Energieverbruik, broeikasgasemissies en koolstofopslag

De biologische en de gangbare landbouw vergeleken

Volledig rapport



bio*K*ennis

WAGENINGEN UR
For quality of life

Energieverbruik, broeikasgasemissies en koolstofopslag: de biologische en gangbare landbouw vergeleken

Jules Bos[1], Janjo de Haan[2] & Wijnand Sukkel[2]

[1] Plant Research International B.V.
[2] Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V., Sector AGV

Wageningen UR, Wageningen
maart 2007

Rapport 140

© 2007 Wageningen, Plant Research International B.V.
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 Plant Research International B.V.

In Nederland vindt het meeste onderzoek voor biologische landbouw en voeding plaats in voornamelijk door het Ministerie van LNV gefinancierde onderzoeksprogramma's. Aansturing hiervan gebeurt door Bioconnect, het kennisnetwerk voor de Biologische Landbouw en Voeding in Nederland (www.bioconnect.nl). Hoofduitvoerders van het onderzoek zijn de instituten van Wageningen UR en het Louis Bolk Instituut. Zij werken in de cluster Biologische Landbouw (LNV gefinancierde onderzoeksprogramma's) nauw samen. Dit rapport is binnen deze context tot stand gekomen.
De resultaten van de onderzoeksprogramma's vindt u op de website www.biokennis.nl. Vragen en/of opmerkingen over het onderzoek aan biologische landbouw en voeding kunt u mailen naar: info@biokennis.nl.

Projectnummer: 3250046300

Plant Research International B.V.

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.pri.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

Dankwoord 1

1. Uitgebreide samenvatting 3

1.1 Stellingen onderbouwd 3
1.2 Achtergrond 3
1.3 Doel en opzet van de studie 4
1.4 Energieverbruik op biologische en gangbare bedrijven 5
1.5 Broeikasgasemissies op biologische en gangbare bedrijven 7
1.6 Koolstofopslag op biologische en gangbare bedrijven 10
1.7 Conclusies 10

2. Inleiding 13

2.1 Achtergronden 13
2.2 Doel van de studie 15
2.3 Voetangels en klemmen in berekening energieverbruik en broeikasgasemissies 15
2.4 Leeswijzer 17

3. Energieverbruik en broeikasgasemissies 19

3.1 Materiaal en Methoden 19
3.1.1 Systeembegrenzing 19
3.1.2 Melkveehouderij 20
3.1.3 Open teelten 26
3.1.4 Glastuinbouw 29
3.2 Resultaten 29
3.2.1 Melkveehouderij 29
3.2.2 Open teelten 35
3.2.3 Glastuinbouw 43
3.3 Discussie 44
3.3.1 Algemeen 44
3.3.2 Modelbedrijven en systeembegrenzing 46
3.3.3 Vergelijking van resultaten met de literatuur 47

4. C-opslag 53

4.1 Inleiding 53
4.2 Materiaal en methoden 54
4.2.1 Algemeen 54
4.2.2 Berekening netto koolstofopbouw na 25 jaar 54
4.3 Resultaten 56
4.4 Discussie 59

5. Maatregelen 61

pagina

6. Conclusies en aanbevelingen 69

6.1 Conclusies 69
6.1.1 Energieverbruik 69
6.1.2 Broeikasgasemissies 70
6.1.3 C-opslag 70
6.1.4 Maatregelen 71
6.2 Aanbevelingen 71

Literatuur 73

Bijlage I. Opzet van modelbedrijven open teelten 4 pp.

Bijlage II. Energieverbruik per bewerking open teelten 4 pp.

Bijlage III. Gewichten van machines open teelten 2 pp.

Bijlage IV. Energieverbruikscoëfficiënten en emissiefactoren broeikasgassen 4 pp.

Bijlage V. Resultaten energieverbruik en broeikasgasemissies open teelten 11 pp.

Dankwoord

Deze studie is mede tot stand gekomen dankzij bijdragen van velen. René Schils, Aart Evers en Michel de Haan (allen ASG) hebben meegedacht bij de definiëring van modelbedrijven voor de melkveehouderij en hebben deze modelbedrijven vervolgens doorgerekend met het Bedrijfsbegrotingsprogramma Rundveehouderij (BBPR). Marlies Thomassen en Imke de Boer (leerstoelgroep Dierlijke Productie Systemen) waren gaarne bereid cijfers over energieverbruik en broeikasgasemissies van biologische en gangbare krachtvoeders ter beschikking te stellen. Barthold van der Waal (PPO) heeft bijgedragen aan de berekening van het energieverbruik in de open teelten. Willem van Geel (PPO) nam de berekening van de lange termijn koolstofopslag in gangbare en biologische landbouwbodems voor zijn rekening. Paulien van Asperen en Wiepie van Leeuwen (PPO) destilleerden voor ons gegevens uit de FARM-database aangaande organische stofgehalte en organische stofaanvoer op BIOM- en Telen met toekomst bedrijven. Bert Vermeulen (PRI) heeft bijgedragen aan ideevorming over de opzet van de studie en leverde gegevens aan over dieselverbruik voor afzonderlijke bewerkingen. Hans van der Mheen en Marcel van der Voort (PPO) hebben bijgedragen aan het beschrijven van maatregelen ter reductie van energieverbruik en broeikasgasemissie voor de open teelten. Klaas van Rozen (PPO) heeft bijgedragen aan de beschrijving van het inleidende hoofdstuk. De begeleidingscommissie (Joost Guijt, Arjan Monteny en Frank Wijnands) heeft opbouwend commentaar geleverd op tussentijdse resultaten en rapportages.

Wij zijn allen zeer erkentelijk voor hun bijdrage aan dit onderzoek.

De auteurs

1. Uitgebreide samenvatting

1.1 Stellingen onderbouwd

In deze studie zijn de verschillen tussen gangbare en biologische bedrijven in Nederland ten aanzien van energieverbruik, broeikasgasemissies en koolstof opslag onderzocht.

Op basis van modelberekeningen, literatuurgegevens en beschikbare data worden in de studie de volgende uitspraken onderbouwd:

De Nederlandse biologische melkveehouderij heeft een lager energieverbruik en een lagere broeikasgasemissie dan de gangbare melkveehouderij. Dit geldt zowel per hectare als per ton geproduceerde melk.

De Nederlandse biologische akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt hebben een lager energieverbruik en een lagere broeikasgasemissie per ha dan de gangbare akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt.

Het energieverbruik en de broeikasgasemissie per ton product is voor vrijwel alle gewassen in de biologische landbouw gelijk aan of hoger dan in de gangbare landbouw. Belangrijke oorzaak hiervan is de lagere opbrengst die in de biologische landbouw gerealiseerd wordt.

De biologische glastuinbouw heeft ten opzichte van de biologische open teelten een zeer hoog energieverbruik. Per ton product heeft de biologische glastuinbouw een hoger energieverbruik dan de gangbare glastuinbouw.

De Nederlandse biologische akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt voegen meer effectieve organische stof aan de bodem toe dan de gangbare landbouw. In de praktijk uit dit zich (nog) niet in een hoger organische stofgehalte van biologische beheerde bodems ten opzichte van gangbaar beheerde bodems.

Op vele fronten zijn er aangrijpingspunten om de prestatie van de biologische landbouw op het gebied van energiegebruik, broeikasgasemissies en koolstofopslag te verbeteren. Voorgestelde maatregelen sluiten vaak uitstekend aan bij de intenties van de biologische landbouw. Welke positieve en negatieve (bij-)effecten de diverse maatregelen bij implementatie in bedrijfsverband kunnen hebben is vaak nog niet goed bekend.

Er is meer kennis nodig over de mogelijkheden om de uitstoot van lachgas en methaan in de landbouw te verlagen.

1.2 Achtergrond

Twee van de meest nijpende mondiale duurzaamheidknelpunten zijn het uitputten van fossiele energiebronnen en de deels hiermee samenhangende toename van de concentraties van broeikasgassen in de atmosfeer. Broeikasgassen dragen bij aan de opwarming van de aarde door de warmte die de aarde uitstraalt gedeeltelijk terug te kaatsen. Door menselijke activiteiten neemt de concentratie broeikasgassen in de atmosfeer toe, wat leidt tot stijging van de temperatuur en verandering van het klimaat. De menselijke activiteiten die hieraan in belangrijke mate bijdragen zijn het verbranden van fossiele energiebronnen, de netto afbraak van organische stof voorraden (bos, bodem) en de emissie van diverse broeikasgassen.

Energiegebruik in de landbouw

Landbouw maakt gebruik van fossiele energie en draagt hiermee bij aan het verbruik van een eindige bron en aan de emissie van CO_2. Het directe energieverbruik in de primaire landbouwproductie is met 5% (157 PJ) van het totale energieverbruik in Nederland (3141 PJ), relatief klein. De glastuinbouw neemt 76% van het directe energieverbruik in

de primaire productie voor haar rekening. De energie nodig voor de productie van landbouwproductiemiddelen (stikstof, machines, zaden, bestrijdingsmiddelen), de bewerking en verwerking van landbouwproducten en de logistiek van het voedselcomplex zijn hierin echter niet meegerekend. Het energieverbruik in het totale agro-voedselcomplex wordt niet apart in de statistieken weergegeven maar bedraagt ca 15% van het totale energiegebruik in Nederland

Broeikasgassen

De belangrijkste broeikasgassen die bijdragen tot de verwarming van de aarde zijn kooldioxide (CO_2), methaan (CH_4) en distikstofoxide (N_2O, lachgas). Daarnaast zijn de fluorverbindingen van belang, dit zijn kunstmatig gefabriceerde stoffen als HKF's, PFK's en SF_6, ook wel de vervangers van CFK's.

Methaan en lachgas hebben een grotere invloed op het broeikaseffect dan CO_2. Voor een goede vergelijking worden ze omgerekend naar zgn. CO_2 equivalenten. Voor methaangas geldt een factor 21 en voor lachgas een factor 310.

De totale emissie van broeikasgassen in Nederland bedraagt 230 miljard CO_2 equivalenten. De primaire landbouwproductie levert hieraan een bijdrage van 12%.. Het totale agro-complex levert naar schatting een bijdrage van minimaal 17%. De emissie van methaan en lachgas draagt voor 15% bij aan de hoeveelheid uitgestoten CO_2 equivalenten in Nederland. Ruim de helft van de uitstoot van lachgas en methaan komt vanuit de landbouw.

Samenhang in kringlopen

Landbouw, inclusief het totale agro-voedselcomplex, speelt op een aantal terreinen een belangrijke rol in de emissie en/of opslag van broeikasgassen. Aan de ene kant legt landbouw CO_2 vast via plantaardige productie. Een deel hiervan wordt (tijdelijk) in de bodem opgeslagen of kan worden gebruikt als hernieuwbare energiebron. Aan de andere kant stoot landbouw CO_2 uit door gebruik van fossiele energie en door afbraak van organische stof in de bodem.

Belangrijk zijn ook de emissies van lachgas en methaan. Lachgas komt onder meer vrij bij de productie van kunstmeststikstof, bij de toediening van mest en bij denitrificatie van stikstofverbindingen in de bodem.

Zowel de koolstof- als de stikstofkringloop spelen dus een belangrijke rol in energieverbruik en broeikasgasemissies in de landbouw. Belangrijk voor de voor het totale effect op de toename van broeikasgassen in de atmosfeer is waar (milieucompartiment) en in welke vorm koolstof en stikstof worden opgeslagen. Landbouw kan een versnelde afbraak van organische stof in de bodem veroorzaken door bijvoorbeeld regelmatige grondbewerking. Hierdoor komen extra broeikasgassen in de atmosfeer. Landbouw kan aan de andere kant zorgen voor vastlegging van CO_2 door organisch materiaal (tijdelijk) op te slaan in de bodem. Hierdoor neemt de hoeveelheid CO_2 in de atmosfeer af.

1.3 Doel en opzet van de studie

Biologische landbouw wordt vaak beschouwd als een wijze van landbouw die een bijdrage kan leveren aan de vermindering van energieverbruik en een verlaging van de emissies van broeikasgassen. Dit heeft te maken met de aandacht voor kringlopen, het gebruik van organische stofbronnen voor bemesting en het achterwege laten van een aantal inputs die veel energie kosten. Voor de Nederlandse biologische landbouw is hierover in de literatuur weinig bekend. Doel van deze studie is om de huidige prestatie van de Nederlandse biologische landbouw op het gebied van broeikasgasemissies, energieverbruik en koolstofopslag in kaart te brengen. Dit in vergelijking met de prestatie van de gangbare landbouw in Nederland.

Energieverbruik en broeikasgasemissies in biologische en gangbare landbouw zijn in deze studie vergeleken aan de hand van een aantal modelbedrijven. Er zijn modelbedrijven gedefinieerd voor de melkveehouderij, voor de akkerbouw op kleigrond en voor de groententeelt op zandgrond. Voor de melkveehouderij variëren de modelbedijven onder andere voor wat betreft de intensiteit van de bedrijfsvoering en de mate waarin gebruik wordt gemaakt van beweiding en krachtvoeders. Voor de akkerbouw op kleigrond zijn de gewassen pootaardappelen, zomertarwe, suikerbieten, zaaiui, winterpeen en erwten meegenomen. Voor de groententeelt op zandgrond zijn de gewassen prei,

aardbei, kropsla, Chinese kool, stamslaboon en bospeen meegenomen. Alle modelbedrijven zijn zodanig opgesteld dat ze een zo goed mogelijke afspiegeling vormen van de huidige situatie in de praktijk.

Voor de glastuinbouw zijn geen modelbedrijven gedefinieerd. De gegevens uit de glastuinbouw zijn gebaseerd op een geactualiseerde versie van een Life Cycle Analysis van biologisch en gangbaar geproduceerde tomaat en komkommer onder glas (Van Woerden, 2002).

De studie richt zich op het energieverbruik en de broeikasgasemissies op het primaire productiebedrijf. Emissies en verbruik nadat het product de bedrijfspoort heeft verlaten worden niet meegerekend.

Voor de berekening van de koolstofopslag in de bodem is gebruik gemaakt van enkele grote datasets van organische stof aanvoer en organische stof gehaltes in de bodem bij biologische en gangbare bedrijven.

1.4 Energieverbruik op biologische en gangbare bedrijven

Melkveehouderij

Bij melkveebedrijven is het energieverbruik per ha de weerslag van de intensiteit van het bedrijf: naarmate het bedrijf intensiever is worden per ha meer grondstoffen van buiten aangevoerd en is het energieverbruik per ha navenant groter.

Gemiddeld scoren de biologische bedrijven met 49 GJ per ha een ca. 50% lager energiegebruik dan de gangbare bedrijven. Het energieverbruik per ton melk is op de biologische bedrijven gemiddeld 1,7 GJ per ton melk lager dan op de gangbare bedrijven. Dit is 25% lager dan het energieverbruik per ton melk op de gangbare modelbedrijven. Het gemiddelde verbruik op de modelbedrijven is een goede indicatie voor het gemiddelde verbruik in de praktijk.

Op alle modelbedrijven draagt het gebruik van krachtvoer veruit het sterkst bij aan het energieverbruik. Op de intensievere modelbedrijven is krachtvoeraanvoer verantwoordelijk voor 45 à 50% van het totale energieverbruik, zowel gangbaar als biologisch.

Tabel 1.1. Energieverbruik per ha en per ton vers product op verschillende typen biologische bedrijven.

	energieverbruik per ha		energieverbruik per ton	
	gangbaar	biologisch	gangbaar	biologisch
	GJ/ha	GJ/ha	GJ/ton	GJ/ton
Melkveehouderij [1)]	58 - 159	37 - 67	5,8 - 7,6	4,4 - 5,5
Akkerbouw[2)]	42 (15 – 80)	28 (3 – 57)	0,3 – 2,9	0,3 – 2,5
Groententeelt open[2)]	37 (13 – 48)	32 (10 – 41)	0,3 – 1,5	0,5 – 2,2
Glasteelt tomaat[3)]	14 559	15 509	26,3	33,0

[1)] *Cijfers energieverbruik geven de variatie weer over de modelbedrijven, oplopend van extensief naar intensief*

[2)] *Cijfers energieverbruik geven de variatie weer over de gewassen in de modelbedrijven, gangbaar gemiddeld over 2 bedrijfsmodellen (met en zonder dierlijke mest)*

[3)] *Cijfers energieverbruik voor zowel biologisch als gangbaar voor jaarrond gestookte teelt*

Open teelten

Het energieverbruik in de akkerbouw en de open groententeelt is sterk afhankelijk van het bouwplan op de bedrijven. Bij bedrijven met een bouwplan gericht op de akkerbouw is het berekende verbruik op de biologische modelbedrijven gemiddeld 28 GJ/ha en bij de gangbare bedrijven 42 GJ/ha. Het biologische akkerbouwbedrijf verbruikt dus per ha ca. 35% minder energie dan de gangbare akkerbouwbedrijven.

Het totale berekende energieverbruik per ha op het biologische groentebedrijf op zand is 32 GJ/ha, tegenover 37 GJ/ha voor het gangbare. Het biologische groentebedrijf verbruikt per ha 10-15% minder energie dan de gangbare bedrijven.

De verschillen tussen gangbaar en biologisch worden voor een belangrijk deel veroorzaakt door het indirecte energiegebruik door kunstmest en voor een klein deel door indirect energiegebruik door de inzet van pesticiden.

Uitgedrukt in energieverbruik per ton product is het energieverbruik voor het biologische akkerbouwbedrijf, gemiddeld over de doorgerekende gewassen, vergelijkbaar met het gangbare akkerbouwbedrijf. In de groenteteelt is het energieverbruik per ton product voor het biologische modelbedrijf 30-40% hoger dan voor de gangbare bedrijven. Zowel in de akkerbouw als bij de groententeelt zijn de verschillen tussen biologisch en gangbaar sterk afhankelijk van het gewas.

Een maatregel met een sterke invloed op het energieverbruik en de broeikasgasemissie per ton product, is het verhogen van de opbrengst in de biologische landbouw. Het huidige niveau van de biologische (plantaardige) opbrengsten in Nederland is gemiddeld tussen de 20 en 40% lager dan in de gangbare landbouw. Dit verschil wordt vooral veroorzaakt door aantastingen van ziekten en plagen. Beheersmaatregelen voor ziekten en plagen zullen naar verwachting weinig extra energiegebruik vragen.

Glastuinbouw

In de glastuinbouw is het energieverbruik voor verwarming veruit de meest dominante energiepost. De mogelijke verschillen tussen gangbaar en biologisch hangen dus sterk samen met de keuze of een kas volledig, een deel van het jaar of vrijwel niet verwarmd wordt. In de praktijk komen alle situaties voor. De overige verschillen in management zoals organische bemesting en het in de grond telen hebben ten opzichte van de stookkosten zeer weinig invloed op het energieverbruik en op de broeikasgasemissies. De opbrengsten tussen gangbaar en biologische kunnen echter wel sterk verschillen. Als voorbeeld is in Tabel 1.1 het energieverbruik van de biologische en gangbare teelt van tomaat naast elkaar gezet. In beide gevallen is uitgegaan van een jaarrond gestookte teelt.
Het energieverbruik is in de biologische en gangbare teelt vrijwel gelijk. Wanneer er naar het energieverbruik per ton product wordt gekeken, is deze voor het biologische product aanzienlijk hoger dan voor het gangbare product. Hierbij moet worden opgemerkt dat de biologische teeltwijze nog in de kinderschoenen staat en de opbrengst per m^2 nog sterk in ontwikkeling is.

Energiewaarde dierlijke mest

Een van de belangrijke discussiepunten in het energieverbruik is de vraag welke energiewaarde er moet worden toegerekend aan de aanvoer van dierlijke mest in de plantaardige sectoren. In de studie is als basis alleen de energie voor transport en distributie aan de mest toegerekend. De rechtvaardiging voor het niet koppelen van energieverbruik aan de dierlijke mest zelf volgt uit de lage economische waarde die dierlijke mest momenteel vertegenwoordigt. Daarnaast is een variant doorgerekend die een energiewaarde aan dierlijk mest toekent die gelijk is aan de energiewaarde van een vergelijkbare hoeveelheid stikstof in kunstmest. Grondslag hiervoor is de veronderstelling dat het gebruik van dierlijke mest leidt tot gebruik van kunstmest en/of teelt van vlinderbloemigen elders, bijvoorbeeld in oorspronggebieden van geïmporteerde veevoedergrondstoffen.

Bij deze variant stijgt het energieverbruik per ha in de biologische open teelten waardoor het verschil met de gangbare open teelten kleiner wordt. Uitgedrukt in energieverbruik per ton hebben bij deze variant alle biologische gewassen een hoger energieverbruik dan gangbaar geteelde gewassen.

Literatuurbronnen energieverbruik

Het aantal goed onderbouwde en degelijke studies waarin het energieverbruik op gangbare en biologische bedrijven vergeleken wordt is vrij beperkt.

Bij het energieverbruik per hectare wordt in de literatuur voor biologische landbouw in alle gevallen een lager energieverbruik gevonden dan voor gangbare landbouw. Meestal liggen de gevonden verschillen tussen gangbaar en biologisch hoger dan in deze studie.

Voor het energieverbruik per ton melk wordt in de meeste gevallen een wat groter verschil (30-35%) gevonden tussen biologische en gangbare melkveehouderij dan in deze studie (25%).

Voor de plantaardige sector is de meeste literatuur beschikbaar voor producten uit de akkerbouw. Voor een groot aantal producten is er daarnaast een Engelse studie beschikbaar die qua opzet en teeltomstandigheden goed vergelijkbaar is met deze studie voor de Nederlandse situatie. Per ton product wordt in deze studie geen verschil gevonden tussen biologisch en gangbaar geteelde akkerbouwproducten. Enkele literatuurbronnen bevestigen deze conclusie, maar enkele bronnen, waaronder de Engelse studie, geven een lager energieverbruik per ton voor biologische geteelde akkerbouwproducten.

Energiebesparing

Algemene maatregelen gericht op energiebesparing in biologische en gangbare landbouw liggen voor de hand. Voorbeelden hiervan zijn de juiste tractor-machine combinatie en het gebruik van zuinige tractoren. Meer specifiek voor de biologische akkerbouw en teelt van vollegrondsgroenten is de toepassing van alternatieve systemen van grondbewerking zoals ondiep ploegen of niet-ploeg systemen. Niet alleen het energieverbruik kan hiermee worden verlaagd, maar vaak ook de lachgasemissie en nutriënten efficiëntie. Deze zin anders formuleren: je gaat nu nutriënten efficiëntie verlagen en dat lijkt me niet de bedoeling.

Een andere vorm van energiebesparing is het beperken van de transportafstanden voor mest en grondstoffen (inclusief krachtvoer) maar ook voor het product. Deze maatregel sluit goed aan bij de intentie van het sluiten van kringlopen op regionaal niveau en het organiseren van regionale afzet van producten.

De samenstelling en herkomst van het krachtvoer is een belangrijke factor in het energiegebruik in de veehouderij. Hierin kan gestuurd worden om het energieverbruik te verlagen.

Ook zijn er mogelijkheden om via energieproductie het netto energieverbruik te verlagen. Op het bedrijf worden vele gewasresten geproduceerd die nu nog rechtstreeks of via compostering aan de bodem worden toegevoegd. Uit deze gewasresten is energie te winnen. Ook energieteelten als koolzaadolie of energiemaïs behoren tot de mogelijkheden. De consequenties van verschillende vormen van energiewinning zijn echter complex en moeten nauwkeurig worden geïnventariseerd.

1.5 Broeikasgasemissies op biologische en gangbare bedrijven

Melkveehouderij

Net als het energieverbruik per hectare, zijn ook de broeikasgasemissies per hectare van de modelbedrijven melkveehouderij gekoppeld aan het intensiteitsniveau. Een meer intensieve bedrijfsvoering geeft een hogere broeikasgasemissie. De biologische modelbedrijven zijn extensiever dan de gangbare en hebben daarmee gemiddeld een 40% lagere broeikasgasemissie per hectare dan de gangbare bedrijven. Dit geldt vooral voor CO_2 en CH_4, maar in mindere mate voor N_2O. De totale broeikasgasemissie per ton melk is in de biologische melkveehouderij ca. 10% lager dan gangbaar. Het verschil tussen biologisch en gangbaar is daarmee geringer dan bij het energieverbruik per ton melk. Dit kan worden verklaard doordat verschillen in emissies per ton tussen biologisch en gangbaar voor de

broeikasgassen N_2O en CH_4 gering zijn en juist deze gassen zwaar meewegen bij de omrekening naar CO2-equivalenten. Het afwezig zijn van grote verschillen voor deze broeikasgassen hangt samen met een intensiever gebruik van weidegang, het frequenter scheuren van grasland en het gebruik van potstallen in de biologische melkveehouderij.

Op de modelbedrijven melkveehouderij zijn CH_4 en N_2O elk verantwoordelijk voor 30 à 40% van de totale emissie aan CO_2-equivalenten. CO_2 is verantwoordelijk voor ca. 25-30% van de totale emissie. De CH_4-emissie is voor het overgrote deel (ca. 80%) het gevolg van pensfermentatie..

Tabel 1.2. Hoogst en laagst berekende broeikasgasemissie voor de biologische en gangbare modelbedrijven, uitgedrukt per ha en per ton melk.

	emissie per ha (kg)		emissie per ton melk (kg)	
	gangbaar	biologisch	gangbaar	biologisch
CO_2	4 250 – 11 630	2 650 – 4 950	420 - 550	320 - 410
N_2O	15,3 – 37,1	12,4 – 18,8	1,5 – 1,9	1,5 – 2,0
CH_4	250 – 520	180 – 300	25 – 26	22 – 26
CO_2-eq.	14 470 – 34 160	10 990 – 17 010	1 450 – 1 650	1 310 – 1 460

Voor de melkveehouderij is een relatief gering aantal studies bekend waarin broeikasgasemissies tussen biologisch en gangbaar worden vergeleken. Daaruit komt een beeld naar voren dat er per ton melk geen verschillen tussen gangbaar en biologisch zijn of dat in biologisch de broeikasgasemissies per ton iets hoger zijn dan gangbaar.

Open teelten

Voor de modelbedrijven open teelten zijn emissies berekend van de broeikasgassen CO_2 en N_2O per ha (Tabel 1.3) en per ton product (Tabel 1.4). De totale broeikasgasemissie per hectare van het biologische bedrijf op klei is 36% lager dan die van de gangbare bedrijven. Evenals bij het energieverbruik veroorzaken teelten van pootaardappelen, zaaiuien en winterpeen de hoogste broeikasgasemissies. Tarwe en erwten hebben een relatief lage broeikasgasemissie.

Op het biologische bedrijf op zand is de broeikasgasemissie per hectare 22% lager dan die van de gangbare bedrijven. Prei heeft een relatief hoge broeikasgasemissie per hectare en bospeen een relatief lage. De overige gewassen zitten rond het bedrijfsgemiddelde (Tabel 1.4).

Tabel 1.3. Berekende broeikasgasemissie per hectare voor de biologische en gangbare modelbedrijven in de akkerbouw en de groenteteelt.

	klei akkerbouw			zand groenten		
	gangbaar kunstmest	gangbaar dierlijke mest	biologisch	gangbaar kunstmest	gangbaar dierlijke mest	biologisch
CO_2 (kg/ha)	3140	3041	2072	2644	2436	2230
N_2O (kg/ha)	9,0	11,3	5,8	10,2	11,1	7,0
CO_2-equiv. (kg/ha)	5942	6558	3844	5900	6071	4652

De totale broeikasgasemissie per ton product is voor het biologische bedrijf op klei gemiddeld over de gewassen 7-8% hoger dan voor de gangbare bedrijven. Biologische suikerbieten en erwten hebben een lagere broeikasgasemissie per ton product dan gangbaar, de overige biologische gewassen een hogere.
Voor het biologische bedrijf op zand is de broeikasgasemissie per ton product 25% hoger dan de gangbare bedrijven met kunstmest. Alle biologisch geteelde gewassen op het groentebedrijf hebben een hogere broeikasgasemissie per ton dan gangbaar.

Tabel 1.4. Totale broeikasgasemissie in CO_2 equivalenten voor een aantal gewassen van de akkerbouwbedrijven op kleigrond en van de groentebedrijven op zandgrond.

Gewas	emissie per hectare		emissie per ton product	
	gangbaar	biologisch	gangbaar	biologisch
	kg/ha	kg/ha	kg/ton	kg/ton
pootaardappel klei	7 291	6 244	197	231
zaaiui klei	7 976	5 139	121	147
tarwe klei	3 981	3 985	419	571
prei zand	7 119	5 230	89	177
Chinese kool zand	4 648	3 315	45	100
bospeen zand	2 482	2 478	29	66

De lachgasemissie is in alle gevallen voor het grootste deel veroorzaakt door directe emissie door gebruik van kunstmest, organische mest, inwerken van gewasresten en stikstofbinding. De overige emissie komt door indirecte emissie uit de bodem, vooral achtergrondemissie en emissie door uitspoeling. Op de gangbare bedrijven is nog 7-12% afkomstig van indirecte emissie die optreedt bij de productie van kunstmest.

Over verschillen in broeikasgasemissies tussen biologische en gangbare plantaardige productiesystemen werden nauwelijks referenties gevonden. Wel is er een omvangrijke hoeveelheid literatuur over N_2O en CH_4 emissies gerelateerd aan de effecten van toepassing van maatregelen. Uit veel studies komt naar voren dat ploegen meer broeikasgasemissie geeft dan niet ploeg systemen. Ook compactie van de bodem geeft hogere broeikasgasemissies. Niet-ploeg-systemen hebben ook een positieve invloed op de opbouw van organische stof in de bodem.

Glastuinbouw

Voor de glastuinbouw is CO_2 het enige relevante broeikasgas. Er treedt mogelijk wat meer lachgasemissie uit de bodem op bij biologische bedrijven maar deze valt in het niet bij de CO_2 emissie door het gebruik van aardgas. De broeikasgasemissies voor de teelt van glasgroenten lopen daarom volledig parallel aan het energieverbruik.

Verminderen van emissies van lachgas en methaan

Een goede structuur van de bodem geeft meestal een lagere lachgasemissie uit de bodem. Maatregelen als minimale grondbewerking, ondiep ploegen en minimale bodemdruk door mechanisatie dragen hieraan bij.
Bij de toediening en opslag van mest kan de emissie van lachgas verder geminimaliseerd worden. Snel onderwerken van mest en een goede mestverdeling zijn voorbeelden.

Er zijn echter nog vele witte vlekken over de mogelijkheden om de emissies van lachgas en methaan in de landbouw te beïnvloeden. Een betere kennis over de manier waarop methaan- en lachgasemissies beïnvloed kunnen worden door management maatregelen is noodzakelijk.

1.6 Koolstofopslag op biologische en gangbare bedrijven

Van biologische landbouw wordt verondersteld dat zij meer potentie heeft om als netto sink voor koolstof te dienen, of althans er minimaal voor te zorgen dat het organische stof gehalte in de bodem minder snel daalt dan in de gangbare landbouw. De vraag is of dit ook geldt voor de huidige praktijk in de Nederlandse biologische landbouw. Om deze vraag te beantwoorden zijn een aantal datasets uit de praktijknetwerken BIOM en Telen met toekomst geanalyseerd (akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt). Hieruit bleek geen verschil in organische stof gehalte in de bodem tussen biologische en gangbare bedrijven. Wel is er een verschil tussen biologisch en gangbaar in de hoeveelheid organische stof die aan de bodem toegevoegd wordt. Uitgedrukt in effectieve organische stof (e.o.s., het deel van de toegevoegde organische stof die na een jaar nog in de bodem aanwezig is), voeren de biologische bedrijven 400 kg/ha per jaar meer aan dan de gangbare bedrijven. Zowel op de biologische als op de gangbare bedrijven is de aanvoer volgens de huidige inzichten onvoldoende om het organische stofgehalte in de bodem te handhaven. Voor de biologische bedrijven wordt over 25 jaar een afname voorspeld van 7,5 ton koolstof per ha en voor gangbare bedrijven een afname van 11,7 ton koolstof per ha. In de huidige Nederlandse biologische praktijk ontleent de biologische landbouw de extra aanvoer van organische stof deels aan de gangbare sector door het gebruik van gangbare dierlijke mest.

Voor de biologische veehouderij zijn weinig data beschikbaar om een soortgelijke berekening uit te voeren. Op basis van de kennis van het organische stof management in de Nederlandse biologische en gangbare veehouderij worden echter geen grote verschillen tussen gangbare en biologische melkveebedrijven in organische stof opslag verwacht.

De uitkomsten in organische stof opslag zoals hierboven gepresenteerd, verschillen van enkele langjarige experimenten, zoals het Rodale onderzoek in de Verenigde Staten en de zogenaamde DOK trials in Zwitserland. Deze experimenten laten voor biologische systemen een netto positieve opslag van koolstof zien in de bodem tegenover een netto afname bij gangbare systemen.

De uitkomsten corresponderen wel met een modelstudie over koolstofemissie en opslag in Europa in landbouwgronden. Deze studie komt op een gemiddelde netto afname van koolstof van 840 kg C per ha per jaar op akkerland waarbij akkerland in Nederland een relatief hoge afname heeft.
Het moge duidelijk zijn dat het wenselijk is dat het gebruik en de afhankelijkheid van (gangbare) dierlijke mest verder wordt afgebouwd. De biologische landbouw wentelt hierdoor een aantal milieueffecten op de gangbare sector af. Ook vanuit een andere hoek is dit wenselijk: de hoge aanvoer van dierlijk mest leidt tot een ongewenste ophoping van fosfaat in de bodem. Hierbij moeten wel alternatieven worden gezocht voor het op peil houden van de stikstofvoorziening en organische stof aanvoer.

Een groter aandeel vlinderbloemigen en een hogere inzet van groenbemesters in het bouwplan kan bijdragen aan het afbouwen van het gebruik van gangbare dierlijke mest. Vergroting van het aandeel (niet-productieve) vlinderbloemigen en groenbemesters in biologische rotaties kan met zich meebrengen dat energieverbruik en broeikasgasemissie per ton product in de biologische landbouw toenemen. Het risico hierop moet zoveel mogelijk ondervangen worden.

1.7 Conclusies

Het beeld over de prestatie van de biologische landbouw op energieverbruik, broeikasgasemissie en is genuanceerd. De melkveehouderij scoort op alle fronten beter dan de gangbare sector. De open teelten scoren per oppervlakte eenheid beter maar per ton product vergelijkbaar of slechter. De glastuinbouw is zowel voor biologisch als gangbaar een klasse apart door haar hoge energieverbruik. Per ton product scoort de biologische glastuinbouw beduidend slechter dan de gangbare landbouw.

Kijkend naar de ‘potentiële’ organische stof opslag scoort biologisch beter dan gangbaar. Of beter gezegd minder slecht, want voor beide sectoren wordt een netto daling van de bodemvoorraad organische stof verwacht. Deze potentie uit zich echter (nog) niet in de vergelijking van het organische stof gehalte tussen gangbaar en biologisch beheerde bodems in Nederland.

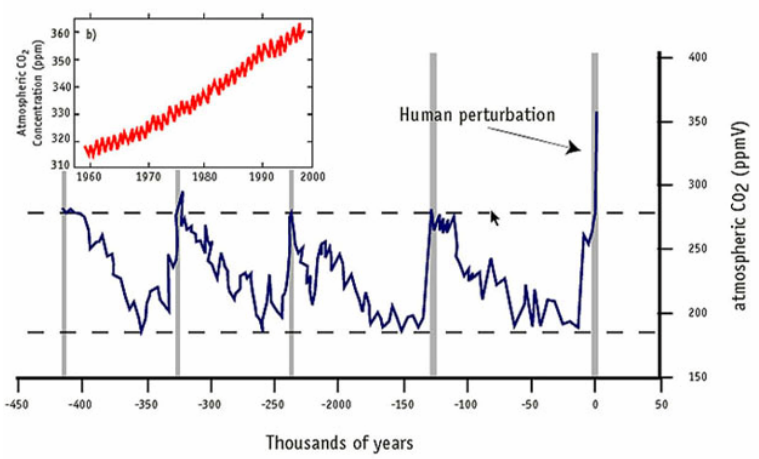
De in deze studie vastgestelde prestaties van de biologische landbouw zijn vaak wat minder positief dan in de internationale literatuur wordt geschetst. De oorzaak lijkt vooral gelegen in het feit dat de Nederlandse landbouw, inclusief de biologische landbouw, een vrij intensieve vorm van landbouw is.

Op vele fronten zijn er mogelijkheden om de prestatie van de biologische landbouw op het gebied van energiegebruik, broeikasgasemissies en opslag van koolstof te verbeteren. Deze maatregelen sluiten van vaak aan bij de overige intenties van de biologische landbouw.

2. Inleiding

2.1 Achtergronden

Twee van de meest nijpende mondiale duurzaamheidknelpunten zijn het uitputten van fossiele energiebronnen en de deels hiermee samenhangende toename van broeikasgassen in de atmosfeer. Broeikasgassen dragen bij aan de verwarming van de aarde. Natuurlijke broeikasgassen als waterdamp, kooldioxide (CO_2), methaan (CH_4) en distikstofoxide (N_2O, lachgas) zorgen voor een 'aangename' temperatuur op aarde, door de warmte die de aarde uitstraalt gedeeltelijk terug te kaatsen. Door menselijke activiteiten neemt de concentratie broeikasgassen in de atmosfeer toe (zie Figuur 2.1), wat leidt tot een stijging van de temperatuur en verandering van het klimaat. Menselijke activiteiten die hieraan in belangrijke mate bijdragen zijn het verbranden van fossiele brandstoffen, de netto afbraak van organische stof voorraden (bos, bodem) en de emissie van diverse broeikasgassen.



Figuur 2.1. Variatie in concentratie van CO_2 in de atmosfeer over de laatste 450 000 jaar (IPCC 2001; www.ipcc.ch).

Energiegebruik

Landbouw maakt gebruik van fossiele energie en draagt hiermee bij aan het verbruik van een eindige bron en aan de emissie van CO_2. Het directe energieverbruik in de primaire landbouwproductie is met 5% (157 PJ; CBS 2002, www.statline.nl) van het totale energieverbruik in Nederland (3141 PJ), relatief klein. De glastuinbouw neemt 76% van het directe energieverbruik in de primaire productie voor haar rekening. De energie nodig voor de productie van landbouwproductiemiddelen (stikstof, machines, zaden, bestrijdingsmiddelen), de bewerking en verwerking van landbouwproducten en de logistiek van het voedselcomplex zijn hierin echter niet meegerekend. Het energieverbruik in het totale agro-voedselcomplex wordt niet apart in de statistieken weergegeven maar bedraagt ca 15% van het totale energieverbruik in Nederland.

Broeikasgassen

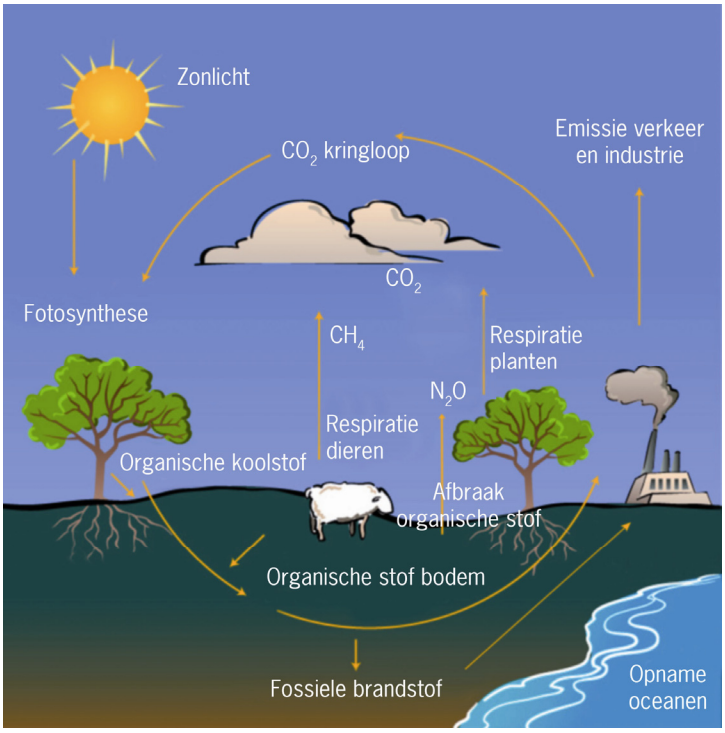
De belangrijkste broeikasgassen die bijdragen aan de opwarming van de aarde zijn CO_2, CH_4 en N_2O. Deze gassen komen onder andere vrij bij verbranding van fossiele brandstoffen, fermentatie in de pens van herkauwers en gebruik van mest. Daarnaast zijn de fluorverbindingen van belang, dit zijn kunstmatig gefabriceerde stoffen als HKF's, PFK's en SF_6, ter vervanging van CFK's.
Methaan en lachgas hebben een grotere invloed op het broeikaseffect dan CO_2. Voor een goede vergelijking worden ze omgerekend naar zgn. CO_2-equivalenten. Voor methaangas geldt een factor 21 en voor lachgas een factor 310.

Samenhang in kringlopen

Landbouw inclusief het totale agro-voedselcomplex speelt op een aantal terreinen een belangrijke rol in de emissie en/of opslag van broeikasgassen. Aan de ene kant legt landbouw CO_2 vast via plantaardige productie. Een deel hiervan wordt (tijdelijk) in de bodem opgeslagen of kan worden gebruikt als hernieuwbare energiebron. Aan de andere kant stoot landbouw CO_2 uit door gebruik van fossiele energie en door afbraak van organische stof in de bodem. Belangrijk zijn ook de emissies van lachgas en methaan. Deze gassen komen onder meer vrij bij de productie van kunstmeststikstof, bij bewaring en toediening van mest en bij denitrificatie van stikstofverbindingen in de bodem. Zowel de koolstof- als de stikstofkringloop spelen dus een belangrijke rol (zie Figuur 2.2). Belangrijk voor het totale effect op broeikasgasconcentraties in de atmosfeer is waar (milieucompartiment) en in welke vorm de koolstof en stikstof wordt opgeslagen. Landbouw kan een versnelde afbraak van organische stof in de bodem veroorzaken door bijvoorbeeld regelmatige grondbewerking. Hierbij worden broeikasgassen uitgestoten. Wanneer extra organisch materiaal (tijdelijk) wordt opgeslagen in bijvoorbeeld bos of bodem neemt de CO_2 hoeveelheid in de atmosfeer af.

De totale emissie van broeikasgassen in Nederland bedraagt 230 miljard CO_2-equivalenten (CBS, 2004). De primaire landbouwproductie levert hieraan een bijdrage van 12% (CBS 2004, www.staline.nl). Het totale agro-complex levert naar schatting een bijdrage van minimaal 17%. Hierbij wordt uitgegaan van een evenwichtssituatie: de jaarlijkse vastlegging van CO_2 in organische stof is gelijk aan de jaarlijkse hoeveelheid CO_2 die vrijkomt door afbraak van organische stof.

Van de totale hoeveelheid uitgestoten CO_2 equivalenten in Nederland wordt 15% veroorzaakt door de emissie van lachgas en methaan. Ruim de helft van de uitstoot van lachgas en methaan hangt samen met de uitoefening van landbouw.



Figuur 2.2. Koolstof en stikstofkringloop in de landbouw.

Landbouw, inclusief het totale agro-voedselcomplex, speelt op een aantal terreinen een belangrijke rol in de emissie en/of opslag van broeikasgassen. Aan de ene kant legt landbouw CO_2 vast via plantaardige productie. Een deel hiervan wordt (tijdelijk) in de bodem opgeslagen of kan worden gebruikt als hernieuwbare energiebron. Landbouw stoot aan de andere kant CO_2 uit door gebruik van fossiele energie en door afbraak van organische stof in de bodem.

Belangrijk voor de voor het totale effect op de toename van broeikasgassen in de atmosfeer is waar (milieucompartiment) en in welke vorm de koolstof en stikstof wordt opgeslagen. Landbouw kan een versnelde afbraak van organische stof in de bodem veroorzaken door bijvoorbeeld regelmatige grondbewerking. Hierbij worden broeikasgassen uitgestoten. Wanneer extra organisch materiaal (tijdelijk) wordt opgeslagen in bijvoorbeeld bos of bodem neemt de CO_2 hoeveelheid in de atmosfeer af.

2.2 Doel van de studie

Biologische landbouw wordt vaak beschouwd als een wijze van landbouw die een bijdrage kan leveren aan de vermindering van het energieverbruik en de verlaging van emissies van broeikasgassen. Uit een aantal buitenlandse studies blijkt biologische landbouw in vergelijking met gangbare landbouw op het gebied van energieverbruik, broeikasgasemissies en C-opslag beter te scoren dan gangbare landbouw (o.a. Pimentel *et al.*, 2005; Cormack, 2000; www.bioland.de). Daarnaast zijn echter ook studies bekend die geen verschil laten zien of waarbij de biologische landbouw zelfs slechter lijkt te scoren (Loges *et al.*, 2006; Olesen *et al.*, 2006; Avery, 2005). Hoe een en ander ligt voor de Nederlandse biologische landbouw is niet bekend. Doel van deze studie is dan ook om de huidige prestaties van de Nederlandse biologische landbouw op het gebied van broeikasgasemissies, energieverbruik en C-opslag in kaart te brengen en te vergelijken met de gangbare landbouw. Daarnaast worden maatregelen geïnventariseerd die kunnen bijdragen aan het verlagen van energieverbruik en broeikasgasemissies of het verhogen van de opslag van CO_2. Op basis van de resultaten zullen aanbevelingen worden gedaan om de prestatie van biologische landbouw verder te verbeteren.

2.3 Voetangels en klemmen in berekening energieverbruik en broeikasgasemissies

In deze studie worden in vergelijkende zin energieverbruik en broeikasgasemissies berekend voor een aantal biologische en gangbare modelbedrijven melkveehouderij, open teelten en glastuinbouw. Daarnaast is onderzocht of de biologische landbouw een grotere bijdrage levert aan de vastlegging van koolstof in de bodem dan de gangbare landbouw en zo sterker bijdraagt aan verlaging van het CO_2-gehalte in de atmosfeer. Vergelijkende studies als deze kenmerken zich door talrijke methodische valkuilen, en voor je het weet worden appels met peren vergeleken. In het onderstaand gaan we in algemene zin op een aantal van die valkuilen in.

