dan CO₂. Deze worden meegenomen in het 1^e criterium van het toetsingskader, namelijk dat de broeikasgasbalans van de productieketen van biomassa positief dient te zijn.

In principe 5 wordt aangegeven dat de bodemkwaliteit behouden of verbeterd moet worden. Indicator 5.2.1 daarvoor geeft aan dat de bodem organische stof behouden moet blijven. Dit wordt niet kwantitatief uitgewerkt maar een rapportage over de strategie voor duurzaam bodembeheer wordt gevraagd. Hieronder wordt een aanzet gegeven voor mogelijke kwantificering van deze indicator. De andere genoemde indicatoren zoals voorkomen erosie en verzilting en behoud van de voedingsstoffenbalans leveren voor de hier beschreven omstandigheden van weinig problemen op en zijn dus niet verder uitgewerkt.

Verandering van de C-voorraad in de bodem

Elk wijze van landgebruik heeft zijn eigen evenwichtsniveau voor bodem organische stof (BOS). Dit hangt o.a. samen met de bodemsoort, het klimaat (vocht en temperatuur) en de mate waarin het land wordt verstoord door menselijk handelen.

Het organische stofgehalte van de bodem is onder permanente vegetatie (bijvoorbeeld grasland) hoger dan onder bouwland (waar de bodem jaarlijks wordt omgeploegd en gewasresten in de bodem dus sneller



verteren). Zodra grasland wordt omgezet in bouwland loopt de BOS terug, afhankelijk van de toevoeging van organisch materiaal (hoeveelheid dierlijke mest, compost, gewasresten) gedurende de bouwlandrotatie. Er stelt zich in de loop van de tijd een nieuw evenwicht in.

Voor productie van suikerbieten ten behoeve van ethanol in Nederland zijn de volgende situaties denkbaar:

- Suikerbieten vervangen ander landgebruik dan akkerbouw. Indien dit landgebruik een permanente vegetatie betreft als bijvoorbeeld grasland, kan dit afhankelijk van de rotatie en de bouwplanmaatregelen leiden tot een lagere BOS en is deze vervanging potentieel belangrijk voor de broeikasgasemissie.
- Suikerbieten zitten niet in de rotatie maar worden er aan toegevoegd of de teeltfrequentie wordt verhoogd. De bieten vervangen dus een ander gewas. Als het toevoegen van suikerbieten aan een rotatie gepaard gaat met lagere toevoegingen van organisch materiaal op bouwplanniveau, kan de BOS achteruit gaan;
- Suikerbieten zitten al in de rotatie en ze worden op dezelfde manier en met dezelfde intensiteit geteeld. In deze situatie is op bedrijfsniveau geen effect op BOS te verwachten en dus ook niet op de C-voorraad in de bodem;

Indien in deze situaties extra maatregelen worden genomen om een eventuele achteruitgang in BOS te vermijden, dan zou de broeikasgasemissie behorend bij deze maatregelen aan de suikerbietenteelt toegevoegd te worden.

Voor deze studie zijn we zoals al eerder aangegeven, uitgegaan van de twee praktijkbedrijven van Wageningen UR in Valthermond en Westmaas. In beide gevallen worden al suikerbieten geteeld en worden de effecten van twee frequenties (hoog en laag) met elkaar vergeleken.

Er zijn verschillende manieren om het veranderingen in BOS en het evenwichtsniveau uit te rekenen. Een veel gebruikte methode, die ook voor deze studie is toegepast, is het model van Yang, gebaseerd op Janssen (Yang & Janssen, 2000). Vóór het gebruik van dit model in deze studie pleit dat het nu ook gebruikt wordt voor beleidsondersteuning en het doorrekenen van effecten van het mestbeleid (Ten Berge *et al.*, 2007). Tevens wordt dit model momenteel als referentie gebruikt bij de vergelijking van verschillende modellen. Het model van Yang & Jansen is vrij eenvoudig (slechts 2 parameters) en geeft tegelijkertijd goede resultaten. Hieronder volgt een korte beschrijving van het model van Yang & Jansen.

Rekenmodel van Yang & Jansen

De basisformule is als volgt:

$$Y_t = Y_0 * e^{-Kt} \quad [11],$$

$$K = R_9 * t^S \quad [12],$$

$$\text{Dus } Y_t = Y_0 * \exp(-R_9 * t^{1-S}) \quad [13],$$

Waarin:

Y_t = hoeveelheid organische stof op tijdstip t (kg/ha)

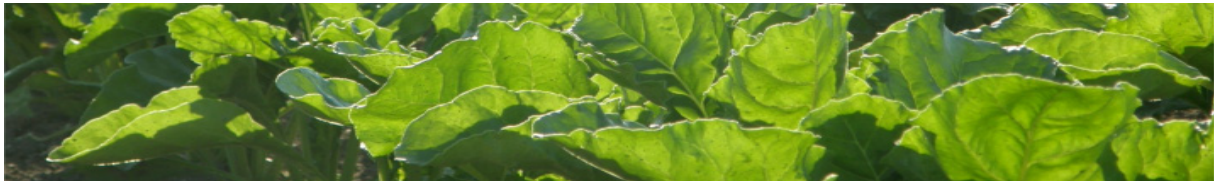
Y_0 = hoeveelheid organische stof op tijdstip 0 (kg/ha)

K = gemiddelde relatieve afbraaksnelheid na toediening van organisch materiaal (tussen $t=0$ en t) bij een gemiddelde jaartemperatuur van 9°C

R_9 = de gemiddelde relatieve afbraaksnelheid in het eerste jaar na toediening van het organisch materiaal (tussen $t=0$ en 1) bij een gemiddelde jaartemperatuur van 9°C in jaar⁻¹

S = 'verouderingssnelheid', dimensieloos, waarden tussen 0 en 1

De formule geldt nu voor een gemiddeld jaar met een temperatuur van 9°C , zoals dat in gemiddelde Nederlandse omstandigheden voorkomt, en kan voor andere omstandigheden aangepast worden aan andere temperaturen. Voor onze berekeningen voor suikerbiet onder Nederlandse omstandigheden is dat niet van belang.



De waarden voor S en R_9 zijn afgeleid uit langjarige experimenten, zowel voor oorspronkelijke bodem organische stof als voor allerlei soorten organisch materiaal.

R_9 kan ook worden afgeleid uit de humificatiecoëfficiënt ($= Y_1/Y_0$)

De hoeveelheid opgebouwde organische stof na 1 jaar (dus de organische stof die resteert na toediening van verse organische stof) wordt aangeduid met de term “effectieve organische stof” (e.o.s.). Met deze benadering kan vrij eenvoudig berekend worden hoe groot de opbouw en afbraak van organische stof is voor een variabel aantal jaren.

De parameterwaarden van R_9 en S voor de verschillende soorten organische stof zijn gebaseerd op Yang & Janssen (2000) en Van Dijk (mond. med.) Hiermee is de verandering in BOS gedurende 50 jaar berekend voor beide rotaties en beide locaties. Alle organische stoftoedieningen zijn meegenomen. Op Westmaas wordt geen dierlijke mest gebruikt en in Valthermond krijgen aardappels 25 m³ varkensdrijfmest. Het stro van de granen wordt ondergeploegd.

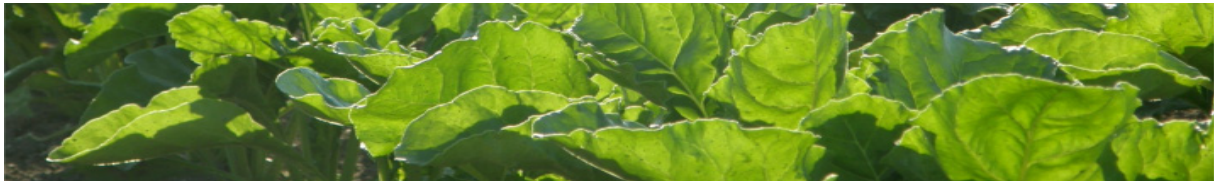
Tabel 10. Parameterwaarden voor R_9 en S voor toepassen van het model van Yang voor de rotaties op Westmaas en Valthermond.

	OS (kg/ha)	EOS (kg/ha)	R_9	S
OBOS* Westmaas	66 000		0,03	0,315
OBOS* Valthermond	300 000		0,01	0,315
suikerbieten incl. blad en kop	6000	1260	1,561	0,659
wintertarwe incl. stro ondergeploegd	8500	2635	1,171	0,632
gele mosterd	3850	847	1,514	0,656
aardappelen	3400	748	1,514	0,656
korrelmaïs incl. stro ondergeploegd	7000	2240	1,139	0,629
zomergerst incl. stro ondergeploegd	6400	1920	1,204	0,634
VDM** (25 ton)	1500	495	1,109	0,626

* OBOS= oorspronkelijke organische stof

** VDM = varkensdrijfmest

De afbraak van BOS ofwel de ademhaling is een maat voor de CO₂ uitstoot. In plantaardig organisch materiaal zit gemiddeld genomen 450 g C per kg droog organisch materiaal. In de bodem organische stof zit gemiddeld genomen 580 g C/kg (van Dijk, mond. med.).



3. Resultaten

3.1 Emissiereductie broeikasgassen (criterium 1.1)

3.1.1 Berekende broeikasgasemissies en lachgasproductie

Emissie van broeikasgassen per hectare zijn gegeven in Tabel 11. Totale emissies variëren van 8,3 tot 11,7 t CO₂-equivalent per ha. Gemiddeld liggen de berekende emissies in Westmaas circa 1 t CO₂-eq./ha lager dan op Valthermond. De oorzaak hiervan is gelegen in de teeltfase en dan met name het gehanteerde uitgangspunt wat betreft de direct en indirecte emissie die aan de mineralen in dierlijke mest wordt toegekend (volledige gelijkstelling met kunstmest). Daarnaast speelt de aanname een rol dat de netto N-mineralisatie op de zandbodems van Valthermond met hoog organisch stofgehalte 50 kg/ha, jaar hoger ligt dan die op de kleibodems van Westmaas. De berekende directe en indirecte lachgasemissie als gevolg van de toepassing van meststoffen op Valthermond varieerde van 9,0-11,7 kg per ha, jaar en op Westmaas 6,9 tot 7,1.

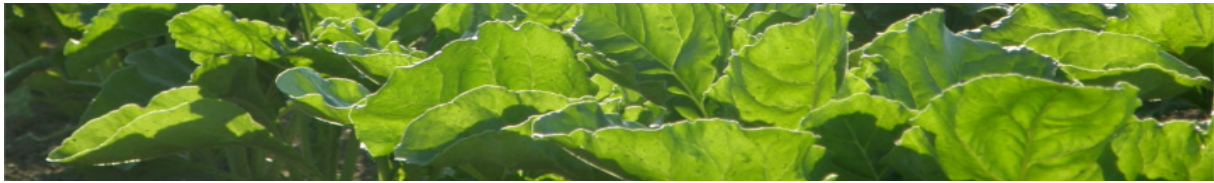
Dat de kleigrond van Westmaas meer dieselvebruik vergt dan de zandgrond van Valthermond leidt er in de berekeningen inderdaad toe dat op Westmaas meer broeikasgasemissie aan de bewerkingen is verbonden dan in Valthermond: 707 versus 597 kg CO₂ eq/ha.

Tabel 11. Emissies van broeikasgassen (CO₂ equivalenten per ha).

locatie	jaar	fase				Totaal
		teelt	transport	conversie	distributie	
Westmaas	2005	3598	694	5886	53	10231
	2006	3781	562	4916	43	9302
	2007	3947	455	3896	31	8329
	gemiddeld	3776	570	4899	42	9287
	gemiddeld (%)	40,65%	6,14%	52,75%	0,46%	
Valthermond	2005	5787	620	5202	47	11656
	2006	4266	574	4978	44	9863
	2007	4260	556	4791	48	9655
	gemiddeld	4771	583	4991	46	10391
	gemiddeld (%)	45,91%	5,61%	48,03%	0,45%	

De berekende emissies tijdens de teelt zijn ongeveer gelijk aan die tijdens de conversie, waarbij aangetekend moet worden dat in Nederland momenteel geen ethanolproductie uit suikerbieten fabrieksmatig plaatsvindt en we ons dus niet hebben kunnen baseren op kengetallen uit de Nederlandse praktijk.

