Veevoedermaatregelen

ter vermindering van

methaanproductie door herkauwers

een deskstudie

Auteursrecht voorbehouden ©2001 De Schothorst. Niets uit deze publicatie mag worden overgenomen zonder voorafgaande toestemming van De Schothorst.

Veevoedermaatregelen ter vermindering van methaanproductie door herkauwers

auteur: dr. W.A.G. Veen

november 2000

Instituut voor de Veevoeding
"De Schothorst"
Meerkoetenweg 26, Postbus 533
8200 AM LELYSTAD
tel.nr. 0320-252294

Inhoudsopgave

Samenvatting 6

Literatuurstudie en mondelinge informatie 8

1. Inleiding 9

2. Probleemstelling 9

3. Methaanvorming tijdens fermentatieprocessen in het maagdarmkanaal en de mest 11

3.1 Pens 11

3.1.1 Betekenis van protozoën 16

3.2 Dikke darm 17
3.3 Mest 18

4 Voedingsfactoren die methaanproductie in het maagdarmkanaal beïnvloeden 18
4.1 Voerniveau 18
4.2 Verteerbaarheid celwanden 20
4.3 Type en kwaliteit ruwvoer 20
4.4 Verhouding ruwvoer / krachtvoer 21
4.5. Vetten en vetzuurpatroon 22
4.6 Eiwitgehalte en eiwitwaardering 23

5 Mogelijkheden om de methaanproductie in de pens te verminderen 24

5.1 Verbetering verteerbaarheid ruwvoeders 24
5.2 Additieven 24

5.2.1. Gehalogeneerde methaan analogen 24
5.2.2. Ionofore antibiotica 25
5.2.3 Andere additieven 26

5.3. Biotechnologische ingrepen 26

5.3.1. Stimulering van acetogene bacteriën 26
5.3.2. Probiotica 26
5.3.3. Defaunering 27

5.4. Andere mogelijkheden om de methaanproductie te verminderen 29

5.4.1. Vaccinatie 29
5.4.2 Reducering van de methaanuitstoot in andere landen 30

6. Relatie productieniveau en methaanproductie 30

6.1. Melkvee 30

6.1.1 Gebruik van BST (groeihormoon) 31
6.1.2. Vruchtbaarheid en gezondheid 31

6.2 Vleesvee 32

7 Voorspelling van de methaanemissie 33

8 Interactie met andere milieucomponenten 41

8.1 Intensivering van de melkproductie 41
8.2 N-efficiëntie in de pens en intermediaire stofwisseling 42
8.3 N-bemesting grasland 42
8.4 Stimulering gebruik ruwvoeders 43
8.5 Geïntegreerde landbouw/veehouderij 43
8.6 Kwaliteit ruwvoeders beheersgebieden 45
8.7 Benutting bijproducten door rundvee 45

9 Conclusies, aanbevelingen en haalbaarheid 46

10 Geraadpleegde literatuur 48

Bijlage 1. 52

Samenvatting

De methaanemissie via de veehouderij in Nederland is voor veruit het grootste deel toe te schrijven aan de melkveehouderij.
Herkauwers zijn primair ruwvoer verwerkers en zijn in staat om plantaardig materiaal dat niet geschikt is voor humane consumptie om te zetten in hoogwaardig voedsel (melk, vlees). Dit plantaardig materiaal is het basisrantsoen en bestaat in Nederland voornamelijk uit gras (in de zomer) en geconserveerde graslandproducten (in de stalperiode). Daarnaast wordt in verschillende mate, afhankelijk van de grondsoort ook gebruik gemaakt van ingekuilde graangewassen (vooral maïs, maar in toenemende mate ook tarwe, gerst, triticale). De vertering en benutting van dit plantaardig materiaal verloopt voornamelijk via fermentatieve processen in de pens, waarbij onvermijdelijk methaan geproduceerd wordt, vooral door reactie van CO_2 met waterstof. De productiecapaciteit van het Nederlandse melkvee is echter zo groot dat het basisrantsoen in aanzienlijke mate aangevuld moet worden met krachtvoer in de vorm van mengvoer of van bijproducten van de voedingsmiddelenindustrie (bietenpulp, aardappelbijproducten etc.). Dit biedt de mogelijkheid om de fermentatieprocessen in de pens enigermate te sturen.
De methaanemissie is lager naarmate de verteerbaarheid van het rantsoen hoger is. De verteerbaarheid van krachtvoeders vertoont geen grote variatie, zodat de methaanemissie vooral bepaald wordt door variatie in de verteerbaarheid van het basisrantsoen, welke beïnvloed wordt door het aandeel ruwvoer in het totale rantsoen en de aard van het ruwvoer.

Methodes om de methaanproductie in de pens te verminderen richten zich op het wegvangen van waterstof via alternatieve reactiewegen, zoals het bevorderen van een fermentatie die meer op propionzuur dan op azijnzuurproductie is gericht of het verlagen van de waterstofproductie. Verder draagt een optimalisering van de microbiële groei bij aan een geringer waterstofoverschot. Een voordeel van de optimalisatie van pensfermentatieprocessen is dat naast de minimalisering van de methaanemissie ook de emissie van ammoniak wordt gereduceerd

