Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 300

Verkenning van de invloed van vochtige diervoeders op de methaanemissie door melkvee

December 2009

LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Colofon

Uitgever
Wageningen UR Livestock Research
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail info.livestockresearch@wur.nl
Internet http://www.livestockresearch.wur.nl

Redactie
Communication Services

Copyright
© Wageningen UR Livestock Research, 2009
Overname van de inhoud is toegestaan,
mits met duidelijke bronvermelding.

Aansprakelijkheid
Wageningen UR Livestock Research (formeel ASG Veehouderij BV) aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen UR Livestock Research, formeel 'ASG Veehouderij BV', vormt samen met het Centraal Veterinair Instituut en het Departement Dierwetenschappen van Wageningen Universiteit de Animal Sciences Group van Wageningen UR.

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.

De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Abstract
Various wet animal feeds differed in their estimated contribution to methane emission by dairy cattle. In exchange with concentrates, wet animal feeds caused a higher or lower methane emission depending on their chemical composition and rumen degradation characteristics. Because values of net energy of lactation (NE_L) were mostly comparable to that of concentrates, protein-rich and starch-rich feeds were estimated to deliver less methane per kg of fat-corrected milk up to a maximum of 20%.

Keywords
methane, nutrition, wet feeds, dairy cattle

Referaat
Dit rapport geeft een overzicht van de invloed de aard en de hoeveelheid vochtrijke diervoeders in de melkveevoeding op de methaanvorming en melkproductie. Tevens werd een inschatting gemaakt van de randvoorwaarden voor toepassing, en van het nationale effect op methaanemissie bij een, praktisch gezien, maximale toepassing van deze vochtrijke diervoeders. Het effect op methaanemissie werd afgezet tegen het effect van energiebesparing door het achterwege laten van drogen van deze vochtrijke diervoeders.

ISSN 1570 – 8616

Auteur(s)
A. Bannink

Rapport 300

Titel
Verkenning van de invloed van vochtige diervoeders op de methaanemissie door melkvee

Samenvatting
Uiteenlopende vochtrijke diervoeders verschilden in geschatte bijdrage aan de methaanemissie door melkvee. Bij uitwisseling met krachtvoer hadden de vochtrijke diervoeders een hogere of lagere methaanemissie afhankelijk van hun chemische samenstelling en afbraakkarakteristieken in de pens. Omdat de netto energiewaarde voor melkproductie (VEM) meestal vergelijkbaar was met die voor krachtvoer werd voor eiwitrijke en zetmeelrijke voeders een lagere methaanemissie per kg vetgecorrigeerde melk berekend tot maximaal 20%.

Trefwoorden
methaan, voeding, vochtrijke voeders, melkvee

LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Rapport 300

Verkenning van de invloed van vochtige diervoeders op de methaanemissie door melkvee

Investigation of the effect of wet animal feeds on methane emission in dairy cattle

A. Bannink

December 2009

Voorwoord

Als onderdeel van de inspanningen van het Rijk om de uitstoot van broeikasgassen in de landbouw te verminderen voert SenterNovem, in opdracht van VROM en in samenwerking met LNV, het Programma Reductie Overige Broeikasgassen (ROB) uit. In 2007 is het ROB gestart met een voorlichtingscampagne in de melkveehouderij 'Zien is geloven'. In deze campagne wordt kennis overgedragen over de bronnen van de broeikasgassen en worden mogelijke maatregelen onder de aandacht van melkveehouders gebracht. Als onderdeel van de voorlichtingscampagne zijn in 2008 ook enkele praktijkprojecten gestart samen met ketenpartijen. In een ketenproject staat de klimaatwinst in meerdere delen van de melkveehouderijketen centraal.

De melkveehouderij draagt in belangrijke mate bij aan de methaanemissie uit de Nederlandse landbouw. Om deze reden is er veel aandacht voor mitigatie van de methaanemissie door melkvee via de voeding. Ook vochtrijke diervoeders maken deel uit van het melkveerantsoen. Als voorbereiding op een mogelijk ketenproject met de Overleggroep Producenten Natte Veevoeders (OPNV) wil ROB landbouw meer zicht krijgen op de mogelijkheden om de methaanemissie en het energieverbruik te reduceren bij de toepassing van enkelvoudige en vochtrijke diervoeders zoals perspulp, maïsglutenvoermeel, bierbostel en overige producten. In deze studie werd berekend welke gevolgen voor de methaanemissie te verwachten zijn. Bovendien werd geëvalueerd hoe de verschillende soorten vochtrijke diervoeders, die in de huidige markt beschikbaar zijn, zich qua methaanvormend potentieel tot elkaar verhouden, en als alternatief voor ruwvoer en krachtvoer.

Nagegaan wordt welke mogelijkheden er zijn om groter aandeel van vochtrijke diervoeders in vochtige vorm in plaats van gedroogde vorm in te zetten in de rundveevoeding, en wat een besparing aan energieverbruik zou opleveren. Uit eigen inventarisatie van OPNV blijkt dat de producenten van vochtrijke diervoeders in 2007 665.000 ton perspulp en maïsglutenvoer hebben gedroogd, waarbij naar schatting 58.545 ton CO2 wordt uitgestoten door het drogen. Deze CO2-uitstoot had bespaard kunnen worden als de genoemde producten op aanvaardbare wijze geplaatst hadden kunnen worden in de rundveehouderij.

Een kritische succesfactor voor mogelijke emissiereductie is ook zeker de acceptatie van enkelvoudige (vochtrijke) voedermiddelen door de Nederlandse melkveehouders. In deze studie is daarom ook verkend welke voedingstechnische mogelijkheden/belemmeringen er kunnen zijn voor melkveehouders om meer vochtrijke voedermiddelen in te zetten.

Samenvatting

Vochtrijke diervoeders lijken goed toepasbaar in melkveerantsoenen en kunnen vanwege hun specifieke eigenschappen een gerichte aanvulling zijn op kracht- en ruwvoer. Er werd weinig informatie gevonden over specifiek het gemengd verstrekken van vochtrijke diervoeders, wel over het doorgaans gunstige effect van gemengd voeren van een volledig rantsoen. Deze gunstige uitwerking lijkt eveneens van toepassing op vochtrijke diervoeders.

In deze studie werden berekeningen uitgevoerd voor het methaanleverend vermogen van uiteenlopende vochtrijke diervoeders, waaronder zowel eiwitrijke, zetmeelrijke, suikerrijke als vezelrijke producten. De berekeningen werden uitgevoerd met een dynamisch, mechanistisch model dat momenteel als Tier 3 methode wordt toegepast in het protocol voor de nationale emissieregistratie van broeikasgasemissies. De opname van vochtrijke diervoeders in een rantsoen met een aandeel van 10% van de droge stof had een variabel effect op de absolute methaanemissie (g methaan/koe/dag). Niet alleen de verschillen in de chemische samenstelling (koolhydraten, eiwit, vet) ten opzichte van die van krachtvoer was hiervoor verantwoordelijk, maar ook de verschillen in de mate van afbraak en microbieel verbruik in de pens, en verschillen in vertering en energetische waarde voor de koe. Vochtrijke diervoeders hebben doorgaans een vergelijkbare VEM-waarde met die van krachtvoer en om die reden gaven de zetmeelrijke en/of eiwitrijke vochtrijke diervoeders een afname van de methaanemissie per kg vet-gecorrigeerde melk (g methaan/kg FCM). De grootste afname werd berekend voor bierbostel, tarwegistconcentraat en maïsglutenvoer, gevolgd door de zetmeelrijke diervoeders uit de aardappelverwekende industrie. Er werd een relatief grote toename berekend voor bietenperspulp en cichoreipulp. De berekende effecten waren consistent voor uiteenlopende samenstelling van de ruwvoerfractie in het rantsoen (maiskuil uitgewisseld tegen graskuil). De samenstelling van het ruwvoer had eveneens een sterke invloed op de berekende methaanemissie en was van een vergelijkbare orde van grootte als de effecten van vochtrijke diervoeders. Per eenheid FCM was de afname in berekende methaanemissie incidenteel fors, met een 20% lagere waarde als maximaal effect voor de eiwitrijke producten (een 2% lagere waarde bij vervanging van 10% van de droge stof in het rantsoen). De in deze studie berekende effecten van vochtrijke diervoeders op de methaanemissie zijn qua trend algemeen geldig, en qua grootte maatgevend indien de voedingsomstandigheden niet sterk verschillen van de rantsoenen aangehouden in deze studie. De berekende procentuele afname van methaan/kg FCM werd groter naarmate het methaanleverend vermogen van het basisrantsoen lager was (minder grassilage, meer maissilage), terwijl de berekende procentuele toenames van methaan/kg FCM kleiner werden. Voor de vochtrijke diervoeders gold (in de meeste gevallen) hetzelfde voor de berekende absolute hoeveelheid methaan per kg droge stof.

Momenteel worden grote hoeveelheden vochtrijke bijproducten gedroogd. De effecten op de methaanemissie indien deze hoeveelheid bijproducten als vochtrijk diervoeder zouden worden ingezet in melkveerantsoenen zijn gering (0.01 Mton CO_2) ten opzichte van het effect van het achterwege laten van droging van deze vochtrijke producten (wat gepaard gaat met 0.06 Mton CO_2). Vervanging van een extra 10% van de droge stof in het Nederlandse melkveerantsoen door een verscheidenheid aan vochtrijke diervoeders zal, bij een veronderstelde 1% verlaging van de methaanemissie als gemiddeld effect voor alle typen vochtrijke diervoeders, een afname geven in de orde van grootte van 0.3 Mton CO_2. Deze afname is berekend inclusief de besparing op energieverbruik door het achterwege blijven van drogen van deze producten. Het door de OPNV opgegeven energieverbruik per kg droge stof is hierbij als maatgevend aangehouden. De hiervoor benodigde hoeveelheid vochtrijke (maar niet vezelrijke) diervoeders is ongeveer vier maal zo groot als de hoeveelheid bietenperspulp en maïsglutenvoer die volgens opgave door de OPNV momenteel nog wordt gedroogd.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

1 Inleiding **1**

2 Gemengd vervoederen van vochtrijke diervoeders **2**

2.1 Vochtrijke diervoeders als krachtvoer, of als ruwvoer? 2

2.2 Vochtrijke diervoeders voor balanceren rantsoen 2

2.3 Gemengd voeren 5

2.4 Conclusies 8

3.1 Model voor voorspelling methaanvorming door melkvee 9

4 Aannames en modelinvoergegevens **12**

4.1 Uitgangspunten geselecteerde enkelvoudige diervoeders 12

4.2 Variatie in rantsoensamenstelling 12

4.3 Keuze referentiesituatie 13

4.4 Afbakening 13

5 Methaanleverend vermogen vochtrijke diervoeders en enkelvoudige diervoeders **18**

6 Discussie en conclusies **23**

6.1 Interpretatie van resultaten voor vochtrijke diervoeders 23

6.2 Vergelijking effect vochtrijke diervoeders met effect type ruwvoer 24

6.3 Vergelijking effect vochtrijke diervoeders met ruwvoerkwaliteit 24

6.4 Effecten op rantsoenformulering 24

6.5 Impact van vochtrijke diervoeders in de melkveevoeding op emissie 28

7 Conclusies **30**

8 Literatuur **31**

1 Inleiding

De melkveehouderij draagt in belangrijke mate bij aan de methaanemissie uit de Nederlandse landbouw. Om deze reden is er veel aandacht voor mitigatie van de methaanemissie door melkvee. Omdat het grootste aandeel van methaan uit de landbouw (75%) in het maagdarmkanaal van rundvee ontstaat, en de hoeveelheid in het maagdarmkanaal verteerd voer het meest bepalend is voor zowel melkproductieniveau als methaanemissie, ligt het voor de hand om te verkennen welke mogelijkheden er zijn om via de voeding de methaanemissie te reduceren.

Naast de geteelde ruwvoeders en aangekochte krachtvoeders worden ook enkelvoudige diervoeders en vochtrijke diervoeders ingezet als voedermiddel. Deze producten kunnen een deel van het ruwvoer en/of krachtvoer vervangen in een melkveerantsoen. Bij een verdergaande schaalvergroting in de melkveehouderij is het aannemelijk dat meer melkveehouders gebruik gaan maken van de mogelijkheid om grote partijen zogeheten vochtrijke diervoeders aan te kopen, en deze op te slaan en te conserveren op het eigen bedrijf. De term vochtrijke diervoeders (hoewel deze ook in gedroogde vorm verhandeld worden) slaat op het relatief lage droge stof (DS)-gehalte van de producten die als reststromen vrijkomen in de suiker- en zetmeelverwerkende voedingsindustrie (tarwe, gerst, maïs, aardappel, suikerbieten, cichorei), en in overige graanverwerkende industrieën (m.n. bierbostel). Ook komen er nieuwe vochtrijke diervoeders beschikbaar, zoals de tarwegistconcentraten als bijproduct bij de bioethanolproductie. Dergelijke relatief nieuwe bijproducten vinden ook in de melkveevoeding een toepassing. Vooral de intensievere melkveebedrijven die een lagere graad van zelfvoorziening hebben (lager aandeel ruwvoer in het rantsoen) kunnen in toenemende mate gebruik gaan maken van deze vochtrijke bijproducten ter vervanging van krachtvoer. In dit rapport wordt vanaf nu de term vochtrijke diervoeders gebruikt als verzamelnaam voor bovengenoemde reststromen uit de industrie die in eerste instantie als een vochtig bijproduct vrijkomen, ongeacht de wijze en vorm waarop zij uiteindelijk ingezet worden in melkveerantsoenen (als vers aangeleverd product, als ingekuild product, of als gedroogd product).

Het is echter niet duidelijk in welke mate deze vochtrijke diervoeders bijdragen aan de methaanemissie door melkvee. Ook is niet duidelijk hoe de vochtrijke diervoeders zich verhouden tot het volledige melkveerantsoen en tot enkele droge enkelvoudige diervoeders die eveneens als bulk aangekocht worden en toepassing vinden in melkveerantsoenen. Dergelijke enkelvoudige diervoeders hebben een relatief hoog DS-gehalte en worden verwerkt door de mengvoerindustrie maar kunnen eveneens als bulk aangevoerd en opgeslagen worden op een melkveebedrijf om als enkelvoudig diervoeders aan het rantsoen te worden toegevoegd (bijv. eiwitrijke schroten, tarwe).

Daarnaast is het evenmin duidelijk in welke mate het gemengd vervoederen van deze vochtrijke diervoeders een positieve uitwerking heeft op de productieresultaten en de methaanemissie. De melkveehouderij maakt in toenemende mate gebruik van de strategie om het rantsoen volledig gemengd te verstrekken aan melkvee. Hoewel enkelvoudige diervoeders en vochtrijke diervoeders opgemengd kunnen worden bij het inkuilen van gras en/of snijmaïs, wordt dit niet veel toegepast. Vooral de voermengwagen wordt ingezet om een volledig gemengd rantsoen te verstrekken waarin ook vochtrijke diervoeders verwerkt zijn.

Het doel van deze studie was om te onderzoeken:
1) wat de invloed is van het wel of niet gemengd verstrekken van vochtrijke diervoeders (literatuurstudie)
2) in welke mate uiteenlopende vochtrijke diervoeders bijdragen aan de methaanvorming in het maagdarmkanaal van melkvee (door middel van modelsimulaties).

2 Gemengd vervoederen van vochtrijke diervoeders

2.1 Vochtrijke diervoeders als krachtvoer, of als ruwvoer?

De voederwaarde van de meeste vochtrijke diervoeders is hoog en de energetische voederwaarde kan dus vergelijkbaar, of zelfs hoger, zijn dan die van krachtvoer. Zo is de zetmeelfractie in vochtrijke diervoeders verkregen bij het stomen van aardappelen snel afbreekbaar met een fractionele afbraaksnelheid van het zetmeel die tot 70% hoger is als die van het als zeer snel afbreekbaar te boek staande graanzetmeel. Dergelijke vochtrijke diervoeders zijn dan ook snel en volledig verteerbaar.

