



Steunpunt Duurzame Landbouw

Energieverbruik en –efficiëntie op Vlaamse melkvee-, akkerbouw- en varkensbedrijven

Publicatie 14 - Maart 2005





Publicatie 14 – Maart 2005

ENERGIEVERBRUIK EN -EFFICIËNTIE OP VLAAMSE MELKVEE-, AKKERBOUW- EN VARKENSBEDRIJVEN

Marijke Meul, Frank Nevens, Dirk Reheul en Georges Hofman

Referaat:

Meul M., Nevens, F., Reheul, D. en Hofman, G., 2005. Energieverbruik en -efficiëntie op Vlaamse melkvee-, akkerbouw- en varkensbedrijven. Steunpunt Duurzame Landbouw. Publicatie 14, 67 p.

ISBN 90-77547-10-X

Deze publicatie kunt u bestellen bij het Steunpunt Duurzame Landbouw.

© 2005 Steunpunt Duurzame Landbouw,
Potaardestraat 20, B-9090 Gontrode,
(tel.) 09/264.90.68, (fax.) 09/264.90.94, info@stedula.be

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Steunpunt Duurzame Landbouw.

Stedula wordt gefinancierd door de Vlaamse Gemeenschap in het kader van het programma "Steunpunten voor Beleidsrelevant Onderzoek". In deze mededeling wordt de mening van Stedula en niet van de Vlaamse Gemeenschap weergegeven. De Vlaamse Gemeenschap is niet aansprakelijk voor het gebruik dat kan worden gemaakt van de in deze mededeling opgenomen gegevens. V.U.: Frank Nevens

Inhoudstafel

Woord vooraf.....	i
Executive summary	iii
Glossarium	v
1. Inleiding.....	1
2. Literatuurstudie.....	3
2.1. Energieverbruik als thema van ecologisch duurzame landbouw.....	3
2.2. Wat is duurzaam energieverbruik?.....	4
2.3. Overzicht van energieverbruik en broeikasgasemissies van de Vlaamse land- en tuinbouw: cijfers en evoluties.....	5
2.3.1. Energieverbruik.....	5
2.3.2. Emissie van broeikasgassen.....	6
2.3.3. Eco-efficiëntie.....	8
2.4. Methodes om energieverbruik te bepalen	9
2.5. Energieverbruik meten: indicatoren uit de literatuur	10
2.5.1. Totaal energieverbruik	10
2.5.2. Energieproductiviteit of energie-intensiteit	11
2.5.3. Energie-efficiëntie of energieratio	11
2.5.4. CO ₂ -emissie	11
2.5.5. Aandeel hernieuwbare energiebronnen	11
3. Energieverbruik op Vlaamse landbouwbedrijven	13
3.1. De onderzochte bedrijven.....	13
3.2. Berekeningsmethode.....	14
3.2.1. Direct energieverbruik.....	14
3.2.2. Indirect energieverbruik.....	17
3.3. Resultaten.....	20
3.3.1. Energieverbruik op gespecialiseerde melkveebedrijven	20
3.3.2. Energieverbruik op gespecialiseerde akkerbouwbedrijven	26
3.3.3. Energieverbruik op gespecialiseerde varkensbedrijven	35
3.3.4. Vergelijking van energieverbruik en -efficiëntie van 3 productierichtingen: melkveehouderij, akkerbouw en varkenshouderij	40
4. Indicatoren.....	43
4.1. Indicatoren voor energieverbruik op een individueel landbouwbedrijf	43
4.1.1. Indicator 1	43
4.1.2. Indicator 2	50
4.1.3. Energie-index	51
4.2. Indicatoren voor energieverbruik van de Vlaamse landbouwsector	51
5. Besluiten en aanbevelingen	53
6. Referenties.....	55
Annex I. Energie-inhouden van verschillende energiedragers.....	63
Annex II. Indirect energieverbruik voor productie van verschillende inputs	65
Annex III. Energie-inhoud van de belangrijkste landbouwproducten	67

Woord vooraf

Deze studie kadert in het onderzoek rond ecologische duurzaamheid op Vlaamse land- en tuinbouwbedrijven. Energieverbruik kunnen we onder verschillende thema's van ecologische duurzaamheid plaatsen. Het maakt deel uit van een efficiënt gebruik van natuurlijke hulpbronnen (eindige voorraden fossiele brandstoffen) en het past ook in het thema luchtvervuiling (emissie van CO₂).

We legden de resultaten van deze studie voor aan een groep lectoren en we hielden zo veel mogelijk rekening met hun opmerkingen bij het uitwerken van dit rapport. Wij willen dan ook graag volgende experts danken voor hun positieve bijdrage:

Dirk Reheul (Universiteit Gent), Veerle Campens (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Beleidsdomein Landbouw en Visserij, Afdeling Monitoring en Studie), Bart Vleeschouwers (Innovatiesteunpunt Boerenbond), Kaat Jaspers (VITO), Peter van Bussel (ODE-Vlaanderen), Erwin Wauters (Katholieke Universiteit Leuven), Annelies van Hauwermeiren (Katholieke Universiteit Leuven), Georges Hofman (Universiteit Gent), Dominique Huits (PROCLAM), Marnick Devrome (Algemeen Boerensyndicaat), Erik Mathijs (Katholieke Universiteit Leuven).

Executive summary

Energy use and energy use efficiency are important issues of eco-efficient and sustainable agricultural production systems. On farms, energy is consumed in a “direct” and an “indirect” way. Direct energy is used during farm operations and is based on the consumed amount of diesel, lubricants, electricity and other energy carriers. Indirect energy is consumed during the production of farm inputs such as mineral fertilisers, seeds, pesticides, concentrates, forages and equipment.

In chapter 3 of this report, we determined the energy use efficiency of a representative set of specialized dairy, arable and pig farms. We studied the observed evolution between 1989-1990 and 2000-2001 for dairy and arable farms and between 1989-1990 and 1997-1998 for pig farms.

The result showed that for all farm types the indirect energy input was higher than the direct energy input: indirect energy input represented about 70% of total energy use on dairy and pig farms; and somewhat more than 50% on arable farms. Particularly the production of mineral fertilisers and animal feed represented a high share of the total energy use on the farms. On dairy farms, nearly 60% of total energy input in 2000-2001 originated from the production of mineral fertilisers and concentrates. On arable farms, the production of mineral fertilisers represented 34% of total energy input and the production of pig feed accounted for 68% of total energy use on pig farms. Direct energy input was mainly diesel use: this input accounted for about 23% of total energy use on dairy and pig farms, and for 38% of total energy use on arable farms.

For all farm types, total energy use has decreased over time. On arable and dairy farms, the decrease in energy use between 1989 and 2001 mainly originated from a decrease in the use of mineral fertilisers. A decreased use of concentrates caused a decrease in energy use on dairy and pig farms.

The total energy input of a group of 24 trendsetting dairy farms (these are the 5% most energy-efficient farms from our dataset) was only 73.5% of the average of the total dairy farm set. The lower energy input on these farms originated mainly from a lower use of mineral fertilisers and concentrates. Despite the lower use of inputs (and consequently the lower energy input), milk production per ha was 25% higher on the trendsetting farms compared to the average of all dairy farms. This was achieved by a higher milk production per cow (+ 8%) and a higher stock density (+ 13.5%). We conclude that the most energy efficient farms are not necessarily the most extensive ones, on the contrary: the most efficient farms are characterised by a high milk production and a high stock density.

On arable farms, the total yearly energy output was strongly determined by the crop rotation. Cereal crops and sugar beet combine a high energy output per ha with a low energy demand and therefore have a high energy efficiency (output/input). Farms with a large share of cereals and sugar beet can thus be expected to have a higher energy efficiency.

The average energy input of a group of 12 trendsetting arable farms was only 60% of the average energy input of all arable farms. Those farms mainly saved energy through a lower diesel use and a lower use of mineral fertilisers. The energy output on the trendsetting farms was 20% higher, which resulted in an energy efficiency twice as high as the average for all arable farms. Again, the high energy efficiency of the trendsetting farms was strongly determined by the crop rotation: the average share of cereal crops (mainly winter wheat) was nearly 40% higher on the trendsetting farms compared to the average of all farms.

The results of pig farms showed that the production of slaughtering pigs was more energy efficient than the production of piglets. This implies that farm structure (piglet / slaughter pig production) should be well known when comparing energy efficiencies of entire pig farms. The total energy input on a trendsetting group of slaughtering pig farms was 9% lower than the average. On those farms, the use of diesel and concentrates was significantly lower. The productivity on the trendsetting farms was high: the average total weight of produced slaughtering pigs was nearly 50% higher compared to the average of all slaughtering pig farms.

In chapter 4 of this study, we developed indicators to estimate energy use and energy use efficiency on dairy, arable and pig farms and we developed a methodology that can be used to evaluate energy use and energy use efficiency on any farm in Flanders.

The general conclusions and recommendations from chapter 5 can be summarized as follows:

- On the studied dairy, arable and pig farms, indirect energy use was larger than direct energy use. Mainly the production of mineral fertilizers and concentrates represented a large share of the total energy use. Diesel use was the most important direct energy input.
- Energy use and energy use efficiency of crop production should better be assessed on field level instead of farm level, considering the large influence of the crop rotation on the farm's energy efficiency.
- On arable and pig farms, we found that the most energy efficient farms also had the highest gross value added. This was not the case for the studied arable farms.

Glossarium

Geïnvesteerde energie = verbruikte energie = de hoeveelheid fossiele of hernieuwbare energie door de mens geïnvesteed tijdens landbouwwerkzaamheden of tijdens de productie van inputs. Menselijke en dierlijke arbeid en zonne-energie worden hier niet bij gerekend.

Energie-inhoud = de hoeveelheid energie opgeslagen als potentiële energie in de biomassa van plantaardige of dierlijke producten en die vrijkomt bij verbranding in een bomcalorimeter.

Geproduceerde energie = energie-inhoud x geproduceerde hoeveelheid

Energieproductiviteit = totale hoeveelheid geproduceerde landbouwproducten per eenheid geïnvesteerde energie

Energie-efficiëntie = totale hoeveelheid geproduceerde energie vervat in landbouwproducten per eenheid geïnvesteerde energie

1. Inleiding

Energieverbruik is een thema dat kadert in de algemene problematiek van duurzame ontwikkeling. De eindige voorraden fossiele brandstoffen en de toenemende klimaatsveranderingen wijzen op de noodzaak om dringend werk te maken van een duurzamer energieverbruik. Volgens schattingen van het Internationaal Energie Agentschap (IEA, 2000) zal het energieverbruik tussen 1997 en 2020 met 57% toenemen, ten gevolge van economische vooruitgang. De wereldvoorraad aan aardolie wordt geschat op 1 miljard barrels (= 159 miljard liter)¹. Deze voorraad zou onvoldoende zijn om in het jaar 2020 nog aan deze stijgende energiebehoefte te kunnen voldoen (UNDP, 2000). Daarnaast past het thema energieverbruik binnen één van de basisprincipes van eco-efficiëntie ('meer doen met minder'), waarbij men tracht meer waarde te creëren met minder milieu-impact.

In deze studie ontwikkelen we een methode en indicatoren om het energieverbruik op Vlaamse landbouwbedrijven zo goed mogelijk te bepalen. We onderzoeken de bruikbaarheid van de indicatoren door het energieverbruik te berekenen voor een representatieve set van bedrijven (uit het CLE landbouwboekhoudnet). We bestuderen daarbij in het bijzonder volgende productierichtingen: gespecialiseerde melkveehouderij, gespecialiseerde akkerbouw en gespecialiseerde varkenshouderij.

Op basis van onze indicatoren geven we de evolutie weer van het energieverbruik op Vlaamse landbouwbedrijven gedurende de jongste 10-20 jaar.

In hoofdstuk 2 van dit rapport definiëren we duurzaam energieverbruik. Dit hoofdstuk omvat eveneens een literatuurstudie, waar we een kort overzicht geven van het energieverbruik in Vlaanderen en in de Vlaamse landbouwsector. Daarnaast beschrijven we een aantal methodes en indicatoren voor het meten van energieverbruik.

In hoofdstuk 3 gaan we voor een aantal indicatoren de bruikbaarheid na, door ze te berekenen voor een representatieve set Vlaamse landbouwbedrijven. We geven de evolutie van het energieverbruik op de bedrijven weer gedurende de jongste 10-20 jaar.

Hoofdstuk 4 bevat de methodologische fiches van de voorgestelde indicatoren om energieverbruik op bedrijfs- en sectorniveau te berekenen.

Hoofdstuk 5 tenslotte omvat enkele algemene besluiten en aanbevelingen.

¹ 1 barrel = 42US gallons = 158,9 liter

2. Literatuurstudie

2.1. Energieverbruik als thema van ecologisch duurzame landbouw

Op ecologisch vlak is het grootste probleem van energieverbruik dat consumptie van fossiele brandstoffen in sterke mate bijdraagt aan de algemene toename van milieuproblemen wereldwijd. Dit blijkt uit alle recente internationale inspanningen op het vlak van milieuproblematiek (zoals de wereldtop in Rio de Janeiro in 1992, het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), de United Nations Framework Convention on Climatic Change (UNFCCC) en de Commissie voor Duurzame Ontwikkeling (CSD)). Bij de verbranding van fossiele brandstoffen komen immers broeikasgassen vrij, die ernstige klimatologische veranderingen veroorzaken. Zo is de gemiddelde temperatuur op aarde in de 20^{ste} eeuw met 0,6 °C toegenomen (Folland et al., 2001). Bovendien zijn buiten de poolgebieden vele gletsjers gekrompen en is de neerslag tussen 35° en 85° noorderbreedte toegenomen met 7 à 12%. Volgens het IPCC zijn het gebruik van fossiele brandstoffen en ontbossing hiervan de belangrijkste oorzaken.

In een agro-ecosysteem wordt energie verbruikt voor de productie van voedsel en andere consumptiegoederen. Dit is voor het grootste deel zonne-energie, die gewassen door fotosynthese omzetten in de potentiële energie van hun biomassa. In tegenstelling tot natuurlijke ecosystemen, wordt in een agro-ecosysteem nog een bijkomende hoeveelheid energie geïnvesteerd onder vorm van menselijke, dierlijke en machinale arbeid. Bovendien is energie nodig voor transport en voor de productie van machines, meststoffen, pesticiden en zaden (Gliessman, 2000).

Onze huidige landbouw is sterk gemechaniseerd en is in grote mate afhankelijk van externe inputs. Deze "industrialisatie" veroorzaakte enerzijds een sterke toename van de productie, maar had ook een sterke afhankelijkheid van "industriële energie", voornamelijk fossiele brandstoffen, voor gevolg (Conforti en Giampietro, 1997; Günther, 2000; Wells, 2001). Vaak is de toename in productie (of geproduceerde energie) hierbij niet evenredig met de toename van de geïnvesteerde energie. Stout (1990) illustreert dit met volgend voorbeeld: in de traditionele rijstteelt in de Filippijnen verbruikt men jaarlijks ongeveer 173 MJ/ha voor een opbrengst van 1.250 kg/ha. Dit komt overeen met 0,14 MJ/kg rijst. De moderne rijstteelt in de Verenigde Staten daarentegen verbruikt jaarlijks 64.885 MJ/ha voor een opbrengst van 5.800 kg/ha, wat overeenkomt met 11,19 MJ/kg rijst. Dus, hoewel de moderne teelt 4,6 keer meer rijst produceert dan de traditionele rijstteelt, verbruikt ze 79 keer meer energie per kg rijst. Met een energie-inhoud van 15 MJ/kg rijst daalt hiermee de energie-efficiëntie (geproduceerde/geïnvesteerde energie) van 107 in de Filippijnen naar 1,3 in de VS.

Gelijkaardige studies tonen vergelijkbare resultaten voor maïs, waar men voor een 5 keer hogere productie 33 keer meer energie nodig heeft per eenheid van productie (Wells, 2001). Een studie over de evolutie van het energieverbruik in de Turkse landbouw toont aan dat zowel het energieverbruik als de geproduceerde energie is toegenomen tussen 1975 en 2000. Maar hierbij nam de hoeveelheid geïnvesteerde energie relatief gezien sneller toe dan de geproduceerde energie, waardoor de energie-efficiëntie daalde van 2,23 in 1975 naar 1,18 in 2000 (Ozkan et al., 2004).

Hoewel de huidige energie-intensieve landbouw hoge producties levert, kan de duurzaamheid - zowel op ecologisch, als op sociaal-economisch vlak - van dergelijke systemen dus in vraag worden gesteld (Conforti en Giampietro, 1997; Pimentel et al., 1999; Gliessman, 2000). Door de snel toenemende wereldbevolking is er een stijgende vraag naar voedsel. De sterke afhankelijkheid van fossiele brandstoffen maakt de huidige landbouw meer gevoelig voor toekomstige tekorten of prijsstijgingen van fossiele energie en draagt bij tot zware milieuproblemen door emissie van broeikasgassen.

De werkzaamheden die nodig zijn om energie uit fossiele brandstoffen beschikbaar te maken vragen bovendien zelf energie. Volgens Günther (2000) zal, naarmate de voorraden aan fossiele brandstoffen en de kwaliteit ervan slinken, steeds een groter deel van de geëxtraheerde energie moeten geïnvesteerd worden in het extractieproces zelf. De netto geproduceerde energie zal dus dalen, zelfs al blijft de bruto energie-extractie gelijk.

2.2. Wat is duurzaam energieverbruik?

Conform onze algemene definitie van ecologisch duurzame landbouw (zie Meul et al., 2004), wordt ecologisch duurzaam energieverbruik (in de landbouw) gekenmerkt door (o.a. [1]; Gliessman, 2000):

1. Het minimaliseren van negatieve aspecten, door

- Minimale emissie van broeikasgassen. Dit kan bereikt worden door (1) minimaal gebruik van fossiele brandstoffen, (2) het nemen van emissiebeperkende maatregelen en (3) maximaal gebruik van duurzame (hernieuwbare) energie.
- Efficiënt gebruik van energie. Dit houdt in dat een maximale (energie-) productie wordt gecreëerd per eenheid geïnvesteerde energie.

2. Het maximaliseren van positieve aspecten, door

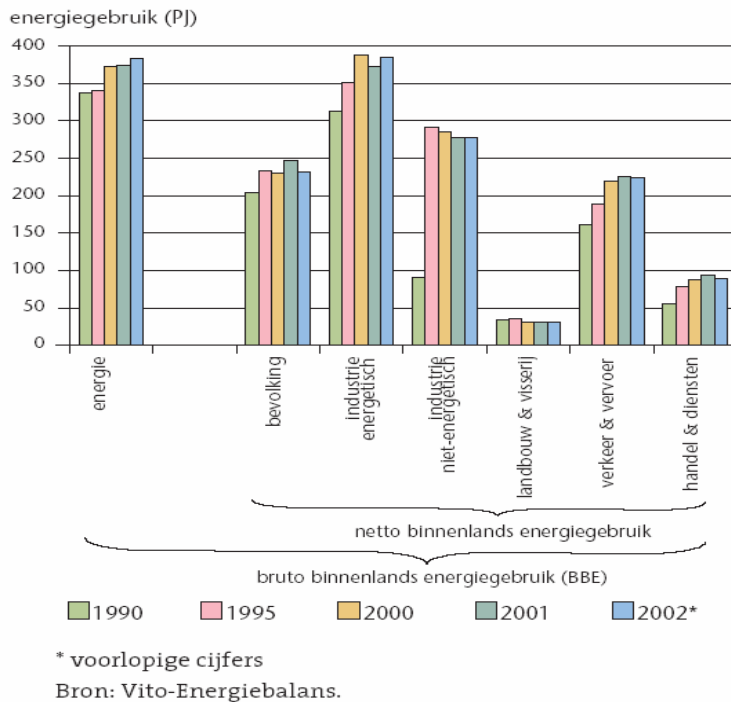
- Productie van duurzame energie. Hier kan de landbouwsector een actieve rol spelen in het streven naar duurzaam energieverbruik, door het produceren en leveren van duurzame energie aan de maatschappij.

Duurzame energie is elektriciteit, warmte en/of brandstof, die is opgewekt met hernieuwbare energiebronnen, zoals zonne-energie, windenergie, getijden- en golfenergie, omgevings- en aardwarmte en biomassa (Ravensbergen en Baltussen, 2001). We veronderstellen dus dat alle niet-hernieuwbare hulpbronnen per definitie eindig en dus niet duurzaam zijn.

2.3. Overzicht van energieverbruik en broeikasgasemissies van de Vlaamse land- en tuinbouw: cijfers en evoluties

2.3.1. Energieverbruik

Het Vlaams energieverbruik wordt meestal weergegeven voor de verschillende “sectoren” van verbruikers. De grootste verbruikers zijn dan de industrie en energiesector zelf (Figuur 2.1, Couder et al. (2003)).



Figuur 2.1. Evolutie van het energieverbruik per sector (Vlaanderen, 1990-2002). Bron: Couder et al. (2003).

Voor bijna alle sectoren lag het energieverbruik in 2002 hoger dan in 1990. Enkel de sector van landbouw en visserij vormde hierop een uitzondering (Couder et al., 2003).

In 2002 verbruikte de primaire sector (landbouw en visserij) in Vlaanderen 29,9 PJ² aan energie (Lauwers et al., 2003), wat overeenkomt met een aandeel van 1,8% in het Bruto Binnenlands Energieverbruik (BBE). Glastuinbouw is hierbij de grootste energieverbruiker, met een aandeel van 60%. In deze subsector werd echter ook het grootste gedeelte van de daling van het energieverbruik tussen 1990 en 2002 gerealiseerd. Deze daling wordt voor een deel verklaard door de sterke stijging van de brandstofprijzen. Tabel 2.1 toont de evolutie van het energieverbruik in de verschillende subsectoren van de primaire sector tussen 1990 en 2000. De cijfers geven het directe energieverbruik weer, dit is de energie gebruikt op het landbouwbedrijf tijdens het productieproces. Indirect energieverbruik, dit is energie verbruikt bij de productie en het transport van inputs zoals meststoffen, pesticiden,

² 1 PJ = 10¹⁵ J

zaden, veevoeders, geneesmiddelen en machines, werd niet in rekening gebracht (Aernouts (VITO), persoonlijke mededeling).

Ook Maertens en Van Lierde (2003) berekenden de evolutie van het energieverbruik in de Vlaamse land- en tuinbouwsector tussen 1990 en 2000 (Tabel 2.1). Zij maakten voor hun berekeningen gebruik van de gegevens uit het land- en tuinbouwboekhoudnet van het Centrum voor Landbouweconomie (CLE) en de gegevens van de jaarlijkse landbouwellingen van het NIS. Ook hier werd geen rekening gehouden met het indirecte energieverbruik. In 2000 bedroeg het energieverbruik 28,9 PJ, waarvan de tuinbouw 69% inneemt.

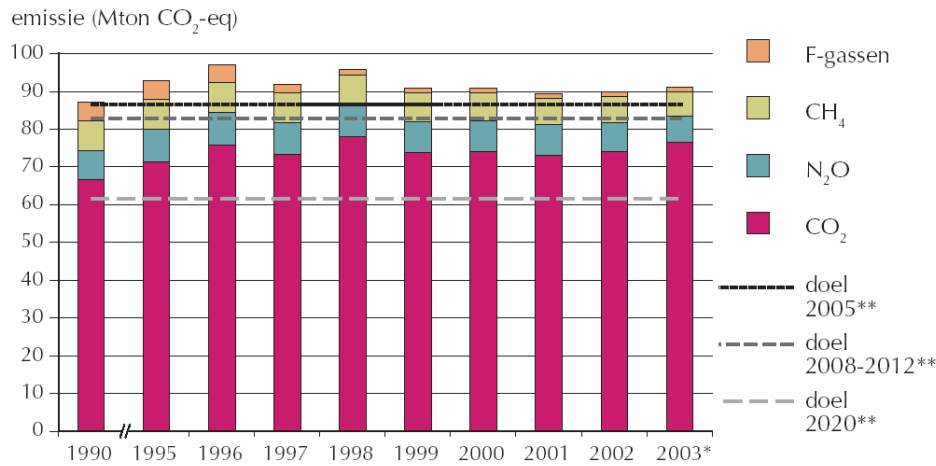
Tabel 2.1. Evolutie van het direct energieverbruik (in PJ) in de land- en tuinbouw in Vlaanderen

	1990	2000
<i>Aernouts en Jespers (2004)</i>		
akkerbouw	2,02	2,33
graasdierhouderij	1,62	1,68
intensieve veehouderij	3,99	4,99
blijvende teelten	0,26	0,34
<i>subtotaal landbouw</i>	<i>7,89</i>	<i>9,34</i>
glastuinbouw	22,22	18,40
vollegrondstuinbouw	1,09	0,96
<i>subtotaal tuinbouw</i>	<i>23,31</i>	<i>19,36</i>
<i>totaal</i>	<i>31,20</i>	<i>28,70</i>
<i>Maertens en Van Lierde (2003)</i>		
landbouw	7,42	8,97
tuinbouw	22,78	19,96
<i>totaal</i>	<i>30,20</i>	<i>28,93</i>

De resultaten uit beide studies tonen aan dat het direct energieverbruik in de Vlaamse land- en tuinbouw tussen 1990 en 2000 daalde met ongeveer 6%.