Bevordering van een vooral op propionzuur gerichte fermentatie wordt bereikt door een zo hoog mogelijk aandeel krachtvoer in het rantsoen op te nemen. De grens wordt fysiologisch bepaald door het risico van pensverzuring. Het gebruik van extra veel krachtvoer is in strijd met een streven naar een toenemend gebruik van voedergewassen die op het eigen bedrijf geteeld worden.
Andere mogelijkheden om de methaanproductie te verminderen liggen in het veranderen van de microflora in de pens zodat er minder methanogene bacteriën actief zijn en in het verwijderen van de protozoën. Mogelijkheden om pensflora en –fauna te beïnvloeden liggen in het gebruik van antibiotica en chemische additieven. Tegen het gebruik van beiden zijn bezwaren van consumentenzijde of ze zijn binnen de EU verboden. Sommige middelen blijken geen blijvend effect te hebben. Methodes om te immuniseren tegen waterstof producerende bacteriën of het veranderen van de microflora door de pens te koloniseren met andere bacteriestammen zijn nog in ontwikkeling. Protozoën kunnen vrijwel geheel uit de pens verwijderd worden door het voeren van zeer veel krachtvoer of door het gebruik van

veel vet in het rantsoen. Beide methodes zijn erg kunstmatig omdat ze het karakter van melkkoeien als herkauwer niet tot zijn recht laten komen. Een hoog gehalte aan vet in het rantsoen heeft bovendien vaak negatieve effecten op vet- en eiwitgehalte van de melk. Er zijn enkele stoffen van plantaardige oorsprong die effect hebben op de aanwezigheid of de activiteit van protozoën waardoor er ook minder methanogene bacteriën actief zijn. Deze stoffen zijn nog niet uitgebreid in dierproeven getest.

Een relatieve vermindering van de methaanemissie kan plaatsvinden door een verhoogde efficiëntie van de dierlijke productie, d.w.z. een vermindering per kg dierlijk product (melk, vlees). Een verhoogde efficiëntie kan bereikt worden door de reeds genoemde optimalisatie van de fermentatieprocessen in de pens, maar ook door optimalisatie van de nutriëntenvoorziening van het dier op het niveau van de darm.

Optimalisatie van de pensfermentatieprocessen kan het beste plaatsvinden onder sterk gecontroleerde omstandigheden. Dat vraagt om extra zorg bij graslandbeheer, de teelt en winning van voedergewassen en een regelmatige analyse van alle voedermiddelen. Een absolute vermindering van de methaanemissie zal slechts bereikt worden als een verhoogde efficiëntie van de productie per dier niet leidt tot een landelijke verhoging van de melkproductie, dus bij handhaving van de melkquotering.

LITERATUURSTUDIE EN MONDELINGE INFORMATIE

Lijst met afkortingen en symbolen

Pensfermentatieprocessen:

[H] =	reactieve waterstof
HA =	azijnzuur
HP =	propionzuur
HB =	boterzuur
HV =	valeriaanzuur
HL =	melkzuur
CO_2 =	kooldioxide
CH_4 =	methaan
Pyruvate =	pyrodruivenzuur
Hexose =	kleinste koolhydraat eenheid (6 C-atomen) uit zetmeel of (hemi)-cellulose
Pentose =	kleinste koolhydraat eenheid (5 C-atomen) uit andere polysacchariden
ATP =	adenosine-tri-fosfaat

Omrekeningsfactoren

In de diverse wetenschappelijke en beleidsmatige publicaties betreffende methaanproductie door herkauwers worden verschillende eenheden gebruikt, zoals een percentage van de opgenomen bruto energie, de energetische waarde in MCal of MJoule, mol, liter of gram en in CO_2-equivalenten. Daarvoor zijn de volgende omrekeningsfactoren gebruikt:

- op gewichtsbasis is het Global Warming Potential (GWP) 21, d.w.z. dat het effect van de uitstoot van 1 kg methaan gerekend over een tijdshorizon van 100 jaar gelijk is aan de uitstoot van 21 kg CO_2.
- 1 liter methaan = 0,716 g (Holter & Young, 1992)
- de bruto verbrandingswarmte van 1 kg methaan is 55,65 MJoule (IPCC Guidelines, 1996)
- 1 mol methaan = 16 g
- 1 Cal = 4,1868 Joule

1. Inleiding

Tijdens de klimaatconferentie in Kyoto (december 1997) is besloten dat de toen overeengekomen reductiepercentages betrekking hebben op 6 broeikasgassen. Dit zijn CO_2, methaan, lachgas en drie fluorverbindingen. Nederland heeft zich tot doel gesteld om te komen tot een reductie met 6% over de periode van 2008 – 2012 ten opzichte van 1990 – 1995. In deze doelstelling ligt besloten dat ook een reductiebeleid zal moeten worden uitgevoerd voor de andere broeikasgassen dan CO_2 (Reductieplan "Overige Broeikasgassen", ROB).
Crutzen (1991; cit. Kirchgessner, 1991) schat dat ongeveer 15% van de toename van de atmosferische temperatuur die in de laatste paar decades van de 20e eeuw heeft plaats gevonden, toegeschreven kan worden aan de voortdurend toenemende concentratie van methaan in de atmosfeer (tot 1990 met 0,7 – 1% per jaar; Crutzen, 1995). Methaan heeft een sterker vermogen tot absorptie van infra-rood straling dan kooldioxide. Daardoor is het atmosferische opwarmeffect veel groter dan dat van kooldioxide. Rekening houdend met chemische reacties in de atmosfeer waarbij een deel van het aanwezige methaan omgezet kan worden in CO_2 of O_3 (ozon), is het atmosferisch opwarmeffect van methaan over een periode van 100 jaar 21x zo groot als dat van uitgestoten CO_2. De verblijftijd van methaan in de atmosfeer is bovendien veel korter, nl. ca. 2 maanden in vergelijking met meer dan 100 jaar voor CO_2 (Crutzen, 1995). Dat betekent dat, alhoewel de atmosferische concentratie van methaan klein is in vergelijking met die van CO_2 (1,7 ppm vs. 354 ppm in 1990; Crutzen, 1995), maatregelen ter reductie van methaanemissie een relatief groot effect kunnen hebben op het terugdringen van het broeikaseffect. Reductie van de methaanemissie door menselijke activiteit met 10 tot 15% zou de atmosferische concentratie al stabiliseren op het huidige niveau (Moss, 1994).
Tot deze menselijke activiteiten worden de natte rijstbouw, de dierhouderij, het verbranden van biomassa (bossen) en de kolen- en gasindustrie gerekend. De niet-anthropogene bronnen zijn voornamelijk moerassen, termieten, oceanen en in ijs ingesloten methaan (gas-hydraten) (Wood & Knipmeyer, 1998). Zowel in moerassen als rijstvelden ontstaat methaan door anaërobe omzetting van organisch materiaal.
In de jaren '80 kwam 365 Tg methaan door menselijke activiteiten in de atmosfeer, waarvan 74 Tg door landbouwhuisdieren, dat is 20%. Daarnaast zou nog 20 – 40 Tg afkomstig zijn van afbraakprocessen in dierlijke mest, wat het geheel aan methaanuitscheiding van landbouwhuisdieren op ca. 30% van de antropogene activiteiten brengt (Crutzen, 1995). Dat komt goed overeen met een schatting dat in de V.S. in 1997 19% van de methaan emissies afkomstig zijn van fermentatieprocessen bij landbouwhuisdieren en 9% van het gebruik van dierlijke mest (Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks, 1990-1997)