In Tabel 12 zijn de broeikasgasemissies tijdens de teelt opgeslist naar de inputs en bewerkingen. Daaruit wordt duidelijk dat de lachgasemissie in de bodem een overheersende invloed hebben en dat ook de



dierlijke mest op basis van de aannames (gelijke broeikasgasemissie als kunstmest) een prominente plaats inneemt.

Tabel 12. Emissie van broeikasgassen tijdens de teeltfase, opgesplitst in specifieke inputs en bewerkingen (kg CO₂ equivalenten per ha).

Onderdeel	Aanduiding	Westmaas			Valthermond			
		2005	2006	2007	2005	2006	2007	
inputs	zaaizaad	6	6	6	6	6	6	
	N kunstmest	890	951	919	355	174	174	
	P2O5 kunstmest	54	0	50	0	0	0	
	K2O kunstmest	0	55	55	34	34	27	
	N dierlijke mest	0	0	0	1186	702	702	
	P2O5 dierlijke	0	0	0	78	44	44	
	K2O dierlijke mest	0	0	0	85	37	37	
	Lachgasemissie	2041	2102	2070	3452	2667	2667	
	Totaal	2991	3114	3100	5197	3665	3658	
bewerkingen	Ploegen klei	117	117	117	0	0	0	
	Ploegen zand	0	0	0	77	77	77	
	Zaaibed maken 3m klei	42	42	85	0	0	0	
	Zaaibed maken 3m zand	0	0	0	15	15	15	
	zaaien 12 rijig	20	20	20	20	20	20	
	schoffelen klei	0	13	13	0	0	0	
	schoffelen zand	0	0	0	13	13	13	
	aanaarden, klei	0	0	0	0	0	0	
	aanaarden, zand	0	0	0	27	27	27	
	Transport dierlijke mest	0	0	0	25	25	25	
	Uitrijden dierlijke mest	0	0	0	39	39	39	
	Kunstmest strooien	12	18	24	12	18	18	
	sputten 24 m	36	30	47	47	53	53	
	beregenen	0	0	113	0	0	0	
	bunkerrooier, klei	160	160	160	0	0	0	
	bunkerrooier, zand	0	0	0	115	115	115	
	Cultivateren vaste tand, klei	47	94	94	0	0	0	
	Cultivateren vaste tand, zand	0	0	0	26	26	26	
	Productie machines	174	174	174	174	174	174	
	Totaal	608	667	847	590	601	601	
		Totaal teelt	3598	3781	3947	5787	4266	4260

De broeikasgasemissies per ton ethanol (Tabel 13) liggen tussen de 1400 en 1800 kg CO₂-eq./ton ethanol. Gemiddeld liggen de emissies van Valthermond boven de emissies van Westmaas, maar de verschillen tussen de jaren zijn minder groot. Dit is vooral toe te rekenen aan de lage suikerbietenopbrengst in 2007 op Westmaas. In Tabel 13 is nog geen rekening gehouden met de allocatie van broeikasgassen naar nevenproducten (perspulp, vinasse).



Tabel 13. Emissies van broeikasgassen bij productie van ethanol uit suikerbieten (kg CO₂ eq. per ton ethanol).

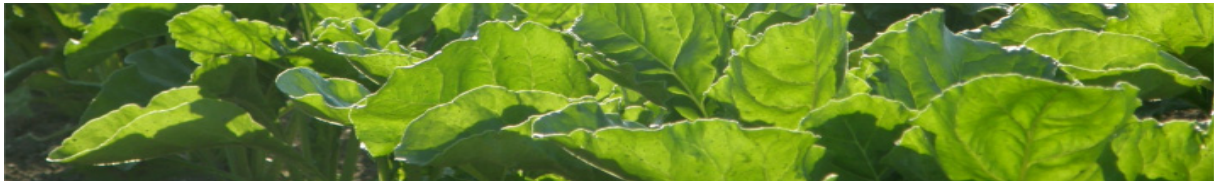
locatie	jaar	fase				Totaal
		teelt	transport	conversie	distributie	
Westmaas	2005	495	95	809	7	1407
	2006	641	95	833	7	1577
	2007	764	88	754	7	1613
	gemiddeld	633	93	799	7	1532
	gemiddeld (%)	41,32%	6,06%	52,14%	0,48%	
Valthermond	2005	898	96	807	7	1809
	2006	702	94	819	7	1622
	2007	647	85	728	7	1467
	gemiddeld	749	92	785	7	1633
	gemiddeld (%)	45,87%	5,62%	48,06%	0,45%	

Tabel 14. Berekende lachgasemissies voor Westmaas en Valthermond in 2005, 2006 en 2007.

input	hoeveelheid					
	Westmaas			Valthermond		
	2005	2006	2007	2005	2006	2007
N-bemesting						
- kunstmest (kg/ha)	140	150	145	56	28	28
- dierlijke mest (kg/ha)				187	111	111
N uit gewasresten (kg/ha)	119	119	119	119	119	119
N mineralisatie (kg/ha)	75	75	75	125	125	125
N ₂ O emissies (kg N ₂ O/ha)						
- directe emissies	5,3	5,4	5,3	7,7	6,0	6,0
- indirecte emissies t.g.v. uitspoeling	1,4	1,5	1,4	3,3	2,6	2,6
- Indirecte emissies t.g.v. vervl. & dep.	0,2	0,2	0,2	0,7	0,4	0,4
- totale emissies	6,9	7,1	7,0	11,7	9,0	9,0
Broeikasgasemissie (kg CO ₂ eq/ha)	2041	2102	2070	3452	2667	2667

Een belangrijk element in de broeikasgasemissies is de productie van lachgas op het veld. Met behulp van de datasets zijn voor de praktijkbedrijven in Valthermond en Westmaas volgens de in hoofdstuk 2 aangegeven methode de N₂O emissies in de jaren 2005, 2006 en 2007 berekend (Tabel 14). Gegevens omtrent de mineralisatie van stikstof (N_{min}) uit bodem organische stof waren niet voorhanden.

Bij de cijfers in Tabel 14 dient aangetekend te worden dat voor de stikstof mineralisatie geen goede benadering mogelijk was vanwege gebrek aan beschikbare gegevens. Ook is het stikstofgehalte van de gebruikte dierlijke mest in Valthermond (varkensdrijfmest en slachtkuikemest) gebaseerd op een beschikbaar kengetal en niet op een waarneming van het daadwerkelijke stikstofgehalte.



Tabel 15. Berekende allocatie naar ethanol.

product	eenheid	Westmaas			Valthermond		
		2005	2006	2007	2005	2006	2007
Vuile biet (incl tarra)	t/ha	95,1	77,0	62,4	82,2	78,0	75,6
bietenloof	t/ha	32,3	32,3	32,3	32,3	32,3	32,3
schone biet*	t/ha	86,0	71,9	56,8	76,0	72,8	73,1
tarra	t/ha	9,1	5,1	5,6	6,2	5,2	2,5
ethanol	t/ha	7,3	5,9	5,2	6,4	6,1	6,6
vinasse	t/ha	5,9	5,0	3,9	5,2	5,0	5,0
perspulp	t/ha	18,1	15,1	11,9	16,0	15,3	15,4
Lower Heating Value							
Vuile biet (incl tarra)	GJ/ha	404	327	265	349	332	321
bietenloof	GJ/ha	0	0	0	0	0	0
schone biet	GJ/ha	366	306	241	323	309	311
tarra	GJ/ha	0	0	0	0	0	0
ethanol	GJ/ha	194	158	138	172	162	176
vinasse	GJ/ha	706	591	466	624	598	600
perspulp	GJ/ha	707	591	466	624	598	601
Allocatie naar ethanol							
teelt	%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
transport	%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
conversie	%	58%	57%	60%	58%	58%	59%
distributie	%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

* na correctie op koptarra, zie 2.3.3

3.1.2. Emissiereducties van broeikasgassen

Bij de berekening van de emissiereductie van broeikasgassen wordt rekening gehouden met de allocatie van broeikasgassen naar de nevenproducten perspulp en vinasse op basis van LHV-waarde van deze nevenproducten. De berekende allocatie naar ethanol ligt op 58% (zie Tabel 15). Dat betekent dat van de broeikasgasemissie tijdens teelt, transport van bieten naar de fabriek en verwerking in de fabriek 58% toegerekend is aan de ethanol.

De emissiereducties zijn opgenomen in Tabel 16. Daaruit blijkt dat de reductie voldoet aan de minimale norm zoals opgesteld door de Commissie Cramer (30% reductie). Zelfs aan de reductie die voor de lang termijn als doelstelling is geformuleerd (50%) wordt door de cijfers in Tabel 16 invulling gegeven.



Tabel 16. Berekende emissiereducties bij ethanol productie uit suikerbieten t.o.v. benzine.

Locatie	jaar	emissiereductie (%)	
		Vergelijking [7]	Vergelijking [8]
Westmaas	2005	64,6%	67,4%
	2006	60,9%	64,0%
	2007	58,2%	61,5%
	gemiddeld	61,2%	64,3%
Valthermond	2005	54,5%	58,1%
	2006	59,4%	62,7%
	2007	62,2%	65,2%
	gemiddeld	58,7%	62,0%

3.2 Behoud ondergrondse koolstof reservoirs bij aanleg (criterium 2.2) en ‘best practices’ behoud bodem en bodemkwaliteit (criterium 5.2)

Het verloop van de BOS over een tijdsperiode van 50 jaar voor de intensieve en de extensieve rotaties voor Westmaas is weergegeven in figuur 1a en voor Valthermond in figuur 1b. We gaan ervan uit dat bij de teelt van suikerbiet voor ethanol de teeltfrequentie toeneemt, bij Westmaas van 1:8 naar 1:4 en in Valthermond van 1:6 naar 1:4. De BOS uitgangssituatie voor beide frequenties is gelijk en gebaseerd op gegevens van beide bedrijven. Het effect op BOS is dan het verschil tussen deze twee teeltintensiteiten. We zien in beide gevallen dat de hoeveelheid organische stof in de bodem afneemt, ook bij de lage frequenties van suikerbiet. Dat betekent dat de hoeveelheid effectieve organische stof die jaarlijks aan de bodem wordt toegevoegd, niet voldoende is om de BOS op lange termijn op peil te houden. Dit kunnen we redelijkerwijs niet toeschrijven aan productie van bio-ethanol.

Uit Figuur 1 (a en b) blijkt dat het verschil in BOS betrokken op het totale organische stofgehalte in de bodem tussen een intensieve en een extensieve rotatie beperkt is. Het berekende verschil tussen een 1:8 en een 1:4 rotatie is in Westmaas 380 kg organische stof over de eerste 16 jaar ofwel 2 volledige rotaties. Dit is ca 0.5 % van de initieel aanwezige organische stof (66.000 kg) ofwel 0,13 g/kg grond. Voor Valthermond zijn deze getallen respectievelijk 0,06% en 0.06 g/kg grond. Deze kleine verschillen zijn in de praktijk niet te meten en valt ook binnen de nauwkeurigheid van de parameterschattingen.