Wat betreft het vochtgehalte, de massa voer die de koe opneemt en het effect op de vulling van de pens, kunnen vochtrijke diervoeders echter ook effecten hebben die eveneens kenmerkend zijn voor ruwvoeders. Bijvoorbeeld zowel bietenpulp als gras hebben een hoog natrium- en kaliumgehalte wat aanleiding geeft tot een grotere hoeveelheid as in de pens, een groter vochtvolume en daarmee een hogere mate van vulling van de pens (Bannink & Dijkstra, 2007). Vochtrijke diervoeders bevatten geen deeltjesfractie die langdurig in de pens verblijft en zullen dan ook minder dan ruwvoer bijdragen aan de structuurwaarde van het rantsoen. Een vergelijking van de verzadigingswaarde (CVB, 2005) van vochtrijke diervoeders met die van graskuil en maïskuil als ruwvoeders geeft aan dat de verzadigingswaarde voor vochtrijke diervoeders veel lager is dan die van graskuil en maïskuil als ruwvoeders (0.55, 0.55, 0.45, 0.70 en 0.55 per kg DS van resp. aardappelpersvezels, aardappelsnippers, aardappelstoomschillen, bietenperspulp en bierbostel tegenover 1.0 en 0.9 voor een kg DS van resp. een gemiddelde graskuil en maïskuil). Ook dragen vochtrijke diervoeders minder bij aan de structuurwaarde van een rantsoen, mede als gevolg van de veel snellere fermentatie dan die van de celwandfractie in ruwvoeders. De structuurwaarde van vezelrijke vochtrijke diervoeders met een relatief hoge structuurwaarde, zoals bietenperspulp, aardappelpersvezel en bierbostel (structuurwaarde per kg DS resp. 1.1, 0.8 en 1.0) blijft aanzienlijk lager dan die van de ruwvoeders graszaadstro, graskuil en maïskuil (structuurwaarde per kg DS resp. 4.3, 3.0 en 1.6).

Concluderend, omdat de verzadigingswaarde van vochtrijke diervoeders (vers, ingekuild, of gedroogd) hoger is dan die van mengvoergrondstoffen lijken zij geen voordeel te bieden voor stimulatie van de voeropname. In gedroogde vorm zijn deze vochtrijke diervoeders vergelijkbaar met de mengvoergrondstoffen, hoewel bijvoorbeeld Schingoethe (2006) weinig verschillen vond in de productieresultaten bij het gebruik van gedroogde of vochtrijke maïsspoeling. De structuurwaarde van vochtrijke diervoeders is veel lager dan die van ruwvoeders en er is dus geen reden om ruwvoer te vervangen door vochtrijke diervoeders als structuurbron. Het belangrijkste voordeel van vochtrijke diervoeders (vers, ingekuild of gedroogd) lijkt dus de voederwaarde voor de melkkoe te zijn. Doorgaans is de energiewaarde hoog en meer vergelijkbaar met die van de mengvoergrondstoffen dan met die van ruwvoeders. Vanwege de specifieke kenmerken van vochtrijke diervoeders kunnen zij bovendien ingezet worden voor het balanceren van het rantsoen op enkele belangrijke nutritionele kenmerken, zoals de DVE- en OEB-waarde. Hier wordt nu verder op ingegaan.

2.2 Vochtrijke diervoeders voor balanceren rantsoen

Naast hun energetische waarde kunnen vochtrijke diervoeders ook goed worden ingezet om het rantsoen op enkele belangrijke kenmerken te balanceren. Te denken valt aan 1) het stimuleren van de pensfermentatie en microbiële eiwitsynthese, 2) het balanceren van de fermentatiesnelheid in de pens, 3) het verhogen van het glucoseaanbod aan de koe, en 4) het synchroniseren van het energie- en eiwitaanbod voor micro-organismen in de pens.

Stimuleren pensfermentatie

De meeste vochtrijke diervoeders worden relatief snel afgebroken door de micro-organismen in de pens en het materiaal is goed afbreekbaar (relatief kleine fractie onafbreekbaar materiaal). Afhankelijk van de samenstelling van het materiaal zijn enkele producten vooral geschikt als energiebron (vochtrijke diervoeders uit de aardappelverwerkende industrie, zoals aardappelstoomschillen) en andere ook als eiwitbron (bijvoorbeeld vochtrijke diervoeders uit de graanverwerkende industrie, zoals bierbostel). Vooral de eigenschappen van de koolhydraatfractie is bepalend voor de hoeveelheid energie voor microbiële groei in de pens en de bijbehorende microbiële eiwitsynthese. De eigenschappen van de eiwitfractie is bepalend voor de hoeveelheid eiwit in het product die gebruikt kan worden voor deze microbiële eiwitsynthese, en voor de hoeveelheid eiwit die bestendig is tegen microbiële afbraak en als darmverteerbaar eiwit uitstroomt naar de darm.

Balanceren pensfermentatie

Indien een rantsoen zeer grote hoeveelheden snel-fermenteerbare koolhydraten (suikers en zetmeel) bevat dan kan dit negatieve gevolgen hebben voor de fermentatie van celwandmateriaal (ruwvoer) in de pens. Een zeer snelle fermentatie geeft een ophoping van de gevormde vluchtige vetzuren in pensvocht. De melkkoe beschikt echter over sterke buffermechanismen: een hoge speekselproductie bij (her)kauwen met een hoog gehalte aan kationen en bicarbonaat (in de orde van grootte van 200 liter speeksel per dag; Maekawa et al., 2002), sterke adaptatie van het penswandepitheel (Bannink et al., 2005a), verhoogde fractionele snelheid van absorptie van vluchtige vetzuren door de penswand bij een hoge zuurgraad van de pensinhoud (Dijkstra et al., 1993; Bannink, 2007) en mogelijk een verhoogde passage van vloeistof met daarin de vluchtige vetzuren in oplossing (Lopez et al., 2003). Dit laatste lijkt een specifieke aanpassing van runderen (Claus et al., 2009).

Ondanks deze buffermechanismen kan de zuurgraad na een maaltijd fors toenemen en bij hoge voeropnameniveaus kan de pH tijdelijk tot onder de 5.5 dalen. Dergelijk lage pH-waarden geven een sterke remming van de activiteit van de celwandafbrekende micro-organismen en daarmee een remming van de celwandafbraak. Het voeropnamepatroon en het fermentatieverloop gedurende de gehele dag bepaald echter in welke mate een dergelijke daling negatief uitwerkt op de celwandvertering. Een tijdelijke daling van de pH hoeft geen problemen op te leveren indien de gemiddelde pH-waarde op een voldoende hoog niveau blijft. Bij het gebruik van zowel vochtrijke diervoeders (vers, ingekuild, of gedroogd) als mengvoergrondstoffen dient het rantsoen op een dusdanige wijze gebalanceerd te worden dat een al te sterke verlaging van de pH-waarde wordt voorkomen. In de praktijk wordt de hierboven genoemde structuurwaarde als kenmerk gehanteerd om te voorkomen dat een rantsoen te weinig structuurwaarde heeft en de pens onvoldoende gebufferd wordt (combinatie van buffering van de zuurgraad van de pensinhoud en het voorkomen van de tijdelijke ophoping van grote hoeveelheden snel-afbreekbare koolhydraten in de pens).

Door de keuze tussen de verschillende typen vochtrijke diervoeders is te sturen op de hoeveelheid en de aard van de fermenteerbare koolhydraten die in de pens beschikbaar komen voor microbiële fermentatie (bijvoorbeeld snel-fermenteerbaar zetmeel in gestoomde aardappelproducten tegenover relatief langzaam fermenteerbare koolhydraten als pectines in pulpen). Deze keuze is uiteraard volledig afhankelijk van de aard van het basisrantsoen (beschikbare ruwvoer, gevoerde krachtvoer), de gerealiseerde voeropname, en de veiligheidsmarges die men wenst aan te houden ten aanzien van een optimale penswerking. Dit laatste betreft niet alleen de zuurgraad en microbiële eiwitsynthese, maar mogelijk ook het voorkomen van een al te hoge passagesnelheid van materiaal in de pens, en een remming van de voer- en energieopname.

Vochtrijke diervoeders voor glucose

Het gebruik van vooral de zetmeelrijke vochtrijke diervoeders draagt bij aan de glucosevoorziening van de melkkoe. Hoogproductieve melkkoeien hebben een hoge glucosebehoefte en het is van belang om te sturen op glucoseaanbod bij het optimaliseren van een rantsoen tijdens de vroege lactatie. Dit belang neemt toe naarmate een rantsoen minder zetmeel bevat (bijvoorbeeld rantsoen die hoofdzakelijk uit gras bestaan (Dijkstra et al., 2008), en zetmeelarm krachtvoer). Het mag zowel vochtrijke diervoeders betreffen waarvan

het zetmeel in de pens fermenteert, als vochtrijke diervoeders waarvan het zetmeel bestendig is tegen afbraak in de pens en in de dunne darm verteerd wordt. In beide gevallen draagt het bij aan de glucosevoorziening van de koe. Bij de fermentatie van zetmeel in de pens wordt relatief veel propionzuur gevormd wat de belangrijkste precursor is voor glucosevorming in de lever (Bannink et al., 2006). Het aandeel propionzuur dat uit zetmeel ontstaat (naast azijnzuur en boterzuur) is hoger bij een verhoogde zuurgraad in de pens (Bannink et al., 2008). Het is dus afhankelijk van het voeropnameniveau en de aard van het rantsoen welke glucoseopbrengst uit het vochtige diervoeder verwacht mag worden. Hetzelfde geldt voor de zetmeelfractie die bestendig is tegen afbraak in de pens. Voor dit zetmeel wordt dikwijls een constante pensafbreekbaarheid en darmverteerbaarheid aangehouden. Recent onderzoek laat echter zien dat het aannemelijk is dat ook deze karakteristieken variabel zijn (Bannink & Dijkstra, 2007; Bannink et al., 2009a). Bijvoorbeeld de zetmeelvertering in de darm lijkt mede af te hangen van de hoeveelheid zetmeel die wordt aangeboden, de verteringseigenschappen van het zetmeel, de passagesnelheid van de digesta in de darm en de amylasesecretie door de pancreas.

Evenals met de keuze voor grondstoffen in krachtvoer kan ook met de uiteenlopende vochtrijke diervoeders gericht gestuurd worden op zetmeelfermentatie in de pens of zetmeelvertering in de darm.

Met vochtrijke diervoeders energie- en eiwitaanbod synchroniseren

In de praktijk wordt het voedingsconcept gehanteerd van het zogeheten synchroniseren van energie- en eiwit(stikstof)-aanbod aan de micro-organismen in de pens. De aanleiding voor het gebruik van dit concept is de veronderstelling dat bij een asynchroon aanbod van energie en eiwit, en tijdelijk te weinig eiwit beschikbaar kan zijn voor de microbiële eiwitsynthese die op basis van gefermenteerde organische stof mogelijk is. In het DVE/OEB eiwitwaarderingssysteem voor melkvee (Tamminga et al., 2007a) wordt verondersteld dat de zogeheten onbestendige eiwitbalans (OEB = beschikbare stikstof – stikstof vastgelegd in microbiële massa geschat op basis van gefermenteerde organische stof) op dagbasis niet negatief mag zijn (CVB, 2005). Vanuit hetzelfde concept is vervolgens beredeneerd dat ook gedurende kortere periodes op een dag (bijvoorbeeld, na de opname van een grote maaltijd) de eiwitbalans eveneens niet negatief mag worden.

Bovengenoemd concept werd met behulp van simulatiestudies geëvalueerd door Bannink & Tamminga (2005), Bannink et al., (2006) en Bannink & Dijkstra (2007) waaruit bleek dat de effectiviteit van het synchroniseren van eiwit- en energieaanbod wellicht minder kritisch is dan dikwijls wordt aangenomen. Simulatiestudies werden uitgevoerd met een dynamisch, mechanistisch pensmodel dat rekening houdt met de opname van afzonderlijke maaltijden en de dynamiek in pensfermentatie gedurende een dag. Het model kwam sterk overeen met het model dat in deze studie is gebruikt voor de methaanberekeningen. Uit de simulaties bleek dat synchroniseren een relatief geringe invloed had op de voorspelde microbiële eiwitsynthese. Een belangrijke reden waarom de inzichten met dit pensmodel verschillen van die van het DVE/OEB-systeem is dat het simulatiemodel rekening houdt de recycling van ureum vanuit bloed naar de pens. Deze recycling neemt toe naarmate de stikstofbeschikbaarheid in de pens daalt, en fungeert daarmee als een buffer voor een tijdelijk lage stikstofbeschikbaarheid. Dat deze recycling in principe zeer efficiënt kan plaatsvinden, blijkt uit een literatuurstudie van Reynolds & Kristensen (2008) waaruit blijkt dat bij extreem lage eiwitgehaltes in het rantsoen nagenoeg 100% van het door de koe gevormde en aan bloed afgegeven ureum terugstroomt naar de pens. Dit betekent dat de melkkoe waarschijnlijk met een lagere stikstofbeschikbaarheid toekan dan berekend op basis van een neutrale onbestendige eiwitbalans in de pens conform de berekeningen in het DVE/OEB-systeem. Pas wanneer de hoeveelheid ureum in bloed en de hoeveelheid ureum die beschikbaar is voor recycling naar de pens beperkt wordt, zal de microbiële activiteit in de pens geremd gaan worden door een stikstoftekort.

De meeste vochtrijke diervoeders hebben een hoge energetische waarde vanwege de goede beschikbaarheid of afbreekbaarheid van de DS in de pens. Hierdoor leveren ze een belangrijke bijdrage aan de synthese van microbieel eiwit in de pens. In een vergelijkende studie vonden Broderick et al. (2000) dat bij 15% ruw eiwit in het rantsoen de waarde van verschillende vochtrijke diervoeders verkregen uit industriële fermentatieprocessen als

stikstofbron niet verschilde van die van ureumstikstof. Dit betekent dat het eiwit in deze product
en waarschijnlijk nagenoeg volledig werd afgebroken in de pens. Sojaschroot gaf daarentegen een hogere melkproductie, waarschijnlijk vanwege de extra uitstroom van pensbestendig eiwit naar de darm en een grotere hoeveelheid darmverteerbaar eiwit. Deze studie suggereert dat (bij 15% ruw eiwitgehalte in de rantsoen-DS) naast de energetische waarde ook de eiwitwaarde van een product van belang is voor de melkproductie. Als bestendige eiwitbron hebben vele diervoeders echter een geringere waarde vergeleken met een enkelvoudig diervoeder als sojaschroot. Er zijn wel vochtrijke diervoeders die een meer bestendige eiwitfractie bevatten, zoals bierbostel en tarwegistconcentraat, wat deze producten in principe inzetbaar maakt om de hoeveelheid pensbestendig en het eiwitaanbod aan de koe te verhogen.
Ongeacht de wijze waarop de eiwitvoeding gewaardeerd wordt, en ongeacht de veiligheidsmarge die men wenst te hanteren rondom de stikstofbeschikbaarheid in de pens, bieden vochtrijke diervoeders (naast mengvoeders en enkelvoudige diervoeders) uitkomst om op gerichte wijze melkveerantsoenen aan te vullen en de eiwitvoeding te optimaliseren op microbieel eiwit en de onbestendige eiwitbalans in de pens, en op pensbestendig darmverteerbaar eiwit. Uiteenlopende vochtrijke diervoeders verschillen sterk in eiwitgehalte en in bestendigheid van dit eiwit tegen afbraak in de pens. Dit maakt ook dat met een selectieve inzet van deze producten het mogelijk is om gericht te sturen op een gesynchroniseerd aanbod van pensbeschikbare stikstof en energie, en op voldoende aanvulling van pensbestendig darmverteerbaar eiwit.

2.3 Gemengd voeren

Het invoegen van een grote hoeveelheid vochtrijk diervoeder kan een remming van de opname van de overige rantsoenbestanddelen geven. Een oorzaak van deze remming kan de fysieke vulling van de pens zijn (in geval van vochtrijke diervoeders kan vocht belangrijk zijn). Vooral bij opname van een grote hoeveelheid vochtrijk diervoeders in een relatief korte tijdsperiode lijkt dit goed mogelijk. Fermentatie-eindproducten, bloedspiegels van metabolieten en de zuurgraad kunnen de regulatiemechanismen in het verzadigingscentrum in de hersenen van koeien beïnvloeden en daarmee de voeropname remmen. Anderzijds kan ook een hoge zuurgraad vanwege de snelle fermentatie van het vochtige diervoeder de vertering van celwanden, de doorstroom van celwanden in de pens en daarmee de voeropname remmen. Het is aannemelijk dat deze effecten het eerst te verwachten zijn bij de hoge voeropnames tijdens de vroege lactatie waarbij de fermentatie in de pens al intensief is en verdringing tussen rantsoenbestanddelen eerder een rol speelt.