Wat wordt vergeleken?

Met enige regelmaat verschijnen er berichten in de media en anderszins waarin de suggestie wordt gedaan dat de biologische landbouw op het gebied van energie en broeikasgassen beter 'scoort' dan de gangbare landbouw. Bij nadere bestudering van de achtergronden van dergelijke berichten blijkt vaak dat enige nuancering geboden is. Zonder hier nu concrete voorbeelden te gaan bespreken, kan in algemene zin op een aantal zaken gewezen worden.

Ten eerste: gat het over energieverbruik en emissies per ha of over energieverbruik en emissies per eenheid van product? Energieverbruik en emissies per ha zullen in de biologische landbouw inderdaad meestal aanzienlijk lager zijn dan in de gangbare landbouw. Dit kan worden toegeschreven aan een gemiddeld lager gebruik van inputs per ha. Energieverbruik en emissies per ha vormen echter een minder geschikte maat voor een problematiek met mondiale dimensies (uitputting fossiele energiebronnen en broeikaseffect). Betere maatstaven zijn energieverbruik en emissies per eenheid van product. Omdat opbrengsten per ha in de biologische landbouw lager zijn dan in de gangbare landbouw, zal het verschil in energieverbruik en emissies per eenheid van product geringer zijn dan het verschil uitgedrukt per ha. Overigens is hiermee niet gezegd dat de biologische landbouw per eenheid van product altijd slechter zal scoren dan gangbaar.

Tweede punt is wat de specificaties zijn van de gangbare en biologische landbouwsystemen die met elkaar vergeleken worden en hoe deze systemen zijn begrensd. Gaat het, bij wijze van spreken, om een ideaaltypisch biologisch systeem (d.w.z. zonder externe aanvoer van meststoffen en veevoer, met veel groenbemesters, hoge interne

efficiënties, etc.) dat vergeleken wordt met een 'vies' gangbaar systeem (meer meststoffen dan strikt nodig, standaard bespuitingen, geen teelt van groenbemesters, etc.)? Hoe zijn de systemen begrensd en is rekening gehouden met (indirect) energieverbruik en/of emissies van *alle* aangevoerde inputs? En welke producten worden in beide systemen geproduceerd? Gaat het om gewassen waarbij opbrengstverschillen tussen gangbaar en biologisch relatief gering zijn (zoals bijv. granen, peulvruchten, grasklaver)? Of zijn ook gewassen in de analyse betrokken waarbij opbrengstverschillen groter zijn, zoals 'luxere' gewassen als groenten en aardappelen? Idealiter dienen de systemen die vergeleken worden producten in dezelfde verhouding te produceren. Dat wil dus zeggen dat de onderlinge verhouding tussen bijvoorbeeld geproduceerde hoeveelheden aardappelen, tarwe en witte kool in het biologische systeem gelijk is aan diezelfde verhouding in het gangbare systeem. Een zoveel mogelijk gelijke onderlinge verhouding tussen de producten waarborgt dat de bedrijven hetzelfde voedselpakket produceren en dit verhoogt de onderlinge vergelijkbaarheid. Bij het definiëren van de gangbare en biologische landbouwsystemen die in deze studie vergeleken worden is hier rekening mee gehouden.

Energieprijs van dierlijke mest

In de Nederlandse biologische landbouw is dierlijke mest de belangrijkste meststof. In de gangbare landbouw is kunstmest de belangrijkste meststof, maar wordt eveneens veel gebruik gemaakt van dierlijke mest. Het toerekenen van energieverbruik aan de toepassing van kunstmest staat niet ter discussie, want de industriële productie van kunstmest vergt fossiele energie. Meer discussie is er over het al dan niet toerekenen van energieverbruik aan de productie van dierlijke mest door landbouwhuisdieren. Daarmee is een belangrijke vraag of aan de aanvoer van dierlijke mest, zoals op akkerbouwbedrijven gebruikelijk is, al dan niet een energieverbruik moet worden gekoppeld. Evenzeer geldt de vraag of aan bedrijven die mest afvoeren, zoals melkveehouderijbedrijven, al dan niet een 'negatief energieverbruik' (d.w.z. energieopbrengst) toegekend moet worden. Het zal duidelijk zijn dat de antwoorden op deze vragen een grote invloed zullen hebben op uitkomsten van studies waarin 'prestaties' van biologische en gangbare landbouw vergeleken worden. In deze rapportage zijn beide opties integraal uitgewerkt. Er is dus een serie uitkomsten gerapporteerd waarbij aan het gebruik van dierlijke mest geen energieprijs wordt gekoppeld en een serie waarbij dat wel gebeurt. De eerste serie berekeningen wordt in het rapport verder aangeduid als het scenario 'Huidige situatie', waarbij de rechtvaardiging voor het niet koppelen van energieverbruik aan de aanvoer van dierlijke mest volgt uit de lage economische waarde die dierlijke mest momenteel vertegenwoordigt. De serie berekeningen waarbij aan de aanvoer van dierlijke mest wel een energieverbruik wordt gekoppeld, wordt aangeduid als het scenario 'Mondiale schaarste'. Grondslag hiervoor is de veronderstelling dat het gebruik van dierlijke mest leidt tot gebruik van kunstmest en/of teelt van vlinderbloemigen elders op de wereld, bijvoorbeeld in oorspronggebieden van veevoedergrondstoffen.

Opslag van koolstof

Bemesting geschiedt in de biologische landbouw voornamelijk op basis van organische meststoffen. Bovendien is in de biologische landbouw het aandeel grasland (kunstweiden) en groenbemesters in het bouwplan dikwijls groter. Op grond daarvan wordt wel verondersteld dat de biologische landbouw een grotere bijdrage levert aan de vastlegging van koolstof in bodemorganische stof dan de gangbare landbouw en zo sterker bijdraagt aan verlaging van het CO_2-gehalte in de atmosfeer. Ook dit is onderwerp van discussie (zie bijv. Slingerland en Van der Wielen, 2005). Als eerste kan aangevoerd worden dat netto C-vastlegging 'slechts' een proces van tijdelijke aard is. Immers, op termijn stelt zich een evenwichtsniveau in, waarbij de jaarlijkse vastlegging van koolstof in de bodem gelijk is aan de jaarlijkse afbraak. In de evenwichtssituatie is het netto-effect dus nul. Tweede kanttekening betreft de herkomst van het organische materiaal dat aan de bodem wordt toegevoegd. Belangrijk daarbij is of dit materiaal simpelweg bij de gangbare landbouw is weggehaald (denk aan het intensieve gebruik van gangbare mest en gangbaar stro in de Nederlandse biologische landbouw) of dat de vastgelegde koolstof afkomstig is uit meer 'eigenlijke' bronnen, zoals binnen de biologische landbouw geteelde groenbemesters en/of tijdelijk grasland.

In deze rapportage is in verkennende zin getracht enig inzicht te verkrijgen in eventuele verschillen in C-opslag tussen biologische en gangbare landbouw. Dit is gedaan door organische stof gehalten van een aantal gangbare en biologische praktijkbedrijven onderling te vergelijken. Daarnaast is berekend welke evenwichtsniveaus op termijn zullen

worden bereikt, in afhankelijkheid van de jaargemiddelde aanvoer van organische stof op deze bedrijven. Voor de biologische bedrijven is een inschatting gemaakt van het aandeel 'gangbare koolstof' in deze aanvoer.

2.4 Leeswijzer

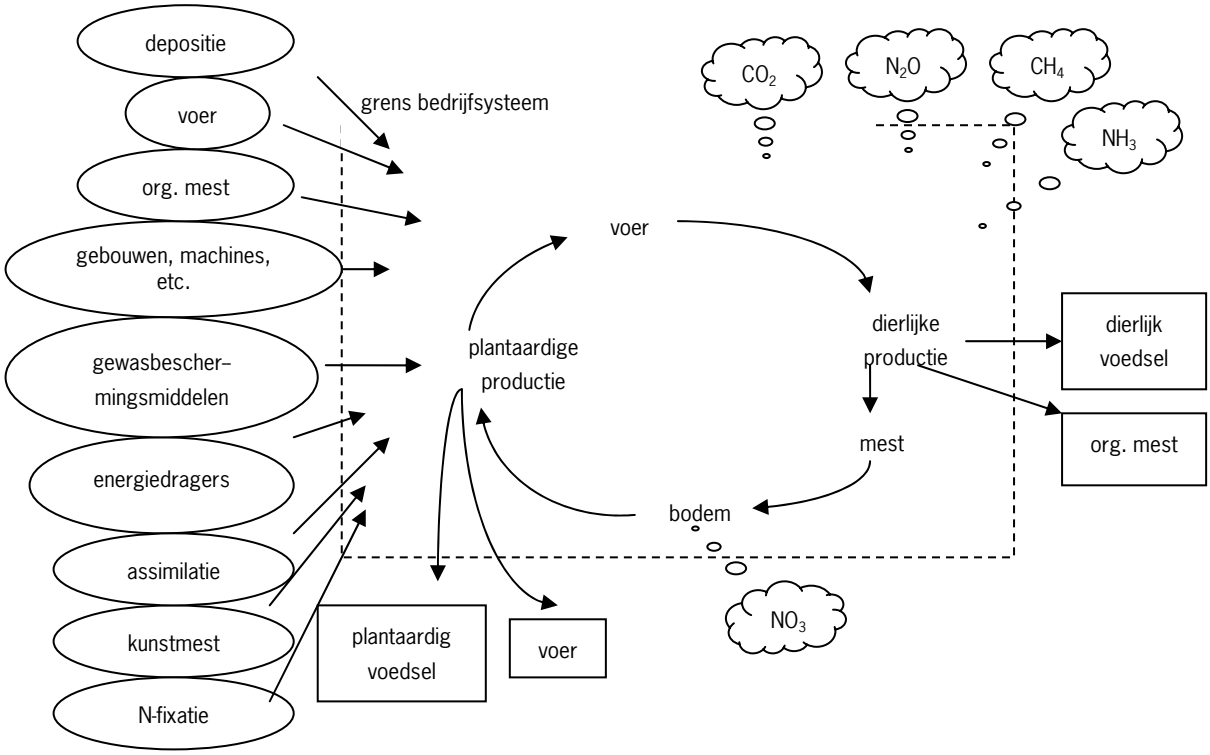
In hoofdstuk 3 worden energieverbruik en broeikasgasemissies in gangbare en biologische landbouw berekend. Resultaten van berekeningen worden per sector (melkveehouderij, akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt, glastuinbouw) gerapporteerd. Tevens worden gekozen aanpak en uitkomsten bediscussieerd en vergeleken met de literatuur. In hoofdstuk 4 wordt aan de hand van een aantal indicatoren nagegaan of er ten aanzien van CO_2 opslag verschillen bestaan tussen biologische en gangbare landbouw in Nederland en hoe groot de opslag bij benadering is. Ook deze resultaten worden vergeleken met de literatuur. In hoofdstuk 5 volgt een beschrijving van mogelijke maatregelen ter beperking van energieverbruik en broeikasgasemissies en ter verhoging van de C-opslag. In hoofdstuk 6 volgen conclusies en aanbevelingen.

3. Energieverbruik en broeikasgasemissies

3.1 Materiaal en Methoden

3.1.1 Systeembegrenzing

De studie richt zich op het energieverbruik en de broeikasgasemissies op het primaire productiebedrijf. De begrenzing hierbij is de bedrijfspoort. Emissies en verbruik nadat het product de bedrijfspoort heeft verlaten zoals transport, verwerking en opslag, worden niet meegerekend. Alle inputs worden zoveel mogelijk meegenomen (Figuur 3.1). Daarbij gaat het om zogenaamde directe en indirecte posten. Directe posten zijn het verbruik en de daarmee gepaard gaande broeikasgasemissies van energiedragers als motorbrandstof, gas en elektriciteit. Bij de indirecte posten gaat het om het energieverbruik en de broeikasgasemissie die gepaard gaan bij het vervaardigen van inputs zoals kunstmest, pesticiden of machines. Indirecte posten worden meegenomen 'tot de 1e graad'. Een voorbeeld: energiegebruik voor het maken van kunstmest wordt meegerekend maar niet het energiegebruik voor het bouwen van de machines om kunstmest te maken. Energie nodig voor het verrichten van humane arbeid wordt niet meegenomen.



Figuur 3.1. Schematische voorstelling van een landbouwbedrijfssysteem met de voor kwantificering van energieverbruik en broeikasgasemissies belangrijkste inputs (naar Schils et al., 2005).

De studie richt zich verder op de huidige Nederlandse praktijksituatie in de biologische en gangbare landbouw. Dit wil zeggen dat berekeningen worden uitgevoerd voor ontmengde, gespecialiseerde bedrijven, waarbij het bedrijfsmanagement zoveel mogelijk een afspiegeling is van de huidige praktijksituatie. Er is een keuze gemaakt voor een beperkt aantal sectoren, namelijk akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt, glastuinbouw (tomaat, komkommer) en melkveehouderij.

3.1.2 Melkveehouderij

3.1.2.1 Modelbedrijven

Energieverbruik en broeikasgasemissies worden berekend voor 8 biologische modelbedrijven en 6 gangbare, verdeeld over zandgronden en kleigronden. Enkele structuurkenmerken van de biologische en gangbare modelbedrijven zijn weergegeven in Tabellen 3.1 en 3.2. Deze structuurkenmerken zijn mede op basis van bestaande scenariostudies (De Haan *et al.*, 2005; Ter Veer, 2005) vastgesteld. Voor zowel de biologische als de gangbare bedrijven is onderscheid gemaakt in drie intensiteitscategorieën: intensief, gemiddeld en extensief. Indeling in deze categorieën is op basis van melkproductie per ha voedergewassen. De structuurkenmerken van de biologische modelbedrijven verschillen niet tussen grondsoorten, die van de gangbare modelbedrijven op onderdelen wel. Verder zijn bij het vaststellen van de modelbedrijven de volgende overwegingen meegenomen (Tabellen 3.1 en 3.2, Figuur 3.2):

Voor wat betreft verschillen in structuurkenmerken tussen intensieve en extensieve bedrijven:

- intensievere bedrijven hebben doorgaans een geringere oppervlakte dan extensievere bedrijven;
- intensievere bedrijven maken doorgaans minder gebruik van weidegang dan extensievere.

Voor wat betreft verschillen in structuurkenmerken tussen gangbare en biologische bedrijven:

- gangbare bedrijven gebruiken doorgaans in ruimere mate krachtvoer en samenhangend daarmee is ook het melkproductieniveau van de veestapel gemiddeld hoger;
- gangbare bedrijven plegen maïs doorgaans in continuteelt te verbouwen, biologische bedrijven passen meer vruchtwisseling toe;
- op gangbare bedrijven is het percentage maïs doorgaans wat hoger dan op biologische bedrijven;
- gangbare bedrijven maken doorgaans minder gebruik van weidegang dan biologische bedrijven;
- gangbare en biologische bedrijven huisvesten het vee doorgaans in een ligboxenstal, sommige extensieve biologische bedrijven hebben een potstal.

Vervangingspercentage veestapel

Op biologische bedrijven is doorgaans minder jongvee aanwezig. Biologische koeien worden dan ook wat langer aangehouden dan gangbare. De tussenkalftijd is op biologische bedrijven korter dan op gangbare bedrijven en afvoer om vruchtbaarheidsredenen komt minder voor. Verder kalven biologische vaarzen enkele maanden later af dan gangbare. Wellicht zijn ze daardoor wat 'sterker' en worden er minder vaarzen alsnog afgevoerd (gangbaar wordt ook 25% van de vaarzen afgevoerd; pers. med. G. Smolders, ASG Lelystad). Op grond van bovenstaande overwegingen is voor de gangbare modelbedrijven een vervangingspercentage van 30% gehanteerd en voor de biologische bedrijven van 25%.

Continuteelt en vruchtwisseling

Maïs wordt bij de gangbare bedrijven in continuteelt verbouwd. Bij de biologische bedrijven gebeurt dit in vruchtwisseling. Het bouwplan is in alle gevallen 1 jaar maïs na 4 jaar gras. Door het scheuren van grasland komt 100 kg N per ha vrij voor de maïs (Van den Pol - Van Dasselaar en Philipsen, 2000). Daarnaast is na scheuren van grasland van 3 jaar en ouder de gewasopbrengst 7% hoger verondersteld. Dit is het zogenaamde vruchtwisselingseffect (Van Dijk *et al.*, 1996). Bij de biologische bedrijven van gemiddelde intensiteit zit het hele areaal in vruchtwisseling. Bij de intensieve en extensieve biologische bedrijven is er ook een klein aandeel blijvend grasland dat niet in vruchtwisseling zit.

Herinzaaipercentage

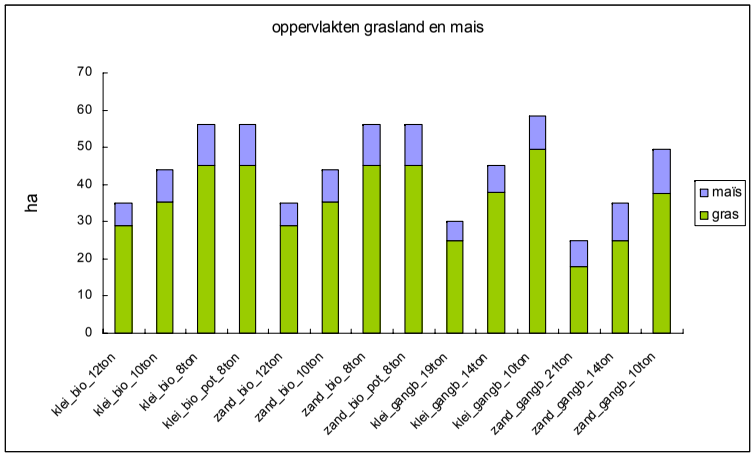
Voor de gangbare bedrijven wordt uitgegaan van het eens in de 10 jaar vernieuwen van het grasland (herinzaaipercentage van 10%). Bij biologische bedrijven met grasklaver is het herinzaaipercentage van blijvend grasland met 15% hoger. Voor het grasland in vruchtwisseling met maïs geldt een inzaaipercentage van 20% omdat elke 5 jaar opnieuw ingezaaid wordt na de teelt van maïs.

Tabel 3.1. Kenmerken van de 8 gedefinieerde biologische modelbedrijven melkveehouderij.

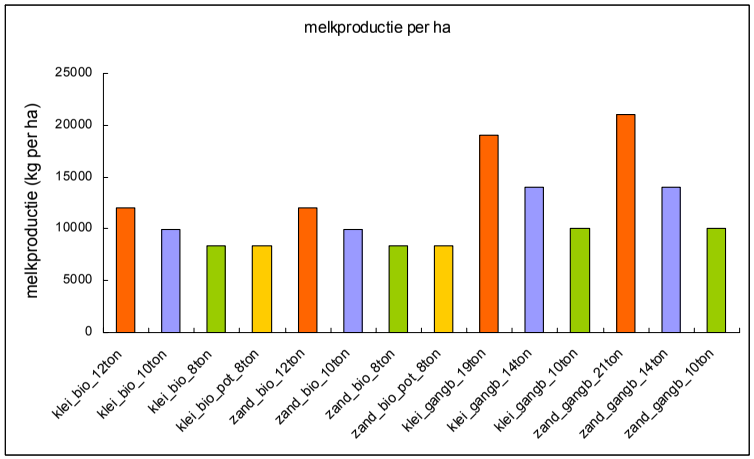
	Intensief		Gemiddeld		Extensief			
Grondsoort	klei	zand	klei	zand	klei	zand	klei	zand
Stalsysteem	ligbox	ligbox	ligbox	ligbox	ligbox	ligbox	potstal	potstal
Melkproductie (kg per ha)	12000	12000	9900	9900	8400	8400	8400	8400
Melkproductie (kg per koe)	7500	7500	7000	7000	6500	6500	6500	6500
Areaal voedergewassen (ha)	35	35	44	44	56	56	56	56
-waarvan grasland (ha)	29	29	35.2	35.2	45	45	45	45
-waarvan maïsland (ha)	6	6	8.8	8.8	11	11	11	11
maïs in vruchtwisseling	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
beweidingssysteem	B+4	B+4	0	0	0	0	0	0
krachtvoergift (kg per koe per jaar)	±1600	±1600	±1350	±1350	±900	±900	±900	±900

Tabel 3.2. Kenmerken van de 6 gedefinieerde gangbare modelbedrijven melkveehouderij.

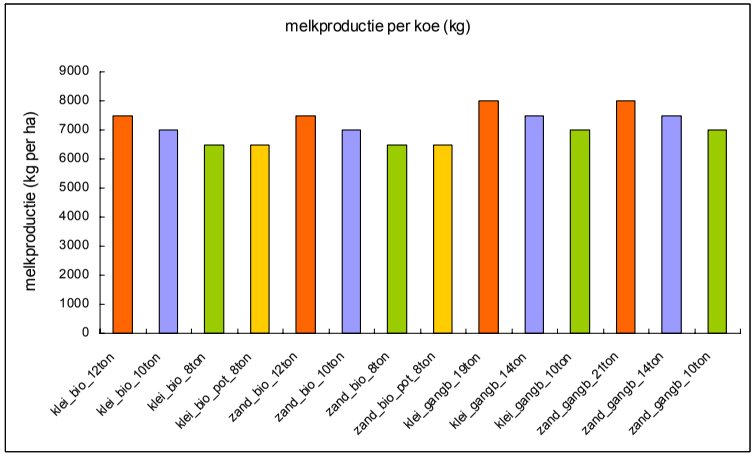
	Intensief		Gemiddeld		Extensief	
Grondsoort	klei	zand	klei	zand	klei	zand
Stalsysteem	ligbox	ligbox	ligbox	ligbox	ligbox	ligbox
Melkproductie (kg per ha)	19000	21000	14000	14000	9000	9000
Melkproductie (kg per koe)	8000	8000	7500	7500	7000	7000
Areaal voedergewassen (ha)	30	25	45	35	58.5	49.5
-waarvan grasland (ha)	25	18	38	25	49.5	37.5
-waarvan maïsland (ha)	5	7	7	10	9	12
maïs in vruchtwisseling	nee	nee	nee	nee	nee	nee
beweidingssysteem	B+6	B+8	B+6	B+8	0	0
krachtvoergift (kg per koe per jaar)	±2000	±2000	±1800	±2000	±1400	±1200



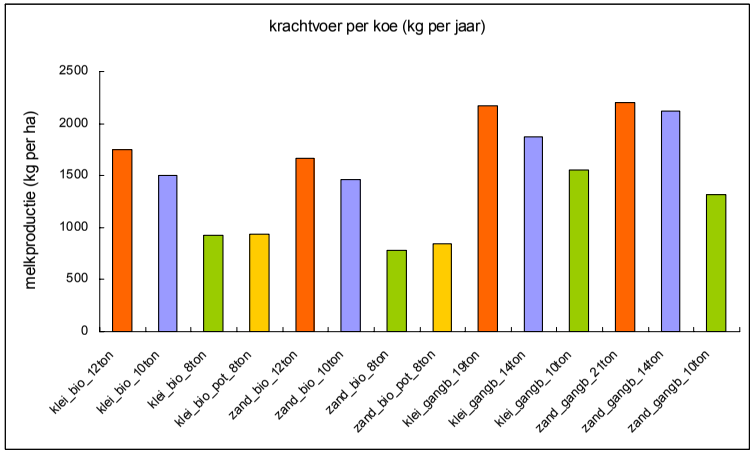
a. oppervlakte grasland en maïs



b. melkproductie per ha



c. melkproductie per koe



d. krachtvoer per koe

Figuur 3.2a-d. Enkele structuurkenmerken van de 8 biologische modelbedrijven en de 6 gangbare modelbedrijven. Per grondsoort zijn de modelbedrijven weergegeven in volgorde van afnemende intensiteit.

Maximale veebezetting

De biologische modelbedrijven dienen te voldoen aan de SKAL-normen (www.skal.nl). Een belangrijke voorwaarde voor SKAL is een maximale veebezetting op basis van maximaal 170 kg N per ha uit dierlijke mest. De SKAL-normen voor stikstofexcretie per dier zijn respectievelijk 96.1, 32.3 en 66.0 kg N voor respectievelijk een koe, kalf en pink. De extensieve biologische bedrijven voldoen aan deze norm. De intensieve en gemiddeld biologische bedrijven moeten respectievelijk ongeveer 260 en 100 kubieke meter mest afvoeren om aan de SKAL-norm te voldoen.

De gangbare bedrijven voldoen aan de regels van het mestbeleid 2006 en mogen maximaal 250 kg N per ha uit dierlijke mest op het eigen bedrijf plaatsen. De stikstofexcretie per kalf en pink is op gangbare bedrijven met drijfmest respectievelijk 32.8 en 70.2 kg N. De forfaitaire stikstofexcretie per koe hangt af van de melkproductie en het ureumgehalte van de melk (www.hetlnvloket.nl). Bij deze regels moeten de intensieve en gemiddelde gangbare bedrijven mest afvoeren, respectievelijk ca. 800 en 300 kubieke meter.

3.1.2.2 Opzet energiemodule BBPR

Voor het bepalen van energieverbruik en broeikasgasemissies van de modelbedrijven voor de melkveehouderij is gebruik gemaakt van het zgn. Bedrijfsbegrotingsprogramma Rundveehouderij (BBPR). Dit model is ontwikkeld en in beheer bij de Animal Sciences Group (ASG) van Wageningen UR. In het onderstaande wordt met name ingegaan op de in BBPR opgenomen modules voor het berekenen van energieverbruik en broeikasgasemissies van melkveehouderijbedrijven. Voor een beschrijving van andere in dit model opgenomen modules (onder andere Grasgroeimodel, Koemodel en economische en milieutechnische deelprogramma's) wordt verwezen naar De Haan *et al.* (2003).

In Figuur 3.3 is de opzet van de in BBPR opgenomen energiemodule schematisch weergegeven. In de module is onderscheid gemaakt tussen het directe en indirecte energieverbruik. Bij het directe energieverbruik worden dieselolie en elektriciteit onderscheiden, bij het indirecte verbruik wordt onderscheid gemaakt in goederen, gebouwen en machines en diensten.

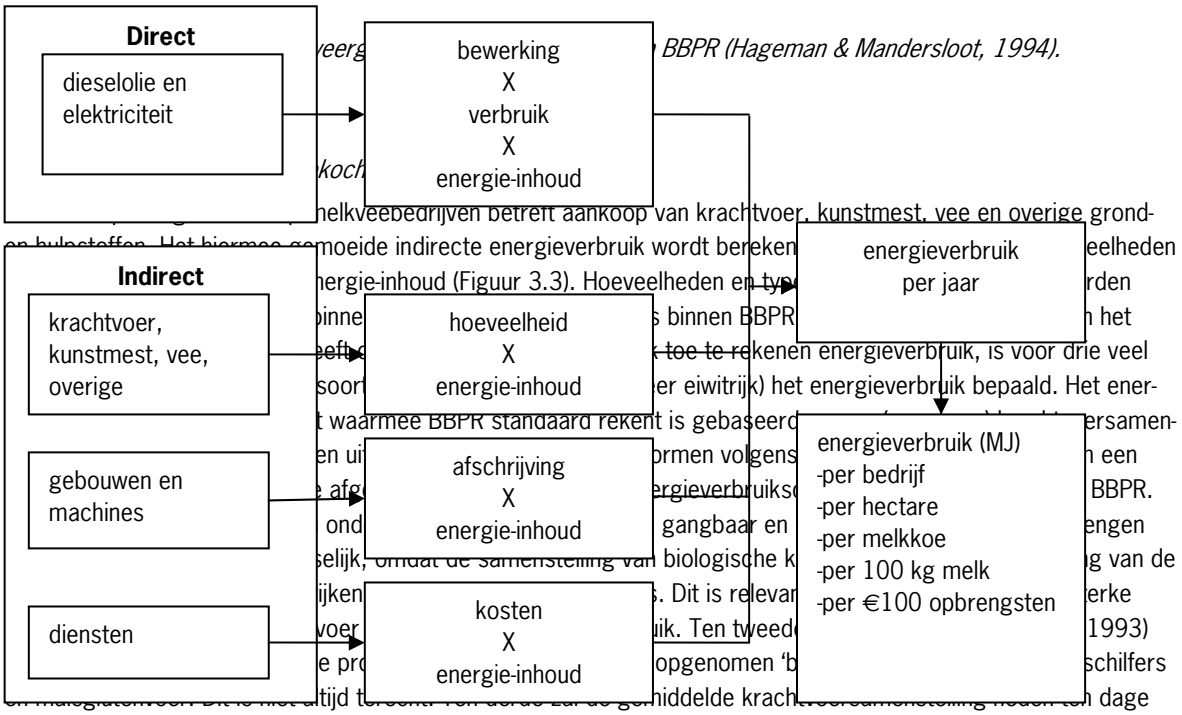
Direct energieverbruik: dieselolie en elektriciteit

Voor het melkveebedrijf zijn dieselolie en elektriciteit de belangrijkste onderdelen van het directe energieverbruik. Dit verbruik wordt in de energiemodule berekend door de verbruikte hoeveelheid energiedragers (dieselolie, elektriciteit, gas) te vermenigvuldigen met hun energie-inhoud (zie Figuur 3.3). De energie-inhoud van de energiedragers is uitgedrukt in MJ per eenheid van de energiedrager. De verbruikte hoeveelheden worden berekend met gegevens van andere onderdelen van BBPR.

Het dieselolieverbruik op een melkveebedrijf is afhankelijk van de bewerkingen die op het melkveebedrijf uitgevoerd worden en de voor elke bewerking benodigde hoeveelheid dieselolie. In de energiemodule zijn rekenregels opgenomen voor het berekenen van het dieselolieverbruik. Belangrijk daarbij is te weten welke werkzaamheden met eigen machines worden uitgevoerd en welke werkzaamheden door de loonwerker. Alleen de dieselolie voor eigen machines wordt tot het directe energieverbruik gerekend. De dieselolie die nodig is voor werkzaamheden die door de loonwerker uitgevoerd worden, is verwerkt in de energie-inhoud van loonwerk. De werkzaamheden die in eigen mechanisatie worden uitgevoerd, kunnen worden ingedeeld in bewerkingen op grasland, bewerkingen op bouwland en werkzaamheden voor het voeren van het vee. Het aantal uit te voeren bewerkingen en de hiertoe op het bedrijf aanwezige machines worden in andere onderdelen van BBPR bepaald. De koppeling van de bewerkingen, de werktuigen en het dieselolieverbruik vindt plaats in de energiemodule. Resultaat is het dieselolieverbruik voor de verschillende bewerkingen. Verder wordt nog rekening gehouden met enkele algemene werkzaamheden waarvoor ook dieselolie nodig is.

Het elektriciteitsverbruik heeft in BBPR betrekking op het melken en een aantal algemene werkzaamheden. Het elektriciteitsverbruik voor het melken is onderverdeeld in het verbruik voor de melkwinning (vacuümpomp), de koeling van de melk en de verwarming van het reinigingswater. Het verbruik van de vacuümpomp en de overige elektrische apparatuur in de melkstal is afhankelijk van het aantal melkstallen. Verder wordt nog elektriciteit verbruikt voor enkele

algemene werkzaamheden, zoals veescheren en de verlichting van de stal. Dit deel is afhankelijk van het aantal melkkoeien.



BBPR (Hageman & Mandersloot, 1994).

melkveebedrijven betreft aankoop van krachtvoer, kunstmest, vee en overige grond- en hulpstoffen. Het hiermee gemoeide indirecte energieverbruik wordt bereken eelheden nergie-inhoud (Figuur 3.3). Hoeveelheden en typ rden binne s binnen BBPR het eeft k toe te rekenen energieverbruik, is voor drie veel soort er eiwitrijk) het energieverbruik bepaald. Het ener- t waarmee BBPR standaard rekent is gebaseerd ersamen- en ui ormen volgens n een e afg ergieverbruiksc BBPR. ond gangbaar en engen selijk, omdat de samenstelling van biologische k g van de lijken s. Dit is relevar erke voer uik. Ten tweed 1993) e pr opgenomen 'b schilfers en maïsglutenvoer. Dit is niet altijd terecht. Ten derde zal de gemiddelde krachtvoersamenstelling heden ten dage anders zijn dan in 1992, bijvoorbeeld als gevolg van een daling van de EU-graanprijs. Tenslotte nemen Brand & Melman (1993) aan dat maïsglutenvoer, een belangrijke component van krachtvoer, een binnenlandse oorsprong heeft. In werkelijkheid werd, althans tot in ieder geval 1999, het overgrote deel van het maïsglutenvoer als zodanig geïmporteerd vanuit de Verenigde Staten (Kok *et al.*, 2004) en waarschijnlijk is dat nu nog zo.

Meer recentelijk hebben Thomassen *et al.* (2007a) het energieverbruik van diverse soorten krachtvoeders voor de melkveehouderij berekend ten behoeve van een LCA studie waarin de biologische melkveehouderij wordt vergeleken met de gangbare melkveehouderij. Daarbij maken zij expliciet onderscheid in gangbare en biologische krachtvoeders

voor wat betreft samenstelling en oorsprong van de grondstoffen. De door Thomassen *et al.* (2007a) berekende energieverbruikcijfers per krachtvoersoort zijn ook in deze studie gebruikt.
De aangevoerde kunstmest bestaat uit stikstof-, fosfaat- en kalikunstmest. De energie-inhoud die aan kunstmest wordt toegeschreven betreft de energie voor grondstoffenwinning, productie, verpakking en distributie volgens Brand & Melman (1993).

Op intensievere melkveebedrijven kan ook aankoop van ruwvoer noodzakelijk zijn. BBPR rekent met specifieke energie-inhoudnormen per ruwvoersoort (niet te verwarren met de energie-inhoud in termen van voederwaarde), gebaseerd op Brand & Melman (1993). Voor het afdekmateriaal van ruwvoeropslagen gaat BBPR uit van polyethyleen (PE) folie. Het daaraan toegeschreven energieverbruik is afhankelijk van het aantal gebruikte kilo's. Uitgangspunt bij strooisel is dat het een afvalproduct is uit de houtverwerkende industrie. Daarom wordt daaraan geen energieverbruik voor productie toegeschreven, maar alleen voor verpakking en transport. Tenslotte is er nog een aantal overige productiemiddelen dat ten behoeve van de bedrijfsvoering wordt aangevoerd en een energieverbruik met zich meebrengt, zoals smeermiddelen en overige meststoffen. Op bedrijfsniveau is de bijdrage aan het totale energieverbruik gering.

Ook voor het verbruik van diensten is indirecte energie nodig. Om dit verbruik te kunnen berekenen is de geldswaarde van de aangekochte diensten vermenigvuldigd met een energie-inhoud per Euro kosten (Figuur 3.3). Onder de diensten worden verschillende zaken gerekend zoals ingeschakeld loonwerk, diverse algemene kosten, waterverbruik en polder- en waterschapslasten.

Indirect energieverbruik: gebouwen en machines

Bij aankoop van gebouwen en machines wordt als het ware een voorraad prestaties of werkeenheden aangeschaft die geleidelijk ten behoeve van de productie worden ingezet. Hier wordt rekening mee gehouden door deze productiemiddelen geleidelijk af te schrijven. De kosten van het productiemiddel zijn daarom over de hele gebruiksduur verdeeld. Voor de productie en levering van gebouwen en machines is ook energie nodig. Net als bij bedrijfseconomische afschrijvingen is het wenselijk dat na aanschaf dit indirecte energieverbruik over de gehele gebruiksduur verdeeld wordt. Deze verdeling vindt in de energiemodule plaats op basis van de jaarlijkse economische afschrijving. Hiertoe is de energie-inhoud uitgedrukt per Euro afschrijving in plaats van per eenheid product.

De gebouwen bestaan uit stallen, de werktuigenberging, externe mestopslag en de erfverharding. BBPR berekent de vervangingswaarde en afschrijving van deze onderdelen. Voor machines wordt naast het indirecte verbruik ook het energieverbruik voor het onderhoud berekend.

3.1.2.3 Opzet broeikasgasmodule BBPR

Voor een uitgebreide beschrijving van de broeikasgasmodule wordt verwezen naar Schils *et al.* (2006a). Hier wordt volstaan met een beschrijving op hoofdlijnen.

De in BBPR opgenomen emissiefactoren voor broeikasgassen (CO_2, N_2O en CH_4) zijn in beginsel gebaseerd op de uitgangspunten in de protocollen die als grondslag dienen voor de nationale inventarisatie van broeikasgasemissies. De protocollen zijn te vinden op de website www.broeikasgassen.nl. In deze protocollen wordt voor wat betreft emissies uit de melkveehouderij onderscheid gemaakt in vier hoofdcategorieën: directe lachgasemissies uit landbouwbodems, indirecte lachgasemissies uit de landbouw, methaanemissies samenhangend met pensfermentatie en methaanemissie uit mest van rundvee. Daar waar het detailniveau van de protocollen onvoldoende is voor een juiste berekening van emissies op bedrijfsniveau, wordt in BBPR gebruik gemaakt van de emissiefactoren uit Miterra. Miterra is een rekenmodel op nationaal niveau voor emissies van methaan en lachgas in de landbouw (Kuikman *et al.*, 2004). Miterra wijkt af van de in de protocollen gevolgde systematiek voor wat betreft het gebruik van emissiefactoren. De emissiefactoren die binnen Miterra worden gebruikt zijn gebaseerd op metingen in de zgn. ROB-projecten. Deze komen soms overeen met wat binnen de protocollen wordt gebruikt en soms niet. In alle gevallen worden emissies berekend door vermenigvuldiging van een hoeveelheid van een (toevoer)bron met een emissiefactor.

CO_2 emissie

De door BBPR berekende CO_2 emissie is de CO_2 emissie die samenhangt met het verbruik van alle directe en indirecte energie, met uitzondering van krachtvoer. De CO_2 emissiefactoren zijn uitgedrukt per MJ verbruikte energie. Gehanteerde emissiefactoren zijn overgenomen van Van Dasselaar en Pothoven (1994). Voor berekening van de CO_2 emissie die gepaard gaat met de productie van krachtvoeders is gebruik gemaakt van door Thomassen *et al.* (2007a) berekende emissiefactoren. Daarbij is expliciet onderscheid aangebracht tussen gangbaar en biologisch krachtvoer.

Lachgasemissies

Directe lachgasemissies omvatten de emissies uit stal en mestopslag en als gevolg van de aanwending van kunstmest en dierlijke mest, beweiding van landbouwhuisdieren, teelt van vlinderbloemigen, scheuren van grasland, achterblijven van gewasresten en het landbouwkundig gebruik van histosolen (veengronden). De voor elk van deze (toevoer)bronnen gebruikte emissiefactoren zijn rechtstreeks overgenomen uit Miterra. Voor sommige bronnen is daarbij onderscheid gemaakt tussen grondsoorten en grondwatertrappen.

Door BBPR berekende indirecte lachgasemissies vloeien voort uit de bronnen uitgespoeld nitraat en geëmitteerde ammoniak en stikstofoxiden. Ammoniakemissie en nitraatuitspoeling worden berekend in het milieutechnische deelprogramma van BBPR. De emissie van stikstofoxiden is gesteld op 15% van de ammoniakemissie. Gebruikte emissiefactoren bij elke bron zijn afkomstig uit de protocollen.

Naast de genoemde indirecte lachgasemissies zijn nog andere indirecte emissies denkbaar die echter door BBPR niet standaard worden meegenomen. Dit betreft lachgasemissies die gepaard gaan met de productie van aangekochte krachtvoeders, aangekocht ruwvoer en aangekochte stikstofkunstmest (Schils *et al.*, 2005). Omdat het buiten beschouwing laten van deze emissies bedrijven met voerimporten of kunstmestaankopen onterecht zou 'bevoordelen', zijn deze emissies buiten BBPR om berekend. Emissiefactoren voor krachtvoeders zijn overgenomen van Thomassen *et al.* (2007a). Overig gebruikte emissiefactoren zijn afkomstig van Velthof & Oenema (1997).

Methaanemissie uit pensfermentatie en mest

In BBPR kan de methaanemissie uit pensfermentatie op twee manieren worden berekend. De in deze studie gebruikte methode hanteert vaste emissiefactoren per voertype (krachtvoer, graskuil, maïskuil, weidegras, GPS kuil, MKS). De emissiefactoren zijn afkomstig van Smink *et al.* (2003). De tweede methode is de methode die in de nationale protocollen wordt toegepast. Deze methode is nog in ontwikkeling. De bedoeling is de methaanemissie uit de pens te baseren op de VEM opname door het rundvee. De omrekening van VEM opname naar methaanemissie gebeurt met een methaanconversiefactor. Voor Nederland wordt jaarlijks een diersoortspecifieke methaanconversiefactor berekend met behulp van een dynamisch simulatiemodel van de pensfermentatie, waarbij rekening wordt gehouden met de eigenschappen van de verschillende componenten in het rantsoen.
Bij de berekening van de methaanemissie uit mest wordt onderscheid gemaakt tussen dunne rundveemest, vaste rundveemest en weidemest. De methaanemissie uit mest is onder meer afhankelijk van het diertype en voersamenstelling.

3.1.3 Open teelten

3.1.3.1 Modelbedrijven

Energieverbruik en broeikasgasemissies in biologische en gangbare akkerbouw en vollegrondsgroente worden in deze studie vergeleken aan de hand van modelbedrijven. De modelbedrijven zijn beschreven in Tabellen 3.1 en 3.2. Er is een biologisch en een gangbaar akkerbouwbedrijf op klei gedefinieerd en een biologisch en een gangbaar vollegrondsgroentebedrijf op zand. De bedrijven zijn samengesteld op basis van de bedrijfssystemen uit het voormalige bedrijfssystemenonderzoek op de OBS, Nagele en Meterik Wijnands & Dekking, 2002a; Wijnands & Dekking, 2002b; Sukkel & Koot 2002a; Sukkel & Koot 2002b). De gedefinieerde bedrijven zijn redelijk herkenbaar voor de klei-

gronden. Voor zandgronden is door de grote verscheidenheid in bedrijven en de specialisatie op gangbare bedrijven de herkenbaarheid minder groot. Hier is vooral gekozen voor de opname van een aantal belangrijke vollegronds-groentegewassen.

Voor het biologische bedrijf op klei is bepaald wat de invloed van schaalgrootte is. Daarom is zowel een 50 als een 100 ha bedrijf doorgerekend. Voor de bedrijven op klei is zowel de lachgasemissie bij grondwatertrap IV als bij grondwatertrap VI bepaald. Voor zand is alleen de emissie bij grondwatertrap VI bepaald. Voor de gangbare bedrijven is zowel een situatie met alleen kunstmest als een situatie met een combinatie van kunstmest en dierlijke mest door-gerekend.

Tabel 3.3. Kenmerken van de modelbedrijven akkerbouw en vollegrondsgroenten.

Nr.	Grondsoort	Sector	Productiewijze	Oppervlakte	Grondwatertrap	Mestgebruik
1a	Klei	Akkerbouw	Biologisch	50 ha	VI	Dierlijke mest
1b	Klei	Akkerbouw	Biologisch	50 ha	IV	Dierlijke mest
1c	Klei	Akkerbouw	Biologisch	100 ha	VI	Dierlijke mest
2a	Klei	Akkerbouw	Gangbaar	50 ha	VI	Kunstmest
2b	Klei	Akkerbouw	Gangbaar	50 ha	VI	Dierlijke mest + kunstmest
3a	Zand	Vollegrondsgroenten	Biologisch	25 ha	VI	Dierlijke mest
4a	Zand	Vollegrondsgroenten	Gangbaar	25 ha	VI	Kunstmest
4b	Zand	Vollegrondsgroenten	Gangbaar	25 ha	VI	Dierlijke mest + kunstmest

Tabel 3.4. Gewassen in de rotatie van de modelbedrijven per grondsoort/productiewijze.

Grondsoort	Klei	Klei	Zand	Zand
Productiewijze	biologisch	gangbaar	biologisch	gangbaar
Gewassen in de rotatie	pootaardappel suikerbiet zomertarwe winterpeen zaaiui erwten grasklaver	pootaardappel suikerbiet wintertarwe winterpeen zaaiui erwten cons. aardappel	prei stamslaboon bospeen aardbei kropsla Chinese kool	prei stamslaboon bospeen aardbei kropsla Chinese kool
Groenbemesters	witte klaver Engels raaigras	bladrammenas Engels raaigras	winterrogge witte klaver tagetes	winterrogge

Voor de akkerbouwbedrijven wordt aangenomen dat pootaardappelen 7 maanden en consumptieaardappelen, zaai-uien en winterpeen 4 maanden worden bewaard in een mechanische koeling. Verbruikcijfers voor bewaring zijn ge-baseerd op KWIN (Dekkers, 2002).

Op basis van de bouwplannen en KWIN-cijfers (Dekkers, 2002) zijn met het Bedrijfseconomisch Advies Model (BEA, Schoorlemmer & Krikke, 1997) de modelbedrijven gedefinieerd. Hierbij waren vooral van belang de bewerkingen, de bemesting en het gebruik van bestrijdingsmiddelen en andere hulpstoffen. De gegevens hieruit worden gebruikt om het energieverbruik en broeikasgasemissies te berekenen. Dit is gedaan met behulp van een aangepaste Telen met toekomst Energie- en Klimaatmeetlat (Mombarg en Kool, 2004).

Voor de biologische bedrijven is met de BIOM-bemestingsspreadsheet op basis van de rekenregels uit Wijnands & Van Leeuwen-Haagsma (2003) gecontroleerd of de in BEA voorgestelde bemesting op bouwplanniveau ook ongeveer overeenkomt met de praktijk en voldoet aan de huidige mestwetgeving. De bemesting van het biologische bedrijf op zand is daarom aangepast. De bemesting van het biologische bedrijf op klei uit BEA was goed.
Een overzicht van de kenmerken van de modelbedrijven is opgenomen in bijlage 1.