2.3.2. Emissie van broeikasgassen

Het Kyoto-protocol (Anonymous, 1997) stelt dat de Europese Unie en haar lidstaten de globale uitstoot van de belangrijkste broeikasgassen tegen de periode 2008-2012 dienen te verminderen met gemiddeld 8% t.o.v. het referentiejaar 1990. Door het Kyoto-protocol te ratificeren engageerde België zich tot een emissievermindering met 7,5%; Vlaanderen moet een vermindering realiseren van 5,2%. In 2003 lag de uitstoot van broeikasgassen in Vlaanderen bijna 4 Mton CO₂-eq. hoger dan het referentieniveau in 1990 (Figuur 2.2; Brouwers et al., 2004). Deze toename is voornamelijk het gevolg van een stijging van de CO₂-emissie, dat met een aandeel van 84% het belangrijkste broeikasgas is. De emissies van CO₂ zijn praktisch volledig te wijten aan de verbranding van fossiele brandstoffen.



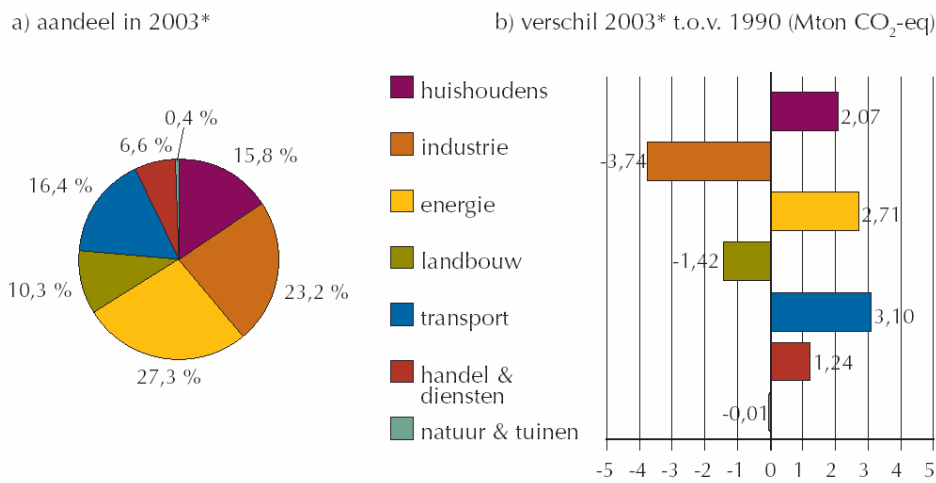
Voor de omrekening van tonnages naar CO₂-eq werden volgende GWP-waarden gebruikt: 1 voor CO₂, 23 voor CH₄, 296 voor N₂O, 22 200 voor SF₆, 12 tot 12 000 voor de verschillende HFK's en 5 700 tot 11 900 voor de PFK's (IPCC, 2001).

* voorlopige cijfers

** Voor F-gassen is het referentiejaar 1995 i.p.v. 1990. De uitstoot vóór 1995 van deze F-gassen wordt gelijkgesteld aan de uitstoot in 1995.

Bron: VMM, Energiebalans Vlaanderen Vito

Figuur 2.2. Emissie van broeikasgassen in Vlaanderen tussen 1990 en 2003. Bron: Brouwers et al. (2004)



* voorlopige cijfers

Bron: Energiebalans Vlaanderen Vito, VMM

Figuur 2.3. Aandeel van de sectoren in de uitstoot van broeikasgassen voor 2003 (links) en de evolutie van de emissies per sector in de periode 1990-2003, uitgedrukt in Mton CO₂-equivalenten (rechts) voor Vlaanderen. Bron: Brouwers et al. (2004)

Uit Figuur 2.3 blijkt dat de energie- en industriese sector met een quasi gelijk aandeel samen ongeveer de helft uitmaken van de totale broeikasgasemissies. De landbouwsector staat in voor 10,3% van de totale uitstoot, of 9,2 Mton CO₂-eq (Wustenberghs et al., 2004). Deze sector heeft tijdens de periode 1990-2003 een absolute emissiereductie gerealiseerd van

1,42 Mton CO₂-eq. Dit komt overeen met een daling van 13%, waarmee de Vlaamse landbouwsector de reductiedoelstelling van 5,2% dus reeds ruim realiseerde.

De totale emissie van broeikasgassen in de landbouwsector is voor 50% afkomstig van CH₄ en voor 30% van N₂O (Lauwers et al., 2003). CO₂ heeft een aandeel van 20% in de totale emissie. Dit betekent dat de absolute CO₂-emissie uit de Vlaamse landbouwsector in 2003 gelijk was aan 1,8 Mton. Ten opzichte van de CO₂-emissie in 1990 is dit een daling van 17% (Wustenberghs et al., 2004).

Deze cijfers houden echter geen rekening met de emissie van gemiddeld 1,3 Mton CO₂/jaar uit landbouwbodems in de periode 1990-2000 (Brouwers et al., 2004), ten gevolge van een dalend gehalte organisch materiaal in de bodem. Als we deze emissies in rekening brengen, dan vinden we voor de landbouwsector een CO₂-emissie van 3,1 Mton CO₂ in 2003, in de veronderstelling dat de emissie uit landbouwbodems in 2003 dezelfde is als deze in de periode 1990-2000.

2.3.3. Eco-efficiëntie

Eco-efficiëntie koppelt de waarde van een product of dienst aan de milieu-impact die gepaard gaat met de productie ervan. Beschouwen we de bruto toegevoegde waarde van de Vlaamse landbouwsector in 1990, 2000 en 2002 (in constante prijzen van 1990, bron: CLE) en drukken we de milieu-impact uit als CO₂-emissie, dan kunnen we de eco-efficiëntie van de Vlaamse landbouwsector in 1990, 2000 en 2002 vergelijken (Tabel 2.2). Uit deze waarden blijkt dat de eco-efficiëntie is gedaald in 2000 t.o.v. 1990, wat betekent dat de CO₂-emissie is toegenomen voor eenzelfde gecreëerde bruto toegevoegde waarde. Voorlopige gegevens over de bruto toegevoegde waarde in 2002 wijzen echter op een stijging van de eco-efficiëntie (Tabel 2.2).

Tabel 2.2. Eco-efficiëntie van de Vlaamse landbouwsector in 1990, 2000 en 2002, uitgedrukt als bruto toegevoegde waarde per ton CO₂-emissie

	1990	2000	2002
bruto toegevoegde waarde (10 ⁶ €)	1842	2341	2551 ^(a)
CO ₂ -emissie (Mton CO ₂)	2,5 ^(b)	3,7 ^(c)	3,3 ^(d)
eco-efficiëntie (€ / ton CO ₂)	737	633	773

^(a) voorlopig cijfer, bron: CLE

^(b) bron: Claes et al. (2001)

^(c) bron: Claes et al. (2001), emissie van 1,3 Mton CO₂ uit landbouwbodems in rekening gebracht

^(d) bron: De Grootte et al. (2003), emissie van 1,3 Mton CO₂ uit landbouwbodems in rekening gebracht

Drukken we de milieu-impact uit onder vorm van het energieverbruik, dan geeft Tabel 2.3 de waarden van de eco-efficiëntie weer van de Vlaamse landbouwsector in 1990, 2000 en 2002. Uit deze cijfers blijkt dat de eco-efficiëntie van de Vlaamse landbouwsector is gestegen in 2000 en 2002 t.o.v. 1990.

Tabel 2.3. Eco-efficiëntie van de Vlaamse landbouwsector in 1990, 2000 en 2002, uitgedrukt als bruto toegevoegde waarde per 100 MJ

	1990	2000	2002
bruto toegevoegde waarde (10^9 €)	1842	2341	2551 ^(a)
energieverbruik (10^8 MJ)	311,9 ^(b)	286,9 ^(b)	298,3 ^(b)
eco-efficiëntie (€ / 100MJ)	5,9	8,2	8,6

^(a) voorlopig cijfer, bron: CLE

^(b) bron: Aernouts en Jespers (2004)

2.4. Methodes om energieverbruik te bepalen

Cijfers over energieverbruik in de land- en tuinbouw kunnen onderling sterk verschillen, afhankelijk van welke energieverbruikposten men in rekening brengt en van de berekeningsmethode die men toepast. Jones (1989) overloopt verschillende benaderingen om de energetische processen in een agro-ecosysteem te beschrijven:

1. De eenvoudigste methode is deze waarbij enkel het directe energieverbruik wordt in rekening gebracht. Directe energie-investeringen zijn brandstof (al dan niet fossiel) en elektriciteit gebruikt tijdens de landbouwproductie. De studies van Aernouts en Jespers (2004) en van Maertens en Van Lierde (2003) zijn voorbeelden van deze berekeningsmethode.
2. Proces analyse. Bij deze methode wordt zowel het directe als het indirecte energieverbruik in rekening gebracht. Indirect energieverbruik is de energie verbruikt buiten het landbouwbedrijf voor de productie en transport van inputs, zoals zaaizaden of pootgoed, meststoffen, pesticiden, veevoeders en machines. In sommige gevallen wordt hier ook het energieverbruik tijdens drogen, verwerken, bewaren en transport van de landbouwproducten naar de consument in rekening gebracht.
3. Bij de ecosysteem analyse brengt men naast directe en indirecte energie ook zonne-energie in rekening. Het aandeel direct en indirect energieverbruik is t.o.v. de input aan zonne-energie een verwaarloosbare component: de verhouding geïnvesteerde energie/zonne-energie is van de grootteorde 10^{-10} (Uhlin, 1999). De hoeveelheid voor de plant bruikbare zonne-energie is per ha nog 1000 keer groter dan de input van directe en indirecte energie (Uhlin, 1998). Nochtans zijn we vaak juist geïnteresseerd in de geïnvesteerde energie, omdat zonne-energie in principe een onuitputtelijke bron is.
4. Thermodynamische analyse. Bij deze methode worden alle mogelijke energie-inputs (directe, indirecte, zonne-energie, arbeid) en alle energiestromen in rekening gebracht.

De energie van menselijke arbeid wordt meestal niet in rekening gebracht bij het bepalen van energiebalansen in landbouwkundige productiesystemen (Hülsbergen et al., 2001). Er bestaan immers vele verschillende methodes om de energiekost van menselijke arbeid te bepalen en de resultaten kunnen aanzienlijk verschillen, afhankelijk van wat allemaal in rekening wordt gebracht. Bovendien stellen Refsgaard et al. (1998) dat energie onder vorm

van menselijke arbeid en fossiele energie te verschillend zijn van elkaar om in dezelfde eenheden te worden uitgedrukt.

In de wetenschappelijke literatuur met betrekking tot energieverbruik in landbouwproductie-systemen overheerst de methode van proces analyse. Ook in onze studie passen we deze techniek toe.

2.5. Energieverbruik meten: indicatoren uit de literatuur

2.5.1. *Totaal energieverbruik*

Dit is de totale hoeveelheid directe en indirecte energie geïnvesteerd tijdens de landbouwproductie. Deze indicator kan bv. op jaarbasis berekend worden, waarbij de som wordt gemaakt van alle geïnvesteerde energie voor alle landbouwactiviteiten van dat jaar.

2.5.1.1. Direct energieverbruik

Het directe energieverbruik kunnen we berekenen uit de hoeveelheid brandstof of elektriciteit gebruikt tijdens het productieproces (methode toegepast door Maertens en Van Lierde, 2003). Het energieverbruik wordt dan berekend door de verbruikte hoeveelheden van de verschillende energiedragers te vermenigvuldigen met hun respectieve energie-inhouden (zie Annex I).

Een andere mogelijkheid om het directe energieverbruik te bepalen is door gebruik te maken van schattingen van het energieverbruik per eenheid van productie (bv. ha, liter melk, ...) of per dier, op basis van literatuurgegevens (methode toegepast door Aernouts en Jespers, 2004). Het directe energieverbruik wordt dan berekend door het energieverbruik per productie-eenheid te vermenigvuldigen met de geproduceerde hoeveelheden.

Een derde optie is het directe energieverbruik te bepalen aan de hand van schattingen van verbruikte hoeveelheden brandstof per uitgevoerde bewerking tijdens het teeltproces op basis van literatuurgegevens. Bij deze methode moeten de verschillende uitgevoerde bewerkingen tijdens het productieproces bijgehouden worden. Het energieverbruik voor een bepaalde bewerking kan echter verschillen per gewas en per bodemtype. Onder andere Dalgaard et al. (2001), Hülsbergen et al. (2001) en Wells (2001) geven cijfers weer over energieverbruik voor verschillende landbouwkundige bewerkingen.

2.5.1.2. Indirect energieverbruik

Hieronder verstaan we het energieverbruik tijdens de productie en het transport van inputs voor landbouwproductie, zoals machines, zaden, meststoffen en pesticiden. We kunnen het indirecte energieverbruik berekenen aan de hand van de gebruikte hoeveelheden inputs en het energieverbruik voor productie en transport van deze inputs (zie Annex II).

2.5.2. *Energieproductiviteit of energie-intensiteit*

Deze indicator relateert het totale (direct en indirect) energieverbruik met de totale hoeveelheid (massa of volume) geproduceerde landbouwproducten (Wells, 2001). *In deze studie definiëren we energieproductiviteit als de totale hoeveelheid geproduceerde landbouwproducten per eenheid van geïnvesteerde energie.* Een verbetering van de energieproductiviteit kan dan het gevolg zijn van een lager energieverbruik voor eenzelfde geproduceerde hoeveelheid, maar kan ook wijzen op meer productie bij eenzelfde hoeveelheid geïnvesteerde energie, bv. door verbeterde technologieën of management systemen (MacGregor et al., 2000). FAO (2000) noemt deze indicator de *energie-intensiteit*³.

2.5.3. *Energie-efficiëntie of energieratio*

De energie-efficiëntie of energieratio drukt uit hoeveel energie wordt geproduceerd per eenheid van geïnvesteerde energie (Conforti en Giampietro, 1997; García Ciudad et al., 2003). De geproduceerde energie is deze die is opgeslagen als potentiële energie in de biomassa van plantaardige of dierlijke producten. Soms wordt de verhouding omgedraaid, nl. energieverbruik per eenheid van geproduceerde energie (Wells, 2001; Ozkan et al., 2003). De energie-inhoud van enkele dierlijke en plantaardige producten geven we weer in Annex III.

2.5.4. *CO₂-emissie*

Emissie van CO₂ is nagenoeg volledig afkomstig van de verbranding van fossiele brandstoffen. Deze parameter is dus een indicator van de milieubelasting door het gebruik van fossiele brandstoffen. De CO₂-emissie kan absoluut beschouwd worden, of we kunnen de emissie weergeven per eenheid product (*emissie-intensiteit*) of per oppervlakte-eenheid. We kunnen de totale (jaarlijkse) CO₂-emissie berekenen op basis van het totale brandstofverbruik (voor direct energieverbruik, Maertens en Van Lierde, 2003), of aan de hand van emissiefactoren per eenheid input (voor indirect energieverbruik).

2.5.5. *Aandeel hernieuwbare energiebronnen*

In een aantal studies gebruikt men het aandeel van energie uit hernieuwbare bronnen op het totale energieverbruik als indicator voor duurzaam energieverbruik (Wells, 2001; EMA, 2002).

³ Volgens andere benaderingen (o.a. WEC, 2001; Odyssee, 2003) is *energie-intensiteit* de verhouding tussen de hoeveelheid geïnvesteerde energie en de voortgebrachte economische toegevoegde waarde (of andere maten van economische activiteit). Deze economische ratio's worden meestal gebruikt om energie-efficiënties te vergelijken op grote schaal (bv. om verschillende landen of sectoren te vergelijken).

3. Energieverbruik op Vlaamse landbouwbedrijven

In dit hoofdstuk gaan we de bruikbaarheid na van een aantal indicatoren voor energieverbruik op Vlaamse landbouwbedrijven, nl. totaal energieverbruik, energieproductiviteit en energie-efficiëntie. We onderzoeken welke gegevens nodig zijn voor het berekenen van de indicatoren, hoe we deze gegevens moeten verzamelen op de bedrijven, welke gegevens er al aanwezig zijn en welke er nog ontbreken.

De hoeveelheid energie die op een landbouwbedrijf wordt verbruikt en de manier waarop ze wordt verbruikt, is sterk afhankelijk van het bedrijfstype en de productierichting. De maatregelen die kunnen genomen worden om het energieverbruik te verminderen of efficiënter toe te passen, kunnen ook verschillen per productierichting. Het is daarom niet zinvol om het energieverbruik op “een gemiddeld landbouwbedrijf” in Vlaanderen te bepalen.

In onze studie berekenen we daarom het energieverbruik voor verschillende productierichtingen afzonderlijk: we beschouwen het energieverbruik op gespecialiseerde melkveebedrijven, gespecialiseerde akkerbouwbedrijven en gespecialiseerde varkensbedrijven. Voor elke productierichting berekenen we de indicatoren voor een representatieve set bedrijven, op basis van gegevens van het landbouwboekhoudnet van het CLE (Centrum voor Landbouweconomie) en we vergelijken het gemiddelde energieverbruik in 1989-1990 met dat in 2000-2001 (of 1997-1998 voor gespecialiseerde varkenshouderij).

3.1. De onderzochte bedrijven

De gespecialiseerde melkveebedrijven uit het CLE boekhoudnet zijn bedrijven waarvan minstens 95% van het arbeidsinkomen afkomstig is uit melkveehouderij. Deze bedrijven zijn dezelfde als in onze studie over N-efficiëntie op melkveebedrijven (Verbruggen et al., 2004). Voor alle bedrijven berekenden we het directe en indirecte energieverbruik in 1989-1990 en in 2000-2001.

De Vlaamse gespecialiseerde akkerbouwbedrijven uit het CLE boekhoudnet zijn bedrijven waarvan minstens twee derden van het bruto standaardsaldo⁴ (BSS) afkomstig is uit het telen van akkerbouwgewassen (OOPEC, 1999). Ook hier berekenden we het energieverbruik in 1989-1990 en in 2000-2001.

Gespecialiseerde varkensbedrijven zijn bedrijven waarvan minstens twee derden van het bruto standaardsaldo afkomstig is uit de varkenshouderij (OOPEC, 1999). Voor deze bedrijven in het CLE-boekhoudnet berekenden we het directe en indirecte energieverbruik in 1989-1990 en in 1997-1998. In Tabel 3.1 geven we enkele algemene kenmerken weer van de onderzochte bedrijven.

⁴ Het bruto saldo van een activiteit van een bedrijf is de in geldwaarde uitgedrukte totaalopbrengst van die activiteit verminderd met de bijhorende specifieke kosten. Het gemiddelde van het bruto saldo in een bepaalde regio noemt men het bruto standaardsaldo (Lepoutre et al., 2004).

3. Energieverbruik op Vlaamse landbouwbedrijven

Tabel 3.1. Bedrijfskarakteristieken van de gespecialiseerde Vlaamse melkvee-, akkerbouw en varkensbedrijven uit het CLE-boekhoudnet voor de onderzochte jaren

	eenheid	1989	1990	2000	2001
<i>melkveehouderij</i>					
aantal bedrijven		169	165	78	69
beteelde oppervlakte	ha	28	28	32	32
gemiddeld aantal melkkoeien		48,4	48,4	52,5	51,8
gemiddelde melkproductie	l/koe	5319	5365	6017	5827
gemiddelde melkproductie	l/ha	9607	9567	10043	9643
<i>Akkerbouw</i>					
aantal bedrijven		64	57	55	50
beteelde oppervlakte*	ha	50	52	63	65
gemiddeld aantal teelten		7	7	7	7
<i>varkenshouderij</i>					
aantal bedrijven		85	98	97	98
gemiddelde veebezetting	mestvarken-equivalent**	675	792	1207	1249

* Dit is de som van de oppervlaktes van alle teelten in de rotatie. Gezien er op 1 jaar meerdere gewassen na elkaar kunnen geteeld worden op eenzelfde basisoppervlakte, kan deze oppervlakte groter zijn dan de bedrijfsoppervlakte.

** mestvarkenequivalent = gemiddelde veebezetting jonge zeugen + (gemiddelde veebezetting fokzeugen x 2) + (gemiddelde veebezetting beren x 1,5) + gemiddelde veebezetting mestvarkens

3.2. Berekeningsmethode

Voor elk bedrijf berekenden we het direct en indirect energieverbruik. Een moeilijkheid hierbij is het precies definiëren van de systeemgrenzen, m.a.w. hoe ver gaan we terug rekenen. Moeten we bv. het energieverbruik in rekening brengen voor de productie van inputs die gebruikt worden bij de productie van minerale meststoffen? Volgens Refsgaard et al. (1998) vertegenwoordigen de laatste twee stappen in een landbouwproductieproces meer dan 90% van het totale fossiele energieverbruik. Daarom beperken we ons in deze studie tot het energieverbruik op het bedrijf zelf (direct energieverbruik = laatste stap in het productieproces) en het energieverbruik bij productie van inputs (indirect energieverbruik = voorlaatste stap in het productieproces).

3.2.1. Direct energieverbruik

Dit is de hoeveelheid energie die rechtstreeks op het bedrijf wordt verbruikt tijdens landbouwwerkzaamheden en omvat het energieverbruik onder vorm van mazout (verbruikt op het bedrijf zelf, ofwel door de landbouwer, ofwel door de loonwerker), smeermiddelen⁵, elektriciteit en andere energiebronnen.

⁵ We beschouwen smeermiddelen als een vorm van direct energieverbruik, aangezien het olieproducten zijn. Het zijn dus eigenlijk fossiele brandstoffen die tijdens de werkzaamheden op het bedrijf worden verbruikt.

- Energieverbruik onder vorm van mazout: Dit berekenden we op basis van het aantal liter stookolie⁶ dat op het bedrijf werd verbruikt als brandstof voor tractoren en overige werktuigen en voor verwarming van stallen. Voor de boekjaren 2000 en 2001 was de verbruikte hoeveelheid stookolie gekend, voor 1989 en 1990 kenden we enkel de kosten (in BEF) die de landbouwer had gemaakt voor de aankoop van mazout. Op basis van de prijs van stookolie in 1989 en 1990 (Ministerie van Landbouw, 1991) konden we de verbruikte hoeveelheden berekenen.

We vermenigvuldigden de verbruikte hoeveelheden (in liter) met de totale energie-inhoud van lichte stookolie. De totale energie-inhoud is de hoeveelheid energie die vrijkomt bij de verbranding van de brandstof (deze waarden geven we weer in Annex I), vermeerderd met de hoeveelheid energie die nodig is voor de productie van de brandstof zelf. Voor olieproducten kunnen we veronderstellen dat ze allen ongeveer dezelfde productie-efficiëntie hebben, aangezien ze allen worden afgeleid van dezelfde primaire grondstof: ruwe olie (Boustead, 2003). De productie-efficiëntie is de hoeveelheid geïnvesteerde energie voor de productie van de brandstof per eenheid bruikbare energie door de brandstof geleverd. Voor olieproducten vonden we hiervoor een waarde terug van 0,072 MJ geïnvesteerde energie per MJ geleverde energie (Boustead, 2003). De energie-inhoud van stookolie is gelijk aan 37,95 MJ/liter (gemiddelde waarde van de literatuurbronnen in Annex I).