Ook worden effecten op de voeropname gevonden van een grote hoeveelheid vocht of bulk die wordt opgenomen. Eastridge (2006) geeft aan dat de hoeveelheid opgenomen vocht met voer vooral een remmende werking op de voeropname begint te krijgen indien het DS-gehalte van het rantsoen minder dan 40% is. Hij noemt als mogelijke oorzaak de hoge concentraties van organische zuren in sommige vochtrijke diervoeders. Verder wordt door Eastridge (2006) gesteld dat de voeropname meer wordt bepaald door het DS-gehalte van afzonderlijke maaltijden dan door het aantal maaltijden (voerfrequentie). Naast een DS-gehalte van het rantsoen lager dan 40% kan ook een DS-gehalte hoger dan 60% aanleiding geven tot een lagere voeropname door selectiegedrag bij koeien. Ook in dit geval kan een rantsoen onvolledig worden opgenomen. Voor het succesvol voeren van vochtrijke diervoeders lijkt het vochtgehalte dus een belangrijke factor, evenals de invloed van het mengen op de deeltjesgrootte van voerdeeltjes en op de mogelijkheid dat koeien voerdeeltjes gaan selecteren. Het gemengd voeren van vochtrijke diervoeders lijkt te voorkomen dat incidentele maaltijden een te laag of een te hoog DS-gehalte hebben. Ook voorkomt het dat energierijke en eiwitrijke grondstoffen en rantsoencomponenten onregelmatig en asynchroon opgenomen worden, wat schommelingen kan geven in pensfermentatie, vertering, nutriëntenaanbod en melkproductie (Heinrichs et al. 1997).

Het is dus aannemelijk dat het gemengd voeren van vochtrijke diervoeders, in plaats van het apart verstrekken, een sterke beïnvloeding van de voeropname voorkomt, en dat het

bovendien tot een meer gebalanceerde pensfermentatie leidt zoals hiervoor besproken. Er worden voordelen van verschillende aard genoemd voor het gemengd voeren van een rantsoen. Deze voordelen zijn echter niet specifiek van toepassing op vochtrijke diervoeders maar van toepassing op het volledige melkveerantsoen. Het is lastig om een onderscheid te maken tussen de algemene effecten van gemengd voeren van een rantsoen en de specifieke effecten van gemengd voeren van vochtrijke diervoeders. Over het algemeen wordt gemengd voeren toegepast op bedrijven die een meer gestuurde en beter gecontroleerde voerstrategie hebben. Powell et al. (2006) demonstreerden dit voor 54 melkbedrijven in Wisconsin die op management gescoord werden. Op de bedrijven waarop gemengd werd gevoerd was de dagelijkse melkproductie 33.5 kg/d en 7.4 kg/d hoger dan op de bedrijven waar niet gemengd werd gevoerd. Hoewel vele andere factoren sterk geassocieerd zullen zijn met wel of niet gemengd voeren, is dit verschil wel indicatief voor het verschil in voermanagement bij wel en niet gemengd voeren. Onder Nederlandse omstandigheden zijn de verschillen tussen wel of niet gemengd voeren echter veel geringer, en ook wordt onderkend dat gemengd voeren niet altijd tot een productieverhoging hoeft te leiden. Uit een enquête van Hollander et al. (2005) onder 154 veehouders blijkt dat het gebruik van een voermengwagen samenging met de hoogst gerealiseerde melkproductie van ruim 8700 kg melk/koe bij een 305-dage productie, tegenover handmatig voeren als voermethode met de laagste productie van ruim 7600 kg melk/koe (een verschil van 3.6 kg melk per dag) en bijvoorbeeld ruim 8000 kg melk/koe bij aanschuiven met de trekker als verstrekkingsmethode. De verschillen wel en niet gemengd voeren hingen, evenals in de Wisconsin-studie, sterk samen met bedrijfsgrootte en bedrijfsintensiteit.

Naar verwachting geldt hetzelfde voor het op efficiënte en goed gecontroleerde wijze toepassen van vochtrijke diervoeders op Nederlandse melkveebedrijven. Er is echter geen wetenschappelijke literatuur gevonden die specifiek gericht is op het effect van wel of niet gemengd voeren van specifieke vochtrijke diervoeders. Wel geven minder wetenschappelijke referenties enkele algemene voordelen en nadelen van gemengd voeren (Snowdon, 1991; Amaral-Philips & Hemken, 1997; Shaver, 1998; Hutjens, 1999; Smith, 2002; Scallon, 2009), naast enkele meer wetenschappelijke referenties (Robinson, 1989; Broderick et al., 2000; Bargo et al., 2002, 2004; De Vries et al., 2005; Bannink & Dijkstra, 2007). Deze voor- en nadelen zijn hieronder puntsgewijs opgesomd met een rubricering naar de effecten gerelateerd aan voeropname, aan pensfermentatie, aan de managementstrategie van gemengd voeren, en aan het algemene bedrijfsmanagement.

<u>Voordelen gemengd voeren van vochtrijke diervoeders</u>

Gerelateerd aan vooropname:

- Een hogere DS- en energieopname
- Koeien kunnen niet of moeilijk rantsoenbestanddelen selecteren (op smaak of op grootte van voerdeeltjes)
- Inmengen van vochtrijke diervoeders maakt het gemengde rantsoen vochtiger wat de smakelijkheid van droge rantsoenen ten goede kan komen. Verhogen van het vochtgehalte kan ook met meer traditionele voersystemen maar waarschijnlijker minder gemakkelijk inpasbaar of controleerbaar dan met vochtrijke diervoeders, en bovendien bewerkelijker
- Minder aanleiding voor concurrentie tussen koeien aan het voerhek bij voerverstrekking
- Verbeterde opname van rantsoenbestanddelen met mindere smaak bij gemengd voeren, dan wanneer afzonderlijk verstrekt.

Gerelateerd aan pensfermentatie

- Een meer regelmatige pensfermentatie zonder grote wisselingen en schommelingen (zuurgraad, beschikbaarheid van stikstof en van fermenteerbare organische stof), m.a.g. een betere vertering en een hogere voeropname door de koe
- Mindere mate (minder snel optreden) van verteringsdepressie bij excessieve opname van snelfermenteerbare producten.

Gerelateerd aan mengen

- Het rantsoen is relatief nauwkeurig samen te stellen en meer zekerheid rondom de samenstelling van het opgenomen rantsoen
- Zekerheid rondom de opname van verschillende ruwvoeders (bijv. graskuil en maïskuil) in de gewenste verhouding

- Door gebruik van de voermengwagen te voorkomen dat voerdeeltjes te groot of te lang blijven en daarmee te voorkomen dat koeien deze deeltjes niet, of niet gelijkmatig, opnemen.

Gerelateerd aan management

- Gemakkelijker vervoederen van vochtrijke diervoeders bij gemengd voeren vergeleken met meer traditionele voersystemen
- Met gemengd voeren worden de extra kosten van de aanleg van silo's met vochtrijke diervoeders en de extra arbeid wellicht eerder terugverdiend.

Nadelen gemengd voeren vochtrijke diervoeders

Gerelateerd aan voeropname:

- Vochtrijke diervoeders hebben in vochtrijke vorm een hogere verzadigingswaarde dan in gedroogde vorm, en hebben bij een ruime verstrekking eerder een remmende invloed op de voeropname (is echter sterk afhankelijk van de aard van het product en wellicht gerelateerd aan het DS-gehalte en de 'bulk' in de pens, de osmotische waarde van pensvocht en de aanzuigende werking op vocht die daarvan uitgaat, of een andersoortig verzadigend effect)
- Grotere noodzaak om het DS-gehalte en de deeltjesgrootte van vochtrijke diervoeders in kaart te brengen, in vergelijking met krachtvoeders.

Gerelateerd aan pensfermentatie

- De pensafbreekbaarheid van de DS in vochtrijke diervoeders neemt waarschijnlijk alleen maar toe bij conservering, wat de bestendigheid tegen pensfermentatie verkleint
- De bestendigheid van substraat kan verschillen bij infrequent verstrekken, vergeleken met continu en volledig gemengd verstrekken. Door gemengd vervoederen van vochtrijke diervoeders vervalt de mogelijkheid om op slimme wijze te sturen op het apart verstrekken van vochtrijke diervoeders en andere enkelvoudige diervoeders (bijv. mogelijkheid om gericht te sturen op uitstroom van verteerbaar eiwit en zetmeel naar de darm).

Gerelateerd aan mengen

- Nauwgezet mengen en afwegen van de rantsoenbestanddelen is tijdrovend en dient nauwgezet plaats te vinden (bijvoorbeeld voldoende menging van de bestanddelen zodat selectie wordt voorkomen, optimale deeltjesgrootte)
- Lastig om relatief kleine hoeveelheden van een product nauwkeurig te mengen
- Risico van te langdurig mengen en te veel verkleinen van voerdeeltjes, zoals de deeltjesgrootte van de hooifractie in het rantsoen. Deze dienen wellicht voorafgaand aan het mengen al verkleind te worden en later toegevoegd
- Verschillen in praktijkomstandigheden op individuele bedrijven (opslagcapaciteit, voersnelheid, temperatuur, hygiëne, samenstelling, mengmethode, voerverstrekking, e.d.) vraagt om extra aandacht bij gemengd voeren van vochtrijke diervoeders
- Verhoogde alertheid nodig op inschattingsfouten bij het mengproces (bijv. ten aanzien van deeltjesgrootte, DS-gehalte van de gemengde voerbestanddelen, e.d.)

Gerelateerd aan management

- Lastiger in te passen op bedrijven die meer zelfvoorzienend zijn en relatief veel gebruik maken van beweiding.
- Volledig gemengd voeren maakt het gericht inzetten van vochtrijke diervoeders voor een specifieke productiegroep wellicht lastiger, of arbeidsintensiever
- Noodzaak om over te gaan op het voeren van twee of meer productiegroepen
- Bij verschillende productiegroepen met ieder een eigen volledig gemengd rantsoen kunnen er sterke schommelingen optreden in voeropname en melkproductie als plotseling omgeschakeld wordt van ene naar andere gemengd rantsoen
- Een fout in de toepassing van een volledig gemengd rantsoen zal meteen de prestaties van een gehele productiegroep beïnvloeden, terwijl in andere systemen eventuele fouten eerder betrekking hebben op een individuele koe.
- Lastiger om rantsoen op individuele koe af te stemmen (gemengde rantsoen wordt bereid voor een productiegroep), tenzij een aanvulling op het gemengde rantsoen wordt verstrekt.
- Afstemming met gelijktijdig gebruik krachtvoercomputer vergt meer (opnieuw) aandacht.
- Verhoogde arbeidsinzet nodig bij management van de opslag en het vervoeren van vochtrijke diervoeders.

2.4 Conclusies

Samenvattend, vochtrijke diervoeders lijken evenals de gedroogde varianten die in mengvoeders verwerkt worden, hoogwaardige grondstoffen die goed toegepast kunnen worden in de melkveevoeding. Het inmengen van vochtrijke diervoeders in een volledig gemengd rantsoen heeft mogelijk een gunstig effect op de voeropname, op pensfermentatie, op de mate waarin koeien voerdeeltjes kunnen selecteren, en op de controle over de samenstelling van het opgenomen rantsoen.

Redenen om af te zien van het gebruik van vochtrijke diervoeders lijken eerder op het praktische vlak en op managementvlak te liggen, zoals de noodzaak van het conserveren en opslaan van vochtrijke diervoeders, dan op voedingstechnisch vlak (mits de kwaliteit gegarandeerd is, en niet extreme hoeveelheden verstrekt worden). Ook maakt het volledig mengen van het rantsoen noodzakelijk dat de melkveehouder rekening moet gaan houden met verschillende productiegroepen.

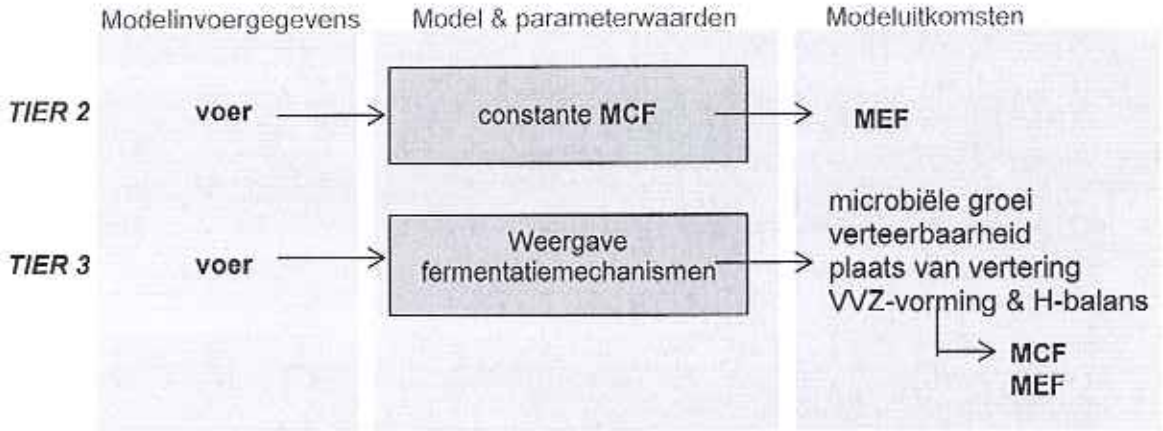
Vanuit nutritioneel oogpunt (voeropname, pensfermentatie) lijken er dus vooral voordelen te zijn van het gemengd vervoederen van vochtrijke diervoeders. Het is echter volledig afhankelijk van de omstandigheden en mogelijkheden op een bedrijf (en het gewenste managementtype) of deze voordelen opwegen tegen de nadelen.

3 Methode methaanberekeningen

3.1 Model voor voorspelling methaanvorming door melkvee

Ieder land dat het Kyoto-protocol heeft ondertekend is verplicht om een jaarlijkse emissieregistratie uit te voeren en te overleggen aan een internationaal panel van beoordelaars. Het IPCC heeft een standaard Tier 2 methode opgesteld om methaan uit herkauwers te schatten. Het is mogelijk om als land af te wijken van de standaard Tier 2 methode met een alternatieve en meer verfijnde, of een meer op de omstandigheden in dat land toegespitste, Tier 3 methode. Hiervoor moet het land de beschikking hebben over een goed onderbouwd alternatief. Het PBL, dat belast is met de taak van de Nederlandse emissieregistratie (Van der Maas et al., 2008), maakt gebruik van een dergelijke Tier 3 methode voor de methaanemissie door melkvee in het protocol voor de emissieregistratie. Deze Tier 3 methode omvat een dynamisch, mechanistisch model dat de fermentatieprocessen in de pens en dikke darm beschrijft. Het model is wezenlijk anders van opzet dan de door het IPCC opgestelde Tier 2 methode en maakt geen gebruik van vooraf ingestelde aannames rondom de hoeveelheid methaanvorming, maar voorspelt deze op basis van rantsoenkenmerken en het voeropnameniveau. Het model bevat een werkelijk dynamische weergave van de microbiële activiteit in de pens, in tegenstelling tot nagenoeg alle andere modellen in de literatuur die feitelijk terug te voeren zijn (of te reduceren zijn tot) een statische weergave van pensfermentatie (voor verdere uitleg zie Tamminga et al. (2007b), of Bannink (2007)). Het DVE/OEB-systeem (Tamminga et al., 2007a) is een voorbeeld van zo'n statisch model waarbij de DVE-waarde van iedere component onafhankelijk van het rantsoen en de voeropname wordt ingeschat. In een dynamische model waarin een mechanisme is weergegeven van de dynamiek van de microbiële activiteit in de pens is de voorspelde eiwitwaarde echter wel afhankelijk van rantsoensamenstelling en voeropname. Om nauwkeurig de verschillen tussen rantsoenen te evalueren is het noodzakelijk om hier wel rekening mee te houden. In figuur 1 is schematisch het verschil tussen de Tier 2 en de Nederlandse Tier 3 weergegeven. In tabellen 1A en 1B staan de benodigde invoergegevens weergegeven voor de Tier 2 en de Nederlandse Tier 3.