3.1.3.2 Berekening van energieverbruik en broeikasgasemissies

De Telen met toekomst Energie- en Klimaatmeetlat (Mombarg en Kool, 2004) is gebruikt als uitgangspunt voor de berekeningen van het energieverbruik. In de meetlat zijn voor de posten elektriciteit, aardgas, propaan, diesel, zaadgoed, plantgoed, organische mest, kunstmest, pesticiden, plastics, andere materialen, loonwerk, machines, bewaring en beregening inputfactoren en rekenregels voor directe en indirecte energieverbruik vastgesteld. De hoeveelheid indirecte en directe energie wordt doorgerekend naar het aantal CO_2-equivalenten om de broeikasgasemissie te berekenen. De post arbeid is niet meegenomen omdat het slechts een klein deel uitmaakt van het energieverbruik en in andere studies ook buiten beschouwing wordt gelaten.

De meetlat is verder verfijnd op de volgende punten:
- Direct energieverbruik is berekend op het niveau van individuele bewerkingen in plaats van op totaal dieselverbruik. De gegevens hiervoor zijn aangeleverd door Bert Vermeulen, Plant Research International en zijn samengevat in bijlage 2.
- Indirect energieverbruik van machines is berekend op basis van een maximaal aantal draaiuren per machine (4000 uur voor zwaarbelaste machines als rooiers en ploegen en 8000 uur voor alle overige machines) en het aantal draaiuren in het gewas. De Telen met toekomst Energie- en Klimaatmeetlat gebruikt een vaste afschrijvingstermijn van 12 jaar. Nadeel hiervan is dat machines die beperkt gebruikt worden erg zwaar meetellen in het indirecte energieverbruik, terwijl ze in de praktijk veel langer mee zullen gaan dan de vaste afschrijvingstermijn.
- Voor de berekening van het indirecte energiegebruik van machines zijn ook de gewichten van de machines nodig. De gebruikte gewichten staan in bijlage 3. Ze zijn grotendeels verkregen via Gertjan Zevenbergen, Agripers en Bert Vermeulen, PRI. Ontbrekende gewichten zijn geschat.

De lachgasemissies zijn berekend op basis van de rekenregels in BBPR volgens Schils *et al.* (2006a). Voor gegevens over gewasresten en groenbemesters is gebruik gemaakt van de normgegevens uit FARM en de BIOM bemestingsregels en voor de stikstofbinding zijn de cijfers van de WOG-studie gebruikt (Schröder *et al.*, 2004).

Emissiefactoren zijn aangepast op basis van recente internationale literatuur. Een overzicht van de gebruikte emissiefactoren is opgenomen in bijlage 4. Ook zijn daar de gehanteerde transportafstanden voor organische meststoffen weergegeven.

Organische bemestingen, groenbemesters en stikstofbinding zijn niet volledig aan één gewas toe te schrijven omdat er nalevering plaatsvindt naar de andere gewassen in het bouwplan. Om op gewasniveau uitspraken te kunnen doen zijn alle lachgasemissieposten opgedeeld naar een gedeelte dat direct naar het gewas toegerekend kan worden en een deel dat op bouwplanniveau plaatsvindt. Het bouwplandeel wordt vervolgens op basis van areaal over de productiegewassen verdeeld. De toedeling van organische mest naar het gewas en bouwplan in de bemesting vindt plaats door de Nr-fractie van de stikstof in de mest aan het bouwplan toe te kennen en de Nm- en Ne-fractie aan het gewas. De lachgasemissie bij de teelt van groenbemesters valt geheel onder het bouwplan. Zie voor de toedelingspercentages naar bouwplan bijlage 1. BBPR berekent geen indirecte lachgasemissies uit de productie van kunstmest, elektriciteit, noch van indirecte energie en de achtergrondemissie van lachgas uit de bodem. Deze zijn aanvullend opgenomen. Zie ook paragraaf 3.1.2.3 over de opzet van de broeikasgasmodule in voor de melkveehouderij.

Voor het energieverbruik is een zelfde toedeling van groenbemesters naar de productiegewassen gemaakt. Energieverbruik voor organische bemesting is in het geheel aan het gewas toegerekend dat de bemesting heeft ontvangen. Er is dus geen verdeling naar bouwplanniveau gemaakt.

3.1.4 Glastuinbouw

In de glastuinbouw is het energieverbruik voor verwarming veruit dominant boven alle andere energieposten. De mogelijke verschillen tussen gangbaar en biologisch hangen dus sterk samen met de keuze of een kas volledig, een deel van het jaar of vrijwel niet verwarmd wordt. In de praktijk komen alle situaties voor. De overige verschillen in management zoals organische bemesting en het in de grond telen hebben hiermee zeer weinig invloed op energieverbruik en broeikasgasemissies. De opbrengsten in gangbaar en biologisch kunnen echter wel sterk verschillen, waardoor ook energieverbruik en broeikasgasemissie per kg product beïnvloed wordt.

In een studie van Van Woerden (2001) zijn een aantal biologische praktijkbedrijven vergeleken met het gemiddelde gangbare bedrijf (KWIN). Geactualiseerde resultaten uit deze studie worden hier gepresenteerd.

3.2 Resultaten

De belangrijkste resultaten van de berekeningen worden in het onderstaande besproken en in figuren samengevat. Energieverbruik en broeikasgasemissies worden daarbij uitgedrukt per ha en per eenheid product. In bijlage 5 staan de resultaten van energieverbruik en broeikasgasemissie voor de akkerbouw en vollegrondsgroenten in tabellen samengevat.

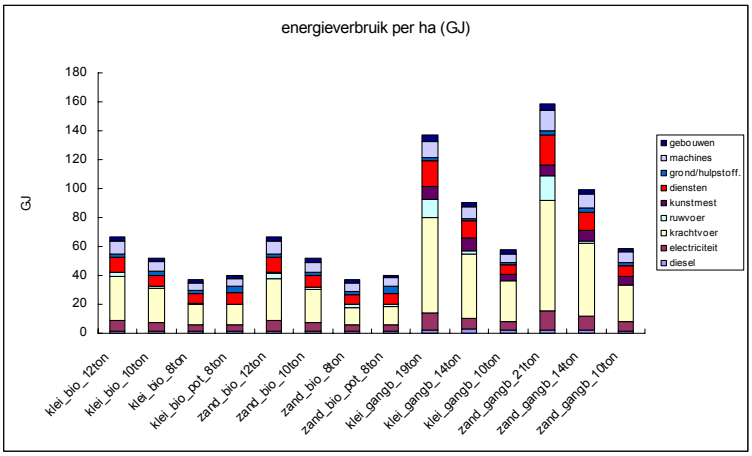
3.2.1 Melkveehouderij

3.2.1.1 Energieverbruik

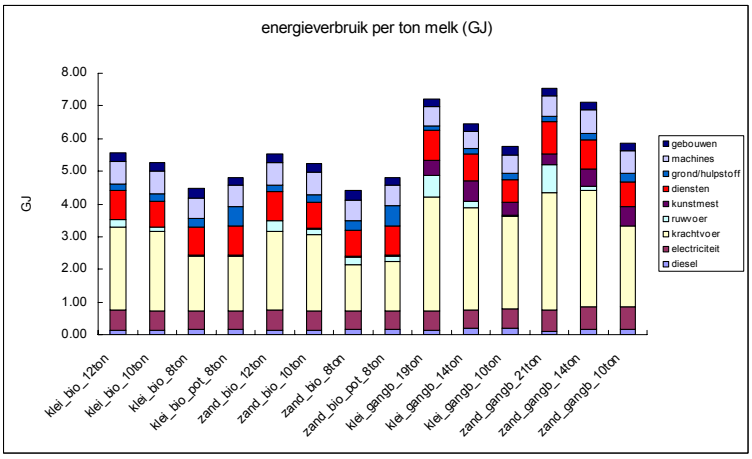
Huidige situatie

Het totale *energieverbruik per ha* (Figuur 3.4) op de 8 biologische modelbedrijven loopt uiteen van 37 tot 67 GJ. Voor de 6 gangbare bedrijven varieert dit tussen 58 en 159 GJ per ha. De variatie in het energieverbruik per ha is dus aanzienlijk. Het energieverbruik per ha is de weerslag van de intensiteit van het modelbedrijf gemeten naar melkproductie per ha: naarmate het modelbedrijf intensiever is worden per ha meer grondstoffen van buiten aangevoerd en is het energieverbruik per ha navenant groter. Dit geldt zowel voor de biologische modelbedrijven als de gangbare. Doordat de intensiteit van de gangbare modelbedrijven gemiddeld hoger is dan de intensiteit van de biologische modelbedrijven is het energieverbruik per ha op de gangbare bedrijven gemiddeld dus eveneens hoger. De intensiteit van de extensieve gangbare modelbedrijven is vergelijkbaar met die van de gemiddelde biologische modelbedrijven; het energieverbruik per ha op beide groepen bedrijven is dan ook vergelijkbaar (ordegrootte 52-58 GJ per ha). De intensiteit van de gemiddelde en intensieve gangbare modelbedrijven is (aanzienlijk) hoger dan die van de intensieve biologische bedrijven. Dit vertaalt zich dus ook in een hoger energieverbruik per ha.

Het totale *energieverbruik per ton melk* (Figuur 3.5) op de 8 biologische modelbedrijven loopt uiteen van 4.4 tot 5.5 GJ per ton melk. Voor de gangbare bedrijven varieert dit tussen de 5.8 en 7.6 GJ per ton melk. Over alle bedrijven heen bestaat een duidelijk positief verband tussen intensiteit en energieverbruik per ton melk. Op de biologische bedrijven is het energieverbruik gemiddeld 1.7 MJ per ton melk lager dan op de gangbare bedrijven (rekenkundig gemiddelde). Dit komt overeen met 25% van het gemiddelde energieverbruik per ton melk op de gangbare modelbedrijven.



Figuur 3.4. Energieverbruik per ha op 8 biologische en 6 gangbare modelbedrijven melkveehouderij.



Figuur 3.5. Energieverbruik per ton melk op 8 biologische en 6 gangbare modelbedrijven melkveehouderij.

Op alle modelbedrijven draagt het gebruik van krachtvoer veruit het sterkst bij aan het energieverbruik (Figuren 3.4 en 3.5). Op de intensieve en gemiddelde modelbedrijven is krachtvoeraanvoer verantwoordelijk voor 45 à 50% van het totale energieverbruik, zowel gangbaar als biologisch. Andere relatief belangrijke posten zijn geleverde diensten (loonwerk, waterverbruik e.d.), elektriciteit en productie van machines. Dieselverbruik, aanvoer van ruwvoer en grond- en hulpstoffen en gebouwen dragen ook bij aan het energieverbruik, maar bezien op het totaal is de bijdrage van deze posten afzonderlijk relatief gering.

Mondiale schaarste

In het scenario Mondiale schaarste wordt een energieprijs gekoppeld aan dierlijke mest op grond van de bemestende waarde van de afgevoerde dierlijke mest, uitgedrukt in kunstmestequivalenten. Ten opzichte van het energieverbruik bij het scenario Huidige situatie (waarin aan dierlijke mest geen energieprijs wordt gekoppeld) neemt het energieverbruik van mestimporterende bedrijven dus toe en dat van mestexporterende bedrijven af (zie par. 2.3). Een deel van de modelbedrijven melkveehouderij moet als gevolg van regelgeving (SKAL-normen en/of Gebruiksnormenstelsel) mest afvoeren. In het scenario Mondiale schaarste vertegenwoordigt deze afgevoerde mest een 'energieopbrengst'. Tabel 3.5 vermeldt afgevoerde hoeveelheden NPK per ha in dierlijke mest voor modelbedrijven die mest moeten afvoeren. Mestafvoer is alleen noodzakelijk op de intensieve en gemiddelde bedrijven, zowel biologisch als gangbaar. Op de gangbare bedrijven is de mestafvoer per ha aanzienlijk groter dan op de biologische bedrijven.

Tabel 3.5. Mestafvoer per ha in kuubs en kg NPK op de modelbedrijven melkveehouderij.

	Biologische modelbedrijven				Gangbare modelbedrijven			
	klei_12	klei_10	zand_12	zand_10	klei_19	klei_14	zand_21	zand_14
Kuubs	7,5	2,3	7,1	2,6	26,6	7,9	33,2	6,8
Mest-N	37	10	35	11	121	39	142	31
Mest-P	6	2	5	2	19	6	23	5
Mest-K	46	12	45	15	156	50	181	39

Als de energieopbrengst die de afgevoerde mest vertegenwoordigt in mindering wordt gebracht op het totale energieverbruik berekend onder het scenario Huidige situatie, resulteert het energieverbruik in het scenario Mondiale schaarste. In Tabel 3.6 wordt het aldus berekende energieverbruik per ton melk in Mondiale schaarste vergeleken met het energieverbruik per ton melk in Huidige situatie. Uit de tabel blijkt dat op de biologische modelbedrijven en de gemiddelde gangbare bedrijven de energiewaarde van de afgevoerde mest nauwelijks van betekenis is. Op de intensieve gangbare bedrijven is de mestafvoer echter zodanig groot dat dit wel betekenis heeft. Op het intensieve gangbare kleibedrijf neemt het energieverbruik per ton melk af van 7.2 tot 6.9 GJ per ton melk en op het intensieve gangbare zandbedrijf van 7.6 tot 7.2 GJ per ton melk. Voor het gemiddelde energieverbruik per ton melk berekend over *alle* biologische bedrijven en *alle* gangbare bedrijven (waaronder dus ook de extensieve bedrijven die geen mest afvoeren en wier energieverbruik per ton melk dus hetzelfde blijft als in het scenario Huidige situatie) maakt dit echter niet heel veel uit. Werd in de Huidige situatie een 25% lager energieverbruik per ton melk berekend voor biologisch, in het scenario Mondiale schaarste bedraagt dit nog altijd 23%.

Tabel 3.6. Energieverbruik in GJ per ton melk in huidige situatie en mondiale schaarste op mestafvoerende modelbedrijven melkveehouderij.

	Biologische modelbedrijven				Gangbare modelbedrijven			
	klei_12	klei_10	zand_12	zand_10	klei_19	klei_14	zand_21	zand_14
Huidige situatie	5,6	5,3	5,5	5,2	7,2	6,5	7,6	7,1
Mondiale schaarste	5,5	5,3	5,5	5,2	6,9	6,3	7,2	7,0

3.2.1.2 Broeikasgasemissies

Huidige situatie

De laagste en hoogste emissie per ha en per ton melk zoals berekend voor de gangbare en biologische modelbedrijven is voor elk broeikasgas weergegeven in Tabel 3.7. Daarnaast is in de tabel de laagste en hoogste totale broeikasgasemissie weergegeven, uitgedrukt in CO_2-equivalenten.

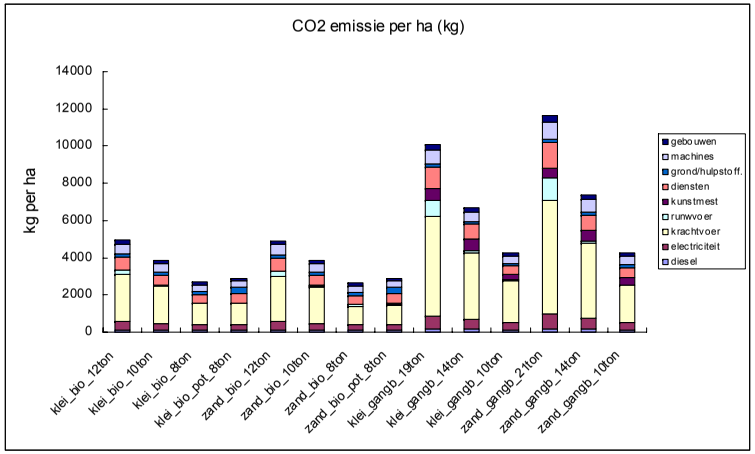
Tabel 3.7. Hoogst en laagst berekende broeikasgasemissie voor de biologische en gangbare modelbedrijven, uitgedrukt in kg per ha en per ton melk.

	emissie per ha		emissie per ton melk	
	gangbaar	biologisch	gangbaar	biologisch
CO_2	4250 – 11630	2650 – 4950	420 - 550	320 - 410
N_2O	15,3 – 37,1	12,4 – 18,8	1,5 – 1,9	1,5 – 2,0
CH_4	250 – 520	180 – 300	25 – 26	22 – 26
CO_2-eq.	14470 – 34160	10990 – 17010	1450 – 1650	1310 – 1460

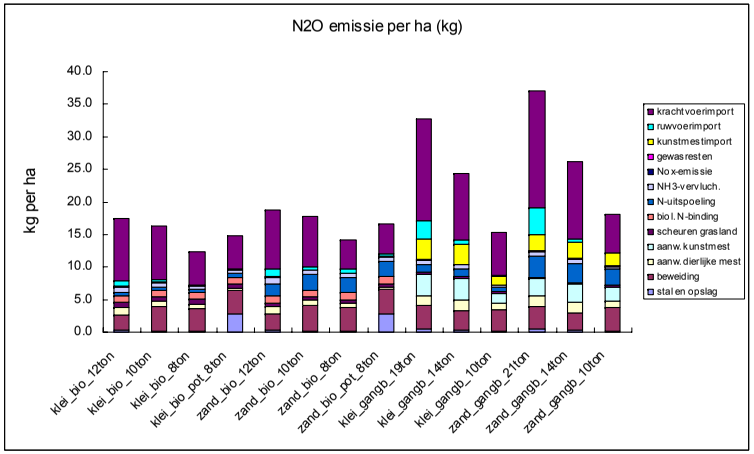
Net als gold voor het energieverbruik per ha, zijn ook de *broeikasgasemissies per ha* gekoppeld aan het intensiteitsniveau van de modelbedrijven (Figuur 3.6a-d). De lagere emissies per ha worden berekend voor de extensievere modelbedrijven en de hogere voor de intensieve modelbedrijven. Als gevolg daarvan bestaat er een overlap tussen de emissies per ha op de intensieve en gemiddelde biologische bedrijven en de emissies per ha op de extensieve gangbare bedrijven. Emissies op de gemiddelde en intensieve gangbare bedrijven zijn steeds aanzienlijk groter dan de emissies op alle biologische modelbedrijven.

Voor wat betreft de *broeikasgasemissies per ton melk* liggen de zaken wat gecompliceerder. Volgend uit de berekeningswijze (zie par. 3.1.2.3) is de CO_2 emissie per ton melk sterk gekoppeld aan het energieverbruik per ton melk. Het eerder geschetste beeld voor wat betreft het energieverbruik per ton melk geldt dus ook voor de CO_2 emissie per ton melk (Figuur 3.7): voor de biologische modelbedrijven wordt gemiddeld een lagere CO_2 emissie berekend. Het verschil bedraagt ca. 120 kg CO_2 per ton melk, ofwel ca. 25% van de gemiddelde CO_2 emissie op de gangbare modelbedrijven.

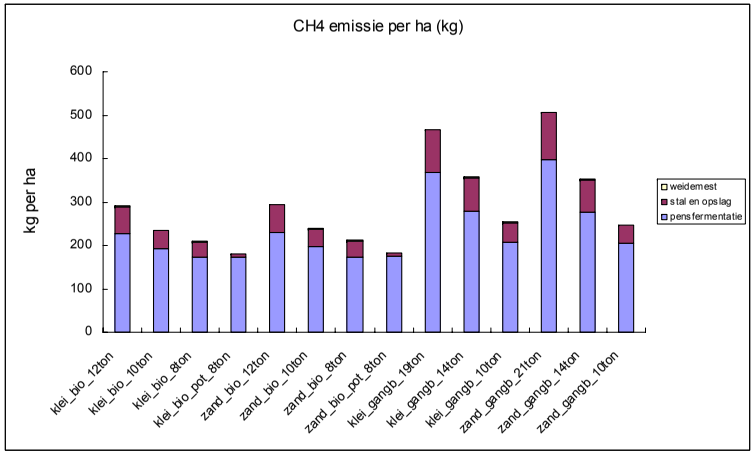
In afwijking van de CO_2 emissie per ton melk, zijn er nauwelijks verschillen in rekenkundig gemiddelde N_2O en CH_4 emissies per ton melk tussen gangbare en biologische modelbedrijven (Figuur 3.7). Voor wat betreft N_2O is de oorzaak van het afwezig zijn van verschillen tussen gangbaar en biologisch vooral gelegen in een intensiever gebruik van weidegang op de biologische modelbedrijven. Daarnaast draagt ook het frequenter scheuren van grasland op de biologische modelbedrijven bij. Verder is op beide biologische potstalbedrijven de N_2O-emissie relatief hoog, vanwege een forse N_2O-emissie uit stal- en mestopslag.
Op beide intensieve biologische modelbedrijven, waar beperkte beweiding wordt toegepast, wordt de laagste N_2O-emissie per ton melk gerealiseerd. Dat de emissie lager is dan op gangbare modelbedrijven wordt vooral veroorzaakt door het niet gebruiken van kunstmest. Een en ander wijst erop dat de biologische landbouw op dit punt potentieel beter kan presteren dan de gangbare landbouw. Dit vereist dan wel dat de weidegang wordt beperkt.
De CH_4 emissie uit de pens van dieren levert verreweg de grootste bijdrage aan de totale CH_4 emissie per ton melk (Figuur 3.7c). De emissie uit de pens is in BBPR afhankelijk van de absolute hoeveelheid opgenomen kracht- en ruwvoer en van aandelen van afzonderlijke voedermiddelen in het totale rantsoen (vers gras, graskuil, vers gras, krachtvoer, maïskuil). Per kg opgenomen ds resulteren vers gras, graskuil en krachtvoer in een relatief hoge methaanemissie uit de pens en maïskuil in een relatief lage emissie. Reden achter de afwezigheid van (grote) verschillen in CH_4 emissie tussen modelbedrijven is vooral gelegen in geringe verschillen in de totale voeropname per ton melk. Ook verschillen in rantsoensamenstelling zijn niet van dien aard dat ze resulteren in wezenlijk verschillende CH_4 emissies per ton melk.



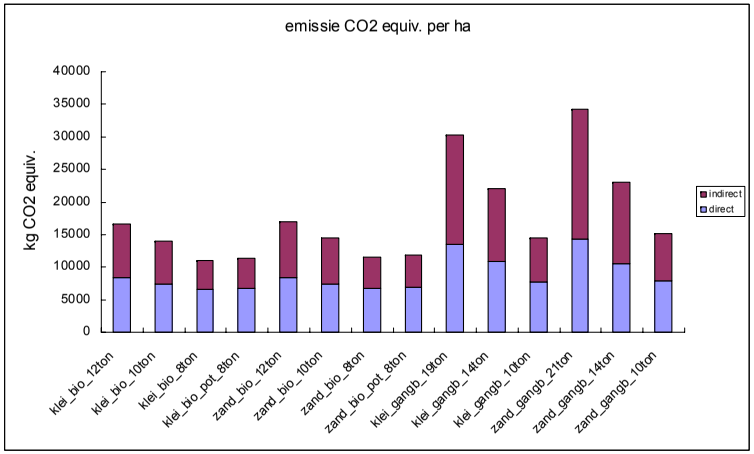
a. CO_2 emissie per ha



b. N_2O emissie per ha

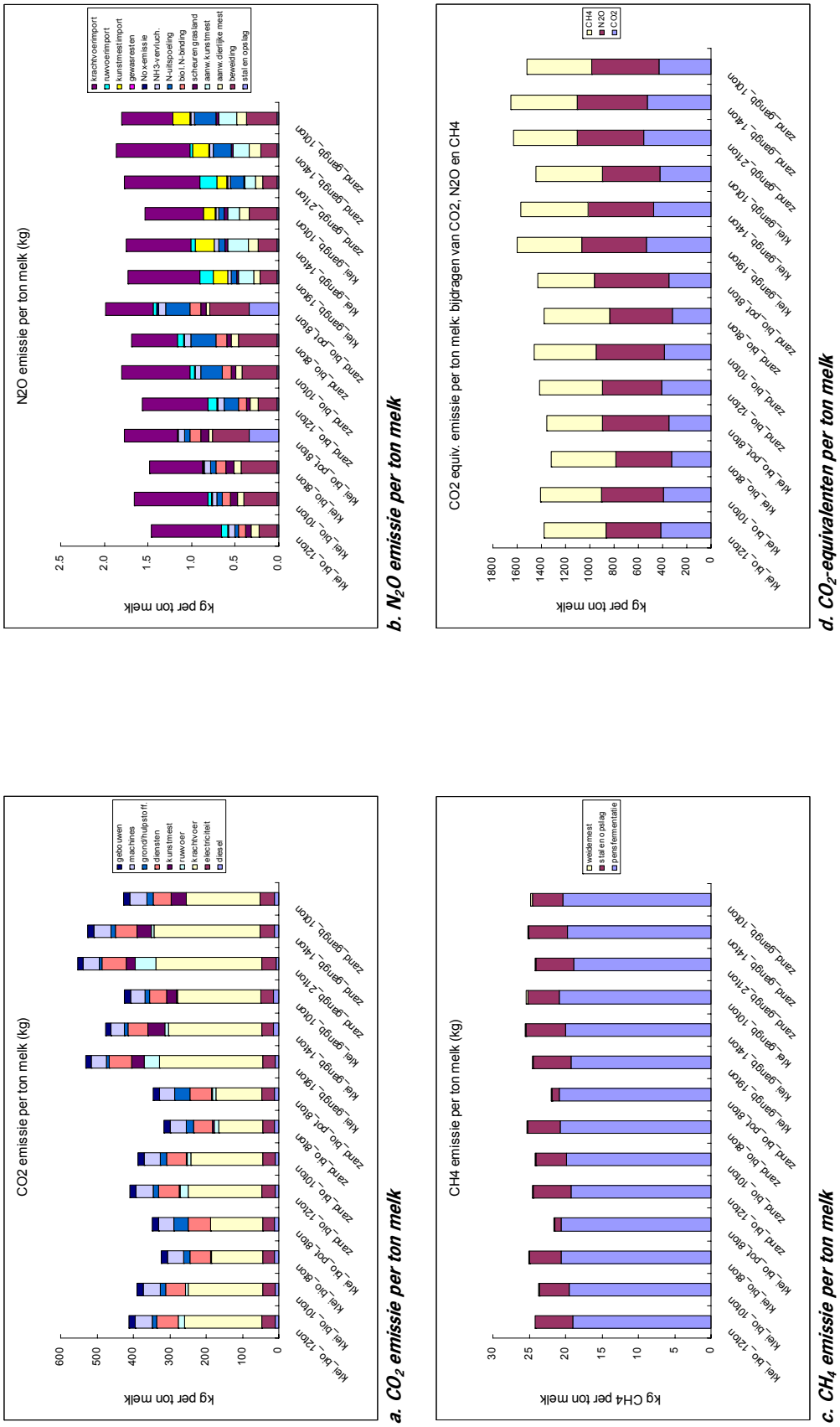


c. CH_4 emissie per ha



d. CO_2-equivalenten per ha

Figuur 3.6a-d. Broeikasgasemissies per ha op 8 biologische en 6 gangbare modelbedrijven melkveehouderij.



a. CO_2 emissie per ton melk

b. N_2O emissie per ton melk

c. CH_4 emissie per ton melk

d. CO_2-equivalenten per ton melk

Figuur 3.7a-d. Broeikasgasemissies per ton melk op 8 biologische en 6 gangbare modelbedrijven melkveehouderij.

De totale broeikasgasemissie per ton melk wordt berekend door de afzonderlijke emissies uit te drukken in CO_2-equivalenten. N_2O weegt daarbij 310 keer zwaarder en CH_4 21 keer zwaarder dan CO_2. Doordat er voor N_2O en CH_4 nauwelijks verschillen bestaan tussen de biologische en gangbare melkveebedrijven en beiden zwaar meewegen bij de omrekening naar CO_2-equivalenten, is het voor de CO_2-emissie per ton melk gevonden verschil (25%) deels verdwenen bij uitdrukken in CO_2-equivalenten per ton melk. De gemiddelde totale broeikasgasemissie van de gangbare modelbedrijven bedraagt 1570 kg CO_2-equivalenten per ton melk en dat van de biologische 1400 kg CO_2-equivalenten. Uitgedrukt als percentage van de emissie per ton op de gangbare bedrijven is de emissie per ton op de biologische bedrijven 11% lager.

CH_4 en N_2O zijn op alle modelbedrijven elk verantwoordelijk voor 30 à 40% van de totale emissie van CO_2-equivalenten (Figuur 3.7d). CO_2 is verantwoordelijk voor ca. 25-30% van de emissie van CO_2-equivalenten. De CH_4-emissie is voor het overgrote deel (ca. 80%) het gevolg van pensfermentatie.

Mondiale schaarste

Een deel van de modelbedrijven melkveehouderij moet als gevolg van regelgeving (SKAL-normen en/of Gebruiksnormenstelsel) mest afvoeren (zie Tabel 3.5). In Mondiale schaarste vertegenwoordigt deze afgevoerde mest een 'energieopbrengst' en daarmee ook 'vermeden broeikasgasemissies'. In paragraaf 3.2.1.1 hebben we echter gezien dat de hoeveelheden afgevoerde dierlijke mest niet van dien aard waren dat het verschil tussen het energieverbruik per ton melk tussen biologisch en gangbaar wezenlijk veranderde. Dit geldt dus eveneens voor de 'vermeden broeikasgasemissies' als gevolg van de energieopbrengst van afgevoerde dierlijke mest in het scenario Mondiale schaarste.

3.2.2 Open teelten

3.2.2.1 Energieverbruik

Huidige situatie

Het energieverbruik per hectare voor de modelbedrijven is weergegeven in Figuur 3.8. Het totale energieverbruik op het biologische akkerbouwbedrijf op klei (50 ha) is 28 GJ per ha, tegenover 43 GJ per ha op het gangbare akkerbouwbedrijf zonder dierlijke mest en 41 GJ per ha op het gangbare bedrijf met dierlijke mest. Het biologische akkerbouwbedrijf verbruikt per ha dus ongeveer 2/3 van de energie van de gangbare bedrijven.

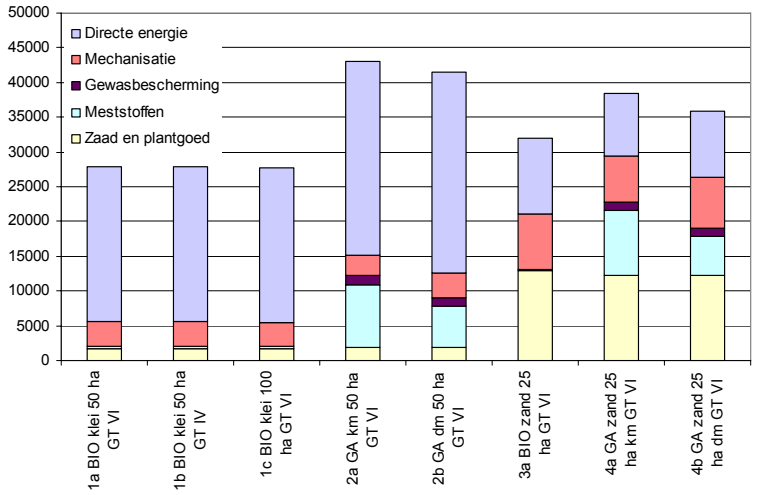
Het totale energieverbruik op het biologische groentebedrijf op zand is 32 GJ per ha, tegenover 38 GJ per ha voor het gangbare groentebedrijf zonder dierlijke mest en 36 GJ per ha voor het gangbare bedrijf met dierlijke mest. Het biologische groentebedrijf verbruikt dus per ha 84 – 90% van de energie van de gangbare bedrijven.

Op het biologische akkerbouwbedrijf wordt bijna 80% van het energieverbruik bepaald door het directe verbruik van (1) diesel tijdens de teelt (10 GJ per ha) en (2) elektriciteit tijdens de bewaring van aardappelen, peen en uien (12 GJ per ha). Op de gangbare bedrijven is het aandeel van het elektriciteitsverbruik absoluut hoger (20 GJ per ha) door de hogere opbrengsten. Het relatieve aandeel is lager omdat ook het indirecte energieverbruik hoog is, vooral door het energieverbruik bij de productie van kunstmest (6 GJ per ha voor het bedrijf met dierlijke mest en 9 GJ per ha voor het bedrijf met kunstmest). De gewassen met bewaring zijn de grote energieverbruikers op de bedrijven. De overige gewassen (suikerbieten, tarwe en erwten) verbruiken veel minder energie (Figuur 3.9).

Op de groentebedrijven wordt een groot deel van het energieverbruik bepaald door de indirecte energie voor het plantgoed van vooral prei, sla en Chinese kool (12-13 GJ per ha). Bij deze gewassen is de benodigde energie voor de opkweek van plantgoed 40 - 50% van het totale energieverbruik voor deze gewassen en hiermee is het totale energieverbruik van deze gewassen per ha relatief hoog. Gezaaide gewassen als stamslaboon en bospeen hebben een veel lager energieverbruik (Figuur 3.10). De andere belangrijke post is het directe energieverbruik (9-11 GJ per ha). Wel is deze post relatief veel kleiner (25 - 33%) dan op de akkerbouwbedrijven (65 – 80%). Op het gangbare bedrijf met kunstmest is de indirecte energie voor meststoffen ook aanzienlijk (9 GJ per ha). Op de biologische bedrijven is de indirecte energie voor meststoffen verwaarloosbaar.

Het energieverbruik per ton product is echter voor het biologische akkerbouwbedrijf gemiddeld 5-6% hoger dan voor de gangbare modelbedrijven (Figuur 3.11). Gewassen met een relatief lage opbrengst zoals tarwe en erwten hebben een hoog energieverbruik per ton. Gewassen met een relatief hoge opbrengst hebben een laag energieverbruik per ton. Suikerbiet is hier de uitschieter. In de groenteteelt is het energieverbruik per ton product voor het biologische modelbedrijf gemiddeld 36% hoger dan voor het gangbare modelbedrijf met kunstmest en 45% hoger dan voor het gangbare bedrijf met dierlijke mest (Figuur 3.12).

Verschillen tussen de gewassen zijn groot en de samenstelling van het bouwplan bepaalt dus in grote mate het energieverbruik van een bedrijf. Zo is voor de teelt van biologische erwten, suikerbieten en stamslabonen minder energie nodig dan voor de gangbare variant. Voor de teelt van biologische bospeen is bijna twee keer zoveel energie nodig dan gangbaar. Het hoge energieverbruik wordt vooral veroorzaakt door de energie die nodig is voor het onkruidbranden. Dit geeft ook aan dat de keuze voor individuele bewerkingen grote invloed kan hebben op het energieverbruik.

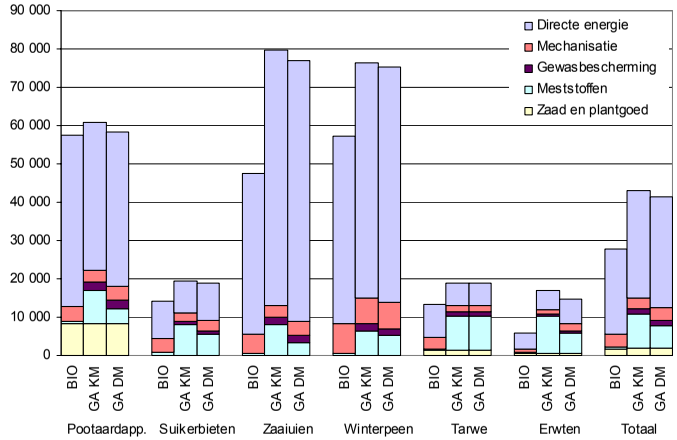


Figuur 3.8. Energieverbruik per hectare voor de afzonderlijke bedrijven (MJ/ha) (BIO = biologisch, GA = gangbaar, GT = grondwatertrap, km = kunstmest, dm = dierlijke mest, zie codering Tabel 3.3).

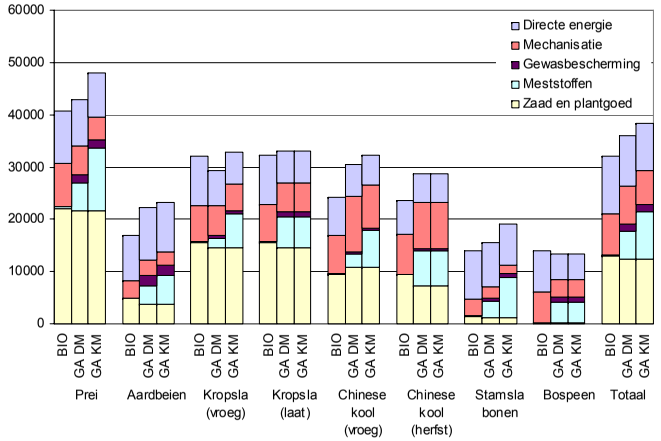
Een groter biologisch bedrijf heeft slechts een beperkte invloed op het energieverbruik (<1%, Figuur 3.8). Gemiddeld per hectare zijn het indirecte energieverbruik voor mechanisatie (1.7%) en het brandstofverbruik (0.6%) iets lager bij een verdubbeling van het biologische akkerbouwbedrijf van 50 ha naar 100 ha. Dit is echter wel een eerste schatting waarbij slechts beperkt is gekeken naar de invloed van grotere machines met een grotere capaciteit of werkbreedte op het energieverbruik. Dit komt vooral doordat de informatie over het indirecte en directe energieverbruik van de mechanisatie onvoldoende ontsloten is om dit efficiënt door te rekenen. Ook is voor een aantal bewerkingen geen energieverbruik bekend, voor deze bewerkingen is een grove schatting gemaakt.

Er is geen verschil in energieverbruik tussen de biologische bedrijven op grondwatertrap VI en grondwatertrap IV omdat grondwatertrap geen invloed heeft op het energieverbruik.

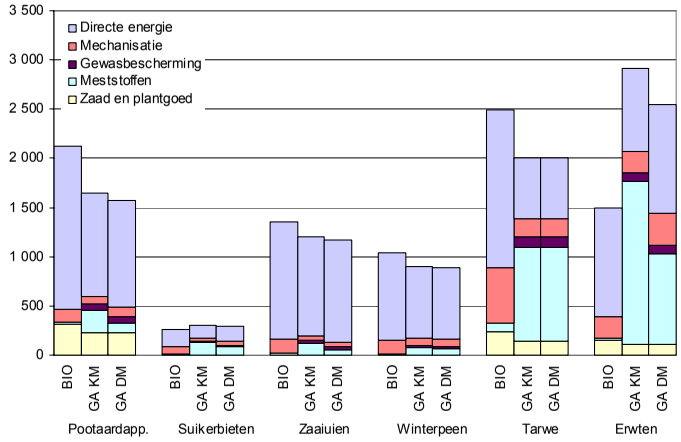
Gebruik van dierlijke mest op de gangbare modelbedrijven leidt tot een lager indirect energieverbruik doordat minder energie nodig is voor de productie van kunstmest maar tot een hoger direct energieverbruik omdat meer energie nodig is voor de toediening van meststoffen. Per saldo is het energieverbruik bij gebruik van dierlijke mest lager dan met alleen kunstmest. Voor het gangbare akkerbouwbedrijf is deze 4% en voor het gangbare vollegrondsgroentebedrijf 7% lager (Figuur 3.8).



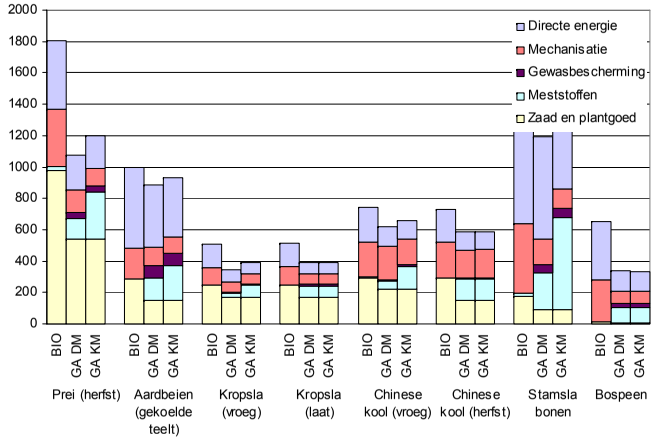
Figuur 3.9. Energieverbruik per hectare (MJ/ha) voor de afzonderlijke gewassen op de akkerbouwbedrijven op klei (BIO = biologisch bedrijf 1a, GA = gangbaar, km = kunstmest, dm = dierlijke mest).



Figuur 3.10. Energieverbruik per hectare (MJ/ha) voor de afzonderlijke gewassen op de vollegrondsgroentedrijven op zand (BIO = biologisch bedrijf 1a, GA = gangbaar, km = kunstmest, dm = dierlijke mest).



Figuur 3.11. Energieverbruik per ton product (MJ/ton) voor afzonderlijke gewassen op de akkerbouwbedrijven op klei (BIO = biologisch bedrijf 1a, GA = gangbaar, km = kunstmest, dm = dierlijke mest).



Figuur 3.12. Energieverbruik per ton product (MJ/ton) voor afzonderlijke gewassen op de vollegrondsgroentebedrijven op zand (BIO = biologisch bedrijf 1a, GA = gangbaar, km = kunstmest, dm = dierlijke mest).

Mondiale schaarste

In het scenario Mondiale schaarste wordt aan werkzame nutriënten in de organische mest de vergelijkbare energiewaarde voor de productie van kunstmest toegekend. Wanneer dit wordt gedaan voor het biologische akkerbouwbedrijf stijgt het energieverbruik met 2.3 GJ tot 30.2 GJ per ha in vergelijking met het scenario Huidige situatie. Dit is nog steeds 30% lager dan het energieverbruik op de gangbare bedrijven. Afhankelijk van het gewas, stijgt het energieverbruik per ton product met 7 tot 20%, behalve voor de grasklaver die geen organische mest krijgt. Het energieverbruik per ton komt daarmee nog hoger uit in vergelijking met gangbaar dan in het scenario Huidige situatie.

Op het vollegrondsgroentebedrijf stijgt het energieverbruik in vergelijking met het scenario Huidige situatie met 4.5 GJ tot 36.7 GJ per ha. Dit is nog 5% lager dan het energieverbruik op de gangbare bedrijven. Het energieverbruik per ton product stijgt gemiddeld met 23%. Het energieverbruik per ton komt daarmee nog hoger uit in vergelijking met gangbaar dan in het scenario Huidige situatie.

Voor de gangbare systemen wordt dit op een iets andere wijze al vergeleken met de modelbedrijven met alleen kunstmest en de modelbedrijven met dierlijke mest en kunstmest. De vergelijking is anders omdat naast de indirecte energie ook het verschil in de energie nodig voor toepassing van de mest wordt meegenomen. Alleen gebruik van kunstmest geeft een 4-7% hoger totaal energieverbruik dan met gedeeltelijk gebruik van dierlijke mest.

3.2.2.2 Broeikasgasemissies

Voor de modelbedrijven open teelten zijn emissies berekend van de broeikasgassen CO_2 en N_2O per ha. Daarnaast is in de tabel de totale broeikasgasemissie weergegeven, uitgedrukt in CO_2-equivalenten (Tabel 3.8 en Figuur 3.13).

Tabel 3.8. Berekende broeikasgasemissie per ha voor de biologische en gangbare modelbedrijven in kg CO_2-equivalenten.

	Klei akkerbouw			Zand groenten		
	gangbaar kunstmest	gangbaar dierlijke mest	biologisch	gangbaar kunstmest	gangbaar dierlijke mest	biologisch
CO_2 (kg)	3140	3041	2072	2644	2436	2230
N_2O (kg)	9,0	11,3	5,8	10,2	11,1	7,0
CO_2-equiv. (kg)	5942	6558	3844	5900	6071	4652

De totale broeikasgasemissies leveren per ha een gunstiger beeld op voor de biologische landbouw dan het energieverbruik. De broeikasgasemissie van het biologische bedrijf op klei is 59 – 65% van die van de gangbare bedrijven. Het aandeel van CO_2 en lachgas in de totale broeikasgasemissie is ongeveer gelijk. Evenals bij het energieverbruik veroorzaken teelten van pootaardappelen, zaaiuien en winterpeen de hoogste broeikasgasemissies. Tarwe en erwten hebben een relatief lage broeikasgasemissie (Figuur 3.14).

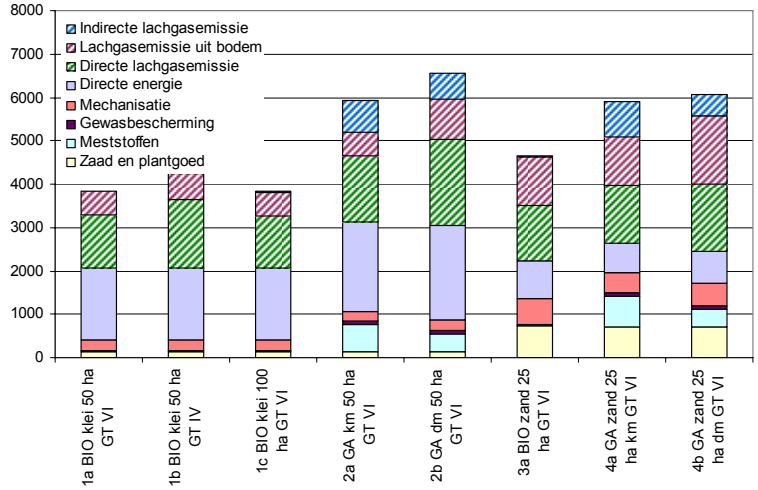
Op het biologische bedrijf op zand is de broeikasgasemissie per ha ongeveer 78% van die van de gangbare bedrijven. Voor alle bedrijven geldt dat iets meer dan de helft van de totale emissie van lachgas komt en iets minder dan de helft van CO_2. Prei heeft een relatief hoge broeikasgasemissie per hectare en bospeen een relatief lage. De overige gewassen zitten rond het bedrijfsgemiddelde (Figuur 3.15).

De belangrijkste post van lachgasemissie is in alle gevallen de directe emissie door gebruik van kunstmest, organische mest, inwerken van gewasresten en stikstofbinding (41 - 69% van het totaal). Voor de gangbare bedrijven en het biologische bedrijf op zand is de lachgasemissie bij toediening van stikstof de belangrijkste directe emissiebron. Voor de biologische bedrijven op klei is de emissie uit gewasresten de belangrijkste bron.