2. Probleemstelling

In Nederland zijn de belangrijkste methaanbronnen vuilstortplaatsen, rundvee, mest en exploratie, transport en distributie van olie en gas (Swart et al., 1994). Ruim 40% van de emissie van methaan wordt veroorzaakt door de landbouwsector (bron: Productschap Zuivel). Van Amstel et al. (1993) splitsten dat uit naar herkauwers (34%) en dierlijke mest (9%), maar de onzekerheid in deze schattingen is groot.

Het doel van ROB is het tot stand brengen van beleid dat moet leiden tot een kosteneffectieve emissiereductie van overige broeikasgassen van ongeveer 15 Mton CO_2–equivalenten per jaar in de periode van 2008 – 2012, wat volgens het "Optiedocument voor emissiereductie van broeikasgassen" (ECN en RIVM, 1998) haalbaar zou moeten zijn. Met deze reductie zou bijna eenderde deel van de inspanning voor de genoemde periode (50 Mton CO_2-equivalenten) gerealiseerd worden. Er wordt daarbij van uitgegaan dat de methaanemissie door herkauwers door middel van veevoedkundige maatregelen gereduceerd kan worden. In welke mate dat mogelijk is, is echter nog onbekend. In het rapport van Swart et al. (1994) wordt er vanuit gegaan dat door fokkerijmaatregelen de melkproductie per koe zal toenemen en omdat deze dieren meer voer nodig hebben zal ook de methaanemissie toenemen. Verder wordt verondersteld dat er een toename zal zijn van de ruwvoeropname wat ook tot een hogere methaanemissie per dier zal leiden. Door beperking van het aantal dieren (melkquotering) wordt volgens de verwachting de methaanemissie per saldo echter lager. Deze veronderstellingen vinden bevestiging in de geleidelijke afname van de methaanemissie afkomstig van fermentatieprocessen in het maagdarmkanaal van herkauwers van 412 mln. kg in 1991 tot 377 mln. kg in 1995. Maar opvallend is wel dat deze trend zich niet verder doorzette in 1996 (Spakman et al., 1997).
Bij het zoeken naar veevoedkundige maatregelen die reductie van de methaanemissie door herkauwers in Nederland mogelijk maken, zal de aandacht vooral gericht zijn op melkkoeien. Dit wordt gemotiveerd door de volgende gegevens.
In Nederland waren in 1999 4.205.690 stuks rundvee en 1.553.443 stuks schapen en geiten aanwezig (CBS).
Blaxter & Clapperton (1965) verzamelden gegevens van proeven met rundvee en schapen in respiratiecellen waaruit naar voren kwam dat door runderen 5x zoveel methaan werd uitgescheiden dan door schapen. In de praktijk is het verschil waarschijnlijk echter veel groter. Kirchge?ner et al. (1995) leidden uit literatuurgegevens af dat melkvee tussen 200 en 400 g methaan per dag uitscheidt, vleesvee 70 – 200 g en schapen en geiten 10 – 30 g per dag. De schatting voor melkvee komt goed overeen met resultaten van door Van der Honing et al. (1994) in Nederland uitgevoerde balansstudies met ruim 350 koeien op zeer uiteenlopende rantsoenen, nl. 189-394 g/d.
Uit recent onderzoek aan weidende schapen en koeien in Nieuw Zeeland bleek dat de melkkoeien ca. 14x zoveel methaan per dag uitscheidden als de schapen (Ulyatt et al.,1997). Resultaten van Canadees onderzoek wezen op 8x zoveel methaanemissie door koeien dan door schapen en geiten (McAllister et al.,1997). Dergelijke verschillen hangen ongetwijfeld samen met de aard van het rantsoen. Omdat in Nederland het melkvee intensief gehouden wordt (in tegenstelling tot Nieuw Zeeland), lijkt een factor 10 waarschijnlijker dan 14. Dat zou betekenen dat in Nederland de methaanemissie door het aanwezige rundvee ca. 27x zoveel zo groot is als die door schapen en geiten. Deze schatting komt overeen met de door Goossensen & Meeuwissen (1990) genoemde methaanproduktie door rundvee en schapen in Nederland in 1988. Veevoedkundige maatregelen die de methaanemissie moeten terugdringen moeten dus vooral gericht worden op melkkoeien en mogelijk ook op vleesvee. Van de kleine herkauwers vreten schapen bovendien voornamelijk ruwvoer zodat gerichte veevoedkundige maatregelen ook veel moeilijker zijn. Melkgeiten hebben wel een hoge krachtvoeropname in relatie tot de melkproductie, maar de totale krachtvoeropname van deze dieren is verwaarloosbaar ten opzichte van melkvee en vleesvee.