Figuur 1 Schematische weergave van het verschil tussen de rekenregels (weergegeven met de donkergrijze kaders) met de Tier 2 benadering opgesteld door het IPCC, en de rekenregels in de Nederlandse Tier 3 benadering (conform Mills et al., 2001, Bannink et al., 2008) voor het vaststellen van MEF (kg methaan/koe/jaar) en MCF (methaan als % van de bruto-energieopname; in de Tier 2 wordt een constante waarde van 6% aangehouden). De figuur is ontleend aan Bannink (2009, in druk)



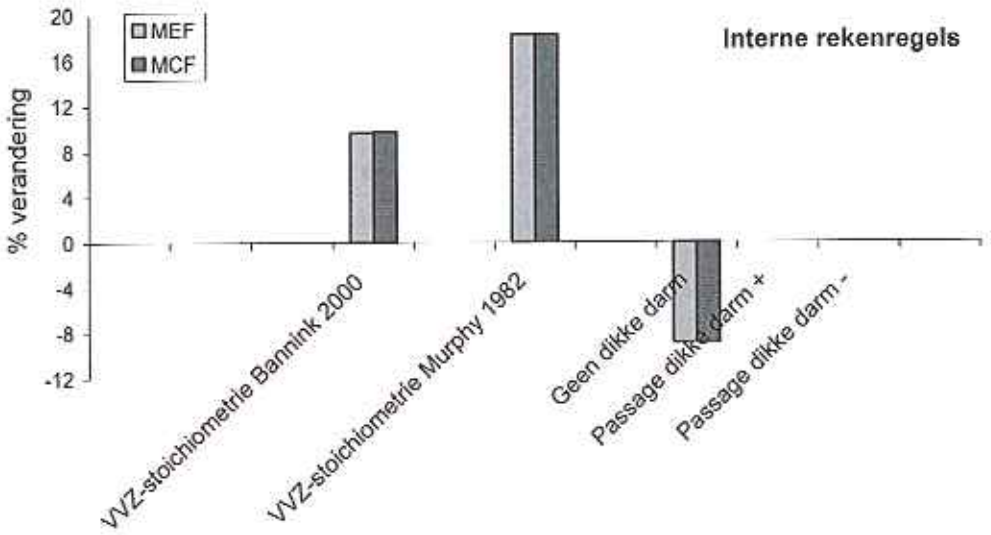
In deze studie is gebruikt gemaakt van de Tier 3 zoals gehanteerd in het huidige protocol voor de Nederlandse emissieregistratie door PBL (Van der Maas et al., 2008). Het model is gebaseerd op het pensmodel ontwikkeld door Dijkstra et al. (1992) waaraan methaanberekeningen zijn toegevoegd door Mills et al. (2001). Deze laatste versie bevatte een beschrijving van de vorming van vluchtige vetzuren (vooral azijnzuur, propionzuur en

boterzuur) als eindproducten van fermentatie, ontleend aan Bannink et al. (2000, 2006). Hoewel een verbetering ten opzichte van het model van Dijkstra et al. (1992), gaf deze beschrijving alsnog geen optimale weergave van de gevormde vluchtige vetzuren in de pens. Meer recent werd dit onderdeel van het model opnieuw aangepast door Bannink et al. (2008). Deze beschrijving blijkt een betere weergave te zijn van in de literatuur beschreven effecten (Bannink, 2007). Deze modelversie wordt sinds het jaar 2005 gebruikt voor het schatten van de methaanvorming door melkvee in de Nederlandse emissieregistratie (Smink e.a., 2005; Bannink et al., 2005b). Een goede inschatting van het type vluchtige vetzuren dat gevormd wordt is cruciaal voor een goede voorspelling van de methaanvorming. Dit blijkt uit figuur 2. Hierin wordt getoond hoe gevoelig de voorspelling van de methaanvorming is voor alternatieve keuzes voor de weergave van vluchtige vetzuurvorming in het model. Ten opzichte van de nieuwste weergave van Bannink et al. (2008), gebruikt in de Tier 3 voor methaanvorming door melkvee in emissieregistratie (Smink et al., 2005; Bannink et al., 2005b; Bannink, 2009, in druk) geeft de oorspronkelijke weergave volgens Murphy et al. (1982; gebruikt door Dijkstra et al., 1992), en de eerdere weergave van Bannink et al. (2006; gebruikt door Mills et al., 2001) een sterk verschillende voorspelling. Het verschil tussen de weergave volgens Bannink et al. (2006) en de huidige Tier 3 was voor een ruwvoerrijk rantsoen maar liefst 10%, en met de weergave volgens Murphy et al. (1982) zelfs 18%. Dit geeft het belang aan van nauwkeurige aannames rondom de vorming van vluchtige vetzuren, en het belang om deze afhankelijk te stellen van rantsoenkenmerken (Bannink et al., 2008).

Voor de Nederlandse emissieregistratie worden de invoergegevens voor de Tier 3 ontleend aan het CBS en de Werkgroep Uniformering Mest- en Excretiecijfers (Bannink, 2009, in voorbereiding). Op basis van het door het Productschap Zuivel aangereikte gegevens voor de Nederlandse melkproductie en melksamenstelling, door het BLGG aangereikte analysegegevens voor vers gras, graskuil en maïskuil, en tellingen van het aantal melkkoeien (droge en melkgevende), wordt op basis van 102% dekking van de VEM-balans een gemiddeld Nederlands melkveerantsoen samengesteld. Hierbij worden eveneens aannames gedaan rondom de voerverliezen die optreden tijdens het vervoederen.

De rantsoencomponenten in dit gemiddelde Nederlandse rantsoen zijn eveneens uitgangspunt geweest in deze studie. Een DS-opname werd aangehouden (ruim 19 kg DS/d; 25 kg FCM/d) voor een beoogde melkproductie van 9000 met een rantsoen dat qua samenstelling vergelijkbaar is met die voor de gemiddelde Nederlandse melkkoe in de emissieregistratie voor het jaar 2007 (Bannink, 2009, in druk). Dit betekent dat de DS-opname in deze studie hoger is dan de DS-opname die gehanteerd wordt in de emissieregistratie voor berekening van jaarlijkse emissies waarin ook de droogstandsperiode verwerkt is (ruim 18 kg DS/d voor een gemiddelde Nederlandse melkkoe; 23 kg FCM/d). Er is gebruik gemaakt van hetzelfde dynamisch, mechanistische model zoals dat als Tier 3 dienst doet in de jaarlijkse emissieregistratie.

Figuur 2 Overzicht van het effect van een wijziging van de weergave van vluchtige vetzuurvorming en een wijziging van de dikke darmfermentatie. De weergave voor een ruwvoerrijk rantsoen (R) in de huidige Tier 3 methode volgens Bannink et al. (2008 & 2005b) werd gewijzigd in de weergave volgens Bannink et al. (2000 & 2006) voor een ruwvoerrijk rantsoen, en in de weergave volgens Murphy et al. (1982) voor een ruwvoerrijk rantsoen. Methaanvorming is uitgedrukt als percentage van de bruto energieopname (MCF) en als hoeveelheid methaan gevormd per dag (MEF).
Daarnaast werd het effect geteste van geen bijdrage van de dikke darm aan CH_4-vorming en een 50% wijziging van de fractionele passagesnelheid van digesta. Effecten zijn uitgedrukt als de verandering (in %) van de MEF- en MCF waarde t.o.v. de referentiesituatie.
Resultaten ontleend aan Bannink (2009, in druk).



4 Aannames en modelinvoergegevens

4.1 Uitgangspunten geselecteerde enkelvoudige diervoeders

Een reeks vochtrijke diervoeders werd geselecteerd om onderling te vergelijken op methaanleverend vermogen. Het betreft drie types bietenperspulp, vier types bierbostel, vier types maïsglutenvoer, twee types aardappelpersvezels, twee types aardappelsnippers, twee types gestoomschilde aardappelen, twee types tarwegistconcentraat, aardappelstoomschillen en cichoreipulp. Deze vochtrijke diervoeders zijn eveneens vergeleken met vier enkelvoudige diervoeders die veelvuldig aan melkveerantsoenen worden toegevoegd (tarwe, raapzaadschroot, sojaschroot, palmpitschilfers; tabel 3).

De chemische samenstelling van producten (as, suikers, zetmeel, NDF, ruw vet, ruw eiwit, ammoniak als percentage van ruw eiwit, en de fermentatieproducten azijnzuur, propionzuur, boterzuur en melkzuur) werd overgenomen uit de handleiding 'Vochtrijke Diervoeders voor varkens en rundvee' (OPNV, 2008), en gegevens van het Centraal Veevoederbureau (Veevoedertabel 2005; CVB, 2005). In geval de hierboven genoemde chemische fracties niet 100% van de DS verklaren werd het onverklaarde deel in gelijke mate verdeeld over suikers en NDF voor graskuil, en andere producten rijk aan structurele koolhydraten en suikers (bijvoorbeeld pulpen). Voor producten die hoofdzakelijk NDF bevatten en nauwelijks enige suikers en/of zetmeel, werd de onverklaarde fractie volledig aan NDF toegerekend (bijvoorbeeld palmpitschilfers). Bij zetmeelrijke producten (bijvoorbeeld maïskuil en de restproducten uit de aardappelverwerkende industrie) werd het onverklaarde deel in gelijke mate verdeeld over zetmeel en NDF.

Kenmerkende waarden voor de *in situ* afbraakkarakteristieken voor ruw eiwit, zetmeel en NDF in graskuil, maiskuil en krachtvoer zijn ontleend aan de aannames gehanteerd bij de emissieregistratie voor het jaar 2007 (Bannink, 2009, in druk). De waarden voor de afbraakkarakteristieken voor de vochtrijke diervoeders en de enkelvoudige diervoeders zijn ontleend aan gegevens van het Centraal Veevoederbureau die gehanteerd worden voor het herziene DVE/OEB-systeem (Tamminga et al., 2007a). Voor overige aannames of ontbrekende gegevens zie de uitleg in de voetnoten van tabel 3. Eiwitafbraakkarakteristieken voor gedroogde bietenperspulp, en verse of ingekuilde maïsglutenvoer zijn ontleend aan de rekenregels volgens het herziene DVE/OEB-systeem (Tamminga et al., 2007a).

4.2 Variatie in rantsoensamenstelling

Het methaanleverend vermogen van de geselecteerde producten werd bij drie verschillende basisrantsoenen met elkaar vergeleken. Deze rantsoenen verschilden in het aandeel graskuil in ruwvoer (van 100% tot 40% graskuil in ruwvoer DS; tabel 2) waarbij graskuil werd uitgewisseld tegen maïskuil. Verder werd bij ieder basisrantsoen aangenomen dat de opgenomen DS voor 70% uit ruwvoer bestond, en voor 20% uit krachtvoer en 10% uit vochtrijke diervoeders of enkelvoudige diervoeders (vergelijkbaar met het gemiddelde rantsoen van een gemiddelde Nederlandse melkkoe). De methaanberekeningen werden uitgevoerd door achtereenvolgens een constant aandeel van 10% voor vochtrijke diervoeders of enkelvoudige diervoeders volledig toe te kennen aan een enkel product (tabel 3). Het aandeel van 10% werd niet gevarieerd.
Het effect van de vochtrijke diervoeders en de enkelvoudige diervoeders op de berekende methaanvorming werd op twee manieren vergeleken: 1) per kg DS (waarbij altijd uitgegaan werd van een identieke DS-opname van 19.3 kg DS/d), en 2) per kg melk (waarbij de methaanvorming werd gecorrigeerd voor verschilen in VEM-opname en melkproductie). De melkproductie werd berekend op basis van 4.0% melkvet, 3.3% melkeiwit met de vereenvoudigde formule voor de VEM-behoefte voor onderhoud en melkproductie (CVB, 2005). Hierbij is geen rekening gehouden met de DVE- en OEB-waarden van de rantsoencomponenten, en met de dekking van de DVE-behoefte en eventuele tekorten van eiwit en energie voor melkproductie. De rantsoenen werden niet op deze kenmerken

gebalanceerd en er werd dus aangenomen dat deze factoren geen (remmende) invloed hebben op de gerealiseerde melkproductie voor dit type rantsoenen en bij deze DS-opname.

4.3 Keuze referentiesituatie

Om het methaanleverend vermogen van een vochtig diervoeder of een enkelvoudig diervoeder te vergelijken ten opzichte van een referentie. Op een vergelijkbare wijze is de VEM-waarde van producten uitgedrukt ten opzichte van een referentieproduct en referentiekoe met een bepaalde melkproductie (Veevoedertabel, CVB, 2005). In deze studie is gekozen voor een referentierantsoen waarbij de voor vochtrijke diervoeders of enkelvoudige diervoeders ingeruimde 10% van de DS door krachtvoer werd ingenomen, naast het al aanwezige DS-aandeel van 25% krachtvoer (wat totale DS-aandeel van krachtvoer dus op 30% bracht). Vervolgens werd het methaanleverend vermogen van een vochtig diervoeder of een enkelvoudig diervoeder als procentuele verandering ten gevolge van het vervangen van 10% van de DS als krachtvoer door een vochtrijk of enkelvoudig diervoeder. Hier is dus de keuze gemaakt om krachtvoer uit te wisselen tegen enkelvoudige diervoeders. Ook andere referenties hadden kunnen worden gekozen. Bijvoorbeeld een uitwisseling van ruwvoeders tegen enkelvoudige diervoeders indien deze een vergelijkbare vulling of verzadiging van de pens geven (vergelijkbare verzadigingswaarde met die van ruwvoeders). Over het algemeen ligt de verzadiging van enkelvoudige diervoeders echter dichter in de buurt van de 0.4 voor krachtvoer dan waarden rondom de 1.0 voor graskuil (Veevoedertabel, 2005). Om die reden ligt een uitwisseling tussen krachtvoer en enkelvoudige diervoeders het meest voor de hand.

Dikwijls wordt het methaanleverend vermogen berekend zonder keuze van een referentiesituatie, en wordt dan uitgedrukt in gram methaan geproduceerd per kg gevoerde DS van het betreffende product. Dergelijke resultaten zijn afgeleid op basis van berekeningen met vaste kengetallen voor de fractie in de pens afgebroken materiaal, de fractie van afgebroken materiaal dat wordt omgezet in vluchtige vetzuren en de hoeveelheid methaan die naast deze vluchtige vetzuren ontstaat. Dergelijke berekeningen vertonen een sterke gelijkenis met die van de DVE-waarde van producten. Kwalitatief geven dit type berekeningen een indruk van de mate waarin ze bijdragen aan methaanvorming. De aanpak gaat echter voorbij aan de invloed van het effect van voeropnameniveau en rantsoensamenstelling op dergelijke kenmerken, en de invloed daarvan op de methaanvorming. Voor een reële inschatting van het effect van een enkelvoudig diervoeder in een rantsoen dat daadwerkelijk gevoerd wordt in de praktijk is het beter om zo goed als mogelijk wel rekening te houden wel deze beide aspecten en bij de berekeningen ook de voersituatie in de praktijk zo dicht mogelijk te benaderen. Het berekende effect op methaanvorming bij invoegen van een vochtig diervoeder of een enkelvoudig diervoeder in een specifiek rantsoen kan dan worden vergeleken met het methaanleverend vermogen van dat rantsoen zonder het enkelvoudige diervoeder. In de huidige studie is deze vergelijking voor drie typen basisrantsoenen gemaakt met een variërend aandeel graskuil en maiskuil (er is geen vergelijking gemaakt bij verschillende niveaus van voeropname of melkproductie).

4.4 Afbakening

In deze studie wordt vanuit een referentierantsoen berekend wat het effect is van opname van vochtrijke diervoeders of enkelvoudige diervoeders in het rantsoen. Hierbij is de keuze gemaakt om het basisrantsoen van ruwvoer en krachtvoer gelijk te houden en enkelvoudige diervoeders uit te wisselen tegen krachtvoer.

Ook andere keuzes kunnen worden gemaakt, zoals het verkennen van de invloed van enkelvoudige diervoeders bij verschillende niveaus van voeropname en melkproductie. Of een uitwisseling van enkelvoudige diervoeders tegen het op het melkveebedrijf verbouwde ruwvoer. Deze opties zijn geen onderdeel van deze studie.