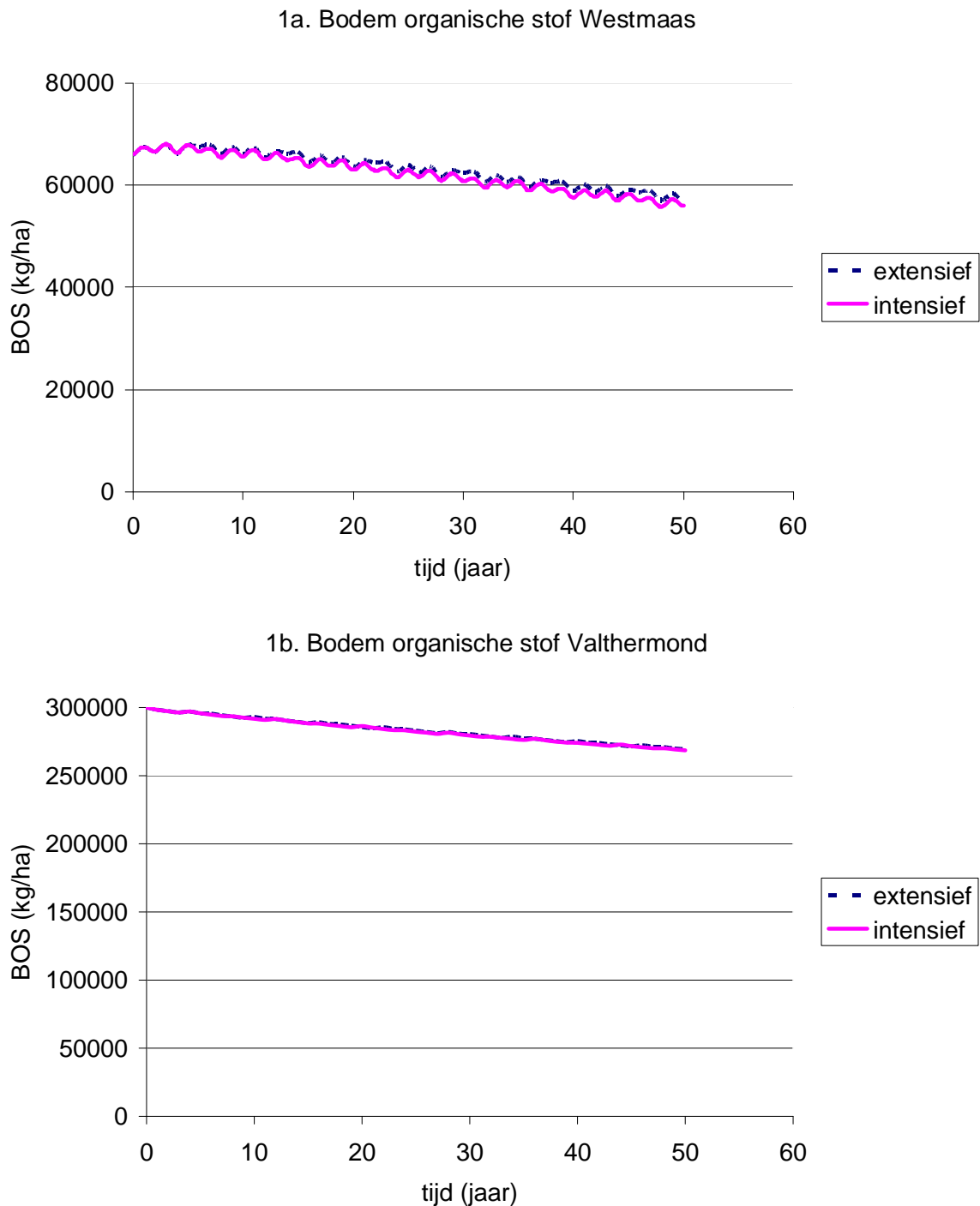
In Westmaas, met een BOS van 2,2%, wordt korrelmaïs in de 1:8 rotatie door suikerbiet vervangen. Met korrelmaïs wordt circa 1000 kg e.o.s. meer toegevoegd aan de bodem dan met suikerbiet. Op de langere termijn zal het verschil naar een evenwicht toegaan en heeft de extensieve rotatie een iets hogere BOS dan de intensieve.

In Valthermond, met een BOS van 10%, vervangt suikerbiet zomergerst en dat voegt 400 kg e.o.s. meer aan de rotatie toe. Dit verschil is minimaal en op termijn zal het een zeer kleine verhoging van BOS geven.

De ademhaling in kg CO₂/ha is berekend uit de afbraak van organisch materiaal. In Westmaas is het verschil in CO₂ uitstoot over de periode van de 2 rotaties gemiddeld 45 kg CO₂/ha en in Valthermond is dit 25 kg CO₂/ha. Ook deze verschillen zijn erg klein vergeleken met de totale bodemademhaling, slechts 0,5-0.8%.



Het nutriëntenmanagement van de suikerbietenteelten in Valthermond en Westmaas is uitgevoerd binnen de bestaande nationale mestregelgeving waarmee voldaan is aan het relevante criteria gerubriceerd onder de principe 5 van het toetsingskader.



Figuur 1. Verloop van het BOS in de tijd voor rotaties met veel en weinig suikerbieten in Westmaas (1a) en Valthermond (1b).



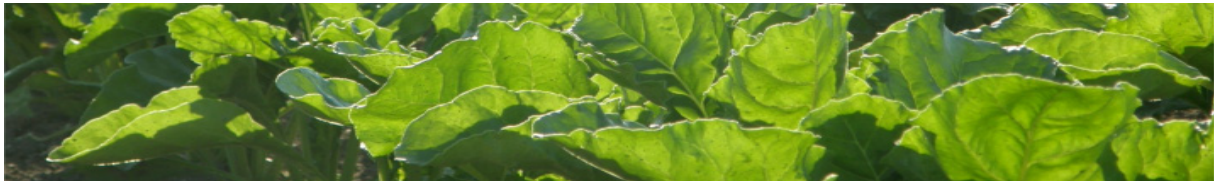
3.3 'Best practices' beperking watergebruik, behoud en verbetering grond- en oppervlaktewaterkwaliteit (criterium 6.2)

Het gebruik van beregenen tijdens de teelt van suikerbieten is beperkt als gevolg van de diepe beworteling van dit gewas. Alleen in Westmaas is één keer beregend in 2007 om de jeugdfase van de bieten te ondersteunen. In deze fase kan droogte tot groeivertraging leiden. De kwaliteit van grond- en oppervlaktewater staat in Nederland in belangrijke mate in verband met emissies van vooral nutriënten en in beperkte mate van bestrijdingsmiddelen. Wat betreft het gebruik van deze hulpstoffen is gehandeld conform de best denkbare praktijk in deze situaties. Zoals eerder aangegeven zijn alle handelingen uitgevoerd conform de vigerende wet/ en regelgeving. Daarmee wordt er van uitgegaan dat de waterkwaliteit zo goed als mogelijk gewaarborgd is.

Tabel 17. Aantal keren dat de toepassing van gewasbeschermingsmiddelen in de suikerbietenteelt milieurisico's opleverde.

		Aantal	Aantal keren met risico voor:						
		Toepassingen	Grondwater		Bodemleven		Waterleven		
		pesticiden	Enig risico	Groot risico	Enig risico	Groot risico	Enig risico	Groot risico	
Westmaas 2005	herbiciden	4	4	0	0	0	0	0	0
	fungiciden	2	0	0	0	0	0	0	0
	insecticiden	1	1	0	0	0	0	0	0
Westmaas 2006	herbiciden	5	4	0	0	0	0	1	0
	fungiciden	0	-	-	-	-	-	-	-
	insecticiden	1	1	0	0	0	0	0	0
Westmaas 2007	herbiciden	6	5	0	0	0	0	1	0
	fungiciden	2	0	0	0	0	0	0	0
	insecticiden	1	1	0	0	0	0	0	0
Valthermond 2005	herbiciden	6	0	0	0	0	0	0	0
	fungiciden	2	0	0	0	0	0	0	0
	insecticiden	0	-	-	-	-	-	-	-
Valthermond 2006	herbiciden	6	0	0	0	0	0	1	0
	fungiciden	2	0	0	0	0	0	0	0
	insecticiden	0	-	-	-	-	-	-	-
Valthermond 2007	herbiciden	6	0	0	0	0	0	0	0
	fungiciden	2	0	0	0	0	0	0	0
	insecticiden	0	-	-	-	-	-	-	-

Bij het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen is op beide praktijkbedrijven voldaan aan de relevante nationale regels en wetten. Niettemin verschillen de toegelaten middelen in de mate waarin ze schade aan het milieu kunnen toebrengen. De milieumeetlat van CLM wordt veel gebruikt om deze risico's aan te geven. De milieumeetlat geeft met behulp van MBP's (Milieu Belastings Punten) aan of er milieurisico's zijn voor het grondwater, het bodemleven en het waterleven. Er wordt gewerkt met de volgende klassen:



- verwaarloosbaar of gering risico (0-10 MBP voor waterleven en 0-100 MBP voor bodemleven en grondwater),
- enig risico (10-100 voor waterleven en 100-1000 voor bodemleven en grondwater)
- groot risico (>100 voor waterleven en >1000 voor bodemleven en grondwater)

Toepassing van de milieumeetlat op de tijdens de teelt gebruikte gewasbeschermingsmiddelen stelt ons in staat om in detail te kijken welke milieurisico's zich in Westmaas en in Valthermond hebben voorgedaan (Tabel 17).

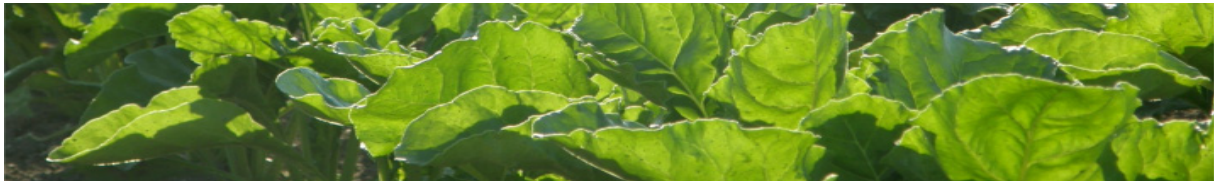
Uit Tabel 17 blijkt dat er in Westmaas bij vrijwel elke bespuiting met herbiciden sprake was van risico voor het grondwater. In Valthermond was hiervan geen sprake vanwege het hogere organische stofgehalte van de grond. Van risico was met name sprake tijdens bespuitingen met Pyramin (chloridazon) voor opkomst en (de meeste) na-opkomst bespuitingen. Dit risico is groter naarmate het organische stofgehalte van de grond lager is. Met name bij een organisch stofgehalte van minder dan 1.5 % kunnen zich deze risico's voordoen. Bij de insecticiden is er een milieurisico voor het grondwater wanneer er Gaucho pillenzaad gebruikt wordt. Dit was in Westmaas het geval. In Valthermond werd milder ('standaard') pillenzaad gebruikt. Een alternatief voor Gaucho pillenzaad is Cruiser pillenzaad, wat geen risico voor het grondwater met zich mee brengt. Toepassing van fungiciden heeft niet tot overlast geleid voor het milieu. Wanneer Allegro gebruikt zou zijn dan zou er wel sprake geweest zijn van een risico voor het grondwater, zelfs in Valthermond. Om deze reden is dit middel op de praktijkbedrijven niet in gebruik.

3.4 Inzicht in verandering landgebruik (criterium 3.1)

Het areaal suikerbieten bedroeg in 2006 83.000 ha. Dit komt overeen met 10,6 % in van het totale areaal aan akkerbouwgewassen (inclusief snijmais) (IRS, 2007) en 4,3% van de totale oppervlakte cultuurgrond. Er van uitgaande dat suikerbieten goed geteeld kunnen worden in een rotatie van 1 op 4 dan zou dit betekenen dat op maximaal 25% van het akkerbouwareaal suikerbieten zouden kunnen staan. Het akkerbouwareaal in Nederland bedroeg in 2006 782.000 ha, zodat er theoretisch ruimte zou zijn voor ca. 195.000 ha. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat 25% bieten niet mogelijk is op de bedrijven die daarnaast ook koolzaad telen omdat deze twee gewassen elkaar in de vruchtwisseling slecht verdragen. Dit areaal is echter slechts gering: 3400 ha. Indien hiervoor gecorrigeerd zou worden dan kan gesteld worden dat het theoretisch mogelijk is om in Nederland ca. 180.000 ha suikerbieten te telen. Dit zou eventueel meer kunnen zijn indien ook grasland omgezet wordt in suikerbieten, maar dit is niet overal mogelijk (veenweidegebieden). Bij een vergroting van het areaal suikerbieten met ca. 100.000 ha, moet verwacht worden dat dit vooral ten koste zal gaan van graszaad, granen en maïs en een aantal kleine gewassen met een laag financieel saldo. Het is niet te verwachten dat de uitbreiding ten koste zal gaan van aardappelen en uien. De saldi van deze gewassen zijn daarvoor gemiddeld over de jaren te hoog.

3.5 Energieverbruik en efficiëntie

De berekende waarden voor energieverbruik tijdens de teelt, het transport van bieten (plus tarra) naar de fabriek, de omzetting (conversie) naar ethanol (en de nevenproducten vinasse en persulp) en de distributie van de ethanol naar de afnemers worden gegeven in de Tabellen 18 (energiebehoefte uitgedrukt per hectare suikerbiet) en 20 (energiebehoefte per ton geproduceerde ethanol). Bij deze cijfers is geen rekening gehouden met allocatie. Het betreft hier steeds het totale energieverbruik in de keten.