Op zandgronden is de indirecte lachgasemissie uit de bodem door uitspoeling en ammoniakemissie bijna net zo groot (33 - 44%) als de directe lachgasemissie. Op kleigronden is de indirecte emissie relatief lager (10 - 18% van het totaal). Van de indirecte emissies uit de bodem is de aan stikstofuitspoeling gerelateerde emissie het belangrijkste. Lachgasemissie door ammoniakverliezen is verwaarloosbaar.

Op de gangbare kunstmestbedrijven is 24-27% afkomstig van indirecte emissies vanuit de toelevering, vooral voor de productie van stikstofkunstmest. Op de gangbare bedrijven met dierlijke mest is dit ongeveer de helft. De indirecte emissies van elektriciteit en indirecte energie zijn verwaarloosbaar. Daarom is op biologische bedrijven de totale indirecte emissie vanuit de toelevering ook verwaarloosbaar.

De totale broeikasgasemissie per ton product is voor het biologische bedrijf op klei gemiddeld 7-8% hoger dan voor het gangbare kunstmestbedrijf en 2% lager dan het gangbare bedrijf met dierlijke mest (Figuur 3.16). Biologische suikerbieten en erwten hebben een lagere broeikasgasemissie per ton product dan gangbaar, de overige biologische gewassen een hogere. Lachgas en CO_2 dragen beide bij aan de hogere emissie. Ook hier hebben de gewassen met een lage opbrengst een relatief hoge broeikasgasemissie per ton product. Door de stikstofbinding van de erwten is de broeikasgasemissie per ton hier fors. Pootaardappelen, suikerbieten, uien en peen hebben een lage broeikasgasemissie per ton.



Figuur 3.13. Broeikasgasemissie per hectare (kg CO_2-eq/ha) voor de afzonderlijke bedrijven (BIO = biologisch, GA = gangbaar, GT = grondwatertrap, km = kunstmest, dm = dierlijke mest, zie codering Tabel 3.3).

Voor het biologische bedrijf op zand is de broeikasgasemissie per ton product ongeveer 28% hoger dan het gangbare bedrijf met kunstmest (Figuur 3.17). In vergelijking met het gangbare bedrijf met dierlijke mest is de broeikasgasemissie per ton product 23% hoger. Alle biologisch geteelde gewassen hebben een hogere broeikasgasemissie per ton dan de gangbare. De bijdrage van CO_2 aan deze hogere emissie is groter dan de bijdrage van lachgasemissie. Stamslabonen hebben een relatief hoge broeikasgasemissie per ton door de stikstofbinding. Kropsla en gangbare waspeen hebben een relatief lage broeikasgasemissie per ton. Door het onkruidbranden is de broeikasgasemissie van de biologische bospeen per ton relatief hoog.

Op gronden met een hogere grondwaterstand is de lachgasemissie ook hoger (Figuur 3.13). Zo neemt de lachgasemissie met 15% toe op de gangbare bedrijven op klei en 21% op het biologische bedrijf op klei bij grondwatertrap IV in vergelijking met grondwatertrap VI. Dit wordt veroorzaakt door een toename van zowel de directe als indirecte emissies uit de bodem.

Op de gangbare bedrijven met dierlijke mest is de lachgasemissie hoger dan op de gangbare bedrijven met kunstmest (Figuur 3.13 en Tabel 3.6). Op de akkerbouwbedrijven op klei is de lachgasemissie 26% hoger, op de vollegrondsgroentebedrijven op zand 9% hoger. Door een hogere aanvoer van stikstof zijn zowel de directe als indirecte verliezen via de bodem hoger. De indirecte emissie van de kunstmestproductie is wel lager op de bedrijven met dierlijke mest door een lagere aanvoer van kunstmest.

Mondiale schaarste

In het scenario Mondiale schaarste wordt aan werkzame nutriënten in de organische mest de vergelijkbare broeikasgasemissiewaarde voor de productie van kunstmest toegekend. Wanneer dit wordt gedaan voor het biologische akkerbouwbedrijf stijgt de broeikasgasemissie met 200 CO_2-eq. per ha tot 4044 CO_2-eq. per ha in vergelijking met het scenario Huidige situatie. Dit is nog steeds ruim 30% lager dan de broeikasgasemissie op de gangbare bedrijven. De broeikasgasemissie per ton stijgt met 2 tot 7%, behalve voor de grasklaver die geen organische mest krijgt. In vergelijking met gangbaar komt de broeikasgasemissie per ton daarmee nog hoger uit dan in het scenario Huidige situatie.

Op het vollegrondsgroentebedrijf stijgt de broeikasgasemissie met 406 CO_2-eq. per ha tot 5058 CO_2-eq. per ha in vergelijking met het scenario Huidige situatie. Dit is 14% lager dan de broeikasgasemissie op de gangbare bedrijven. De broeikasgasemissie per ton stijgt gemiddeld met 11%. Vergeleken met gangbaar komt de broeikasgasemissie per ton daarmee nog hoger uit dan in het scenario Huidige situatie.

Voor de gangbare systemen wordt dit op een iets andere wijze al vergeleken met de modelbedrijven met alleen kunstmest en de modelbedrijven met dierlijke mest en kunstmest. De vergelijking is anders omdat naast de indirecte broeikasgasemissie ook het verschil in de broeikasgasemissie nodig voor toepassing van de mest wordt meegenomen. Alleen gebruik van kunstmest geeft een 4-7% lagere broeikasgasemissie dan met gedeeltelijk gebruik van dierlijke mest.

3.2.2.3 Broeikasgasemissie bij vervanging van dierlijke mest door vlinderbloemigen

De biologische akker- en tuinbouw maken veel gebruik van mest uit de gangbare sector. In haar streven naar het sluiten van kringlopen wil de biologische landbouw het gebruik van gangbare mest op termijn afbouwen. Omdat aan de productie van mest geen energieverbruik en daarmee geen broeikasgasemissie wordt toegekend profiteert de biologische landbouw van de gangbare landbouw. Daarom is gekeken naar het effect op broeikasgasemissie in een situatie dat geen organische mest beschikbaar is. In een dergelijk systeem wordt stikstof aangevoerd door stikstofbinding en wordt fosfaat en kali via gesteenten aangevoerd. In onderstaande tekst en Tabel 3.9 wordt dit toegelicht.

Uit de berekeningen blijkt dat een 1-jarige grasklaver een broeikasgasemissie van 2000 kg CO_2-eq. per ha heeft en klavergroenbemester 950 – 1100 kg CO_2-eq. per ha. De langjarige stikstofnalevering van grasklaver wordt geschat op 125 kg per ha over een periode van drie jaar en de stikstofnalevering van de klavergroenbemester op 50 kg per ha. Dit betekent dat per kg nageleverde stikstof 16-20 kg CO_2-eq broeikasgasemissie optreedt. In de berekeningen gaan we verder uit van 20 kg CO_2-eq. per kg werkzame N.

Vanuit de berekeningen blijkt dat de organische bemesting voor het biologische akkerbouwbedrijf op klei per jaar 57 kg werkzame stikstof levert. Hierbij emitteert ongeveer 650 kg CO_2-eq. per ha. De emissie per kg werkzame stikstof is dan ongeveer 11 kg CO_2-eq.. Voor het biologische groentebedrijf op zand is 120 kg werkzame N nodig, hetgeen resulteert in een emissie van 875 kg CO_2-eq. per ha, ofwel 7 kg CO_2-eq. per kg werkzame N. Bemesting via stikstofbinding geeft dus ongeveer twee keer zoveel emissie als via organische bemesting.

Ook de broeikasgasemissie van de fosfaat- en kalibemesting worden meegenomen. Deze is geschat met de emissiefactoren voor kunstmest. Voor het biologische akkerbouwbedrijf gaat het om een emissie van 100 kg CO_2-eq/ha, voor het biologische groentebedrijf om 140 kg CO_2-eq/ha. Hierbij is niet gerekend met de werkelijke kali-aanvoer. Deze is door het gebruik van Vinassekali veel hoger dan nodig. De kali-aanvoer is afgetopt op 200 kg/ha voor het akkerbouwbedrijf en 300 kg/ha voor het vollegrondsgroentebedrijf.

De totale emissie bij vervanging van organische mest door vlinderbloemigen en fosfaat en kaligesteenten is dan voor het biologische akkerbouwbedrijf:

57 kg N-werkzaam/ha * 20 kg CO_2-eq/kg N-werkzaam + 100 kg CO_2-eq/ha = 1240 kg CO_2-eq/ha

Ten opzichte van de totale broeikasgasemissie van 3800 kg CO_2/ha van het akkerbouwbedrijf geeft vervanging van organische mest door vlinderbloemigen een stijging van 16%. De broeikasgasemissie blijft per ha wel lager dan van de gangbare bedrijven. Over de precieze stijging van de broeikasgasemissies per ton kan geen uitspraak worden gedaan omdat dit niet op gewasniveau is uitgewerkt. Wel is duidelijk dat de broeikasgasemissie per ton product zal stijgen. Deze waren voor de biologische producten al hoger dan de gangbare producten en zullen hiermee dus nog hoger worden.

Voor het groentebedrijf is de totale emissie:

120 kg N-werkzaam/ha * 20 kg CO_2-eq/kg N-werkzaam + 140 kg CO_2-eq/ha = 2540 kg CO_2-eq/ha

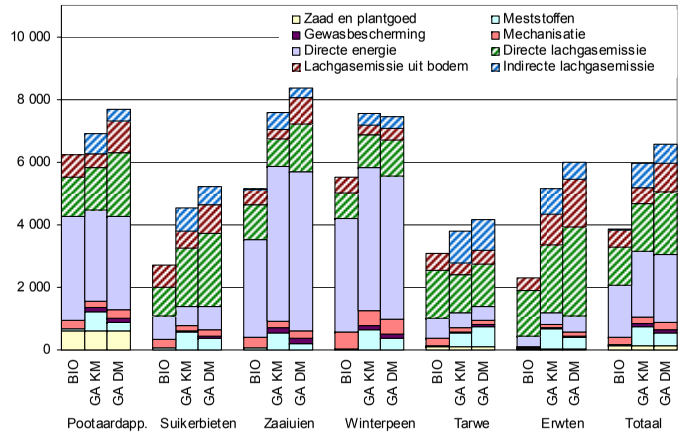
Ten opzichte van de totale broeikasgasemissie van 4600 kg CO_2/ha van het vollegrondsgroentebedrijf geeft vervanging van organische mest een stijging van de broeikasgasemissie van 36%. De broeikasgasemissie per ha wordt hiermee ook licht hoger dan van de gangbare bedrijven. Ook op het vollegrondsgroentebedrijf waren de broeikasgasemissie per ton product al hoger dan gangbaar en deze zullen hiermee ook nog hoger worden.

De verschillen tussen de akkerbouw en vollegrondsgroenten modelbedrijven worden vooral veroorzaakt door de verschillen in behoefte aan werkzame N, gebruikte mestsoorten, toedieningstijdstippen en werkingscoëfficiënten van de mest.

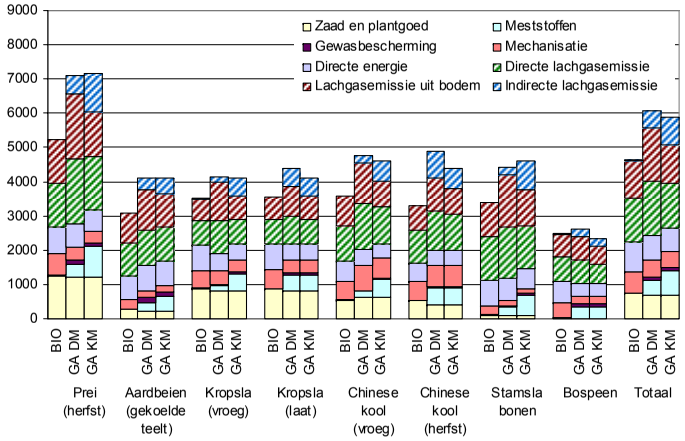
Naast een stijging van de broeikasgasemissies betekent het minder of niet gebruiken van organische mest ook een extensivering van de biologische landbouw die ook economisch consequenties heeft. Opname van meer vlinderbloemigen in het bouwplan betekent dat een lagere hoeveelheid productieve gewassen geteeld kunnen worden.

Tabel 3.9. Effect op broeikasgasemissie van de vervanging van organische mest door vlinderbloemigen en gesteenten.

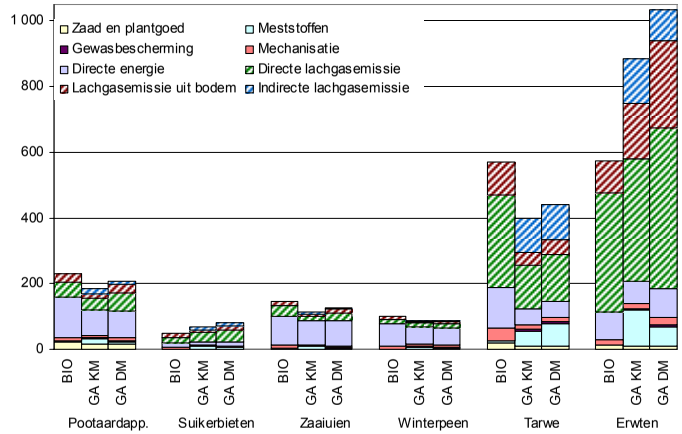
	Biologisch akkerbouw	Biologisch vollegrondsgroenten
Vlinderbloemigen		
Grasklaver, 1 jarig		
Nalevering	125 kg N/ha in 3 jaar	
Broeikasgasemissie	2000 kg CO_2-eq/ha	
Broeikasgasemissie per kg N-werkzaam	16 kg CO_2-eq/N-werkzaam	
Klaver groenbemester		
Nalevering	50 kg N/ha	50 kg N/ha
Broeikasgasemissie	950 kg CO_2-eq/ha	1100 kg CO_2-eq/ha
Broeikasgasemissie per kg N-werkzaam	19 kg CO_2-eq/N-werkzaam	22 kg CO_2-eq/N-werkzaam
Fosfaat en kali uit gesteenten		
Fosfaataanvoer	66 kg/ha	57 kg/ha
Kali aanvoer	314 kg/ha (200 kg/ha)	456 kg/ha (300 kg/ha)
Broeikasgasemissie	100 kg CO_2-eq/ha	140 kg CO_2-eq/ha
Organische bemesting		
N-werkzaam	57 kg N/ha	120 kg N/ha
Broeikasgasemissie bemesting	650 kg CO_2-eq/ha	875 kg CO_2-eq/ha
Broeikasgasemissie per kg N-werkzaam	11 kg CO_2-eq/N-werkzaam	7 kg CO_2-eq/N-werkzaam
Totale broeikasgasemissie vlinderbloemigen en P en K	1240 kg CO_2-eq/ha	2540 kg CO_2-eq/ha
Verschil met organische bemesting	590 kg CO_2-eq/ha	1665 kg CO_2-eq/ha
Huidige totale broeikasgasemissie	3800 kg CO_2-eq/ha	4600 kg CO_2-eq/ha
% stijging bij volledige vervanging organische bemesting	16%	36%



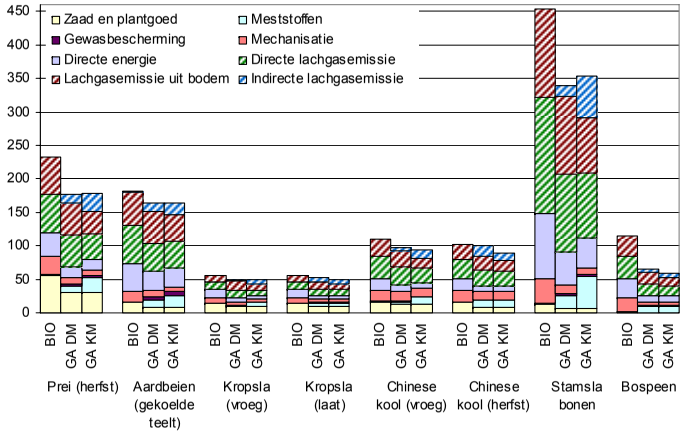
Figuur 3.14. Broeikasgasemissies per hectare (CO_2-eq/ha) voor afzonderlijke gewassen op de akkerbouwbedrijven op klei (BIO = biologisch bedrijf 1a, GA = gangbaar, km = kunstmest, dm = dierlijke mest).



Figuur 3.15. Broeikasgasemissies per hectare (CO_2-eq/ha) voor afzonderlijke gewassen op de vollegrondsgroentebedrijven op zand (BIO = biologisch bedrijf 1a, GA = gangbaar, km = kunstmest, dm = dierlijke mest).



Figuur 3.16. Broeikasgasemissies per ton (CO_2-eq/ton) voor afzonderlijke gewassen op de akkerbouwbedrijven op klei (BIO = biologisch bedrijf 1a, GA = gangbaar, km = kunstmest, dm = dierlijke mest).



Figuur 3.17. Broeikasgasemissies per ton (CO_2-eq/ton) voor afzonderlijke gewassen op de vollegrondsgroentebedrijven op zand (BIO = biologisch bedrijf 1a, GA = gangbaar, km = kunstmest, dm = dierlijke mest).

3.2.3 Glastuinbouw

3.2.3.1 Energieverbruik

In Tabel 3.10 is het energieverbruik per ha en per ton product van de biologische en gangbare teelt van tomaat en komkommer naast elkaar gezet (Van Woerden, 2001). In beide gevallen is uitgegaan van een jaarrond gestookte teelt. Het energieverbruik is in de biologische en gangbare teelt vrijwel gelijk. Het energieverbruik per ha kan in de biologische teelt enerzijds iets lager zijn doordat er iets later wordt geplant. Anderzijds is het niet ongewoon dat er in de biologische teelt extra wordt gestookt om schimmelproblemen te voorkomen (deze kunnen immers niet chemisch worden bestreden). Omdat het in de biologische teelt steeds vaker voorkomt dat de grond wordt gestoomd om problemen met bv. aaltjes te voorkomen, is er vanuit gegaan dat er in de biologische teelten circa 3 m^3 extra gas wordt verbruikt ten opzichte van gangbare teelten.

Het energieverbruik per ton product is biologisch aanzienlijk hoger dan gangbaar. Hierbij moet worden opgemerkt dat de biologische teeltwijze nog in de kinderschoenen staat en de opbrengst per m^2 de laatste jaren sterk is toegenomen.

Tabel 3.10. Energiegebruik bij biologische en gangbare glasteeltbedrijven.

		opbrengst	energieverbruik	
		kg/m^2	GJ/ha	MJ/ton
tomaat	gangbaar	55,4	14 559	26 280
tomaat	biologisch	43,0	15 509	32 997
komkommer	gangbaar	81,0	13 926	17 193
komkommer	biologisch	30,0	13 926	46 420

Broeikasgasemissies

Voor de glastuinbouw is CO_2 het meest relevante broeikasgas. Uit een ketel komt vrijwel alleen CO_2 als broeikasgas vrij. Uit WarmteKrachtKoppeling installaties komt ook methaan vrij, deze worden echter in de biologische teelt doorgaans niet gebruikt. In Tabel 3.11 is de CO_2-uitstoot van de biologische en gangbare teelt van tomaat en komkommer naast elkaar gezet. In beide gevallen is uitgegaan van een jaarrond gestookte teelt.

Wanneer er naar het energieverbruik en de CO_2-uitstoot per kg product wordt gekeken, is de uitstoot per kg biologisch product aanzienlijk hoger dan per kg gangbaar product. Hierbij moet worden opgemerkt dat de biologische teeltwijze nog in de kinderschoenen staat en de opbrengst per m2 de laatste jaren sterk is toegenomen.
Daarnaast wordt door de biologische teeltwijze de denitrificatie in de bodem bevorderd, waardoor er meer andere broeikasgassen (N_2O, NO_2, NO) vrijkomen dan in een gangbare kasteelt (substraatteelt).

Tabel 3.11. Broeikasgasemissie bij biologische en gangbare glasteeltbedrijven.

		opbrengst	CO_2-emissie	
		kg/m^2	CO_2eq./ha	CO_2-eq./ton
tomaat	gangbaar	55,4	815 304	1 472
tomaat	biologisch	47,0	815 304	1 735
komkommer	gangbaar	81,0	779 856	963
komkommer	biologisch	30,0	779 856	2 600

3.3 Discussie

3.3.1 Algemeen

Robuustheid gegevens

Onbetrouwbaarheden in de berekende waarden kunnen mogelijk worden veroorzaakt door een onjuiste inschatting van het bedrijfsmanagement (omvang inputs, machinegebruik) in de huidige praktijk en door onvoldoende betrouwbare of ontbrekende kengetallen zoals energiewaarden en emissiefactoren.

De verschillen in de biologische en gangbare bedrijfsvoering zijn voor zowel melkveehouderij als de open teelten echter vrij duidelijk. Het onderscheid tussen biologisch en gangbaar voor de veehouderij ligt vooral in het verbruik van krachtvoer, de krachtvoersamenstelling, de oorsprong van de krachtvoergrondstoffen, het gebruik van kunstmest en de intensiteit. Voor de open teelten ligt het verschil vooral in het gebruik van (kunst)mest, pesticiden, de inzet van mechanisatie en de opbrengsten per ha.

Vooral daar waar verschillen in de bedrijfsvoering optreden is het belangrijk om inzicht te hebben in de betrouwbaarheid van de kengetallen. Voor kunstmest zijn de gebruikte energie en emissiewaarden algemeen aanvaard en weinig discutabel. De omvang van het gebruik van kunstmest in gangbaar is mogelijk wat laag geschat omdat er uitgegaan is van adviesbemesting. Bij het energieverbruik door pesticiden en de inzet van mechanische onkruidbeheersing bestaat er enige onzekerheid over de gebruikte kengetallen. De orde van grootte wordt echter bevestigd in andere studies. Door de relatief geringe bijdrage in het totale energiegebruik heeft dit echter een beperkte invloed op de uitkomsten. De opbrengsten zijn voor zowel biologisch als gangbaar gebaseerd op langjarige gemiddelden van in de praktijk behaalde opbrengsten. De opbrengstgegevens van de biologisch geteelde gewassen zijn echter op een beperkte set gegevens gebaseerd.

Onbetrouwbaarheid in de gebruikte kengetallen kan verder voorkomen in het dieselverbruik bij mechanisatie en de energiewaarden voor het gebruik van plantgoed. Doordat hierbij nauwelijks verschillen zijn tussen gangbaar en biologisch heeft dit slechts invloed op de absolute waarden van de uitkomsten en niet op de omvang van de verschillen tussen biologisch en gangbaar.

Een andere mogelijke bron van afwijkingen kan veroorzaakt worden door de gebruikte emissiefactoren voor methaan en lachgas. Voor zowel biologisch als voor gangbaar zijn dezelfde emissiefactoren gebruikt. Het is echter zeer wel mogelijk dat er verschillen zijn door onder andere een andere mestsamenstelling, een ander voedingspatroon en een andere bodemstructuur. Er zijn echter onvoldoende gegevens beschikbaar om voor biologisch en gangbaar verschillende emissiefactoren te gebruiken.

Per ha of per eenheid van product?

Energieverbruik en broeikasgasemissies zijn berekend op zowel hectare basis als product basis. Ook in veel andere studies worden energieverbruik en/of broeikasgasemissies zowel per ha als per eenheid product berekend en gerapporteerd (bijv. Meul *et al.*, 2007; Cormack, 2000; Loges *et al.*, 2006). In vergelijkende LCA studies daarentegen worden resultaten vaak alleen gegeven per 'functionele unit', dat wil zeggen een bepaalde hoeveelheid van het product waarvoor de LCA wordt uitgevoerd (bijv. Grönroos *et al.*, 2006; Cederberg en Mattsson, 2000).

Welke wijze van weergave het meest geschikt is hangt af van het doel waarvoor men de data wil gebruiken. Een belangrijke overweging hierbij is of het oppervlak cultuurgrond een vast gegeven is of dat de hoeveelheid te produceren/consumeren voedsel een vast gegeven is.

Wanneer de totale Nederlandse landbouwsector haar energieverbruik bij een gelijkblijvend oppervlak wil verlagen, dan is het gebruik van een indicator als energieverbruik per hectare een bruikbare maat voor te nemen maatregelen. Wil een individu het energieverbruik voor zijn voedselpakket verlagen zonder minder te eten, dan is energieverbruik per gewichtseenheid voedsel een goede maat.

Het gebruik van beide wijzen van uitdrukken is relevant omdat de verschillen in energieverbruik in biologische en gangbare landbouw in veel gevallen samengaan met verschillen in opbrengst.

Uit deze en veel andere studies blijkt dat energieverbruik en/of broeikasgasemissies per ha in de biologische landbouw aanzienlijk lager zijn dan in de gangbare landbouw. Lager energieverbruik en/of emissies per ha in de biologische landbouw houden verband met een extensievere bedrijfsvoering, hetgeen zichtbaar wordt in een lagere aanvoer van grond- en hulpstoffen en lagere opbrengsten per ha.

Energieverbruik en broeikasgasemissies zijn berekend op productbasis vanuit de mondiale dimensie van een voldoende en efficiëntie voedselproductie. Efficiënte productie van voedsel verbruikt per ton product zo min mogelijk fossiele brandstoffen en gaat gepaard met zo laag mogelijke broeikasgasemissies. De resultaten uit deze studie laten zien dat de biologische landbouw volgens deze maat voor de plantaardige productie een hoger energieverbruik en hogere broeikasgasemissies per ton hebben dan de gangbare productie. Voor de melkveehouderij geldt het omgekeerde.

Opschaling naar sectorniveau

Energieverbruik en broeikasgasemissies zijn berekend voor afzonderlijke modelbedrijven. De berekening op bedrijfsniveau laat in principe niet toe dat uitspraken op het niveau van gehele sectoren (melkveehouderij, akkerbouw, vollegrondsgroenten) gedaan kunnen worden. Om dat te kunnen doen dienen de hier gerapporteerde cijfers op het niveau van modelbedrijven geaggregeerd worden naar landelijke cijfers op basis van de representativiteit van de gangbare en biologische modelbedrijven.

Aggregatie van de modelbedrijven akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt naar sectorniveau is echter lastig, vanwege de grote variatie aan gewassen en vruchtwisselingen die in de praktijk gevonden wordt, ondanks dat gekozen is om in de modelbedrijven de belangrijkste gewassen mee te nemen. De gewassen op de modelbedrijven beslaan ruim 60% van de oppervlakte van de akkerbouw en ruim 40% van de oppervlakte van de vollegrondsgroenteteelt. Belangrijke gewassen die ontbreken zijn granen (wintergranen biologisch en zomergranen gangbaar), luzerne en maïs.

De verschillen in uitkomsten worden op hoofdlijnen voor het grootste deel veroorzaakt door het energieverbruik bij de productie van kunstmest en de verschillen in opbrengst. Door het niet gebruiken van kunstmest in de biologische landbouw is het energieverbruik en de broeikasgasemissie per hectare lager dan gangbaar. Door de lagere opbrengsten zijn energieverbruik en broeikasgasemissies per ton product echter hoger dan gangbaar. In de akkerbouw is het energieverbruik voor bewaring, dat gekoppeld is aan opbrengsten, ook een belangrijke factor. In de groenten is bewaring niet meegenomen in de berekeningen. Op basis van kunstmestgebruik, opbrengstniveaus en bewaring kan dus een grove uitspraak gedaan worden op nationaal niveau.
Voor een preciezere doorvertaling van modelbedrijven naar een landelijke situatie zouden een aantal representatieve bouwplannen doorgerekend moeten worden. Het bouwplan is een belangrijke factor omdat emissies en opbrengsten per gewas afhankelijk zijn van onder andere (soort) mestgebruik, voorvrucht en groenbemesters.

Door de relatieve uniformiteit van de melkveehouderij is opschaling van de modelbedrijven naar nationaal niveau voor deze sector wel haalbaar. Wegingsfactoren voor de gangbare melkveehouderijbedrijven zijn geschat op basis van de relatieve verdeling van sterk gespecialiseerde melkveehouderijbedrijven over GVE-dichtheidsklassen ((<1 GVE per ha; 1-2 GVE per ha; 2-2.5 GVE per ha; etc.) volgens het CBS (CBS Statline) in afzonderlijke regio's. Regio's in de veenweidegebieden zijn daarbij buiten beschouwing gelaten. De biologische modelbedrijven zijn gewogen op basis van data in Prins (2006) met betrekking tot de relatieve verdeling van biologische melkveehouderijbedrijven over zand- en kleigronden en de relatieve verdeling over veebezettingsklassen op basis van SKAL-stikstofexcreties. De wegingsfactoren zijn vermeld in Tabel 3.12. De weging van de modelbedrijven resulteerde niet in noemenswaardige veranderingen van gemiddelden voor energieverbruik en broeikasgasemissies zoals gerapporteerd in paragraaf 3.2. Op basis van deze weging kan dus gesteld worden dat de voor de melkveehouderij gevonden verschillen tussen gangbaar en biologisch bij benadering ook zullen gelden op het niveau van de gehele melkveehouderijsector.

Tabel 3.12. Berekende wegingsfactoren voor de biologische en gangbare modelbedrijven melkveehouderij voor opschaling naar nationaal niveau.

	bio klei				bio zand				gangbaar klei			gangbaar zand		
Melk per ha	12	10	8	8	12	10	8	8	19	14	10	21	14	10
Weegfactor (%)	10	12	12	8	14	17	17	12	5	27	23	14	23	9

Global footprint of farming

De ecologische voetafdruk (ecological footprint) is gedefinieerd als de hoeveelheid productief land die nodig is voor de duurzame ('oneindige') consumptie van een bevolking (Bicknell *et al.*, 1998). Wanneer het de consumptie door de gehele wereldbevolking betreft, wordt gesproken van de 'global footprint'. Een duurzame productie kan maximaal de oppervlakte aan productief land op de wereld beslaan. In 2001 was de Global footprint ongeveer 13.5 miljard ha, terwijl de totale capaciteit van de aarde 11.6 miljard ha was (Living Planet Report, 2004). De global footprint bestaat uit (1) de hoeveelheid land die nodig is voor de productie van goederen en diensten die geconsumeerd worden (actueel landgebruik) en (2) uit het land dat nodig is om de energie (direct en indirect) te produceren die nodig is voor de productie van de goederen en diensten (energieland). De oppervlakte benodigd actueel land is afhankelijk van opbrengstniveaus. De hoeveelheid energieland wordt meestal berekend als de hoeveelheid land die nodig is om de CO_2-emissie als gevolg van het verbruik van fossiele energie via C-vastlegging te compenseren. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de volgende vergelijking:

$$\text{Oppervlak} = CO_2\text{-emissie (ton)} * (1 - \text{adsorptiefractie door oceanen}) / \text{opslagcapaciteit (ton/ha)}$$

De adsorptiefractie door oceanen is ongeveer een derde. De opslagcapaciteit van land kan variëren van 0.3-0.6 ton C per ha per jaar tot mogelijk enkele tonnen bij gebruik van bomen. Andere berekeningswijzen zijn echter ook in gebruik zoals het areaal benodigd om fossiele brandstoffen te vervangen door biobrandstoffen (Bote *et al.*, 2006).

Toepassing van deze formule op onze resultaten van CO_2-emissie resulteert in een voetafdruk van tussen de 0.7 en 2.8 ha voor de CO_2-emissie van 1 ha melkveehouderij in een jaar, 0.8 en 1.1 ha voor de CO_2-emissie van 1 ha open teelten in een jaar en 285 tot 298 ha voor de CO_2-emissie van 1 ha glastuinbouw in een jaar op basis van een opslagcapaciteit van 0.5 ton C per ha per jaar. Grofweg is dus voor de compensatie van de CO_2-emissie van elke ha open teelten en veehouderij 1 ha energieland nodig en voor 1 ha glastuinbouw bijna 300 ha.
Per product varieert het van 0.09 tot 0.14 ha per ton melk en 0.007 en 0.076 ha per ton product in de open teelten en 0.35 tot 0.95 ha per ton product in de glastuinbouw. De verhoudingen tussen de systemen en producten veranderen niet bij deze andere weergave.

3.3.2 Modelbedrijven en systeembegrenzing

De modelbedrijven benadering resulteert in een aantal voorbeelden van energieverbruik en broeikasgasemissies op bedrijfs- en gewasniveau. Omdat gewaskeuzes, vruchtwisselingen en andere bedrijfskenmerken per bedrijf aanzienlijk kunnen verschillen kan de situatie op een specifiek bedrijf sterk afwijken. We hebben ook slechts een beperkt aantal gewassen kunnen meenemen. Hierdoor ontbreken nog een aantal belangrijke gewassen uit de akkerbouw en volle-grondsgroenten.

De systeembegrenzing is niet over alle sectoren heen uniform geweest. Zo is voor de akkerbouw het energieverbruik van bewaring wel meegenomen, maar voor de groentebedrijven niet. Indirect energieverbruik van gebouwen is wel meegenomen voor de melkveehouderij, maar niet voor de plantaardige sectoren. Energieverbruik van bewaring op groentebedrijven kan een belangrijke post zijn. Goede gegevens waren echter niet direct beschikbaar. Verwacht wordt dat buiten beschouwing laten van energieverbruik van gebouwen weinig invloed heeft op de eindresultaten.
In de melkveehouderij is het indirect energieverbruik van gebouwen ongeveer 2% van het totaal terwijl in die sector

gebouwen (stal) een belangrijkere post zijn dan in de open teelten. Ook is geen verschil te verwachten tussen gangbare en biologische bedrijven.

Sommige onderdelen zijn in veel detail en anderen in weinig detail meegenomen. Zo is het energieverbruik van gewasbeschermingsmiddelen in weinig detail bepaald. De bijdrage aan het energieverbruik is echter ook beperkt (3-4%). De stikstofbemesting en stikstofkringloop zijn in veel detail meegenomen om een goede schatting te kunnen maken van lachgasemissies. Ook hier zijn onzekerheden, bijvoorbeeld in hoeveelheden gewasresten, stikstofbinding en uitspoeling per gewas. Daarnaast zijn de gebruikte emissiefactoren voor lachgas onzeker. Dieselverbruik is in zeer veel detail meegenomen. Voor de open teelten wijkt het berekende dieselverbruik per gewas op de modelbedrijven echter bij veel gewassen sterk af van de KWIN cijfers (Dekkers, 2002; Tabel 3.13). Voor de melkveehouderij is dit niet nagegaan. KWIN-cijfers zijn exclusief loonwerk en inclusief smeermiddelen. Meest overeen komen de cijfers voor de gangbare akkerbouwgewassen. Deze cijfers zijn in de berekeningen en waarschijnlijk ook voor KWIN het meest onderbouwd en voor vrijwel alle bewerkingen zijn verbruiksgegevens beschikbaar. Voor de biologische modelbedrijven en de vollegrondsgroenten is de afwijking groter. Hier ontbreken veel cijfers in de berekeningen. De bron van de KWIN-cijfers was niet snel te achterhalen. De biologische gegevens zijn vooral gebaseerd op BIOM-registraties. Het is aan te bevelen nader naar het dieselverbruik op biologische en groentebedrijven te kijken. Om eenvoudig berekeningen van dieselverbruik te kunnen maken is het aan te bevelen een database met verbruikcijfers op te stellen.

3.3.3 Vergelijking van resultaten met de literatuur

Energieverbruik akkerbouw

Cormack (2000) vergeleek energieverbruik in gangbare en biologische landbouw in het Verenigd Koninkrijk op basis van een modelanalyse. De studie is in hoge mate vergelijkbaar met deze studie. De in de analyse betrokken sectoren waren onder meer akkerbouw en vollegrondsgroenten. Het voor gangbare en biologische gewassen berekende energieverbruik per ha is voor een meerderheid van de gewassen (gangbare en biologische peen, ui en prei en biologische tarwe en aardappel) wat lager dan gevonden in deze studie, maar voor enkele gewassen juist weer hoger (gangbare tarwe en aardappel) (Figuur 3.18). Soms zijn de verschillen aanzienlijk, zoals bij ui, peen en prei. In overeenstemming met deze studie wordt ook in de Engelse studie een lager energieverbruik per ha voor de biologische gewassen berekend, wat vooral toegeschreven wordt aan een verminderd gebruik van meststoffen en bestrijdingsmiddelen. Opvallend verschil tussen deze studie en de Engelse studie is dat in de Engelse studie voor bijna alle biologisch geteelde gewassen een lager energieverbruik per ton product berekend wordt dan voor gangbaar geteelde gewassen (Figuur 3.19). De uitzondering is biologische peen die overeenkomstig deze studie een hoger energieverbruik dan gangbaar heeft vanwege onkruidbranden.

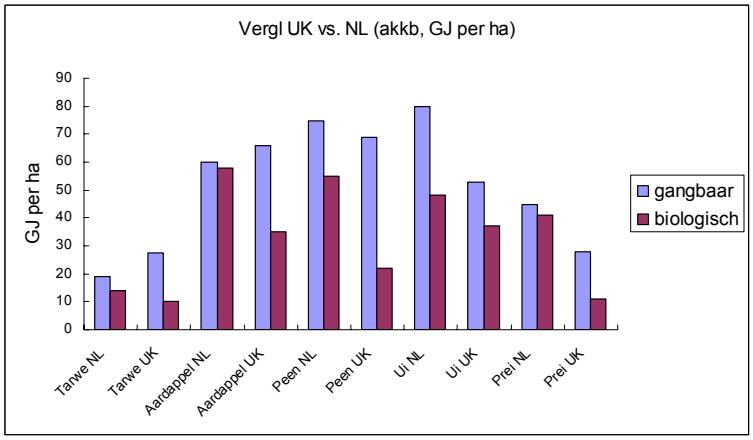
Tabel 3.13. Vergelijk berekend dieselverbruik (deze studie) met KWIN-cijfers (Dekkers, 2002) in kg/ha.

	BIO				Gangbaar					
	Berekend		KWIN	Berekend excl. loonwerk / KWIN	Berekend kunstmest		Berekend dierlijke mest		KWIN	Berekend excl. loonwerk / KWIN
	Totaal	Excl. loonwerk			Totaal	Excl. loonwerk	Totaal	Excl. loonwerk		
akkerbouw										
Pootaardappelen	196	180	204	88%	189	189	223	223	196	96%
Cons. aardappelen					203	203	237	187	200	102%
Suikerbiet	184	78	102	76%	143	88	176	86	109	81%
Zaaiuien	187	173	304	57%	157	150	191	148	170	88%
Winterpeen	270	202	454	44%	207	144	207	144	239	60%
Zomer/wintertarwe	200	100	91	110%	130	117	130	117	101	116%
Erwten	91	76	60	127%	99	84	127	76	120	70%
Gras/klaver	72	72								
Bladrammenas					45	45	45	45	30	150%
Engels raaigras	9	9			9	9	9	9	6	150%
Witte klaver	16	16							6	
vollegrondsgroenten										
Prei (herfst)	218	159	256	62%	192	179	206	177	545	33%
Aardbeien	191	191	761	25%	222	222	233	218	467	48%
Kropsla (vroeg)	171	120	273	44%	141	141	156	141	397	36%
Kropsla (herfst)	171	120	273	44%	141	141	141	141	328	43%
Chinese kool (vroeg)	146	130	320	41%	130	130	141	126	517	25%
Chinese kool (herfst)	130	130	320	41%	130	130	130	130	510	25%
Stamslabonen	202	187	214	88%	183	183	198	183	166	111%
Bospeen	171	171	479	36%	116	116	116	116	335	35%
Triticale	113	83	76	109%						
Winterrogge	16				16	16	16	16	30	53%
Klaver	16								6	
Tagetes	39	39								

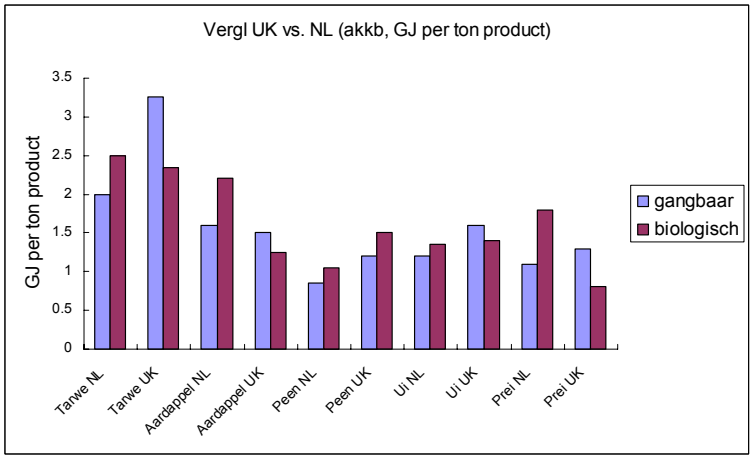
Het is niet eenvoudig om een eenduidige verklaring te vinden voor de verschillen tussen deze studie en de Engelse studie. Dat dit niet eenvoudig is komt vooral doordat verschillen veroorzaakt kunnen zijn door een reeks van factoren (onder andere energieverbruikscoëfficiënten, gewasopbrengsten, grondsoorten, frequentie van bewerkingen, bemesting, etc.). Helaas kon alleen worden beschikt over een – weliswaar tamelijk uitgebreide – samenvatting van de studie van Cormack (2000). Navraag bij het uitvoerende instituut ADAS leerde dat de bijbehorende gedetailleerde rapportage niet beschikbaar kon worden gesteld. Dit maakt het vooralsnog onmogelijk om plausibele verklaringen te achterhalen voor de gevonden verschillen.

Loges *et al.* (2006) vergeleken een gangbare 1:4 akkerbouwrotatie (suikerbiet, wintertarwe, koolzaad, wintertarwe) met twee biologische akkerbouwrotaties (met gewassen grasklaver, haver, peulvrucht, wintertarwe, aardappel en gerst). De rotaties werden vergeleken op het proefbedrijf Lindhof, gelegen op een vruchtbare leemgrond in Noord Duitsland, op basis van opbrengstgegevens over 3 jaar. Omdat de gewassamenstelling van de drie rotaties niet gelijk was, werden gewasopbrengsten uitgedrukt in graanequivalenten. Het energieverbruik per ha was in de gangbare rotatie 65% hoger dan in de biologische rotaties. Omdat de hectareopbrengst aan graanequivalenten in de gangbare rotatie 70% hoger was dan in de biologische rotaties was er geen verschil in energieverbruik per eenheid graanequivalenten. Voor een van de biologische rotaties werd zelfs een 20% hoger energieverbruik per eenheid

graanequivalenten gevonden. Belangrijkste reden achter de gelijke of zelfs lagere energie-efficiëntie in de biologische rotaties was de teelt van grasklaver. Deze teelt vergt energie en is nodig voor het instandhouding van de bodemvruchtbaarheid, maar levert geen directe opbrengst op.



Figuur 3.18. Vergelijking tussen het energieverbruik per ha voor een aantal gangbare en biologisch geteeld gewassen in Nederland (deze studie) en het Verenigd Koninkrijk (Cormack, 2000).



Figuur 3.19. Vergelijking tussen het energieverbruik per ton product voor een aantal gangbare en biologisch geteeld gewassen in Nederland (deze studie) en het Verenigd Koninkrijk (Cormack, 2000).

Pimentel *et al.* (2005) presenteren resultaten van het zgn. Rodale Institute Farming Systems Trial. In dit langjarige experimentele onderzoek wordt op een aantal onderdelen een gangbare 'grain-based' rotatie vergeleken met een tweetal biologische 'grain-based' rotaties, waarvan een bemest met dierlijke mest en de ander via vlinderbloemigen. Het onderzoek loopt vanaf 1981. Pimentel *et al.* (2005) rapporteren onder meer energieverbruik per ha en opbrengsten per ha van maïs en sojaboon in de diverse rotaties. Het energieverbruik per ha maïs was in de beide biologische rotaties ongeveer 30% lager dan in de gangbare rotatie. Omdat in de periode 1986-2001 maïsopbrengsten per ha in elk van de drie systemen bij benadering aan elkaar gelijk waren, was dus ook het energieverbruik per ton maïs in de biologische rotaties ongeveer 30% lager. Voor soja werd geen noemenswaardig verschil in energieverbruik per ton gevonden.
Een van de kanttekeningen die bij de studie van Pimentel *et al.* (2005) gemaakt kan worden, is dat de rotaties die onderling werden vergeleken niet aan elkaar gelijk waren. De gangbare rotatie was een vijfjarige rotatie met 2:5 soja en 3:5 maïs. De beide biologische rotaties waren wat complexer, waarvan ook tarwe, luzerne en diverse groenbe-

mesters deel uitmaakten. Het mag dan zo zijn dat *opbrengsten per ha* van maïs en soja in alle drie de rotaties aan elkaar gelijk waren, doordat de rotaties onderling behoorlijk verschillend zijn, zijn de jaarlijkse *absolute hoeveelheden* maïs en soja die in elk van de rotaties geproduceerd worden *niet* aan elkaar gelijk. In een reactie op de publicatie van Pimentel *et al.* (2005), verweet Avery (2005) de auteurs dat zij slechts resultaten presenteerden van een deel van het systeem en een ander deel (de teelt van tarwe in de biologische rotaties) buiten beschouwing lieten. Rekening houdend met deze tarweteelt, rekende Avery (2005) voor dat over een gehele rotatiecyclus de totale kg opbrengst aan soja, maïs en tarwe in de biologische rotaties 20% lager was dan de totale opbrengst aan soja en maïs in de gangbare rotatie. Een andere kanttekening die bij de studie van Pimentel *et al.* (2005) is dat opbrengstverschillen tussen gangbaar en biologisch bij andere gewassen groter zullen zijn dan bij maïs en soja. Daarbij valt te denken aan aardappelen en 'luxere' gewassen als groenten en fruit. Bij deze gewassen spelen ziekten, plagen en/of onkruiden doorgaans een grotere rol dan bij maïs en soja en/of is het lastiger om via biologische productiewijzen aan stikstoftekorten gerelateerde opbrengstreducties te vermijden. Genoemde kanttekeningen maken het lastig de bevindingen van Pimentel *et al.* (2005) te generaliseren naar de biologische landbouw als geheel.