Tabel 1A Overzicht van de benodigde invoergegevens voor de **Tier 2** benadering

Melkproductie	Netto energie (VEM) opname [1]	GE-opname [1]
Groei, dracht, e.d.	Netto energiewaarde rantsoen [1]	MCF [2]

Tabel 1B Overzicht van de benodigde modelinvoergegevens voor de **Tier 3** benadering(voor een meer gedetailleerde uitleg zie Dijkstra et al., 1992, en Mills et al., 2001)

Chemische samenstelling van het rantsoen	**Invoerparameters**
Oplosbare suikers (g/kg DS)	Voeropname (kg DS/d) [1]
Afbreekbaar zetmeel (g/kg DS)	Fractionele passagesnelheid deeltjes (/d) [3]
Oplosbaar zetmeel (g/kg DS)	Fractionele passagesnelheid vloeistof (/d) [3]
Celwanden (NDF) (g/kg DS)	Vloeistofvolume (liter) [3]
Afbreekbare celwanden (NDF) (g/kg DS)	
Fractie cellulose in celwanden	gemiddelde pH [3]
Stikstof / ruw eiwit (g N/kg DS)	minimum pH [3]
Oplosbare eiwit (g/kg DS)	tijdsinterval met pH<6.3 (uren) [3]
Onafbreekbaar eiwit (g/kg DS)	
Ammoniakale stikstof (g NH3-N/kg DS)	Fractionele afbraaksnelheid eiwit (/d)
Vet (g/kg DS)	Fractionele afbraaksnelheid NDF (/d)
	Fractionele afbraaksnelheid zetmeel (/d)

[1] Zowel met de Tier 2 als de Tier 3 benadering is informatie nodig rondom de rantsoensamenstelling en de voeropname.
[2] Binnen de Tier 2 wordt een defaultwaarde voor MCF van 6% (percentage van de bruto energieopname (GE-opname) dat emitteert als methaan) gehanteerd voor hoogproductief melkvee. Deze waarde is in feite een invoer voor het model (aanname) waarmee de methaanemissie wordt berekend. Voor verschillende productieomstandigheden kan deze waarde dan ook gedifferentieerd worden, en er zijn voorstellen wordt om deze defaultwaarde in de Tier 2 in de toekomst bij te stellen naar 6.5%.
[3] Zowel voor de pens als de dikke darm

Tabel 2 Overzicht van de drie basisrantsoen waarmee de methaanberekeningen zijn uitgevoerd. Weergegeven is de opname van de rantsoencomponenten in kg DS per dag. Tussen haakjes staat het %-aandeel in totale DS-opname vermeld. De DS-opname van 19.3 kg/d voor een melkproductie van 9000 liter vetgecorrigeerde melk/jaar/koe (gelijk aan 24.7 kg/d) werd afgeleid door extrapolatie van de reeks voeropnamegegevens gebruikt voor de nationale emissieregistratie van broeikasgassen van 1990 tot 2007 door het PBL (Planbureau voor de Leefomgeving; Van der Maas, 2009). De DS-opname volgens PBL-opgave steeg van 15.2 kg/d in 1990 naar 18.1 kg/d in 2007, wat samenging met een stijging van de melkproductie van 17.2 kg/d tot 22.8 kg/d

	DS-opname	Graskuil	Maïskuil	Krachtvoer & enkelvoudige diervoeders en vochtrijke diervoeders
Ranstoen G100	19.3	13.5 (70%)	0.0 (0%)	5.8 (30%)
Rantsoen G70	19.3	9.5 (49%)	4.1 (21%)	5.8 (30%)
Rantsoen G40	19.3	5.4 (28%)	8.1 (42%)	5.8 (30%)

G100, G70, G40: ruwvoercomponent in rantsoen bestaat voor resp. 100%, 70% en 40% uit graskuil.
Vochtrijke diervoeders of enkelvoudige diervoeders werden tegen krachtvoer uitgewisseld met een aandeel van 10% van de totale DS-opname (5.8 kg krachtvoer tegenover 3.9 kg krachtvoer en 1.9 kg vochtig diervoeders of enkelvoudig diervoeders)

Tabel 3 Chemische samenstelling [1] geteste producten

	Sui	Zetm	NDF	RE [2]	Rvet	As	Rest	Az	Pz	Bz	Mz [3]
1a. Perspulp 1, V	30	1	496	98	7	74	239	17	0	0	38
1b. Perspulp 1, I	0	0	499	99	7	75	240	23	0	0	57
1c. Perspulp 2, D	81	6	430	98	10	73	302	0	0	0	0
2a. Bierbostel 22% DS 1, V	5	21	555	247	106	42	-18	11	0	0	31
2b. Bierbostel 22% DS 1, I	0	7	557	248	107	42	-18	15	0	0	42
2c. Bierbostel 27% DS+coagulaat 1, I [4]	0	7	512	258	96	45	-32	29	0	0	85
2d. Bierbostel 27% DS+coagulaat 2, I	0	7	502	284	111	43	-2	14	0	0	41
3a. Maisglutenvoer 1, V	16	283	403	169	35	39	12	2	0	0	41
3b. Maisglutenvoer 1, I	0	224	410	172	36	40	12	17	0	0	88
3c. Maisglutenvoer 1, D	30	142	376	237	44	67	104	0	0	0	0
3d. Maisglutenvoer 2, V	22	313	385	149	28	30	30	2	0	0	41
4a. Persvezels eiwitrijk, I	15	308	245	130	0	68	166	27	0	0	41
4b. Persvezels eiwitarm, I	15	202	339	97	2	44	250	15	0	0	36
5a. Snippers, V	4	676	75	84	1	31	129	0	0	0	0
5b. Snippers, I	0	551	82	91	1	34	133	21 [5]	0 [5]	0	87 [5]
6a. Gestoomschilde aardappelen, V	35	687	89	104	0	47	38	0	0	0	0
6b. Gestoomschilde aardappelen, I	0	602	92	107	0	48	43	21 [5]	0 [5]	0	87 [5]
7. Aardappelstoomschillen, I	21	412	101	132	10	65	148	21	2	1	87
8a. Tarwegistconcentraat 1,V [6]	20	65		300	45	70	440	10	0	0	50
8b. Tarwegistconcentraat 2,V [6]	134	46		297	69	98	296	10	0	0	50
9. Cichoreipulp, I	49	7	339	85	12	99	355	7	0	0	47

	Sui	Zetm	NDF	RE	Rvet	As	Rest	Az	Pz	Bz	Mz
10. Tarwe, D	31	642	144	128	15	17	23	0	0	0	0
11. Raapzaadschroot, D	103	9	334	384	30	77	63	0	0	0	0
12. Sojaschroot, D	107	9	146	486	25	74	153	0	0	0	0
13. Palmpitschilfers, D	21	5	620	162	97	46	49	0	0	0	0

[1] Sui = suikers + oplosbare koolhydraten, Zetm=zetmeel, NDF=Neutral Detergent Fibre, RE=ruw eiwit, Rvet=ruw vet, As=as, Az=azijnzuur, Pz=propionzuur, Bz=boterzuur, Mz=melkzuur; V: vers product; I: ingekuild product; D: gedroogd product; nummering 1 en 2 geven producten van verschillende oorsprong of fabrikant aan.
De gegevens zijn gebaseerd op gegevensbestanden van het Centraal Veevoederbureau (CVB, 2005): 1a, 1b, 1c, 2a, 2b, 2c wat betreft enkel wat betreft de samenstelling van de bierbostelfractie, 3a, 3b, 3c, 4b, 5a, 5b, 6a, 6b, 7, 9, 10, 11, 12, 13. Uitzondering zijn 2c. wat betreft de samenstelling en het aandeel eiwitcoagulaat volgens opgave door Bonda, 2d wat betreft de samenstelling bierbostel inclusief eiwitcoagulaat volgens opgave door Beukers, 3d met samenstelling en de fractionele afbraaksnelheid volgens opgave door Beukers, 4a volgens resultaten in SFR-onderzoek en volgens opgave door Avebe, 8a met samenstelling en afbraakkarakteristieken volgens opgave door Hedimix, en 8b met samenstelling volgens opgave door Beukers.
Voor alle producten is gerekend met de VEM-waarde volgens opgave door CVB.

[2] Geen gegevens beschikbaar voor ammoniakfractie. Wel/geen rekening houden met een ammoniakfractie in fermentatieproducten heeft echter geringe invloed op de simulatieresultaten.

[3] Aangenomen dat bij inkuilen zo'n 80% van de massa gefermenteerd substraat als massa organische zuren wordt teruggevonden. Bovendien aangenomen dat de fractie organische zuren die door inkuilen (extra) wordt gevormd voor 25% uit azijnzuur bestaat en voor 75% uit melkzuur. Tevens aangenomen dat bij inkuilen alle suikers fermenteren en 2/3 van het aanwezige zetmeel. Uitzondering hierop vormen de vochtrijke diervoeders uit de aardappelverwekende industrie waarbij de CVB opgave voor azijnzuur- en melkzuurgehalte in aardappelstoomschillen is aangehouden als maatstaf voor de hoeveelheid suikers en zetmeel die gefermenteerd worden.

[4] Aanname dat product voor 18% van de DS uit eiwitcoagulaat bestaat en voor 82% uit bierbostel. Samenstelling eiwitcoagulaat volgens opgave door Bonda.

[5] Arbitraire keuze gemaakt voor omzetting van suikers en zetmeel in azijnzuur en melkzuur. Melkzuur en ethanol zijn samengenomen omdat het model enkel melkzuur onderscheidt. Bovendien aangenomen dat totale hoeveelheid vluchtige vetzuren dat ontstaat vij inkuilen gelijk is aan die voor aardappelstoomschillen volgens opgave door CVB.

[6] Niet volledig bekend waaruit de restfractie bestaat in product 1. Een groot aandeel glycerine is geanalyseerd (200 g/kg DS) waarvan bekend is dat het relatief veel propionzuur geeft, vergelijkbaar aan fermentatie van uitwasbaar zetmeel. Om die reden is de glycerinefractie meegenomen in de berekeningen als uitwasbaar zetmeel. Product 2 bevatte relatief veel suikers en bovendien is de grootte van de restfractie veel geringer. Om die reden is voor dit product aangenomen dat de restfractie voor 50% aan suikers en voor 50% aan NDF moet worden toegerekend.

5 Methaanleverend vermogen vochtrijke diervoeders en enkelvoudige diervoeders

Berekeningen werden uitgevoerd om het effect op de methaanemissie te bepalen bij een vervanging van krachtvoer door vochtrijke diervoeders of enkelvoudige diervoeders. Een aandeel van 10% van de DS in het totale rantsoen werd hierbij vervangen. Berekeningen werden voor drie verschillende rantsoentypen uitgevoerd, en verschilden in het aandeel graskuil en maiskuil in het rantsoen (G100, 100% graskuil als ruwvoer; G70, 70% graskuil als ruwvoer; G40, 40% graskuil als ruwvoer; tabel 2). De resultaten voor de drie rantsoentypen zijn weergegeven in tabellen 5, 6 en 7.

De voorspelde melkproductie was voor de rantsoenen G100, G70 en G40 van 500 tot 1000 kg FCM/jaar hoger dan de berekende 9000 kg FCM/koe/jaar geschat op basis van de methodiek van de emissieregistratie. De reden is dat bij de laatste wel rekening wordt gehouden met een kleine 10% aan extra VEM-behoefte voor andere doeleinden dan melkproductie (Tamminga et al., 2004). In deze studie is deze correctie niet doorgevoerd. Het wel doorvoeren van deze correctie zou het niveau van melkproductie nar beneden brengen, maar de voorspelde effecten op de methaanemissie per kg FCM niet veranderen.

Een vergelijking tussen deze tabellen maakt duidelijk dat de methaanvorming afneemt naarmate het aandeel graskuil afneemt en dat van maiskuil toeneemt. De methaanvorming uitgedrukt in g methaan/d was voor de referentiesituatie (geen vochtrijke diervoeders of enkelvoudige diervoeders in het rantsoen) op G100 ruim 3% hoger dan op G40 met een verschil in aandeel maiskuil in de DS van 42% (bij gelijke DS-opname). Methaanvorming uitgedrukt in g methaan/kg vetgecorrigeerde melk (FCM) was bijna 9% hoger op G100 vergeleken met G40. Omgerekend per kg DS is de absolute hoeveelheid methaan dan 8% en de methaanvorming per kg FCM 19% lager uit maiskuil vergeleken met graskuil. Ook bij vervanging van krachtvoer door vochtrijke diervoeders en enkelvoudige diervoeders met een aandeel van 10% van de DS bleef deze tendens aanwezig.
De methaanvorming uitgedrukt als % van de bruto energieopname (MCF; figuur 1) was 6% lager bij G40 ten opzichte van G100. Bij het hoogste aandeel maiskuil in G40 was de methaanvorming als % van de bruto energieopname 5.55%, een 8% lagere waarde dan het defaultpercentage van 6% gehanteerd door de IPCC (1997). Rantsoen G70 komt ruwweg overeenkomt met het gemiddelde melkveerantsoen in Nederland, en was dit percentage ruim 4% lager dan de IPCC-default.

Een vergelijking tussen de verschillende vochtrijke diervoeders en enkelvoudige diervoeders (tabellen 4, 5 en 6) maakt duidelijk dat een groot aantal producten een hogere methaanvorming in g methaan/dag geeft dan krachtvoer vanwege de snelle en volledige fermentatie in de pens van deze producten (aardappelstoomschillen, tarwe). Dit geeft aanleiding tot een hogere productie van vluchtige vetzuren, een groter waterstofoverschot in de pens, en als gevolg daarvan een grotere hoeveelheid methaan die geproduceerd wordt. Ook al draagt zetmeel relatief in geringe mate bij aan methaanvorming vanwege een ander profiel van vluchtige vetzuren dat geproduceerd wordt bij fermentatie (relatief meer propionzuur), dergelijke producten met een hoog gehalte aan snel fermenteerbaar zetmeel (bijv. aardappelstoomschillen) geven dan toch een hogere methaanvorming dan krachtvoer. Omdat deze producten doorgaans ook een hogere energetische (VEM) waarde hebben (OPNV, 2008; CVB, 2005) neemt de methaanvorming in g methaan/kg geproduceerde melk wel af. Dit geeft aan dat een schatting van het mitigerende effect van vochtrijke diervoeders in melkveerantsoenen op methaanemissie alleen te evalueren is door gelijktijdig de effecten op pensfermentatie en methaanvorming, en op melkproductie mee te nemen.

De producten cichoreipulp en de verschillende varianten van bietenperspulp in nemen een uitzonderingspositie in (tabellen 4, 5 en 6). Deze producten bevatten structurele koolhydraten die goed fermenteerbaar zijn maar niet als suikers, zetmeel of NDF geanalyseerd worden. Deze fractie bevat onder andere pectines die afgebroken worden op een wijze vergelijkbaar aan zetmeel met een relatief grote bestendigheid tegen fermentatie in de pens, en met een profiel van vluchtige vetzuren dat lijkt op dat bij fermentatie van suikers (Bannink et al., 2006). Om die reden is de relatief grote restfractie voor deze producten (tabel 3) verdeeld over de fractie suikers en NDF (een gemiddelde afbraaksnelheid, een profiel van vluchtige vetzuren dat beter past bij fermentatie van pectines).

Er is een redelijk grote variatie tussen de afzonderlijke producten. De verandering in de methaanemissie per kg FCM varieert ten opzichte van de referentiesituatie (enkel krachtvoer) met maximaal -2% tot +4%. Omdat slechts 10% van de DS vervangen werd, leveren de producten dus

maximaal 20% minder (bierbostel) tot maximaal 40% meer methaan op (bietenperspulp) dan het krachtvoer waarmee het werd uitgewisseld, of dan de resterende 90% van het rantsoen.

De grootte van de effecten was afhankelijk van het rantsoentype en nam in absolute zin af in volgorde van G100, G70 en G40. Zo nam de afname van g methaan/kg FCM met bierbostel af van -1.3% op het G100 rantsoen tot -1.9% op het G40 rantsoen, en de afname met tarwegistconcentraat van resp. -1.0% tot -1.7%. Ook het algemene niveau van methaanemissie per kg FCM voor deze rantsoentypes nam bij G40 met ongeveer 8% af ten opzichte van G100. Dit betekent dat op het rantsoentype met de laagste methaanemissie (G40) de procentuele afname door invoegen van vochtrijke diervoeders of van enkelvoudig diervoeders groter was. De afname voor producten die een lagere methaanemissie veroorzaakten nam dus verder toe. De procentuele toename van de methaanemissie per kg FCM werd kleiner voor producten die een stijging veroorzaakten (tabellen 4, 5 en 6) bij verschuiving van het G100 naar het G40 rantsoen.

De vervanging van krachtvoer met zetmeelrijke producten (maïsglutenvoer, aardappelsnippers, gestoomschilde aardappelen) gaf een afname van de methaanvorming. Zetmeelfermentatie geeft vanwege een ander microbieel fermentatiepatroon in de pens (relatief meer propionzuurvorming dan bij andere chemische fracties) een lagere methaanvorming. Ook eiwitfermentatie geeft een lage methaanvorming zoals voor de meeste eiwitrijke producten ook blijkt (bierbostel, tarwegistconcentraat, maïsglutenvoer). Fermentatie van producten met een hoog gehalte aan structurele koolhydraten (en pectines) en oplosbare koolhydraten of suikers (bietenperspulp, cichoreipulp) geeft meer methaan omdat deze substraten geassocieerd zijn met een profiel aan vluchtige vetzuren (relatief meer azijnzuur en boterzuur) wat meer methaan oplevert (tabellen 4, 5 en 6). In geval van sojaschroot en raapzaadschroot is de onbekende fractie in de DS % toegekend aan suikers en NDF. Deze aanname heeft tot gevolg dat, ondanks het hoge eiwitgehalte in deze producten (eiwit geeft fermentatieprofiel wat relatief weinig methaan oplevert), de methaanemissie toenam (sojaschroot, raapzaadschroot). Ten slotte, het relatief hoge vetgehalte in palmpitschilfers en bierbostel hebben mede bijgedragen aan de lage hoeveelheid methaan per kg FCM die voorspeld werd voor deze producten.