Het methaan dat bij de fermentatie van voedsel in de pens vrijkomt wordt als energieverlies beschouwd. Alleen al uit dat oogpunt is het interessant om methaanverliezen zoveel mogelijk tegen te gaan. De meeste onderzoeken die in het recente verleden zijn uitgevoerd naar vermindering van de methaanvorming in de pens waren dan ook gericht op een verbetering van de energetische efficiëntie van de voeding van herkauwers. De energetische efficiëntie wordt bepaald door de samenstelling van het rantsoen. Herkauwers zijn primair ruwvoer verwerkers en het basisrantsoen voor melkkoeien bestaat dan ook voor een belangrijk deel uit ruwvoer (in de zomer vooral vers gras en in de winter geconserveerde graslandproducten en graangewassen). De hoge melkproducties die gemiddeld in Nederland worden gerealiseerd vereisen een hoge kwaliteit van het ruwvoer en aanvulling met aanzienlijke hoeveelheden krachtvoer. De kwaliteit van het basisrantsoen is echter variabel en sterk afhankelijk van de klimaatsomstandigheden. Management (aard van het grondgebruik, bemesting) speelt daarnaast ook een rol. Het *Ruminant Productivity* programma, gezamenlijk ondersteund door de USDA en EPA, wil veehouders in de V.S. ondersteunen bij het streven om de kwaliteit van het ruwvoer te verbeteren omdat dat bijdraagt aan een vermindering van de methaanemissie (USDA, 1998). Dat lijkt logisch want volgens Demeyer (pers. meded.) zijn niet de hoeveelheid en de activiteit van de bacteriën in de pens beperkend voor de celwandafbraak, maar de celwandstructuur. De aard van de bemesting bepaalt opbrengst, samenstelling en kwaliteit van het basisrantsoen. De verwachting is dat melkveehouders onder druk van de gedwongen reductie van de ammoniakemissie de stikstofbemesting van gras- en maïsland geleidelijk zullen verminderen. Dat zou kunnen leiden tot een vermindering van de verteerbaarheid van het basisrantsoen en daardoor tot een verhoging van de methaanemissie. Voor de Nederlandse situatie zal een eventuele strijdigheid tussen milieudoelstellingen voor de melkveehouderij dus nader onderzocht moeten worden.
Samenstelling en kwaliteit van het rantsoen kan ongetwijfeld het sterkst worden beïnvloed door het krachtvoeraandeel. Hoogproductieve koeien kunnen in de eerste helft van de lactatie wel een rantsoen opnemen waarvan 50 – 60% van de droge stof uit krachtvoer bestaat zonder dat er voedingsstoornissen optreden. In de tweede helft van de lactatie wordt het krachtvoeraandeel geleidelijk minder en in de droogstand nemen de koeien alleen nog maar ruwvoer op. Dat beperkt de rol die de mengvoederindustrie kan spelen bij het reduceren van de methaanemissie door melkkoeien over de gehele lactatieperiode.

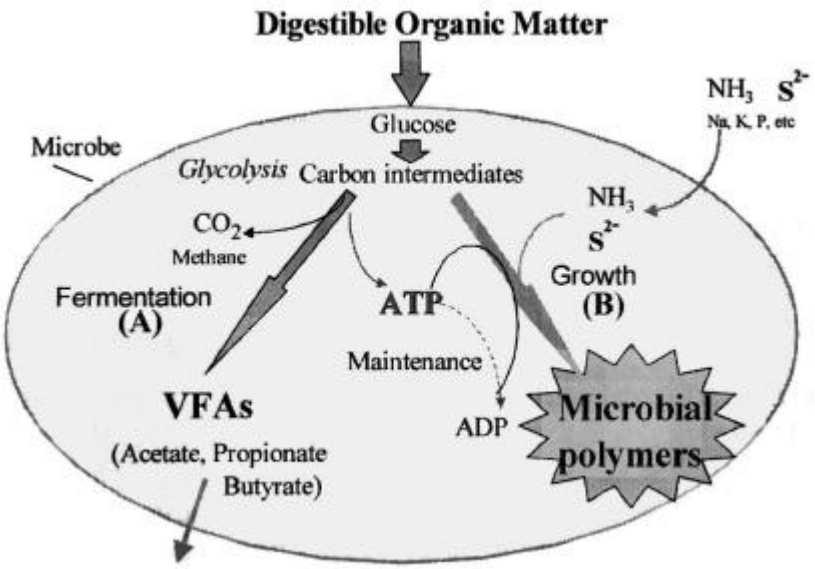
Gegeven het bovenstaande ligt het voor de hand ook te onderzoeken of de microbiologische processen in de pens zelf zodanig zijn te beïnvloeden dat de methaanproductie wordt geremd. Daarbij moet aandacht besteed worden aan bestaande regelgeving betreffende additieven in de veevoeding en aan welzijnaspecten voor het dier.