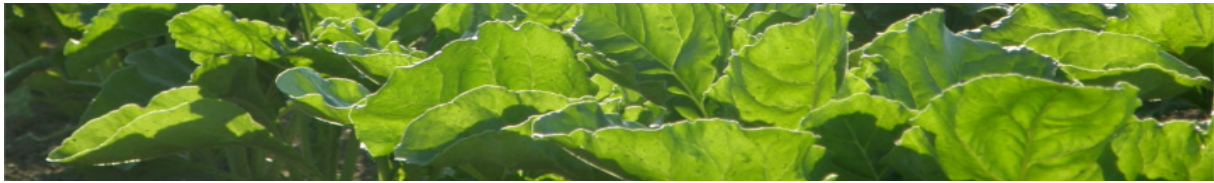


Tabel 18. Energieverbruik (GJ/ha) over de gehele keten voor de productie van ethanol uit suikerbieten uitgedrukt per ha.

locatie	jaar	fase				Totaal
		teelt	transport	conversie	distributie	
Westmaas	2005	14	11	119	1	145
	2006	15	9	100	1	124
	2007	18	7	79	1	104
	gemiddeld	16	9	99	1	124
	gemiddeld (%)	12,7%	6,9%	79,9%	0,5%	
Valthermond	2005	19	9	106	1	135
	2006	15	9	101	1	125
	2007	14	8	102	1	125
	gemiddeld	16	9	103	1	128
	gemiddeld (%)	12,5%	7,0%	80,0%	0,55%	

Het totale energieverbruik varieerde van 100 tot 145 GJ per ha, oftewel 19 tot 21 GJ/ton ethanol. Het energieverbruik tijdens de teelt heeft een aandeel van circa 12% in de gehele keten. Tijdens de teelt wordt het energieverbruik (direct plus indirect) beheerst door het energieverbruik gekoppeld aan de stikstofbemesting en het dieselverbruik bij de diverse bewerkingen (zie Tabel 19).

Het energieverbruik als gevolg van de productie van kunstmeststof bedroeg in Westmaas 38-43% van het totale verbruik tijdens de teelt. Op Valthermond was dat 10-14%. Indien rekening gehouden wordt met de stikstof in dierlijke mest en het energieverbruik tijdens de productie gelijk geschakeld wordt aan dat van kunstmest, dan stijgt het aandeel van stikstofbemesting op Valthermond naar 45-60%. Het energieverbruik als gevolg van de bewerkingen (en dus het verbruik van diesel) varieerde tijdens de teeltfase van 56 tot 61% in Westmaas en van 39 tot 53% in Valthermond. In de totale keten ligt het accent van het energieverbruik op het conversieproces in de fabriek. Dit is volledig gebaseerd op gegevens van Mortimer *et al.* (2004).



Tabel 19. Energieverbruik (MJ/ha) tijdens de teelt van suikerbieten.

Onderdeel	Aanduiding	Westmaas			Valthermond		
		2005	2006	2007	2005	2006	2007
inputs	zaaizaad	107	107	107	107	107	107
	N kunstmest	5.616	6.000	5.800	2.240	1.100	1.100
	P2O5 kunstmest	393	0	363	0	0	0
	K2O kunstmest	0	600	600	374	374	301
	N dierlijke mest	0	0	0	7.488	4.429	4.429
	P2O5 dierlijke	0	0	0	568	321	321
	K2O dierlijke mest	0	0	0	936	408	408
	Totaal	6.115	6.707	6.870	11.712	6.738	6.666
	bewerkingen	Ploegen klei	1.517	1.517	1.517	0	0
Ploegen zand		0	0	0	995	995	995
Zaibed maken 3m klei		548	548	1.097	0	0	0
Zaibed maken 3m zand		0	0	0	196	196	196
zaaien 12 rijg		255	255	255	255	255	255
schoffelen klei		0	166	166	0	0	0
schoffelen zand		0	0	0	166	166	166
aanaarden, klei		0	0	0	0	0	0
aanaarden, zand		0	0	0	344	344	344
Transport dierlijke mest		0	0	0	319	319	319
Uitrijden dierlijke mest		0	0	0	510	510	510
Kunstmest strooien		153	230	306	153	230	230
sputten 24 m		459	383	612	612	689	689
beregenen		0	0	1.466	0	0	0
bunkerrooier, klei		2.070	2.070	2.070	0	0	0
bunkerrooier, zand		0	0	0	1.488	1.488	1.488
Cultiveren vaste tand, klei		608	1.216	1.216	0	0	0
Cultiveren vaste tand, zand		0	0	0	340	340	340
Productie machines		2.245	2.245	2.245	2.245	2.245	2.245
Totaal		7.855	8.629	10.949	7.621	7.774	7.774
Totaal teelt		13.970	15.335	17.819	19.333	14.512	14.440

Tabel 20. Energieverbruik (GJ) over de gehele keten per ton ethanol.

locatie	jaar	fase				Totaal
		teelt	transport	conversie	distributie	
Westmaas	2005	1,9	1,4	16,4	0,1	19,9
	2006	2,6	1,4	16,9	0,1	21,1
	2007	3,4	1,3	15,3	0,1	20,2
	gemiddeld	2,7	1,4	16,2	0,1	20,4
	gemiddeld (%)	13,1%	6,9%	79,5%	0,5%	
Valthermond	2005	3,0	1,5	16,4	0,1	20,9
	2006	2,4	1,4	16,6	0,1	20,5
	2007	2,2	1,3	15,5	0,1	19,0
	gemiddeld	2,5	1,4	16,2	0,1	20,2
	gemiddeld (%)	12,5%	6,9%	80,1%	0,5%	



De energie-efficiëntie van de suikerbiet-ethanol keten wordt berekend als het quotiënt van de energie inhoud van de geproduceerde ethanol en de hiervoor gebruikte en gealloceerde energie. De productie van ethanol per ha varieerde tussen 4,9 and 6,8 ton per ha. Bij een energie-inhoud van 26,7 MJ/kg, is in de keten 131 respectievelijk 182 GJ per ha geproduceerd. De hoeveelheid energie per ha die gealloceerd kan worden naar de ethanol bedraagt 63 tot 84 GJ/ha. De efficiëntie van de verschillende jaren en locaties is weergegeven in Tabel 21 en varieerde tussen 2,2 en 2,4 waarbij een verschil tussen de locaties nauwelijks aanwezig was.

Tabel 21. Berekende energie-efficiëntie van de ethanolproductie op basis van suikerbieten.

Locatie	Jaar	Energie-efficiëntie
Westmaas	2005	2,31
	2006	2,21
	2007	2,21
	Gemiddeld	2,24
Valthermond	2005	2,19
	2006	2,25
	2007	2,35
	Gemiddeld	2,26





4. Discussie

4.1 Duurzaamheid

De duurzaamheid van de suikerbiet-ethanol keten zoals hier berekend scoort goed bij de criteria die in ogenschouw zijn genomen. De reductie van broeikasgasemissie voldoet aan de norm van 30%. Een intensiever teelt van suikerbieten in beide teeltgebieden heeft geen betekenisvolle invloed op de C-voorraad in de bodem noch op het milieu. De energiebalans is positief.

4.1.1 Broeikasgasemissies

De reductie aan broeikasgassen met als referentie het verbruik van een liter benzine varieerde tussen de 58 en 67%, waarbij er slechts een gering gemiddelde verschil was tussen de zandgrond (62%) en de kleigrond (64%).

De gealloceerde broeikasgasemissie per ton geproduceerde ethanol varieerde van 817 tot 1052 kg CO₂ eq. Om een vergelijking te maken met cijfers van ElSayed et al (2003) zijn deze getallen uitgedrukt per MJ ethanol (Tabel 22). ElSayed *et al.* (2004) kwamen voor ethanol uit suikerbieten uit op 0,040 kg CO₂ eq/MJ. Onze cijfers liggen in vergelijking hiermee gunstiger. Dit komt deels voort uit hogere bietenopbrengsten en een gunstiger keuze van het energieverbruik tijdens de conversie (keuze conversiemodel) die samenhangt met de Nederlandse technologie.

Tabel 22. Broeikasgasemissie per MJ ethanol uit suikerbieten.

Locatie	Jaar	Kg CO ₂ eq/MJ ethanol
Westmaas	2005	0,038
	2006	0,040
	2007	0,044
Valthermond	2005	0,047
	2006	0,041
	2007	0,037

Blotnitz & Curran (2006) publiceerden van verschillende bio-ethanol productieprocessen de landgebruiks-efficiëntie als de vervangen hoeveelheid fossiele energie per ha (GJ/ha). Op basis van onze cijfers is een dergelijk kengetal eveneens berekend (Tabel 20). Hierin is de hoeveelheid geproduceerde ethanol omgezet naar benzine door een dichtheid van 0,79 kg/l ethanol, de vervangingsratio van 1,32 (l ethanol/l benzine) en een energie-inhoud van benzine van 32,4 MJ/l te hanteren. Uit de cijfers van Tabel 23 en een vergelijking met gegevens van Blotnitz & Curran (2006) blijkt dat onze cijfers hoger liggen dan suikerbieten in Groot-Brittannië (maximaal 150 GJ/ha) en kunnen concurreren met Braziliaanse suikerriet (maximaal 200 GJ/ha).

Tabel 23. Vervangen hoeveelheid benzine (GJ/ha) door ethanolproductie uit suikerbieten.

Locatie	Jaar	Vervangen benzine (GJ/ha)
Westmaas	2005	226,0
	2006	183,3
	2007	160,6
Valthermond	2005	200,2
	2006	188,9
	2007	204,5



Echter, dit ligt anders indien we de broeikasgasemissie per t ethanol uit onze studie vergelijken met het cijfer dat Macedo et al (2004) publiceerden voor Braziliaanse ethanol. Deze auteurs berekenden een emissie van 505 kg CO₂ eq per t ethanol terwijl onze cijfers hoger uitkomen: 817-1052 kg CO₂ eq/t ethanol. Het is lastig om deze cijfers op een correcte wijze te vergelijken, omdat daarvoor een analyse nodig is van de berekeningswijze. Macedo et al (2004) gingen bijvoorbeeld uit van 75 kg N per ha met een lachgasemissie van 1,76 kg N₂O/ha,jaar, oftewel 0,023 kg N₂O per gegeven kg N. Onze N-gift varieerde van 138-243 kg N/ha (kunstmest plus dierlijke mest) met een lachgasproductie van 6,9 tot 11,7 kg N₂O/ha/jaar. Dit komt neer op 0,047 – 0,065 kg N₂O per gegeven kg N. Dit ligt aanzienlijk hoger. Het is onduidelijk op welke wijze Macedo et al (2004) de lachgasemissie hebben berekend.

Quirin *et al.* (2004) publiceerden in 2004 onder andere de hoeveelheid besparing aan CO₂ equivalenten die met verschillende biotransportbrandstoffen werden bereikt. Hierbij werd aangegeven dat ethanol van suikerbieten 3,5-11 ton CO₂ equivalenten per ha bespaarde. Voor tarwe lag dit cijfer tussen de 1 en de 4 ton/ha en bij suikerriet zelfs tussen de 10 en 16 ton CO₂ equivalenten/ha. De berekening in Tabel 24 gaat uit van de broeikasgasemissie die hoort bij een hoeveelheid benzine die vervangen wordt door de geproduceerde ethanol. De berekening houdt rekening met de broeikasgasemissie die nodig was om de ethanol te produceren. De bespaarde hoeveelheid CO₂ equivalenten varieert dan tussen 5,6 en 8,9 ton CO₂ equivalenten per ha. Uit deze cijfers blijkt dat de Nederlandse suikerbietenteelt aan de bovenkant zit van het bereik aan besparingen zoals Quirin *et al.* (2004) die berekend heeft op basis van de geraadpleegde bronnen.

Schmitz (2003) geeft in een Duitse studie een broeikasgasemissie van circa 9 ton CO₂ equivalenten per ha aan voor suikerbieten. Onze cijfers (zonder rekening te houden met allocatie naar persulp en vinasse) variëren van 8,3 tot 11,6 ton CO₂ eq/ha en zijn dus met de Duitse cijfers vergelijkbaar. De besparing van broeikasgassen komen in de Duitse studie uit op 3-4 ton per ha, terwijl onze cijfers hoger liggen (Tabel 24). De reden hiervan is dat de Duitse cijfers vermoedelijk geen rekening houden met allocatie.