Tabel 4 Verandering in berekende methaanvorming en melkproductie bij vervanging van krachtvoer door een van de vochtrijke diervoeders of enkelvoudige diervoeders met een aandeel van 10% van de DS in het referentierantsoen **G100** (70% graskuil, 0% maiskuil en 30% krachtvoer in de rantsoen-DS), een voeropname van 19.3 kg DS/dag en onder aanname van 4.0% vet en 3.3% eiwit in melk. Tussen haakjes is de procentuele verandering t.o.v. de referentie vermeld

	Methaan (g/d)		MCF (%)	melk (kg/d)	methaan/kg melk (g/kg FCM)	
Referentie (krachtvoer)	371		5.89	27.30	13.57	
Perspulp I, vers	377	(1.81)	6.04	26.84	14.05	(3.54)
Perspulp I, ingek.	377	(1.65)	6.03	26.84	14.03	(3.38)
Perspulp II, gedr.	379	(2.49)	6.07	26.84	14.15	(4.23)
Bierbostel I, vers	361	(-2.54)	5.64	26.96	13.39	(-1.33)
Bierbostel I, ingek. 22%DS	361	(-2.60)	5.64	26.96	13.39	(-1.39)
Bierbostel, ingek. 27%DS + eiwitcoagulaat I	361	(-2.50)	5.66	26.96	13.40	(-1.29)
Bierbostel, ingek. 27%DS + eiwitcoagulaat II	360	(-2.72)	5.62	26.96	13.37	(-1.50)
Maisglutenvoer I, vers	371	(0.12)	5.88	27.48	13.50	(-0.55)
Maisglutenvoer I, ingek.	370	(-0.09)	5.87	27.48	13.47	(-0.76)
Maisglutenvoer I, gedr.	370	(-0.11)	5.86	27.48	13.47	(-0.78)
Maisglutenvoer II, vers	372	(0.43)	5.90	27.48	13.54	(-0.25)
Aardappelpersvezels eiwitrijk	371	(0.09)	5.90	27.22	13.62	(0.36)
Aardappelpersvezels eiwitarm	371	(0.06)	5.90	27.22	13.62	(0.33)
Aardappelsnippers, rauw	372	(0.47)	5.94	27.45	13.56	(-0.10)
Aardappelsnippers, ingek.	372	(0.44)	5.95	27.45	13.56	(-0.13)
Gestoomsch. aardappelen, vers	373	(0.25)	5.95	27.52	13.54	(-0.27)
Gestoomsch. aardappelen, ingek.	371	(-0.43)	5.94	27.52	13.50	(-0.55)
Aardappelstoomschillen	374	(0.94)	5.99	27.52	13.59	(0.14)
Tarwegistconcentraat I	369	(-0.43)	5.84	27.43	13.45	(-0.93)
Tarwegistconcentraat II	368	(-0.58)	5.84	27.43	13.43	(-1.08)
Cigarant	378	(1.97)	6.06	27.17	13.90	(2.43)
Tarwe	376	(1.45)	5.97	27.23	13.80	(1.69)
Raapzaadschroot	368	(-0.75)	5.77	26.53	13.86	(2.12)
Sojaschroot	373	(0.59)	5.87	27.18	13.71	(1.01)
Palmpitschilfers	363	(-1.95)	5.69	27.01	13.45	(-0.92)

MCF, methaan conversie factor (energie in methaan als % van de bruto energieopname)
FCM, vetgecorrigeerde melk

Tabel 5 Verandering in berekende methaanvorming en melkproductie bij vervanging van krachtvoer door een van de vochtrijke diervoeders of enkelvoudige diervoeders met een aandeel van 10% van de DS in het referentierantsoen **G70** (49% graskuil, 21% maiskuil en 30% krachtvoer in de rantsoen-DS), een voeropname van 19.3 kg DS/dag en onder aanname van 4.0% vet en 3.3% eiwit in melk. Tussen haakjes is de procentuele verandering t.o.v. de referentie vermeld.

	Methaan (g/d)		MCF (%)	melk (kg/d)	methaan/kg melk (g/kg FCM)	
Referentie (krachtvoer)	365		5.73	28.03	13.04	
Perspulp I, vers	372	(1.69)	5.86	27.57	13.48	(3.38)
Perspulp I, ingek.	371	(1.56)	5.86	27.57	13.46	(3.24)
Perspulp II, gedr.	375	(2.54)	5.90	27.57	14.59	(4.24)
Bierbostel I, vers	356	(-2.67)	5.48	27.70	12.84	(-1.49)
Bierbostel I, ingek. 22%DS	356	(-2.73)	5.47	27.70	12.84	(-1.55)
Bierbostel, ingek. 27%DS + eiwitcoagulaat I	356	(-2.69)	5.49	27.70	12.84	(-1.51)
Bierbostel, ingek. 27%DS + eiwitcoagulaat II	355	(-2.84)	5.46	27.70	12.82	(-1.66)
Maisglutenvoer I, vers	365	(-0.14)	5.70	28.22	12.93	(-0.79)
Maisglutenvoer I, ingek.	364	(-0.39)	5.69	28.22	12.90	(-1.04)
Maisglutenvoer I, gedr.	364	(-0.35)	5.69	28.22	12.91	(-1.01)
Maisglutenvoer II, vers	366	(0.22)	5.73	28.22	12.98	(-0.43)
Aardappelpersvezels eiwitrijk	365	(-0.08)	5.74	27.96	13.06	(0.19)
Aardappelpersvezels eiwitarm	366	(0.26)	5.75	27.96	13.11	(0.53)
Aardappelsnippers, rauw	367	(0.39)	5.77	28.18	13.02	(-0.15)
Aardappelsnippers, ingek.	367	(0.29)	5.77	28.18	13.01	(-0.25)
Gestoomsch. aardappelen, vers	367	(0.41)	5.78	28.25	12.99	(-0.36)
Gestoomsch. aardappelen, ingek.	366	(0.11)	5.77	28.25	12.95	(-0.66)
Aardappelstoomschillen	371	(1.39)	5.83	28.25	13.12	(0.61)
Tarwegistconcentraat I	363	(-0.79)	5.66	28.17	12.87	(-1.27)
Tarwegistconcentraat II	362	(-0.88)	5.66	28.17	12.86	(-1.36)
Cigarant	372	(1.84)	5.89	27.91	13.34	(2.30)
Tarwe	370	(1.22)	5.79	27.96	13.23	(1.46)
Raapzaadschroot	363	(-0.67)	5.62	27.27	13.31	(2.12)
Sojaschroot	367	(0.52)	5.71	27.92	13.16	(0.93)
Palmpitschilfers	359	(-1.83)	5.54	27.75	12.93	(-0.83)

MCF, methaan conversie factor (energie in methaan als % van de bruto energieopname)
FCM, vetgecorrigeerde melk

Tabel 6 Verandering in berekende methaanvorming en melkproductie bij vervanging van krachtvoer door een van de vochtrijke diervoeders of enkelvoudige diervoeders met een aandeel van 10% van de DS in het referentierantsoen **G40** (28% graskuil, 42% maiskuil en 30% krachtvoer in de rantsoen-DS), een voeropname van 19.3 kg DS/dag en onder aanname van 4.0% vet en 3.3% eiwit in melk. Tussen haakjes is de procentuele verandering t.o.v. de referentie vermeld.

	Methaan (g/d)		MCF (%)	melk (kg/d)	methaan/kg melk (g/kg FCM)	
Referentie (krachtvoer)	359		5.55	28.76	12.50	
Perspulp I, vers	365	(1.65)	5.68	28.31	12.91	(3.29)
Perspulp I, ingek.	365	(1.58)	5.68	28.31	12.90	(3.22)
Perspulp II, gedr.	369	(2.74)	5.73	28.31	13.05	(4.40)
Bierbostel I, vers	349	(-2.97)	5.30	28.43	12.27	(-1.82)
Bierbostel I, ingek. 22%DS	349	(-2.99)	5.29	28.43	12.27	(-1.84)
Bierbostel, ingek. 27%DS + eiwitcoagulaat I	349	(-3.00)	5.31	28.43	12.27	(-1.85)
Bierbostel, ingek. 27%DS + eiwitcoagulaat II	348	(-3.13)	5.28	28.43	12.25	(-1.98)
Maisglutenvoer I, vers	358	(-0.51)	5.51	28.95	12.35	(-1.15)
Maisglutenvoer I, ingek.	357	(-0.75)	5.50	28.95	12.32	(-1.39)
Maisglutenvoer I, gedr.	357	(-0.66)	5.50	28.95	12.33	(-1.30)
Maisglutenvoer II, vers	359	(-0.12)	5.53	28.95	12.40	(-0.76)
Aardappelpersvezels eiwitrijk	359	(-0.09)	5.56	28.69	12.52	(0.17)
Aardappelpersvezels eiwitarm	361	(0.36)	5.58	28.69	12.58	(0.63)
Aardappelsnippers, rauw	360	(0.11)	5.58	28.92	12.44	(-0.42)
Aardappelsnippers, ingek.	359	(-0.01)	5.58	28.92	12.43	(-0.54)
Gestoomsch. aardappelen, vers	360	(0.08)	5.58	28.98	12.41	(-0.66)
Gestoomsch. aardappelen, ingek.	359	(-0.22)	5.57	28.98	12.38	(-0.96)
Aardappelstoomschillen	365	(1.48)	5.66	28.98	12.59	(0.72)
Tarwegistconcentraat I	355	(-1.20)	5.46	28.90	12.29	(-1.67)
Tarwegistconcentraat II	355	(-1.21)	5.47	28.90	12.29	(-1.67)
Cigarant	366	(1.80)	5.70	28.64	12.78	(2.24)
Tarwe	362	(0.76)	5.59	28.70	12.62	(0.99)
Raapzaadschroot	357	(-0.56)	5.46	28.00	12.77	(2.16)
Sojaschroot	361	(0.54)	5.54	28.65	12.61	(0.94)
Palmpitschilfers	353	(-1.82)	5.37	28.48	12.39	(-0.84)

MCF, methaan conversie factor (energie in methaan als % van de bruto energieopname)
FCM, vetgecorrigeerde melk

6 Discussie en conclusies

De methaanberekeningen in deze studie geven op de eerste plaats het verschil aan in methaanvorming uit vochtrijke diervoeders en enkele enkelvoudige diervoeders ten opzichte van methaanvorming uit krachtvoer. De meeste producten lijken geschikt om de methaanemissie per kg FCM te reduceren en hun inzet in melkveerantsoenen draagt dus bij aan de reductie van methaan. Het effect van de producten varieerde echter sterk, en is afhankelijk van de aard en chemische samenstelling van het product. Vooral de chemische samenstelling van het product lijkt een grote invloed te hebben op de mate waarmee de hoeveelheid methaan per kg FCM afneemt. Eiwit, zetmeel en vet leveren een relatief lage bijdrage aan methaan, en NDF en suikers een relatief hoge. Om die reden wordt voor bierbostel de grootste daling van methaan geschat. Het effect van de behandeling van een product (vergelijking tussen een vers, ingekuild of gedroogd product), of de invloed van de oorsprong of de fabrikant van een product, lijkt ondergeschikt aan de invloed van het type product en chemische samenstelling van het product.

De bestendigheid tegen fermentatie in de pens is mede bepalend voor het reducerend effect op methaan. Zo is er bijvoorbeeld zelfs een toename van de methaanemissie per kg FCM met de zetmeelrijke aardappelstoomschillen die een zeer onbestendige zetmeelfractie bevatten. Het zetmeel wordt dus grotendeels gefermenteerd in de pens (evenals met tarwe) en levert dus veel fermentatie-eindproducten op waaronder methaan (toename methaan/kg FCM varieerde van 0.1% tot 0.7%, afhankelijk van rantsoentype; tabellen 4, 5 en 6). Ingekuilde gestoomschilde aardappelen bevatten daarentegen een grote bestendige zetmeelfractie die wel VEM levert, maar in veel minder mate gefermenteerd wordt in de pens, en dus minder aanleiding geeft tot methaanvorming (afname methaan/ kg FCM varieerde van 0.6% tot 1.0% afhankelijk van het rantsoentype).

6.1 Interpretatie van resultaten voor vochtrijke diervoeders

Voor het interpreteren van de berekeningen is het belang om als uitgangspunt aan te houden dat de DS-opname gelijk is gehouden voor alle producten en rantsoentypen. Om deze reden mag gesteld worden dat berekende afname van de methaanemissie bij vervanging van 10% van de rantsoen-DS, de verlaging van de methaanemissie per kg DS van dit product ten opzichte van krachtvoer ongeveer 10 maal zo groot is als de procentuele verandering van de absolute methaanemissie (g methaan/d) weergegeven in tabellen 4, 5 en 6. De hoge VEM-waarde van de meeste producten maakt dat de afname van de methaanemissie uitgedrukt per kg FCM meestal fors is. Uitgedrukt per kg DS zijn de effecten kleiner van omvang, en is in incidentele gevallen zelfs tegengesteld aan die voor de absolute methaanemissie (bijvoorbeeld bij verse gestoomschilde aardappelen). Uitgedrukt in methaan per kg FCM geven bierbostel en tarwegistconcentraat tot 20% en 17% minder methaan dan krachtvoer met het G40 rantsoen (met ruim 40% maiskuil in DS).

Grote hoeveelheden van deze producten kunnen dus in principe ook een groot effect hebben op de methaanemissie (in g methaan per dag, in g methaan per kg opgenomen DS, en in g methaan per kg FCM). Er zijn echter grenzen aan de mate waarin deze producten inzetbaar zijn. Die grenzen worden bepaald door de beschikbaarheid van het product op de markt, door een limiet aan de hoeveelheid product dat zonder problemen toegevoegd kan worden aan het rantsoen, door de inpasbaarheid in de bedrijfsvoering, en door de al dan niet gunstige uitwerking op de productieresultaten. Het gemengd voeren van deze producten lijkt nutritionele voordelen te bieden en maakt wellicht dat grotere hoeveelheden vervoederd kunnen worden. In de wetenschappelijke literatuur is echter nauwelijks informatie hierover te vinden.

Hoewel het feitelijk een directe uitwisseling van vochtrijke diervoeders of enkelvoudige diervoeders met krachtvoer ter grootte van 10% van de rantsoen-DS, getest werd, geven de resultaten ook een representatief beeld van hoe de methaanvorming uit deze producten zich verhoudt tot de methaanemissie door de niet uitgewisselde 90% van de DS in het rantsoen, en wat de invloed is van variatie van de ruwvoersamenstelling (ruwvoer maakt 80% uit van deze 90% van de rantsoen-DS). Wanneer de resultaten op deze wijze bekeken worden dan komt dus een vergelijkbaar beeld naar voren waarin de meeste vochtrijke diervoeders per kg FCM een lagere methaanemissie opleveren. De lichte verschuivingen in de procentuele veranderingen, die vermeld zijn in tabellen 5, 6 en 7, worden voor een deel ook veroorzaakt doordat de absolute verschillen voor de uiteenlopende producten

vergeleken worden met een ander niveau van methaanemissie met de G100, G70 en G40 rantsoenen. De grootte van de verschillen in absolute hoeveelheden methaan per dag en methaan per kg FCM verschillen voor het G100, G70 en het G40 rantsoen. De trends waren echter gelijk en lijken dus algemeen van toepassing op deze producten, ongeacht de samenstelling van het rantsoen.

De berekende effecten van vochtrijke diervoeders en enkelvoudige diervoeders gaan op voor gemiddelde situaties zoals getest in deze studie. Bij vergelijking van extreem verschillende voedingsomstandigheden qua kwaliteit van het rantsoen, qua DS-opname en qua pensafbreekbaarheid gaat zij mogelijk niet op. Om te kunnen nuanceren naar dergelijke situaties is het noodzakelijk om rekening te houden met het verwachte fermentatieverloop in de pens bij deze omstandigheden.

6.2 Vergelijking effect vochtrijke diervoeders met effect type ruwvoer

De veranderingen in absolute methaanemissie in g methaan per dag was bij uitwisseling van 10% van de rantsoen-DS met vochtrijke diervoeders en enkelvoudige diervoeders van dezelfde orde van grootte (van -2.7% tot +2.5% bij G100 en van -3.1% tot +2.7% bij G40) als de verandering ten gevolge een aangepaste ruwvoersamenstelling (3.2% lagere waarde voor G40 t.o.v. G100). Methaanemissie uitgedrukt in methaan per kg FCM geeft procentuele veranderingen die geringer van omvang zijn (van -1.5% tot +4.2% voor G100 en van –2.0% tot +4.4% voor G40) dan de procentuele verandering ten gevolge aangepaste ruwvoersamenstelling (7.9% lagere waarde voor G40 t.o.v. G100). De reden hiervoor is de hogere VEM-waarde voor maiskuil vergeleken met die van graskuil en het feit dat de uitwisseling van ruwvoer gepaard ging met meer dan 40% van de rantsoen-DS, tegenover uitwisseling van vochtrijke diervoeders en enkelvoudige diervoeders voor slechts 10% van de DS. Dit betekent dat vochtrijke diervoeders met de grootste daling de methaanemissie per kg FCM een vergelijkbare daling lijken te geven als die ten gevolge van maiskuil.