Het totale energieverbruik (MJ) onder vorm van mazout berekenen we dus als:

$$x * 37,95 * 1,072 = x * 40,68$$

waarbij x gelijk is aan de totale verbruikte hoeveelheid mazout (l).

- Energieverbruik onder vorm van loonwerk: In het ideale geval kent men de hoeveelheid mazout die door de loonwerker werd verbruikt bij het uitvoeren van de bewerkingen. Uit het CLE boekhoudnet kennen we enkel voor elke teelt de kosten voor loonwerk. Gebaseerd op de Haan en Feikema (2001), die een gemiddeld energieverbruik bij loonwerk vonden van 10,5 MJ/€ (zie Annex II), berekenden we het energieverbruik onder vorm van loonwerk (MJ) als volgt:

$$x * 10,5$$

waarbij x gelijk is aan de kosten voor loonwerk (€)

- Energieverbruik onder vorm van smeermiddelen: In het ideale geval is de hoeveelheid verbruikte smeermiddelen gekend. Aangezien de hoeveelheid verbruikte smeermiddelen echter niet gekend is in het CLE boekhoudnet, gebruikten we de omrekeningscoëfficiënt van Dalgaard et al. (2001): 3,6 MJ per liter verbruikte diesel (zie Annex I). We berekenden het energieverbruik onder vorm van smeermiddelen (MJ) dan als volgt:

⁶ De termen mazout, (lichte) stookolie en diesel worden door elkaar gebruikt, het gaat hier telkens om dezelfde brandstof.

$$x * 3,6$$

waarbij x gelijk is aan de totale verbruikte hoeveelheid mazout (l).

- Energieverbruik onder vorm van elektriciteit: Voor de boekjaren 2000 en 2001 was de hoeveelheid verbruikte elektriciteit op het bedrijf gekend (in kWh). Voor 1989 en 1990 kenden we enkel de kosten voor elektriciteit. Op basis van de kWh-prijs [10] konden we ook voor deze boekjaren de hoeveelheid verbruikte elektriciteit berekenen.

Met de volgende gegevens:

- 1 kWh elektriciteit komt overeen met 3,6 MJ (zie Annex I).
- In België werd in 2001 38% van de elektriciteit opgewekt op basis van fossiele brandstoffen. De overige 62% kwamen uit kernsplijtstof (58%), waterkracht en pompcentrales (2%) en hernieuwbare energiebronnen en recuperatie (2%) ([2], [14]).
- Voor de elektriciteitsproductie uit kernenergie is de geïnvesteerde energie voor de ontginning, transport en verrijking van het uranium verwaarloosbaar t.o.v. de geleverde energie (Commissie AMPERE, 2000). De energie-efficiëntie voor de elektriciteitsproductie uit fossiele brandstoffen bedraagt ongeveer 40% (Boustead, 2003; [15]), dat betekent dat er voor elke MJ geproduceerde energie onder vorm van elektriciteit 2,5 MJ aan energie onder vorm van fossiele brandstoffen is geïnvesteerd.

berekenen we de energie-inhoud van elektriciteit (MJ/kWh) als volgt:

$$y = 0,62 * 3,6 + 0,38 * 3,6 * 2,5 = 5,65^7$$

Het direct energieverbruik onder vorm van elektriciteit (MJ) kan berekend worden als:

$$x * 5,65$$

waarbij x gelijk is aan de verbruikte hoeveelheid elektriciteit (kWh).

- Energieverbruik onder vorm van andere energiebronnen: Dit omvat “het aantal megajoules van alle overige energie verbruikt voor beroepsdoeleinden gedurende het boekjaar” (definitie in CLE boekhoudnet) en omvat hoofdzakelijk energieverbruik onder vorm van aardgas. Deze parameter is niet beschikbaar voor de boekjaren 1989-1990, als schatting nemen we de gemiddelde waarde van het energieverbruik onder vorm van andere energiebronnen uit de periode 2000-2001. Gezien het geringe aandeel van deze

⁷ Aangezien de aandelen geproduceerde energie uit fossiele brandstoffen en uit andere energiebronnen jaarlijks kunnen wijzigen, zal deze totale energie-inhoud eveneens jaarlijks moeten herrekend worden. Zo bedroeg in 1998 het aandeel elektriciteit uit fossiele brandstoffen 41,5%; dit brengt de totale energie-inhoud van de Belgische elektriciteit in dat jaar op *5,84 MJ/kWh*. Voor het jaar 2000 bedroeg het aandeel uit fossiele brandstoffen 39,4%, wat de totale energie-inhoud op *5,73 MJ/kWh*. Ook een verhoogde introductie van het gebruik van warmtekrachtkoppeling (WKK), waardoor de energie-efficiëntie van de elektriciteitscentrales fors kunnen stijgen, zal in rekening moeten gebracht worden.

factor in het totale energieverbruik voor de jaren 2000 en 2001 (zie resultaten), mogen we aannemen dat we met deze schatting in 1989-1990 geen grote fout maken.

3.2.2. Indirect energieverbruik

Onder indirecte energie verstaan we de hoeveelheid energie die wordt verbruikt voor de productie van de geïnvesteerde hulpbronnen bij landbouwproductie. In onze studie hielden we rekening met de volgende posten van indirect energieverbruik: productie van minerale meststoffen, zaden, bestrijdingsmiddelen, veevoeders en machines.

- Productie van minerale meststoffen: In de CLE boekhoudingen vinden we de verbruikte eenheden (kg) minerale N, P₂O₅ en K₂O voor de diverse teelten van het betreffende boekjaar. Op basis van deze hoeveelheden en de energie nodig voor de productie van deze meststoffen (gemiddelden van de waarden uit Annex II) - konden we het energieverbruik berekenen voor de productie van de gebruikte minerale meststoffen (MJ):

$$x * 55,3 + y * 15,8 + z * 9,3$$

waarbij x = kg N, y = kg P₂O₅ en z = kg K₂O. Uit bovenstaande cijfers blijkt dat voornamelijk de productie van N-meststoffen veel energie vereist.

- Productie van zaden: In het CLE boekhoudnet vinden we voor elk bedrijf de arealen van alle gewassen die tijdens het betreffende boekjaar werden geteeld. Op basis van de omrekeningscoëfficiënten voor de verschillende gewassen konden we het energieverbruik berekenen voor de productie van zaaizaden van de gewassen (zie Annex II voor een gedetailleerde bespreking van de omrekeningscoëfficiënten). Indien de omrekeningsfactor voor een bepaald gewas niet gekend was, werd een gemiddelde waarde gebruikt, op basis van de gekende coëfficiënten van de andere gewassen.
- Productie van bestrijdingsmiddelen: In het ideale geval is voor elke teelt gekend hoeveel bestrijdingsmiddelen er zijn gebruikt (uitgedrukt in kg a.s.). In dat geval moeten we enkel de verbruikte hoeveelheden vermenigvuldigen met het energieverbruik voor productie van bestrijdingsmiddelen (Annex II) om het energieverbruik te kennen. Deze gegevens zijn echter niet voorhanden in het CLE boekhoudnet. We maakten daarom gebruik van gegevens uit het Jaarrapport 2002-2003 van Phytofar [11], dat de gemiddelde hoeveelheid gebruikte actieve stof weergeeft van herbiciden, fungiciden en insecticiden voor de 4 belangrijkste teelten: granen, maïs, suikerbieten en aardappelen (zie Tabel 3.2). De arealen van deze teelten waren gekend uit de CLE boekhoudingen en het energieverbruik voor productie van bestrijdingsmiddelen berekenden we op basis van gegevens uit de literatuur (zie Annex II).

Tabel 3.2. Gemiddelde hoeveelheden gebruikte actieve stof van herbiciden, fungiciden en insecticiden (gemiddelden 1998-2002) voor granen, maïs, aardappelen en suikerbieten

gewas	herbiciden (kg a.s./ha)	fungiciden (kg a.s./ha)	insecticiden (kg a.s./ha)
granen	1,64	0,67	0,018
maïs	1,75	0	0,04
aardappelen	3,36	20,78	0,31
suikerbieten	4,20	0,23	0,21

We berekenden het energieverbruik voor bestrijdingsmiddelen voor deze teelten (MJ) dan als volgt:

$x * (1,64 * 276 + 0,67 * 214 + 0,018 * 278)$ voor granen,

$x * (1,75 * 276 + 0,04 * 278)$ voor maïs,

$x * (3,36 * 276 + 20,78 * 214 + 0,31 * 278)$ voor aardappelen en

$x * (4,20 * 276 + 0,23 * 214 + 0,21 * 278)$ voor suikerbieten

waarbij x gelijk is aan het areaal van de teelt (ha).

Voor andere teelten hadden we geen informatie over de hoeveelheid gebruikte actieve stof. Voor deze teelten kenden we wel de kosten voor bestrijdingsmiddelen uit de CLE boekhoudingen. We maakten een schatting van de verbruikte hoeveelheden op basis van een geschatte prijs per kg actieve stof (op basis van de gekende gegevens bij andere gewassen). Het energieverbruik voor bestrijdingsmiddelen voor deze gewassen (MJ) berekenden we dan als:

$y * 256$

waarbij y = geschatte hoeveelheid a.s. (kg) en 256 = gemiddeld energieverbruik voor productie van bestrijdingsmiddelen in MJ/kg a.s. (= gemiddelde van herbiciden, fungiciden en insecticiden).

- Productie van aangekocht krachtvoeder: Voor de melkveehouderij omvat dit het krachtvoeder voor melkkoeien en voor jongvee. In het ideale geval is gekend hoeveel kg krachtvoeder er werd verbruikt voor jongvee en melkvee apart. Uit het CLE boekhoudnet kennen we echter enkel de hoeveelheden (kg) aangekocht krachtvoeder voor melkkoeien. We gebruikten als omrekeningsfactor het energieverbruik per kg standaardbrok (= 6,3 MJ/kg, zie Annex II). Uit de publicatie van de Haan en Feikema (2001) blijkt immers dat standaardbrok meer dan 90% van het totale krachtvoederverbruik van melkkoeien inneemt. We veronderstelden hier ook dat alle toegediende krachtvoeder aangekocht is en er dus geen granen uit eigen bedrijf werden gebruikt. De hoeveelheid krachtvoeder voor jongvee was niet gekend. Uit eigen cijfers over krachtvoederverbruik op melkveebedrijven haalden we dat voor 1 vaars een hoeveelheid krachtvoeder wordt gebruikt die overeen komt met ongeveer 12% van de hoeveelheid voor 1 melkkoe. Gemiddeld over de bedrijven van het CLE boekhoudnet waren 8 vaarzen aanwezig per 10 melkkoeien. Met deze gegevens berekenden we het totale energieverbruik voor krachtvoeder voor melkkoeien en jongvee als volgt:

$$x * 6,3 + x * 6,3 * 0,8 * 0,12 = x * 6,9$$

waarbij x gelijk is aan de aangekochte hoeveelheid krachtvoeder voor melkkoeien (kg). Hierbij veronderstelden we eenzelfde energieverbruik voor de krachtvoederproductie voor jongvee en voor melkkoeien.

Voor de varkenshouderij berekenden we het energieverbruik voor voederproductie door de hoeveelheden gekocht voeder voor biggen, fokzeugen en mestvarkens (gekend uit het CLE boekhoudnet) te vermenigvuldigen met het respectieve energieverbruik voor productie van deze voeders (zie Annex II). De som van deze waarden gaf dan het totale energieverbruik voor productie van voeder gebruikt op een varkensbedrijf (MJ):

$$x * 6,0 + y * 3,7 + z * 3,4$$

waarbij x = kg voeder voor biggen, y = kg voeder voor fokzeugen en z = kg voeder voor mestvarkens.

- Productie van aangekocht ruwvoeder voor koeien: Uit de CLE boekhouding kennen we de kost voor de aankoop van ruwvoeder voor koeien. De hoeveelheden aangekocht ruwvoeder werden geschat, gebruik makend van de redenering zoals toegepast door Verbruggen et al. (2004). Het toegerekende energieverbruik voor aangekocht ruwvoeder bepaalden we op basis van een gemiddelde omrekeningsfactor (op basis van de waarden uit Annex II). Het energieverbruik voor het ruwvoeder dat op het bedrijf zelf wordt geproduceerd, zit verrekend in het energieverbruik van de betreffende teelten.
- Productie van machines: Dit energieverbruik konden we berekenen aan de hand van de hoeveelheid verbruikte mazout en de omrekeningsfactor uit Annex II (= 12 MJ/l diesel). Hierbij hielden we ook rekening met het energieverbruik voor productie van machines van de loonwerker, dat we berekenden op basis van de hoeveelheid verbruikte mazout door de loonwerker. Het totale energieverbruik voor productie van machines (MJ) werd dan als volgt berekend:

$$(x + y) * 12$$

waarbij x = aantal liter verbruikte diesel (l), y = aantal liter verbruikte diesel door de loonwerker (l) = kosten voor loonwerk (€) * 10,5 MJ/€ * 40,68⁻¹ (l/MJ).

Om bedrijven onderling te kunnen vergelijken, drukten we het totale energieverbruik uit per ha voor de gespecialiseerde melkvee- en akkerbouwbedrijven. Voor gespecialiseerde varkensbedrijven drukten we het energieverbruik uit t.o.v. de jaarlijkse gemiddelde veebezetting (mestvarkenequivalent) op het bedrijf. Deze wordt in de CLE databank berekend als volgt: *mestvarkenequivalent = gemiddelde veebezetting jonge zeugen + (gemiddelde veebezetting fokzeugen x 2) + (gemiddelde veebezetting beren x 1,5) + gemiddelde veebezetting mestvarkens.*

3.3. Resultaten

3.3.1. Energieverbruik op gespecialiseerde melkveebedrijven

3.3.1.1. Totaal energieverbruik

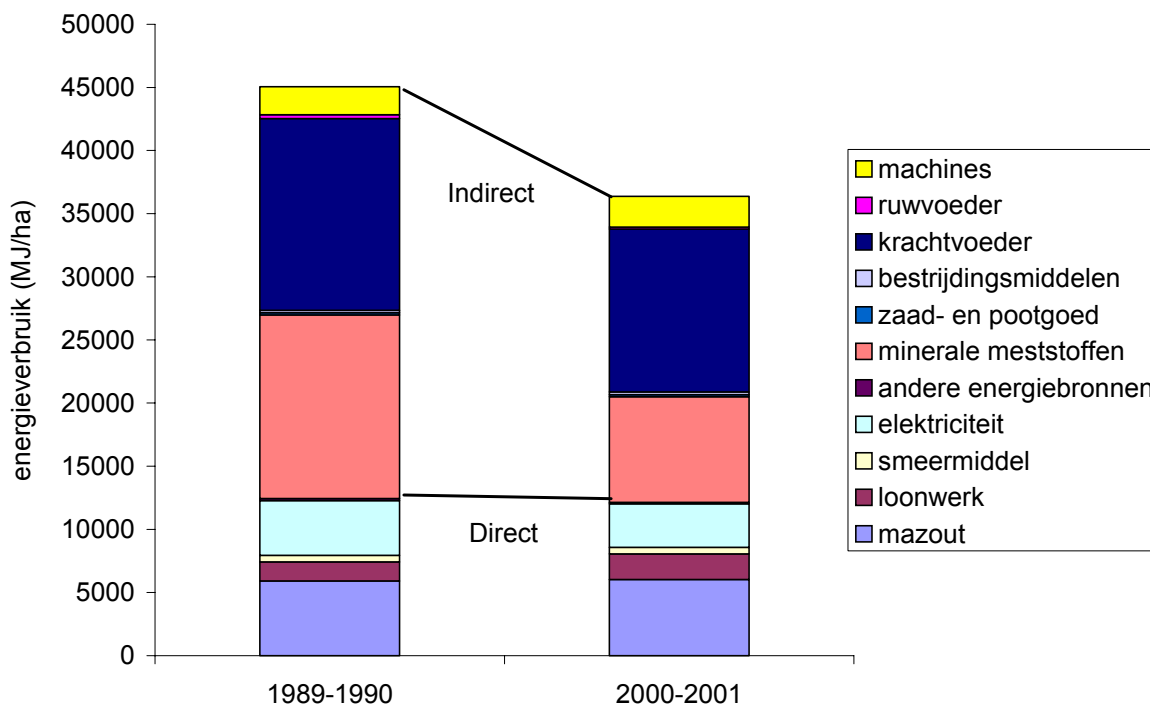
Volgens onze berekeningen verbruikte een “gemiddeld” melkveebedrijf in 2000-2001 36.372 MJ/ha (Tabel 3.3 en Figuur 3.1). Ook blijkt dat het indirecte energieverbruik met 66,6% het grootste aandeel in het totale energieverbruik op een melkveebedrijf inneemt. De productie van minerale meststoffen (vnl. N-meststoffen) en krachtvoeder zijn de grootste indirecte energieverbruiksposten. Energieverbruik onder vorm van mazout is de grootste directe energieverbruikspost.

Het directe energieverbruik in 2000-2001 is nagenoeg gelijk gebleven t.o.v. 1989-1990. Het indirecte energieverbruik is daarentegen sterk gedaald (- 8388 MJ/ha). Dit is voornamelijk te wijten aan een sterke daling van het gebruik van minerale meststoffen (- 6185 MJ/ha).

Het totale energieverbruik op een melkveebedrijf wordt dus in belangrijke mate bepaald door het gebruik van minerale meststoffen en krachtvoeder. Samen vertegenwoordigen ze 66% van het totale energieverbruik in 1989-1990 en 58,5% van het energieverbruik in 2000-2001. In 2000-2001 is het aandeel van direct energieverbruik toegenomen t.o.v. 1989-1990, voornamelijk ten gevolge van een afname van het indirect energieverbruik.

Tabel 3.3. Gemiddeld energieverbruik van de gespecialiseerde Vlaamse melkveebedrijven uit het CLE boekhoudnet in 1989-1990 en 2000-2001

	1989-1990		2000-2001	
	MJ/ha	%	MJ/ha	%
direct energieverbruik				
mazout	5919	13,1	6031	16,6
loonwerk	1503	3,3	2013	5,5
smeermiddel	524	1,2	534	1,5
elektriciteit	4345	9,6	3458	9,5
andere energiebronnen	149	0,3	109	0,3
totaal	12440	27,5	12144	33,4
indirect energieverbruik				
productie minerale meststoffen	14549	32,3	8364	23,0
productie zaden	165	0,4	163	0,4
productie bestrijdingsmiddelen	189	0,4	220	0,6
productie aangekocht krachtvoeder	15182	33,7	12897	35,5
productie aangekocht ruwvoeder	302	0,7	161	0,4
productie machines	2228	4,9	2424	6,7
totaal	32616	72,4	24228	66,6
totaal energieverbruik	45056	100	36372	100



Figuur 3.1. Gemiddeld energieverbruik per ha volgens de verschillende energieverbruiksposten, voor de gespecialiseerde Vlaamse melkveebedrijven uit de CLE dataset voor de periode 1989-1990 en 2000-2001

3.3.1.2. Energieverbruik vs. melkproductie

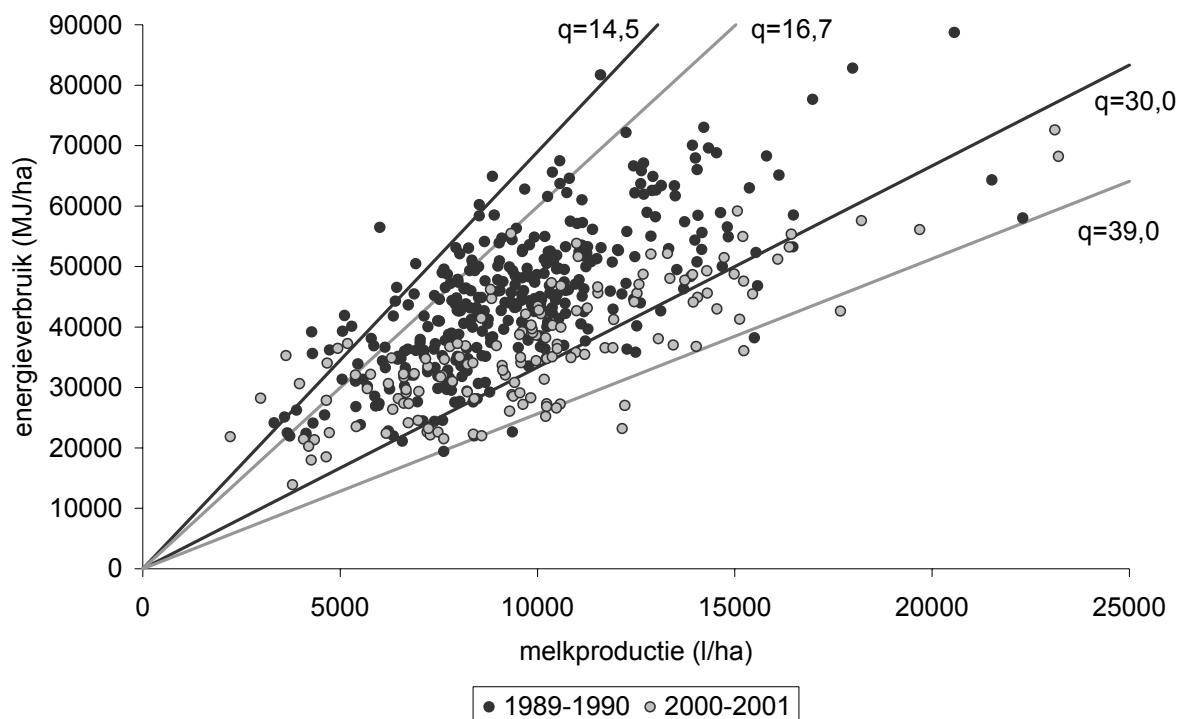
Uit Figuur 3.2 blijkt dat er een (logisch) positief verband bestaat tussen het totale energieverbruik per ha en de geproduceerde hoeveelheid melk per ha.

In 1989-1990 heeft 90% van de onderzochte bedrijven een energieproductiviteit tussen 14,5 en 30,0 liter melk per 100 MJ. De gemiddelde energieproductiviteit bedraagt 21,6 liter melk per 100 MJ. In 2000-2001 heeft 90% van de bedrijven een energieproductiviteit tussen 16,7 en 39,0 liter melk per 100 MJ, met een gemiddelde van 27,1 liter melk per 100 MJ. In 2000-2001 wordt bij eenzelfde energieverbruik dus een grotere hoeveelheid melk geproduceerd.

In vergelijkbare studies vonden we waarden terug voor energieproductiviteit variërend tussen 16 kg melk/100 MJ⁸ (Hageman en Mandersloot, 1994) en 31 kg melk/100 MJ (Halberg, 1999; Koskamp et al., 2000). Volgens berekeningen uitgevoerd door Hageman (1994) bestaat er voor de energieproductiviteit op een melkveebedrijf een range van 13 tot 27 kg melk per 100 MJ. Uit onderzoek naar energieverbruik bij variaties in mechanisatie, ruwvoederteelt en -winning (Hageman et al., 1995) blijkt dat bij beregenen van grasland het directe energieverbruik per kg melk sterk stijgt en dat bij de teelt van krachtvoedervervangers het indirecte energieverbruik daalt.

⁸ dichtheid van melk = 1,04 kg/liter

3. Energieverbruik op Vlaamse landbouwbedrijven



Figuur 3.2. Totaal energieverbruik per ha t.o.v. de geproduceerde hoeveelheid melk per ha voor alle gespecialiseerde melkveebedrijven uit de CLE dataset voor de jaartallen 1989, 1990, 2000 en 2001; q = energieproductiviteit (l melk/100 MJ)

Tabel 3.4. Algemene kenmerken, energieverbruik en melkproductie op de 5% minst energieproductieve en de 5% meest energieproductieve Vlaamse gespecialiseerde melkveebedrijven uit de CLE-dataset (voor de jaartallen 1989, 1990, 2000 en 2001); $n = 483$.