Tabel 24. Ton CO₂ eq per ha bespaard door ethanolproductie uit suikerbiet.

	Westmaas			Valthermond		
	2005	2006	2007	2005	2006	2007
productie ethanol: t CO ₂ emissie /ha	5,9	5,3	5,0	6,8	5,7	5,8
liter ethanol productie/ha	7470	6339	5353	6830	6524	7401
vervangen liters benzine/ha	5659	4803	4055	5174	4942	5607
ton CO ₂ eq emissie benzine/ha	14,8	12,6	10,6	13,6	12,9	14,7
besparing (ton CO ₂ eq/ha)	8,9	7,2	5,6	6,8	7,2	8,9

4.1.2 Behoud bodem en bodemkwaliteit

Dit criterium is ingevuld met berekening van de verandering in bodem organische stof als gevolg van intensivering van de suikerbietenteelt. Het geschetste verloop van BOS op beide locaties geldt voor het langdurig volhouden van deze specifieke rotaties op dezelfde manier. In de praktijk vinden er op gezette tijden onder invloed van allerlei omstandigheden (prijsontwikkelingen, regelgeving, technologische ontwikkelingen, preferentie boeren) veranderingen plaats, zowel in teeltwijze als in gewassenkeuze en toevoeging van organische meststoffen. Dat zal het verloop van BOS zeker beïnvloeden. Dit leidt tot de conclusie dat er geen extra achteruitgang van BOS te verwachten is als de teelt van suikerbieten geïntensiveerd wordt onder de beschreven omstandigheden en rotaties in Westmaas en Valthermond.

Op praktijkbedrijven wordt vaak een ander gewas vervangen dan bijvoorbeeld korrelmaïs (sectie 3.1.1). Het verschil tussen de EOS van suikerbieten en het te vervangen gewas bepaalt het effect op BOS van



intensivering van de suikerbietenteelt. We kunnen concluderen dat het verschil behoorlijk groot moet zijn wil het een aantoonbaar effect op BOS hebben.

Het is de vraag hoe hier rekening mee gehouden kan worden bij invulling van het criterium in het toetsingskader, namelijk geen verandering in BOS. In beide gevallen die hier beschreven worden is het effect van de huidige landbouwpraktijk, waarbij jaarlijks niet voldoende organische stof wordt toegevoegd om BOS op peil te houden groter dan het effect van verhoging van de frequentie van suikerbieten. Daar staat tegenover dat door teeltmaatregelen extra organische stof kan worden toegevoegd om BOS op peil te houden. In het geval van de rotaties met meer bieten, moet de extra hoeveelheid effectief organisch materiaal dan iets hoger zijn. De benodigde hoeveelheid en soort organische stof kan met hetzelfde model berekend worden, mits parameterwaarden voorhanden zijn.

Uit deze exercitie blijkt dat er over het criterium dat de BOS behouden moet blijven beter in te vullen is dan met alleen een rapportage. Er blijven wel enige vraagpunten over het vaststellen van de uitgangspunten.

4.1.3 Behoud grond- en oppervlaktewaterkwaliteit

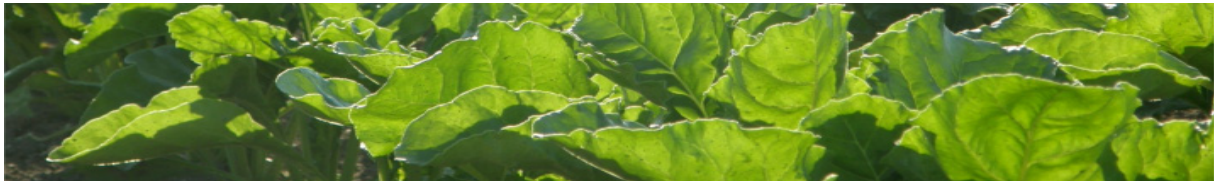
Wanneer op Westmaas (en in het gebied waarvoor dit praktijkbedrijf representatief is) de suikerbietenteelt geïntensiveerd zou worden door de 1 op 8 teelt te vervangen door de 1 op 4 teelt dan worden de risico's voor het milieu (grondwater) licht groter. In korrelmaïs worden immers alleen herbiciden toegepast. Aan de toepassing van de herbiciden die in Westmaas worden gebruikt (Callisto, Dual Gold, Maister) zijn geen milieurisico's verbonden. Vervanging van korrelmaïs door suikerbieten leidt in de situatie van het praktijkbedrijf te Westmaas dus tot een beperkte verhoging van het milieurisico.

Op praktijkbedrijven in het zuidwesten zullen echter ook andere gewassen vervangen moeten worden bij een verhoging van de teeltfrequentie van suikerbieten, bijvoorbeeld graszaad, wintertarwe of zomergerst en in sommige gevallen ook zaaiuien. Indien zaaiuien vervangen worden door suikerbieten, leidt dit tot een vermindering van de milieurisico's. Bij zaaiuien geven de bespuitingen met kiemremmers (MH) en de bespuitingen met fungiciden (mancozeb, Acrobat, Kenbyo, Daconil 500, Fubol Gold) minstens evenveel risico voor het grondwater als bij suikerbieten. Indien graszaad vervangen wordt door suikerbieten leidt dit eveneens tot minder risico's voor het milieu. In graszaad worden bij de onkruidbestrijding middelen gebruikt waarbij er (groot) risico is voor het grondwater (ethofumesaat, MCPA, Certrol, Basagran).

Bij vervanging van wintertarwe door suikerbieten nemen de milieurisico's af. In Westmaas wordt zowel in het najaar als in het voorjaar met herbiciden gespoten die risico's met zich meebrengen voor het grondwater of voor het waterleven (grote risico's bij de toepassing van isoproturon en/of Javelin in het najaar en risico's bij de meeste middelen die in het voorjaar worden gebruikt zoals Verigal). Daarnaast worden ook fungiciden gebruikt die een risico betekenen voor het grondwater en/of het waterleven (Allegra en Matador). Bij vervanging van zomergerst door suikerbieten zullen de milieurisico's licht toenemen. In zomergerst zal minder vaak (1 à 2 keer) een bespuiting met risico voor het grondwater of het waterleven nodig zijn dan in suikerbieten (3-5 keer).

Voor het zuidwestelijk zeeleigebied kan verwacht worden dat een toename van het suikerbietenareaal ten koste van het areaal zaaiuien, graszaad en wintertarwe niet nadelig is voor de milieubelasting met gewasbeschermingsmiddelen. Dit is wel het geval indien de uitbreiding ten koste zou gaan van het areaal zomergerst.

Voor Valthermond geldt dat de milieubelasting van de suikerbietenteelt gering is. Een intensievere teelt van suikerbieten (1 op 4 in plaats van 1 op 6) betekent daar dat er gemiddeld over de jaren minder zomergerst geteeld zal worden: 3 keer in 12 jaar in plaats van 4 keer in 12 jaar. Voor de milieubelasting maakt dit vrijwel geen verschil. Ook in zomergerst leverde het gebruik van pesticiden op Valthermond geen risico's op voor het milieu (herbiciden: Ally, MCPA en Starane; fungiciden: Acanto/Tilt en Fandango).



Voor de dalgronden zal de situatie vergelijkbaar zijn met die op Valthermond. Ook als de uitbreiding van suikerbieten ten koste gaat van de teelt van snijmaïs of korrelmaïs zal dit wat betreft de milieubelasting met pesticiden geen verschil uit maken. Voor de zandgronden is er wel een verschil. Het organische stofgehalte van de grond is daar lager. Op gronden met een lager organisch stofgehalte dan 3% zal het risico voor het grondwater toenemen als de uitbreiding van het suikerbietenareaal ten koste gaat van het areaal zomergerst of maïs. Van de noordelijke zandgronden zal echter slechts een gering gedeelte een lager organische stofgehalte hebben dan 3%.

4.1.4 Verandering landgebruik en verdringing

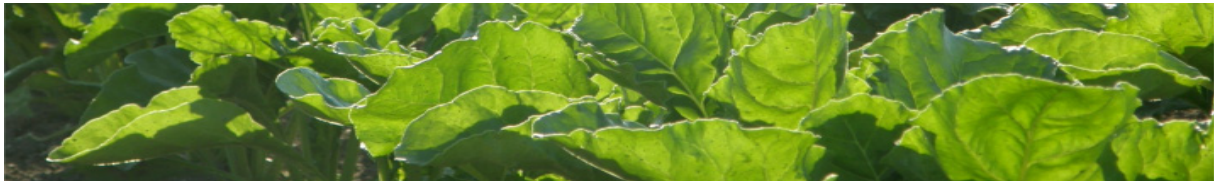
Eén van de belangrijkste factoren bij de duurzaamheid van biomassa ten behoeve van de productie van bio-energie is het effect van verdringing: concurrentie met voedsel en natuur. In Nederland is theoretisch ruimte voor 180.000 ha suikerbieten. Omdat op dit moment circa 80.000 ha suikerbieten voor suikerproductie worden geproduceerd, zou dit dus een ruimte laten van 100.000 ha. Daarmee zou circa 630 miljoen liter ethanol kunnen worden geproduceerd hetgeen 480 miljoen liter benzine zou kunnen vervangen. Omdat het Nederlandse akkerbouwareaal niet zal toenemen, zal dit ten kosten gaan van andere gewassen, zoals graszaad, granen en maïs. Dit zal gecompenseerd moeten worden door hogere opbrengsten per ha dan wel door in cultuur nemen van braakliggende gronden. Voor 100.000 ha zal dit uiteraard geen probleem vormen, zonder dat duidelijk is bij welke grens dat wel het geval zou zijn. Ter relativering zij aangegeven dat het areaal suikerbieten in Nederland aanzienlijk hoger heeft gelegen (140.000 ha) dan nu het geval is.

4.2 Energie-efficiëntie

Tabel 21 liet zien dat de energie-efficiëntie (Energy Ratio) op basis van onze berekeningen varieerde tussen 2,2 en 2,4. Gnansounou & Dauriat (2005) geven een overzicht van de energie-efficiëntie van bio-ethanol suikerbieten van verschillende andere auteurs. De spreiding van de 'energy-ratio' gaat van 1,18 naar 2,50 (7 bronnen). Onze cijfers liggen volledig in dit bereik en wel aan de bovenkant hiervan. Uit Tabel 18 blijkt dat slechts 12-13% van de benodigde energie zijn oorsprong vindt in de teeltfase. De belangrijkste energievragende fase is die van de conversie.

In onze berekeningen varieert het energieverbruik tussen de 19-21 GJ per ton bioethanol, zonder rekening te houden met allocatie (Tabel 18).

Bij Mortimer et al (2004) ligt het energieverbruik rekening houdend met model 4a op 18,1 MJ/ton. Het aan de ethanolproductie gealloceerde energieverbruik ligt in onze cijfers (11,4 – 12,2 GJ/t bioethanol) lager dan bij Mortimer (Tabel 23). De reden hiervan is de hogere suikeropbrengst in onze data vergeleken met het getal waar Mortimer *et al.* (2004) mee rekenen: 52 ton schone biet bij 15,5% suiker en 3,9 ton bioethanol/ha. Elsayed *et al.* (2003) kwamen uit op 13,2 GJ/ton bioethanol.



Tabel 23. Energieverbruik (GJ) over de gehele keten per ton ethanol, rekening houdend met allocatie.