6.3 Vergelijking effect vochtrijke diervoeders met ruwvoerkwaliteit

Naast het soort ruwvoer is ook de kwaliteit van ruwvoer van belang. Dit is niet getest in deze studie maar uit recent onderzoek van Bannink et al. (2009) blijkt de graskwaliteit een sterke invloed te hebben op de methaanemissie. De graskwaliteit werd gevarieerd op basis van geschatte effecten van het niveau van stikstofbemesting en van het groeistadium waarin gras wordt gemaaid. Voor grote verschillen in graskwaliteit werden verschillen in methaan per kg FCM berekend rondom de 20% (bij gelijke DS-opname en rantsoenen met minimaal 60% graskuil in de DS). Mogelijk dat hetzelfde geldt voor de kwaliteit en de eigenschappen van maiskuil. Hiervoor zijn echter geen berekeningen bekend. Ook op systematische wijze verzamelde in vivo meetgegevens voor het effect van de kwaliteit van graskuil en maiskuil in melkveerantsoenen ontbreken in de literatuur.

6.4 Effecten op rantsoenformulering

Bij het invoegen van vochtrijke diervoeders ter vervanging van krachtvoer doet zich meestal een van de volgende situaties voor:

1) een vochtrijk diervoeder met een hogere VEM-waarde en een hogere DVE-waarde (bijvoorbeeld tarwegistconcentraat en bierbostel)
2) een vochtrijk diervoeder met een hogere VEM-waarde en een gelijke DVE-waarde (bijvoorbeeld maïsglutenvoer)
3) een vochtrijk diervoeder met een lagere VEM-waarde en een gelijke DVE-waarde (bijvoorbeeld bietenperspulp).

Veel vochtrijke diervoeders hebben een vergelijkbare VEM-waarde en een hogere DVE-waarde dan de waarden 1044 VEM en 95 DVE voor een kg DS in standaard krachtvoer. De genoemde voederwaarden voor krachtvoer komen overeen met de aannames voor het gemiddelde veerantsoen voor de gemiddelde Nederlandse melkkoe, waarmee gerekend is in de nationale emissieregistratie voor het jaar 2007 (Bannink et al., 2009; Van der Maas et al., 2008).

Indien bij opname van een vochtig diervoeder in het rantsoen een van bovengenoemde drie situaties zich voordoet dan is er de mogelijkheid om het rantsoen te gaan balanceren op VEM en DVE. Hierbij kunnen echter verschillende criteria aangehouden worden, zoals: 1) een maximale DS-opname, 2) een ongewijzigde DS-opname, 3) een ongewijzigde VEM- en DVE-opname, 4) een ongewijzigde VEM- en DVE-opname bij zo laag mogelijke DS-opname of tegen zo laag mogelijke kosten. Dit maakt het lastig om een eenduidig antwoord te geven op de vraag hoe bij invoeging van vochtrijke diervoeders het rantsoen te balanceren op voederwaardekenmerken als VEM en DVE.

Gesteld dat het criterium is om te streven naar een ongewijzigde VEM- en DVE-waarde van het rantsoen, en onder aanname dat de DS-opname niet wijzigt bij het invoegen van het vochtrijke product, dan zal de gewijzigde VEM- en DVE-opname gecompenseerd moeten worden door een aangepaste VEM- en DVE-waarde van de rest van het rantsoen. Aanpassing van krachtvoer ligt dan het meest voor de hand omdat de beschikbaarheid en kwaliteit van het ruwvoer veel meer een gegeven is op een melkveebedrijf. De mogelijkheden die zich dan voordoen zijn in tabel 7 uitgewerkt met de te verwachten consequenties voor methaan. Hieruit blijkt dat met de eiwitrijke producten tarwegistconcentraat en bierbostel het krachtvoer met een zowel een lagere VEM-waarde als een lagere DVE-waarde toekan. Met maïsglutenvoer kan het krachtvoer met enkel een lagere VEM-waarde toe, en met bietenperspulp is een verhoging van de VEM-waarde nodig terwijl de DVE-waarde vergelijkbaar is met die van krachtvoer.

Het accepteren van een lagere VEM-waarde van krachtvoer door middel van een lagere verteerbaarheid ligt het meest voor de hand om te voorkomen dat de hoeveelheid methaan uit gefermenteerd krachtvoer stijgt (tabel 8). Een lagere verteerbaarheid gaat echter ook dikwijls samen met een andere koolhydraatsamenstelling (bijv. celstofrijke sojabonenschillen met een hoog NDF-gehalte, of suikerrijke melasse) en een relatief hogere methaanvorming. Deze toename doet de remmende invloed van een lagere verteerbaarheid op de methaanvorming deels weer teniet. De aard van de grondstoffen, die uitgewisseld worden in krachtvoer om de VEM te verlagen, bepaalt hoe deze balans precies zal uitvallen en of er netto meer of minder methaan zal ontstaat. Alternatieve opties om een lagere VEM-waarde toe te staan zijn een krachtvoer dat minder bestendig is tegen afbraak in de pens, of krachtvoer dat minder zetmeel en/of vet bevat. Deze alternatieve opties leiden echter beide tot meer methaan (tabel 7).
Een hogere VEM-waarde van krachtvoer is op verschillende manieren te realiseren. Door middel van bes en hogere verteerbaarheid kan dit echter gepaard gaan met meer fermentatie en meer methaan. Door middel van meer zetmeel en vet, en een hogere zetmeelbestendigheid zal dit juist met minder methaan gepaard gaan.

Het accepteren van een lagere DVE-waarde van krachtvoer is te realiseren met een verhoging van het gehalte aan bestendig zetmeel en/of vet. Zoals zojuist geconstateerd is dit echter niet te verenigen met het toestaan van een lagere VEM-waarde. In combinatie met een lagere VEM-waarde zijn de voor de hand liggende opties om een lagere DVE-waarde toe te staan het verlagen van het eiwitgehalte, het verlagen van de eiwitkwaliteit (lagere verteerbaarheid) en het minder bestendig maken van eiwit tegen afbraak in de pens. Van deze opties voorkomt alleen een lagere eiwitkwaliteit dat er meer methaan zal ontstaan (tabel 7).

Uit voorgaande blijkt dat bij opname van een vochtig diervoeder met een hoge VEM- en DVE-waarde in het rantsoen, in combinatie met krachtvoer met een verlaagde VEM- en DVE-waarde, een stijging van de methaanemissie uit krachtvoer te voorkomen is door minder verteerbare grondstoffen (qua eiwit en energie) in het krachtvoer op te nemen. Wordt een hogere VEM-waarde van het rantsoen toegestaan, dan zijn er meerdere opties om de DVE-waarde te verlagen zonder verhoging van de methaanvorming. Bijvoorbeeld ook een hoger zetmeel en/of vetgehalte (een lager eiwitgehalte zonder verhoging van het suiker- en NDF-gehalte) zijn dan te overwegen.

De uiteenlopende mogelijkheden om de tegelijkertijd een VEM-waarde en DVE-waarde van krachtvoer aan te passen maakt het lastig om op eenduidige wijze aan te geven welke gevolgen dit zal hebben voor de methaanvorming uit dat krachtvoer. Bovendien zijn er interacties tussen aanpassing van VEM en DVE. Dit betekent dat altijd het effect van de combinatie van beide geanalyseerd moet worden in plaats van ieder afzonderlijk op de methaanemissie zoals weergegeven in tabel 7. Dit betekent dan ook dat de indicaties in tabel 7 met de nodige voorzichtigheid betracht moeten worden.

Tabel 7 Het effect op methaanemissie van aanpassingen in krachtvoer om een gewijzigde VEM- en DVE-opname (gelijkblijvende DS-opname) te compenseren

	VEM-opname vochtrijke diervoeders	*DVE-opname*	*Opties voor krachtvoer VEM*	*DVE*	*Effect op methaan uit krachtvoer*
Tarwegistconcentraat & ***Bierbostel***	↑	↑	↓	↓	↑ = ↓ [1]
			Lagere verteerbaarheid		↑
			Minder bestendig		↑
			Minder zetmeel / vet		↑
				Minder eiwit	↑
				Lagere eiwitkwaliteit	↓
				Minder bestendig eiwit	↑
Maïsglutenvoer	↑	=	↓		↑ = ↓ [1]
			Lagere verteerbaarheid		↑
			Minder bestendig		↑
			Minder zetmeel / vet		↑
				=	
Bietenperspulp	↓	=	↑		↑ = ↓ [1]
			Hogere verteerbaarheid		↓
			Meer bestendig		↓
			Meer zetmeel / vet		
				=	

↑, toename; ↓, afname; =, geen verandering

[1] Grondstoffen met een lagere VEM-waarde gaat meestal gepaard met een relatief minder goed verteerbare celwandfractie (bijv. celwandrijke sojabonenschillen) of suikerrijke grondstoffen (bijv. bietmelasse). In beide gevallen ontstaat meer methaan uit de gefermenteerde organische stof. Deze toename wordt deels weer gecompenseerd door een lagere verteerbaarheid en om die reden is een indicatie '↑ / = / ↓' aangegeven.

6.5 Impact van vochtrijke diervoeders in de melkveevoeding op emissie

Inzet van vochtige diervoeders in melkveerantsoenen i.p.v. afzet in gedroogde vorm

In 2007 werd volgens opgave door de OPNV een hoeveelheid van 665.000 ton pulp en maïsglutenvoer gedroogd. Achterwege laten van deze droging en een volledig inzet van deze bijproducten als vochtrijk voeder in melkveerantsoenen levert een geschatte besparing in energieverbruik op equivalent aan 58.545 ton CO_2.
Indien deze gedroogde producten momenteel ook momenteel al volledig worden ingezet in de melkveevoeding dan hoeft de besparing in energieverbruik niet te worden verrekend met de gevolgen voor methaanemissie en is de besparing 58.545 ton CO_2. Indien deze producten momenteel nog een andere bestemming krijgen dan de melkveevoeding dan moeten wel de gevolgen voor methaanemissie verrekend worden. Inzet van pulp in de melkveevoeding geeft per kg DS 1.7% meer methaan dan de DS van een gemiddeld melkveerantsoen, terwijl maïsglutenvoer 0.3% minder methaan geeft (Tabel 6). Onder aanname dat 143.440 ton pulp DS (163.000 ton met 88% DS) en 73.920 ton maïsglutenvoer DS (84.000 ton met 88% DS) als vochtig product ingezet wordt, dan levert dit ten opzichte van het gemiddelde rantsoen resp. een toename op van 461 ton methaan en een afname van ruim 42 ton methaan. Omgerekend in ton CO_2 equivalenten is dit een netto toename van 8.804 ton CO_2. Het gevolg is dat de besparing op broeikasgasemissies vanwege energieverbruik voor drogen met 58.545 ton CO_2 (volgens opgave door OPNV), na correctie voor de toename van methaanemissie met 8.804 ton CO_2, 15% lager uitkomt op 49.741 ton CO_2. Omdat momenteel deze producten momenteel al grotendeels in de melkveevoeding worden ingezet zal de besparing dichter bij de 58 dan de 50 kton CO_2 liggen.
Onder aanname dat momenteel al driekwart van de gedroogde producten aan melkvee wordt gevoerd, komt de besparing op 56 kton CO_2 te liggen. De afname in broeikasgasemissie wordt dus vooral gerealiseerd door de besparing op het energieverbruik door het achterwege late van het drogingproces van vochtrijke diervoeders.

Invloed van vochtrijke diervoeders op nationale methaanemissie door melkvee

De invloed op de totale methaanemissie bij inzet van vochtrijke diervoeders in melkveerantsoenen zal van dezelfde orde van grootte zijn als de gegevens in Tabellen 4, 5 en 6 waarbij 10% van het rantsoen werd vervangen door vochtrijke diervoeders. Dit komt qua orde van grootte overeen met de maximale hoeveelheid die wordt aanbevolen in de praktijk. Dit betekent dat bij maximale inzet in melkveerantsoenen (bij vervanging van krachtvoer) een afname gehaald kan worden tot maximaal 2% van de totale methaanemissie, mits deze producten beschikbaar zijn en deze hoeveelheden als vochtrijk diervoeder ingezet worden.
In werkelijkheid worden deze producten ook afgezet in de varkenshouderij, en de hoeveelheid product die beschikbaar komt mogelijk niet 10% van de DS van het Nederlandse melkveerantsoen kunnen uitmaken (wat neer zou komen op ruim 0.9 Mton DS per jaar voor de gehele Nederlandse melkveestapel, en 4.2 maal zo veel als de hoeveelheden bietenperspulp en maïsglutenvoer die in 2007 werden gedroogd). Bovendien geven niet alle vochtrijke diervoeders een afname van 2% (sommige zelfs een stijging). Het is dus waarschijnlijk dat de afname in methaanemissie een fractie van de hierboven genoemde maximale 2% zal zijn. Verondersteld wordt dat een gemiddelde afname van 1% voor alle vochtrijke diervoeders eerder het maximaal haalbare is. Dit betekent echter wel dat vooral de hoeveelheid van de andere vochtrijke diervoeders dan de pulpen moet toenemen (pulpen geven namelijk een hogere methaanemissie). In dit geval zal een opvulling van 10% van de DS van melkveerantsoenen in Nederland met vochtige diervoeders, vergeleken met geen toepassing van vochtige diervoeders in het rantsoen, een afname van de methaanemissie geven ter grootte van 38 kton CO_2. Het drogen van een dergelijke hoeveelheid vochtige diervoeders in plaats van afzet als vochtrijk diervoeder zal gepaard gaan met een 4.2 maal zo hoog energieverbruik van 246 kton CO_2 (zelfde aanname aangehouden voor energieverbruik drogen bietenperspulp en maïsglutenvoer in 2007 als opgave OPNV). Concluderend, de combinatie van de afname door achterwege laten van drogen en de afname in methaanemissie geeft een totale afname van ongeveer 0.28 Mton CO_2. Indien als

uitgangspunt wordt genomen dat momenteel al de helft van dit reductiepotentieel gebruikt is omdat de DS in de huidige melkveerantsoenen voor 3% uit vochtige diervoeders bestaat (Bannink, 2009 in druk), dan geeft een toename van een aandeel in de DS van 3% naar 10% een afname van 0.20 Mton CO_2.
Effecten op andersoortige emissies dan de methaanvorming in het maagdarmkanaal van melkvee en het energieverbruik bij drogen zijn hierbij niet verdisconteerd. Deze effecten lijken echter relatief gering van omvang ten opzichte van het effect van drogen (bijvoorbeeld OPNV schat in dat het energieverbruik bij de verwerking in mengvoeders en transport slechts 3% is van het benodigde energieverbruik bij drogen).

7 Conclusies

Vochtrijke diervoeders lijken goed toepasbaar in melkveerantsoenen. De grote variatie in type beschikbare producten maakt dat zij bij selectieve toepassing een goede aanvulling zijn op krachtvoer om de pensfermentatie gericht te optimaliseren op kenmerken als de fermenteerbare organische stof (microbiële eiwitsynthese), onbestendige eiwitbalans, aanvulling met pensbestendig darmverteerbaar eiwit, stabilisering van het pensmilieu (zuurgraad, buffering), en eventueel het synchroniseren van energie en stikstofaanbod in de pens. De optimalisatie op enkele van deze kenmerken lijkt voor een deel al te realiseren door de producten te verstrekken met een gemengd rantsoen. Er is echter nauwelijks tot geen wetenschappelijke literatuur voorhanden die specifiek op de meerwaarde van het gemengd verstrekken van vochtrijke diervoeders ingaat. Stimulatie van de voeropname bij gemengd voeren van vochtrijke diervoeders in combinatie met een hoge VEM-waarde van deze producten zal doorgaans een daling van de methaanemissie per kg FCM geven.