Grönroos *et al.* (2006) vergeleken energieverbruik bij gangbare en biologische productie van roggebrood in Finland. Deze studie was qua opzet eveneens vergelijkbaar met deze studie: kwantificering van energieverbruik gebeurde door middel van modellering en gebruikmakend van representatieve modelbedrijven (twee modelbedrijven akkerbouw voor roggeteelt). Het energieverbruik per ton roggebrood benodigd voor de teelt van rogge was 4.3 MJ per ton voor gangbare teelt en 2.3 MJ per ton bij biologische teelt. Deze cijfers zijn niet direct te vergelijken met cijfers uit deze studie, vanwege de omrekening naar tonnen roggebrood in de Finse studie. Wat opvalt aan de Finse studie is het geringere energieverbruik van biologische roggebroodproductie. Echter, ook bij de Finse roggebroodstudie kunnen grotendeels dezelfde kanttekeningen geplaatst worden als bij de studie van Pimentel *et al.* (2005). Zo waren de achterliggende rotaties op beide modelbedrijven niet aan elkaar gelijk, waardoor daarin op jaarbasis verschillende hoeveelheden producten worden geproduceerd. Het totale areaal granen (haver en rogge) in de gangbare rotatie was 36 ha, naast 4 ha braakgelegde grond. Het totale oppervlak van de biologische rotatie was even groot als de gangbare rotatie (40 ha), maar het areaal haver en rogge was aanzienlijk lager (27 ha). Het resterende areaal werd benut voor teelt van een grasgroenbemester. Door alleen in te gaan op het energieverbruik van roggeteelt binnen de rotatie, is een deel van het systeem (nl. de haverteelt) niet in de analyse meegenomen, hetgeen leidt tot een onvolledig beeld.

Corré *et al.* (2003) vergeleken het energieverbruik benodigd voor productie van een tweetal uit dierlijke eiwit en granen bestaande basisvoedselpakketten in biologische en gangbare landbouwsystemen. Zij concludeerden dat ca. 30-35% minder energie nodig was voor een biologisch geproduceerde basisvoedselpakket, maar dat daarvoor wel meer hectares nodig waren. Het lagere energieverbruik voor het biologische voedselpakket is in tegenspraak met de in deze studie gevonden resultaten. De verklaring hiervoor moet gezocht worden in het geringe aantal gewassen (graan en grasklaver) dat in de studie van Corré *et al.* (2003) is betrokken, waarbij opbrengstverschillen tussen gangbaar en biologisch voor deze gewassen relatief gering zijn. Corré *et al.* (2003) tekenen overigens aan dat indien op het in het gangbare systeem uitgespaarde land een energiegewas zou worden geteeld, dit systeem energetisch efficiënter zou zijn dan het biologische. Daarnaast vonden zij ook dat het aandeel dierlijke eiwitten in het voedselpakket een veel grotere invloed op het energieverbruik heeft dan de productiewijze.

Meul *et al.* (2007) berekenden het energieverbruik van een gemiddeld gespecialiseerd gangbaar akkerbouwbedrijf in Vlaanderen op basis van FADN data voor de jaren 2000 en 2001 van 55 akkerbouwbedrijven. Een vergelijking tussen biologisch en gangbaar maakte geen onderdeel uit van de studie. In de Vlaamse studie werd het energieverbruik van bedrijfsgebouwen en drogen van gewasproducten niet meegenomen, dit in tegenstelling tot deze studie. Het energieverbruik op het gemiddelde Vlaamse akkerbouwbedrijf bedroeg 20.9 MJ per ha. Dat is aanzienlijk lager dan het berekende energieverbruik voor de gangbare akkerbouwbedrijven in deze studie (43 GJ per ha). Het verschil is te verklaren doordat in deze studie het energieverbruik voor droging en bewaring wel is meegenomen en in de Vlaamse studie niet. Het energieverbruik voor droging en bewaring op de gangbare akkerbouwbedrijven maakt in deze studie immers de helft uit van het totale energieverbruik (20 GJ per ha).

Energieverbruik melkveehouderij

Thomassen *et al.* (2007b) voerden een LCA uit op basis van praktijkgegevens van Nederlandse melkveehouderijbedrijven die participeren in de projecten Koeien en Kansen, Caring Dairy en Bioveem. In de twee eerstgenoemde projecten gaat het merendeels om gangbare melkveehouderijbedrijven en in het laatstgenoemde project om biologische melkveehouderijbedrijven. Berekening van het energieverbruik per ton melk maakte onderdeel uit van de LCA. Op de gangbare bedrijven bedroeg het gemiddelde energieverbruik per ton melk ca. 5.0 GJ en op de biologische ca. 3.1 GJ. Ter vergelijking: in voorliggende studie werd voor de gangbare modelbedrijven gemiddeld een energieverbruik van 6.7 GJ per ton melk berekend en voor de biologische modelbedrijven 5.0 GJ per ton melk. In deze studie werd dus zowel voor gangbare als biologische melkveehouderij een aanzienlijk hoger energieverbruik berekend dan in de studie van Thomassen *et al.* (2007b). Bovendien is het verschil tussen gangbaar en biologisch in de studie van Thomassen *et al.* (2007b) hoger dan in deze studie (40 versus 25%). De oorzaken van deze verschillen kunnen gelegen zijn in tal van factoren en zijn niet zomaar te achterhalen.

Cederberg en Mattsson (2000) vergeleken onder meer het energieverbruik van melkproductie in Zweden bij gangbare en biologische productiewijze voor twee gespecialiseerde modelbedrijven melkveehouderij. Het energieverbruik bedroeg 3.55 GJ per ton melk op het gangbare modelbedrijf en 2.51 GJ per ton melk op het biologische modelbedrijf, beide cijfers aanzienlijk lager dan berekend in deze studie. Het energieverbruik bij de productie van biologische melk is 30% lager dan gangbaar. Het verschil wordt door Cederberg en Mattsson (2000) toegeschreven aan een op een andere leest geschoeide voedervoorziening en het niet gebruiken van kunstmeststoffen in de biologische melkveehouderij. Tussen de Zweedse biologische en gangbare melkveehouderij lijken grotere systeemverschillen te bestaan dan in Nederland. Zo werd het overgrote deel van het krachtvoer voor het Zweedse biologische modelbedrijf geproduceerd op het eigen bedrijf dan wel een nabijgelegen akkerbouwbedrijf en werd slechts ca. 350 kg krachtvoer per koe betrokken van een voerfabrikant. In de Nederlandse biologische melkveehouderij is een op regionale leest geschoeide krachtvoervoorziening minder gebruikelijk.

In de eerder aangehaalde Finse studie (Grönroos *et al.*, 2006) werd energieverbruik van melkproductie in gangbare en biologische melkveehouderij vergeleken aan de hand van twee modelbedrijven. Voor het gangbare melkveebedrijf werd een energieverbruik berekend van 5.0 GJ per ton melk en voor het biologische modelbedrijf een energieverbruik van 2.8 GJ per ton melk. Beide energieverbruikscijfers zijn wederom lager en het verschil tussen gangbaar en biologisch groter dan berekend in deze studie.

Meul *et al.* (2007) berekenden het energieverbruik van een gemiddeld gespecialiseerd gangbaar melkveehouderijbedrijf in Vlaanderen op basis van FADN data voor de jaren 2000 en 2001 van 75 melkveehouderijbedrijven (exclusief energieverbruik van bedrijfsgebouwen). Het berekende energieverbruik van het gemiddelde Vlaamse gangbare melkveehouderijbedrijf (met een melkproductie van 9.8 ton per ha) bedroeg 36.3 MJ per ha. Qua intensiteit laat dit bedrijf zich dit het beste vergelijken met de twee extensieve gangbare melkveebedrijven in deze studie (elk met 10.0 ton melk per ha). Voor beide extensieve modelbedrijven wordt in deze studie een fors hoger energieverbruik berekend van 57.6 en 58.7 GJ per ha. In de Vlaamse studie varieerde het energieverbruik per ton melk in 2000-2001 tussen de 2.6 en 6.0 MJ, met een gemiddelde van 3.7 MJ per ton melk. In deze studie werd voor de gangbare modelbedrijven een bandbreedte van 5.7-7.6 GJ per ton melk berekend, met een rekenkundig gemiddelde van 6.7 GJ per ton melk. Behalve het niet meenemen van energieverbruik van bedrijfsgebouwen in de Vlaamse studie, kan een deel van het verschil tussen de Nederlandse studie en de Vlaamse kan worden verklaard doordat in de Vlaamse studie gerekend werd met lagere energieverbruikscijfers van krachtvoerproductie. Meul *et al.* (2007) hanteerden namelijk dezelfde cijfers als de standaard cijfers in BBPR (d.w.z. cijfers volgens Brand & Melman, 1993). Ten behoeve van deze studie is om verschillende redenen gebruik gemaakt van aangepaste cijfers (zie sectie 3.1.2.2), met als gevolg een aanzienlijk hoger indirect energieverbruik via aanvoer van krachtvoer. Overigens werd in de Vlaamse studie een negatief verband gevonden tussen de intensiteit van een melkveebedrijf (uitgedrukt in ton melk per ha) en energieverbruik per ton melk: bij een hogere melkproductie per ha hoger is het energieverbruik per ton melk navenant lager. In deze modelstudie werd juist het omgekeerde gevonden.

In de eerder aangehaalde Engelse studie (Cormack, 2000) werden naast akkerbouw ook biologische en gangbare melkveehouderij vergeleken. Voor een gangbaar melkveehouderijbedrijf in Engeland werd een energieverbruik van 97 MJ per ha berekend en voor een biologisch melkveehouderijbedrijf van 10 MJ per ha. Het cijfer voor het

gangbare melkveehouderijbedrijf ligt tussen de energieverbruikcijfers van de intensieve en gemiddelde modelbedrijven in deze studie in. Het cijfer voor het biologische melkveebedrijf is een factor 3 lager dan het meest extensieve biologische modelbedrijf in deze studie. Vermoedelijk is dit de weerslag van een op andere grondslagen gebaseerde biologische melkveehouderij in het Verenigd Koninkrijk, met een minimaal gebruik van externe inputs. Helaas vermeldt de Engelse studie geen melkproductiegegevens en het is dus niet mogelijk om een energieverbruik per ton melk te berekenen.

Broeikasgasemissies

Er is een omvangrijke hoeveelheid literatuur over N_2O en CH_4 emissies. In de meeste gevallen is deze literatuur gericht op effecten van toepassing van emissiereducerende maatregelen (zie Hoofdstuk 5). Uit veel studies komt naar voren dat ploegen meer broeikasgasemissie geeft dan systemen zonder ploegen ('no-tillage'). Ook compactie van de bodem geeft hogere broeikasgasemissies. Niet-ploegsystemen hebben ook een positieve invloed op de opbouw van organische stof in de bodem.

Studies waarin de emissie van broeikasgassen bij een biologische bedrijfsvoering vergeleken wordt met een gangbare zijn minder talrijk. In de hierboven al aangehaalde Nederlandse LCA studie (Thomassen *et al.*, 2007b), waarbij biologische melkveehouderij werd vergeleken met gangbare melkveehouderij, werd geen verschil gevonden in de totale broeikasgasemissie per ton melk.

Olesen *et al.* (2006) berekenden broeikasgasemissies voor 7 gangbare en 8 biologische modelbedrijven melkveehouderij. Deze modelbedrijven representeerden de melkveehouderij in een vijftal Europese regio's. Een belangrijk verschil tussen de gangbare en biologische modelbedrijven was dat de biologische bedrijven geen voer importeerden en volledig in hun eigen voedervoorziening voorzagen. Rantsoenen op de biologische modelbedrijven bestonden dan ook voor het overgrote deel uit ruwvoercomponenten. Op de gangbare modelbedrijven werd daarnaast ook van geïmporteerd krachtvoer gebruik gemaakt. Uitgedrukt in CO_2 equivalenten bedroeg de gemiddelde emissie op de biologische modelbedrijven 1545 kg per ton melk (vgl. deze studie: 1400 kg) en op de gangbare bedrijven 1410 kg per ton melk (deze studie: 1570 kg). Olesen *et al.* (2006) vonden een sterk verband tussen broeikasgasemissies per ton melk en N-benutting op bedrijfsniveau, zowel voor biologische als gangbare modelbedrijven. Volgens Olesen *et al.* (2006) was er bij een ongeveer gelijk N-overschot en een gelijke N-benutting op bedrijfsniveau een tendens naar iets hogere broeikasgasemissies per ton melk op de biologische bedrijven. De tendens naar wat hogere emissies op de biologische bedrijven schreven zij toe aan het grotere aandeel ruwvoer in de rantsoenen op die bedrijven, hetgeen resulteerde in een relatief hoge methaanemissie. Olesen *et al.* (2006) wijzen erop dat het zinvol zou zijn deze bevinding te toetsen aan de hand van gegevens van bestaande bedrijven.

Flessa *et al.* (2002) vergelijken een biologisch en gangbaar vleesveehouderijsysteem in Zuid Duitsland. De metingen zijn over een periode van 25 jaar gedaan. Het gangbare bedrijf emitteerde 4.2 Mg CO_2 equivalenten per ha en het biologische bedrijf 3.0 Mg per ha. Lachgas was verantwoordelijk voor 60% van de emissie van CO_2 equivalenten, methaan voor 25% en CO_2 voor 15%. De gemiddelde emissies voor gewasproductie in het gangbare en biologische systeem waren 4.4 resp. 3.3 Mg CO_2 equivalenten per ha. De emissie per eenheid product (vlees of gewas) verschilde niet tussen de systemen. Er worden hierover geen absolute getallen gegeven.

4. C-opslag

4.1 Inleiding

Eén van de aanleidingen van deze studie naar energieverbruik en broeikasgasemissie in de biologische landbouw was het rapport van Slingerland en Van der Wielen (2005). Dit betrof een analyse van het onderzoek van het Rodale Instituut rond claims dat biologische akkerbouw een veel hogere koolstofvastlegging heeft dan gangbare akkerbouw en eventuele consequenties hiervan voor koolstofvastlegging in Nederland. Slingerland en Van der Wielen (2005) concluderen dat de claims in grote lijnen kloppen en dat de resultaten ook in Nederland behaald kunnen worden. Toch blijven er grote vraagtekens bij de resultaten van de studie en de toepasbaarheid in de Nederlandse situatie staan. Daarom is in deze studie ook specifiek naar de potentie van C-opslag door de biologische landbouw gekeken, dit in vergelijking met de gangbare landbouw. Tevens worden in hoofdstuk 5 maatregelen voor koolstofopslag behandeld.

C-opslag kan worden gedefinieerd als het vastleggen van CO_2 in de geosfeer waardoor het niet kan emitteren naar de atmosfeer (FAO, 2000). Opslag van koolstof kan onder andere plaatsvinden in vegetatie, de bodem en de oceaan. Extra netto koolstofopslag in landbouwgrond kan plaatsvinden als de aanvoer van organisch materiaal wordt verhoogd en/of de afbraak van organisch materiaal wordt vertraagd ((West & Post 2002). Door deze veranderingen wordt het evenwicht in aanvoer en afbraak van koolstof tijdelijk verstoord, totdat een nieuw evenwicht is bereikt met een grotere hoeveelheid koolstof in de bodem. De netto opslag van koolstof is dus een tijdelijk proces, maar de maatregelen die genomen zijn om de opslag te vergroten moeten blijvend zijn om de koolstof ook in de bodem vast te houden. Anders zal er weer netto afbraak van koolstof optreden, op termijn leidend tot een terugval van de koolstofvoorraad in de bodem tot het oorspronkelijke niveau.

De directe effecten van landgebruik en landgebruiksverandering hebben geleid tot een netto emissie van 1.7 Gt C per jaar in de tachtiger jaren en 1.6 Gt C per jaar in de negentiger jaren (IPCC, 2000). Anderzijds kan landbouw koolstof opslaan in de bodem of in bovengrondse biomassa als permanente sink of als bron voor energie die fossiele brandstoffen vervangt (Pretty & Ball, 2001).

Om het huidige verschil in C-opslag tussen de biologische en gangbare landbouw in te schatten en na te gaan of er daadwerkelijk netto opslag van koolstof optreedt, is per grondsoort en regio naar diverse indicatoren gekeken. In volgorde van toenemende complexiteit is daarbij uitgegaan van de volgende hypothesen:

- *Organische stofgehaltes.* Verwacht wordt dat biologische bedrijven een hoger gemiddeld organisch stofgehalte hebben dan gangbare bedrijven omdat meer organische mest wordt gebruikt en meer groenbemesters in het bouwplan worden opgenomen.
- *Verschil in organische stofgehaltes tussen twee metingen.* Verwacht wordt dat gemiddeld genomen een lichte stijging zichtbaar is van de gemiddelde organisch stofgehaltes op de biologische bedrijven en een afname of stabilisatie op gangbare bedrijven omdat naar verwachting op biologische bedrijven meer organische stof wordt aangevoerd dan er wordt afgebroken en op gangbare bedrijven juist minder.
- *Organische stofaanvoer.* Aanvoer van organische stof gebeurt met dierlijke en plantaardige mest, gewasresten, groenbemesters, vlinderbloemigen, hulpmateriaal en uitgangsmateriaal. Verwacht wordt dat biologische bedrijven een hogere organische stofaanvoer hebben dan gangbare bedrijven omdat meer organische mest wordt gebruikt en meer groenbemesters in het bouwplan worden opgenomen.
- *Netto koolstofopbouw na 25 jaar.* Netto opbouw van organische stof is afhankelijk van de aanvoer en de afbraak van organische stof in de bodem. Verwacht wordt dat de netto koolstofopbouw op biologische bedrijven hoger is dan op gangbare bedrijven omdat naar verwachting op biologische bedrijven meer organische stof wordt aangevoerd dan er wordt afgebroken en op gangbare bedrijven juist minder. Dit resulteert in een hoger organisch stofgehalte en een grotere koolstofhoeveelheid in de bodem.

4.2 Materiaal en methoden

4.2.1 Algemeen

Gemeten organische stofgehaltes en berekende aanvoeren van (effectieve) organische stof van de praktijknetwerken BIOM-I (1998-2001), BIOM-II (2003-2005), Telen met toekomst (2000-2003) en Praktijknetwerk Telen met toekomst (2004-2005) zijn gebruikt voor de analyse. De volgende indicatoren zijn bekeken.

- *Organisch stofgehalte*. Organische stofgehaltes van 129 percelen op 29 BIOM bedrijven en 475 percelen van 124 Telen met toekomst bedrijven gemeten in de periode 2000 en 2006 zijn met elkaar vergeleken. Per bedrijf zijn alleen de meest recent beschikbare metingen gebruikt.
- *Het verschil in organisch stofgehalte*. De organische stofgehaltes van 47 percelen op 11 BIOM-bedrijven zijn van meerdere jaren beschikbaar. Gemiddeld zat er 5 jaar tussen de eerste en tweede meting met een spreiding tussen 3 en 12 jaar. Bepaald is wat het verloop is van de organische stofgehaltes op deze percelen tussen de twee meetpunten. Er zijn vooralsnog geen gegevens van gangbare bedrijven beschikbaar.
- *Effectieve organische stofaanvoer.* De absolute aanvoer van (effectieve) organische stof op BIOM en Telen met toekomst bedrijven is berekend met het databaseprogramma FARM. De posten dierlijke en plantaardige mest, kalkmeststoffen, gewasresten, groenbemesters, hulpmateriaal en uitgangsmateriaal zijn meegenomen. Vanuit BIOM waren er gegevens van 330 bedrijf-jaarcombinaties beschikbaar tussen 1998 en 2005. Van één bedrijf kunnen dus gegevens van meerdere jaren gebruikt zijn. Vanuit Telen met toekomst waren gegevens van 247 bedrijf-jaarcombinaties beschikbaar voor de akkerbouw en 106 voor de vollegrondsgroenten.
- *Netto koolstofopbouw na 25 jaar.* Op basis van de aanvoer van effectieve organische stof en een geschatte afbraak van organische stof in de bodem is een modelberekening uitgevoerd. Op basis hiervan kan de netto koolstofopbouw na 25 jaar berekend worden. De modelberekening is uitgevoerd aan de hand van dezelfde gegevensbasis als waarmee de aanvoer van effectieve organische stof is geschat.

4.2.2 Berekening netto koolstofopbouw na 25 jaar

De berekeningsmethode van de netto koolstofopbouw na 25 jaar wordt hier verder toegelicht. De verandering van de hoeveelheid C in de grond is geschat, uitgaande van een jaarlijkse toevoer van effectieve organische stof (EOS) zoals die door FARM is berekend. Voor de berekening van de afbraak van de aan de bodem toegevoegde organische stof (OS) is het model van Janssen (1984) gebruikt. Dit model beschrijft de afbraak van organische stof c.q. koolstof (C) in de bodem met de volgende formule:

$$Y_t = Y_0 \cdot EXP\ (\ 4{,}7\ ((a + t)^{-0{,}6} - a^{-0{,}6}\ )\ )$$

waarin: Y_t = resterende hoeveelheid OS na t jaar
Y_0 = beginhoeveelheid verse organische stof die aan de bodem wordt toegevoegd
t = aantal jaar na toediening
a = aanvangsleeftijd ofwel initiële leeftijd van het organisch materiaal

De a-waarde verschilt per organische stofbron en hangt af van de snelheid waarmee het materiaal in de bodem wordt afgebroken. Bovengrondse gewasresten van groene planten worden snel afgebroken en hebben een lage a-waarde. Compost wordt langzamer afgebroken en heeft een hogere a-waarde.

De a-waarde kan worden herleid uit de humificatiecoëfficiënt (HC), die voor diverse typen organisch materiaal is vastgesteld. De HC is de fractie die een jaar na toediening van de OS nog over is (de effectieve organische stof). In bovenstaande formule is t dan gelijk aan 1, waaruit volgt:

$$HC = Y_1 / Y_0 = EXP\ (\ 4{,}7\ (\ (a + 1)^{-0{,}6} - a^{-0{,}6}\ )\ )$$

Het model van Yang (Yang & Janssen, 2000) voorspelt de organische stofafbraak beter dan het model van Janssen (Postma & Van Dijk, 2004a; Postma & Van Dijk, 2004b). In plaats van een a-waarde hanteert Yang twee parameters

die specifiek zijn voor het organisch materiaal, namelijk R en S. Een knelpunt is echter dat deze twee parameters voor veel typen organisch materiaal nog niet zijn vastgesteld.

De verandering van de hoeveelheid C in de grond is per regio en bedrijfstype 'quick en dirty' berekend. Er is uitgegaan van de aanvoer van OS en EOS, zoals geregistreerd in FARM. Door per regio en bedrijfstype de gemiddelde aanvoer van EOS te delen door de gemiddelde aanvoer van OS is een gemiddelde HC berekend, waaruit een gemiddelde a-waarde is afgeleid. Vervolgens is berekend hoeveel C na 25 jaar aan de bodem is toegevoegd bij jaarlijkse aanvoer van dezelfde hoeveelheid EOS.

Anderzijds moet rekening worden gehouden met de afbraak van de reeds in de bodem aanwezige OS. Ook hiervoor is het model van Janssen gebruikt. Voor de bodemorganische stof op t_0 is voor zowel de gangbare als biologische percelen uitgegaan van eenzelfde a-waarde van:

- 21 op kleigrond en Noordoostelijke zand- en dalgrond (~2,0% afbraak van de bodemorganische stof);
- 16 op Zuidoostelijke zandgrond (~3,0% afbraak van de bodemorganische stof).
- In geval van een hoog organische stofgehalte (>5%) is een lager afbraakpercentage gehanteerd, c.q. een hogere a-waarde:
- 33 op kleigrond (~1,0% afbraak van de bodemorganische stof);
- 26 op Noordoostelijke zand- en dalgrond (~1,5% afbraak van de bodemorganische stof).

Op basis van de in FARM geregistreerde organische stofaanvoer uit gewasresten en organische mest per bedrijf per jaar is een gemiddeld gewogen koolstofgehalte berekend van de totale, aangevoerde organische stof. Hierbij is gerekend met 45% C in de OS van gewasresten en 50% C in de OS van organische mest. Dit resulteerde in een gemiddeld koolstofgehalte in de totaal aangevoerde organische stof van 47% op de biologische bedrijven van 46% op de gangbare bedrijven. Voor de bodemorganische stof is uitgegaan van een koolstofgehalte van 50%.
De afbraakformule van Janssen geldt voor een gemiddelde temperatuur van 9 °C. Voor andere temperaturen kan een temperatuurcorrectie (f_{temp}) aan de formule worden toegevoegd (Janssen, 2002):

$$Y_t = Y_0 \cdot EXP\ (\ 4{,}7\ (\ (a + t \cdot f_{temp})^{-0{,}6} - a^{-0{,}6}\ )\ )$$

Berekening van f_{temp} op basis van de temperatuur (T) in °C:

- $T \leq -1$: $f_{temp} = 0$
- $-1 < T \leq 9$: $f_{temp} = 0{,}1\ (T+1)$
- $9 < T \leq 27$: $f_{temp} = 2^{(T-9)/9}$
- $T > 27$: $f_{temp} = 4$

In de onderhavige studie is rekening gehouden met de temperatuurverschillen per regio. Hierbij is uitgegaan van de gemiddelde normale jaartemperaturen van de KNMI-weerstations (Tabel 4.1).

Tabel 4.1. Gemiddelde normale jaartemperaturen van KNMI-weerstations per regio en de temperatuurscorrectie $f_{temp.}$

Regio	gem. temp. (°C)	f_{temp}
Centrale zeeklei	9,8	1,06
Noordelijke zeeklei	9,2	1,02
Noordoosten	9,0	1,00
Zuidoosten	9,8	1,06
Zuidwesten	10,1	1,09

De normale jaartemperaturen betreffen het gemiddelde van de periode 1971-2000. Als de temperatuur de komende decennia stijgt door het broeikaseffect, zal de organische stof in de bodem sneller worden afgebroken dan is berekend aan de hand van bovenstaande temperaturen en wordt minder koolstof opgeslagen.

4.3 Resultaten

Organische stofgehaltes

De gemiddelde organische stofpercentages per regio, grondsoort en productiewijze zijn vermeld in Tabel 4.2. Uit de gegevens is geen duidelijke trend zichtbaar in een hoger organisch stofgehalte op biologische bedrijven ten opzichte van gangbare bedrijven. Alleen de organisch stofgehaltes op biologische bedrijven in de Centrale zeeklei zijn hoger dan op de gangbare bedrijven. In de overige regio's is het organische stofgehalte op biologische bedrijven lager dan op gangbare bedrijven. Organische stofgehaltes op percelen van gangbare groentebedrijven in de Centrale zeeklei en Zuidoost Nederland zijn ongeveer 0,5% hoger dan op gangbare akkerbouwbedrijven.

Tabel 4.2. Organische stofgehaltes (%) van BIOM en Telen met toekomst bedrijven per regio en grondsoort in de periode 2000-2006.

Regio	Grondsoort	Sector	Gemiddeld organisch stof percentage	Aantal bedrijven	Aantal percelen
Centrale zeeklei	klei	BIO	4,0	10	69
		GA	3,5	18	71
Noordoost Nederland	zand	BIO	4,5	6	40
		GA	6,3	19	91
Zuidoost Nederland	zand	BIO	3,0	5	41
		GA	3,2	61	187
Zuidwestelijke zeeklei	klei	BIO	2,4	8	47
		GA	2,6	26	126

Verschil in organische stofgehaltes over de jaren

Tabel 4.3 geeft het verschil in organisch stofgehalte van 11 biologische bedrijven over gemiddeld 5 jaar. Over alle bedrijven is gemiddeld geen toename van het organische stofgehalte vast te stellen. Op 5 bedrijven neemt het organische stofgehalte toe, op 5 bedrijven neemt het af en op 1 blijft het gelijk.

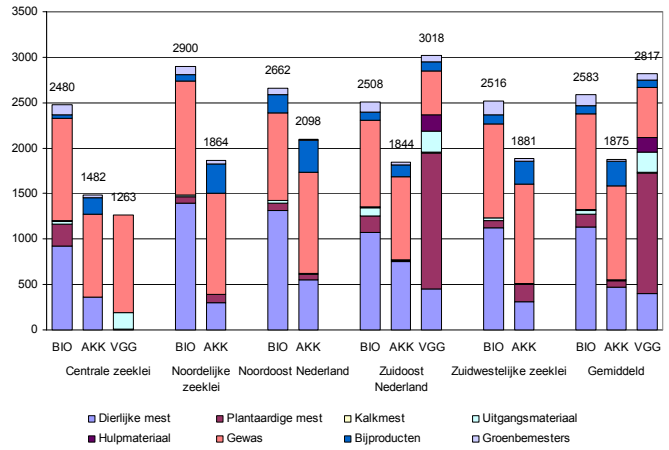
Tabel 4.3. Verschil in organische stofgehaltes (%) van 11 biologische bedrijven (47 percelen) over gemiddeld 5 jaar.

Regio	Grondsoort	Bedrijf	Gemiddeld verschil	Aantal jaar
Noordoost Nederland	dekzand	1	-0,6	3-4
Zuidoost Nederland	dekzand	2	-0,1	3
Zuidoost Nederland	löss	3	0,5	4-5
Rivierklei	rivierklei	4	0,7	4
Centrale zeeklei	zeeklei	5	-0,4	3
Centrale zeeklei	zeeklei	6	0,3	9-12
Centrale zeeklei	zeeklei	7	0,2	3
Centrale zeeklei	zeeklei	8	-0,6	7
Noordelijke zeeklei	zeeklei	9	0,0	5
Zuidwestelijke zeeklei	zeeklei	10	-0,2	3-7
Zuidwestelijke zeeklei	zeeklei	11	0,1	6
Totaal gemiddelde			0,0	5

Aanvoer van effectieve organische stof

De gemiddelde aanvoer van effectieve organische stof (EOS) is op biologische bedrijven ruim 2500 kg/ha (Figuur 4.1). De EOS aanvoer op biologische bedrijven is gemiddeld 400 kg/ha hoger dan op gangbare bedrijven. Gemiddeld slaan de biologische bedrijven dus meer EOS op in de bodem dan de gangbare bedrijven. De hogere aanvoer van EOS op biologische bedrijven wordt vooral veroorzaakt door een hogere aanvoer van dierlijke mest. De vollegrondsgroentebedrijven in Zuidoost Nederland hebben gemiddeld een hogere aanvoer van EOS (3018 kg/ha) dan de biologische bedrijven (2583 kg/ha). De aanvoer van EOS op biologische bedrijven is in alle regio's hoger dan op gangbare akkerbouwbedrijven (1875 kg/ha). De aanvoer van EOS op gangbare bedrijven in de centrale zeeklei is laag (rond de 1300 kg/ha). Bij de vollegrondsgroentebedrijven komt dit door een grote mate van grondhuur van veehouders waardoor de telers zelf geen organische bemesting uitvoeren.

De aanvoer van EOS op biologische bedrijven is ruim voldoende ten opzichte van de vuistregels die gehanteerd worden voor handhaving van het organische stofpercentage (1500-2000 kg EOS/ha). Op basis van deze norm voeren biologische bedrijven jaarlijks 500-1000 kg EOS/ha meer aan dan dat er afgebroken wordt. Dit betekent dat ze volgens de vuistregels netto koolstof zouden moeten vastleggen. Echter de koolstofafbraak zal toenemen bij hogere organische stofgehaltes. Dus de vuistregels kunnen hier dan eigenlijk niet gebruikt worden.



Figuur 4.1. Effectieve organische stofaanvoer van BIOM (BIO) en Telen met toekomst (AKK en VGG) bedrijven per regio (kg EOS/ha).

Geschat wordt dat 70% van de mest die in de biologische landbouw gebruikt wordt van gangbare herkomst is. Het verschil in organische stofaanvoer tussen de biologische en gangbare landbouw wordt juist gemaakt door de grotere aanvoer van dierlijke mest. Dit betekent dat de EOS die de biologische landbouw meer aanvoert dan de gangbare landbouw juist uit de gangbare landbouw afkomstig is en dat de gangbare landbouw de mogelijkheid van vastlegging van deze koolstof daarmee ontnomen is. De verplaatsing van mest van de gangbare naar de biologische landbouw heeft echter weinig effect op de totale aanvoer van EOS in de gangbare landbouw door het relatief kleine areaal van de biologische landbouw.

Netto opbouw van organische stof na 25 jaar

Op de biologische bedrijven is volgens de modelberekening na 25 jaar gemiddeld ongeveer anderhalf keer zoveel C aan de bodem toegevoegd als op de gangbare bedrijven (Tabel 4.4). Echter, op basis van de gehanteerde aannames voor de afbraak van de al in de bodem aanwezige organische stof, neemt de netto hoeveelheid koolstof in de bodem bij beide bedrijfstypen af. Gemiddeld per jaar bedraagt die afname 300 kg C/ha op de biologische bedrijven en 450 kg C/ha op de gangbare bedrijven.

De berekende netto koolstofopbouw na 25 jaar wordt sterk bepaald door de afbraaksnelheid van de al in de bodem aanwezige organische stof. De aanname die hiervoor wordt gedaan, c.q. een wat hogere of lagere afbraaksnelheid, heeft grote invloed op het resultaat van de berekening. Echter de koolstofafbraak zou gemiddeld ruim 2 keer lager moeten zijn op de biologische bedrijven en gemiddeld ruim 3½ keer lager op de gangbare bedrijven om na 25 jaar nog evenveel C in de bodem te hebben. Dat die afbraak zoveel lager is dan is aangenomen, is niet erg waarschijnlijk. Een alternatieve benadering om de koolstofafbraak te bepalen is door gebruik te maken van de verandering van het organische stofgehalte in de loop van de tijd zoals gepresenteerd in Tabel 4.3. Vanwege tijdgebrek is dit niet uitgevoerd, mede omdat dit perceelspecifiek moet worden uitgevoerd. Mogelijk kan dit in een later stadium nog uitgevoerd worden en kunnen dan ook gegevens voor gangbare bedrijven meegenomen worden.

Tabel 4.4. Resultaat van de berekeningen (kg C per ha).

Regio	Bedrijfs-type	Jaarlijkse aanvoer C (kg/ha)	Opbouw C na 25 jr (ton/ha)	Huidig o.s.-gehalte bodem	Huidige C-bodem (ton/ha)	C-afbraak na 25 jr (ton/ha)	Netto C-opbouw na 25 jr (ton/ha)
Centrale zeeklei	BIO	1155	6,5	4,0%	66,0	16,8	-10,3
	GA AKK	684	3,4	3,4%	58,0	14,7	-11,3
	GA VGG	571	2,7	3,9%	65,0	16,5	-13,8
Noordelijke zeeklei	BIO	1357	7,9	2,3%	40,5	10,1	-2,2
	GA AKK	864	4,6	7,1%	106,5	16,4	-11,8
Noordoosten zand	BIO	1249	7,4	4,5%	73,0	18,0	-10,7
	GA AKK	967	5,1	6,3%	97,0	19,3	-14,2
Zuidoosten	BIO	1176	6,6	3,0%	50,5	16,5	-9,8
	GA AKK	854	4,4	2,9%	49,0	16,0	-11,6
	GA VGG	1417	8,5	3,5%	58,5	19,1	-10,6
Zuidwestelijk zeeklei	BIO	1175	6,3	2,4%	42,5	10,9	-4,6
	GA AKK	875	4,4	2,6%	45,0	11,6	-7,2
Gemiddeld	BIO	1223	6,9	3,2	55	14,5	-7,5
	GA AKK	849	4,4	4,5	71	15,6	-11,2
	GA VGG	994	5,6	3,7	62	17,8	-12,2

4.4 Discussie

Vergelijking van de organische stofgehaltes geeft aan dat de hoeveelheid in bodems opgeslagen koolstof niet verschilt tussen biologische en gangbare landbouw. Vergelijking van de aanvoer van effectieve organische stof geeft aan dat biologische landbouw wel meer organische stof aanvoert dan de gangbare landbouw, maar verdere analyse geeft aan dat deze organische stof afkomstig is uit de gangbare landbouw. Wanneer de aanvoer met de afbraak vergeleken wordt, blijkt dat in alle gevallen de aanvoer onvoldoende is om de afbraak te compenseren. Zowel op biologische als op gangbare bedrijven neemt het organische stofgehalte in de tijd dus af. Op de biologische bedrijven gebeurt dit wel in een lager tempo dan op de gangbare bedrijven door de grotere EOS-aanvoer.

De uitkomsten zoals hierboven gepresenteerd verschillen sterk van het Rodale-onderzoek (Tabel 4.5, Slingerland en Van der Wielen, 2005; Pimentel *et al.*, 2005). Onze berekeningen suggereren dat er noch in biologische, noch in gangbare landbouw sprake is van netto koolstofopslag. Ook zijn de verschillen tussen biologisch en gangbaar kleiner dan in het Rodale onderzoek. Overigens zijn er de nodige kanttekeningen te plaatsen bij de studie van het Rodale-instituut en de beoordeling daarvan door Slingerland en Van der Wielen (zie ook paragraaf 3.3.3). De belangrijkste zijn:

- Het biologische systeem is een voor deze doelen geoptimaliseerd systeem en dit wordt vergeleken met een standaard niet geoptimaliseerd gangbaar systeem.
- Verschillen in rotaties tussen de gangbare en biologische systemen zijn aanzienlijk. In de biologisch systemen worden groenbemesters en tarwe gebruikt die sterk bijdragen aan de organische stof opbouw, in het gangbare systeem worden deze gewassen niet geteeld.
- De verschillen tussen de gewassen in de Rodale systemen en de belangrijkste gewassen in Nederland zijn groot. In Nederland worden geen sojabonen geteeld en worden meer rooivruchten geteeld (aardappel, suikerbiet).

- In het biologische systeem wordt veel dierlijke mest gebruikt. De vraag is of de beschikbare hoeveelheid mest ook op een groot areaal toegepast kan worden om te voldoen aan de behoefte van dergelijke biologische systemen.
- In de studie wordt een lineaire toename van de koolstofopslag aangenomen. C-opslag wordt dus voorgesteld als zou dit oneindig doorgaan. Dit is echter onjuist: een hogere aanvoer van organische stof leidt tot een nieuw evenwicht dat een hoger organische stofpercentage en een hogere afbraak tot gevolg heeft. Het effect van C-opslag is dus eindig.

Tabel 4.5. Opzet systemen en koolstofvastlegging Rodale-onderzoek (Slingerland en Van der Wielen, 2005).

Systeem	Bemesting	Vruchtwisseling	Koolstofvastlegging (kg C per jaar)
Biologisch	rundermest	maïs–sojabonen–snijmaïs–tarwe–rode klaver/alfalfa	1,14
Biologisch	organische compost van peulvruchten	maïs/bonte wikke – rogge/sojabonen – tarwe	0,66
Gangbaar	kunstmest	maïs – sojabonen – maïs – maïs sojabonen	0,33

De uitkomsten corresponderen wel met de modelstudie van Vleeshouwers en Verhagen (2002) over koolstofemissie en opslag in landbouwgronden in Europa. Deze studie komt op een gemiddelde netto afbraak van koolstof van 840 kg C per ha per jaar op akkerland waarbij akkerland in Nederland een relatief hoge emissie heeft. De emissie van koolstof is in deze studie hoger dan als weergegeven in Tabel 4.4. Per jaar is de koolstofemissie 300 kg/ha voor de biologische bedrijven en 470 kg/ha voor de gangbare bedrijven.

De uitkomsten corresponderen ook met een studie van Freibauer *et al.* (2004). Deze studie geeft biologische landbouw als mogelijke maatregel voor koolstofvastlegging in de EU-15 waarbij tussen de 0 en 500 kg koolstof per ha per jaar meer wordt vastgelegd dan in de gangbare landbouw. In deze studie berekenen we een gemiddeld verschil van 170 kg/ha tussen biologisch en gangbaar. Positieve neveneffecten zijn toename van biodiversiteit van flora en fauna maar een negatief effect is mogelijke toename van lachgasemissie vanuit vlinderbloemige gewasresten.

Er is veel andere literatuur beschikbaar over koolstofopslag in de bodem in landbouwsystemen maar deze is in veel gevallen gericht op maatregelen (zie hoofdstuk 5).

5. Maatregelen

In dit hoofdstuk worden maatregelen besproken die een bijdrage kunnen leveren aan reductie van energieverbruik en/of broeikasgasemissies of aan verhoging van de C-opslag. Omdat (effecten van) voorgestelde maatregelen in de plantaardige productie deels anders kunnen zijn dan in de melkveehouderijsector, is voor beide sectoren afzonderlijk een lijst van maatregelen opgesteld (Tabellen 5.1 en 5.2).

Tabel 5.1 *Overzicht van maatregelen in de plantaardige sectoren die kunnen bijdragen aan vermindering van energieverbruik en broeikasgasemissies en/of verhoging van koolstofopslag in de bodem. ++ = grote positieve invloed op onderdeel, += positieve invloed op onderdeel, 0 = geen invloed op onderdeel, - = negatief invloed op onderdeel, ? = invloed is onbekend. In de kolom 'agronomische consequenties' is aangegeven hoe ingrijpend de maatregel is, er is geen oordeel gegeven of die invloed positief of negatief is.*

Maatregel	Invloed op						
	Energie verbruik & CO_2-emissie	N_2O-emissie	CH_4-emissie	C-opslag	Kosten maatregel	Agronomische consequenties	Intenties biologische landbouw
Brandstofbesparing	+	0	0	0	+	geen	0
Kortere transportafstanden	+	0	0	0	+	geen	+
Grondbewerking minder diep, niet-kerend of no-tillage	+/++	+	0	+	?	beperkt/groot	+
Energiezuinigere opslag van producten	+	0	0	0	0/-	geen	0
Energiezuiniger opkweek van plantgoed	+	0	0	0	+	geen	0
Onkruid- en loofbranden vervangen door mechanische bewerkingen	+	0	0	0	+/-	beperkt	0
Verminderen van de hoeveelheid bemesting/ verhogen van efficiëntie	+	+	0	0	+/-	beperkt	+
Toepassing van dierlijke mest van najaar naar voorjaar op kleigrond	0	+	0	0	-	groot	+
Toepassing van (vlinderbloemige) groenbemesters	+	-	0	+	0/-	groot	+
Gewassen- en rassenkeuze	+	+	0	+	-/0/+	beperkt/groot	0/+
Afvoeren en verwerken van gewasresten (co-vergisting)	-	+	0	-	-	groot	+
Koolzaadteelt voor eigen gebruik	++	0	0	0/+	+/-	groot	++
Verbranding en vergassing	+	0	0	-	+	geen	++
Waterbeheer	0	+	0	+	0/-	groot	+
Organische meststoffen op akkerland i.p.v. grasland	0	-	0	+	-	groot	-
Vervanging van kunstmest door organische meststoffen	+	-	0	++	0	groot	+
Extensivering van akkerland	+	+	0	++	-	groot	+

Tabel 5.2. Overzicht van maatregelen in de melkveehouderij die kunnen bijdragen aan vermindering van energieverbruik en broeikasgasemissies en/of verhoging van koolstofopslag in de bodem. Voor betekenis van symbolen: zie Tabel 5.1.

Maatregel	Invloed op						
	Energie verbruik & CO_2-emissie	N_2O-emissie	CH_4-emissie	C-opslag	Kosten maatregel	Agronomische consequenties	Intenties biologische landbouw
Brandstofbesparing	+	0	0	0	0	geen	0
Energiezuinigere opslag van producten	+	0	0	0	0/-	geen	0
Verminderen van de hoeveelheid bemesting/ verhogen van efficiëntie	+	+	0	0	+/-	groot/beperkt	+
Mestvergisting	+	0	+	-	-	groot/beperkt	?
Mestbehandeling	0	+	+	0	0/-	groot/beperkt	?
Beïnvloeding methaanproductie in pens	-	0	+	0	-	beperkt	-
Graslandverbetering	0	+	0	0/-	0	beperkt	0
Beweiding	0	+	-	0	-	groot/beperkt	-
Krachtvoersamenstelling en oorsprong van grondstoffen	++	0	0	0	-	groot	++
Waterbeheer	0	+	0	+	0/-	groot	+
Toepassing van organische meststoffen	0	-	0	+	0	beperkt	-
Verlagen krachtvoergift	+	0	-	0	0/-	groot/beperkt	+
Verlagen vervangingspercentage veestapel	+	+	+	0	0	beperkt	+

In beide tabellen is aangegeven op welk onderdeel de voorgestelde maatregel invloed heeft en is een kwalitatieve inschatting gemaakt van de kosten van de maatregel, de mate van ingrijpendheid in het bedrijfssysteem (in de tabel aangeduid als agronomische consequenties) en in hoeverre de maatregel strookt met de intenties van de biologische landbouw.

Bij dit laatste gaat het om andere intenties dan het onderwerp van deze studie. De maatregelen zijn niet in detail uitgesplitst. Onder één maatregel vallen vaak diverse submaatregelen. Daarom is in een aantal gevallen een range in de beoordeling opgenomen. In diverse andere studies zijn lijsten met maatregelen opgenomen ter reductie van energieverbruik, broeikasgasemissies en/of C-opslag. Voorbeelden van dergelijke studies zijn Freibauer *et al.* (2004) voor C-opslag, Follet *et al.* (2005) voor broeikasgasemissies en C-opslag en Smith *et al.* (2007), Monteny *et al.* (2006), Pretty & Ball (2001) en Kuikman *et al.* (2004) voor broeikasgasemissies.

Brandstofbesparing

In de plantaardige sectoren is het verbruik van diesel een belangrijke post in het totale energieverbruik. Het aandeel varieert van 16% voor het gangbare akkerbouwbedrijf met kunstmest tot 32% voor het biologische akkerbouwbedrijf. De meest kansrijke maatregelen voor brandstofbesparing zijn (Stok, 2005; Volk, 2005; Hattum, 2005):

- kennis/bewustwording rond brandstofverbruik: goed onderhoud van trekker en werktuigen, bandenspanning, goede combinatie van trekker en werktuig, gebruik van frontgewichten, goede afstelling van machines,
- zuinige trekkers en lichte apparatuur met grote banden,
- grotere capaciteit geeft minder werkgangen.