	5% minst energie-productieve bedrijven	5% meest energie-productieve bedrijven	algemeen gemiddelde
beteelde oppervlakte (ha)	30,4	28,9	29,1
gemiddeld aantal melkkoeien	38,9	55,9	49,6
energieverbruik (MJ/ha) onder vorm van			
mazout	8922	4511	5953
loonwerk	1300	1978	1659
smeermiddel	790	399	527
elektriciteit	3374	3605	4074
andere energiebronnen	624	53	137
minerale meststoffen	12796	7896	12659
zaad- en pootgoed	155	135	164
bestrijdingsmiddelen	164	189	199
aangekocht krachtvoeder	10151	9955	14484
aangekocht ruwvoeder	117	496	259
machines	3049	1965	2288
totaal energieverbruik per ha (MJ/ha)	41441	31182	42402
aantal liter melk per ha (l/ha)	5436	12104	9669
aantal liter melk per koe (l/koe)	4070	5986	5521
energieproductiviteit (l/100 MJ)	13,0	39,1	23,3
bruto toegevoegde waarde (€/100 l)	22,96	26,35	22,28

In vergelijking met het algemeen gemiddelde hebben de minst energieproductieve bedrijven een hoog direct energieverbruik onder vorm van mazout en een lage melkproductie (zowel per koe als per ha; Tabel 3.4). Het krachtvoederverbruik op deze bedrijven is laag en vergelijkbaar met het verbruik op de meest energieproductieve bedrijven. Aangezien het totale energieverbruik per ha vergelijkbaar is met het algemene gemiddelde, is de lage melkproductie (in het bijzonder op ha-basis: 5436 l/ha) hier de voornaamste oorzaak van de lage energieproductiviteit. De veebezetting op deze bedrijven is laag: slechts 1,3 melkkoeien per ha, in vergelijking met een algemeen gemiddelde van 1,7.

De meest energieproductieve bedrijven hebben een laag energieverbruik, voornamelijk veroorzaakt door een laag verbruik van minerale meststoffen en krachtvoeder. Het energieverbruik voor aangekocht ruwvoeder is op deze bedrijven daarentegen een stuk hoger in vergelijking met het algemeen gemiddelde. Ondanks een krachtvoederverbruik dat lager ligt dan het algemeen gemiddelde, behalen deze bedrijven toch een gemiddelde melkproductie. De melkproductie per ha is op deze bedrijven hoog (12104 l/ha), wat een gevolg is van de hoge veebezetting van 1,9 melkkoeien per ha.

Uit Tabel 3.4 blijkt eveneens dat de meest energieproductieve bedrijven de hoogste bruto toegevoegde waarde⁹ per liter melk hebben. Voor de onderzochte bedrijven uit onze dataset gaat een energie-efficiënt management dus samen met een goede of zelfs betere economische bedrijfsvoering.

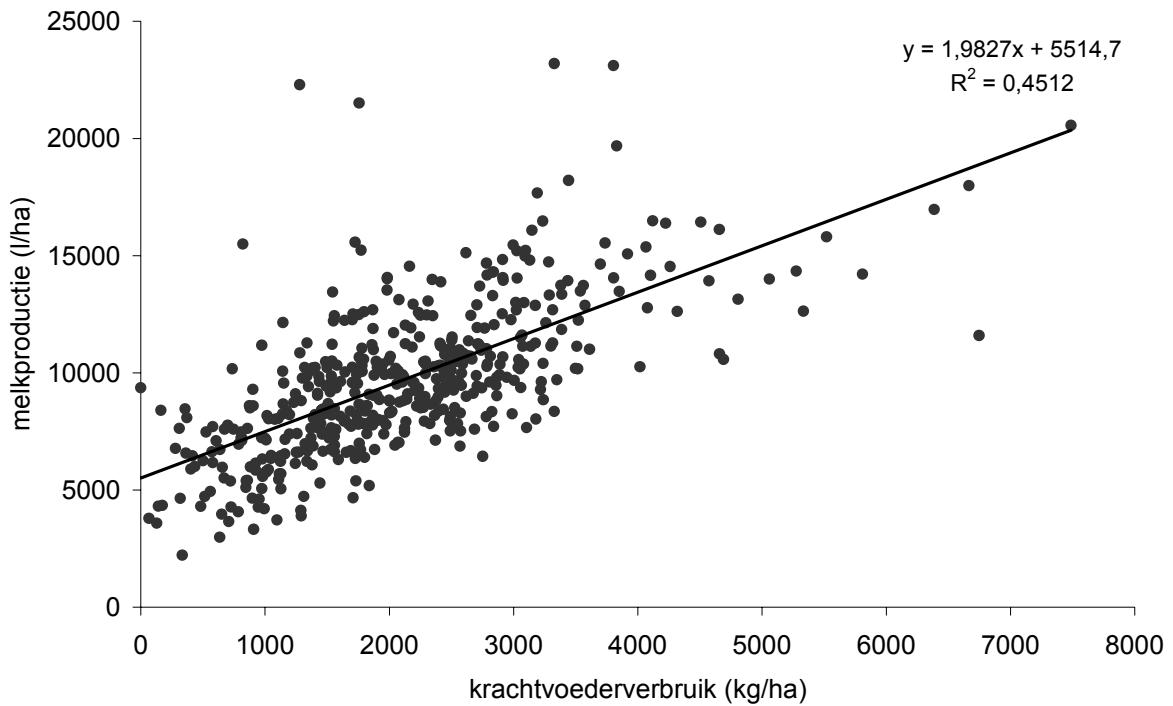
3.3.1.3. Besluiten

Het totale **energieverbruik** op een melkveebedrijf wordt in grote mate bepaald door het indirecte energieverbruik onder de vorm van minerale meststoffen en krachtvoeder. De grootste verbruiksposten van directe energie zijn mazout- en elektriciteitsverbruik. Uit de resultaten blijkt dat in 2000-2001 het totale energieverbruik op de Vlaamse gespecialiseerde melkveebedrijven fors was gedaald t.o.v. 1989-1990. Deze daling was voornamelijk het gevolg van een daling in het gebruik van minerale meststoffen (gemiddelde 193 kg N per ha in 2000-2001 t.o.v. 238 kg N per ha in 1989-1990).

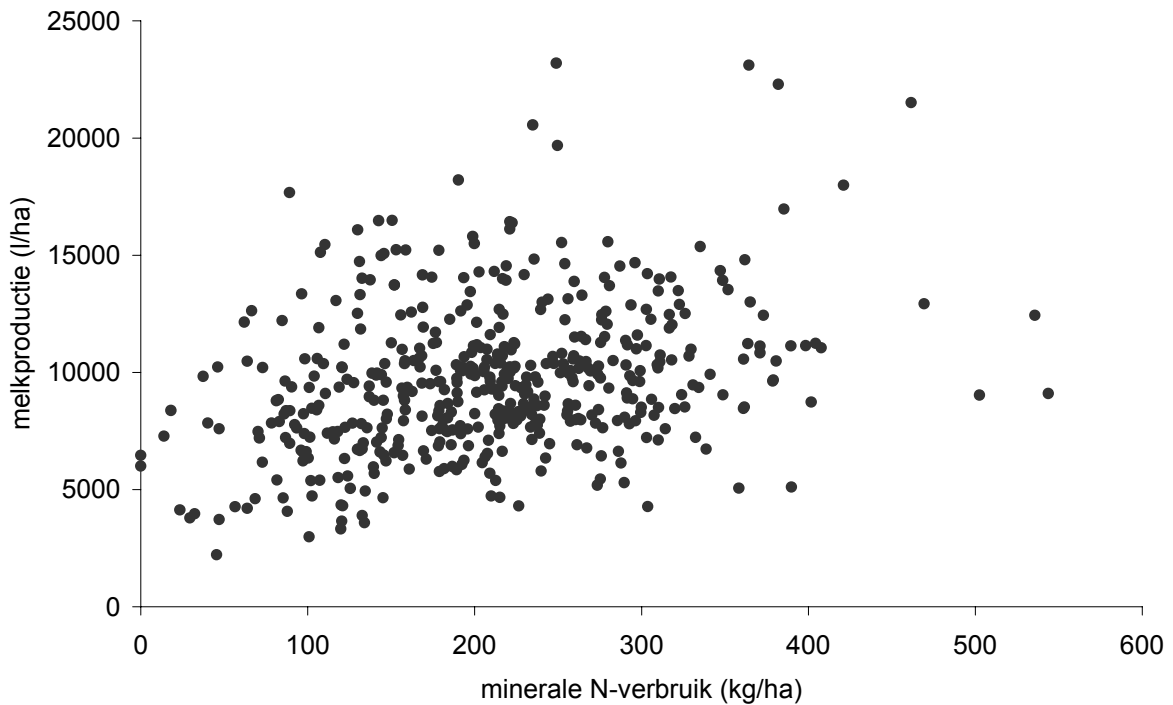
Een Vlaams melkveebedrijf kan dus veel besparen op energieverbruik door een **verminderd gebruik van minerale meststoffen en krachtvoerders**. Verbruggen et al. (2004) tonen echter aan dat een verminderd krachtvoederverbruik ook een daling in de melkproductie kan veroorzaken. Dit vinden wij ook terug uit onze analyses: bedrijven met een laag krachtvoederverbruik hebben over het algemeen ook een lage melkproductie (zie Figuur 3.3). Op bedrijven met een laag gebruik van minerale meststoffen werd daarentegen geen duidelijke daling van de melkproductie vastgesteld (zie Figuur 3.4). Een daling van de minerale bemesting kan het totale energieverbruik dus sterk terugdringen, zonder vermindering van de melkproductie (dus zonder negatieve economische gevolgen). Naast

⁹ De toegevoegde waarde wordt berekend door de waarde van de productie te verminderen met het intermediair verbruik (dit zijn de kosten van handelsgoederen, verbruikte grond- en hulpstoffen, diensten en diverse goederen). Het adjectief "bruto" wijst erop dat de afschrijvingen en andere niet-kaskosten niet tot het intermediair verbruik worden gerekend (Ooghe en Van Wymeersch, 2001).

een daling in het energieverbruik, draagt een verminderde minerale bemesting eveneens aanzienlijk bij tot een daling van de stikstofoverschotten (Verbruggen et al., 2004).



Figuur 3.3. Relatie tussen het krachtvoederverbruik per ha en de melkproductie per ha voor de gespecialiseerde Vlaamse melkveebedrijven tijdens de periodes 1989-1990 en 2000-2001



Figuur 3.4. Relatie tussen het minerale N-gebruik en de melkproductie per ha voor de gespecialiseerde Vlaamse melkveebedrijven tijdens de periodes 1989-1990 en 2000-2001

De meest energieproductieve bedrijven zijn deze die een laag energieverbruik combineren met een hoge melkproductie. Zoals blijkt uit onze analyses besparen deze bedrijven voornamelijk energie door een verminderde minerale N bemesting en een verminderd krachtvoerdersverbruik. Ondanks het verminderde krachtvoerdersverbruik hebben deze bedrijven een gemiddelde melkproductie per koe, wat kan bereikt worden door een goede voeding, een goed fokkerijbeleid of een hoge ruwvoedermelkproductie. Een hoge veebezetting leidt op deze bedrijven tot een hoge melkproductie per ha.

De minst energieproductieve bedrijven vertonen een gemiddeld totaal energieverbruik, maar hebben een lage melkproductie per koe, en nog sterker per ha, veroorzaakt door een lage veebezetting.

Uit onze analyse blijkt dat de meest energieproductieve bedrijven gekenmerkt worden door een hoge melkproductie per ha, het zijn dus vrij intensieve bedrijven (gemiddeld 12104 l/ha). De minst energieproductieve bedrijven worden gekenmerkt door een lage veebezetting en een lage melkproductie per koe en per ha (gemiddeld 5436 l/ha). Op deze eerder extensieve bedrijven was het energieverbruik dus het minst efficiënt.

De energie-efficiëntie van de onderzochte bedrijven gaat samen met de economische prestatie van de bedrijven: de meest energieproductieve bedrijven hebben een hoger dan gemiddelde bruto toegevoegde waarde per liter melk.

3.3.1.4. Maatregelen om energie te besparen op een melkveebedrijf

Uit onze resultaten blijkt dat een melkveebedrijf het meest energie kan besparen door een verminderde minerale N bemesting. Een verminderd krachtvoerdersverbruik is ook energiebesparend, maar deze maatregel is misschien minder doeltreffend op lange termijn, omdat hier een kans bestaat op een daling van de melkproductie. Door minder mazout te verbruiken kan ook een significante daling in het energieverbruik gerealiseerd worden.

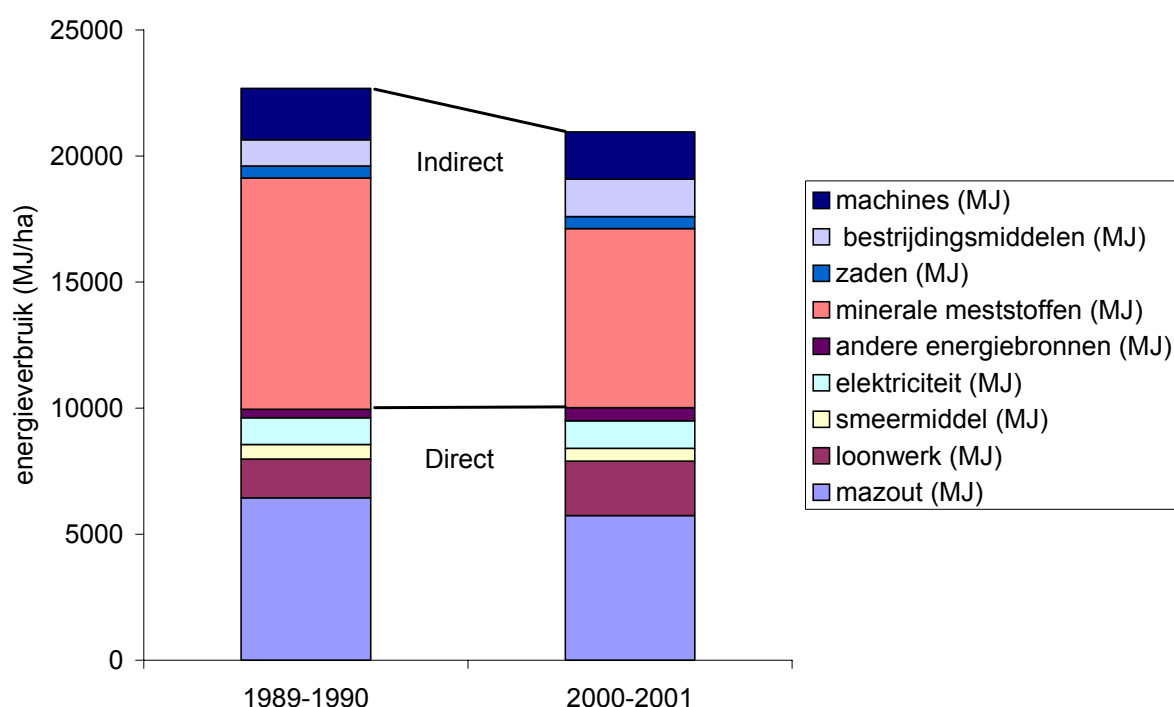
Hoewel energieverbruik onder vorm van elektriciteit slechts minder dan 10% van het totale energieverbruik op een melkveebedrijf vertegenwoordigt, kan het toch zinvol zijn om hier ook enkele energiebesparende maatregelen te nemen. De melkkoeling, verwarming van het spoelwater en de vacuümpomp (melkmachine) zijn de grootste elektriciteitsverbruikers op een melkveebedrijf (Gemengde Intercommunales en Electrabel, 2000; de Haan en Feikema, 2001; De Bruyne, 2004). Tijdens de melkwinning kan energie bespaard worden door de melkpomp te voorzien van een toerentalregeling, waardoor men tot een derde kan besparen op het elektrische verbruik. Bij de melkkoeling is het in de eerste plaats belangrijk om de koeltank en/of de koelgroep in een koele omgeving te plaatsen, daarnaast is een belangrijke mogelijkheid om energie te besparen het plaatsen van een voorcoeler, waardoor tot 40% energie kan bespaard worden. Voor de warmwaterbereiding bestaan vele energiebesparende maatregelen: isoleren van boilers en waterleidingen, het plaatsen van een koeltank met warmtewisselaar, waarbij de warmte die vrijkomt tijdens de melkkoeling wordt gerecupereerd voor de opwarming van het spoelwater.

3.3.2. Energieverbruik op gespecialiseerde akkerbouwbedrijven

3.3.2.1. Totaal energieverbruik

Tabel 3.5. Gemiddeld energieverbruik voor de Vlaamse akkerbouwbedrijven uit het CLE boekhoudnet, in 1989-1990 en 2000-2001

	1989-1990		2000-2001	
direct energieverbruik	MJ/ha	%	MJ/ha	%
mazout	6774	29,4	5738	27,4
loonwerk	1536	6,7	2161	10,3
smeermiddel	571	2,5	508	2,4
elektriciteit	1063	4,6	1091	5,2
andere energiebronnen	341	1,5	519	2,5
totaal	10285	44,7	10017	47,8
indirect energieverbruik	MJ/ha	%	MJ/ha	%
productie minerale meststoffen	9171	39,9	7109	33,9
productie zaden	477	2,1	470	2,2
productie bestrijdingsmiddelen	1047	4,6	1490	7,1
productie machines	2030	8,8	1873	8,9
totaal	12725	55,4	10942	52,1
totaal energieverbruik	23010	100	20959	100



Figuur 3.5. Gemiddeld energieverbruik per ha volgens de verschillende energieverbruikposten, voor de Vlaamse akkerbouwbedrijven uit de CLE dataset voor de periode 1989-1990 en 2000-2001

Uit Tabel 3.5 blijkt dat ook op akkerbouwbedrijven het indirect energieverbruik groter is dan het directe energieverbruik. De productie van minerale meststoffen vraagt de meeste energie

(40% van het totale energieverbruik in 1989-1990 en 34% in 2000-2001). Het grootste deel van het directe energieverbruik gaat naar brandstoffen voor tractoren voor het uitvoeren van veldbewerkingen (eigen werk en loonwerk). Samen vertegenwoordigen ze 36% van het totale energieverbruik in 1989-1990 en 38% in 2000-2001.

Het direct energieverbruik per ha is ongeveer gelijk gebleven in 2000-2001 in vergelijking met 1989-1990, maar het indirect energieverbruik is gedaald. Deze daling is voornamelijk het gevolg van een verminderd verbruik van minerale meststoffen. Het totale energieverbruik is afgenomen in 2000-2001 t.o.v. 1989-1990. Dit blijkt eveneens uit Figuur 3.5.

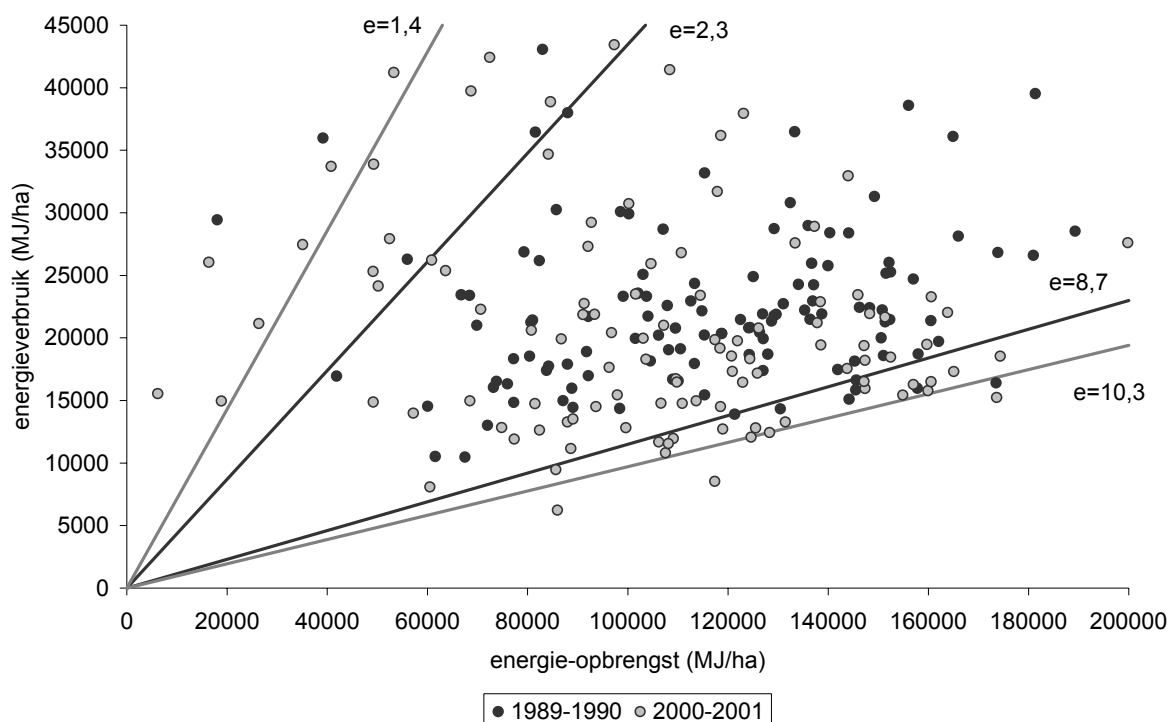
3.3.2.2. Energieverbruik vs. energieopbrengst

Voor alle bedrijven berekenden we de energie-efficiëntie als de verhouding van de totale hoeveelheid geproduceerde energie tot de totale hoeveelheid geïnvesteerde energie, zoals beschreven in paragraaf 2.5.3. De jaarlijks geproduceerde energie berekenden we op basis van standaardwaarden voor energie-inhoud (MJ per kg vers product, zie Annex III) en de geproduceerde hoeveelheden marktbaar gewas in de teeltrotatie. Door de energie-inhoud van de gewassen te vermenigvuldigen met de geproduceerde hoeveelheid (in kg) kregen we voor elk gewas de totale geproduceerde hoeveelheid energie (in MJ). We maakten de som van alle gewassen in de teeltrotatie en deelden deze door de totale betaalde oppervlakte.

De gemiddelde energie-efficiëntie voor de akkerbouwbedrijven in 2000-2001 bedroeg 5,9; in 1989-1990 was dit 5,5. Afhankelijk van de teelt(rotatie), productiemethode en bemesting, vinden we in de literatuur energie-efficiënties tussen 0,7 en 16,2 (Hülsbergen et al., 2001; Helander en Delin, 2004; Ozkan et al., 2004).

In Figuur 3.6 geven we het energieverbruik weer t.o.v. de energieopbrengst van de onderzochte bedrijven. Ongeveer 90% van de onderzochte bedrijven in de periode 1989-1990 heeft een efficiëntie tussen 2,3 en 8,7. Voor de periode 2000-2001 bedraagt deze range 1,4-10,3.

3. Energieverbruik op Vlaamse landbouwbedrijven



Figuur 3.6. Energieverbruik t.o.v. energieopbrengst voor akkerbouwbedrijven in 1989-1990 en 2000-2001, e = energie-efficiëntie

Tabel 3.6. Energieverbruik, energie- en bruto financiële opbrengst en energie-efficiëntie op de 5% minst energie-efficiënte en de 5% meest energie-efficiënte Vlaamse gespecialiseerde akkerbouwbedrijven uit de CLE-dataset (voor de jaartallen 1989, 1990, 2000 en 2001); $n = 229$

	5% minst energie-efficiënte bedrijven	5% meest energie-efficiënte bedrijven	algemeen gemiddelde
beteelde oppervlakte (ha)	50,5	39,0	56,7
energieverbruik (MJ/ha) onder vorm van			
mazout	10679	2548	6087
loonwerk	1902	1723	1836
smeermiddel	945	226	539
elektriciteit	1504	352	1073
andere energiebronnen	1464	181	424
minerale meststoffen	6984	5910	8179
zaad- en pootgoed	430	373	474
bestrijdingsmiddelen	2043	706	1239
machines	3309	895	1949
totaal energieverbruik per ha (MJ/ha)	29259	12914	21799
totale energieopbrengst per ha (MJ/ha)	34162	136694	112397
energie-efficiëntie	1,2	10,8	5,7
bruto toegevoegde waarde (€/ha)	1969	1061	1160

De minst efficiënte bedrijven hebben een totaal energieverbruik dat hoger is dan het algemeen gemiddelde, voornamelijk ten gevolge van een zeer hoog mazoutverbruik. Anderzijds is de energieopbrengst van de gewassen zeer laag op deze bedrijven.