Op basis van de gemaakte aannames in de huidige studie voor de chemische samenstelling en de afbraakkarakteristieken geven de onderzochte vochtrijke diervoeders en enkelvoudige diervoeders een variabel beeld wat betreft hun bijdrage aan de absolute methaanemissie (g methaan/d). Uitzondering hierop waren de pulpen (bietenperspulp en cichoreipulp) die een sterke toename van de methaanemissie gaven, en eiwitrijk bierbostel en tarwegistconcentraat die beide een sterke afname van de methaanemissie gaven. Vooral door de hoge VEM-waarde van de meeste producten was de methaanemissie uitgedrukt per kg FCM bijna altijd verlaagd bij opname van vochtrijke diervoeders in het rantsoen (behalve bij de pulpen). Bij uitwisseling van 10% van de rantsoen-DS (orde van grootte overeenkomend met de hoeveelheden die in de praktijk aan een melkveerantsoen kunnen worden toegevoegd) was de verlaging van de absolute hoeveelheid methaan (g methaan/d) maximaal 3%. Dit betekent dat per eenheid DS de methaanvorming uit vochtrijke diervoeders 30% lager was. De maximale daling in methaan per kg FCM was 20%, en vergelijkbaar met de hier berekende 19% lagere waarde voor maiskuil vergeleken met graskuil. Behandeling van vochtrijke diervoeders (inkuilen, drogen) had met de huidige aannames een veel geringer effect op de methaanemissie dan het type vochtig diervoeder en de aard van het rantsoen.

Bij uitwisseling van 10% van de DS geven bierbostel, maïsglutenvoer en tarwegistconcentraat de sterkste verlaging van de methaanemissie per kg FCM (daling van 1% tot 2%), de diervoeders uit de aardappelverwerkende industrie een verlaging van geringere omvang en qua grootte sterk afhankelijk van de aard van het product (wel/niet gestoomd, wel/geen hoog zetmeelgehalte; daling tot 1% of een stijging met minder dan 1%), en de pulpen een verhoging (stijging van 2% tot 4%).

De berekende effecten van de uitwisseling van voer met vochtrijke diervoeders en enkelvoudige diervoeders lijken algemeen geldig, mits de voedingsomstandigheden niet extreem afwijken van de gemiddelde DS-opname en gemiddelde rantsoensamenstelling en –kwaliteit die aangehouden is in deze studie. Bij sterke afwijkende niveaus van DS-opname bijvoorbeeld kan de grootte van de verschillen tussen afzonderlijke producten wijzigen.

8 Literatuur

Amaral-Philips, D.M. & Hemken, R.W. 1997. Using byproducts to feed dairy cattle. Cooperative Extension Service, College of Agriculture, University of Kentucky. US.
Bannink, A. & Dijkstra, J., 2009. Een mechanistisch, dynamisch model voor de vertering van zetmeel, eiwit en vet in de dunne darm van de melkkoe. Vertrouwelijk ASG-rapport, ASG, Lelystad, NL, in voorbereiding.

Bannink, A., Ellis, J.L., France, J. & Dijkstra, J., 2009a. Prediction of starch digestion in the small intestine of lactating cows. p.68 In Proceedings of XIth Int. Symposium of Ruminant Physiology, Eds. Y. Chilliard, F. Glasser, Y. Faulconnier, F. Bocquier, I. Veisseir & M. Doreau. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, NL.

Bannink, A., M.C.J. Smits, E. Kebreab, J.A.N. Mills, J.L. Ellis, A. Klop, J. France & Dijkstra, J., 2009b. Simulating the effects of grassland management and grass ensiling on methane emission from lactating cows Journal of Agricultural Science, Cambr. In druk.

Bannink, A., 2009. Onderbouwing van de onzekerheid van de geschatte methaanemissie door melkvee in de Nederlandse emissieregistratie. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, in druk.

Bannink, A., France, J., Lopez, S., Gerrits, W.J.J., Kebreab, E., Tamminga, S. & Dijkstra, J., 2008. Modelling the implications of feeding strategy on rumen fermentation and functioning of the rumen wall. Animal Feed Science and Technology 143: 3–26.

Bannink, A. & Dijkstra, J., 2007. Toevoeging van enkele onderdelen aan een dynamisch pensmodel: maaltijdpatroon, deeltjesgrootte & deeltjesverkleining; metabolisme & verzadigingsgraad langketen vetzuren; darmvertering, nutriëntenabsorptie & potentiële melkproductie op basis van melksamenstelling. Vertrouwelijk ASG-rapport 72, ASG, Lelystad, NL.

Bannink, A., 2007. Modelling Volatile Fatty Acid Dynamics and Rumen Function in Lactating Cows. PhD Thesis, Wageningen University, Wageningen, NL. p.252.

Bannink, A., Kogut, J., Dijkstra, J., Kebreab, E., France, J., Tamminga, A., Van Vuuren, A.M., 2006. Estimation of the stoichiometry of volatile fatty acid production in the rumen of lactating cows. Journal of Theoretical Biology 238: 36–51.

Bannink, A. & Tamminga, S., 2005. Rumen Function. Pages 263-288 In Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism, 2nd Edition (Eds. J. Dijkstra, J.M. Forbes & J. France) CAB International, Wallingford, UK.

Bannink, A., Van Leeuwen, P., Hamminga, A., Gerrits, W.J.J., Valk, H., Stockhofe-Zurwieden, N., Van Vuuren, A.M., 2005a. The effect of feeding strategy after parturition on the development of rumen epithelium in dairy cows. In: Proceedings of the 9th International Congress of the European Society of Veterinary & Comparative Nutrition, 22–24 September, Grugliasco, Turin, Italy.

Bannink, A., Dijkstra, J., Mills, J.A.N., Kebreab, E. & France, J., 2005b. Nutritional strategies to reduce enteric methane formation in dairy cows. In: T. Kuczynski, U. Dämmgen, J. Webb & A. Myczko (Eds.), Emissions from European Agriculture, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands, pp. 367-376.

Bannink, A., Kogut, J., Dijkstra, J., France, J., Tamminga, S. & Van Vuuren, A.M., 2000. Modelling production and portal appearance of volatile fatty acids in cows. Pages 87-102. In: Modelling Nutrient Utilization in Farm Animals. eds. J.P. McNamara, J. France and D.E. Beever. CAB International, Wallingford, United Kingdom.

Bargo, F., Muller, L.D., Delahoy, J.E. & Cassidy, T.W., 2002. Performance of high producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. Journal of Dairy Science 85: 2948–2963.

Bargo, F., Delahoy, J.E. & Muller, L.D., 2004. Milk production of dairy cows fed total mixed rations after a grazing period. Professional Animal Scientist, June 2004.

Broderick, G.A., de Leon, N. & Nakamura, Y., 2000. Potential of fermentation byproducts as nitrogen supplements for lactating dairy cows. Journal of Dairy Science 83: 2548-2556.

Claus, M., Hume, I.D. & Hummel, J., 2009. Evolutionary adaptations of ruminants and their potential relevance for modern production systems. p.45 In Proceedings of Xith Int. Symposium of Ruminant Physiology, Eds. Y. Chilliard, F. Glasser, Y. Faulconnier, F. Bocquier, I. Veisseir & M. Doreau. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, NL.

CVB, 2005. Veevoedertabel. CVB, Lelystad, NL.

De Vries, T.J., Von Keyserlingk, M.A.G. & Beauchemin, K.A., 2005. Frequency of feed delivery affects the behavior of lactating dairy cows. Journal of Dairy Science 88: 3553–3562.

Dijkstra, J., Kebreab, E., Bannink, A., Crompton, L.A., Lopez, S., Abrahamse, P.A., Chilibroste, P., Mills, J.A.N. & France, J., 2008. Comparison of energy evaluation systems and a mechanistic model for milk production by dairy cattle offered fresh grass-based diets. Animal Feed Science & Technology 143: 203-219.

Dijkstra, J., Boer, H., Van Bruchem, J., Bruining, M. & Tamminga, S., 1993. Absorption of volatile fatty acids from the rumen of lactating dairy cows as influenced by volatile fatty acid concentration, pH and rumen liquid volume. British Journal of Nutrition 69: 385-396.

Dijkstra, J., Neal, H.D.St.C., Beever, D.E. & France, J., 1992. Simulation of nutrient digestion, absorption and outflow in the rumen: model description. Journal of Nutrition 122: 2239–2256.

Eastridge, M.L., 2006. Major advances in applied dairy cattle nutrition Journal of Dairy Science 89: 1311–1323

Heinrichs, J., Jones, C. & Bailey, K., 1997. Milk components: understanding the causes and importance of milk fat and protein variation in your dairy herd. Agricultural College, Cooperative Extension, PennState University (www.das.psu.edu).

Hollander, C.J., Blanken, K., Gotink, A., Van Duinkerken, G., Dijk, G., Lenssinck, F., & De Koning. K., 2005. Voersystemen in de melkveehouderij. PraktijkRapport Rundvee 73, Animal Sciences Group / Praktijkonderzoek, Lelystad.
71 pagina's, 18 figuren, 29 tabellen.

Hutjens, M.F., 1999. TMR / Feed bunk management. Illini DairyNet, University of Illinois Extension (www.livestocktrail.uiuc.edu).

IPCC, 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change, Bracknell, UK.

Lopez S., Hovell, F.D.D., Dijkstra, J. & France, J., 2003. Effects of volatile fatty acids supply on their absorption and on water kinetics in the rumen of sheep sustained by intragastric infusions. Journal of Animal Science 81: 2609-2616.

Maekawa, M., Beauchemin, K.A. & Christensen, D.A., 2002. Effect of concentrate level and feeding management on chewing activities, saliva production, and ruminal pH of lactating dairy cows. Journal of Dairy Science 85: 1165–1175.

Maekawa, M., Beauchemin, K.A. & Christensen, D.A., 2002. Effect of concentrate level and feeding management in chewing activities, saliva production, and ruminal pH of lactating dairy cows. Journal of Dairy Science 85: 1165-1175.

Mills, J.A.N., Dijkstra, J., Bannink, A., Cammell, S.B., Kebreab, E. & France, J., 2001. A mechanistic model of whole-tract digestion and methanogenesis in the lactating dairy cow: model development, evaluation, and application. Journal of Animal Science 79: 1584-1597.

Murphy, M.R., Baldwin, R.L. & Koong, L.J., 1982. Estimation of stoichiometric parameters for rumen fermentation of roughage and concentrate diets. Journal of Animal Science 55: 411-421.

OPNV, 2008. Vochtrijke diervoeders voor varkens en rundvee. OPNV & SFR, NL.

Powell, J.M., Jackson-Smith, D.B., McCrory, D.F., Saam, H. & Mariola, M., 2006. Validation of feed and manure data collected on Wisconsin dairy farms. Journal of Dairy Science 89: 2268–2278.

Reynolds, C.K. & Kristensen, N.B., 2008. Nitrogen recycling through the gut and the nitrogen economy of ruminants: an asynchronous symbiosis. Journal of Animal Science 86: E293-E305.

Robinson, P.H., 1989. Dynamic aspects of feeding management for dairy cows. Journal of Dairy Science 72: 1197-1209.

Shaver, R., 1998. Feeding systems and strategies for expanding dairies. 4-State Expansion Conference , March-April 1998, New Ulm, Madison, Wisconsin, US.

Scallon, K. 2009. TMR sorting. Posted to Dairy Operation Management. Agri-Nutrition Consulting (www.agrinutrition.com).

Schingoethe, D.J., 2006. Feeding ethanol byproducts to dairy and beef cattle. Blz. 49-63 in Proceedings 2006 Canada Animal Nutrition Conference, 10-11 mei, Fresno, CA.

Smink, W., Van der Hoek, K.W., Bannink, A. & Dijkstra, J., 2005. Calculation of methane production from enteric fermentation in dairy cows. FIS-report. Project number SenterNovem 0377-05-02-02-003.

Smith, T., 2002. Using a total mixed rations (TMR) for dairy cows. Natural Resources of Newfoundland and Labrador (www.nr.gov.nl.ca).

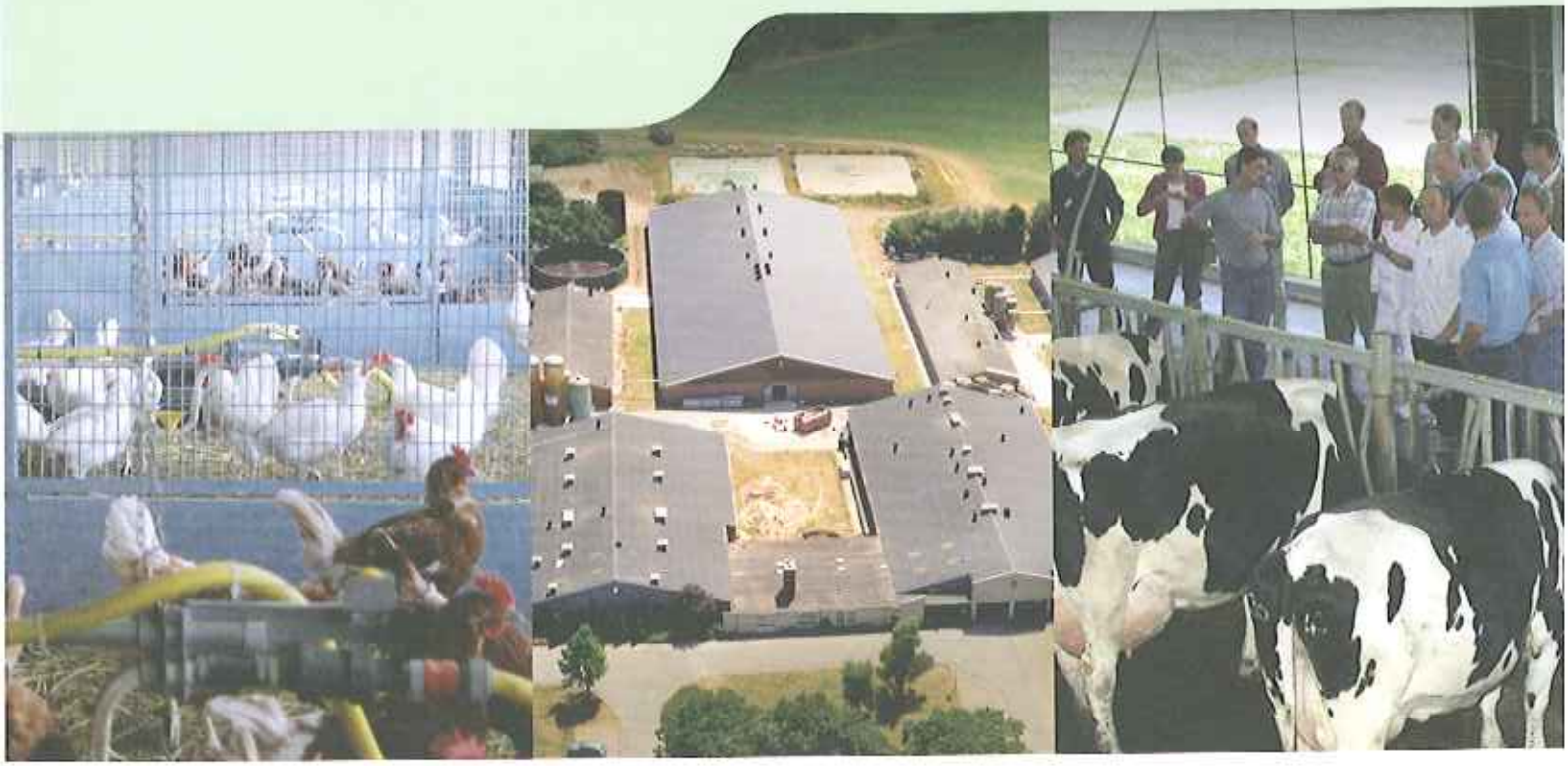
Snowdon, M., 1991. Total mixed rations for dairy cattle. Livestock Nutrition 91.3 (www.gnb.ca).

Tamminga, S., Brandsma, G.G., Dijkstra, J., Van Duinkerken, G, Van Vuuren, A.M. & Blok, M.C., 2007a. Protein evaluation for ruminants: The DVE/OEB 2007 system. CVB Documentation report nr 53, 58 pp, Lelystad, the Netherlands: Centraal Veevoederbureau.

Tamminga, S., Bannink, A., Dijkstra, J. & Zom, R., 2007b. Feeding strategies to reduce methane loss in cattle. ASG report 34, ASG, Lelystad, NL.

Tamminga, S., Aarts, F., Bannink, A., Oenema, O. & Monteny, G.J., 2004. Actualisering van geschatte N en P excreties door rundvee. Reeks Milieu en Landelijk gebied 25, Wageningen, 2004

Van der Maas, C.W.M., Coenen, P.W.H.G., Ruyssenaars, P.G., Vreuls, H.H.J., Brandes, J.L., Baas, K., Van den Berghe, G., Van den Born, G.J., Guis, B., Hoen, A., Te Molder, R., Nijdam, D.S., Olivier, J.G.J., Peek, C.J. & Van Schijndel, M.W., 2008. Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands 1990-2006. National Inventory Report 2008. MNP report 500080009. Netherlands Environmental Assessment Agency, Bilthoven, The Netherlands.



Wageningen UR Livestock Research

Edelhertweg 15, 8219 PH Lelystad T 0320 238238 F 0320 238050

E info@livestockresearch.wur.nl I www.livestockresearch.wur.nl