Brandstofbesparing geeft een directe besparing op de kosten. Sommige maatregelen brengen investeringen met zich mee die vaak weer terugverdiend worden door het lagere verbruik.

Kortere transportafstanden

Hoe korter de transportafstanden hoe minder het energieverbruik. Dit gaat vooral op voor bulkproducten (mest, veevoer, product). Waar verkorting van transportafstanden mogelijk is geeft dit ook direct een kostenbesparing.

Aanpassing van de grondbewerking

In de plantaardige sectoren is grondbewerking verantwoordelijk voor 15-50% van het dieselverbruik en voor 5-25% van het indirecte energieverbruik. Ook heeft grondbewerking invloed op lachgasemissies en C-opslag. Andere grondbewerking kan leiden tot een extra C-opslag tot 400 kg koolstof per ha per jaar door verminderde afbraak van organische stof (Freibauer *et al.*, 2004). Verandering van conventionele grondbewerking naar no-tillage gaf in een studie van West & Post (2002) een opslag van 570 ± 140 kg C per ha per jaar behalve bij systemen met graan en braak die geen opslag gaven. Maximum opslagcapaciteit wordt bereikt na 5-10 jaar, het maximum organisch stofgehalte wordt bereikt na 15-20 jaar.

Ploegen bepaalt het grootste deel van het energieverbruik. Alternatieven met minder emissies en meer C-opslag zijn:
- minder diep ploegen;
- niet-kerende grondbewerking;
- beddenteelt of rijpadensysteem;
- no-tillage (directe zaai geen grondbewerking).

Diepploegen is juist negatief voor energieverbruik en koolstofopslag.

Andere voordelen van een minder intensieve grondbewerking zijn (Goris, 2005):
- kosten en arbeidsbesparing door minder werkgangen en grotere werkbreedte;
- verbetering bodem door (in het algemeen) hoger organisch stofgehalte, betere waterinfiltratie/ waterhuishouding, verbetering bodemstructuur, groter aanbod van voedingsstoffen en verminderde erosie.

Nadelen zijn:
- grotere onkruiddruk doordat onkruidzaden boven in bodem blijven;
- meer problemen met ongedierte doordat er meer beschutting is;
- lagere bodemtemperatuur; een bedekte bodem warmt minder snel op dan een naakte;
- compactiegevoeligheid;
- noodzaak voor aangepaste machines voor grondbewerking, zaaien en mesttoediening (niet-kerend, no-tillage);
- effect is pas zichtbaar op lange termijn waardoor telers twijfelen over de voordelen van de minder intensieve grondbewerking.

Tevens beperkt het verplaatsen van de grondbewerking van het najaar naar het voorjaar de lachgasemissie. Er is dan wel meer kans op structuurschade op kleigronden.

Energiezuinigere opslag van producten

Op de akkerbouwbedrijven is opslag expliciet meegenomen. Het blijkt een belangrijke post te zijn: 12 GJ/ha op het biologische bedrijf en 20 GJ/ha op de gangbare bedrijven. Besparing kan plaatsvinden door (Nekrovi, 2005):
- 'Goodhousekeeping'; (optimaliseren van de bezettingsgraad en energiebewuster deurgebruik).
- Procesgebruik; automatisering van installaties.
- Utilities; vervanging van installaties: vriesinstallaties 2000 GJ, CV-installaties 1000 GJ.

Energiezuiniger opkweek van plantgoed

Op de modelbedrijven met vollegrondsgroenten wordt een groot deel van het energieverbruik bepaald door de indirecte energie benodigd voor de opkweek van het plantgoed. Deze energiebehoefte vormt met 8 GJ/ha voor Chinese kool tot 22 GJ/ha voor prei 40-50% van het totale energieverbruik in deze teelten. De kengetallen waarop dit energieverbruik is gebaseerd zijn echter zeer summier (bijlage 4): er zijn alleen algemene kengetallen beschikbaar voor

opkweek in een verwarmde of onverwarmde kas. Gezien het belang van het energieverbruik van plantgoed is het aan te bevelen hier betere kengetallen voor te berekenen. Om energieverbruik te beperken heeft opkweek buiten of ter plaatse zaai de voorkeur boven opkweek in een koude kas. Deze heeft weer de voorkeur boven opkweek in een verwarmde kas. Voor vroege teelten zal echter gebruik gemaakt moeten worden van een verwarmde kas. Ter plaatse zaai heeft als gevolg meer onkruidbestrijding. Qua energieverbruik is dit beperkt ten opzichte van opkweek in een kas.

Onkruid- en loofbranden vervangen door mechanische bewerkingen

Onkruidbranden van fijn onkruid in ui en peen voor de opkomst, met een gebruik van 40 kg propaan/ha, kost 1952 MJ aan directe energie/ha per keer. Vervanging door mechanische bewerkingen bespaart veel energie. Het onkruidbranden is in het algemeen agronomisch een erg effectieve maatregel. Het achterwegen laten ervan resulteert veelal in een enorme toename van de arbeidsinzet benodigd voor het handmatig wieden/schoffelen omdat de mechanische technieken in deze gewassen nog onvoldoende ontwikkeld zijn voor een effectieve bestrijding.

Het loofbranden van een aardappelgewas kost 14.000 MJ/ha. Het loofbranden is daarmee in de biologische aardappelteelt verantwoordelijk voor 30% van de totale directe energiebehoefte in de teelt. Alternatief voor het branden van aardappelloof is looftrekken. De inzetbaarheid van beide systemen kent echter specifieke voordelen en beperkingen. Looftrekken kan de aantasting door Rhizoctonia beperken, terwijl door loofbranden de Phytophthora, die in biologische teelten meestal voor problemen zorgt, kan worden gestopt. Deze aspecten zullen een rol spelen bij de keus die wordt gemaakt en waartegen de consequenties voor het CO_2 emissie-effect moeten worden afgewogen.

Verminderen van de hoeveelheid mest/verhogen van de efficiëntie

Vermindering van het gebruik van dierlijke- en of kunstmest in de plantaardige sectoren draagt bij aan een verlaging van het energieverbruik en de lachgasemissie. Wanneer bij lagere mestgiften de productie ook afneemt, verbetert alleen het energieverbruik of de broeikasgasemissie per hectare. Om ook het verbruik en emissie per ton product te laten dalen moet de efficiëntie van de bemesting verhoogd worden. Het volgen van bemestingsadviezen en het toepassen van efficiëntere bemestingstechnieken (bijmestsystemen, rijenbemesting, fertigatie etc.) kunnen de efficiëntie van de bemesting verhogen. In de biologische landbouw zijn deze technieken echter minder toepasbaar. Ook ammoniumhoudende meststoffen, controlled-release meststoffen en nitrificatieremmers kunnen de efficiëntie verhogen waardoor minder stikstof nodig is en minder lachgasemissie optreedt (Kuikman *et al.*, 2004). Meer bij de biologische landbouw passende maatregelen zoals gebruik van groenbemesters en vlinderbloemigen kunnen juist de lachgasemissie verhogen. Ter beperking van lachgasemissie heeft bovengrondse aanwending van mest de voorkeur boven emissiearme mestaanwending, want dit laatste gaat gepaard met een hogere lachgasemissie. In de wetgeving is bovengrondse toediening echter verboden in verband met reductie van ammoniakemissie.

Toepassing van dierlijke mest van najaar naar voorjaar

Aanwending van organische mest in het najaar gaat gepaard met een hogere uitspoeling dan toepassing in het voorjaar. Dit resulteert tevens in een hogere lachgasemissie. Door de hogere uitspoeling bij toepassing van mest in het najaar is de werkingscoëfficiënt van de toegediende N lager. Bij najaarstoepassing moet dus meer mest aangevoerd worden om eenzelfde hoeveelheid werkzame N te verkrijgen dan bij voorjaarstoepassing. Mesttoediening in het voorjaar is vanuit het oogpunt van broeikasgasemissies dus beter. Voorjaarstoediening op kleigronden heeft echter praktische consequenties omdat de draagkracht van de bodem in het voorjaar beperkt is en zaaien of poten mogelijk verlaat moeten worden. Overigens wordt per 2009 najaarstoediening van drijfmest na 1 september verboden.

Toepassing van (vlinderbloemige) groenbemesters in het bouwplan

Toepassing van groenbemesters kan stikstof besparen en organische stof en dus koolstof vastleggen. De teelt van groenbemesters gaat echter ook gepaard met lachgasemissies. Vooral voor vlinderbloemigen is dit het geval.

In paragraaf 3.2.2.3 werd aangetoond dat bij vervanging van mest door vlinderbloemigen meer broeikasgasemissies optreden dan bij toepassing van organische mest.

Gewassen- en rassenkeuze

De keuze van de gewassen en rassen heeft grote invloed op zowel energieverbruik, broeikasgasemissies als C-opslag. Factoren die dit beïnvloeden zijn:

- Nutriëntenbehoefte: grotere nutriëntenbehoefte geeft meer energieverbruik en broeikasgasemissie voor productie en aanwending van meststoffen.
- Gewasresten: veel gewasresten leidt tot hogere broeikasgasemissies en meer C-opslag.
- Nutriëntenefficiëntie: efficiënte gewassen laten weinig stikstof achter in de bodem waardoor minder broeikasgasemissie kan optreden.
- Stikstofbinding: bij stikstofbinding treedt ook broeikasgasemissie op.
- Bewortelingsdiepte: dieper wortelende gewassen zijn efficiënter en zijn in staat dieper in de bodem CO_2 op te slaan: tot 600 kg koolstof per ha per jaar in de eerste jaren (Freibauer *et al.*, 2004).
- Groeiduur: meerjarige gewassen dragen meer bij aan C-opslag dan eenjarige gewassen.
- Productie: een hogere productie geeft minder energieverbruik en broeikasgasemissie per ton en levert door meer gewasresten een hogere bijdrage aan de C-opslag.

Naast keuze van gewassen en rassen kan veredeling op specifieke eigenschappen bijdragen aan het verlagen van energieverbruik, broeikasgasemissie en C-opslag.

Gewasrestenbeheer

Het afvoeren van gewasresten is een maatregel om lachgasemissies te beperken. De lachgasemissie uit gewasresten varieert van 1.76 – 2.2 kg N_2O/ha, in het totaal is dit een aandeel van 15-38%. De emissies zijn vooral hoog op de akkerbouwbedrijven en het biologische groentebedrijf.

Gewasresten dragen echter ook bij aan C-opslag. Dat pleit er voor om gewasresten te laten liggen of onder te werken. Stikstofrijke, makkelijk afbreekbare gewasresten (van bijvoorbeeld groentegewassen) kunnen gemengd worden met moeilijk afbreekbare gewasresten als stro om broeikasgasemissies te beperken.

Mechanisatie voor een eenvoudige afvoer van gewasresten is nog niet voorhanden en gewasresten moeten na het afvoeren wel op een goede wijze verwerkt worden. Alternatieven zijn vergisting, compostering en gebruik als veevoer (Wolf & de Haan, 2005). De laatste optie heeft beperkte mogelijkheden.

Compostering kan ook veel stikstofverliezen geven (vaak als ammoniak) en heeft nog weinig opgang gemaakt. Voor C-opslag is dat wel een potentiële maatregel. Freibauer *et al.* (2004) geven aan dat de potentiële C-opslag van compostering tot 400 kg C per ha per jaar kan zijn.

Co-vergisting van gewasresten is perspectiefvol (Van der Voort *et al.*, 2006) omdat de kosten voor verzamelen uit de gasopbrengst kunnen worden terugverdiend. Er zijn nog echter weinig installaties beschikbaar en de gewasresten moeten nog wel in het 'rantsoen' van de vergister worden ingebouwd.

Koolzaadteelt voor eigen gebruik

Koolzaad is relatief eenvoudig (koud) te persen tot koolzaadolie. Het zou voor landbouwbedrijven een optie kunnen zijn om in de eigen brandstofbehoefte te kunnen voorzien. Er dient dan voldoende koolzaad te worden ingezaaid om in de volledige 'directe' brandstofbehoefte van het bouwplan te kunnen voorzien.
Om koolzaad op te nemen in het bouwplan moet een ander gewas en de hiermee samenhangende financiële opbrengst wijken. Hier tegenover staan besparing aan fossiele brandstofkosten en inkomsten uit koolzaadstro en koolzaadkoek. Verder zijn er nog kosten die gemaakt moeten worden voor de koolzaadpers, verwerking en ombouw van trekkers.

Volgens Freibauer *et al.* (2004) kan biobrandstofproductie op braakland met eenjarige gewassen en meerjarige grassen mogelijk 0.5-1.9 ton C per ha per jaar vastleggen .

Verbranding en vergassing van biomassa

Directe verbranding van biomassa is veruit de meest toegepaste vorm van biomassaconversie. Wereldwijd zijn miljoenen mensen afhankelijk van biomassaverbranding voor hun dagelijkse energievoorziening. Echter, ook in vele industrieën wordt biomassa verbrand voor de productie van proceswarmte, stoom en/of elektriciteit (papier- en pulpindustrie, houtverwerkende industrie, suikerindustrie) en ook wordt biomassa in toenemende mate gestookt door energiebedrijven (BTG, 2005).
De landbouw kan een aantal biomassa leveren. Hierbij valt te denken aan:

- geteelde gewassen zoals hennep, miscanthus, graan, wilgen en populieren;
- snoeiafval en dunningshout uit houtwallen rond percelen en het erf;
- agrarische reststoffen zoals stro en eventueel (droge) mest.

De techniek voor vergassing is ontwikkeld voor de productie van stadsgas uit steenkool. In de Tweede Wereldoorlog zijn talloze kleine houtvergassers gebouwd om het gebrek aan benzine op te vangen (www.ecn.nl, www.vergassing.nl). In tegenstelling tot verbranding, wordt bij vergassing een beperkte hoeveelheid zuurstof aan het systeem toegevoerd. Hierdoor wordt een brandbaar gas gevormd. De belangrijkste brandbare componenten in het stookgas zijn waterstof (H_2), koolmonoxide (CO) en methaan (CH_4). Na reiniging kan dit brandbare gasmengsel worden gebruikt als brandstof voor gasmotoren, gasturbines of brandstof cellen waarmee (groene) warmte en elektriciteit wordt geproduceerd (www.senternovem.nl).

De verwachting is dat vergassen van biomassa op den duur goedkopere elektriciteit oplevert dan verbranding (www.ecn.nl). Voor vergassing wordt veelal hout of houtachtige producten als biomassa stroom toegepast. Een aantal van de gewassen die onder verbranding zijn genoemd, kunnen ook als brandstof voor vergassing dienen. Verbranding van voedsel kan mogelijk op weerstand kan stuiten. Er zijn immers nog veel plaatsen in de wereld waar honger heerst (Anonymus, 2006). Ook draagt verbranding en vergassing niet bij aan de koolstofopslag in de bodem.

Waterbeheer

Goed waterbeheer zorgt voor een goede vochtvoorziening voor de gewassen waardoor goede opbrengsten gerealiseerd kunnen worden. Dit gaat gepaard met meer C-opslag, minder uitspoeling en daardoor minder lachgasemissies. Het voorkómen van zuurstofloze omstandigheden gaat het optreden van lachgasemissies tegen. Hoge waterpeilen in veengronden dragen bij aan een verbetering van de C-opslag en lagere lachgasemissies (Freibauer *et al.*, 2004; Follet *et al.*, 2005)

Organische meststoffen op akkerland in plaats van grasland

Toepassing van organische meststoffen op akkerland in plaats van grasland levert enerzijds een potentiële C-opslag van 0.3-0.8 ton C per ha per jaar in de eerste jaren (Freibauer *et al*, 2004). Anderzijds levert deze maatregel meer lachgasemissie op en wordt voor beperking van lachgasemissie juist het tegenovergestelde voorgesteld (Kuikman *et al.*, 2004).

Toepassing van organische meststoffen

Toepassing van diverse organische meststoffen: mest, compost, rioolslib en andere draagt bij aan de opslag van koolstof in de bodem. Het kan 300-400 kg koolstof per ha per jaar opslaan in de eerste jaren (Freibauer *et al.*, 2004).

Extensivering van akkerland

Het omzetten van akkerland (braak, teeltvrije zones etc.) in permanent begroeid land levert een potentiële C-opslag van 0.5-1.9 ton C per ha per jaar in de eerste jaren (Freibauer *et al.*, 2004).

Mestvergisting

Mestvergisting kan worden toegepast bij rundvee- en varkensmest. Door mestvergisting komt methaan uit de mest vrij die vervolgens wordt opgevangen (biogas) en omgezet in energie. Eventueel kunnen samen met de mest andere producten mee vergist worden (co-vergisting). Effecten van vergisten op systeemniveau zijn nog niet goed bekend. Er kan van worden uitgegaan dat de methaanemissie uit de mestopslag afneemt. Mogelijk kan ook op stikstofgiften in minerale vorm bespaard (kunstmest) worden omdat het digestaat van vergiste mest meer direct beschikbare stikstof bevat. Kuikman *et al.* (2004) noemen een kunstmestbesparing van 10%. Schröder en Uenk (2006) becijferen dat de N-benutting op het niveau van het bedrijfssysteem echter onveranderd blijft of zelfs afneemt ingeval van co-vergisting.

Mestbehandeling

Andere effectieve maatregelen ter reductie van de methaanemissie uit mestopslagen zijn het snel overpompen van mest naar een overdekte buitenopslag, het verlagen van de temperatuur tijdens bewaring (<10°C), het niet mixen van de mest, affakkelen en beluchten (Schils *et al.*, 2006b; Kuikman *et al.*, 2004).
In de biologische landbouw worden vaste mestsoorten in het algemeen hoog gewaardeerd, vanwege de positieve effecten op de bodemvruchtbaarheid. De productie, bewerking en bewaring van vaste mest kan echter gepaard gaan met veel N-verlies, zoals blijkt uit de lage N/P2O5 verhouding van vaste mesten. Dit N-verlies wordt bepaald door de gebruikte hoeveelheid stro, door de wijze van bewaring en door de wijze van afdekking. Bokhorst en Ter Berg (2001) hanteren als vuistregel dat tijdens compostering in de praktijk gemiddeld 40% van de aanvankelijk aanwezige N verloren gaat. Een deel van dit N-verlies zal in de vorm van N_2O zijn. Monteny *et al.* (2006) vermelden dat N_2O verliezen bij vaste mest systemen groter zijn dan bij drijfmestsystemen. Om N-verliezen uit vaste mest te beperken dient deze zo weinig mogelijk aan lucht te worden blootgesteld en is het van belang een zo hoog mogelijke C/N verhouding na te streven en de mesthoop zo weinig mogelijk om te zetten.

Beïnvloeding methaanproductie in pens

De methaanproductie in de pens hangt af van de fermentatiesnelheid, de onderlinge verhoudingen tussen de daarbij geproduceerde vetzuren en de efficiëntie van de microbiële synthese (Monteny *et al.*, 2006). De methaanproductie kan worden tegengegaan door het verminderen van de waterstofvorming in de pens. Dit kan gerealiseerd worden door te sturen op een hogere productie van propionzuur ten nadele van de productie van azijnzuur en boterzuur (Schils *et al.*, 2006b). Hiertoe dient het aandeel oplosbare koolhydraten (krachtvoer) en/of het aandeel verteerbare celwanden in het rantsoen verhoogd te worden. Gunstige maatregelen in deze zin zijn meer maïs en/of meer vetten in het rantsoen. Naast sturen op rantsoensamenstelling kan ook gedacht worden aan het verkleinen van de populatie methanogene bacteriën in de pens door het verstrekken van anti-methanogenen (in de vorm van additieven of probiotica) of door het 'verwijderen' van protozoa (defauneren) (Monteny *et al.*, 2006; Schils *et al.*, 2006b). Het gebruik van anti-methanogenen kan effectief zijn maar het gebruik daarvan is omstreden. Defauneren leidt tot een snellere fermentatie en tot meer propionzuurvorming in de pens. Dit kan bewerkstelligd worden door in één keer een groot aandeel granenrijk krachtvoer te verstrekken. Voor hoogproductief melkvee is defauneren geen optie, omdat voor deze dieren een continue optimale penswerking noodzakelijk is.
Een combinatie van bovenstaande maatregelen bestaat uit het verhogen van de melkproductie van individuele dieren. Het daarbij benodigde voerniveau leidt op verschillende manieren tot een reductie van de methaanproductie: efficiëntere microbiële synthese, verhoogd krachtvoeraandeel in het rantsoen en verplaatsing van een deel van de fermentatie van pens naar dikke darm. Er kunnen overigens de nodige vraagtekens gezet worden bij de verenigbaarheid van deze maatregelen met de intenties van de biologische landbouw.

Graslandverbetering

Graslandverbetering door herinzaai leidt in het algemeen tot een afname van de verliezen aan stikstof. Hiertoe wordt oud grasland gescheurd en meteen heringezaaid. Scheuren en herinzaai van grasland in de nazomer resulteert in een hogere N_2O-emissie dan scheuren in het voorjaar. Door het scheuren van grasland naar het voorjaar te verplaatsen kan dus emissie vermeden worden. Deze maatregel is enkele jaren geleden wettelijk van kracht geworden. Een andere maatregel ter vermijding van N_2O-emissie als gevolg van scheuren is pleksgwijs scheuren. Daarbij wordt

alleen grasland gescheurd op plekken waar dat echt nodig is. In plaats van scheuren van grasland, kan dit ook doorgezaaid worden, maar het graslandverbeterend effect daarvan is minder dan van scheuren en herinzaai.

Beweiding

Door graasdieren beperkt of helemaal niet te laten weiden, neemt de emissie van N_2O als gevolg van beweiding af. Door meer mest in de mestopslag neemt de methaanemissie en de emissie van N_2O uit de mestopslag en de emissie bij aanwenden van mest toe. Netto (uitgedrukt in CO_2-equivalenten) is echter sprake van emissiereductie. Beperking van de beweiding van melkvee is tot op zekere hoogte verenigbaar met de intenties van de biologische landbouw, maar jaarrond opstallen wordt afgewezen.

Verlagen vervangingspercentage melkveestapel

Het verlagen van het vervangingspercentage van de melkveestapel heeft tot gevolg dat een melkkoe langer wordt aangehouden en gedurende haar levensduur meer melk produceert. Dit kan op systeemniveau gepaard gaan met een verlaagd energieverbruik en gereduceerde broeikasgasemissies omdat het relatieve belang van de 'onproductieve' opgroeifase afneemt (Monteny *et al.*, 2006). De optimale levensduur van melkkoeien hangt echter ook van veel andere zaken af. Weiske *et al.* (2006) vonden een reductie van de emissie van broeikasgassen van 13% bij verlaging van het vervangingspercentage van 40 tot 30%.

Beperken krachtvoergift

De krachtvoergift kan alleen beperkt worden zonder de melkproductie negatief te beïnvloeden als de koeien tegelijkertijd meer ruwvoer opnemen en/of de voederwaarde van het ruwvoer wordt verhoogd. De ruwvoeropname kan verhoogd worden door verschillende ruwvoeders gemengd te voeren.

Krachtvoersamenstelling en oorsprong van grondstoffen

De biologische veevoermarkt werkt *grosso modo* volgens dezelfde principes als die in de gangbare landbouw: grondstoffen worden daar gekocht waar deze het goedkoopst aangeboden worden en kunnen in principe overal vandaan komen. Prins (2005) schat in dat in 2003 niet meer dan 30% van de door de Nederlandse biologische veestapel geconsumeerde voerbestanddelen een binnenlandse oorsprong hebben. De overige 70% wordt dus geïmporteerd uit het buitenland, met name vanuit Zuid- en Oost Europa. Eiwitrijkere voerbestanddelen zijn niet zelden afkomstig uit Noord- en Zuid-Amerika. Overigens verschilt het aandeel binnenlandse voerbestanddelen sterk per sector. Voor varkens en pluimvee bedraagt dit om en nabij de 15% (Prins, 2005; Bos, 2006) en voor melkvee maximaal 40% (Prins, 2005). Import van voerbestanddelen resulteert in een verhoging van het energieverbruik voor krachtvoerproductie, in vergelijking met teelt ervan in Nederland. Voor de varkenshouderij becijferde Bos (2006) dat op een totaal van enkele tientallen liters diesel per vleesvarkensplaats ca. 15 liter bespaard zou kunnen worden indien de teelt van grondstoffen voortaan exclusief in Nederland zou plaatsvinden.

Ook de samenstelling van krachtvoeders is van invloed op het daaraan toe te rekenen energieverbruik. Het energieverbruik van een ingrediënt is hoger naarmate de opbrengst per ha van het oorspronggewas lager is, het ingrediënt intensiever gedroogd moet worden en/of het ingrediënt meerdere processen heeft doorlopen.

6. Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

6.1.1 Energieverbruik

Voor de melkveehouderij is het gemiddelde energieverbruik per ha van de biologische modelbedrijven ongeveer 50% lager dan van de gangbare modelbedrijven. Het energieverbruik per ha in gangbare en biologische melkveehouderij is gekoppeld aan de intensiteit van de modelbedrijven: naarmate de melkproductie per ha op het bedrijf hoger is, is ook het energieverbruik per ha hoger. Het intensiteitsniveau van de biologische modelbedrijven is gemiddeld lager dan van de gangbare. Het energieverbruik per ha in de biologische akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt is eveneens lager dan gangbaar, al zijn verschillen minder groot dan in de melkveehouderij. Het energieverbruik per ha in de biologische akkerbouw is ca. 35% lager dan in de gangbare akkerbouw en het energieverbruik per ha in de biologische vollegrondsgroenteteelt is ca. 10% lager dan in de gangbare vollegrondsgroenteteelt. In de biologische glastuinbouw is het energieverbruik per ha vrijwel gelijk aan dat van de gangbare glastuinbouw.

Gemiddeld over alle modelbedrijven is het energieverbruik per ton melk in de biologische melkveehouderij 25% lager dan in de gangbare melkveehouderij. Een aanzienlijk lager energieverbruik per ton melk in de biologische melkveehouderij is ook in diverse andere studies aangetoond, zowel voor de Nederlandse melkveehouderij als voor de melkveehouderij in het buitenland. In andere studies is het procentuele verschil tussen biologisch en gangbaar zelfs vaak nog wat groter (30-45%) dan berekend in deze studie. Oorzaken van verschillen tussen deze studie en andere studies kunnen in tal van factoren gelegen zijn en zijn niet zomaar te achterhalen. Een factor die waarschijnlijk meespeelt is dat in het buitenland de systeemverschillen tussen biologische en gangbare melkveehouderij wat groter zijn dan in Nederland.

In tegenstelling tot de melkveehouderij, is het energieverbruik per ton product in de biologische plantaardige sectoren volgens deze studie juist hoger dan gangbaar. In de biologische akkerbouw is het energieverbruik per ton product licht hoger dan gangbaar. In de biologische vollegrondsgroenteteelt is het energieverbruik per ton ruim 40% hoger dan gangbaar. Biologische tomaat onder glas vergt per ton product 25% meer energie dan gangbaar en het energieverbruik per ton biologische komkommer is zelfs een factor 2.7 hoger dan gangbaar. Mogelijk dat door recente opbrengststijgingen in de biologische glastuinbouw verschillen in energieverbruik tussen gangbaar en biologisch iets zijn afgenomen.

In de akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt zijn verschillen tussen gewassen erg groot. De samenstelling van het bouwplan is daarmee sterk bepalend voor het overall verschil per ton tussen biologisch en gangbaar op bedrijfsniveau. Een vergelijking van de bevindingen in deze studie met de internationale literatuur geeft geen eenduidig beeld. Er zijn vergelijkbare buitenlandse studies die voor biologisch een gelijk of hoger energieverbruik per ton product berekenen, maar er zijn ook studies die een lager energieverbruik per ton product laten zien. Overigens kunnen bij de meeste van deze buitenlandse studies kanttekeningen worden geplaatst, hetgeen interpretatie bemoeilijkt. Die kanttekeningen hebben dan met name betrekking op de (on)volledigheid van de vergelijkende analyse tussen gangbaar en biologisch voor wat betreft systeemgrenzen en het type gewassen dat vergeleken wordt.

In de melkveehouderij levert het gebruik van krachtvoer verreweg de belangrijkste bijdrage aan het totale energieverbruik, zowel biologisch als gangbaar. In de akkerbouw wordt de belangrijkste bijdrage aan het energieverbruik geleverd via het verbruik van diesel voor bewerkingen en het verbruik van elektriciteit voor opslag en bewaring. In de vollegrondsgroenteteelt vergt de opkweek van plantgoed de meeste energie. Bij de plantaardige productie worden de verschillen tussen biologisch en gangbaar voor het grootste deel bepaald door het indirecte energieverbruik vanwege de toepassing van kunstmest

6.1.2 Broeikasgasemissies

Net als bij het energieverbruik per ha zijn broeikasgasemissies in gangbare en biologische melkveehouderij gekoppeld aan de intensiteit van de modelbedrijven. Door het lagere intensiteitsniveau in de biologische melkveehouderij is de totale broeikasgasemissie per ha uitgedrukt in CO_2-equivalenten ca. 40% lager dan in de gangbare melkveehouderij.

De CO_2-equivalenten emissies per ha in de biologische akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt zijn 35 resp. 20% lager dan gangbaar. CO_2-equivalenten emissies per ha in biologische en gangbare glastuinbouw (bijna uitsluitend in de vorm van CO_2) zijn vrijwel gelijk.

De totale broeikasgasemissie per ton melk is in de biologische melkveehouderij ca. 10% lager dan gangbaar. Het verschil tussen biologisch en gangbaar is daarmee geringer dan bij het energieverbruik per ton melk. Dit kan worden verklaard doordat N_2O en CH_4 zwaar meewegen bij de omrekening naar CO_2-equivalenten. Juist voor deze twee broeikasgassen zijn verschillen in emissies per ton tussen biologisch en gangbaar gering. Het afwezig zijn van grote verschillen voor deze broeikasgassen hangt samen met een intensiever gebruik van weidegang, het frequenter scheuren van grasland en het gebruik van potstallen in de biologische melkveehouderij. Er is maar een relatief gering aantal andere studies bekend waarin broeikasgasemissies in biologische en gangbare melkveehouderij worden vergeleken. Daaruit komt een beeld naar voren dat verschillen tussen gangbaar en biologisch afwezig zijn of dat in biologisch de broeikasgasemissies per ton iets hoger zijn dan gangbaar.

De totale broeikasgasemissie per ton product is in de biologische akkerbouw vergelijkbaar of licht hoger en in de biologische vollegrondsgroenteteelt 28% hoger dan gangbaar. Teelt van biologische tomaat onder glas gaat per ton product gepaard met een 20% hogere broeikasgasemissie dan gangbaar en teelt van biologische komkommer zelfs met een 270% hogere emissie. Dit weer met de kanttekening dat verschillen tussen gangbaar en biologische iets kunnen zijn afgenomen doordat opbrengsten in de biologische glastuinbouw de laatste jaren zijn toegenomen.
Net als voor het energieverbruik zijn in de akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt de verschillen tussen gewassen erg groot en is de samenstelling van het bouwplan sterk bepalend voor de totale emissie op bedrijfsniveau en het verschil tussen biologisch en gangbaar. Wegens het ontbreken van relevante studies kan geen vergelijking gemaakt worden tussen deze studie en bevindingen elders.

Op de modelbedrijven melkveehouderij zijn CH_4 en N_2O elk verantwoordelijk voor 30 à 40% van de totale emissie aan CO_2-equivalenten. CO_2 is verantwoordelijk voor ca. 25-30% van de totale emissie. De CH_4-emissie is voor het overgrote deel (ca. 80%) het gevolg van pensfermentatie. In de akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt zijn de bijdragen van CO_2 en N_2O aan de totale emissie bij benadering aan elkaar gelijk.

6.1.3 C-opslag

Uit analyse van meerjarige datasets van BIOM- en Telen met toekomst bedrijven blijkt dat de aanvoer van effectieve organische stof op biologische bedrijven ca. 20% hoger is dan op gangbare bedrijven. Het verschil in aanvoer van effectieve organische stof tussen biologisch en gangbaar wordt veroorzaakt door een grotere aanvoer van dierlijke mest op de biologische bedrijven. Een deel hiervan is van gangbare oorsprong. Dit betekent dat de extra effectieve organische stof die de biologische landbouw aanvoert uit de gangbare landbouw afkomstig is en dat de gangbare landbouw de mogelijkheid van vastlegging van deze koolstof ontnomen is.

Op grond van de hogere aanvoer van effectieve organische stof in de biologische landbouw werden de hypothesen geformuleerd dat (1) het percentage organische stof in bodems op biologische bedrijven hoger zal zijn dan op gangbare bedrijven en (2) het organische stof percentage op biologische bedrijven toeneemt in de tijd. Aan de hand van meerjarige datasets van BIOM en Telen met toekomst bedrijven zijn deze hypothesen getoetst. Uit analyse van de datasets bleek dat er geen grond was voor het handhaven van de hypothesen: het organische stof percentage op biologische bedrijven was niet structureel hoger dan op gangbare bedrijven, noch kon er een structurele toename van het organische stof percentage in de tijd worden vastgesteld.

Op grond van de aanvoer van effectieve organische stof op biologische en gangbare bedrijven volgens eerdergenoemde meerjarige datasets zijn modelberekeningen uitgevoerd om de netto koolstofopbouw dan wel -afbaak na 25 jaar te schatten. Uit de modelberekeningen blijkt dat er zowel biologische als gangbaar sprake is van netto afbraak. Gemiddeld per jaar bedraagt de afbraak op biologische bedrijven 300 kg koolstof per ha en op gangbare bedrijven 450 kg koolstof per ha. Op de biologische bedrijven verloopt de netto afbraak dus wat langzamer dan op de gangbare bedrijven. Dit wordt veroorzaakt door de hogere aanvoer van organische stof op biologische bedrijven. De berekening van netto opbouw/afbraak van koolstof op termijn wordt overigens sterk beïnvloed door de aanname die wordt gedaan over de afbraaksnelheid van organische stof. Dat er in werkelijkheid sprake zou kunnen zijn van netto-koolstofopbouw is echter onwaarschijnlijk.

6.1.4 Maatregelen

Er is een reeks van maatregelen denkbaar die bij kunnen dragen aan het verlagen van energieverbruik en/of broeikasgasemissies of het verhogen van de C-opslag in landbouwbodems. Veel van de maatregelen kunnen samengevat worden onder de gemeenschappelijke noemer 'verhogen van de omzettingsefficiëntie binnen het landbouwsysteem'. De voorgestelde maatregelen zijn meestal gericht op òf verlaging van het energieverbruik, òf reductie van een van de broeikasgassen, òf verhoging van de C-opslag. Hierdoor kan bijvoorbeeld een op energiebesparing gerichte maatregel in principe een negatief bij-effect hebben op de emissie van een of meer broeikasgassen. Welke positieve en negatieve effecten de diverse maatregelen bij implementatie in bedrijfsverband kunnen hebben is veelal nog niet goed bekend.

Een belangrijke indirecte maatregel, niet genoemd in het maatregelen hoofdstuk is het verhogen van opbrengsten in de biologische landbouw. De huidige opbrengsten in de akkerbouw en vollegrondsgroenten liggen bijvoorbeeld 20 tot 40% onder het niveau van de gangbare landbouw. Verbeterde beheersing van ziekten en plagen zorgen voor hogere opbrengsten met naar verwachting een gering extra energieverbruik. Het energieverbruik en de broeikasgasemissies per ton product nemen dan af.

6.2 Aanbevelingen

Communicatie

- Zorg voor een goede communicatie naar de biologische sector over de effecten van hun handelen op energieverbruik en broeikasgasemissies en over de maatregelen die genomen kunnen worden om dit te verbeteren.

Ontwikkeling en implementatie

- Beschrijf effectieve en haalbare maatregelen ter beperking van energieverbruik en broeikasgasemissies en ter verhoging van koolstofopslag voor toepassing in de praktijk en stem deze af met biologische ondernemers.
- Stel een agenda op voor het toepasbaar maken van (potentieel) effectieve maatregelen ter beperking van energieverbruik/broeikasgasemissie en ter verhoging van koolstofopslag die nu nog niet haalbaar zijn.
- Verhoog in de biologische akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt de opbrengst om het hogere energieverbruik en de hogere broeikasgasemissie per ton product te verlagen, indien mogelijk tot onder het niveau van de gangbare landbouw.
- Gebruik energiezuinige kassen in de biologische glastuinbouw om het hogere energieverbruik en de hogere broeikasgasemissie per ton product te verlagen, indien mogelijk tot onder het niveau van de gangbare landbouw.
- Pas kennis over energieverbruik en broeikasgasemissies toe in communiceerbare maatstaven zoals de 'Global foot print' en 'Foodmiles'.

Onderzoek

- Onderzoek of gebruik en productie van bio-energie (op het eigen bedrijf) kansen biedt om het gebruik van (fossiele) energie terug te dringen. Hierbij moeten ook de effecten op totale de koolstof- en nutriëntenkringloop worden meegenomen.
- Doe vervolgonderzoek naar energieverbruik en broeikasgasemissies in het totale agro-foodcomplex. Volg het product van de akker tot de smakker. Kijk ook naar verschillende ketensystemen (groentetassen, internetverkoop, huisverkoop), niet alleen uitgaand van het individuele product maar ook van het totale voedselpakket.
- Verbeter kengetallen op gebied van brandstofverbruik, indirecte energie voor mechanisatie en opkweek van plantgoed voor een betere kwantificering van energieverbruik en broeikasgasemissies.
- Onderzoek de effecten van managementmaatregelen op bedrijfsniveau op de emissies van methaan en lachgas. Hierbij moeten nadrukkelijk mogelijke afwentelingeffecten en de effecten op andere milieuparameters (vooral nutriënten-gerelateerd) worden meegenomen.
- Onderzoek of er onderscheid is in kengetallen tussen biologische en gangbare bedrijven bij lachgasemissie uit toepassing van organische mest, inwerken van gewasresten, indirecte emissies uit de bodem voor een beter onderscheid in emissies tussen gangbare en biologische landbouw.
- Zet onderzoek op dat in meer detail kijkt naar het sluiten van de mineralenkringloop (geen gebruik gangbare mest) en organisch stofbeheer in relatie tot broeikasgasemissies en koolstofopslag in de biologische landbouw. De betere prestaties op het gebied van koolstofopslag zijn vooral te danken aan het mestgebruik uit de gangbare landbouw. Wanneer deze echter niet gebruikt wordt zal meer stikstof uit vlinderbloemigen gehaald moeten worden om gelijke opbrengsten te behalen. Hierdoor neemt de broeikasgasemissie toe ten opzichte van het mestgebruik. Daarnaast blijkt uit de berekeningen dat het organisch stofgehalte daalt in de akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt. Om het organisch stofgehalte op peil te houden zullen meer vlinderbloemigen en groenbemesters gebruikt moeten worden. Het totale systeem zal dus extensiever worden. Dan is het ook van belang om de financiële effecten van dergelijke systemen in kaart te brengen.

Literatuur

Anonymus, 2006.
Tarwe in plaats van aardgas, Nieuwe Oogst (gewas), nummer 22, 2006, blz. 6-7.

Avery, A., 2005.
Organic and conventional agriculture reconsidered. Bioscience 55: 820.

Bokhorst, J. & Berg, C. ter, 2001.
Handboek Mest & Compost. Louis Bolk Instituut, Driebergen, 292 pp.

Bicknell, K.B., R.J. Ball, R. Cullen & H.R. Bigsby, 1998.
New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy. Ecol. Econ. 27: 149–160.

BTG, 2005.
Energie uit Biomassa, Achtergrondinformatie over beleid, chemie en techniek, BTG Biomass Technology Group B.V., Enschede, mei 2005.

Brand, R.A. & A.G. Melman, 1993.
Energie-inhoudnormen voor de veehouderij. Deel 2 (proceskaarten). TNO Milieu- en Energietechnologie, Apeldoorn.

Cederberg, C.& B. Mattsson, 2000.
Life cycle assessment of milk production – a comparison of conventional and organic farming. Journal of Cleaner Production 8: 49-60.

Corré, W., J.J. Schröder & J. Verhagen, 2003.
Energy use in conventional and organic farming systems. Proceedings 511, International Fertiliser Society, York, UK, 24p.

Cormack, W.F., 2000.
Energy use in organic farming systems (OF0182). Report, Terrington, ADAS Consulting Ltd.

Dalgaard, T, N. Halberg & J.R. Porter, 2001.
A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. Agriculture, Ecosystems and Environment 87: 51-65.

Dasselaar, A. van & R. Pothoven, 1994.
Energieverbruik in de landbouw; vergelijking van verschillende bemestingsstrategieën. Nutriënten Management Instituut (NMI), Wageningen.

Dekkers, W.A. (red), 2002.
Kwantitatieve Informatie Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt 2002. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V., Wageningen. PPO 301.

Dijk, W. van, 2003.
Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw en vollegrondsgroentengewassen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. Wageningen. PPO 307.

Dijk, W. van, T. Baan Hofman & K. Nijssen, 1996.
Effecten van maïs- en gras vruchtwisseling. PAGV rapport 217, Lelystad, 140 p.

FAO, 2000,
Carbon Sequestration Options Under the Clean Development Mechanism to Address Land Degradation. World Soil Resources Reports 92. FAO and IFAD, Rome

Flessa, H., R. Ruser, P. Dörsch, T. Kamp, M.A. Jimenez, J.C. Munch & F. Beese, 2002.
Integrated evaluation of greenhouse gas emissions (CO_2, CH_4, N_2O) from two farming systems in southern Germany. Agriculture Ecosystems & Environment 91: 175-189

Follett, R.F., S.R. Shafer, M.D. Jawson & A.J. Franzluebbers, 2005.
Research and implementation needs to mitigate greenhouse gas emissions from agriculture in the USA. Soil and Tillage Research 83: 159-166

Freibauer, A., M.D.A. Rounsevell, P. Smith & J. Verhagen, 2004.
Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. Geoderma 122: 1-23.

Goris, W., 2005.
Niet kerende grondbewerking; een alternatief voor de ploeg. Katholieke Hogeschool Kempen.
Grönroos, J., Seppälä, P. Voutilainen, P. Seuri & Koikkalainen, 2006.
Energy use in conventional and organic milk and rye bread production in Finland. Agriculture, Ecosystems and Environment 117: 109-118.
Haan, M.H. de, A.G. Evers, H. Hemmer, J.A. de Boer & J. Kanis, 2003.
Overzicht rekengang BBPR. Intern rapport 499. Animal Sciences Group, Praktijkonderzoek, Lelystad, 32 pp.
Haan, M.H. de, A.G. Evers, W.H. van Everdingen & A. van den Pol-Dasselaar, 2005.
Invloed mestbeleid met gebruiksnormen op weidegang. Praktijkrapport 69, Animal Sciences Group / Praktijkonderzoek, Wageningen UR, Lelystad.
Hageman, I. & F. Mandersloot, 1994.
Model energieverbruik melkveebedrijf. Publicatie nr. 86, Proefstation voor de rundveehouderij, schapenhouderij en paardenhouderij (PR), Lelystad, 32 pp.
Hattum, B. van, 2005.
Dure diesel, bespaartips, Boerderij 91-7, p. 24-26.
IPCC, 1997.
Revised 1996. IPCC Guidelines for National Greenhouse GAS Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland
IPCC, 2000.
IPCC Special Report on Land Use, Land-Use Change and Forestry. A special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, eds R.T. Watson, I.R. Noble, B. Bolin, N.H. Ravindranath, D.J. Verardo & D.J. Dokken. IPCC Secretariat, c/o World Meteorological Organisation, Geneva.
Janssen, B.H., 1984.
A simple method for calculating decomposition and acuumulation of 'young' soil organic matter. Plant & Soil 76: 297-304.
Janssen, B.H., 2002.
Organic Matter and Soil Fertility. Collegedictaat J 100-225, editie 2002, Landbouwuniverstiteit Wageningen, 247 pp.
Kok, E.J., A.J. Smelt, L.T. Colon, O. Dolstra, J.J. de Vlieger, J.M.A.J. Verdonk & C. Lokhorst, 2004.
GGO-vrije diervoederketens. Kennisscan 2004. WUR-Expertisegroep GGO-vrije ketens, Wageningen, 58 pp.
Kuikman, P.J., D.A. Oudendag, A. Smit en K.W. van der Hoek, 2004.
ROB maatregelen in de landbouw en vermindering van emissies van broeikasgassen. Alterra rapport 994. Alterra, Wageningen, 142 pp.
Living Planet, Report 2004.
Publication of the World Wildlife Fund, in collaboration with UNEP and the Global Footprint Network, Gland.
Loges, R., M.R. Kelm & F. Taube, 2006.
Nitrogen balances, nitrate leaching and energy efficiency of conventional and organic farming systems on fertile soils in Northern Germany. Advances in GeoEcology 38: 407-414
Mäder, P., A. Fließbach, D. Dubois, L. Gunst, P. Fried & U. Niggli, 2002.
Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. Science 296, 31 may
Meul, M., F. Nevens, D. Reheul & G. Hofman, 2007.
Energy use efficiency of specialised dairy, arable and pig farms in Flanders. Agriculture, Ecosystems and Environment 119: 135-144.
Mombarg, Herbert & Anton Kool, 2004.
Telen met toekomst Energie- en Klimaatmeetlat. Eindrapport. Telen met toekomst, april 2004, OV0407. Plant Research International. Wageningen
Monteny, G.J., A. Bannink & D. Chadwick, 2006.
Greenhouse gas abatement strategies for animal husbandry. Agriculture, Ecosystems and Environment 112: 163-170.

Mosquera, 2005.
Sterke reductie lachgas in rijpadensysteem. Webnieuws, 28-6-2005, Precisieteelt en vaste rijpaden in de biologische akkerbouw. www.syscope.nl.

Olesen, J.E., K. Schelde, A. Weiske, M.R. Weisbjerg, W.A.H. Asman & J. Djurhuus, 2006.
Modelling greenhouse gas emissions from European conventional and organic dairy farms. Agriculture, Ecosystems and Environment 112: 207-220

Pimentel, D., P. Hepperly, J. Hanson, D. Douds & R. Seidel, 2005.
Environmental, energetic and economic comparisons of organic and conventional farming systems. Bioscience 55: 573-582.