De meest efficiënte bedrijven vertonen een energieopbrengst die iets hoger is dan het algemeen gemiddelde, maar zij hebben een zeer laag totaal energieverbruik, voornamelijk ten gevolge van een laag direct energieverbruik.

De energieopbrengst wordt in grote mate bepaald door de geteelde gewassen. Uit de literatuur blijkt dat granen en suikerbieten een hoge energie-efficiëntie hebben (zie Tabel 3.7), het zijn teelten met een laag energieverbruik per ha en een vrij belangrijke energieopbrengst (voornamelijk wintertarwe). Aardappelen hebben daarentegen een lage energie-efficiëntie.

Tabel 3.7. Energieverbruik en -opbrengst per ha voor enkele belangrijke akkerbouwgewassen (uit Hülsbergen et al., 2001)

	aardappelen	wintertarwe	wintergerst	zomergerst	suikerbieten
E-verbruik (MJ/ha)	24430	19330	17180	14660	29700
E-opbrengst (MJ/ha)	105100	278800	161300	144600	330100
E-efficiëntie	4,3	14,43	9,39	9,86	11,12

Hiermee kunnen we de lage energieopbrengst van de 5% minst efficiënte bedrijven uit onze dataset verklaren: deze bedrijven telen voornamelijk gewassen met een lage energie-inhoud, zoals aardappelen of groenten (zie Annex III) en het areaal granen is klein (gemiddeld 12%, t.o.v. 47% voor de meest efficiënte bedrijven en 34% als algemeen gemiddelde van alle bedrijven). Bovendien hebben deze bedrijven een hoog aandeel aan teelten zonder een specifieke marktbaar opbrengst, zoals grasland, voedergewassen, groenbemester of teelten onder contract, waarbij de landbouwer wel energie verbruikte, maar waarvoor de opbrengst (in kg) niet gekend was.

Wanneer we de bruto toegevoegde waarde van de bedrijven beschouwen, verkrijgen we echter een ander beeld. De meest energie-efficiënte bedrijven hebben een bruto toegevoegde waarde per ha die onder het algemeen gemiddelde ligt (zie Tabel 3.6). Dit komt doordat de meest energie-efficiënte bedrijven een groot aandeel granen in de rotatie hebben. Door de lage graanprijs (zie Tabel 3.8), hebben deze bedrijven gemiddeld gezien een lagere financiële opbrengst dan het algemeen gemiddelde van alle bedrijven. Voor de energetisch minst efficiënte bedrijven is de bruto toegevoegde waarde per ha een stuk hoger dan het algemeen gemiddelde.

Deze bevindingen wijzen erop dat het zinvoller is om de energie-efficiëntie van bedrijven onderling te vergelijken op teeltniveau i.p.v. op bedrijfsniveau. Een voorwaarde is dan dat het direct en indirect energieverbruik per teelt gekend is. De inputs van indirect energieverbruik zijn vrij goed te berekenen: meestal weet de landbouwer wel hoeveel minerale meststoffen, pesticiden, ... hij voor een bepaalde teelt toediende. Het dieselverbruik is echter wel moeilijker bij te houden voor de afzonderlijke teelten.

Tabel 3.8. Gemiddelde prijzen (in € per 100 kg) van enkele land- en tuinbouwgewassen (Bron: NIS [12]; ^(*)De Venter et al., 2002)

	gemiddelde 2000	gemiddelde 2001
Broodtarwe	11,1	10,9
Voedertarwe	10,5	10,3
Wintergerst	10,7	10,0
Vroege aardappelen	18,4	45,6
Bewaaraardappelen	4,0	7,6
Tarwestro	6,5	6,5
Suikerbieten ^(*)	4,5	4,5
Ajuin	12,5	20,7
Spruiten	91,5	112,5
Witloof	81,2	104,0
Paprika	157,8	154,9
Tomaten	117,3	96,9
Appelen Jonagold	31,3	38,5
Appelen Golden Delicious	27,3	33,7
Appelen Boskoop	31,8	35,3
Peren Conférence	60,5	67,2
Peren Doyenné du Comice	46,2	70,1

3.3.2.3. Levenscyclusanalyse akkerbouwproducten

Uit paragraaf 3.3.2.2 bleek dat de meest energie-efficiënte akkerbouwbedrijven deze zijn met een hoog aandeel granen in de teeltrotatie. Maar, in tegenstelling tot de meeste andere akkerbouwgewassen, worden graangewassen bij ons meestal niet rechtstreeks voor consumptie gebruikt, maar dienen ze als voedergewassen voor landbouwdieren. Om dus de werkelijke - voor de mens bruikbare - energieopbrengst van de akkerbouwbedrijven te kunnen berekenen, voerden we een beperkte levenscyclusanalyse uit, waarbij we veronderstelden dat alle geproduceerde granen op het bedrijf gebruikt werden (1) als krachtvoeder voor melkkoeien en (2) als voeder voor varkens. We rekenden dan met de energieopbrengst van de met het krachtvoeder geproduceerde melk of varkensvlees om de werkelijke energie-efficiëntie van de bedrijven te bepalen.

(1) Granen als krachtvoeder voor melkkoeien

Er is gemiddeld 2,1 kg krachtvoeder (uit granen) nodig om 1 l melk te produceren (uit CVB, 2002). Aan de hand van de geproduceerde hoeveelheden granen op het bedrijf werd hieruit de geproduceerde hoeveelheid melk geschat. De energie-inhoud van 1 liter melk is 2,5 MJ (zie Annex III). Eén kilogram granen levert nu dus slechts 1,2 MJ aan energie op, in plaats van 15,5 MJ. Vermenigvuldigen we deze nieuwe energie-inhoud met de hoeveelheid geproduceerde granen, dan geeft dit de energieopbrengst van de graangewassen in de teeltrotatie, indien deze graangewassen als krachtvoeder voor koeien gebruikt worden. Deze waarde werd dan opgeteld bij de energieopbrengst van de andere gewassen in de rotatie (die niet via dierlijke productie zijn getransformeerd), wat dan resulteerde in de totale energieopbrengst van het bedrijf.

De gemiddelde energie-efficiëntie daalt hiermee van 5,5 naar 3,7 voor 1989-1990 en van 5,9 naar 4,0 voor 2000-2001.

(2) *Granen als voeder voor varkens*

De berekeningen gebeurden hier als volgt:

1. Er is 3,08 kg voeder nodig om 1 kg levend varken te produceren (= voederconversie, uit VLM, 2002).
2. De - voor de mens bruikbare - energie-inhoud van 1 kg levend varken is 12 MJ. Dit wordt als volgt berekend: het slachtrendement van een varken is ongeveer 80%. Een levend varken van 100 kg levert dus 80 kg varkenskarkas op. Dit karkas bestaat uit 59% vlees, 29% vet en 12% beenderen. Vlees en vet hebben een energie-inhoud van 7,8 MJ/kg en 36 MJ/kg respectievelijk (Annex III). De voor de mens bruikbare energie uit 1 kg levend varken bedraagt dus:
$$[7,8 \text{ MJ/kg} * (80\text{kg} * 59\%) + 36 \text{ MJ/kg} * (80\text{kg} * 29\%)]/100 = 12 \text{ MJ/kg.}$$
1 kg granen levert nu dus 3,9 MJ aan energie op.
3. Deze waarde werd dan opgeteld bij de energieopbrengst van de andere gewassen in de rotatie, wat dan resulteerde in de totale energieopbrengst van het bedrijf.

De gemiddelde energie-efficiëntie is nu gedaald van 5,5 naar 4,0 voor 1989-1990 en van 5,9 naar 4,4 voor 2000-2001.

3.3.2.4. Besluiten

Het **energieverbruik** op Vlaamse akkerbouwbedrijven wordt in grote mate bepaald door het gebruik van minerale meststoffen en de hoeveelheid verbruikte mazout tijdens veldwerkzaamheden. Een daling van het energieverbruik op akkerbouwbedrijven kan dus het best verwezenlijkt worden door een **lager minerale meststoffenverbruik** en een **verminderd direct energieverbruik (vnl. onder vorm van mazout)**.

Het energieverbruik per ha op Vlaamse akkerbouwbedrijven daalde licht tussen 1989-1990 en 2000-2001. Deze daling is voornamelijk het gevolg van een daling in gebruik van minerale meststoffen (gemiddeld 135 kg minerale N per ha in 1989-1990 t.o.v. 112 kg minerale N per ha in 2000-2001). Het directe energieverbruik veranderde niet tussen 1989-1990 en 2000-2001.

De **energie-efficiëntie** wordt in grote mate bepaald door de rotatie. Sommige gewassen, zoals granen bv., hebben een grote energie-inhoud. Bedrijven met een groot areaal granen hadden bijgevolg een hoge energie-efficiëntie. Andere gewassen, zoals groenten vergen niet alleen veel energie voor de teelt, maar hebben ook een lage energie-inhoud. Dit resulteerde in een lagere energie-efficiëntie voor bedrijven met een belangrijk areaal groenten in de rotatie.

De minst energie-efficiënte gewassen, zoals aardappelen en groenten, kunnen wel onmiddellijk voor consumptie worden gebruikt; de energie opgeslagen in de biomassa is onmiddellijk voor de mens bruikbaar. De geproduceerde graangewassen daarentegen

worden in meer of mindere mate gebruikt als veevoeder, zodat de opgeslagen energie hier niet rechtstreeks door de mens wordt gebruikt. In paragraaf 3.3.2.3 gingen we aan de hand van een beperkte levenscyclusanalyse na wat de uiteindelijke energie-efficiëntie van de onderzochte akkerbouwbedrijven was indien de geproduceerde graangewassen onmiddellijk door de mens zouden geconsumeerd worden, of indien ze gebruikt worden als voeder voor melkkoeien (consumptie van melk) of als voeder voor varkens (consumptie van vlees). Voor 2000-2001 stelden we vast dat de gemiddelde energie-efficiëntie daalde van 5,9 (consumptie van granen door de mens) naar 4,4 (granen als voeder voor varkens), wat ongeveer overeenkomt met de energie-efficiëntie van aardappelen (zie Tabel 3.7). In het geval de graangewassen gebruikt werden als krachtvoeder voor melkkoeien, daalde de efficiëntie verder tot 4,0¹⁰.

De meest energie-efficiënte bedrijven uit onze dataset realiseerden gemiddeld gezien ook de hoogste toegevoegde waarde per geïnvesteerde eenheid energie (in €/MJ), hoewel hun absolute bruto toegevoegde waarde (in €/ha) lager was dan deze van de minst energie-efficiënte bedrijven. Dit laatste wordt eveneens bepaald door de gewassen in de rotatie op deze bedrijven.

3.3.2.5. Energieverbruik op akkerbouwbedrijven: bevindingen uit de literatuur

Volgens Hülsbergen et al. (2001) wordt de hoogste energie-efficiëntie bereikt op bedrijven met een lage minerale N gift. Ook Van Dasselaar en Pothoven (1994) en Haas et al. (2001) suggereren op basis van hun onderzoek naar energieverbruik op akkerbouw- en graslandbedrijven dat extensivering van conventionele teeltmethodes, zoals het verminderen van minerale meststofgift, kan leiden tot een verhoging van de energie-efficiëntie (uit Corré et al., 2003). Op deze bedrijven kan aan de N-behoefte van de gewassen voldaan worden door minerale meststoffen te vervangen door dierlijke mest en/of door meer stikstoffixerende gewassen (zoals erwten, klaver of andere vlinderbloemigen) in de rotatie te gebruiken.

Helander en Delin (2004) vergeleken verscheidene productiesystemen (biologisch, geïntegreerd en conventioneel). Uit hun resultaten bleek dat de biologische bedrijven het minst energie verbruikten, maar dat ze ook het minst energie-efficiënt werkten, ten gevolge van lagere opbrengsten. Deze bevindingen worden echter tegengesproken door tal van andere onderzoekers (o.a. Pimentel (1993) en Refsgaard et al. (1998)), die aantoonde dat biologische productiesystemen wél een hogere energieproductiviteit hadden dan conventionele systemen. Dit wordt verklaard door het feit dat de hoge energiekost voor de productie van minerale meststoffen op conventionele bedrijven niet wordt gecompenseerd door evenredig hogere gewasopbrengsten.

Ook het toepassen van minder intensieve bodembewerkingen kan leiden tot een verhoogde energie-efficiëntie op landbouwbedrijven. Bijvoorbeeld door het toepassen van 'reduced tillage' in plaats van gewoon te ploegen, met een verminderd dieselverbruik tot gevolg.

¹⁰ Strikt genomen zouden we bij deze LCA ook nog moeten rekening houden met de energiekost voor het bereiden van voedsel en de energie in het bereide voedsel. Deze berekeningen zouden ons echter te ver leiden en maken geen deel uit van de doelstellingen van deze studie.

Ploegen en het klaarleggen van een zaaibed zijn immers zeer energie-intensieve bewerkingen (Bailey et al., 2003). Volgens Swanton et al. (1996) zou het toepassen van 'no-till' systemen een daling van het energieverbruik van 1 GJ/ha veroorzaken, ook op conventionele bedrijven. Dit komt volgens onze berekeningen neer op een energiebesparing van 5% op het totale energieverbruik, of van een besparing van 10% op het directe energieverbruik (zie Tabel 3.5).

Uit bovenstaande publicaties en uit onze eigen bevindingen kunnen we dus afleiden dat het extensiveren van akkerbouwproductie (d.i. een verminderd verbruik van inputs) een positief effect kan hebben op zowel het energieverbruik als de energie-efficiëntie van landbouwbedrijven.

In een aantal publicaties wordt evenwel de bedenking gemaakt dat winst op vlak van energieverbruik en -efficiëntie vaak gepaard gaat met een verminderde efficiëntie van landgebruik. Immers, om een even hoge productie van gewassen te willen behouden zal in het geval van extensivering het vereiste areaal groter moeten zijn, gezien de opbrengsten bij extensieve productie doorgaans lager liggen. Men kan zich dan de bedenking maken of het niet efficiënter zou zijn om intensief te blijven telen (met een hoger energieverbruik) of zelfs te intensiveren, maar waarbij een deel van het areaal zou gebruikt worden voor de productie van energiegewassen.

We onderzochten deze stelling op basis van cijfers van Corré et al. (2003) en Refsgaard et al. (1998). Uit deze cijfers blijkt dat bij de biologische teelt van graangewassen het energieverbruik gemiddeld 24% lager ligt dan bij de conventionele teelt, terwijl het landgebruik met 26% toeneemt. Voor voederbieten ligt het energieverbruik gemiddeld 12% lager bij de biologische teelt in vergelijking met de conventionele teelt, terwijl het landgebruik 11% hoger ligt. We kunnen ons nu 2 scenario's indenken:

- 1) In de veronderstelling dat er voldoende land beschikbaar is om over te schakelen naar biologische teelt van gewassen, wat is dan het meest energetisch efficiënt: overschakelen naar biologische teelt, of conventioneel blijven telen, waarbij we het extra areaal betelen met energiegewassen?
- 2) In de veronderstelling dat land een beperkende factor is: hoe kunnen we de beschikbare oppervlakte zo optimaal mogelijk benutten om eenzelfde energetische efficiëntie te bereiken als de biologische teelt?

We verduidelijken deze scenario's door het voorbeeld voor graangewassen uit te werken.

Uit Tabel 3.7 blijkt dat we voor het telen van 1 ha graangewassen onder conventionele teelt gemiddeld 17.057 MJ aan energie verbruiken (gemiddelde van de teelten wintertarwe, wintergerst en zomergerst).

Scenario 1:

Veronderstel dat we op 1 ha 100 eenheden granen produceren onder conventionele teelt, waarbij het energieverbruik gelijk is aan 17.057 MJ. Om dezelfde 100 eenheden granen te produceren onder biologische teelt, hebben we 26% meer land nodig (1,26 ha), waarbij het totale energieverbruik 24% lager ligt (12.963 MJ). Veronderstel dat we op de extra oppervlakte voor granen onder biologische teelt (0,26 ha) energiegewassen telen onder conventionele teelt. Om dezelfde energie-efficiëntie te behalen als de biologische teelt, moet de 0,26 ha extra oppervlakte 4094 MJ aan energie kunnen opleveren (=17.057-12.963 MJ). Dit komt overeen met een vereiste energieproductie van 15,7 GJ/ha. Stel dat we koolzaad - dat zeer goed past in een rotatie met graangewassen - telen als energiegewas, voor de productie van biodiesel. Uit onze studie over energiegewassen (Garcia Ciudad et al., 2003) blijkt dat de productie van koolzaad, koud geperst, een netto bruikbare energieopbrengst heeft van 21 GJ/ha. Hieruit volgt dat het dus energetisch efficiënter kan zijn om intensief te blijven telen en de extra oppervlakte, die anders zou gebruikt worden bij de extensieve teelt, te gebruiken voor de productie van energiegewassen.

Scenario 2:

In dit scenario gaan we er van uit dat land de beperkende factor is. We willen nu de 1 ha die we ter beschikking hebben voor de graanteelt energetisch zo efficiënt mogelijk gebruiken: we willen daarop onder conventionele teelt eenzelfde energieverbruik realiseren als onder biologische teelt. Dit houdt in dat we een deel van de oppervlakte zullen gebruiken voor het telen van energiegewassen, wat zal gepaard gaan met verliezen voor graanteelt en dus een lagere graanopbrengst. Stel dat we koolzaad telen als energiegewas. Dat levert 21 GJ/ha netto bruikbare energie. Het energieverbruik van de biologische graanteelt bedraagt 10.288 MJ/ha (= 12.963 MJ/1,26 ha); deze van de conventionele graanteelt bedraagt 17.057 MJ/ha. Indien we 0,178 ha gebruiken voor de teelt van koolzaad en 0,822 ha voor granen onder conventionele teelt, dan hebben we een totaal energieverbruik van 10.288 MJ/ha, wat overeenkomt met het energieverbruik voor het telen van 1 ha granen onder biologische teelt. Op de 0,82 ha die overblijft voor graanteelt onder conventionele teelt, kunnen we een opbrengst halen van 82 eenheden. Deze productie is vergelijkbaar met de hoeveelheid graan die we zouden telen op 1 ha onder biologische teelt (nl. 100 eenheden/1,26 ha = 79 eenheden graan/ha). Ook in dit geval is de energie-efficiëntie dus hoger in het geval van conventionele graanteelt, gecombineerd met de teelt van energiegewassen.

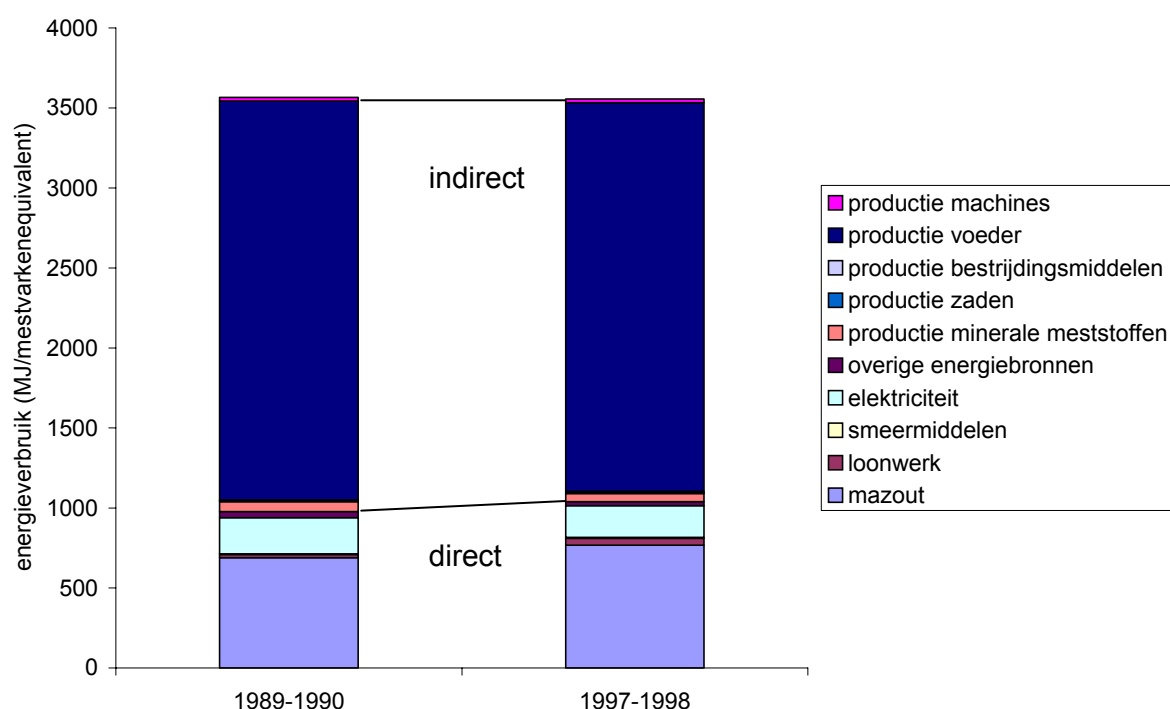
Op basis van bovenstaande cijfers kunnen we dus besluiten dat het energetisch efficiënter kan zijn om niet over te schakelen op extensievere teelt, maar een deel van de grond te gebruiken voor de teelt van energiegewassen.

3.3.3. Energieverbruik op gespecialiseerde varkensbedrijven

3.3.3.1. Totaal energieverbruik

Tabel 3.9. Gemiddeld energieverbruik per mestvarkenequivalent, opgesplitst volgens de verschillende energieverbruikposten voor de gespecialiseerde Vlaamse varkensbedrijven uit het CLE boekhoudnet, in 1989-1990 en 1997-1998

	1989-1990		1997-1998	
	MJ	%	MJ	%
direct energieverbruik				
mazout	688,5	19,3	768,1	21,6
loonwerk	20,2	0,6	41,5	1,2
smeermiddel	4,7	0,1	6,7	0,2
elektriciteit	226,9	6,4	197,6	5,6
andere energiebronnen	36,3	1,0	25,4	0,7
totaal	976,5	27,4	1039,1	29,2
indirect energieverbruik				
productie minerale meststoffen	62,7	1,8	50,8	1,4
productie zaden	4,5	0,1	5,2	0,1
productie bestrijdingsmiddelen	6,5	0,2	8,4	0,2
productie aangekocht voeder	2492,3	69,9	2429,7	68,3
productie machines	24,3	0,7	23,3	0,7
totaal	2590,3	72,6	2517,4	70,8
totaal direct + indirect energieverbruik	3566,8	100	3556,5	100



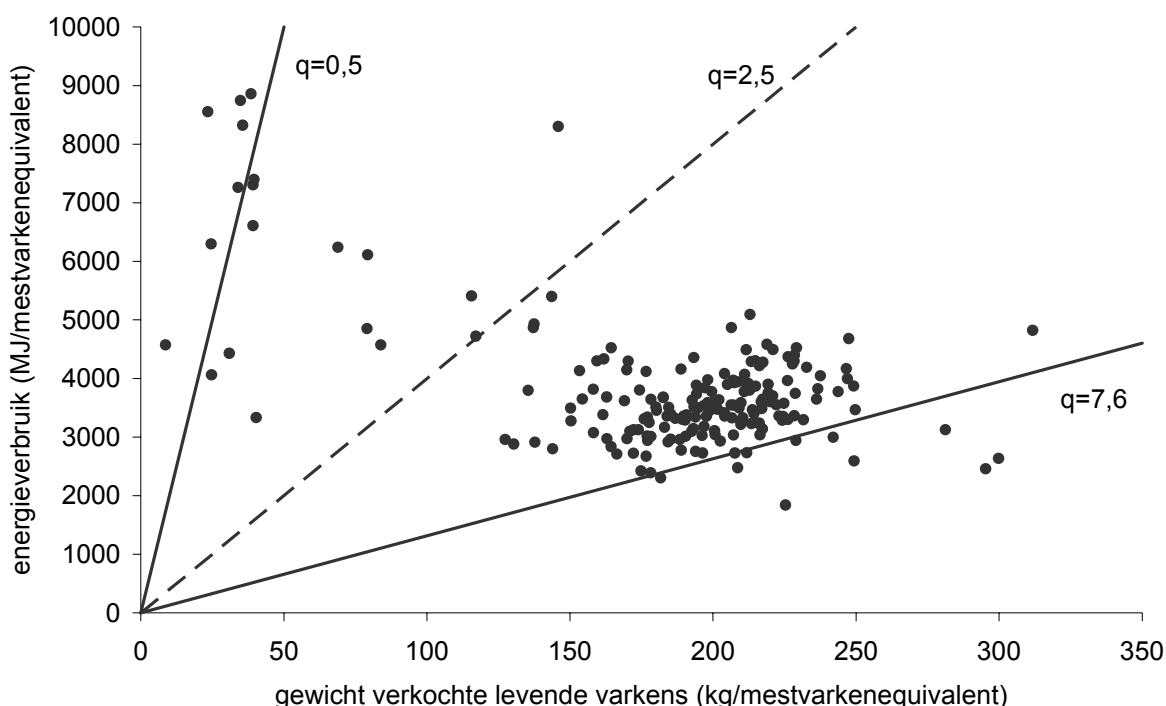
Figuur 3.7. Gemiddeld energieverbruik per mestvarkenequivalent, opgesplitst volgens de verschillende energieverbruikposten voor de gespecialiseerde Vlaamse varkensbedrijven, voor de jaren 1989-1990 en 1997-1998

Net zoals bij de akkerbouw- en melkveebedrijven is het indirect energieverbruik op gespecialiseerde varkensbedrijven groter dan het direct energieverbruik (Tabel 3.9). Veruit de meeste energie zit vervat in de productie van voeders (ongeveer 70% van het totale energieverbruik in 1989-1990 en 68% in 1997-1998). In de literatuur vinden we gelijkaardige waarden terug: Blonk et al. (1997) toonden aan dat de productie van voeder voor varkens 64% van het totale energieverbruik innam; volgens Carlsson-Kanyama (1998) was dit 70%.