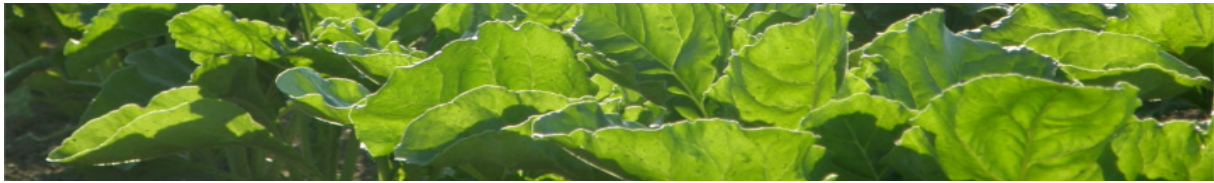
locatie	jaar	fase				Totaal
		teelt	transport	conversie	distributie	
Westmaas	2005	1,1	0,8	9,5	0,1	11,6
	2006	1,5	0,8	9,7	0,1	12,1
	2007	2,1	0,8	9,1	0,1	12,1
	gemiddeld	1,6	0,8	9,4	0,1	11,9
	gemiddeld (%)	13,03%	6,88%	79,17%	0,93%	
Valthermond	2005	1,7	0,8	9,5	0,1	12,2
	2006	1,4	0,8	9,6	0,1	11,9
	2007	1,3	0,8	9,2	0,1	11,4
	gemiddeld	1,5	0,8	9,4	0,1	11,8
	gemiddeld (%)	12,47%	6,84%	79,75%	0,94%	

Schmitz (2003) geeft een overzicht over het energieverbruik per l geproduceerde bioethanol uit suikerbieten. Gegevens van het bedrijf Südzucker varieerden hierbij tussen 15 en 20 MJ/l ethanol. Onze gegeven variëren tussen 14,7 en 16,1 MJ/l, hetgeen vergelijkbaar is met de Duitse cijfers.

4.3 Onzekerheden

De berekeningen van de broeikasgasemissie bevatten een aantal onzekerheden, die voor verbetering in aanmerking komen:

- de lachgasproductie per ha is met grote onzekerheid omgeven als gevolg van een aantal aannames:
 - de stikstof mineralisatie is vastgezet op een arbitrair getal voor zowel de zand- als de kleilocatie.
 - de hoeveelheid stikstof in het loof plus de koppen die achterblijven op het land berust evenmin op waarnemingen.
 - er is onvoldoende kennis van de invloed van teeltmaatregelen en omstandigheden op de hoeveelheid lachgasemissie verbonden aan het proces van denitrificatie in de bodem.
- De broeikasgasemissie verbonden aan de productie van dierlijke mest is gelijkgesteld aan die van kunstmest. Berekeningen voor de emissie die aan dierlijke mest moet worden toegekend, zijn niet beschikbaar. Ditzelfde geldt voor digestaat dat met toename van vergistingsinstallaties meer gebruikt zal gaan worden.
- De broeikasgasemissie tijdens het conversieproces is niet gebaseerd op Nederlandse ervaring ter zake, maar gebaseerd op getallen uit de literatuur. Hierbij is een relatief gunstige waarde gebruikt (model 4a van Mortimer *et al.*, 2004)
- De allocatie van circa 60% tijdens de conversiefase heeft een grote invloed op het resultaat, maar is niet gebaseerd op waarnemingen en daardoor onvoldoende "stevig". Alternatieve benaderingen alloceren energieverbruik (met name tijdens de conversie) op andere gronden (b.v. economische waarde, of verdringingswaarden in andere ketens). De op deze manier berekende waarden (tot 75% van de energie allocerend aan ethanol) liggen aanzienlijk hoger dan de bij ons gebruikte 60%. Indien wij uit zouden gaan van een 10% hogere allocatie, dan zou het gealloceerde energieverbruik per t ethanol stijgen van 11,4-12,2 (Tabel 23) naar 13,2-14,2 GJ per t ethanol. Wat betreft de reductie aan broeikasgasemissie zou de bandbreedte uit Tabel 16 van 55-65% (gebruik maken van vergelijking [7]) dalen naar 47-59%. De allocatie heeft dus een belangrijke invloed.



De gevoeligheid voor parameterwaarden bij de berekening van de bodem organische stof en de nauwkeurigheid waarmee deze geschat kunnen worden vraagt verdere uitwerking. De werking van het model, met name nauwkeurigheid en mate waarin het de verandering in BOS op de juiste wijze simuleert, wordt momenteel getest in door een werkgroep. De resultaten en conclusies hiervan bepalen mede de bruikbaarheid van dit instrument voor het toetsingskader duurzame productie van biomassa.

Verder moet opgemerkt worden dat de gegevens waarmee gerekend wordt voor de teelt van suikerbieten zoveel mogelijk op werkelijk gerealiseerde waarden gedurende 3 jaar zijn gebaseerd, maar niet alle gebruikte waarden voor de inputs zijn gebaseerd op waarnemingen. Dit geldt met name voor het dieselverbruik dat op kengetallen is gebaseerd. De gerealiseerde bietenopbrengsten zijn in ieder geval vergelijkbaar met wat in de regio gemiddeld is. In het zuidwestelijke kleigebied geeft de KWIN (2006) een opbrengst van 68 ton per ha aan en 63 ton per ha in het noordoostelijk zandgebied.

4.4 Perspectieven voor verbetering

Om de duurzaamheid van de ethanolproductie op basis van suikerbieten te verbeteren, is een aantal opties denkbaar:

1. *Verminderen lachgasemissie tijdens de teelt van biomassa*

De belangrijkste bron van broeikasgasemissie tijdens de teeltfase is de emissie van lachgas gerelateerd aan stikstofgiften. Tussen de 50 en 60% van de door ons berekende broeikasgasemissie komt op rekening van de lachgasemissie als gevolg van toepassing van stikstofmeststoffen. Maatregelen ter vermindering van de lachgasemissie worden gegeven door Kuikman *et al.* (2004). Daarnaast gaan Mosquera *et al.* (2007) in op de reductiemogelijkheden van het rijpadensysteem. In onze rekenmethodiek zijn alleen de stikstofgiften, netto mineralisatie en de grondsoort (met watertrap) beïnvloedende factoren bij de berekening van de lachgasemissie. In een vervolgstap zal daarom nagegaan moeten worden hoe verschillende maatregelen in de berekeningen opgenomen kunnen worden, zodat verbeterde teeltsystemen ook in de berekende lachgasemissie doorwerken. In onze berekeningen hebben we aannames gebruikt die nader bekeken moeten worden. Dat betreft de aanname dat dierlijke meststoffen (en digestaat) een vergelijkbare indirecte lachgasemissie hebben, dat de netto N-mineralisatie op klei 75 en op zand 125 kg per ha per jaar bedraagt en dat op alle percelen een zelfde productie van loof en koppen is gerealiseerd.

2. *Verminderen lachgasemissie tijdens productie van kunstmest*

In onze berekeningen maken we gebruik van een kengetal voor de lachgas en CO₂ emissie bij de productie van kunstmest. Bij N is dat 6,4 kg CO₂ eq per ha waarvan 4,4 kg CO₂ eq verbonden aan emissie van methaan en lachgas. Deze cijfers zijn gebaseerd op Mortimer *et al.* (2004). Deze cijfers zijn verouderd en de technische ontwikkelingen bij de productie van kunstmest hebben in een drastische verlaging van de broeikasgasemissie geresulteerd. Voor in Nederland geproduceerde kalkammonsalpeter kan aangenomen worden dat 50-100% (afhankelijk van de fabrikant) van de lachgas emissie inmiddels vermeden wordt door verbeterde technologie. Bij 100% vermindering zal in de teeltfase de broeikasgasemissie verminderen met 14-19%.

3. *Vergisten van bietenloof en -koppen*

Om het rendement van de bietenteelt, voor de productie van zowel ethanol als suiker, te verhogen, zou het interessant kunnen zijn om het bietenloof (blad en kop) als co-vergistingmateriaal te gebruiken in biovergistingsinstallaties. Er vanuit gaande dat een gemiddeld suikerbietengewas 35 ton bietenloof (vers) geogst kan worden die 93 m³ biogas per ton (KTBL, 2005) op kan leveren met een methaangehalte van



49,9% (KTBL, 2005), kan berekend worden dat de methaanopbrengst 1469 m³ per ha bedraagt. De energetische waarde van methaan bedraagt 35.9 MJ/m³. Dit betekent een bruto energieopbrengst van 52,7 GJ/ha. Hierop zal in mindering gebracht moeten worden de energie die nodig is voor het oogsten van het loof, de opslag, het transport naar de vergister en de energie die nodig is voor de vergister. De huidige oogsttechniek is er niet op gericht om het bietenloof te oogsten. Er zullen dus aanpassingen aan de machines nodig zijn. Ook het zo schoon mogelijk oogsten van het loof moet hierbij aandacht krijgen. Een ander punt is de inkuilbaarheid van het bietenloof. Beperking van de inkuilverliezen zal een belangrijk aandachtspunt moeten zijn.

Een bijkomend voordeel van afvoer van het bietenloof is dat de lachgasemissie van het suikerbietenperceel lager wordt. Dolfing *et al.* (2002) vonden op zandgrond een reductie van de emissie van lachgas van 0,9 kg N/ha tot 0,4 kgN/ha. Op klei was de reductie geringer: van 0,36 kgN/ha naar 0,29 kgN/ha.

De maatregel is mogelijk ongunstig voor het BOS indien het digestaat met effectieve organische stof (dikke fractie) niet terug wordt gevoerd naar het perceel. Het langjarig effect van deze maatregel op het BOS en het bodemleven zijn onbekend.

4.5 Conclusies

De duurzaamheid van de suikerbietethanol keten zoals hier berekend scoort goed op de criteria die in ogenschouw zijn genomen. De reductie van broeikasgasemissie voldoet aan de norm van 30%. Een intensiever teelt van suikerbieten in beide teeltgebieden heeft geen betekenisvolle invloed op de C-voorraad in de bodem noch op het milieu. De energiebalans is positief, met een netto-energieopbrengst van gemiddeld 76 GJ per ha gedurende 3 jaren op 2 proefbedrijven in Nederland. Hierbij moet worden opgemerkt dat relatief gunstige aannames zijn gebruikt (energieverbruik tijdens de conversiefase, allocatie van energieverbruik aan ethanol). Indien minder optimistische waarden zouden worden gebruikt liggen de resultaten minder gunstig maar nog steeds voldoende positief, Er is echter sprake van veel onzekerheden. Met name de berekeningen van de lachgasemissie, N-mineralisatie en parameters voor de bodem organische stof vragen een betere onderbouwing





5. Referenties

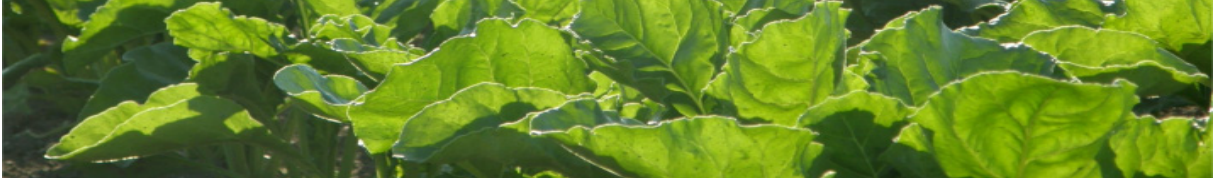
- Berge, H.F.M. ten, Dam A.M. van, Janssen, H.H. & Velthof G.L., 2007. Mestbeleid en bodemvruchtbaarheid in de Duin- en Bollenstreek. Advies van de CMD-werkgroep Mestbeleid en Bodemvruchtbaarheid in de Duin- en Bollenstreek, werkdocument 47, WOT (Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu), 75 p.
- Billins, P., J. Woods & R. Tipper, 2005. Developing carbon and greenhouse gas assurance for bioethanol production in the UK. London, HGCA, 41 p.
- Biofuels Research Advisory Council (2006). Biofuels in the European Union. A vision for 2030 and beyond. EUR 2066. 35 p.
- Blottnitz, H, von & M.A. Curran, 2006. A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life-cycle perspective. *Journal of Cleaner Production*, 2006.
- Born, P., 1994. CO₂-neutrale Energieträger aus Biomasse? *Brennstoff Wärme Kraft (BWK)*, 44, 271-274. \
- Bos, J., J. de Haan & W. Sukkel, 2006. Energieverbruik, broeikasgasemissies en koolstofopslag: de biologische en de gangbare landbouw vergeleken. *Plant Research International Rapport 140*. 75 p.
- Brentrup, F., J. Küsters, H. Kuhlmann and J. Lammel, 2001. Application of the Life Cycle Assessment methodology to agricultural production: an example of sugar beet production with different forms of nitrogen fertilisers. *European Journal of Agronomy* 14, 221-233.
- Comission of the European communities (CEC), 2008. Proposal for a directive of the European parliament and of the council on the promotion and the use of energy from renewable sources. Brussels, January 23, 2008.
- Cramer, J. et al, 2007. Toetsingskader voor duurzame biomassa. Eindrapport van de projectgroep "Duurzame productie van biomassa". 62 p.
- Crutzen, P.J., A. R. Mosier, K. A. Smith & W. Winiwarter (2007). N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 7, 11191–11205
- Department for Transport, 2007. Carbon and Sustainability Reporting Within the Renewable Transport Fuel Obligation. Requirements and Guidance. Draft Government Recommendation to RTFO Administrator. Part One. Carbon and Sustainability Reporting Within the Renewable Transport Fuel Obligation. London, 169 pp.
- Dolving, J., G.L. Velthof & P.J. Kuikman, 2002. Beperking van lachgasemissies als gevolg van toepassing van gewasresten. Eindrapportage Reductieplan Overige Broeikasgassen. Alterra-rapport 560.3. 27 pp.
- DLV Plant (2006). Bemestingsgids Akkerbouw 2006-2007. 264 pp.
- Egebäck K-E, Henke M, Rehlund B, Wallin M and Westerholm R 2005 Blending of Ethanol in Gasoline for Spark Ignition Engines. Problem Inventory and Evaporative Measurements. pp 131. AVL MTC Motortestcenter AB, Haninge, Sweden.
- Elsayed, M.A., R. Matthews and N.D. Mortimer, 2003. Carbon and energy balances for a range of biofuels options. Project number B/B6/00784/REP. URN 03/836. Sheffield, Sheffield Hallam University.
- European Environment Agency (2006). How much energy can Europe produce without harming the environment? EEA report no 7, 2006, 67 p.
- Farrell *et al.*, <<achtergrondnotitie bij berekeningen EBAMM>>
- Haverkort, A., P. Bindraban & H. Bos, editors (2007). Food, Fuel or Forest? Opportunities, threats, and knowledge gaps of feedstock production for bio-energy. Proceedings of the seminar held at Wageningen, The Netherlands, March 2, 2007. *Plant Research International*, report 142, 60 p.
- IEA, 1994. Biofuels. OECD/IEA, Paris, France.
- Jenssen, T.K. & G. Kongshaug, 2003. Energy consumption and greenhouse gas emission in fertiliser production. In: Proc. No 509 International Fertiliser Society, London, 2003.