Pol van den-van Dasselaar, A. & B. Philipsen, 2000.
Nieuw N-advies snijmaïs na scheuren grasland. Praktijkonderzoek 2000-1: 14-15

Postma, R. & T.A. van Dijk, 2004a.
Organische stofopbouw en N-mineralisatie op kernbedrijven; toetsing Minip met resultaten 2002 en 2003. Rapport OV0408, Telen met toekomst, 36 pp.

Postma, R. & T.A. van Dijk, 2004b.
Organische stofopbouw en N-mineralisatie op kernbedrijven; verfijning model Minip. Rapport OV0414, Telen met toekomst, 32 pp.

Pretty, J. & T. Ball, 2001.
Agricultural Influences on Carbon Emissions and Sequestration: A Review of Evidence and the Emerging Trading Options. Centre for Environment and Society and Department of Biological Sciences University of Essex, UK.

Prins , U. (red.), 2005.
Intersectorale samenwerking in de biologische landbouw; verzelfstandiging van de biologische landbouw op het gebied van mest, voer en stro. Louis Bolk Instituut, Driebergen, 50 pp.

Schils, R.L.M., D.A. Oudendag, K.W. van der Hoek, J.A. de Boer, A.G. Evers & M.H. de Haan, , 2006a.
Broeikasgasmodule BBPR. Praktijkrapport Rundvee 90, Alterra rapport 1268, RIVM rapport 680.125.006, Animal Sciences Group / Praktijkonderzoek, Wageningen UR, Lelystad, 50 pp.

Schils, R.L.M., L.B.J. Šebek, H.F.M. Aarts, R. Jongschaap, H. de Boer & H.-J. van Dooren, 2006b.
Verlaging van de methaan- en lachgasemissie uit de Nederlandse melkveehouderij. Startnotitie in het kader van implementatie Reductieplan Overige Broeikasgassen in Koeien en Kansen. ASG / PRI, Wageningen UR, 30 pp.

Schils, R.L.M., A. Verhagen, H.F.M. Aarts & L.B.J. Šebek, 2005.
A farm level approach to define successful mitigation strategies for GHG emissions from ruminant livestock systems. Nutrient Cycling in Agroecosystems 71: 163-175.

Schoorlemmer, H.B. & A.T. Krikke, 1997.
Bedrijfsbegroten in de akkerbouw en de vollegrondsgroenteteelt. Publicatie nr. 84, PAV Lelystad, 76 p.

Schröder, J.J. & D. Uenk, 2006.
Cattle slurry digestion does not improve the long term nitrogen use efficiency of farms. In: S.O. Peterson (Ed.) Proceedings 12th Ramiran International Conference, Arhus, Denemarken. DIAS Report 123, 9-11.

Schröder, J.J., H.F.M. Aarts, M.J.C. de Bode, W. van Dijk, J.C. Middelkoop, M.H.A. de Haan, R.L.M. Schils, G.L. Velthof & W.J. Wilms, 2004.
Gebruiksnormen bij verschillende landbouwkundige en milieukundige uitgangspunten. Rapport 79. Plant Research International. Wageningen.

SenterNovem, 2004.
Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO_2-emissiefactoren. Stuurgroep Emissie Registratie, SenterNovem, 12 pp.

SenterNovem, s.d.
Model projectplan Unieke Kansen Regeling.

Slingerland, S. & P. van der Wielen, 2005.
Biologische landbouw en koolstofvastlegging. Analyse van de claims van een Amerikaans veldonderzoek. CE, Delft. Publicatienummer 05.3786.03.

Smink, W., K.D. Bos, F.D. Fitié, L.J. van der Kolk, W.K.J. Rijm, G. Roelofs & G.A.M. van den Broek, G.A.M., 2003.
Methaanreductie melkvee. Een onderzoeksproject naar inschatting van de methaanproductie vanuit de voeding en naar de reductiemogelijkheden via de voeding van melkkoeien. Rapport in het kader van ROB-programma NOVEM. FIS, Utrecht.

Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H.H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'Mara, C. Rice, B. Scholes, O. Sirotenko, M. Howden, T. McAllister, G. Pan, V. Romanenkov, U. Schneider, S. Towprayoon, M. Wattenbach & J.U. Smith, 2007.
Greenhouse gas mitigation in agriculture. Philosophical Transactions of the Royal Society (B). (In Press).

Stok, Toon van der, 2005.
Personeel trainen; tips om energie te besparen, Loonbedrijf 2, 2005, p. 14-17.

Sukkel, W. & P.A.C. Koot, 2002a.
Biologische vollegrondsgroenteteelt; Zuidoost Nederland. PPO Bedrijfssystemen 306-6. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. Wageningen.

Sukkel, W. & P.A.C. Koot, 2002b.
Geïntegreerde vollegrondsgroenteteelt; Zuidoost Nederland. PPO Bedrijfssystemen 306-7. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. Wageningen.

Thomassen, M.A., K.J. van Calker, M.C.J. Smits, G.L. Iepema & I.J.M. de Boer, 2007a.
Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. In voorbereiding.

Thomassen, M.A., I.J.M. de Boer, M.C.J. Smits, G.L. Iepema, K.J. van Calker, R. Werkman, J. Jansen, & L. 's Gravendijk, 2007b.
Krachtvoer heeft grote invloed op milieubelasting melkveehouderij. V-focus (4) nr. 1, februari 2007.

Veer, D.F. ter, 2005.
Scenariostudie 100% biologisch voeren melkvee. Animal Sciences Group / Praktijkonderzoek, Wageningen UR, Lelystad.

Velthof, G.L. & O. Oenema, 1997.
Nitrous oxide emission from dairy farming systems in the Netherlands. Netherlands Journal of Agricultural Science 45: 347-360.

Vleeshouwers, L.M. & A. Verhagen, 2002.
Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe. Global Change Biology 8, 519-530.

Volk, L., 2005.
Diesel sparen durch bessere Reifen. Zuckerrübe 6: 327-329.

Voort, M. van der, A. van der Klooster, J. van der Wekken, H. Kemp & P. Dekker, 2006.
Covergisting van gewasresten, een verkennende studie naar de praktische en economische haalbaarheid. Rapport 530030, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad.

Weiske, A., A. Vabitsch, J.E. Olesen, K. Schelde, J. Michel, R. Friedrich & M. Kaltschmitt, 2006.
Mitigation of greenhouse gas emissions in European conventional and organic dairy farming. Agriculture, Ecosystems and Environment 112: 221-232

West, T.O. & W.M. Post, 2002.
Soil Organic Carbon Sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. Soil Sci. Soc. Am. J. 66:1930-1946 (200).

Woerden, S. van, 2001.
Biologische glasgroenteteelt. Rapportage bedrijfseconomische en milieukundige aspecten 1999-2000. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. Sector Glastuinbouw.

Wolf, M. de, J. de Haan, 2005.
Brochure: Gewasresten afvoeren: utopie of optie? Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Wijnands, F.G. & A. Dekking, 2002a.
Biologische akkerbouw; Centrale zeeklei. PPO Bedrijfssystemen 306-1. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. Wageningen.

Wijnands, F.G. & A. Dekking, 2002b.
Geïntegreerde akkerbouw; Centrale zeeklei. PPO Bedrijfssystemen 306-4. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. Wageningen.

Wijnands F.G. & W.K. van Leeuwen-Haagsma, 2003.
Vruchtwisseling en bemesting. In: F.G. Wijnands en J. Holwerda (red). Op weg naar goede biologische praktijk. Resultaten en ervaringen uit BIOM. PPO 317. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. Wageningen.

Yang, H.S. & B.H. Janssen, 2000.
A mono-component model of carbon mineralization with a dynamic rate constant. European Journal of Soil Science 51: 571-529.

Bijlage I.

Opzet van modelbedrijven open teelten

Vruchtwisseling, opbrengsten, bemesting, organische stofbeheer, stikstofstromen, gewasbescherming en energieverbruik.

Gewas		Opbrengst		Uitgangs-materiaal		Dierlijke mest						Kunstmest/vinassekali				Mestwetgeving				Gewasresten en binding				Uitspoeling			Gewasbescherming verbruik actieve stof				Energie verbruik	
	oppervlak (ha)	hoofdproduct (ton/ha)	bijproduct (ton/ha)	zaaizaad (kg/ha)	plantgoed (1000 stuks/ha)	type	hoeveelheid (ton/ha)	N-gift (kg/ha)	P-gift (kg/ha)	K-gift (kg/ha)	toerekening aan bouwplan	N-gift (kg/ha)	P-gift (kg/ha)	K-gift (kg/ha)	toerekening aan bouwplan	Nwz (kg/ha)	Gebruiksnorm (kg/ha)	Tot P-aanvoer (kg/ha)	Aanvoer effectieve org. stof (kg EOS/ha)	N in gewasresten (kg/ha)	toerekening aan bouwplan	N-binding (kg/ha)	toerekening aan bouwplan	N-overschot (kg/ha)	N-uitspoeling (kg/ha)	toerekening aan bouwplan	herbiciden (kg a.s./ha)	fungicides (kg a.s./ha)	insecticiden (kg a.s./ha)	overige middelen (kg a.s./ha)	diesel (kg/ha)	elektriciteit (GJ/ha)
1a/b/c. Biologisch akkerbouw klei 50/100 ha grondwatertrap IV/VI												vinassekali																				
Pootaardappel	8.33	27	0	5200		VRM	30	192	114	342	41%	79	0	212	0%	88	130	114	2975	72	0%	0	0%	218	31	36%	0	0	0	0	523	22
Suikerbiet	4.17	55	0	5		VRM/ RDM	30/15	258	138	435	41% 25%	23	0	62	0%	79	165	138	3825	105	0%	0	0%	210	29	45%	0	0	0	0	184	0
Zaaiui	4.17	35	0	3		VRM	30	192	114	342	41%	79	0	212	0%	88	130	114	2400	13	0%	0	0%	222	31	35%	0	0	0	0	231	31
Winterpeen	8.33	55	0	2		VRM	15	96	57	171	41%	79	0	212	0%	64	120	57	1750	69	0%	0	0%	71	10	55%	0	0	0	0	284	33
Zomertarwe	8.33	5.4	3	170		VRM/ RDM	20/15	194	100	321	41% 25%	0	0	0	0%	52	155	100	3480	3	0%	0	0%	102	14	67%	0	0	0	0	164	0
Erwten	8.33	4	0	78			0	0	0	0	0%	38	0	102	0%	19	35	0	300	150	0%	105	50%	141	20	37%	0	0	0	0	76	0
Gras/klaver	8.33	10	0	10			0	0	0	0	0%	0	0	0	0%	0	345	0	1175	120	100%	270	0%	-15	0	0%	0	0	0	0	72	0
Klaver	8.33	0	0	10			0	0	0	0	100%	0	0	0	100%	0	35	0	1165	90	100%	80	100%	80	11	100%	0	0	0	0	30	0
Engels raaigras	8.33	0	0	20			0	0	0	0	100%	0	0	0	100%	0	65	0	1080	75	100%	0	100%	0	0	100%	0	0	0	0	9	0
Totaal	50.00							118	66	204		41	0	111		51	172	66	2506	106		76		136	19		0	0	0	0	228	12
2a. Gangbaar akkerbouw klei kunstmest												kunstmest																				
Pootaardappelen	6.25	37	0	5200			0	0	0	0	0%	125	120	208	0%	125	130	120	875	80	0%	0	0%	42	12	0%	5.0	3.7	0.6	0.0	189	30
Cons. aardappelen	6.25	42	0	3000			0	0	0	0	0%	255	120	208	0%	255	275	120	875	40	0%	0	0%	144	40	0%	1.2	3.6	0.3	0.0	203	51
Suikerbiet	12.50	65	0	5			0	0	0	0	0%	150	75	61	0%	150	165	75	1275	117	0%	0	0%	61	17	0%	2.9	0.0	0.0	0.0	143	20
Zaaiuien	6.25	66	0	3			0	0	0	0	0%	110	120	208	0%	110	130	120	300	14	0%	0	0%	-7	0	0%	1.5	7.4	0.0	2.1	157	0
Winterpeen	6.25	85	0	2			0	0	0	0	0%	70	20	208	0%	70	120	20	700	77	0%	0	0%	-106	0	0%	3.1	1.5	3.7	0.0	167	0
Wintertarwe	6.25	9.5	4.5	175			0	0	0	0	0%	205	0	0	0%	205	240	0	1640	3	0%	0	0%	17	5	0%	2.6	0.3	0.0	1.0	130	58
Erwten	6.25	5.8	0	78			0	0	0	0	0%	160	120	100	0%	160	35	120	300	167	0%	105	50%	250	70	21%	1.0	0.8	0.4	0.0	76	0
Bladrammenas	6.25	0	0	25			0	0	0	0	100%	30	0	0	100%	30	65	0	850	75	100%	0	100%	30	8	100%	0.0	0.0	0.0	0.0	45	0
Engels raaigras	12.50	0	0	20			0	0	0	0	100%	30	0	0	100%	30	65	0	1080	75	100%	0	100%	30	8	100%	0.0	0.0	0.0	0.0	9	0
Totaal	50.00							0	0	0		164	81	132		164	182	81	1281	105		13		69	23		2.5	2.2	0.6	0.4	159	22

		Opbrengst		Uitgangs materiaal		Dierlijke mest						Kunstmest/vinassekali				Mestwetgeving				Gewasresten en binding				Uitspoeling			Gewasbescherming verbruik actieve stof				Energie verbruik	
	oppervlak (ha)	hoofdproduct (ton/ha)	bijproduct (ton/ha)	zaaizaad (kg/ha)	plantgoed (1000 stuks/ha)	type	hoeveelheid (ton/ha)	N-gift (kg/ha)	P-gift (kg/ha)	K-gift (kg/ha)	toerekening aan bouwplan	N-gift (kg/ha)	P-gift (kg/ha)	K-gift (kg/ha)	toerekening aan bouwplan	Nwz (kg/ha)	Gebruiksnorm (kg/ha)	Tot P-aanvoer (kg/ha)	Aanvoer effectieve org. stof (kg EOS/ha)	N in gewasresten (kg/ha)	toerekening aan bouwplan	N-binding (kg/ha)	toerekening aan bouwplan	N-overschot (kg/ha)	N-uitspoeling (kg/ha)	toerekening aan bouwplan	herbiciden (kg a.s./ha)	fungiciden (kg a.s./ha)	insecticiden (kg a.s./ha)	overige middelen (kg a.s./ha)	diesel (kg/ha)	electriciteit (GJ/ha)
2b. Gangbaar akkerbouw klei dierlijke mest												kunstmest																				
Pootaardappelen	6.25	37	0	5200		VDM	30	210	126	210	14%	73	0	0	0%	136	130	126	1385	80	0%	0	0%	200	56	15%	5.0	3.7	0.6	0.0	223	30
Cons. aardappelen	6.25	42	0	3000		VDM	30	210	126	210	14%	203	0	0	0%	266	275	126	1385	40	0%	0	0%	302	84	10%	1.2	3.6	0.3	0.0	237	51
Suikerbiet	12.50	65	0	5		VDM	20	140	84	140	14%	115	0	0	0%	157	165	84	1615	117	0%	0	0%	166	46	12%	2.9	0.0	0.0	0.0	176	20
Zaaiuien	6.25	66	0	3		VDM	30	210	126	210	14%	58	0	0	0%	121	130	126	810	14	0%	0	0%	151	42	20%	1.5	7.4	0.0	2.1	191	0
Winterpeen	6.25	85	0	2			0	0	0	0	0%	70	20	208	0%	70	120	20	700	77	0%	0	0%	-106	0	0%	3.1	1.5	3.7	0.0	167	0
Wintertarwe	6.25	9.5	4.5	175			0	0	0	0	0%	205	0	0	0%	205	240	0	1640	3	0%	0	0%	17	5	0%	2.6	0.3	0.0	1.0	130	58
Erwten	6.25	5.8	0	78		VDM	30	210	126	210	14%	108	0	0	0%	171	35	126	810	167	0%	105	50%	408	114	20%	1.0	0.8	0.4	0.0	76	0
Bladrammenas	6.25	0	0	25			0	0	0	0	100%	30	0	0	100%	30	65	0	850	75	100%	0	100%	30	8	100%	0.0	0.0	0.0	0.0	45	0
Engels raaigras	12.50	0	0	20			0	0	0	0	100%	30	0	0	100%	30	65	0	1080	75	100%	0	100%	30	8	100%	0.0	0.0	0.0	0.0	9	0
Totaal	50.00							140	84	140		129	3	26		171	182	87	1621	105		13		174	52		2.5	2.2	0.6	0.4	180	22
3a. Biologisch vollegrondsgroenten zand												vinassekali																				
Prei	4.17	22.5	0		150	VRM	35	224	133	392	41%	133	0	357	0%	122.5	245	133	450	59	0%	0	0%	334	88	27%	0	0	0	0	218	0
Aardbei	2.08	8	0		32		0	0	0	0	0%	95	0	255	0%	47.5	170	0	573	72	0%	0	0%	130	34	0%	0	0	0	0	191	0
Kropsla vroeg	4.17	25.5	0		105	VRM/ RDM	10/10	108	54	174	41% 25%	19	0	51	0%	12.5	180	54	2050	18	0%	0	0%	99	26	38%	0	0	0	0	171	0
Kropsla herfst	4.17	25.5	0		105	RDM	15	66	24	93	25%	38	0	102	0%	38.8	105	24	2050	18	0%	0	0%	76	20	22%	0	0	0	0	171	0
Chinese kool vroeg	4.17	32.5	0		63.3	VRM	20	128	76	228	41%	76	0	204	0%	70	180	76	1442	63	0%	0	0%	178	47	29%	0	0	0	0	146	0
Chinese kool herfst	4.17	32.5	0		63.3		0	0	0	0	0%	114	0	306	0%	57	105	0	1442	63	0%	0	0%	88	23	0%	0	0	0	0	146	0
Stamslaboon	4.17	7.5	0	140		RDM	15	66	24	93	25%	76	0	204	0%	57.8	120	24	650	90	0%	30	0%	200	61	8%	0	0	0	0	202	0
Bospeen	2.08	15	0	2.1			0	0	0	0	0%	57	0	153	0%	28.5	50	0	200	45	0%	0	0%	73	19	0%	0	0	0	0	171	0
Triticale	4.17	4.5	2.5	180		RDM	20	88	32	124	25%	76	0	204	0%	64.4	160	32	1600	3	0%	0	0%	127	33	17%	0	0	0	0	113	0
Tagetes	2.08	0	0	1			0	0	0	0	100%	0	0	0	100%	0	90	0	865	60	100%	0	100%	0	0	100%	0	0	0	0	39	0
Winterrogge	10.42	0	0	100			0	0	0	0	100%	0	0	0	100%	0	60	0	850	50	100%	0	100%	0	0	100%	0	0	0	0	16	0
Klaver	4.17	0	0	10			0	0	0	0	100%	0	0	0	100%	0	30	0	1165	90	100%	80	100%	80	21	100%	0	0	0	0	16	0
Totaal	25.00							113	57	184		101	0	272		77	251	57	2442	103		18		214	58		0	0	0	0	242	0

		Opbrengst		Uitgangs materiaal		Dierlijke mest						Kunstmest/vinassekali				Mestwetgeving				Gewasresten en binding				Uitspoeling			Gewasbescherming verbruik actieve stof				Energie verbruik	
	Oppervlak (ha)	hoofdproduct (ton/ha)	bijproduct (ton/ha)	zaaizaad (kg/ha)	plantgoed (1000 stuks/ha)	type	hoeveelheid (ton/ha)	N-gift (kg/ha)	P-gift (kg/ha)	K-gift (kg/ha)	toerekening aan bouwplan	N-gift (kg/ha)	P-gift (kg/ha)	K-gift (kg/ha)	toerekening aan bouwplan	Nwz (kg/ha)	Gebruiksnorm (kg/ha)	Tot P-aanvoer (kg/ha)	Aanvoer effectieve org. stof (kg EOS/ha)	N in gewasresten (kg/ha)	toerekening aan bouwplan	N-binding (kg/ha)	toerekening aan bouwplan	N-overschot (kg/ha)	N-uitspoeling (kg/ha)	toerekening aan bouwplan	Herbiciden (kg a.s./ha)	Fungiciden (kg a.s./ha)	Insecticiden (kg a.s./ha)	overige middelen (kg a.s./ha)	Diesel (kg/ha)	Electriciteit (GJ/ha)
4a. Gangbaar vollegrondsgroenten zand kunstmest												kunstmest																				
Prei	4.17	40		148			0	0	0	0	0%	240	95	251	0%	240	245	95	450	66	0%	0	0%	165	87	0%	1.3	4.9	1.5	0	193	0
Aardbei	4.17	25		25			0	0	0	0	0%	100	95	150	0%	100	170	95	573	80	0%	0	0%	115	60	0%	0.0	9.6	1.3	0	222	0
Kropsla vroeg	4.17	34		99.1			0	0	0	0	0%	115	95	200	0%	115	180	95	2050	20	0%	0	0%	70	37	0%	2.1	1.5	0.8	0	141	0
Kropsla herfst	4.17	34		99.1			0	0	0	0	0%	115	0	200	0%	115	105	0	2050	20	0%	0	0%	70	37	0%	0.0	1.5	0.4	0	141	0
Chinese kool vroeg	4.17	49		74.1			0	0	0	0	0%	130	95	200	0%	130	180	95	1442	70	0%	0	0%	78	41	0%	2.1	0.5	0.3	0	130	0
Chinese kool herfst	4.17	49		50			0	0	0	0	0%	130	0	200	0%	130	180	0	1442	70	0%	0	0%	78	41	0%	2.4	0.2	1.6	0	130	0
Stamslaboon	4.17	13		140			0	0	0	0	0%	130	95	301	0%	130	120	95	650	100	0%	0	0%	128	67	0%	2.1	0.8	0.0	0	183	0
Bospeen	4.17	28		2.1			0	0	0	0	0%	50	95	251	0%	50	50	95	200	50	0%	0	0%	42	22	0%	0.0	1.5	0.6	0	116	0
Winterrogge	8.33	0		100			0	0	0	0	100%	0	0	0	100%	0	60	0	850	50	100%	0	100%	0	0	100%	0.0	0.0	0.0	0	16	0
Totaal	25.00							0	0	0		168	95	292		168	225	95	1760	96		0		124	65		1.7	3.4	1.1	0	215	0
4b. Gangbaar vollegrondsgroenten zand dierlijke mest												kunstmest																				
Prei	4.17	40		148		VDM	30	210	126	210	14%	114	0	40	14%	240	245	126	960	66	14%	0	14%	249	124	12%	1.3	4.9	1.5	0	206	0
Aardbei	4.17	25		25		Champ.	20	116	72	174	74%	71	23	0	74%	100	170	95	2573	80	74%	0	74%	202	85	43%	0.0	9.6	1.3	0	233	0
Kropsla vroeg	4.17	34		99.1		VDM	20	140	84	140	14%	31	0	50	14%	115	180	84	2390	20	14%	0	14%	126	61	16%	2.1	1.5	0.8	0	156	0
Kropsla herfst	4.17	34		99.1			0	0	0	0	0%	115	0	115	0%	115	105	0	2050	20	0%	0	0%	70	37	0%	0.0	1.5	0.4	0	141	0
Chinese kool vroeg	4.17	49		74.1		VDM	20	140	84	140	14%	46	0	50	14%	130	180	84	1782	70	14%	0	14%	135	66	15%	2.1	0.5	0.3	0	141	0
Chinese kool herfst	4.17	49		50			0	0	0	0	0%	130	0	130	0%	130	180	0	1442	70	0%	0	0%	79	41	0%	2.4	0.2	1.6	0	130	0
Stamslaboon	4.17	13		140		VDM	20	140	84	140	14%	46	0	160	14%	130	120	84	990	100	14%	0	14%	184	92	11%	2.1	0.8	0.0	0	198	0
Bospeen	4.17	28		2.1			0	0	0	0	0%	50	95	250	0%	50	50	95	200	50	0%	0	0%	42	22	0%	0.0	1.5	0.6	0	116	0
Winterrogge	8.33	0		100			0	0	0	0	100%	0	0	0	100%	0	60	0	850	50	100%	0	100%	0	0	100%	0.0	0.0	0.0	0	16	0
Totaal	25.00							124	75	134		100	20	133		168	225	95	2348	96		0		181	88		1.7	3.4	1.1	0	226	0

Bijlage II.

Energieverbruik per bewerking open teelten

Schatting door Bert Vermeulen, Plant Research International voor berekening energieverbruik in open teelten.

Bewerkingen	Gewas	Productie-wijze	Grond-soort	Vermogen werktuig kW	Verbruik kg diesel/ha	MJ/ha	Opmerkingen
aanaarden ruggen; aanaarder 3 m	prei	biologisch	zand	50	8.1	343	Schatting: aanaarden aardappelen
aanaarden ruggen; aanaarder 3 m	pootaardappelen	biologisch	klei	50	8.3	351	(3.4.1)
bemesten, bouwlandbemester,		biologisch	zand		15.0	638	15 kg/uur (gegevens Krebbers en Huijsmans
bemesten, sleepslang bemester systeem, excl. 2 trekkers en chauffeurs		biologisch		85/65	35.5	1509	basis Krebbers en Huijsmans, trekker zodebemester 85 kW en pomptrekker 65 kW, capaciteit 1 ha/uur
bemesten, vaste mest		biologisch		70	15.4	656	werkbreedte = 2,5 m, v = 5 km/u, 5 ton wagen, 25 ton/ha
bemesten; centrifugaalstrooier 24 m		gangbaar	zand	65	1.9	81	(3.1.1)
bemesten; centrifugaalstrooier 24 m		gangbaar	klei	65	1.8	74	
bemesten; rijenstrooier combi rijenschoffelen	knolvenkel	gangbaar	zand	50	4.4	186	schatting: alleen schoffelen
beregenen; buis-buis			zand		20.6	873	15 mm/keer, schatting Bosma *et al.* 1993 voor grasland 1.37 kg/ha per mm
beregenen; buis-buis uitleggen + opruimen			zand	handwerk	2.5	106	schatting trekker stationair 1 uur
beregenen; sproeiboom haspel > 35m3/h				55	34.5	1466	2 keer 15 mm, gebaseerd op haspel en waterkanon.
cultivateren; vastetand 3m, met rol	pootaardappelen	biologisch	klei	70	14.3	606	d = 15 cm
cultivateren; vastetand 3m, zonder rol			klei	70	14.3	606	als stoppelbewerking, 15 cm diep??
grond, frezen, ruggenfrezen grove peen	winterpeen		klei	95	16.0	680	basis rijenfrezen (3.4.2)
loofdoden; loofbrander 3 m	pootaardappelen	biologisch	klei	60	327.0	13898	0,4 ha/u (kennisakker), 3m breed, 120 kg propaan per uur, in dieselequivalent
loofdoden; loofklapper 4-rij	aardappelen		klei	60	8.4	358	(4.5.2)
loofdoden; loofklapper 4-rij + rijenspuit	pootaardappelen	gangbaar	klei	60	10.9	462	(4.5.4)
loofdoden; loofmaaier 1,5 m	zaaiuien	gangbaar	klei	50	7.8	332	(4.5.1)
loofdoden; spuitmachine 24 m		gangbaar	klei	50	2.0	85	
maaidorsen graan/ccm/korrelmais 3 m	wintertarwe	gangbaar	klei	150	23.0	977	maaidorsen, 4,5 m breed, 9,5 ton/ha
maaidorsen graan/ccm/korrelmais 3 m	zomertarwe	biologisch	klei	150	22.1	940	maaidorsen, 4,5 m breed, 5.4 ton/ha
maaien; klepelmaaier 2 m	aardbeien	biologisch	zand		5.0	213	schatting: minimaal verbruik bij maaikneuzen grasland
onkruid branden; onkruidbrander 1,5 m		biologisch			43.6	1852	kg/ha: dieselequivalent; fijn onkruid (40 kg propaan/ha)
onkruid eggen; wiedeg 4,5 m	prei	biologisch	zand	50	2.9	122	
onkruid eggen; wiedeg 6 m			zand	50	2.9	122	
onkruid eggen; wiedeg 6 m		biologisch	klei	50	2.6	111	
onkruid rij/strook; rijenspuit 3 m	knolvenkel	gangbaar	zand	50	5.3	225	(3.2.3)
onkruid volvelds; spuitmachine 24 m		gangbaar	zand	50	2.2	94	aanbouwmachine
onkruid volvelds; spuitmachine 24 m		gangbaar	klei	50	2.0	85	aanbouwmachine
onkruid wieden; wiedbed 10 pers.		biologisch	klei	40	1.0	43	schatting 18 uur stationair draaien à 1 kg/uur
onkruid wieden; wiedbed 6 pers.		biologisch	zand	handwerk	15.0	637.5	2 kW motor stationair, 30 uur: 30 * 0.5 kg = 15 kg
oogst, bunkerrooier (330 kw), 12-rijig	suikerbieten		klei	220	48.7	20686	rij bunkerrooier, 4 km/u, inclusief wagentransport naar veldrand.

Bewerkingen	Gewas	Productie-wijze	Grond-soort	Vermogen werktuig kW	Verbruik kg diesel/ha	MJ/ha	Opmerkingen
oogst, maaidorser incl. maaibord en ingebouwde hakselaar, 6 m / 250 kw	triticale	biologisch	zand	225	25.7	1092	zonder hakselaar, inclusief transport
oogst, oprolpers,	triticale	biologisch	zand	80	14.1	599	
oogst, oprolpers,	tarwe		klei	80	13.1	556	gegevens voor grootpakpers
planten; plantbandmachine 1,5 m	Chinese kool		zand		10.0	425	schatting 4 uur trekker, stationair.
planten; plantbandmachine 1,5 m	kropsla		zand		15.0	638	schatting 8 uur trekker, stationair.
ploegen; wentelploeg 0,8 m + vorenpakker			zand	50	21.3	904	
ploegen; wentelploeg 1,2 m		gangbaar	klei	90	35.7	1516	25 cm diep. (dieper dan biologisch)
ploegen; wentelploeg 1,2 m		biologisch	klei	90	32.8	1393	ondieper dan gangbaar: 20 cm, indien 25 cm diep: idem als gangbaar
ploegen; wentelploeg 1,2 m + vorenpakker			zand	70	23.4	992	25 cm diep. (dieper dan biologisch)
plukken stamslaboon; breedplukker 0,8 m getr.	stamslabonen	biologisch	zand	40	22.0	935	Schatting: zie file maeyer
ponsen gaten prei	prei		zand		13.8	584	3 rijig, 1200 m/uur, trekker ca. stationair lopend; 5,5 uur/ha en 2,5 kg diesel/uur
poten uit kipwagen; pootbakmachine 1,5 m;	pootaardappelen		klei	65	15.6	663	gegevens voor getrokken snarenpootmachine 3 meter!!, 5km/u, 2,5 ton poters per ha.
poten uit kipwagen; pootbakmachine 3 m;	cons. aardappelen	gangbaar	klei	65	15.6	663	gegevens voor getrokken snarenpootmachine 3 meter!!, 5km/u, 2,5 ton poters per ha.
rijenfrezen; rijenfrees 3 m	aardappelen		klei	95	16.0	680	(3.4.2)
rooien aardappel; 2-rij wagenrooier	pootaardappelen		klei	60	58.9	2502	getrokken verzamelrooier, 2 rijig, inclusief transport!!!!
rooien aardappel; 2-rij wagenrooier	cons. aardappelen	gangbaar	klei	60	61.5	2615	getrokken verzamelrooier, 2 rijig, inclusief transport!!!!
schoffelen rijafst.nauw; schoffel 1,5 m	stamslabonen	biologisch	zand	50	4.4	186	
schoffelen rijafst.nauw; schoffel 1,7 m	kropsla	biologisch	zand	50	4.4	186	
schoffelen rijafst.nauw; schoffel 3 m			klei	50	3.9	167	
schoffelen rijafst.ruim; schoffel 1,5 m			zand	50	4.4	186	
schoffelen rijafst.ruim; schoffel 3 m	suikerbieten		klei	50	3.9	167	
spitten; krukas spitmachine 1,5 m	kropsla	gangbaar	zand	75	19.5	828	(1.3) 25 cm diep 2,5 km/u
spitten; krukas spitmachine 1,5 m	kropsla	biologisch	zand	50	21.3	904	verbruik ongeveer gelijk aan ploegen
stoppelcultivateren; vastetand 3m, zonder rol			zand	70	8.1	343	15 cm diep
stoppeleggen; schijveneg 2 m		gangbaar	zand	60	12.1	515	3 m werkbreedte genomen
stoppeleggen; schijveneg 3 m		biologisch	zand	60	12.1	515	3 meter genomen
stoppeleggen; schijveneg 3 m	winterpeen	biologisch	klei	90	21.3	905	
stro inbrengen grote pakken, herverdelen	aardbeien	biologisch	zand		2.5	106	schatting trekker stationair 1 uur
uitrijden bedden; trekker			zand		2.5	106	schatting trekker stationair 1 uur
werktuigraam met voorschoffels, rijencultivatoren en aanaardschijven 3,3 m	winterpeen	biologisch	klei	70	10.0	423	geen gegevens: schatting d.m.v. aanaarden aardappels met 70 kw trekker
zaaibed combinatie eenvoudig 3 m			zand	55	4.6	195	(1.6.3)
zaaibed eggen; kopeg 3 m			klei	70	12.9	548	6 cm diep
zaaien	winterpeen		klei	60	7.0	298	precisiezaai 3cm diep, FWD trekker, 4 rijig. Modelberekening was veel te hoog, daarom 7 kg/ha genomen
zaaien	suikerbieten	biologisch	klei	60	7.0	298	precisiezaai 3cm diep, FWD trekker, 6 rijig (wegens te hoog ingeschat op 7 kg/ha)
zaaien rijafstand 50 cm; precisie 3 m	knolvenkel	gangbaar	zand	60	7.0	298	precisiezaai 3cm diep, FWD trekker, 4 rijig. Modelberekening was veel te hoog, daarom 7 kg/ha genomen

Bewerkingen	Gewas	Productie-wijze	Grond-soort	Vermogen werktuig kW	Verbruik kg diesel/ha	MJ/ha	Opmerkingen
zaaien rijafstand nauw; precisie 1,5 m	bospeen		zand		7.0	298	modelberekening te hoog: schatting 7 kg/ha
zaaien rijafstand nauw; precisie 3 m	stamslabonen	biologisch	zand		7.0	298	modelberekening te hoog: schatting 7 kg/ha
zaaien rijafstand nauw; precisie 4,5 m	zaaiuien		klei	60	7.0	298	FWD (2.2.1) schatting was veel te hoog: schatting 7 kg/h
zaaien rijen; mechanische zaaimachine 3 m		biologisch	zand	60	8.1	346	maeyer
zaaien rijen; mechanische zaaimachine 3 m			klei	60	7.5	317	rijenzaai
zaaien, precisiezaaimachine, 12-rijig	suikerbieten	gangbaar	klei	60	6.0	255	
ziekten/plagen; spuitmachine 24 m		gangbaar	zand	50	2.2	94	aanbouwmachine
ziekten/plagen; spuitmachine 24 m		gangbaar	klei	50	2.0	85	
zwadladen uien/sjalot/knolflook; 2-rij uienrooier	zaaiuien	gangbaar	klei	60	46.7	1983	(4.7.3) getrokken verzamelrooier
zwadladen uien/sjalot/knolflook; 2-rij uienrooier	zaaiuien	biologisch	klei	70	42.2	1791	4.7.3 inclusief transport, 35 ton
zwadrooien uien/sjalot/knoflook; 1,5 m	zaaiuien	gangbaar	klei	50	15.5	657	(4.7.1) Aanbouw voorraadrooier
zwadrooien uien/sjalot/knoflook; 1,5 m	zaaiuien	biologisch	klei	60	17.8	757	maaien en voorraadrooien (4.7.2)

Gebruikte bronnen

- Bosma, A.H., I. Hageman, G.H. Kroeze, F. Mandersloot, B.C.P.M. van Straelen & A. Vink,1993. Energieverbruik bij de ruwvoerteelt en -winning. Energiecoëfficiënten en energiemodule. IMAG nota P 93-64.
- Kouwenhoven, J.K. & G.D. Vermeulen, 1977. Vermogensbehoefte bij de grondbewerking. Landbouwmechanisatie 18 (1977), 12:
- Krebbers, H. & J. Huijsmans, 1990. Emissiearme mesttoediening op grasland. Dertien werkmethoden vergeleken op capaciteiten en kosten. Landbouwmechanisatie 1990-9: 9 -13.
- Maeyer, E.E.A. de, A. Vink, H.G. Breemhaar, A.H. Bosma & G.D. Vermeulen, 1995. Brandstofverbruik in de open teelten. Een modelonderzoek. IMAG nota P 95-64.
- Perdok, U.D. en G.D. Vermeulen, 1987. Design parameters of multi-powered soil tillage tools in relation toe energy demand. In: Proceedings of the 9th International ISTVS conference, Barcelona, p. 801-808.

Bijlage III.
Gewichten van machines open teelten

Gebruikt voor bepaling indirecte energieverbruik door machines in open teelten.

	Omschrijving	Gewicht (kg)	Merk	Bron
1	Trekker 4-wiel; 40-50 kW	2600	New Holland	Barthold v.d. Waal
1	Trekker 4-wiel; 50-60 kW	4100	John Deere	Barthold v.d. Waal
1	Trekker 4-wiel; 60-70 kW	4300	John Deere	Barthold v.d. Waal
2	Trekker 2-wiel; 30-40 kW	2300	New Holland	Barthold v.d. Waal
2	Trekker 2-wiel; 40-50 kW	2500	New Holland	Barthold v.d. Waal
2	Trekker 2-wiel; 50-60 kW	3000	New Holland	Barthold v.d. Waal
3	Haspelinstallatie 100 mm; 65 m^3/uur	4000	Irrifrance	Barthold v.d. Waal
3	Kipwagen hydraulisch; 8 ton	3000	Krampe	Barthold v.d. Waal
3	Landbouwwagen 4-w; 3 ton	1200		Wijnand Sukkel
3	Maaidorser; 3,60 m	14000	New Holland	Barthold v.d. Waal
3	Mobiel wasstation (6m^3-voorraad, 800 ltr. naspoelwater)	1500		Schatting
3	Motorspuitvat getrokken	1500		Schatting
3	Oogstmachine sla (zelfrijdend, luchtbanden); 1 bed	2500		Schatting
3	Oogstwagen, 4-wielig+huif+rollenbaan+oogstband (9 m)	1200		Schatting
3	Rooier m. afv. transp; 2-rij	6000	Grimme	Barthold v.d. Waal
3	Uienrooier m. afv. transp; 1,50 m	1300	Holaras	Barthold v.d. Waal
3	Veldspuit, getr.; 2000/24 m	3300	John Deere	Barthold v.d. Waal
3	Voorraadrooier met schijven 1,50m	5000		Schatting
3	Vorkheftruck, gebruikt	6500		Barthold v.d. Waal
4	Aanaarder; 3,00 m	400		Schatting
4	Cultivator vaste tand met rol; 325 cm	1900	3 m Amazone	Barthold v.d. Waal
4	Cultivator vaste tand zonder rol; 325 cm	1000		Schatting
4	Rijenfrees	650		Wijnand Sukkel
4	Rijenfrees; 3,00 m	800	Grimme	Barthold v.d. Waal
4	Rondgaande ploeg; 1,60 m (4-sch)	1200		Wijnand Sukkel
4	Rotorkopeg; 3,00 m	1170	Amazone	Barthold v.d. Waal
4	Schijveneg dubbel; 2,00 m	1000		Wijnand Sukkel
4	Schijveneg dubbel; 3,00 m	1600		Barthold v.d. Waal
4	Spitmachine krukas; 1,50 m	700		Wijnand Sukkel
4	Vorenpakker enkel 90 cm; 1,00 m	500		Schatting
4	Vorenpakker enkel 90 cm; 1,50 m	650		Schatting
4	Wentelploeg 0,80	600		Schatting
4	Wentelploeg; 1,20 m (3-sch)	730	Lemken	Barthold v.d. Waal
4	Wentelploeg; 1,60 m (4-sch)	900	Lemken	Barthold v.d. Waal
4	Woeler; 2 woelpoten	500	Lemken	Barthold v.d. Waal
5	Bonenplukker (Pixel); 2-rijig	2500		Wijnand Sukkel
5	Boxenvuller; < 7,5 m ov	300		Schatting
5	Centrifugaal 2-schijfs > 18 m; 1500 ltr	250	Amazone	Barthold v.d. Waal
5	Doseerbak m. grondafvoer; 120 cm br.	400		Schatting
5	Gereedschap, etc	50		Schatting
5	Hefmast + side-shift + kistenklem (2 ton); 1,7 m/1500	500		Barthold v.d. Waal
5	Loofbrander aardappelen	400		Schatting

	Omschrijving	Gewicht (kg)	Merk	Bron
5	Loofbrander onkruid incl. luchtondersteuning, incl. tank; 1,50 m	500		Schatting
5	Loofklapper frontaanbouw met zijafvoer; 3,00 m	910	Baselier	Barthold v.d. Waal
5	Loofklapper; 1,50 m	420	Baselier	Barthold v.d. Waal
5	Loofklapper; 3,00 m	1000	Baselier	Barthold v.d. Waal
5	Palletkisten; 1200 l	250		Schatting
5	Plantenlichter (aanbouw, zonder beweegbaar mes) 1,50 m	200		Schatting
5	Plantmachine, halfaut., aanbouw (perspot) (max. 5 elementen)	350		Wijnand Sukkel
5	Pomp + stationaire motor; 30 m^3, 5 bar	150		Schatting
5	Pootmachine, centr. voorr.; 1,50 m	1000	Grimme	Barthold v.d. Waal
5	Pootmachine, centr. voorr.; 3,00 m	2500	Grimme	Barthold v.d. Waal
5	Prec. zaai uien; 1,50 m	500		Schatting
5	Prec. zaai uien; 3,00 m	700		Schatting
5	Rijenbemestingseenheid 4 rijen			Barthold v.d. Waal
5	Rijenspuit loofklapper; 3,00 m	500		Schatting
5	Rijenspuit/boom 6 meter			Barthold v.d. Waal
5	Schoffelmachine front; 1,50 m	250		Schatting
5	Schoffelmachine front; 1,70 m	300		Schatting
5	Schoffelmachine front; 3,00 m	400		Schatting
5	Schoffelmachine front; 4,50 m	300		Schatting
5	Schoningsopstelling prei: droogschonen; bladsnijder	500		Schatting
5	Sorteerder met bunkerinstallatie; 5 ton/uur	2000		Schatting
5	Sproeiboom; 54 m	300		Schatting
5	Transporteur telescopisch; 2 x 6 m	250		Barthold v.d. Waal
5	Veertandwiedeg hydr.; 4,50 m	500		Schatting
5	Veertandwiedeg hydr.; 6,00 m	700		Schatting
5	Veldspuit aanbouw, 12 m	500		Schatting
5	Voorraadr. met schijven; 1,50 m	5000		Wijnand Sukkel
5	Wiedbed	400		Schatting
5	Zaaibedcombinatie 3,00 m	1000		Wijnand Sukkel
5	Zaaimachine graan mechanisch; 3,00 m	700	Amazone	Wijnand Sukkel

Codering 1e rij voor berekening indirect energieverbruik (Mombarg en Kool, 2004):

1. kleine trekker (bv 2-wielaandrijving, 41 kW)
2. grote trekker (bv 4-wielaandrijving, 50 kW)
3. andere rijdende werktuigen
4. bodembewerkingswerktuigen
5. andere werktuigen

Bijlage IV.
Energieverbruikscoëfficiënten en emissiefactoren broeikasgassen

A. Melkveehouderij

Energieverbruikscoëfficiënten			
Productie N-kunstmest	41,8	MJ per kg N	Cederberg & Flysjö (2004)
Productie P-kunstmest	12	MJ per kg P	Dalgaard *et al.* (2001)
Productie K-kunstmest	7	MJ per kg K	Dalgaard *et al.* (2001)
Diesel	48,2	MJ per kg	Hageman & Mandersloot (1994)
Elektriciteit	9,5	MJ per kWh	W. Corré, pers. med.
Kunstmelkpoeder	27,8	MJ per kg	Hageman & Mandersloot (1994)
Standaard krachvoer	6,3	MJ per kg	Hageman & Mandersloot (1994)
Eiwitrijk krachtvoer	5,2	MJ per kg	Hageman & Mandersloot (1994)
Zeer eiwitrijk krachtvoer	3,9	MJ per kg	Hageman & Mandersloot (1994)
Aangekocht ruwvoer	2,7	MJ per kg	Hageman & Mandersloot (1994)
Loonwerk	10,6	MJ per Euro	Hageman & Mandersloot (1994)
Gewasbeschermingsmiddelen	19,2	MJ per Euro	Hageman & Mandersloot (1994)
Zaaizaad en pootgoed	19,6	MJ per Euro	Hageman & Mandersloot (1994)
Overige bemesting	4	MJ per Euro	Hageman & Mandersloot (1994)
Overige producten/diensten	5,5	MJ per Euro	Hageman & Mandersloot (1994)
Zaagsel	0,4	MJ per kg	Hageman & Mandersloot (1994)
Stro als stooisel	0,8	MJ per kg	Hageman & Mandersloot (1994)
Smeermiddelen	46,6	MJ per kg	Hageman & Mandersloot (1994)
Afschrijving machines en werktuigen	9,7	MJ per Euro	Hageman & Mandersloot (1994)
Onderhoud machines en werktuigen	8,8	MJ per Euro	Hageman & Mandersloot (1994)
Afschrijving gebouwen	7,9	MJ per Euro	Hageman & Mandersloot (1994)
Emissiefactoren broeikasgassen			
CO_2-emissie			
Productie N-kunstmest	2,95	kg CO_2 per kg N	Cederberg & Flysjö (2004)
Productie P-kunstmest	1,21	kg CO_2 per kg P	Eigen berekening m.b.v. Cederberg & Flysjö (2004) en Dalgaard *et al.* (2001)
Productie K-kunstmest	0,70	kg CO_2 per kg K	Eigen berekening m.b.v. Cederberg & Flysjö (2004) en Dalgaard *et al.* (2001)
Diesel	74,3	kg CO_2 per GJ	SenterNovem (2004)
Elektriciteit	59,0	kg CO_2 per GJ	SenterNovem, s.d.
N_2O-N-emissie			
Productie N-kunstmest	9,3	gr N_2O-N per kg N	Cederberg & Flysjö (2004)
Productie P-kunstmest	0,07	gr N_2O-N per kg P	Eigen berekening m.b.v. Cederberg & Flysjö (2004) en Dalgaard *et al.* (2001)

Emissiefactoren broeikasgassen

Stalemissie, dunne mest	1	gr N_2O-N per kg N	Schils *et al.* (2006a)
Stalemissie, vaste mest	20	gr N_2O-N per kg N	Schils *et al.* (2006a)
Beweiding	25	gr N_2O-N per kg N	Schils *et al.* (2006a)
Mesttoediening grasland	5	gr N_2O-N per kg N	Schils *et al.* (2006a)
Mesttoediening bouwland	10	gr N_2O-N per kg N	Schils *et al.* (2006a)
Toediening KAS	10	gr N_2O-N per kg N	Schils *et al.* (2006a)
Gewasresten maïs	3,1	gr N_2O-N per kg N	Schils *et al.* (2006a)
Scheuren grasland	10	gr N_2O-N per kg N	Schils *et al.* (2006a)
Biol, N-binding	5	gr N_2O-N per kg N	Schils *et al.* (2006a)
Aankoop krachtvoer	10	gr N_2O-N per kg N	Schils *et al.* (2005); Velthof & Oenema (1997)
Aankoop ruwvoer	20	gr N_2O-N per kg N	Schils *et al.* (2005); Velthof & Oenema (1997)
Uitspoeling	25	gr N_2O-N per kg NO3-N	Schils *et al.* (2005); IPCC (1997)
Ammoniakemissie	5	gr N_2O-N per kg NH3-N	Schils *et al.* (2005); IPCC (1997)
CH_4-emissie			
Krachtvoer, pensfermentatie	20	gr CH_4 per kg ds	Schils *et al.* (2006a)
Graskuil, pensfermentatie	19,8	gr CH_4 per kg ds	Schils *et al.* (2006a)
Maiskuil, pensfermentatie	16,4	gr CH_4 per kg ds	Schils *et al.* (2006a)
Weidegras, pensfermentatie	19,8	gr CH_4 per kg ds	Schils *et al.* (2006a)
Mest in opslag	1,822	gr CH_4 per kg mest	Schils *et al.* (2006a)
Weidemest	0,107	gr CH_4 per kg mest	Schils *et al.* (2006a)

B. Open teelten

Energieverbruik (MJ/eenheid) en CO_2-emissiefactoren (kg CO_2/MJ)

	Eenheid	Energieverbruik MJ/eenheid	Broeikasgasemissie kg CO_2/MJ	Bron
Elektriciteit	kWh	9,5	0,156	Wim Corré pers. comm.
Aardgas	m^3	31,65	0,0566	Wim Corré pers. comm.
Diesel	l	35,9	0,0847	Wim Corré pers. comm.
	kg	42,5	0,0847	
Plastics	kg	87	0,067	Mombarg & Kool 2004
Machines (productie)			0,069	
tractoren 4wielgedreven	kg	176,8		Mombarg & Kool 2004
tractoren 2wielgedreven	kg	206,3		Mombarg & Kool 2004
andere rijdende werktuigen	kg	163,4		Mombarg & Kool 2004
bodembewerkingswerktuigen	kg	150,8		Mombarg & Kool 2004
andere werktuigen	kg	139,1		Mombarg & Kool 2004
Zaadgoed	kg	7,5	0,074	Mombarg & Kool 2004
Plantgoed verwarmde kas	1000 st.	640	0,056	Mombarg & Kool 2004
Plantgoed onverwarmde kas	1000 st.	145	0,056	Mombarg & Kool 2004
Kunstmest				
N	kg	41,8	0,071	Cederberg & Flysjö, 2004
P	kg	5,2	0,101	Dalgaard *et al.*, 2001, Cederberg & Flysjö, 2004
K	kg	5,8	0,100	Dalgaard *et al.*, 2001, Cederberg & Flysjö, 2004
Chemische bestrijding			0,068	
herbiciden	kg	267,5		Mombarg & Kool 2004
fungiciden	kg	176		Mombarg & Kool 2004
insecticiden	kg	217,4		Mombarg & Kool 2004

Dieselverbruik voor transport van organische mest

Energieverbruik transport organische mest	Eenheid	Energieverbruik l diesel/km/ eenheid	Transportafstand km	Bron
drijfmest	m^3	0,02	15	Mombarg & Kool 2004
vaste mest (km)	ton	0,02	20	Mombarg & Kool 2004
compost (km)	ton	0,0075	100	Mombarg & Kool 2004
vinassekali	ton	0,01	150	

Emissiefactoren van lachgas (kg N/kg N tenzij anders vermeld), bron BBPR (Schils et al. 2006) tenzij anders vermeld.