Energieverbruik onder vorm van mazout is de tweede belangrijke energieverbruikpost, voornamelijk als gevolg van de verwarming van stallen. Samen staan deze twee posten in voor bijna 90% van het totale energieverbruik op een varkensbedrijf. Het totale energieverbruik per mestvarkenequivalent is nagenoeg gelijk gebleven in 1997-1998 t.o.v. 1989-1990 (zie Figuur 3.7).

3.3.3.2. Energieverbruik vs. productie

Voor de bedrijven in de boekjaren 1997-1998 berekenden we de hoeveelheden verkocht levend varken voor slachting, door de som te maken van het aantal kg verkochte fokzeugen en het aantal kg verkochte mestvarkens. Aangezien deze gegevens niet beschikbaar waren voor 1989-1990 voerden we de berekeningen enkel uit voor 1997-1998.

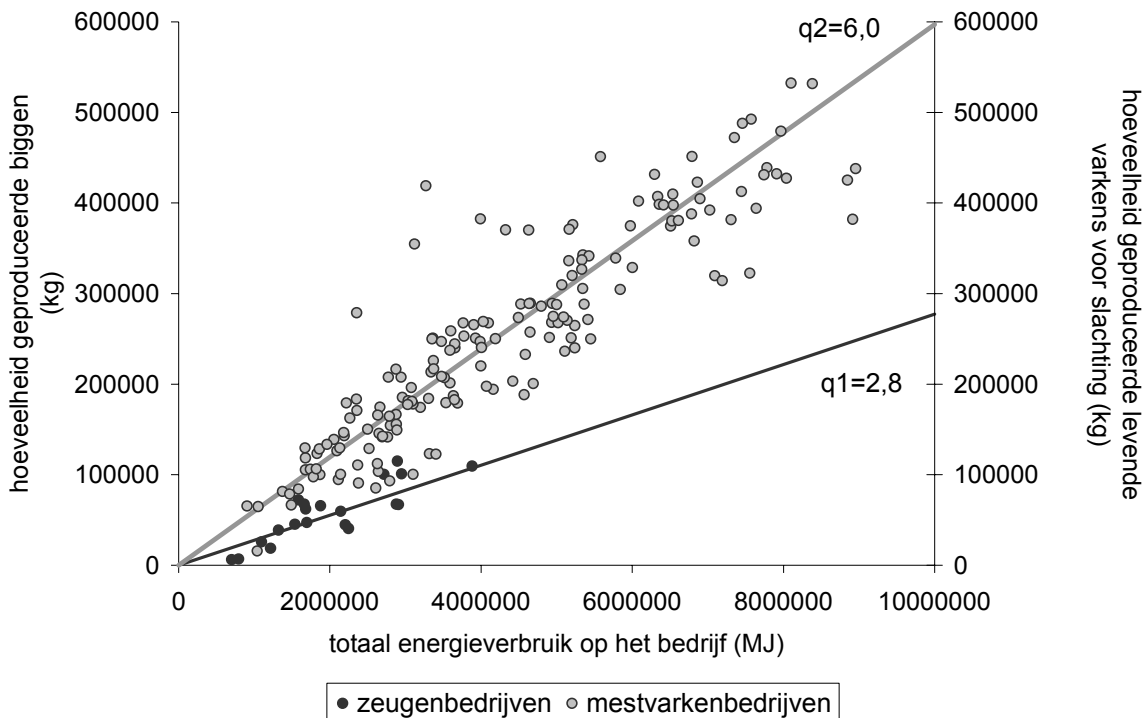


Figuur 3.8. Energieverbruik t.o.v. het gewicht van de verkochte levende varkens per mestvarkenequivalent voor de intensieve varkensbedrijven uit de CLE databank, voor de jaren 1997 en 1998, q = energieproductiviteit (kg levend varken/100 MJ)

Figuur 3.8 toont voor alle bedrijven in 1997-1998 per mestvarkenequivalent het totale energieverbruik t.o.v. het aantal kg verkocht levend varken voor slachting. Ongeveer 90%

van de bedrijven heeft een energieproductiviteit tussen 0,5 en 7,6 kg levend varken/100 MJ. De bedrijven met een energieproductiviteit < 2,5 kg levend varken/100 MJ zijn nagenoeg allemaal zeugenbedrijven. Doordat deze bedrijven weinig varkens verkopen voor slachting ligt de geproduceerde hoeveelheid vlees hier veel lager dan het gemiddelde. De bedrijven met een energieproductiviteit > 7,6 kg levend varken/100 MJ hebben een groot aantal varkens, waarvan een hoog aandeel mestvarkens (gemiddeld 85% t.o.v. het globaal gemiddelde van 67%).

Uit bovenstaande resultaten blijkt dat het niet zinvol is om de energieproductiviteit van zeugenbedrijven te vergelijken met deze op mestvarkenbedrijven. Daarom zullen we beide bedrijfstypes afzonderlijk beschouwen (zie Figuur 3.9). De energieproductiviteit van zeugenbedrijven berekenen we als het geproduceerde gewicht aan biggen per geïnvesteerde eenheid energie (kg big/100 MJ). De energieproductiviteit van mestvarkenbedrijven drukken we uit als het gewicht van verkochte levende varkens voor slachting per geïnvesteerde eenheid energie (kg levend varken/100 MJ).



Figuur 3.9. Energieverbruik t.o.v. aantal kg geproduceerde biggen (voor zeugenbedrijven) en t.o.v. aantal kg geproduceerde levende varkens (voor mestvarkenbedrijven) voor de jaren 1997 en 1998; q1=gemiddelde energieproductiviteit zeugenbedrijven (kg biggen/100 MJ), q2=gemiddelde energieproductiviteit mestvarkenbedrijven (kg levend varken/100 MJ)

De energieproductiviteit van de onderzochte zeugenbedrijven bedroeg in 1997-1998 gemiddeld 2,8 kg biggen per 100 MJ. De gemiddelde energieproductiviteit van de mestvarkenbedrijven was in die periode gelijk aan 6,0 kg levende varkens per 100 MJ. Halberg (1999) vond vergelijkbare waarden tussen 5 en 10 kg/100 MJ.

3. Energieverbruik op Vlaamse landbouwbedrijven

Tabel 3.10. Energieverbruik en energieproductiviteit op de 10% minst energieproductieve en de 10% meest energieproductieve Vlaamse gespecialiseerde zeugenbedrijven uit de CLE-dataset (voor de jaartallen 1997 en 1998); n = 21

	10% minst productieve zeugenbedrijven	10% meest productieve zeugenbedrijven	algemeen gemiddelde
gemiddelde veebezetting fokzeugen	121	148	150
energieverbruik (MJ) onder vorm van			
mazout	929216	623773	935959
loonwerk	10389	23543	20863
smeermiddelen	5166	5836	4715
elektriciteit	61231	258548	154597
overige energiebronnen	286969	0	151603
productie minerale meststoffen	3757	49386	22092
productie zaden	3383	3984	2626
productie bestrijdingsmiddelen	885	10919	3151
productie voeder	874615	1059118	1099183
productie machines	4706	21466	9788
<i>totaal energieverbruik</i>	<i>2180317</i>	<i>2056575</i>	<i>2404577</i>
gewicht geproduceerde biggen (kg)	24567	73983	56672
energieproductiviteit (kg biggen per 100 MJ)	1,0	3,6	2,4
bruto toegevoegde waarde (€/kg big)	0,86	1,35	0,84

Tabel 3.11. Energieverbruik en energieproductiviteit op de 5% minst energieproductieve en de 5% meest energieproductieve Vlaamse gespecialiseerde mestvarkensbedrijven uit de CLE-dataset (voor de jaartallen 1997 en 1998); n = 174

	5% minst productieve mestvarken- bedrijven	5% meest productieve mestvarken- bedrijven	algemeen gemiddelde
gemiddelde veebezetting (mestvarkenequivalent)	792	1700	1332
energieverbruik (MJ) onder vorm van			
mazout	1138605	619760	944053
loonwerk	39920	62583	54550
smeermiddelen	10136	4757	8611
elektriciteit	221781	300611	253244
overige energiebronnen	11193	9427	16615
productie minerale meststoffen	60277	116065	67209
productie zaden	4740	2905	6812
productie bestrijdingsmiddelen	8153	8887	11224
productie voeder	2026462	3055360	3211114
productie machines	26043	18169	30876
<i>totaal energieverbruik</i>	<i>3547310</i>	<i>4198524</i>	<i>4604308</i>
gewicht verkochte levende varkens (kg)	121204	394371	265777
energieproductiviteit (kg per 100 MJ)	3,4	9,8	5,8
bruto toegevoegde waarde (€/kg varken)	0,21	0,31	0,32

In Tabel 3.10 en Tabel 3.11 vergelijken we het energieverbruik en de productie van de minst en de meest energieproductieve zeugen- en mestvarkensbedrijven uit de CLE-dataset. Uit de gegevens blijkt dat de meest energieproductieve bedrijven gekenmerkt worden door een laag energieverbruik onder vorm van mazout. Het voederverbruik op deze bedrijven is lager dan gemiddeld, maar hoger dan het voederverbruik op de minst energieproductieve

bedrijven. Maar zowel op de minst efficiënte zeugenbedrijven als op de minst efficiënte mestvarkenbedrijven is de productie zeer laag in vergelijking met het algemeen gemiddelde, terwijl de productie op de meest efficiënte bedrijven een stuk hoger ligt dan het gemiddelde.

Voornamelijk op de zeugenbedrijven gaat een energie-efficiënt management gepaard met economisch gunstige resultaten: de bruto toegevoegde waarde per kg big is een stuk hoger op de meest energieproductieve bedrijven. Op de meest energieproductieve mestvarkenbedrijven is de bruto toegevoegde waarde (in € per kg mestvarken) vergelijkbaar met het algemeen gemiddelde.

3.3.3.3. Besluiten

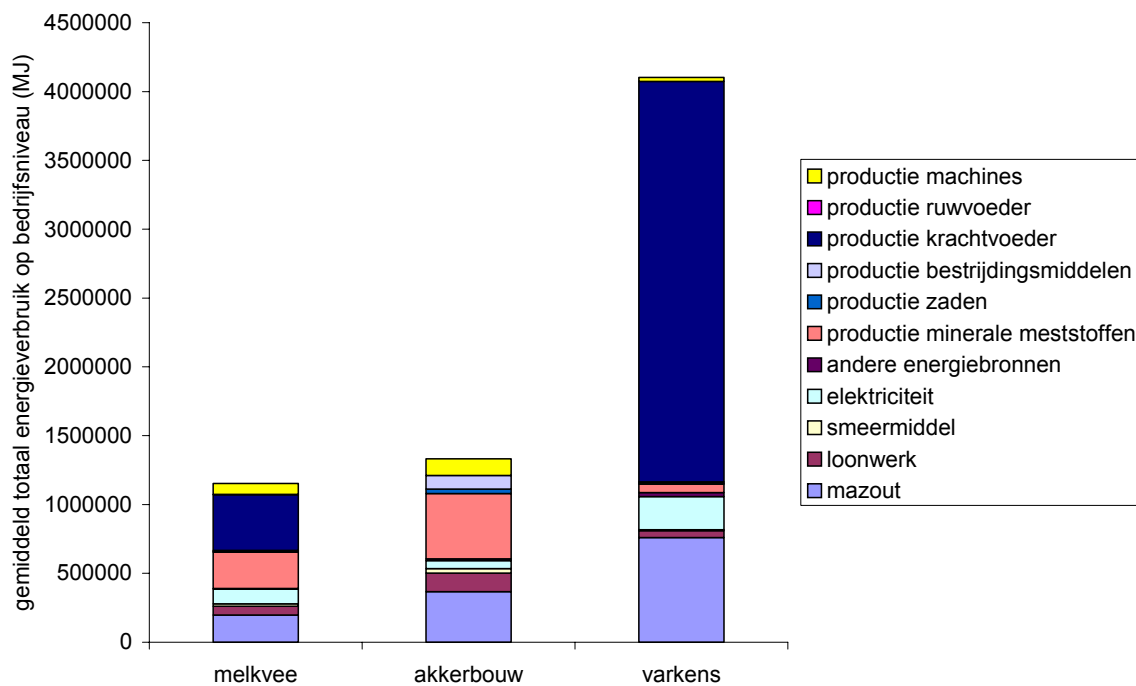
Veruit het grootste deel van het energieverbruik op een varkensbedrijf zit vervat in de productie van voeders. Hierbij is niet enkel de hoeveelheid voeder van belang, maar ook de samenstelling ervan. van der Werf et al. (2005) tonen aan dat in vergelijking tot voeder op basis van tarwe, de productie van voeder gebaseerd op maïs 33% meer energie vereist. Voeder dat voornamelijk bijproducten bevat, zoals bietenpulp, vereist zelfs 77% meer energie, voornamelijk ten gevolge van een hoger energieverbruik tijdens transformatieprocessen (drogen).

De meest energieproductieve bedrijven hebben een hoge veebezetting en combineren een laag energieverbruik onder vorm van mazout en voeder met een hoge productie. Deze bedrijven realiseren een bruto toegevoegde waarde vergelijkbaar met of zelfs hoger dan het algemeen gemiddelde. De minst energieproductieve bedrijven hebben een laag voederverbruik, maar combineren dit met een zeer lage productie. Deze bedrijven hebben een lage toegevoegde waarde.

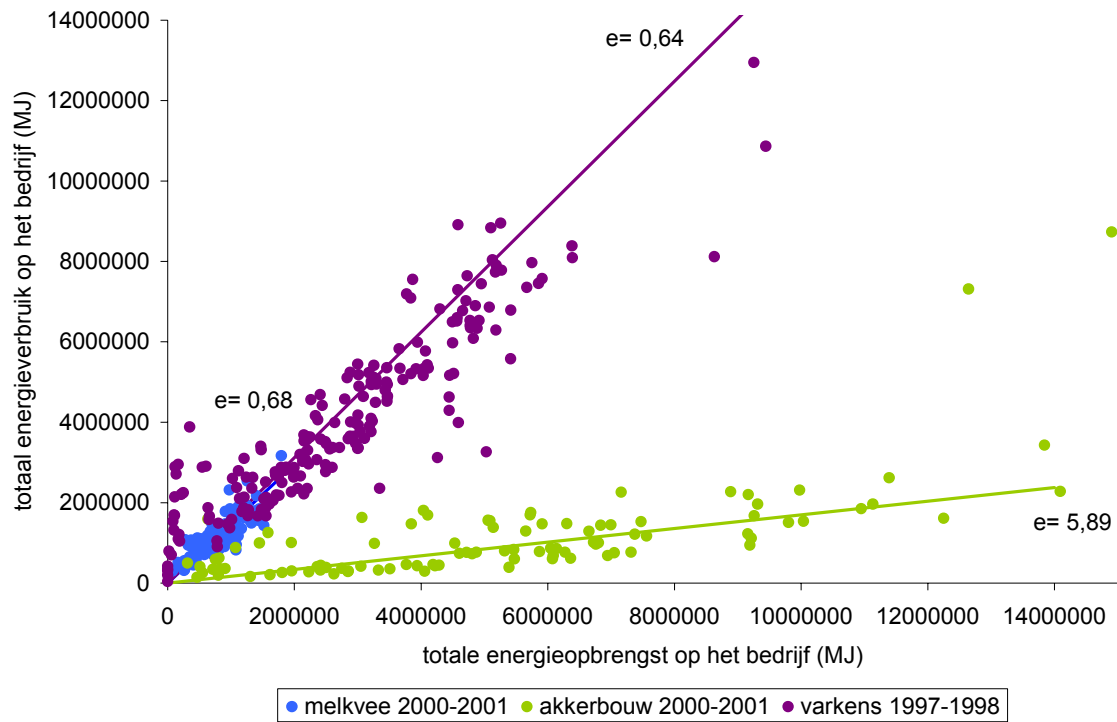
3.3.4. *Vergelijking van energieverbruik en -efficiëntie van 3 productierichtingen: melkveehouderij, akkerbouw en varkenshouderij*

In Figuur 3.10 geven we het gemiddeld totaal energieverbruik weer voor de gespecialiseerde melkvee- en akkerbouwbedrijven in Vlaanderen in 2000-2001 en voor gespecialiseerde varkensbedrijven in 1997-1998. Hieruit blijkt dat het totale energieverbruik op bedrijfsniveau gemiddeld 3 keer zo hoog is op varkensbedrijven als het verbruik op melkvee- of akkerbouwbedrijven.

Op vlak van energie-efficiëntie zien we dat de akkerbouwbedrijven het meest energetisch efficiënt produceren (zie Figuur 3.11). Dit betekent dat akkerbouwbedrijven de grootste hoeveelheid energie kunnen produceren per geïnvesteerde eenheid energie. De energetische efficiëntie van melkvee- en varkensbedrijven is ongeveer gelijk en een stuk lager dan de efficiëntie van akkerbouwbedrijven. Toch dient worden gezegd dat dergelijke vergelijking weinig betekenis heeft, aangezien we melk en varkensvlees niet consumeren voor energie, maar voor de eiwitten, terwijl we veel akkerbouwproducten in de eerste plaats wel consumeren om ons lichaam de nodige energie te leveren.



Figuur 3.10. Gemiddeld totaal energieverbruik (in MJ) op een Vlaams gespecialiseerd melkveebedrijf (voor 2000-2001), akkerbouwbedrijf (voor 2000-2001) en varkensbedrijf (voor 1997-1998)



Figuur 3.11. Totaal energieverbruik (in MJ) vs. totale energieopbrengst (in MJ) voor Vlaamse gespecialiseerde melkvee-, akkerbouw-, en varkensbedrijven uit de CLE dataset. e = energie-efficiëntie

4. Indicatoren

4.1. Indicatoren voor energieverbruik op een individueel landbouwbedrijf

We stellen voor om 2 indicatoren te gebruiken om het energieverbruik op een landbouwbedrijf te evalueren:

- (1) energieproductiviteit = hoeveelheid product / geïnvesteerde energie,
of energie-efficiëntie = geproduceerde energie / geïnvesteerde energie;
- (2) aandeel hernieuwbare energie in het totale energieverbruik = aantal MJ uit hernieuwbare energiebronnen / totaal aantal MJ verbruikt. De hernieuwbare energiebronnen kunnen ofwel aangekocht zijn, ofwel zelf geproduceerd op het eigen bedrijf.

Indicatoren 1 en 2 zullen we weergeven onder vorm van een score tussen 0 en 100. Beide worden dan samengenomen in een uiteindelijke energie-index.

4.1.1. Indicator 1

De manier van berekenen en scoren van indicator 1 zal variëren naargelang de productierichting waartoe het onderzochte bedrijf hoort. De productierichtingen verschillen namelijk onderling sterk op vlak van energieverbruik en bovendien wordt de geproduceerde hoeveelheid telkens op een andere manier uitgedrukt: l melk (voor melkveehouderij), kg vlees (voor intensieve veehouderij), energieopbrengst (akkerbouw), ... We zullen daarom voor elke productierichting een aparte methodologische fiche opmaken. Hieronder geven we de methodologische fiches die we ontwikkelden voor de onderzochte productierichtingen. Voor de andere productierichtingen (pluimvee, vleesvee, ...) zullen gelijkaardige methodologische fiches ontwikkeld worden.

De score op een gemengd bedrijf kunnen we bepalen door het totale energieverbruik te vergelijken met het gewenste energieverbruik voor dat specifieke bedrijf. Het gewenste energieverbruik komt hierbij overeen met een score 100 en wordt berekend door de geproduceerde hoeveelheden van elke activiteit (l melk, kg varken, ...) van het bedrijf te vermenigvuldigen met het gewenste energieverbruik voor de productie van 1 eenheid product. Dit laatste wordt afgeleid uit de energieproductiviteit die overeenkomt met een score 100 op de gespecialiseerde bedrijven. Er zal hiervoor nog een gedetailleerde berekeningsmethode uitgewerkt worden.

INDICATOR 1 - energieproductiviteit Gespecialiseerde melkveehouderij

Definitie: geproduceerde hoeveelheid melk per geïnvesteerde eenheid energie, uitgedrukt als l melk/100 MJ

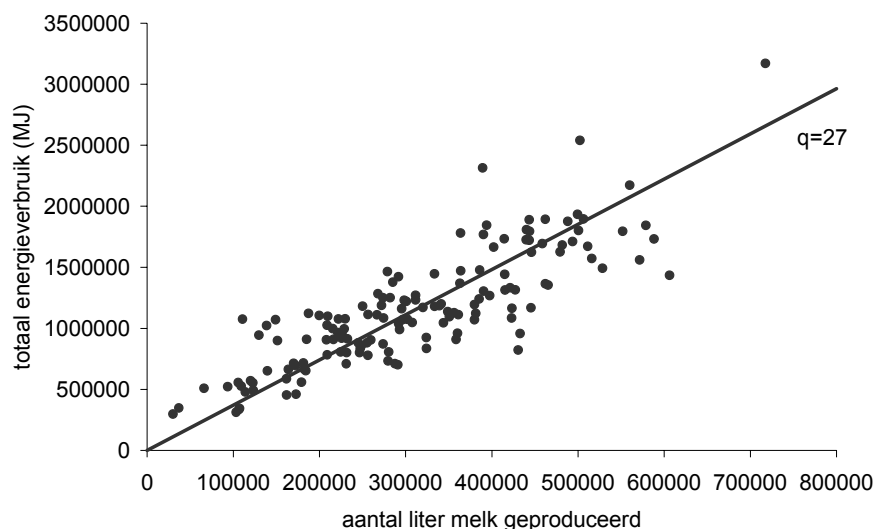
Indicatie voor: energie-efficiëntie

Berekeningsmethode: zie beschrijving methodologie in dit rapport.

Nodige gegevens: zie beschrijving methodologie in dit rapport

Databank: boekhouding landbouwbedrijf

Voorbeeld: Totaal energieverbruik vs. geproduceerde hoeveelheid melk voor de gespecialiseerde Vlaamse melkveebedrijven uit de CLE dataset voor de jaartallen 2000 en 2001, q = gemiddelde energieproductiviteit (in l melk/ 100 MJ)



Normering: gebeurt door het onderzochte bedrijf te vergelijken met de resultaten op andere gespecialiseerde melkveebedrijven in Vlaanderen. De normering gebeurde nu op basis van de resultaten van de gespecialiseerde melkveebedrijven uit het CLE boekhoudnet voor de periode 2000-2001. Voor toekomstige berekeningen kunnen de resultaten van de nieuwe onderzochte bedrijven ook in rekening gebracht worden.