3. Methaanvorming tijdens fermentatieprocessen in het maagdarmkanaal en de mest

3.1 Pens

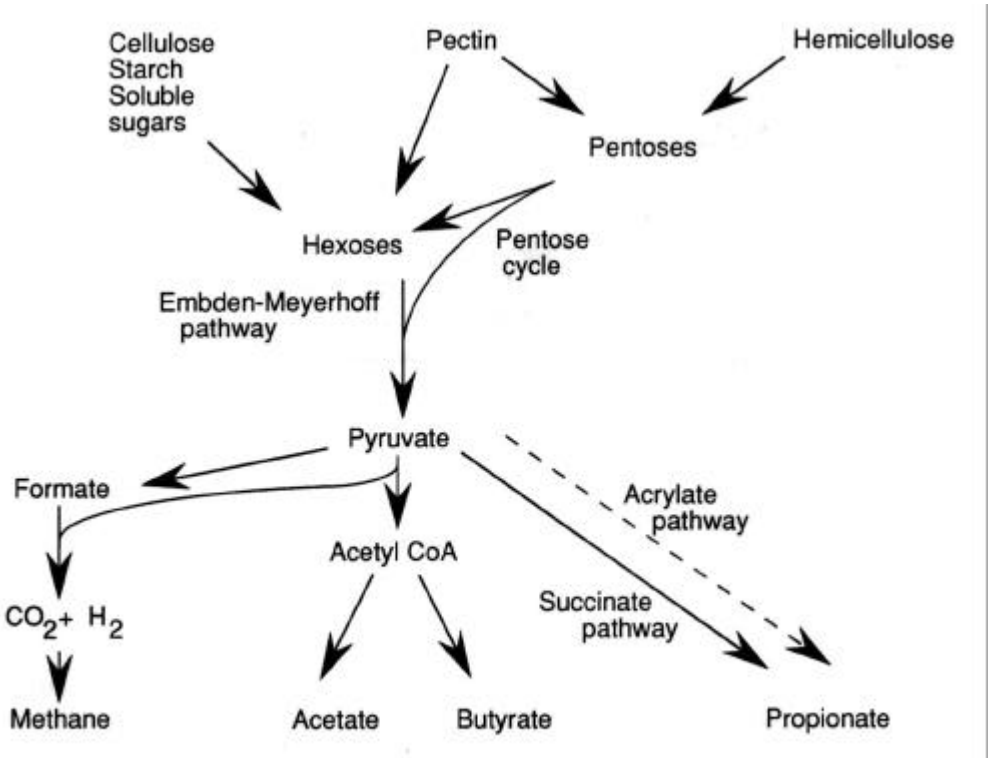
De pens kan beschouwd worden als een anaëroob fermentatievat waarin een gecompliceerde populatie van bacteriën, protozoën en schimmels plantaardig materiaal omzetten. Deze verschillende micro-organismen werken niet additief maar als een geïntegreerd complex in synergistische samenwerking (Demeyer & Fievez, 2000) . Daarbij

ontstaan ondermeer eindproducten van fermentatieprocessen en komt er energie vrij. De vrijkomende energie hebben de micro-organismen nodig voor onderhoud van de cellen en voor groei, de synthese van nieuwe celmateriaal bestaande uit nucleïnezuren, polysacchariden, eiwitten en lipiden. De bouwstenen voor deze synthese komen voornamelijk uit de gedeeltelijke fermentatieve afbraak van rantsoencomponenten. De energie en de nutriënten die de herkauwer zelf nodig heeft komen van de vluchtige vetzuren die eindproducten van de fermentatie zijn, van microbiële massa en van rantsoencomponenten die niet gefermenteerd zijn in de pens.
Een schema van de omzetting van de organische stof in de pens wordt gegeven in figuur 1.



Figuur 1. Schema van fermentatie van organische stof en omzetting in microbiële massa (Nolan, 1999)

De anaërobe fermentatie van koolhydraten in de pens leidt via verschillende biochemische wegen in eerste instantie tot pyro-druivenzuur. Daaruit worden de vluchtige vetzuren azijnzuur, propionzuur en boterzuur gevormd naast kleine hoeveelheden van andere vluchtige vetzuren en sporen hogere zuren. Bij de vorming van azijnzuur en boterzuur blijven reducerende equivalenten over die ten dele benut worden bij de omzetting van pyro-druivenzuur in propionzuur en ten dele voor de reductie van eveneens vrijkomende CO_2 tot methaan. Als tussenproduct van de fermentatieprocessen ontstaat ook mierenzuur dat snel ontleed wordt in kooldioxide (CO_2) en waterstof (H_2), waaruit eveneens methaan ontstaat.
Bij de fermentatie van eiwit wordt dit eerst gesplitst in aminozuren. Als daaruit vervolgens ammoniak is afgesplitst worden de ontstane zuren ook via pyro-druivenzuur verder gefermenteerd. Van lipiden wordt alleen het kleine koolhydraat aandeel (glycerol, galactose) gefermenteerd.
Een schema van de belangrijkste wegen van de koolhydraatstofwisseling wordt weergegeven in figuur 2.



Figuur 2. Belangrijkste wegen van de koolhydraatstofwisseling in de pens (France & Siddons, 1993).