Grondsoort en grondwatertrap			Zand en Klei			Opmerkingen
			I–V	VI	VII-VII*	
Directe emissies						
Dierlijke mest	Grasland	emissiearm	0,0063	0,0050	0.0038	
	Grasland	oppervlakkig	0,0031	0,0025	0.0019	
	Bouwland	emissiearm	0,0125	0,0100	0.0075	
	Bouwland	oppervlakkig	0,0063	0,0050	0.0038	
Kunstmest	KAS		0,0125	0,0100	0,0075	
	AS		0,0063	0,0050	0,0038	
Gewasresten	Grasland		0,0000	0,0000	0,0000	
	Maïs		0,0039	0,0031	0,0023	
	Granen		0,0039	0,0031	0,0023	
	Suikerbieten		0,0195	0,0156	0,0117	
	Overig		0,0156	0,0125	0,0094	
Scheuren grasland	voorjaar		0,0125	0,0100	0,0075	
	najaar		0,0250	0,0200	0,0150	
Biologische stikstofbinding			0.0063	0,0050	0,0038	
Indirecte emissies in bodem						
Nitraatuitspoeling				0,025		
Ammoniakvervluchtiging				0,010		
Emissie stikstofoxiden				0,010		
Indirecte emissies in toelevering						
Kunstmestproductie N				0,0146		
Kunstmestproductie P				0,000049		per kg P205, Dalgaard *et al.*, 2001, Cederberg & Flysjö, 2004
Electriciteit				0,001		per GJ
Indirecte energie				0,001		per GJ

Ammoniakemissie

Berekend op basis van werkingspercentages N-min fractie in dierlijke mest uit adviesbasis bemesting (Van Dijk, 2003)

Meststof	Emissie %
KAS	1,5
AS	10
Drijfmest	4,3
Potstalmest	6,1
Vinassekali	2,5

Bijlage V.

Resultaten energieverbruik en broeikasgas-emissies open teelten en melkveehouderij

Energieverbruik			Absoluut							MJ/ton						
			MJ/ha													
Gewas	Areaal	Opbrengsten	Zaai- en plantgoed	Meststoffen	Gewas-bescherming	Mechanisatie	Totaal indirecte energie	Directe energie	Totaal energie - verbruik	Zaai- en plantgoed	Meststoffen	Gewas-bescherming	Mechanisatie	Totaal indirecte energie	Directe energie	Totaal energie - verbruik
Samenvatting																
1a BIO klei 50 ha GT VI	50	24.4	1754	350	0	3437	5541	22354	27896							
1b BIO klei 50 ha GT IV	50	24	1754	350	0	3437	5541	22354	27896							
1c BIO klei 100 ha GT VI	100	24.4	1754	350	0	3346	5450	22223	27673							
2a GA km 50 ha GT VI	50	42.8	1952	8953	1266	2944	15115	27878	42993							
2b GA dm 50 ha GT VI	50	42.8	1952	5846	1266	3440	12504	28963	41467							
3a BIO zand 25 ha GT VI	25	29.4	12910	264	0	7897	21273	10914	32187							
4a GA zand 25 ha km GT VI	25	43.3	12314	9225	1279	6576	29395	9035	38430							
4b GA zand 25 ha dm GT VI	25	43.3	12314	5473	1279	7363	26429	9504	35933							
1a Biologisch klei 50 ha grondwatertrap VI																
Pootaardappelen	8.3	27	8 358	589	0	3 711	12 657	44 764	57 421	310	22	0	137	469	1 658	2 127
Suikerbiet	4.2	55	73	638	0	3 822	4 532	9 762	14 295	1	12	0	69	82	177	260
Zaaiuien	4.2	35	63	589	0	5 023	5 674	41 728	47 403	2	17	0	144	162	1 192	1 354
Winterpeen	8.3	55	52	373	0	7 927	8 351	48 776	57 127	1	7	0	144	152	887	1 039
Zomertarwe	8.3	5	1 313	449	0	3 056	4 817	8 654	13 471	243	83	0	566	892	1 603	2 495
Erwten	8.3	4	623	76	0	853	1 551	4 412	5 964	156	19	0	213	388	1 103	1 491
Gras/klaver	8.3	10	113	0	0	656	768	1 774	2 542	11	0	0	66	77	177	254
Totaal/ha	50	24	1 754	350	0	3 437	5 541	22 354	27 896	103	23	0	191	317	971	1 288
Klaver, groenbemester	8.3		75	0	0	136	211	681	892							
Engels raaigras, groenbemester	8.3		150	0	0	132	282	391	673							
1b Biologisch klei 50 ha grondwatertrap IV																
Pootaardappelen	8.3	27	8 358	589	0	3 711	12 657	44 764	57 421	310	22	0	137	469	1 658	2 127
Suikerbiet	4.2	55	73	638	0	3 822	4 532	9 762	14 295	1	12	0	69	82	177	260
Zaaiuien	4.2	35	63	589	0	5 023	5 674	41 728	47 403	2	17	0	144	162	1 192	1 354
Winterpeen	8.3	55	52	373	0	7 927	8 351	48 776	57 127	1	7	0	144	152	887	1 039
Zomertarwe	8.3	5	1 313	449	0	3 056	4 817	8 654	13 471	243	83	0	566	892	1 603	2 495
Erwten	8.3	4	623	76	0	853	1 551	4 412	5 964	156	19	0	213	388	1 103	1 491
Gras/klaver	8.3	10	113	0	0	656	768	1 774	2 542	11	0	0	66	77	177	254
Totaal/ha	50	24	1 754	350	0	3 437	5 541	22 354	27 896	103	23	0	191	317	971	1 288
Klaver, groenbemester	8.3		75	0	0	136	211	681	892							
Engels raaigras, groenbemester	8.3		150	0	0	132	282	391	673							

Energieverbruik			Absoluut							MJ/ton						
			MJ/ha													
Gewas	Areaal	Opbrengsten	Zaai- en plantgoed	Meststoffen	Gewas-bescherming	Mechanisatie	Totaal indirecte energie	Directe energie	Totaal energie - verbruik	Zaai- en plantgoed	Meststoffen	Gewas-bescherming	Mechanisatie	Totaal indirecte energie	Directe energie	Totaal energie - verbruik
1c Biologisch op klei 100ha grondwatertrap VI																
Pootaardappelen	16.7	27	8 358	589	0	3 613	12 559	44 764	57 323	310	22	0	134	465	1 658	2 123
Suikerbiet	8.3	55	73	638	0	3 709	4 420	9 762	14 183	1	12	0	67	80	177	258
Zaaiuien	8.3	35	63	589	0	4 952	5 603	41 516	47 119	2	17	0	141	160	1 186	1 346
Winterpeen	16.7	55	52	373	0	7 870	8 294	48 776	57 070	1	7	0	143	151	887	1 038
Zomertarwe	16.7	5	1 313	449	0	2 852	4 614	8 654	13 268	243	83	0	528	854	1 603	2 457
Erwten	16.7	4	623	76	0	761	1 459	3 731	5 190	156	19	0	190	365	933	1 297
Gras/klaver	16.7	10	113	0	0	650	762	1 774	2 537	11	0	0	65	76	177	254
Totaal/ha	100	24	**1 754**	**350**	**0**	**3 346**	**5 450**	**22 223**	**27 673**	**103**	**23**	**0**	**181**	**307**	**946**	**1 253**
Klaver, groenbemester	16.7		75	0	0	101	176	681	857							
Engels raaigras, groenbemester	16.7		150	0	0	132	282	391	673							
2a Geintegreerd klei 50 ha kunstmest grondwatertrap VI																
Pootaardappelen	6.25	37	8 381	8 579	2 100	3 136	22 196	38 766	60 963	227	232	57	85	600	1 048	1 648
Consumptieaardappelen	6.25	42	4 861	14 013	1 004	3 319	23 197	29 081	52 278	116	334	24	79	552	692	1 245
Suikerbieten	12.5	65	96	8 079	780	2 245	11 200	8 181	19 381	1	124	12	35	172	126	298
Zaaiuien	6.25	66	86	7 952	2 100	2 838	12 977	66 704	79 681	1	120	32	43	197	1 011	1 207
Winterpeen	6.25	85	75	6 280	1 900	6 724	14 979	61 383	76 363	1	74	22	79	176	722	898
Wintertarwe	6.25	9.5	1 374	9 039	976	1 768	13 157	5 845	19 002	145	952	103	186	1 385	615	2 000
Erwten	6.25	5.8	646	9 598	488	1 279	12 012	4 881	16 892	111	1 655	84	221	2 071	841	2 912
Totaal/ha	50	43	**1 952**	**8 953**	**1 266**	**2 944**	**15 115**	**27 878**	**42 993**	**86**	**499**	**48**	**104**	**736**	**722**	**1 458**
Bladrammenas, groenbemester	6.25		188	1 254	0	374	1 816	1 907	3 723							
Engels raaigras, groenbemester	12.5		150	1 254	0	128	1 532	391	1 923							
2b Geintegreerd klei 50 ha dierlijke mest grondwatertrap VI																
Pootaardappelen	6.25	37	8 381	3 845	2 100	3 797	18 123	40 201	58 324	227	104	57	103	490	1 087	1 576
Consumptieaardappelen	6.25	42	4 861	9 279	1 004	3 980	19 124	30 515	49 639	116	221	24	95	455	727	1 182
Suikerbieten	12.5	65	96	5 492	780	2 906	9 274	9 616	18 890	1	84	12	45	143	148	291
Zaaiuien	6.25	66	86	3 218	2 100	3 499	8 903	68 138	77 042	1	49	32	53	135	1 032	1 167
Winterpeen	6.25	85	75	5 092	1 900	6 724	13 791	61 383	75 175	1	60	22	79	162	722	884
Wintertarwe	6.25	9.5	1 374	9 039	976	1 768	13 157	5 845	19 002	145	952	103	186	1 385	615	2 000
Erwten	6.25	5.8	646	5 308	488	1 940	8 383	6 389	14 772	111	915	84	335	1 445	1 102	2 547
Totaal/ha	**50**	**43**	**1 952**	**5 846**	**1 266**	**3 440**	**12 504**	**28 963**	**41 467**	**86**	**341**	**48**	**128**	**602**	**776**	**1 378**
Bladrammenas, groenbemester	6.25		188	1 254	0	374	1 816	1 907	3 723							
Engels raaigras, groenbemester	12.5		150	1 254	0	128	1 532	391	1 923							

Energieverbruik			Absoluut							MJ/ton						
			MJ/ha													
Gewas	Areaal	Opbrengsten	Zaai- en plantgoed	Meststoffen	Gewas-bescherming	Mechanisatie	Totaal indirecte energie	Directe energie	Totaal energie-verbruik	Zaai- en plantgoed	Meststoffen	Gewas-bescherming	Mechanisatie	Totaal indirecte energie	Directe energie	Totaal energie-verbruik
3a Biologisch zand 25 ha grondwatertrap VI																
Prei (herfst vroeg)	4.17	22.5	22014	503	0	8228	31010	9894	40903	978	22	0	366	1 378	440	1 818
Aardbeien	2.09	17	4904	0	0	3322	8416	8750	17165	288	0	0	195	495	515	1010
Kropsla (vroeg)	4.17	63	15489	251	0	6933	22711	9407	32118	246	4	0	110	360	149	510
Kropsla (zomerteelt)	4.17	63	15489	162	0	7266	22993	9407	32400	246	3	0	115	365	149	514
Chinese kool (vroeg)	4.17	32.5	9443	287	0	7152	17033	7237	24270	291	9	0	220	524	223	747
Chinese kool (zomerteelt)	4.17	32.5	9443	0	0	7589	17260	6581	23840	291	0	0	234	531	202	734
Stamslabonen	4.17	7.5	1314	162	0	3321	4949	9182	14131	175	22	0	443	660	1224	1884
Bospeen	2.09	21.5	280	0	0	5805	6198	7884	14082	13	0	0	270	288	367	655
Triticale	4.17	4.5	1614	215	0	2291	4271	5409	9681	359	48	0	509	949	1202	2151
Totaal/ha	**25**	**29**	**12 910**	**264**	**0**	**7 897**	**21 273**	**10 914**	**32 187**	**231**	**12**	**0**	**272**	**525**	**502**	**1 028**
Tagetes, groenbemester	4.17		8	0	0	1267	1275	1657	2932							
Winterrogge, groenbemester	10.4		750	0	0	212	962	689	1651							
Klaver, groenbemester	4.17		75	0	0	212	287	689	976							
4a Geïntegreerd zand 25 ha kunstmest grondwatertrap VI																
Prei	4.17	40	21585	11982	1548	4508	39623	8308	47931	540	300	39	113	991	208	1198
Aardbeien	4.17	25	3750	5544	1968	2513	13775	9533	23308	150	222	79	101	551	381	932
Kropsla (vroeg)	4.17	84	14495	6461	697	5075	26728	6098	32827	172	77	8	60	317	72	389
Kropsla (zomer)	4.17	84	14495	5967	998	5544	27004	6098	33102	172	71	12	66	320	72	393
Chinese kool (vroeg)	4.17	49	10870	7088	399	8198	26555	5631	32187	222	145	8	167	542	115	657
Chinese kool (herfst)	4.17	49	7375	6594	342	8842	23153	5631	28784	151	135	7	180	473	115	587
Stamslabonen	4.17	13	1175	7674	699	1609	11157	7874	19031	90	590	54	124	858	606	1464
Bospeen	4.17	40	141	4040	1025	3166	8372	5037	13409	4	101	26	79	209	126	335
Totaal/ha	**25**	**43**	**12 314**	**9 225**	**1 279**	**6 576**	**29 395**	**9 035**	**38 430**	**137**	**191**	**28**	**111**	**467**	**212**	**680**
Winterrogge, groenbemester	8.33		750	0	0	212	962	689	1651							
4b Geïntegreerd zand 25 ha dierlijke mest grondwatertrap VI																
Prei	4.17	40	21585	5320	1548	5582	34035	8860	42895	540	133	39	140	851	222	1072
Aardbeien	4.17	25	3750	3626	1968	2825	12169	10026	22195	150	145	79	113	487	401	888
Kropsla (vroeg)	4.17	84	14495	1801	697	5538	22531	6736	29266	172	21	8	66	267	80	347
Kropsla (zomer)	4.17	84	14495	5967	998	5544	27004	6098	33102	172	71	12	66	320	72	393
Chinese kool (vroeg)	4.17	49	10870	2428	399	10627	24324	6106	30430	222	50	8	217	496	125	621
Chinese kool (herfst)	4.17	49	7375	6594	342	8820	23131	5631	28763	151	135	7	180	472	115	587
Stamslabonen	4.17	13	1175	3066	699	2073	7013	8512	15525	90	236	54	159	539	655	1194
Bospeen	4.17	40	141	4034	1025	3166	8366	5057	13423	4	101	26	79	209	126	336
Totaal/ha	**25**	**43**	**12 314**	**5 473**	**1 279**	**7 363**	**26 429**	**9 504**	**35 933**	**137**	**108**	**28**	**126**	**399**	**225**	**624**
Winterrogge, groenbemester	8.33		750	0	0	212	962	689	1651							

Broeikasgasemissies			Absoluut CO_2-eq/ha									CO_2-eq/ton								
Gewas	Areaal	Opbrengsten	Zaai- en plantgoed	Meststoffen	Gewas-bescherming	Mechanisatie	Directe energie	Directe lachgas-emissie	Lachgasemissie uit de bodem	Indirecte lachgas-emissie	Totale broeikas-gasemissie	Zaai- en plantgoed	Meststoffen	Gewas-bescherming	Mechanisatie	Directe energie	Directe lachgas-emissie	Lachgas emissie uit de bodem	Indirecte lachgas-emissie	Totale broeikas-gasemissie
Samenvatting																				
1a BIO klei 50 ha GT VI	**50**	**24.4**	**130**	**34**	**0**	**240**	**1667**	**1220**	**546**	**5**	**3844**									
1b BIO klei 50 ha GT IV	**50**	**24**	**130**	**34**	**0**	**240**	**1667**	**1567**	**610**	**5**	**4253**									
1c BIO klei 100 ha GT VI	**100**	**24.4**	**130**	**34**	**0**	**234**	**1658**	**1220**	**546**	**5**	**3827**									
2a GA km 50 ha GT VI	**50**	**42.8**	**145**	**613**	**87**	**209**	**2088**	**1516**	**529**	**757**	**5942**									
2b GA dm 50 ha GT VI	**50**	**42.8**	**145**	**399**	**87**	**243**	**2168**	**2001**	**920**	**596**	**6558**									
3a BIO zand 25 ha GT VI	**25**	**29.4**	**737**	**22**	**0**	**602**	**869**	**1281**	**1107**	**33**	**4652**									
4a GA zand 25 ha km GT VI	**25**	**43.3**	**696**	**716**	**87**	**464**	**680**	**1323**	**1121**	**812**	**5900**									
4b GA zand 25 ha dm GT VI	**25**	**43.3**	**696**	**420**	**87**	**519**	**715**	**1566**	**1575**	**494**	**6071**									
1a Biologisch klei 50 ha grondwatertrap VI																				
Pootaardappelen	8.3	27	619	57	0	259	3326	1272	701	11	6244	23	2	0	10	123	47	26	0	231
Suikerbiet	4.2	55	6	65	0	267	736	910	708	2	2703	0	1	0	5	13	17	13	0	49
Zaaiuien	4.2	35	5	57	0	350	3101	1131	484	11	5140	0	2	0	10	89	32	14	0	147
Winterpeen	8.3	55	4	34	0	550	3623	794	503	13	5509	0	1	0	10	66	14	9	0	100
Zomertarwe	8.3	5	97	47	0	214	654	1530	542	2	3084	18	9	0	40	121	283	100	0	571
Erwten	8.3	4	46	6	0	62	340	1456	386	1	2295	11	1	0	15	85	364	96	0	574
Gras/klaver	8.3	10	9	0	0	48	145	1250	551	0	2008	1	0	0	5	14	125	55	0	201
Totaal/ha	**50**	**24**	**130**	**34**	**0**	**240**	**1 667**	**1 220**	**546**	**5**	**3 844**	**8**	**2**	**0**	**13**	**73**	**126**	**45**	**0**	**268**
Klaver, groenbemester	8.3		11	0	0	9	50	743	136											
Engels raaigras, groenbemester	8.3		6	0	0	9	29	457	0											
1b Biologisch klei 50 ha grondwatertrap IV																				
Pootaardappelen	8.3	27	619	57	0	259	3326	1595	760	11	6626	23	2	0	10	123	59	28	0	245
Suikerbiet	4.2	55	6	65	0	267	736	2165	727	2	3967	0	1	0	5	13	39	13	0	72
Zaaiuien	4.2	35	5	57	0	350	3101	1143	767	11	5434	0	2	0	10	89	33	22	0	155
Winterpeen	8.3	55	4	34	0	550	3623	1417	543	13	6184	0	1	0	10	66	26	10	0	112
Zomertarwe	8.3	5	97	47	0	214	654	996	562	2	2571	18	9	0	40	121	184	104	0	476
Erwten	8.3	4	46	6	0	62	340	1914	601	1	2969	11	1	0	15	85	479	150	0	742
Gras/klaver	8.3	10	9	0	0	48	145	1824	445	0	2470	1	0	0	5	14	182	44	0	247
Totaal/ha	**50**	**24**	**130**	**34**	**0**	**240**	**1 667**	**1 567**	**610**	**5**	**4 253**	**8**	**2**	**0**	**13**	**73**	**143**	**53**	**0**	**293**
Klaver, groenbemester	8.3		11	0	0	9	50	929	136											
Engels raaigras, groenbemester	8.3		6	0	0	9	29	570	0											

Broeikasgasemissies			Absoluut CO_2-eq/ha									CO_2-eq/ton								
Gewas	Areaal	Opbrengsten	Zaai- en plantgoed	Meststoffen	Gewas-bescherming	Mechanisatie	Directe energie	Directe lachgas-emissie	Lachgasemissie uit de bodem	Indirecte lachgasemissie	Totale broeikas-gasemissie	Zaai- en plantgoed	Meststoffen	Gewas-bescherming	Mechanisatie	Directe energie	Directe lachgas-emissie	Lachgas emissie uit de bodem	Indirecte lachgasemissie	Totale broeikas-gasemissie
1c Biologisch op klei 100ha grondwatertrap VI																				
Pootaardappelen	16.7	27	619	57	0	252	3326	1272	701	11	6237	23	2	0	9	123	47	26	0	231
Suikerbiet	8.3	55	6	65	0	259	736	910	708	2	2695	0	1	0	5	13	17	13	0	49
Zaaiuien	8.3	35	5	57	0	344	3085	1131	484	11	5119	0	2	0	10	88	32	14	0	146
Winterpeen	16.7	55	4	34	0	546	3623	794	503	13	5504	0	1	0	10	66	14	9	0	100
Zomertarwe	16.7	5	97	47	0	199	654	1530	542	2	3069	18	9	0	37	121	283	100	0	568
Erwten	16.7	4	46	6	0	55	289	1456	386	1	2238	11	1	0	14	72	364	96	0	559
Gras/klaver	16.7	10	9	0	0	48	145	1250	551	0	2007	1	0	0	5	14	125	55	0	201
Totaal/ha	100	24	130	34	0	234	1 658	1 220	546	5	3 827	8	2	0	13	71	126	45	0	**265**
Klaver, groenbemester	16.7		11	0	0	7	50	743	136											
Engels raaigras, groenbemester	16.7		6	0	0	9	29	457	0											
2a Geïntegreerd klei 50 ha kunstmest grondwatertrap VI																				
Pootaardappelen	6.25	37	621	585	143	222	2894	1342	447	635	6888	17	16	4	6	78	36	12	17	186
Consumptieaardappelen	6.25	42	360	969	68	234	2177	1722	806	1230	7565	9	23	2	6	52	41	19	29	180
Suikerbieten	12.5	65	8	551	53	160	630	1864	514	741	4521	0	8	1	2	10	29	8	11	70
Zaaiuien	6.25	66	7	541	149	201	4961	868	302	555	7584	0	8	2	3	75	13	5	8	115
Winterpeen	6.25	85	6	639	129	469	4567	1059	299	373	7542	0	8	2	6	54	12	4	4	89
Wintertarwe	6.25	9.5	102	423	66	127	457	1243	368	1001	3788	11	45	7	13	48	131	39	105	399
Erwten	6.25	5.8	48	639	33	94	386	2167	980	781	5128	8	110	6	16	67	374	169	135	884
Totaal/ha	50	43	145	613	87	209	2 088	1 516	529	757	5 942	6	31	3	7	55	91	36	44	**275**
Bladrammenas, groenbemester	6.25		14	89	0	26	141	601	105											
Engels raaigras, groenbemester	12.5		11	89	0	9	29	601	105											
2b Geïntegreerd klei 50 ha dierlijke mest grondwatertrap VI																				
Pootaardappelen	6.25	37	621	248	143	267	3000	2020	1002	394	7695	17	7	4	7	81	55	27	11	208
Consumptieaardappelen	6.25	42	360	632	68	280	2283	2400	1360	989	8372	9	15	2	7	54	57	32	24	199
Suikerbieten	12.5	65	8	372	53	206	736	2348	908	580	5212	0	6	1	3	11	36	14	9	80
Zaaiuien	6.25	66	7	204	149	247	5067	1546	833	314	8367	0	3	2	4	77	23	13	5	127
Winterpeen	6.25	85	6	371	129	469	4567	1157	373	372	7444	0	4	2	6	54	14	4	4	88
Wintertarwe	6.25	9.5	102	638	66	127	457	1340	442	1001	4174	11	67	7	13	48	141	47	105	439
Erwten	6.25	5.8	48	352	33	139	498	2845	1535	540	5990	8	61	6	24	86	491	265	93	1033
Totaal/ha	50	43	145	399	87	243	2 168	2 001	920	596	6 558	6	23	3	9	59	117	57	36	**311**
Bladrammenas, groenbemester	6.25		14	89	0	26	141	601	105											
Engels raaigras, groenbemester	12.5		11	89	0	9	29	601	105											

Broeikasgasemissies			Absoluut CO_2-eq/ha									CO_2-eq/ton								
Gewas	Areaal	Opbrengsten	Zaai- en plantgoed	Meststoffen	Gewas-bescherming	Mechanisatie	Directe energie	Directe lachgas-emissie	Lachgasemissie uit de bodem	Indirecte lachgasemissie	Totale broeikas-gasemissie	Zaai- en plantgoed	Meststoffen	Gewas-bescherming	Mechanisatie	Directe energie	Directe lachgas-emissie	Lachgas emissie uit de bodem	Indirecte lachgasemissie	Totale broeikas-gasemissie
3a Biologisch zand 25 ha grondwatertrap VI																				
Prei (herfst vroeg)	4.17	22.5	1238	43	0	611	778	1289	1264	7	5230	55	2	0	27	35	57	56	0	232
Aardbeien	2.09	17	280	0	0	272	693	972	851	7	3075	16	0	0	16	41	57	50	0	181
Kropsla (vroeg)	4.17	63	873	21	0	521	742	702	642	5	3506	14	0	0	8	12	11	10	0	56
Kropsla (zomerteelt)	4.17	63	873	14	0	544	742	737	628	6	3543	14	0	0	9	12	12	10	0	56
Chinese kool (vroeg)	4.17	32.5	534	24	0	536	581	1045	860	2	3583	16	1	0	17	18	32	26	0	110
Chinese kool (zomerteelt)	4.17	32.5	534	0	0	566	533	962	718	2	3315	16	0	0	17	16	30	22	0	102
Stamslabonen	4.17	7.5	98	14	0	272	725	1303	984	2	3398	13	2	0	36	97	174	131	0	453
Bospeen	2.09	21.5	21	0	0	443	629	714	663	7	2478	1	0	0	21	29	33	31	0	115
Triticale	4.17	4.5	120	18	0	201	446	800	784	169	2538	27	4	0	45	99	178	174	37	564
Totaal/ha	25	29	737	22	0	602	869	1 281	1 107	33	4 652	14	1	0	22	40	67	58	5	**208**
Tagetes, groenbemester	4.17		1	0	0	114	123	365	0											
Winterrogge, groenbemester	10.4		56	0	0	48	51	76	0											
Klaver, groenbemester	4.17		6	0	0	48	51	743	256											
4a Geïntegreerd zand 25 ha kunstmest grondwatertrap VI																				
Prei	4.17	40	1211	904	105	319	623	1579	1311	1100	7152	30	23	3	8	16	39	33	27	179
Aardbeien	4.17	25	212	432	134	181	714	992	978	465	4108	8	17	5	7	29	40	39	19	164
Kropsla (vroeg)	4.17	84	814	505	47	358	460	698	688	533	4103	10	6	1	4	5	8	8	6	49
Kropsla (zomer)	4.17	84	814	455	68	390	460	698	688	528	4101	10	5	1	5	5	8	8	6	49
Chinese kool (vroeg)	4.17	49	611	550	27	574	425	1075	746	595	4603	12	11	1	12	9	22	15	12	94
Chinese kool (herfst)	4.17	49	415	500	23	618	425	1075	746	600	4403	8	10	0	13	9	22	15	12	90
Stamslabonen	4.17	13	87	608	48	119	591	1258	1065	821	4598	7	47	4	9	45	97	82	63	354
Bospeen	4.17	40	10	343	70	226	381	566	506	231	2334	0	9	2	6	10	14	13	6	58
Totaal/ha	25	43	696	716	87	464	680	1 323	1 121	812	5 900	8	15	2	8	16	30	26	18	122
Winterrogge, groenbemester	8.33		56	0	0	48	51	76	0											
4b Geïntegreerd zand 25 ha dierlijke mest grondwatertrap VI																				
Prei	4.17	40	1211	387	105	393	664	1916	1886	524	7086	30	10	3	10	17	48	47	13	177
Aardbeien	4.17	25	212	267	134	203	750	1024	1189	330	4110	8	11	5	8	30	41	48	13	164
Kropsla (vroeg)	4.17	84	814	139	47	390	507	957	1137	142	4133	10	2	1	5	6	11	13	2	49
Kropsla (zomer)	4.17	84	814	455	68	390	460	800	884	523	4395	10	5	1	5	5	9	10	6	52
Chinese kool (vroeg)	4.17	49	611	183	27	741	460	1334	1196	216	4769	12	4	1	15	9	27	24	4	97
Chinese kool (herfst)	4.17	49	415	500	23	617	425	1178	943	793	4894	8	10	0	13	9	24	19	16	100
Stamslabonen	4.17	13	87	247	48	151	638	1517	1514	208	4411	7	19	4	12	49	117	116	16	339
Bospeen	4.17	40	10	342	70	226	383	669	702	228	2630	0	9	2	6	10	17	18	6	66
Totaal/ha	**25**	43	696	420	87	519	715	1 566	1 575	494	6 071	8	8	2	9	17	35	36	9	**124**
Winterrogge, groenbemester	8.33		56	0	0	48	51	76	0											

Energieverbruik modelbedrijven melkveehouderij in MJ per ha en MJ per ton melk

	Diesel	Electriciteit	Totaal direct	Krachtvoer-aankoop	Ruwvoer-aankoop	Kunstmest-aankoop	Diensten	Overige grond- en hulpstoffen	Machines	Onroerende goederen	Totaal indirect	Totaal
	MJ per ha											
klei_bio_12ton	1699	7334	9033	30284	2817	50	10688	2273	8447	2977	57536	66569
klei_bio_10ton	1211	5930	7141	24056	1200	63	7875	2331	6719	2636	44880	52021
klei_bio_8ton	1285	4806	6091	14009	248	81	6969	2293	5279	2354	31233	37324
klei_bio_pot_8ton	1291	4803	6095	14113	0	61	7615	4977	5279	2060	34105	40200
zand_bio_12ton	1722	7337	9058	28752	3915	218	10462	2481	8447	2978	57254	66312
zand_bio_10ton	1324	5928	7252	23060	1522	270	7901	2401	6719	2638	44513	51765
zand_bio_8ton	1259	4804	6063	11932	1784	266	6685	2491	5279	2352	30790	36853
zand_bio_pot_8ton	1331	4810	6141	12640	1267	264	7430	5178	5279	2062	34121	40261
klei_gangb_19ton	2396	11563	13959	66101	12334	9008	17625	2112	11372	4285	122836	136795
klei_gangb_14ton	2601	7993	10594	44021	2313	8842	11697	2075	7581	3327	79855	90450
klei_gangb_10ton	1884	6044	7928	28192	269	3985	6985	1869	5832	2537	49669	57597
zand_gangb_21ton	2264	13547	15811	75698	17587	7286	20738	2954	13646	4810	142719	158530
zand_gangb_14ton	2389	9541	11930	50055	1520	7500	12481	2920	9747	3441	87663	99593
zand_gangb_10ton	1655	6801	8456	24836	91	5794	7480	2585	6892	2593	50270	58727
	MJ per ton melk											
klei_bio_12ton	142	611	753	2524	235	4	891	189	704	248	4795	5547
klei_bio_10ton	123	600	722	2433	121	6	797	236	680	267	4540	5262
klei_bio_8ton	154	575	729	1676	30	10	834	274	632	282	3737	4466
klei_bio_pot_8ton	155	575	729	1689	0	7	911	596	632	246	4081	4810
zand_bio_12ton	143	611	755	2396	326	18	872	207	704	248	4771	5526
zand_bio_10ton	134	600	734	2333	154	27	799	243	680	267	4502	5236
zand_bio_8ton	151	575	725	1428	213	32	800	298	632	281	3684	4410
zand_bio_pot_8ton	159	575	735	1512	152	32	889	620	632	247	4083	4818
klei_gangb_19ton	126	609	735	3479	649	474	928	111	599	226	6465	7200
klei_gangb_14ton	186	571	757	3144	165	632	835	148	542	238	5704	6461
klei_gangb_10ton	188	604	793	2819	27	398	699	187	583	254	4967	5760
zand_gangb_21ton	108	645	753	3605	837	347	988	141	650	229	6796	7549
zand_gangb_14ton	171	681	852	3575	109	536	891	209	696	246	6262	7114
zand_gangb_10ton	166	680	846	2484	9	579	748	258	689	259	5027	5873

N_2O-emissie modelbedrijven melkveehouderij in kg per ha en kg per ton melk

	Stal en opslag	Beweiding	Toediening dierlijke mest	Toediening kunstmest	Gewas-resten	Scheuren grasland	Biol. N-binding	Totaal direct	Krachtvoer-aankoop	Ruwvoer-aankoop	Kunstmest-aankoop	Uitspoeling	Ammoniak-vervluchtiging	Stikstof-oxiden	Totaal indirect	Totaal
	kg per ha															
klei_bio_12ton	0.3	2.4	1.1	0.0	0.0	0.8	1.1	5.6	9.6	0.9	0.0	0.5	0.8	0.1	11.9	17.5
klei_bio_10ton	0.2	3.8	0.8	0.0	0.0	0.8	1.0	6.4	8.3	0.4	0.0	0.5	0.6	0.1	9.9	16.4
klei_bio_8ton	0.1	3.5	0.7	0.0	0.0	0.8	1.0	6.0	5.1	0.1	0.0	0.5	0.6	0.1	6.4	12.4
klei_bio_pot_8ton	2.9	3.5	0.4	0.0	0.0	0.8	1.0	8.5	5.1	0.0	0.0	0.5	0.6	0.1	6.3	14.8
zand_bio_12ton	0.3	2.6	1.1	0.0	0.0	0.5	1.1	5.5	9.1	1.2	0.0	1.9	0.9	0.1	13.2	18.8
zand_bio_10ton	0.2	4.0	0.7	0.0	0.0	0.5	1.1	6.5	7.7	0.5	0.0	2.4	0.6	0.1	11.3	17.8
zand_bio_8ton	0.2	3.7	0.7	0.0	0.0	0.5	1.0	6.0	4.4	0.6	0.0	2.4	0.6	0.1	8.1	14.1
zand_bio_pot_8ton	2.9	3.7	0.4	0.0	0.0	0.5	1.1	8.5	4.5	0.4	0.0	2.4	0.7	0.1	8.1	16.6
klei_gangb_19ton	0.4	3.7	1.5	3.3	0.0	0.4	0.0	9.2	15.6	2.9	3.1	1.1	0.7	0.1	23.5	32.8
klei_gangb_14ton	0.4	2.9	1.7	3.2	0.0	0.4	0.0	8.6	10.3	0.6	3.0	1.1	0.6	0.1	15.8	24.4
klei_gangb_10ton	0.2	3.3	1.0	1.4	0.0	0.4	0.0	6.3	6.6	0.1	1.3	0.6	0.4	0.1	9.0	15.3
zand_gangb_21ton	0.4	3.5	1.6	2.6	0.0	0.2	0.0	8.4	18.1	4.1	2.5	3.2	0.7	0.1	28.7	37.1
zand_gangb_14ton	0.3	2.6	1.8	2.7	0.1	0.2	0.0	7.7	11.8	0.5	2.5	3.0	0.6	0.1	18.4	26.1
zand_gangb_10ton	0.2	3.6	1.1	2.1	0.0	0.2	0.0	7.2	5.9	0.0	2.0	2.5	0.4	0.1	10.8	18.1
	kg per ton melk															
klei_bio_12ton	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.5	0.8	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	1.0	1.5
klei_bio_10ton	0.0	0.4	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.7	0.8	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	1.0	1.7
klei_bio_8ton	0.0	0.4	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.7	0.6	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.8	1.5
klei_bio_pot_8ton	0.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	1.0	0.6	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.8	1.8
zand_bio_12ton	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	0.8	0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	1.1	1.6
zand_bio_10ton	0.0	0.4	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.7	0.8	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	1.1	1.8
zand_bio_8ton	0.0	0.4	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.7	0.5	0.1	0.0	0.3	0.1	0.0	1.0	1.7
zand_bio_pot_8ton	0.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	1.0	0.5	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0	1.0	2.0
klei_gangb_19ton	0.0	0.2	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.5	0.8	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	1.2	1.7
klei_gangb_14ton	0.0	0.2	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.6	0.7	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	1.1	1.7
klei_gangb_10ton	0.0	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.6	0.7	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.9	1.5
zand_gangb_21ton	0.0	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.9	0.2	0.1	0.2	0.0	0.0	1.4	1.8
zand_gangb_14ton	0.0	0.2	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.5	0.8	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	1.3	1.9
zand_gangb_10ton	0.0	0.4	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.7	0.6	0.0	0.2	0.3	0.0	0.0	1.1	1.8

CH_4-emissie modelbedrijven melkveehouderij in kg per ha en kg per ton melk

	Pensfermentatie	Stal en opslag	Weidemest	Totaal direct	Krachtvoeraankoop	Totaal indirect	Totaal
	kg per ha						
klei_bio_12ton	228	62	1	291	4	4	295
klei_bio_10ton	193	40	1	235	3	3	238
klei_bio_8ton	172	36	1	209	2	2	211
klei_bio_pot_8ton	172	7	1	181	2	2	183
zand_bio_12ton	231	63	1	295	4	4	298
zand_bio_10ton	197	41	1	239	3	3	242
zand_bio_8ton	173	37	1	211	2	2	213
zand_bio_pot_8ton	175	7	1	183	2	2	185
klei_gangb_19ton	367	99	1	467	16	16	482
klei_gangb_14ton	280	77	1	358	10	10	368
klei_gangb_10ton	209	44	1	254	7	7	260
zand_gangb_21ton	397	109	1	507	18	18	525
zand_gangb_14ton	276	75	1	352	12	12	364
zand_gangb_10ton	204	42	1	248	6	6	254
	kg per ton melk						
klei_bio_12ton	19	5	0	24	0	0	25
klei_bio_10ton	20	4	0	24	0	0	24
klei_bio_8ton	21	4	0	25	0	0	25
klei_bio_pot_8ton	21	1	0	22	0	0	22
zand_bio_12ton	19	5	0	25	0	0	25
zand_bio_10ton	20	4	0	24	0	0	25
zand_bio_8ton	21	4	0	25	0	0	26
zand_bio_pot_8ton	21	1	0	22	0	0	22
klei_gangb_19ton	19	5	0	25	1	1	25
klei_gangb_14ton	20	5	0	26	1	1	26
klei_gangb_10ton	21	4	0	25	1	1	26
zand_gangb_21ton	19	5	0	24	1	1	25
zand_gangb_14ton	20	5	0	25	1	1	26
zand_gangb_10ton	20	4	0	25	1	1	25

CO_2-emissie modelbedrijven melkveehouderij in kg per ha en kg per ton melk

	Diesel	Electriciteit	Totaal direct	Krachtvoer-aankoop	Ruwvoer-aankoop	Kunstmest-aankoop	Diensten	Overige grond- en hulpstoffen	Machines	Onroerende goederen	Totaal indirect	Totaal
	kg per ha											
klei_bio_12ton	126	433	559	2566	189	5	716	152	566	199	4393	4952
klei_bio_10ton	90	350	440	2023	80	6	528	156	450	177	3420	3860
klei_bio_8ton	95	284	379	1172	17	8	467	154	354	158	2329	2708
klei_bio_pot_8ton	96	283	379	1182	0	6	510	333	354	138	2523	2903
zand_bio_12ton	128	433	561	2437	262	22	701	166	566	200	4354	4915
zand_bio_10ton	98	350	448	1945	102	27	529	161	450	177	3391	3839
zand_bio_8ton	94	283	377	997	120	27	448	167	354	158	2270	2646
zand_bio_pot_8ton	99	284	383	1059	85	27	498	347	354	138	2507	2890
klei_gangb_19ton	178	682	860	5371	826	641	1181	142	762	287	9210	10070
klei_gangb_14ton	193	472	665	3582	155	629	784	139	508	223	6020	6684
klei_gangb_10ton	140	357	497	2292	18	287	468	125	391	170	3751	4248
zand_gangb_21ton	168	799	968	6139	1178	518	1389	198	914	322	10659	11626
zand_gangb_14ton	177	563	740	4069	102	537	836	196	653	231	6623	7364
zand_gangb_10ton	123	401	524	2015	6	414	501	173	462	174	3745	4269
	kg per ton melk											
klei_bio_12ton	11	36	47	214	16	0	60	13	47	17	366	413
klei_bio_10ton	9	35	44	205	8	1	53	16	46	18	346	390
klei_bio_8ton	11	34	45	140	2	1	56	18	42	19	279	324
klei_bio_pot_8ton	11	34	45	141	0	1	61	40	42	17	302	347
zand_bio_12ton	11	36	47	203	22	2	58	14	47	17	363	410
zand_bio_10ton	10	35	45	197	10	3	54	16	46	18	343	388
zand_bio_8ton	11	34	45	119	14	3	54	20	42	19	272	317
zand_bio_pot_8ton	12	34	46	127	10	3	60	42	42	17	300	346
klei_gangb_19ton	9	36	45	283	43	34	62	7	40	15	485	530
klei_gangb_14ton	14	34	47	256	11	45	56	10	36	16	430	477
klei_gangb_10ton	14	36	50	229	2	29	47	13	39	17	375	425
zand_gangb_21ton	8	38	46	292	56	25	66	9	44	15	508	554
zand_gangb_14ton	13	40	53	291	7	38	60	14	47	16	473	526
zand_gangb_10ton	12	40	52	201	1	41	50	17	46	17	374	427