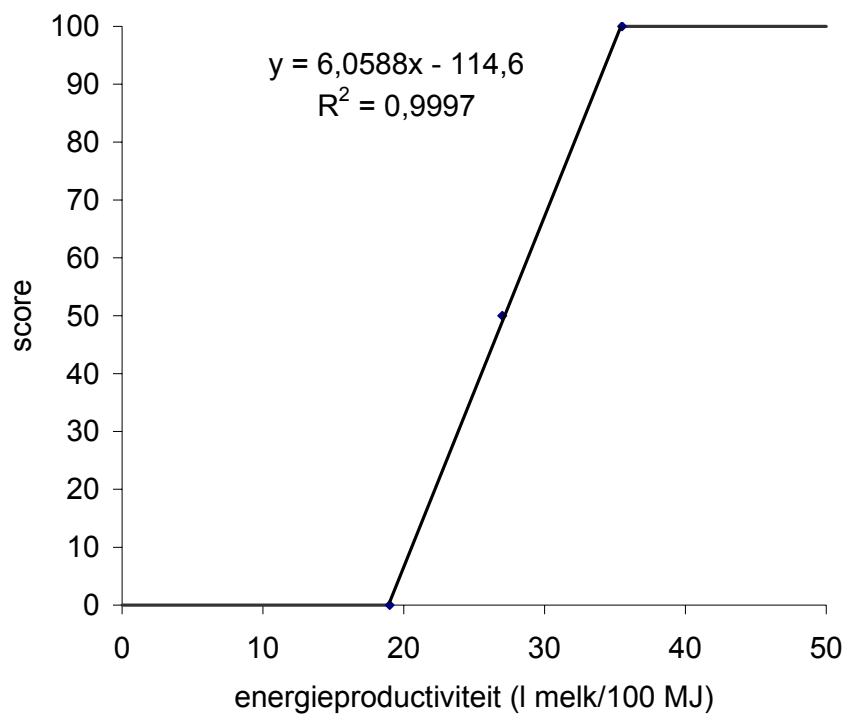
Scores: De referentiewaarden voor het scoren van de indicator worden bepaald door de energieproductiviteit van de 10% beste en slechtste bedrijven. In 2000-2001 hadden de 10% slechtste bedrijven uit de CLE dataset een energieproductiviteit van minder dan 19 l melk per 100 MJ (referentiewaarde 0), de 10% beste bedrijven hadden een energieproductiviteit groter dan 35,5 l melk / 100 MJ (referentiewaarde 100).

Op basis van de bedrijven uit de CLE boekhouding in 2000-2001:

energieproductiviteit < 19 l melk/100 MJ = 0

energieproductiviteit > 35,5 l melk/100 MJ = 100

Voor tussenliggende waarden wordt volgende lineaire regressie gebruikt, waarbij de gemiddelde energieproductiviteit van alle bedrijven (= 27 l melk/100 MJ) een score gelijk aan 50 kreeg:



INDICATOR 1 - energie-efficiëntie Gespecialiseerde akkerbouw

Definitie: geproduceerde hoeveelheid energie (aanwezig als potentiële energie in de geproduceerde biomassa) per geïnvesteerde eenheid energie (in MJ/MJ)

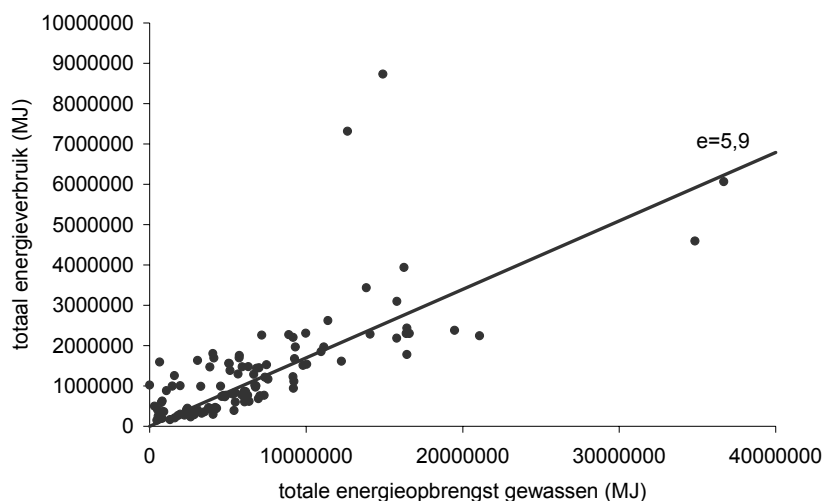
Indicatie voor: energie-efficiëntie

Berekeningsmethode: zie beschrijving methodologie in dit rapport.

Nodige gegevens: zie beschrijving methodologie in dit rapport

Databank: boekhouding landbouwbedrijf

Voorbeeld: Totaal energieverbruik vs. geproduceerde hoeveelheid energie vevat in de biomassa van de geproduceerde gewassen voor de gespecialiseerde Vlaamse akkerbouwbedrijven uit de CLE dataset voor de jaartallen 2000 en 2001, $e =$ gemiddelde energie-efficiëntie



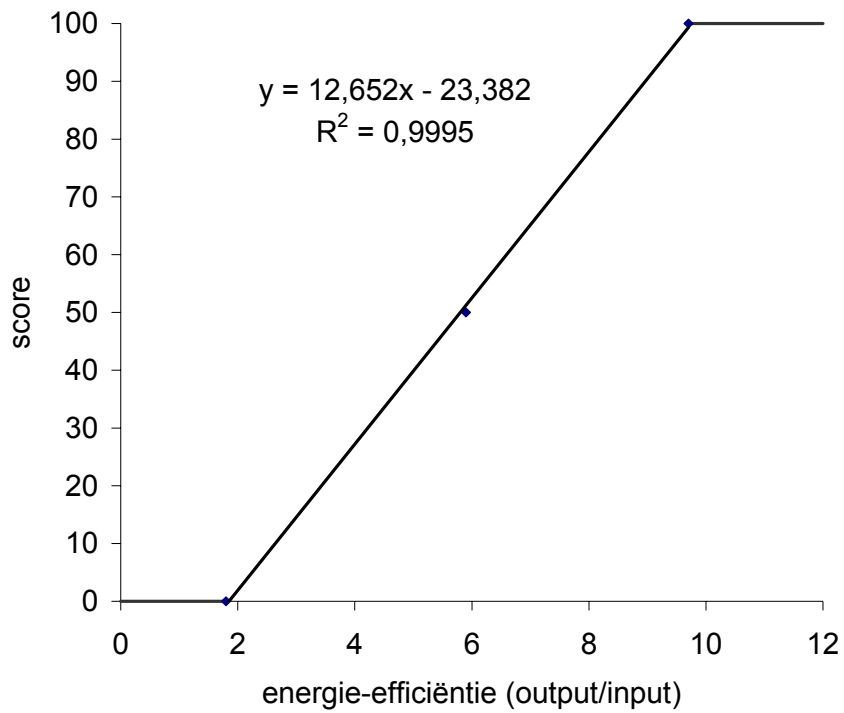
Normering: gebeurt door het onderzochte bedrijf te vergelijken met de resultaten op andere gespecialiseerde akkerbouwbedrijven in Vlaanderen. De normering gebeurde nu op basis van de resultaten van de gespecialiseerde akkerbouwbedrijven uit het CLE boekhoudnet voor de periode 2000-2001. Voor toekomstige berekeningen kunnen de resultaten van de nieuwe onderzochte bedrijven ook in rekening gebracht worden. De referentiewaarden voor het scoren van de indicator worden dan bepaald door de energie-efficiëntie van de 10% beste en slechtste bedrijven.

Scores: Op basis van de bedrijven uit de CLE boekhouding in 2000-2001:

energie-efficiëntie < 1,8 = 0

energie-efficiëntie > 9,7 = 100

Voor tussenliggende waarden wordt volgende regressie gebruikt, waarbij de gemiddelde energie-efficiëntie van alle bedrijven (= 5,9) een score gelijk aan 50 kreeg:



INDICATOR 1 - energieproductiviteit Gespecialiseerde varkenshouderij

Definitie: geproduceerde gewicht aan biggen of levende varkens (in kg) per geïnvesteerde eenheid energie (in kg big/100 MJ of kg levend varken/100MJ)

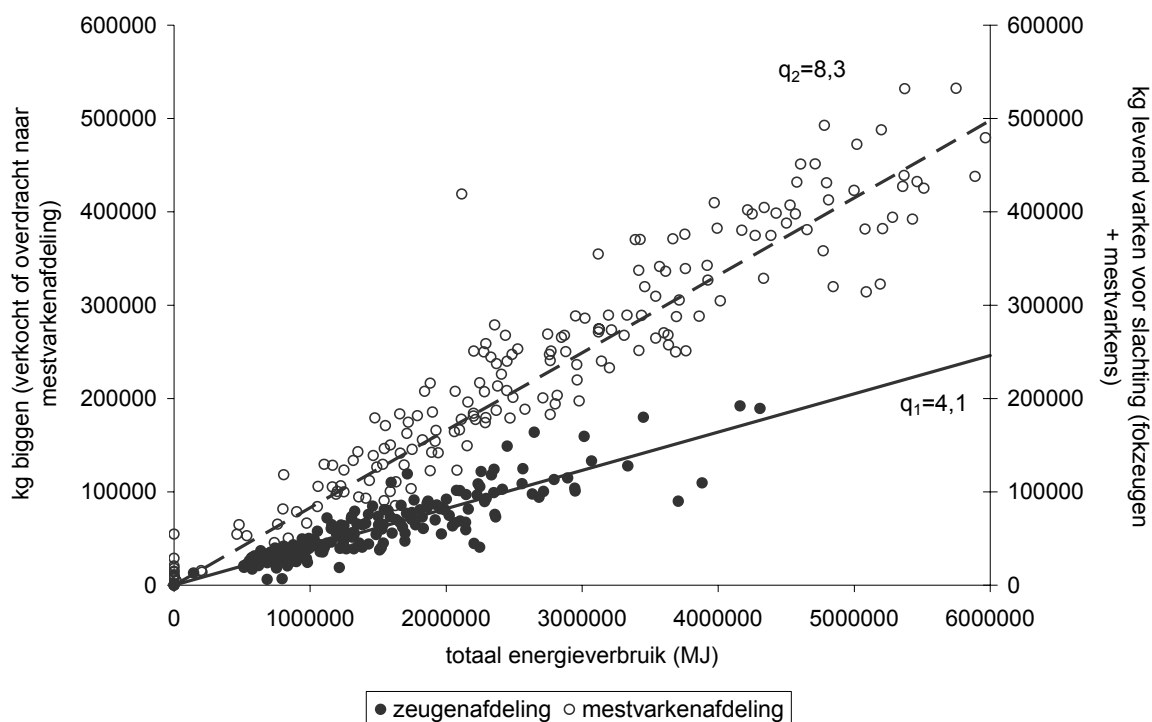
Indicatie voor: energie-efficiëntie

Berekeningsmethode: zie beschrijving methodologie in dit rapport.

Nodige gegevens: zie beschrijving methodologie in dit rapport

Databank: boekhouding landbouwbedrijf

Voorbeeld: Totaal energieverbruik vs. kg geproduceerde biggen (voor zeugenafdeling) en kg geproduceerde levende varkens voor slachting (voor mestvarkenafdeling) voor de gespecialiseerde Vlaamse varkensbedrijven uit de CLE dataset voor de jaartallen 1997 en 1998, q_1 = gemiddelde energieproductiviteit zeugenafdeling (kg big/100 MJ), q_2 = gemiddelde energieproductiviteit mestvarkenafdeling (kg levend varken/100 MJ)



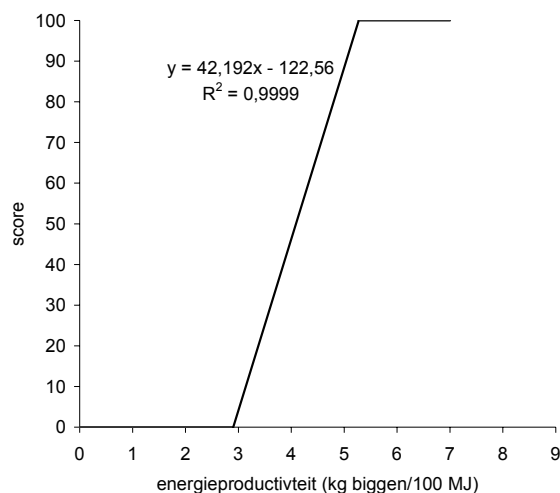
Normering: gebeurt door het onderzochte bedrijf te vergelijken met de resultaten op andere gespecialiseerde varkensbedrijven in Vlaanderen. De normering gebeurde nu op basis van de resultaten van de gespecialiseerde varkensbedrijven uit het CLE boekhoudnet voor de periode 1997-1998. Voor toekomstige berekeningen kunnen de resultaten van de nieuwe onderzochte bedrijven ook in rekening gebracht worden. De referentiewaarden voor het scoren van de indicator worden dan bepaald door de energieproductiviteit van de 10% beste en slechtste bedrijven.

Scores: Op basis van de bedrijven uit de CLE boekhouding in 1997-1998:

Zeugenafdeling:

energieproductiviteit < 2,9 = 0
energieproductiviteit > 5,3 = 100

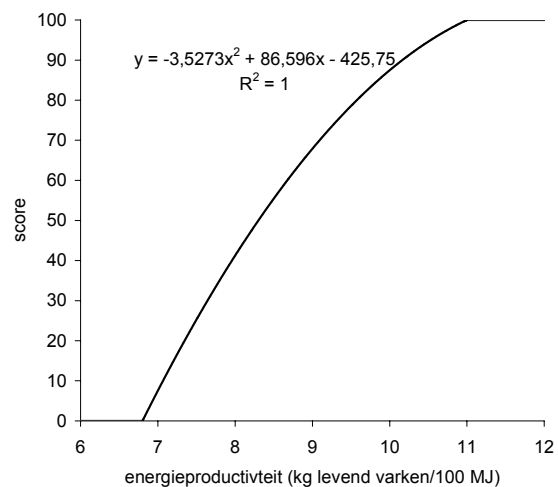
Voor tussenliggende waarden wordt volgende regressie gebruikt, waarbij de gemiddelde energieproductiviteit van alle bedrijven (= 4,1) een score gelijk aan 50 kreeg:



Mestvarkenafdeling:

energieproductiviteit < 6,8 = 0
energieproductiviteit > 11,0 = 100

Voor tussenliggende waarden wordt volgende regressie gebruikt, waarbij de gemiddelde energieproductiviteit van alle bedrijven (= 8,3) een score gelijk aan 50 kreeg:

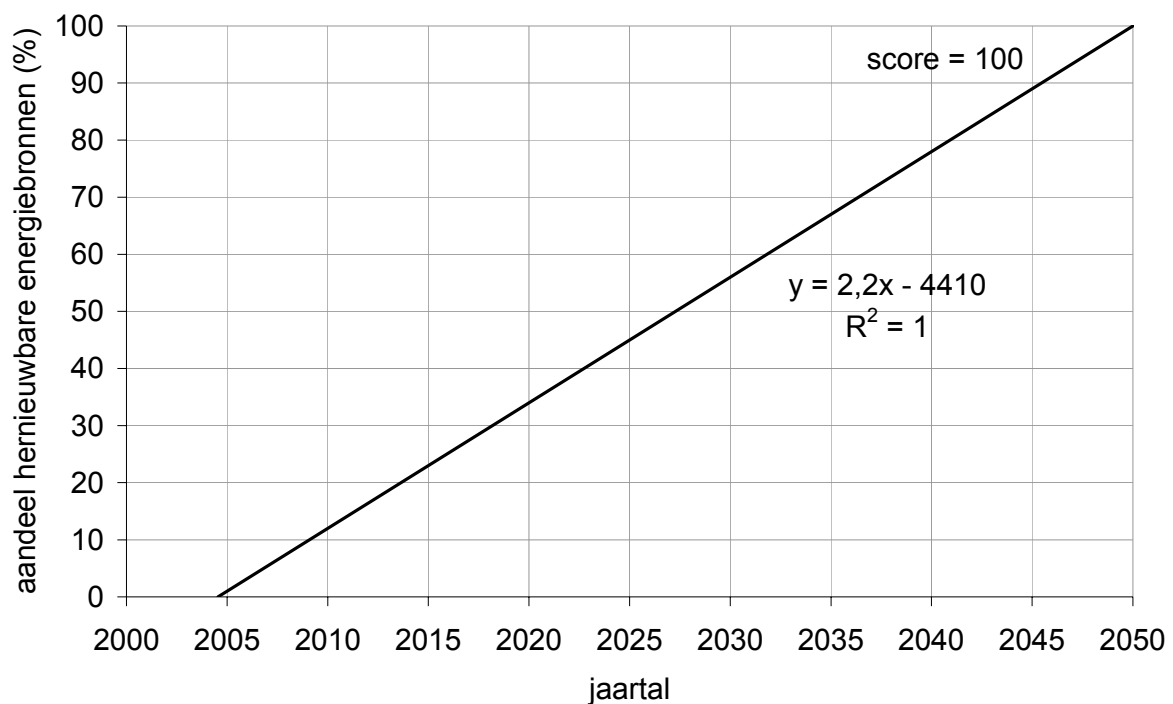


4.1.2. Indicator 2

De score van deze indicator wordt bepaald door het aandeel hernieuwbare energiebronnen in het totale energieverbruik. De Europese commissie heeft als doelstelling om tegen het jaar 2010 12% van het totale EU-energieverbruik uit hernieuwbare energiebronnen te halen. We stellen als streefdoel om tegen 2050 100% van onze energie uit hernieuwbare energiebronnen te halen. We kunnen aan de hand van deze 2 waarden een regressie maken die de score = 100 voor deze indicator zal bepalen (zie methodologische fiche). Dit betekent dat er jaarlijks een toename moet zijn van het aandeel hernieuwbare energiebronnen om de score 100 te blijven behalen. Het werkelijk aandeel hernieuwbare energiebronnen in een bepaald jaar op een bedrijf wordt dan gewogen t.o.v. het gewenste aandeel. Hieruit wordt de score bepaald.

INDICATOR 2 - aandeel hernieuwbare energiebronnen
<p>Definitie: het aandeel hernieuwbare energiebronnen (%). Hernieuwbare energiebronnen zijn zonne-energie, windenergie, getijden- en golfenergie, omgevings- en aardwarmte en biomassa.</p>
<p>Indicatie voor: duurzaam energieverbruik</p>
<p>Berekeningsmethode: procentueel aandeel van hernieuwbare energiebronnen in het direct energieverbruik:</p> $\frac{\text{hoeveelheid energie uit hernieuwbare bronnen (MJ)}}{\text{totaal direct energieverbruik (MJ)}} \times 100$ <p>Het direct energieverbruik is de hoeveelheid energie verbruikt onder vorm van mazout, loonwerk, elektriciteit, smeermiddelen, gas, hernieuwbare en andere energiebronnen.</p>
<p>Nodige gegevens: Dit zijn de gegevens nodig voor het berekenen van het direct energieverbruik en zijn terug te vinden in de beschrijving van de methodologie in dit rapport.</p>
<p>Databank: boekhouding landbouwbedrijf</p>
<p>Normering: gebeurt door het aandeel hernieuwbare energiebronnen op het onderzochte bedrijf te vergelijken met het gewenste aandeel hernieuwbare energiebronnen voor het onderzochte jaar.</p>

Scores: Op basis van de vergelijking van de waarde van de indicator met het gewenste aandeel hernieuwbare bronnen voor het onderzochte jaar.



Het aandeel hernieuwbare energiebronnen in een bepaald jaar wordt vergeleken met het gewenste aandeel, dat bepaald wordt door bovenstaande regressie. De score voor de indicator wordt bepaald aan de hand van het verschil tussen het werkelijke en het gewenste aandeel hernieuwbare energiebronnen in het onderzochte jaar.

Bv. Stel dat voor een bepaald bedrijf in 2010 het aandeel hernieuwbare energiebronnen gelijk is aan 5%. Het gewenste aandeel bedraagt 12% (uit de regressie). De score voor het bedrijf is dus gelijk aan: $\frac{5\%}{12\%} \times 100 = 41,7$.

4.1.3. Energie-index

De uiteindelijke index wordt berekend aan de hand van het rekenkundige gemiddelde van indicatoren 1 en 2.

4.2. Indicatoren voor energieverbruik van de Vlaamse landbouwsector

Per productierichting kan een algemene score berekend worden als het gewogen gemiddelde van de energie-indexen van alle onderzochte bedrijven van dat type. De weging kan bijvoorbeeld gebeuren op basis van de geproduceerde hoeveelheden op elk bedrijf.

5. Besluiten en aanbevelingen

- In de huidige Vlaamse rapportering over energieverbruik op landbouwbedrijven wordt enkel het direct energieverbruik in rekening gebracht. Nochtans blijkt uit dit onderzoek dat voor de onderzochte bedrijfstypes het indirect energieverbruik over het algemeen groter is dan het direct energieverbruik. Voornamelijk de productie van minerale meststoffen en voeders vraagt veel energie. Bij het direct energieverbruik is het dieselverbruik de grootste energieverbruikpost.
- Uit de evolutie van het energieverbruik op de onderzochte Vlaamse melkvee-, akkerbouw- en varkensbedrijven gedurende de jongste decennia, blijkt dat het direct energieverbruik nagenoeg gelijk is gebleven, maar dat het indirect energieverbruik in meer of minder sterke mate is gedaald. Dit wijst er op dat indirect energieverbruik sterker beïnvloedbaar is door het management van de landbouwer dan het direct energieverbruik. Een verminderd gebruik van minerale meststoffen en krachtvoeder kan een sterke daling veroorzaken van het energieverbruik. Een verminderd verbruik van diesel of elektriciteit ligt anderzijds niet zo voor de hand.
- Op de onderzochte gespecialiseerde melkvee- en varkensbedrijven ging een hoge energieproductiviteit gepaard met een hoge bruto toegevoegde waarde. Dit wijst erop dat energetische efficiëntie en goede economische prestaties hand in hand kunnen gaan.
- Voor de onderzochte akkerbouwbedrijven vonden we de positieve relatie tussen energie-efficiëntie en bruto toegevoegde waarde niet terug, maar dit is voornamelijk het gevolg van de gewassen in de teeltrotatie: de meest energie-efficiënte bedrijven hadden een groot aandeel energie-efficiënte gewassen, zoals granen, die evenwel financieel minst aantrekkelijk zijn. Dit toont aan dat het vergelijken van energie-efficiëntie op akkerbouwbedrijven beter gebeurt op gewasniveau dan op bedrijfsniveau.
- De indicatoren en de methodologie beschreven in deze studie kunnen toegepast worden voor het bepalen van het energieverbruik en -efficiëntie voor bedrijven uit andere productierichtingen.
- Tijdens dit onderzoek ondervonden we dat er een grote heterogeniteit bestaat in gepubliceerde cijfers over energieverbruik en energie-inhoud van landbouwinputs. Bovendien was vaak de achterliggende berekeningsmethode van de cijfers niet beschikbaar. Om op een duidelijke en eenduidige manier energieverbruik op landbouwbedrijven in de toekomst te kunnen berekenen, moet deze heterogeniteit zo veel mogelijk weggewerkt en de achterliggende methodologie zo helder en volledig mogelijk gerapporteerd worden.

6. Referenties

Aernouts, K. en Jaspers, K. 2004. Energiebalans Vlaanderen 2002: Onafhankelijke methode. Vito rapport 2004/IMS/R/175, 100 p.

Anonymous. 1997. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. English Conference of the Parties. Third session, Kyoto, 1-10 December 1997.

Bailey, A.P., Basford, W.D., Penlington, N., Park, J.R., Keytinge, J.D.H., Rehman, T., Tranter, R.B. en Yates, C.M. 2003. A comparison of energy use in conventional and integrated arable farming systems in the UK. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 97, 241-253.