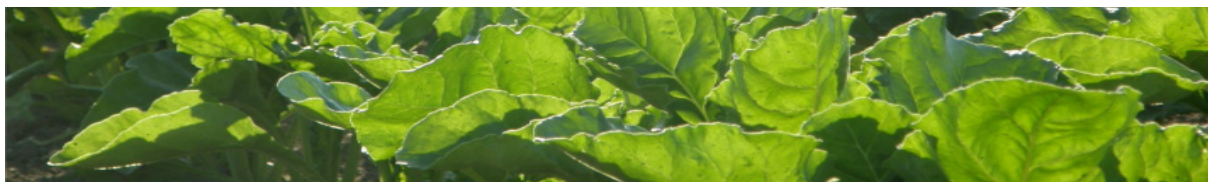


- Gaillard, G., P. Crettaz & J. Hausheer, 1997. Umweltinventar der Landwirtschaftlichen Inputs im Pflanzenbau für Agrarwirtschaft und Landtechnik. CH-8356 Tänikon TG. 54 pp
- Gnansounou, E. & A. Dauriat, 2005. Energy balance of bioethanol: a synthesis. Proc. of European Biomass Conference, Paris, France, Oct. 2005.
- Houghton, J.T.V., 2001 Climate Change 2001. The scientific basis.
- IPCC 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. Institute for Global Environmental Strategies, on behalf of the IPCC, Hayama, Japan.
- IRS (2007). Bietenstatistiek 2006. 56 pp.
- Kaltschmidt, M. and G.A. Rheinhardt, 1997. Renewable energy sources. Basis, processes and ecological balance. Heidelberg, Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH.
- KTBL (2005). Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. 24 pp.
- Kuikman, P.J. D.A. Oudendag, A. Smit & K.W. van der Hoek. ROB maatregelen in de landbouw en vermindering van emissies van broeikasgassen. Zichtbaarheid van effecten in de nationale berekening en suggesties. Alterra rapport 994, Wageningen UR.
- Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH 2002a Annex "Full Background Report" - Methodology, Assumptions, Descriptions, Calculations, Results - to the GM Well-to-Wheel Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems - A European Study. pp 136, Ottobrun, Germany.
- Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH 2002b GM Well-to-Wheel Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems - A European Study. pp 136, Ottobrun, Germany.
- Macedo, I.C., M.R.L.V. Leal & J.E.A.R. da Silva, 2004. Assessment of greenhouse gas emissions in the production and use of fuel ethanol in Brazil. Report commissioned by the Secretariat of Environment in Brazil. NIPE/UNICAMP, Campinas, Brazil.
- Malça, J., and F. Freire, 2006. Renewability and life-cycle energy efficiency of bioethanol and bio-ethyl tertiary ether (bioETBE): assessing the implications of allocation. Energy, 31, 3362-3380.
- Marrow, J.E., Coombs, J. & E.W. Lees, 1987. An assessment of bioethanol as a transport fuel in the UK. HMSO, London, UK, 1987, 144 pp
- Märlander, B., C. Hoffman, H.-J. Koch, E. Ladewig, R. Merkes, J. Petersen and N. Stockfisch, 2003. Environmental Situation and Yield Performance of the Sugar Beet Crop in Germany: Heading for Sustainable Development. J. of Agronomy and Crop Science, 189, 201-226.
- Mosquera, J.M.G. Hol, C. Rappoldt & J. Dolfing (2007). Precise soil management as a tool to reduce CH₄ and N₂O emissions from agricultural soils. Report 28, Animal Sciences Group.
- Mortimer N D, Elsayed M A and Horne R E 2004 Energy And Greenhouse Gas Emissions For Bioethanol Production From Wheat Grain And Sugar Beet. Final Report for British Sugar plc. pp 180. Resources Research Unit School Of Environment And Development. Sheffield Hallam University.
- Punter G, Rickeard D, Larivé J-F, Edwards R, Mortimer N, Horne R, Bauen A and Woods J 2004 Well-to-Wheel Evaluation for Production of Ethanol from Wheat. A Report by the LowCVP Fuels Working Group, WTW Sub-Group. pp 40. Low Carbon Vehicle Partnership (LCVP).
- Quirin, M., S.O. Gärtner, M. Pehnt & G.A. Reinhardt, 2004. CO₂ Mitigation through biofuels in de transport sector. Status and perspectives. Main report. IFEU, 2004
- Schmitz, N., 2003. Bioethanol in Deutschland. Verwendung von Ethanol und Methanol aus nachwachsende Rohstoffen im chemisch-technischen und im Kraftstoffsektor unter besonderer Berücksichtigung von Agraralkohol. Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe", Band 21 Fachagentur nachwachsende Rohstoffe.
- Schmitz, N, 2005. Innovationen bei der Bioethanolerzeugung. Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe", Band 26 Fachagentur nachwachsende Rohstoffe.
- Stockfisch, 2003. Environmental situation and yield performance of the sugar beet crop in Germany: heading for sustainable development. J. Agron & Crop Science 189, 201-226.



- Niven R K 2005 Ethanol in gasoline: environmental impacts and sustainability review article. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 9, 535-555.
- Ruijter, F J, de & A.L. Smit, 2007 Het lot van stikstof uit gewasresten. *Plant Research International*, Wageningen.
- Sagar, A.D. & S. Kartha, 2007. Bioenergy and Sustainable Development? *Annual Review of Environment and Resources*, 32: 131-167
- Henke, J.M., G. Keppler, L. Wilkening, L. Wilkening, B. Nolte, M. Kalies, M. Kaltschmitt and N. Schmitz, 2005. Innovations in the production of bioethanol and their implications for energy and greenhouse gas balances. New production processes, potentials for optimization, international experiences and market developments. *Schriftenreihe 'Nachwachsende Rohstoffe'*, 26. Münster, Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft.
- Simons, R., M. Vis, D. van den Berg, I. Mc Chesney, M. Whiteley & N. Nikolaou (2004). Bio-energy's role in the EU energy market. A view of the developments until 2020. Report to the European Commission, 270 p.
- Schröder, J.J., W. van Dijk, H.F.M. Aarts, J.C. van Middelkoop, G.L. Velthof & W.J. Willems, 2005. Komen andere gewassen dan gras in aanmerking voor derogatie? *Plant Research International BV*, nota 335, februari 2005.
- STOA. Scientific Technology Options Assessment. 2006. Alternative options for road and air transport. IP/A/STOA/SC/2005-179. European parliament.
- Swaaij, van. N, 2001. Groei en ontwikkeling van de suikerbiet. IRS, Betatip, 2001.
- Turner, B.T., Plevin, R.J. , O'Hare, M. & Farrell, A.E., 2007, *Creating Markets for Green Biofuels: Measuring and improving environmental performance*. RESEARCH REPORTUCB-ITS-TSRC-RR-2007-1
- Uyterlinde, M.A., J.R. Ybema & R.W. van den Brink, 2007. De belofte van een duurzame Europese energiehuishouding. *Energievisie van ECN en NRG*. ECN-E-07-061, 44 p
- Yang, H.S. & Janssen, B.H. 2000. A mono-component model of carbon mineralization with a dynamic rate constant. *European Journal of Soil Science*, 51, 517-529.
- Van Dijk, W. 2003. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. Publicatienr. 307. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.*
- Worldwatch Institute (2006) *Biofuels for transportation. Global potential and implications for sustainable agriculture and energy in the 21st century*. Extended Summary, 37 p.





Bijlage 1. Samenvatting van het Toetsingskader voor Duurzame Biomassa (2007)

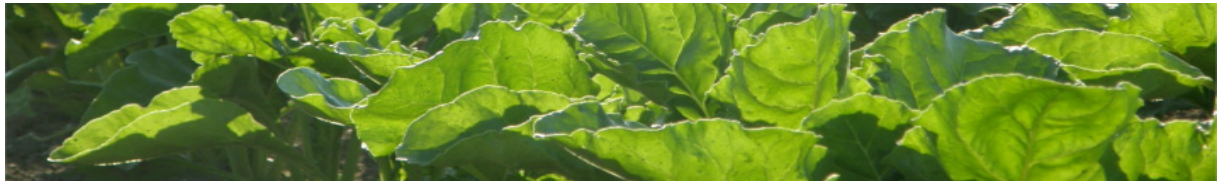
Thema's	Principe	Criterium	Indicator	Bruikbaarheid voor suikerbieten in NL
1. Broeikasgasemissies	1. De broeikasgasbalans van de productieketen en toepassing van de biomassa is positief.			
		1.1 Over de gehele keten een netto emissiereductie GHG's tov referentie met fossiele brandstoffen	1.1.1 Minimaal 30% reductie	ja, ook keten?
	2. Biomassaproductie gaat niet ten koste van belangrijke koolstofreservoirs in de vegetatie en in de bodem.			
		2.1 behoud bovengrondse koolstof reservoirs bij aanleg	2.1.1 in periode van 10 jaar terug verdienen wat verloren gaat	n.v.t. in akkerbouwrotaties
		2.2 behoud ondergrondse koolstof reservoirs bij aanleg	2.2.1 niet in gebieden met aanzienlijke verliezen (veen)	Ja, verandering bodem organische stof.
2. Concurrentie met voedsel en andere lokale toepassingen	3. Biomassaproductie voor energie mag de voedselvoorziening en lokale biomassatoepassingen (energievoorziening, medicijnen, bouwmaterialen) niet in gevaar brengen.			
		3.1 inzicht in verandering landgebruik regionaal	3.1.1 rapportage	in discussie aangeven
		3.2 inzicht in verandering prijzen voedsel en grond in regio	3.2.1 rapportage	in discussie aangeven
3. Biodiversiteit	4. Biomassaproductie gaat niet ten koste van beschermde of kwetsbare biodiversiteit en versterkt waar mogelijk de biodiversiteit.			
		4.1 geen overtreding regels en wetten	4.1.1 voldoen aan nationale lokale regels	ok
		4.2 niet in beschermde gebieden	4.2.1 idem, 5 km bufferzone	n.v.t.
		4.3 geen aantasting andere gebieden met hoge	4.3.1 niet in 'High Conservation Value' gebieden,	ja, rekening houden met 'high nature farm lands'