Bij de fermentatie van de kleinste koolhydraateenheid die bijvoorbeeld uit de afbraak van cellulose of zetmeel ontstaat (hexose), worden in eerste instantie twee moleculen pyrodruivenzuur (C3-eenheden) gevormd.. Bepaalde typen koolhydraten hebben als eindproduct echter een pentose-molecuul (C5-eenheid). Ook deze wordt eerst omgezet in pyrodruivenzuur. De mogelijke reactievergelijkingen uitgaande van een hexose-molecuul ($C_6H_{12}O_6$), zijn volgens Counotte, 1981:

1 hexose + H_2O ? 2 HA + 2 CO2 + 8 [H] + 4 ATP
1 hexose + 4 [H] ? 2 HP + 2 H_2O + 4 ATP
1 hexose ? 1 HB + 2 CO_2 + 4 [H] + 3 ATP
1 hexose + 2 [H] ? 1 HV + CO_2 + 2 H_2O + 3 ATP
1 hexose ? 2 HL + 2 ATP

Uit de reactievergelijkingen blijkt dat bij de omzetting tot melkzuur weliswaar geen waterstof vrijkomt, maar dat dat proces energetisch het onvoordeligst is voor de bacteriën. Bij al deze fermentatieprocessen komt ongeveer 6,5% van de in de hexosen aanwezige energie als warmte vrij (Hungate, 1966).
Uit de reactievergelijkingen blijkt dat de fermentatie van hexosen een oxidatie is bij afwezigheid van zuurstof (anäeroob). Daarbij worden electronen in een cascadeproces overgedragen op geoxideerde co-factoren. Alleen bij een lage waterstofspanning kunnen deze factoren weer terug geoxideerd worden waardoor het fermentatieproces voortgang kan vinden en waardoor de fermentatie van celwandbestanddelen uiteindelijk tot de vorming van azijnzuur kan leiden (Demeyer & Fievez, 2000).

De bij de fermentatiereacties vrijkomende reducerende equivalenten, in de vergelijkingen aangeduid als [H], worden ten dele in moleculaire waterstof omgezet, maar kunnen ook door methanogene bacteriën worden omgezet in methaan:

CO_2 + 8 [H]? CH_4 + $2H_2O$ + 3 ATP

De methanogene bacteriën vervullen een essentiële functie bij de celwandfermentatie omdat ze de partiële waterstofspanning laag houden.
Bijna de helft van de methanogene bacteriën in de pens komt gebonden aan de protozoën voor. Methanogene bacteriën leven ook in symbiose met azijnzuur producerende bacteriën zodat de door de laatstgenoemde soort geproduceerde waterstof door de andere soort benut kan worden (Miller, 1995). Dat proces is "interspecies waterstofoverdracht" genoemd (Ianotti et al., 1973; cit. Moss et al.,1999).

Als er van uitgegaan wordt dat de bij fermentatieprocessen vrijkomende waterstof ook weer benut wordt op molaire basis: $2H_{geprod}$ = $2H_{benut}$ kan de volgende vergelijking worden afgeleid:

2HA + HP +4HB = $4CH_4$ + 2HP + 2HB (formule 1)

De zogenaamde waterstofbalans wordt dan gedefinieerd als:
100 * ($4CH_4$ +2HP + 2HB) / (2HA + HP + 4HB) en ligt in de pens tussen 80 en 100% liggen. D.w.z. gemiddeld is de waterstofbalans 90%. De overige 10% van de waterstof kan gebruikt zijn bij enkele minder belangrijke reacties, zoals de reductie van nitraat, sulfaat en fumaraat. Dit gebeurt door bacteriën die ook in symbiose met azijnzuurvormers leven. Verder kan moleculaire waterstof nog benut worden om onverzadigde vetzuren te hydrogeneren, maar volgens berekeningen van Beever (1993) zou hooguit 5% van de in de pens gevormde waterstof op die manier benut kunnen worden.

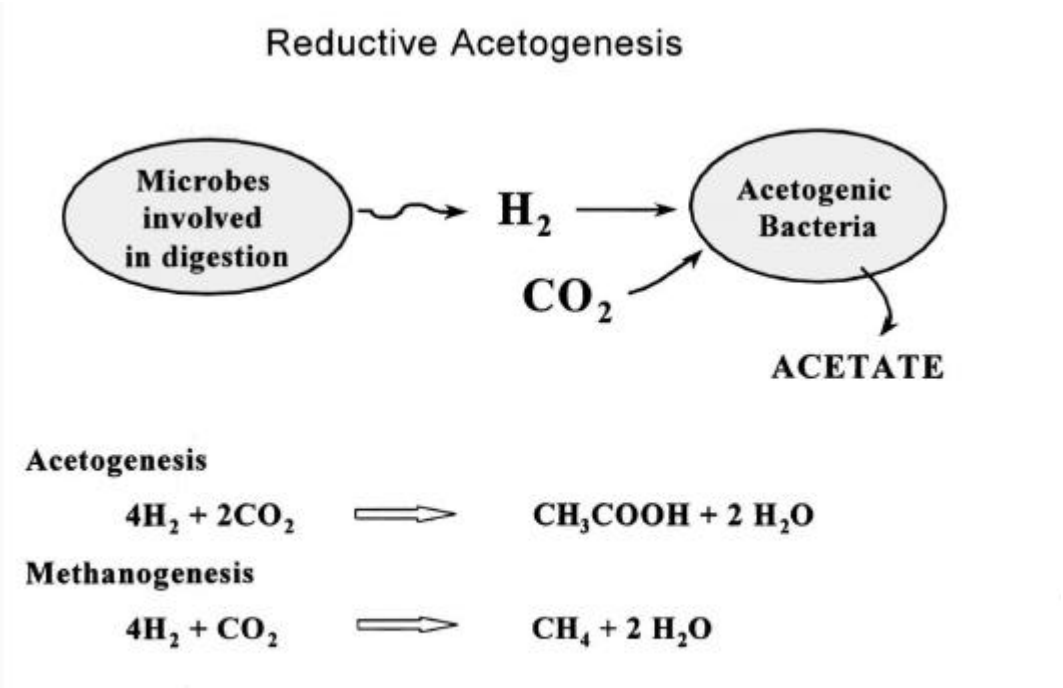
Met de aanname van een gemiddelde waterstofbalans van 90% kan de methaanproductie gekoppeld worden aan de productie van de vluchtige vetzuren (uitgedrukt in molaire verhoudingen) volgens de formule:

Methaan = 0,450*HA – 0,275*HP + 0,400*HB (formule 2)

(Demeyer en Fievez, 2000)

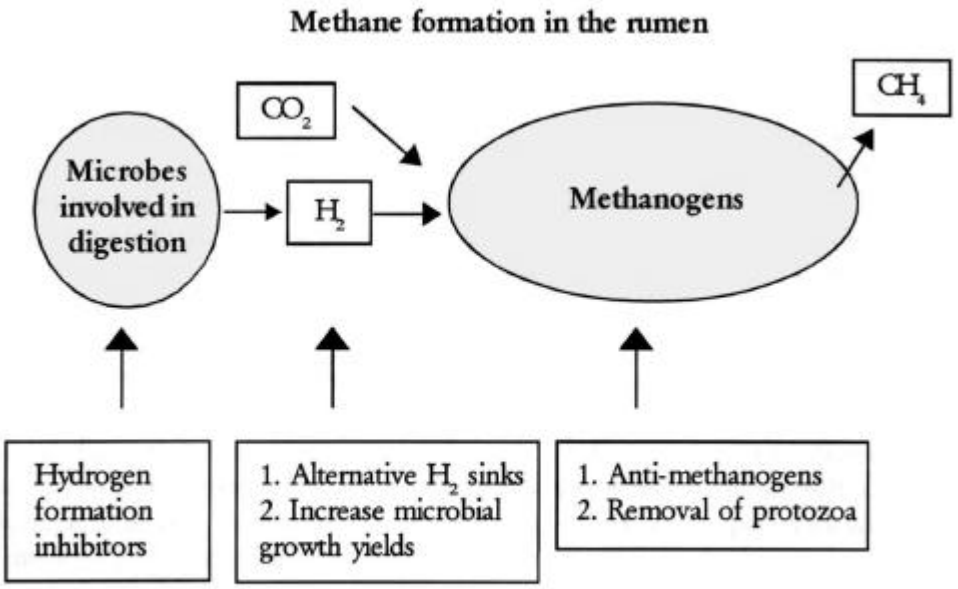
Benutting van een deel van de bij fermentatie vrijkomende waterstof bij de synthese van microbieel celmateriaal is in het verleden ook wel verondersteld maar blijkt nauwelijks van betekenis (Demeyer & De Graeve, 1991). Tenslotte zijn er bacteriën die in principe competitief zijn bij het gebruik van waterstof en CO_2 en die azijnzuur vormen in de zogenaamde reductieve acetogenese (Hegarty, 1999a). Over de metabolische mogelijkheden en de ecologische betekenis van deze bacteriën in de pens is echter nog maar weinig bekend (Joblin, 1999). Hungate (1966) veronderstelde dat bacteriën die deze reactie bevorderen maar in geringe mate in de pens voorkomen. Later bleek dat deze bacteriën in vergelijkbare hoeveelheden als methanogene bacteriën voorkomen, maar niet

uitsluitend afhankelijk zijn van het gebruik van waterstof als energiebron (Moss et al., 1999). Figuur 3 geeft de beide competitieve reacties weer.



Figuur 3. Twee reactiewegen voor de omzetting van CO_2 en waterstof (Joblin, 1999)

De vorming van methaan in de pens en de mogelijkheden om deze te verminderen zijn schematisch weergegeven in figuur 4.



Figuur 4. Vorming van methaan in de pens en mogelijkheden om deze te verminderen (Joblin, 1999)

Zoals hiervoor vermeld wordt de microbiële populatie in stand gehouden doordat een deel van de beschikbare hexosen wordt omgezet in microbieel celmateriaal. Het fermentatieproces en het groeiproces zijn van elkaar afhankelijk, waarbij de koppeling tot stand komt via de in ATP-moleculen vastgelegde energie (Nolan, 1999). De verdeling van hexosen over gesynthetiseerd microbieel celmateriaal en fermentatieproducten is ongeveer 0,61:1. D.w.z. dat maar 62% (1/1,61) van de hexosen wordt omgezet in fermentatieproducten (Beever, 1993). Dat leidt er toe dat er onder experimentele omstandigheden minder fermentatieproducten ontstaan dan theoretisch verwacht kan worden bij volledige fermentatie.
Beever (1993) stelt dat vermindering van de waterstofproductie niet mag gaan ten koste van een verlaging van de celwandvertering. De winst zou gevonden moeten worden in een hogere efficiëntie van microbiële synthese, een mogelijkheid die in figuur 4 ook wordt weergegeven. De efficiëntie van de microbiële groei wordt weergegeven als Y_{ATP} , dat is de hoeveelheid droge stof uit microbiële cellen in grammen per mol ATP die gegenereerd wordt door de fermentatie van organische stof. Dat betekent dat de bovengenoemde verhouding tussen hexosen voor de synthese van microbieel materiaal en voor de productie van energie (0,61:1) kleiner zou moeten worden. Beever berekende de consequenties voor de methaanproductie bij verschillende verhoudingen. De methaanproductie kon van 17,9 mol tot 12,5 mol per dag (286 – 200 g) verlaagd worden door verandering van de verhouding gesynthetiseerd microbieel materiaal tot gefermenteerde hexosen van 0,6:1 tot 1,2:1. De methaanproductie wordt dus lager bij een hogere microbiële efficiëntie. Dat is interessant uit milieu oogpunt omdat onder die omstandigheden ook de ammoniakemissie geminimaliseerd wordt (zie **par. 8.2.**)
Het is de vraag of de hoogste efficiëntie waarvoor Beever de methaanproductie berekende ook feitelijk haalbaar is. In ieder geval zal dan gestreefd moeten worden naar een optimale verhouding van voor microbiële synthese beschikbare energie en eiwit. Verhoging van de microbiële efficiëntie vindt ook plaats als de turn-over van de pensinhoud groter wordt m.a.w. bij een hoger voerniveau. Als de microben sneller doorstromen naar de dunne darm hebben ze minder energie voor onderhoud nodig en dan is de Y_{ATP} dus groter.