Blonk, H., Lafleur, M., van Zeijts, H. 1997. Towards an environmental infrastructure for the Dutch Food Industry. Exploring the environmental information conversion of five food commodities. Screening LCA on pork. Appendix 4 of the report. IVAM Environmental Research, University of Amsterdam, Amsterdam, The Netherlands.

Boustead, I. 2003. Eco-profiles of the European plastics industry. Conversion processes for polyolefins. A report for the technical and environmental centre of the Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME). http://www.apme.org/media/public_documents/20040610_153828/PolyolefinsConversionReport_Nov2003.pdf

Brouwers, J., Claes, K., Moorkens, I., Briffaerts, K., Van Rompaey, H., De Groote, W., Boeckx, P. en van Wesemael, B. 2004. 2.12 Klimaatverandering. *In* Van Steertegem, M. (ed.). *Mira-T 2004, Milieu- en natuurrapport Vlaanderen: thema's*. LannooCampus, Leuven, p. 285-302.

Carlsson-Kanyama, A. 1998. Energy consumption and emissions of greenhouse gases in the life-cycle of potatoes, pork meat, rice and yellow peas. Technical Report no. 26, ISSN 1104-8298. Department of Systems Ecology, Stockholm University, Stockholm, Sweden.

Claes, K., Boeye, D. en Brouwers, J. 2001. 2.16. Klimaatverandering. *In* Van Steertegem, M. (ed.). *Mira-T 2001, Milieu- en natuurrapport Vlaanderen: thema's*. LannooCampus, Leuven, p. 345-357.

Commissie AMPERE. 2000. Syntheserapport van de commissie. Rapport van de Commissie voor de Analyse van Productiemiddelen van Elektriciteit en de Reoriëntatie van Energievectoren (AMPERE) aan de Staatssecretaris voor Energie en duurzame Ontwikkeling. http://mineco.fgov.be/energy/ampere_commission/Synthese_nl.pdf

Conforti, P. en Giampietro, M. 1997. Fossil energy use in agriculture: an international comparison. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 65, 231-243.

Corré, W., Schröder, J. en Verhagen, J. 2003. Energy use in conventional and organic farming systems. Proceedings 511. Paper presented to The International Fertiliser Society at a Meeting in London, April 3rd 2003.

Couder, J., Bongaerts, V., Verbruggen, A. en Brouwers, J. 2003. 1.3 Energie. *In* Van Steertegem, M. (ed.). Mira-T 2003, Milieu- en natuurrapport Vlaanderen: thema's. LannooCampus, Leuven, p. 67-84.

CVB. 2002. Tabellenboek Veevoeding 2002. Voedernormen landbouwhuisdieren en voederwaarde veevoerders. Centraal Veevoederbureau. Lelystad.

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

De Bruyne, L. 2004. Besparen op energie is haalbare kaart. *Landbouw & Techniek* 8, 4-6.

De Groote, W., Van Rompaey, H., Claes, K., Moorkens, I., Briffaerts, K., De Bruyn, L. en Brouwers J. 2003. 2.16 Klimaatverandering. *In* Van Steertegem, M. (ed.). Mira-T 2003, Milieu- en natuurrapport Vlaanderen: thema's. LannooCampus, Leuven, p. 287-301.

de Haan, M.H.A. en Feikema, W. 2001. Energiegebruik lagekostenbedrijf. Rapport 216. Praktijkonderzoek veehouderij. Wageningen UR, 37 p.

Dekkers, W.A. 2001. Kwantitatieve Informatie akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt 2002. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. Wageningen UR. 319 p.

De Venter, K., Demont, M. en Tollens, E. 2002. Bedrijfseconomische impact van biotechnologie in de Belgische suikerbietenteelt. Working Paper 2002/60. Afdeling Landbouw- en Milieueconomie, K.U.Leuven.

EMA. 2002. Environmental Management for Agriculture. A self audit, evaluation and reporting package for farmers and growers covering all aspects of environmental management. University of Hertfordshire, Department of Environment, Food & Rural Affairs.

FAO. 2000. The energy and agriculture nexus. Environment and Natural Resources Working Paper No.4. FAO, Rome.

Folland, C.K., Karl, T.R., Christy, J.R., Clarke, R.A., Gruza, G.V., Jouzel, J., Mann, M.E., Oerlemans, J., Salinger, M.J. en Wang, S-W. 2001. Observed climate variability and change. *In*: Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M. van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K. en Johnson, C.A. (eds.) *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 p.

- García Ciudad, V., Mathijs, E., Nevens, F. en Reheul, D. 2003. Energiegewassen in de Vlaamse landbouwsector. Stedula-publicatie 1. Steunpunt Duurzame Landbouw. Gontrode, 94 p.
- Gemengde Intercommunales en Electrabel. 2000. Energiebeheer in uw Melk- en Rundveebedrijf. 30 p.
- Gezer, I., Acaroğlu, M. en Haciseferoğullari, H. 2003. Use of energy and labour in apricot agriculture in Turkey. *Biomass and Bioenergy* 24, 215-219.
- Gliessman, S. 2000. *Agroecology. Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. CRC Press LLC, Boca Raton, 384 p.
- Günther, F. 2000. Vulnerability in Agriculture: Energy use, Structure and Energy futures. Paper held at the INES conference, KTH, Stockholm, June 15, 2000.
- Haas, G., Wetterich, F. en Köpke, U. 2001. Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 83, 43-53.
- Hageman, I. 1994. Invloed bedrijfsfactoren op energiegebruik melkveebedrijven. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, Lelystad, PR-rapport 150.
- Hageman, I en Mandersloot, F. 1994. Model energieverbruik melkveebedrijf. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, Lelystad, PR-publicatie 86, 32 p.
- Hageman, I., Mandersloot, F. en Bosma, A.H. 1995. Energiegebruik bij de ruwvoerteelt en -winning op melkveebedrijven. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, Lelystad, PR-rapport 157, 122 p.
- Halberg, N. 1999. Indicators of resource use and environmental impact for use in a decision aid for Danish livestock farmers. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 76, 17-30.
- Helander, C.A. en Delin, K. 2004. Evaluation of farming systems according to valuation indices developed within a European network on integrated and ecological arable farming systems. *European Journal of Agronomy* 21, 53-67.
- Hülsbergen, K.-J., Feil, B., Biermann, S., Rathke, G.-W., Kalk, W.-D. en Diepenbrock, W. 2001. A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 86, 303-321.
- IEA. 2000. *World Energy Outlook 2000*. IEA Publications, Parijs, 457 p.
- Jones, M.R. 1989. Analysis of energy use in agriculture - approaches and problems. *Agricultural Systems* 29, 339-355.

Koskamp, G.J., van der Laan, O.J.H., Middelkoop, N. en van der Schans, F.C. 2000. Energie op de Marke, Centrum voor Landbouw en Milieu, Utrecht, 46 p.

Lauwers, L., Sanders, A., Lenders, S., Wustenberghs, H., Campens, V., Carels, K., Van Gijseghe, D., Maes, F., Douvere, F., en Overloop, S. 2003. Milieu- en natuurrapport Vlaanderen, MIRA achtergronddocument 2003, 1.4 | Landbouw & visserij. Vlaamse Milieumaatschappij, 140 p.

Lepoutre, J., Mathijs, E., Nevens, F., Van Passel, S. en Van Huylenbroeck, G. 2004. Indelingen van Vlaamse land- en tuinbouwbedrijven: een analyse en beleidsaanbevelingen. Steunpunt Duurzame Landbouw. Publicatie 11, 64 p.

MacGregor, R.J., Lindenbach, R., Weseen, S. en Lefebvre, A. 2000. Energy Use. *In* McRae, T., Smith, C.A.S. en Gregorich, L.J. (eds). Environmental Sustainability of Canadian Agriculture: Report of the Agri-Environmental Indicator Project. Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, p. 171-177.

Maertens, A. en Van Lierde, D. 2003. Het energieverbruik in de Vlaamse land- en tuinbouw. Publicatie n° 1.01. Centrum voor Landbouweconomie, 69 p.

Meul, M., Nevens, F., Reheul, D., Gulinck, H. en Hofman, G. 2004. Gebruik van bio-indicatoren voor ecologisch duurzame landbouw: mogelijkheden en beperkingen. Stedulapublicatie 5. Steunpunt Duurzame Landbouw, Gontrode, 27 p.

Ministerie van Middenstand en Landbouw. 2001. De Belgische landbouwteelten: een overzicht. Brochure. 76 p.

Ministerie van Landbouw. Landbouw-Economisch Instituut (L.E.I.) 1991. De Rendabiliteit van het tuinbouwbedrijf in 1990 (91). L.E.I.-publicaties nr 534.

Moerschner, J. en Lücke, W. 2002. Energy investigations of different intensive rape seed rotations - A German case study. *In* van Ierland, E.C. en Oude Lansink, A. (eds.) Economics of Sustainable Energy in Agriculture. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p 27-40.

NOVEM. 1992. De haalbaarheid van de productie van biomassa voor de Nederlandse energiehuishouding: eindrapport. Nederlandse Maatschappij voor Energie en Milieu, Apeldoorn, 79 p.

Pimentel, D. 1993. Economics and energetics of organic and conventional farming. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 6, 53-61.

Pimentel, D., Pimentel, M. en Karpenstein-Machan, M. 1999. Energy Use in Agriculture: An Overview. *Agricultural Engineering International*, Volume 1. <http://www.ucd.ie/cigr/>

ODYSSEE. 2003. Indicators for Energy Efficiency Monitoring and Target Setting. Phase 8. National report for Belgium. ODYSSEE, 56 p.

- Ooghe, H. en Van Wymeersch, C. 2001. Financiële analyse in de praktijk 2001. De onderneming financieel doorgelicht op basis van de jaarrekening. Kluwer/ced.samsom, Diegem, 116 p.
- OOPEC, 1999. Commission Decision of 7 June 1985 establishing a Community typology for agricultural holdings (85/377/EEC). Office for Official Publications of the European Communities, 37p.
- Ozkan, B., Akcaoz, H. en Fert, C. 2004. Energy input-output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy* 29, 39-51.
- Ravensbergen, P en Baltussen, W. 2001. 'Perspectief voor duurzame energievoorzienig in de agrarische sector'. Lezing voor NVTL-studiedag *Ontwerpen*. Wageningen, 13 maart 2001.
- Refsgaard, K., Halberg, N. en Kristensen, E.S. 1998. Energy utilization in crop and dairy production in organic and conventional livestock production systems. *Agricultural Systems* 57, 599-630.
- Stout, B.A. 1990. *Handbook of Energy for World Agriculture*. Elsevier Science Publications Ltd, London.
- Swantson, C.J., Murphy, S.D., Hume, D.J. en Clements, D.R. 1996. Recent Improvements in the Energy Efficiency of Agriculture: Case Studies from Ontario, Canada. *Agricultural Systems* 52, 399-418.
- Uhlin, H-E. 1998. Why Energy Productivity is Increasing: an I-O Analysis of Swedish Agriculture. *Agricultural Systems* 56, 443-465.
- Uhlin, H-E. 1999. Energy productivity of technological agriculture-lessons from the transition of Swedish agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 73, 63-81.
- UNDP. 2000. *World Energy Assessment: Energy and the challenge of sustainability*. United Nations Development Programme, New York, 508 p.
- Van Dasselaar, A. en Pothoven, R. 1994. *Energieverbruik in de Nederlandse landbouw. Vergelijking van verschillende bemestingsstrategieën*. NMI, Wageningen, 85 p.
- van der Werf, H.M.G., Petit, J. en Sanders, J. 2005. The environmental impacts of the production of concentrated feed: the case of pig feed in Bretagne. *Agricultural Systems*, 83, 153-177.
- Verbruggen, I., Nevens, F., Reheul, D. en Hofman, G. 2004. Stikstofgebruik en -efficiëntie in de Vlaamse melkveehouderij. *Stedula-publicatie 6. Steunpunt Duurzame Landbouw*, Gontrode, 58 p.

VLM. 2002. Emissiepreventie in de landbouw door middel van nutriëntenbalansen Vervolgproject. Eindrapport Augustus 2002.

WEC. 2001. Energy Efficiency Policies and Indicators: A Report by the World Energy Council. World Energy Council, London, 231 p.

Wells, D. 2001. Total Energy Indicators of Agricultural Sustainability: Dairy Farming Case Study. Technical paper 2001/3. Ministry of Agriculture and Forestry, Wellington.

Wustenberghs, H., De Haes, E., Lauwers, L. Lenders, S., Vervaet, M. Platteau, J. Van Gijsegem, D., Verstraeten, G. en Overloop, S. 2004. 1.5. Landbouw. *In* Van Steertegem, M. (ed.). Mira-T 2004, Milieu- en natuurrapport Vlaanderen: thema's. LannooCampus, Leuven.

Websites:

[1] <http://www.snm.nl/docs/visieglas.pdf>. Glas in beweging. Naar een duurzame glastuinbouw. Visie van Stichting Natuur en Milieu en de 12 provinciale Milieufederaties op de toekomst van de glastuinbouw in Nederland. 35 p.

[2] <http://www.emis.vito.be>. Het energie en milieu informatiesysteem voor het Vlaamse Gewest.

[3] http://www.aie.org.au/facts_index.htm. The Australian Institute of Energy. Energy Value and Greenhouse Emission Factor of Selected Fuels.

[4] www.nitg.tno.nl. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO.

[5] <http://www.minez.nl>. Ministerie van Economische Zaken, Nederland.

[6] <http://www.rivm.nl/milieuennatuurcompendium/nl>. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Natuur en Milieu in cijfers. Milieu & Natuurcompendium.

[7] <http://www.energie.nl/monitweb/soortinfo.html>. Energie in Nederland. MONITweb.

[8] http://www.mja.novem.nl/download/hr_vt_3_20_opbouw_db.pdf. Nederlandse Organisatie voor Energie en Milieu. Meer Jaren Afspraken-site. Handreiking Verbredingsthema's MJA2. Toelichting en Uitwerking van het Protocol.

[9] <http://www.informazout.be>. Informatiecentrum over verwarmen van gebouwen met mazout.

[10] http://mineco.fgov.be/energy/energy_statistics/Statistics_nl_001.htm. Federale Overheidsdienst Economie, KMO, Middenstand en Energie. Verloop van de gemiddelde verbruikersprijzen van niet-hernieuwbare energiebronnen.

[11] http://www.phytofar.be/nl/pdf/rapport_annuel_2003_nl.pdf. Phytofar. Jaarrapport 2202-2003. 19 p.

[12] http://ecodata.mineco.fgov.be/mdn/ts_structuur.jsp?table=E19. FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, Nationaal Instituut voor de Statistiek. Land- en tuinbouwprijzen.

[13] <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search>. USDA National Nutrient Database.

[14] http://mineco.fgov.be/energy/balance_sheets/2001/evol2001_nl-04.htm. Federale Overheidsdienst Economie, KMO, Middenstand en Energie. De elektriciteitsmarkt.

[15] <http://www.nrc.nl/encyclopedie/1023434483509.html>. NRC Handelsblad. Elektriciteitsvoorziening.

[16] <http://www.barenbrug.be>. Zaadbedrijf Barenbrug Belgium.

Annex I. Energie-inhouden van verschillende energiedragers

energiedrager	energie-inhoud	bron
lichte stookolie	35.7 MJ/l	[2]
	35.9 MJ/l	Dalgaard et al., 2001
	38 MJ/l	Wells, 2001
	38.6 MJ/l	[3]
	39.6 MJ/l	Hülsbergen et al., 2001
	38.6 MJ/l	Maertens en Van Lierde, 2003
	38.7 MJ/l	[3]
	38,463 MJ/l	CLE Landbouwboekhoudnet
biodiesel	32.5 MJ/l	[2]
petroleum	34.5 MJ/l	Wells, 2001
	36.2 MJ/l	Maertens en Van Lierde, 2003
	34.5 MJ/l	[4]
	33,555 MJ/l	CLE Landbouwboekhoudnet
smeermiddel	40 MJ/l	Wells, 2001
	3.6 MJ/l diesel	Dalgaard et al., 2001
extra zware stookolie	40.5 MJ/l	Maertens en Van Lierde, 2003
	39 MJ/l	[4]
	41.7 MJ/l	[3]
	42,287 MJ/l	CLE Landbouwboekhoudnet
zware stookolie	43,040 MJ/l	CLE Landbouwboekhoudnet
halfzware stookolie	43,585 MJ/l	CLE Landbouwboekhoudnet
aardgas	31.65 MJ/m ³	[4]
	35.17 MJ/m ³	[5]
	31.6 MJ/m ³	[6]
	31.65 MJ/m ³	[7]
	31.97 MJ/m ³	[8]
	36 MJ/m ³	[9]
	35,170 MJ/m ³	CLE Landbouwboekhoudnet
	elektriciteit	3.6 MJ/kWh
	3.6 MJ/kWh	[4]
	3.6 MJ/kWh	Maertens en Van Lierde, 2003
	3.6 MJ/kWh	[7]
	3.6 MJ/kWh	EMA, 2002
propaan	25 MJ/l	EMA, 2002
	25.5 MJ/l	[3]
	26.3 MJ/l	Maertens en Van Lierde, 2003
	26,716 MJ/l	CLE Landbouwboekhoudnet
butaan	29,782 MJ/l	CLE Landbouwboekhoudnet
benzine (petrol)	38 MJ/l	EMA, 2002
	34.7 MJ/l	[3]
	34.8 MJ/l	Maertens en Van Lierde, 2003
benzine super	34,775 MJ/l	CLE Landbouwboekhoudnet
benzine normaal	34,026 MJ/l	CLE Landbouwboekhoudnet
LPG	27,330 MJ/l	CLE Landbouwboekhoudnet

energiedrager	energie-inhoud	bron
kolen (steenkool)	28 MJ/kg	EMA, 2002
	29 MJ/kg	[3]
	33 MJ/kg	Maertens en Van Lierde, 2003
	29.3 MJ/kg	[4]
stro	15 MJ/kg	EMA, 2002
hout	18 MJ/kg	EMA, 2002
	10.9-20 MJ/kg	[3]
	13.5 MJ/kg	[4]

Annex II. Indirect energieverbruik voor productie van verschillende inputs

input	energieverbruik	bron
productie van machines	12 MJ/l diesel	Dalgaard et al., 2001
zaaizaad of pootgoed nodig voor de teelt van 1 ha* (MJ)		
wintertarwe	358 (conventionele teelt) 459 (organische teelt) 897	Refsgaard et al., 1998 Refsgaard et al., 1998 Hülsbergen et al., 2001; Dekkers, 2001
suikerbiet	446	Hülsbergen et al., 2001; Ministerie van Middenstand en Landbouw, 2001
	392	Hülsbergen et al., 2001; Bonnez B. (Iscal Sugar nv., pers. comm.)
aardappel	1300	Hülsbergen et al., 2001; PCA (pers. comm.)
kuilmaïs	168	zie opmerking**
gras	132	Wells, 2001; Dekkers, 2001
minerale meststoffen (MJ/kg)		
N	43-78 35,3-49,4 47,1 65 61,5	Dalgaard et al., 2001 Hülsbergen et al., 2001 Gezer et al., 2003 Wells, 2001 Gliessman, 2000
P ₂ O ₅	15,8	Hülsbergen et al., 2001
K ₂ O	9,3	Hülsbergen et al., 2001
pesticiden (MJ/kg actieve stof)		
herbiciden	288 80-460 270	Hülsbergen et al., 2001 Dalgaard et al., 2001 Wells, 2001
fungiciden	196 61-397 216	Hülsbergen et al., 2001 Dalgaard et al., 2001 Gezer et al., 2003
insecticiden	237 58-580	Hülsbergen et al., 2001 Dalgaard et al., 2001
krachtvoeder melkkoeien (MJ/kg)		
standaardbrok	6,3	de Haan en Feikema, 2001
eiwitrijke brok	5,2	de Haan en Feikema, 2001
extra eiwitrijke brok	3,9	de Haan en Feikema, 2001
granen	2,9	Wells, 2001
ruwvoeder melkkoeien		
snijmaïs	2,7 MJ/kg DS = 0,86 MJ/kg vers***	de Haan en Feikema, 2001
maïskuil	1,65 MJ/kg DS = 0,53 MJ/kg vers***	Wells, 2001
graskuil	1,5 MJ/kg DS = 0,48 MJ/kg vers***	Wells, 2001

input	energieverbruik	bron
voeder varkens (MJ/kg)		van der Werf et al., 2005
biggen	6,0	
fokzeugen	3,7	
mestvarkens	3,4	
energieverbruik loonwerker	0,26 MJ/BEF = 10,5 MJ/€	de Haan en Feikema, 2001

* Voor alle granen gebruiken we de dezelfde waarde als deze berekend voor wintertarwe (= 571 MJ/ha). Voor voederbieten gebruiken we dezelfde waarde als voor suikerbieten (= 419 MJ/ha). Voor de teelt van pootaardappelen rekenen we met een waarde van 2340 MJ/ha. Deze redenering volgt uit de veronderstelling dat voor de productie van pootaardappelen 1,8 keer zoveel pootgoed wordt gebruikt als voor de productie van consumptieaardappelen (afgeleid uit Dekkers, 2001). Voor korrelmaïs gebruiken we dezelfde waarde als voor kuilmaïs (168 MJ/ha). Voor alle andere gewassen (voornamelijk groenten) berekenden we het gemiddelde van de gekende waarden (behalve de waarde voor aardappelen) = 322 MJ/ha.

** Opmerking: we pasten volgende redenering toe:

- Uit de tabel blijkt dat het energieverbruik voor de productie van kuilmaïs gemiddelde 2,175 MJ/kg DS bedraagt (de Haan en Feikema, 2001; Wells, 2001).
- We veronderstellen dat bij de productie van zaaizaad van maïs 1 kg DS voor de helft uit korrel bestaat. We hebben dus $2,175 * 2 = 4,35$ MJ/kg zaaizaad nodig.
- Het duizendkorrelgewicht van maïs bedraagt ongeveer 340 g [16] en er worden gemiddeld ongeveer 114.000 zaden per ha gezaaid (Dekkers, 2001; Ministerie van Middenstand en Landbouw, 2001). Dit komt overeen met 38,7 kg zaad per ha.
- Het energieverbruik voor zaaizaad nodig voor de teelt van 1 ha maïs bedraagt dus 168 MJ/ha.

*** Gerekend aan een DS gehalte van 32%

Annex III. Energie-inhoud van de belangrijkste landbouwproducten

product	energie-inhoud (MJ/kg vers product)	bron
melk	2,5 MJ/l melk	[13]
varkensvlees		
mager varkensvlees	5,9	[13]
vet varkensvlees	9,7	[13]
vet	36	[13]
ingewanden	6,0	[13]
wintertarwe (zaad)	14	Novem, 1992
	18,4	Hülsbergen et al., 2001
	13,8	[13]
	15,8	Moerschner en Lücke, 2002
winterrogge (zaad)	14	[13]
wintergerst (zaad)	14,8	[13]
	15,8	Moerschner en Lücke, 2002
	16,9	Hülsbergen et al., 2001
zomerhaver (zaad)	16,3	[13]
	16,3	Moerschner en Lücke, 2002
korrelmaïs (korrel)	15,3	[13]
kuilmaïs	5,5	Novem, 1992
suikerbiet (wortel)	5,6	Novem, 1992
	5,0	Hülsbergen et al., 2001
aardappel	3,2	[13]
	3,5	Hülsbergen et al., 2001
graszaad en andere zaden	16,4	Moerschner en Lücke, 2002
groene bonen	1,3	[13]
kolen	1,0	[13]
broccoli	1,4	[13]
bloemkool	1,0	[13]
selder	0,6	[13]
witloof	0,7	[13]
erwten	3,4	[13]
andijvie	0,7	[13]
venkel	1,3	[13]
prei	2,6	[13]
sla	0,6	[13]
uien	1,6	[13]
pompoen	1,1	[13]
spinazie	1,0	[13]
raap	1,2	[13]
koolraap	1,5	[13]
soja	6,1	[13]
appel	2,2	[13]
peer	2,4	[13]
pruim	1,9	[13]
aardbeien	1,4	[13]