		biodiv.waarde/agr. natuur/cultuurwaarden	5 km buffer (cat 1 t/m 6)	
		4.4 nieuwe aanleg met behoud biodiversiteit	4.4.1 na 1/2007 ontgonnen → 10% set aside	n.v.t.
			4.4.2 rapportage	n.v.t.
		4.5 zo mogelijk versterking biodiv. Bij aanleg	4.5.1 rapportage good practices (op en rond veld ecologische corridors, versnippering)	ja
4. Milieu	5. Bij de productie en verwerking van biomassa blijven de bodem en de bodemkwaliteit behouden of worden ze verbeterd.			
		5.1 geen overtreding regels en wetten bodem	5.1.1 voldoen aan nationale lokale regels bodem	Ok
		5.2 'best practices' behoud bodem en kwaliteit	5.2.1 rapportage strategie duurzaam bodembeheer - voorkomen / bestrijden erosie - behoud voedingsstoffenbalans - behoud bodem organische stof - voorkomen verzilting	ja uitwerken uitwerken n.v.t.
		5.3 restproducten niet in strijd met behoud bodem	5.3.1 optimaal gebruik biomassa resten en verwerkingsresten, niet ten koste van bodem	uitwerken
	6. Bij de productie en verwerking van biomassa worden grond- en oppervlaktewater niet uitgeput en wordt de waterkwaliteit gehandhaafd of verbeterd.			
		6.1 geen overtreding regels en wetten water	6.1.1 voldoen aan nationale lokale regels water	ok
		6.2 'best practices' beperking watergebruik, behoud en verbetering grond-	6.2.1 Rapportage strategie water - efficiënt watergebruik - verantwoord	uitwerken uitwerken



		en oppervlaktewaterkwaliteit	gebruik agrochemicaliën	
		6.3 geen gebruik niet hernieuwbaar water	6.3.1 irr. water teelt en industrie afkomstig hernieuwbare bronnen	ja
7. Bij de productie en verwerking van biomassa wordt de luchtkwaliteit gehandhaafd of verbeterd.				
		7.1 geen overtreding regels en wetten lucht	7.1.1 voldoen aan nationale lokale regels lucht	ok
		7.2 'best practices tegen luchtvervuiling	7.2.1 rapportage strategie lucht - productie en verwerking - afvalbeheer	uitwerken
		7.3 niet branden	7.3.1 niet branden	n.v.t.
5. Welvaart	8. Productie van biomassa draagt bij aan de lokale welvaart.			
		8.1 + bijdrage bedrijf aan lokale economie	8.1.1 rapportage - creatie economische waarden - beleid, praktijk en budget lokale toeleveranciers - lokaal personeel	in discussie n.v.t in discussie
6. Welzijn	9. Productie van biomassa draagt bij aan het welzijn van de werknemers en de lokale bevolking.			
		9.1 geen – effecten arbeidsomstandigheden	9.1.1 TDP van ILO	n.v.t.
		9.2 geen – effecten mensenrechten	9.2.1 universele verklaring rechten mens	n.v.t
		9.3 geen schending eigendoms- en gewoontenrechten	9.3.1 – geen landgebruik zonder instemming - landgebruik goed vastgelegd - eigendomsrecht inheemse bevolking	n.vt.
		9.4 + bijdrage welzijn lokale bevolking	9.4.1 rapportage	In discussie



		9.5 inzicht schending integriteit van bedrijf	9.5.1 rapportage - risico's corruptie - acties vereist	n.v.t
--	--	---	---	-------

Aanvullende eisen:

Reststromen: GHG's: voldoen aan de eisen

Concurrentie voedsel: geen eisen

Biodiversiteit: geen eisen

Milieu: bodem voldoen aan criteria; verder geen eisen

Welvaart: geen eisen

Welzijn: geen eisen

Macroniveau monitoring:

- grondprijzen
- voedselprijzen
- eigendom van het land
- beschikbaarheid van voedsel
 - o in kaart brengen voedselzekerheid
 - o veranderingen voedselproductie in de regio
 - o onderscheid autonome trends en effecten energieteelt



Bijlage 2. Teeltregistratie Westmaas

Suikerbietenenteelt Westmaas				2005	2006	2007
Wortelopbrengst		ton/ha		80.0	66.9	52.8
Suikergehalte		%		17.01	16.5	18.3
Tarra		ton/ha		15.1	10.1	9.6
Perceel met o.s% van 2.7%			eenheden/ha			
Zaaizaad		kg/ha		3	3	3
Herbiciden		kg a.s/ha		3.42	3.978	4.068
Fungiciden		kg a.s/ha		0.2	0	0.434
Insecticiden		kg a.s/ha		0.13	0.13	0.13
Bemesting	N	kg/ha		140.4	150	145
	P	kg/ha		33		30.5
	K	kg/ha		0	99.6	99.6
Brandstof (diesel)		kg/ha		133.2	151.2	206.8
Machines (Bos <i>et al.</i> , 2006)						

Dieserverbruik per ha, gebaseerd op Bos *et al.*, 2006

Westmaas 2005	kg diesel/ha
Ploegen	35.7
Zaai bed maken 3m	12.9
zaaien 12 rijig	6
sputten 24 m, herbiciden voor opkomst	2
Bemesten 1 k, 24 m	1.8
Bemesten 1 k, 24 m	1.8
sputten 24 m, herbiciden na opkomst	2
sputten 24 m, herbiciden na opkomst	2
sputten 24 m, herbiciden na opkomst	2
sputten 24 m, fungicide	2
sputten 24 m, fungicide	2
bunkerrooier	48.7
incl transport naar rand	
Cultivateren vaste tand	14.3
Totaal diesel	133.2



Westmaas 2006	kg diesel/ha
Ploegen	35.7
Over de vorst cultivateren	14.3
Zaaibed maken 3m	12.9
zaaien 12 rijig	6
sputen 24 m, herbiciden voor opkomst	2
Bemesten 1 k, 24 m	1.8
Bemesten 1 k, 24 m	1.8
Bemesten 1 k, 24 m	1.8
Schoffelen	3.9
sputen 24 m, herbiciden na opkomst	2
sputen 24 m, herbiciden na opkomst	2
sputen 24 m, herbiciden na opkomst	2
sputen 24 m, herbiciden na opkomst	2
bunkerrooier	48.7
incl transport naar rand	
Cultivateren vaste tand	14.3
Totaal diesel	151.2

Westmaas 2007	kg diesel/ha
Ploegen	35.7
Over de vorst cultivateren	14.3
Zaaibed maken 3m	12.9
Zaaibed maken 3m	12.9
zaaien 12 rijig	6
Beregenen 2 keer 15 mm	34.5
sputen 24 m, herbiciden voor opkomst	2
Bemesten 1 k, 24 m	1.8
Bemesten 1 k, 24 m	1.8
Bemesten 1 k, 24 m, spuit	2
Bemesten 1 k, 24 m, spuit	2
Schoffelen	3.9
sputen 24 m, herbiciden na opkomst	2
sputen 24 m, herbiciden na opkomst	2
sputen 24 m, herbiciden na opkomst	2
sputen 24 m, herbiciden na opkomst	2
sputen 24 m, herbiciden na opkomst	2
sputen 24 m, fungiciden	2
sputen 24 m, fungiciden	2
bunkerrooier	48.7
incl transport naar rand	
Cultivateren vaste tand	14.3
Totaal diesel	206.8



Bijlage 3. Teeltregistraties Valthermond

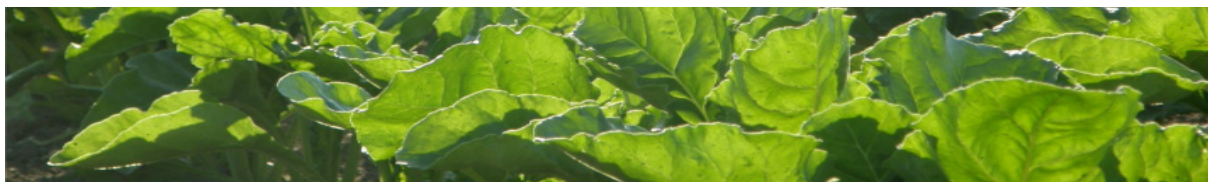
Suikerbietenenteelt Valthermond					
			2005	2006	2007
Wortelopbrengst	ton/ha		70.7	67.7	68.0
Suikergehalte	%		17.05	16.8	18.1
Tarra	ton/ha		11.5	10.3	7.6
Perceel met o.s% van 2.7%			eenheden/ha		
			2005	2006	2007
Zaaizaad	kg/ha		3	3	3
Herbiciden	kg a.s./ha		4.245	3.981	3.582
Fungiciden	kg a.s./ha		0.2	0.2	0.42
Insecticiden	kg a.s./ha		0	0	0
Bemesting	N	kg/ha	56	27.5	27.5
	P	kg/ha			
	K	kg/ha	62	62	50
	Na	kg/ha	200		200
	Bo	kg/ha	1		1
varkensdrijfmest	M3/ha		25		
slachtkuikenmest	M3/ha			6	6
Brandstof (diesel)	kg/ha		128.1	122.3	122.3
Machines (Bos et al, 2006)					



Diesilverbruik per ha, gebaseerd op Bos *et al.*, 2006

Valthermond 2005	kg diesel/ha
Transport 25 ton varkensdrijfmest 15 km	7.5
Varkensdrijfmest uitrijden 25 ton	12
Ploegen, inclusief gerst zaaien	23.4
Zaaibed maken 3m	4.6
zaaien 12 rijig	6
Bemesten 1 k, 24 m (kunstmest)	1.8
Bemesten 1 k, 24 m (kunstmest)	1.8
spuiten 24 m, herbiciden na opkomst	2
spuiten 24 m, herbiciden na opkomst	2
Schoffelen	3.9
spuiten 24 m, herbiciden na opkomst	2
spuiten 24 m, herbiciden na opkomst	2
spuiten 24 m, herbiciden na opkomst	2
spuiten 24 m, herbiciden na opkomst	2
Aanaarden	8.1
spuiten 24 m, fungicide	2
spuiten 24 m, fungicide	2
bunkerrooier	35
incl transport naar rand	
Cultivateren	8
Totaal diesel	128.1

Valthermond 2006	kg diesel/ha
Transport slachtkuikemest 6 ton	7.5
Slachtkuikemest uitrijden 6 ton	12
Ploegen, inclusief gerst zaaien	23.4
Zaaibed maken 3m	4.6
zaaien 12 rijig	6
Bemesten 1 k, 24 m (kunstmest)	1.8
Bemesten 1 k, 24 m (kunstmest)	1.8
Bemesten 1 k, 24 m (kunstmest)	1.8
spuiten 24 m, herbiciden na opkomst	2
spuiten 24 m, herbiciden na opkomst	2
Schoffelen	3.9
spuiten 24 m, herbiciden na opkomst	2
spuiten 24 m, herbiciden na opkomst	2
spuiten 24 m, herbiciden na opkomst	2
spuiten 24 m, herbiciden na opkomst	2
spuiten 24 m, herbiciden na opkomst	2
spuiten botrac	2
Aanaarden	8.1
spuiten 24 m, fungicide	2
spuiten 24 m, fungicide	2
bunkerrooier	35
incl transport naar rand	
Cultivateren	8
Totaal diesel	131.9



Valthermond 2007	kg diesel/ha
Transport slachtkuikenmest 6 ton	7.5
Slachtkuikenmest uitrijden 6 ton	12
Ploegen, inclusief gerst zaaien	23.4
Zaaibed maken 3m	4.6
zaaien 12 rijig	6
Bemesten 1 k, 24 m (kunstmest)	1.8
Bemesten 1 k, 24 m (kunstmest)	1.8
Bemesten 1 k, 24 m (kunstmest)	1.8
spuiten 24 m, herbiciden na opkomst	2
spuiten 24 m, herbiciden na opkomst	2
Schoffelen	3.9
spuiten 24 m, herbiciden na opkomst	2
spuiten 24 m, herbiciden na opkomst	2
spuiten 24 m, herbiciden na opkomst	2
spuiten 24 m, herbiciden na opkomst	2
spuiten 24 m botrac	2
Aanaarden	8.1
spuiten 24 m, fungicide	2
spuiten 24 m, fungicide	2
bunkerrooier	35
incl transport naar rand	
Cultivateren	8
Totaal diesel	131.9

www.acrres.nl



WAGENINGEN UR

For quality of life