De mogelijkheden om de methaanproductie te minimaliseren worden gedetailleerd in aparte paragrafen besproken.

De in de pens geproduceerde methaan verlaat deze voornamelijk via oprispingen. Murray et al. (1976) concludeerden uit een onderzoek met schapen waarbij van een isotoop tracer techniek gebruik gemaakt werd, dat 95% via deze weg werd uitgescheiden. Maar in periodes vlak voor de voeding kan methaan ook via de penswand in het bloed komen en dan het lichaam via de longen verlaten (Johnson et al., 1992). In beide gevallen komt het methaan in de atmosfeer terecht.

3.1.1 Betekenis van protozoën

Protozoën hebben een belangrijke functie bij de stabilisatie van de pensfermentatie. Ze kunnen zetmeel of suikers uit het rantsoen assimileren. Deze nutriënten worden in de vorm van bepaalde polysacchariden (bijv. amylopectine) opgeslagen en worden dan pas

langzaam gefermenteerd in vooral azijnzuur en boterzuur. Daardoor is zetmeel of suiker niet direct beschikbaar voor bacteriën en wordt de fermentatie vertraagd, waardoor de pH na de opname van een zetmeel- of suikerrijk rantsoen niet zo snel daalt. Een trage fermentatie bevordert de activiteit van celwandsplitsende bacteriën waardoor de afbraak van ruwvoer beter plaatsvindt.
De bij de vorming van azijnzuur en boterzuur vrijkomende waterstof wordt vervolgens gebruikt door de methanogene bacteriën die voor een groot deel aan de protozoën gehecht zijn of binnen in de protozoën leven als endosymbionten (Hegarty, 1999b). Ook de celwandsplitsende bacteriën waarvan de activiteit bevorderd wordt produceren vooral azijnzuur en boterzuur waarbij de vrijkomende waterstof beschikbaar is voor methanogene bacteriën.
Protozoën voldoen aan hun aminozuurbehoefte door de opname van bacterieel of voedereiwit. Ook vrije aminozuren worden benut. Door de opname van bacterieel eiwit hebben ze een negatief effect hebben op de bacteriële stikstof efficiëntie (g bacterieel N per kg gefermenteerde organische stof).

In de pens komen diverse soorten protozoën voor, meestal behorend tot het type ciliaten. Welke geslachten ciliaten voorkomen en in welke concentraties hangt af van het type herkauwer, het rantsoen, de voerfrequentie en de fysisch-chemische omstandigheden in de pens (Jouany et al., 1988).

3.2 Dikke darm

In de dikke darm (colon en caecum) vindt ook microbiële fermentatie plaats, meer naarmate het rantsoen in de pens slechter verteerbaar is, maar protozoën spelen daarbij geen rol (Demeyer & Fievez, 2000). De oorzaak van een slechte vertering van organische stof in de pens kan een te snelle passage van voerdeeltjes zijn zoals bijvoorbeeld optreedt als fijngemalen ruwvoer wordt verstrekt (Moss et., 1999). Verstrekking van zetmeelrijke voeders, die in de pens methaanproducerende processen remmen, geven aanleiding geven tot een gedeeltelijke verplaatsing van de celwandfermentatie naar de dikke darm (Meijer et al., 1998). In het algemeen komen in de dikke darm dezelfde fermentatieproducten voor als in de pens. De waterstofbalans (**par. 3.1.**) is echter veel lager en dat wijst op ander waterstof verbruikende reacties en dat is vooral de reductieve acetogenese (Fievez et al., 1999). Andere mogelijkheden zijn de vorming van mierenzuur en de reductie van nitraat en sulfaat, zodat bij fermentatie van celwanden in de dikke darm relatief minder methaan wordt gevormd dan in de pens (Demeyer & De Graeve, 1991).
Fermentatie in de dikke darm treedt bij alle landbouwhuisdieren op, zoals bijvoorbeeld ook bij varkens, maar in kwantitatieve zin is de methaanproductie bij niet-herkauwers verwaarloosbaar. Van de totale methaanproductie van de herkauwer vindt 10% plaats in de dikke darm (Joblin, 1999). Het in de dikke darm gevormde methaan wordt via de darmwand in het bloed opgenomen en via de longen verwijderd. In het hierboven genoemde onderzoek van Murray et al. (1976) werd slechts 11% van in de dikke darm gevormd methaan via de anus uitgescheiden.

3.3 Mest

Het onverteerbare materiaal dat in mest aanwezig is bestaat voor het overgrote deel uit celwandmateriaal en zal dan ook bij anaërobe fermentatie aanleiding kunnen geven tot methaanvorming. Deze anaërobe fermentatie treedt op bij het gebruik van drijfmestsystemen. Drijfmest die opgeslagen wordt in kelders kan aëroob fermenteren als deze regelmatig wordt geroerd. Mest die op het land wordt uitgereden geeft bovendien geen aanleiding tot methaanvorming omdat er voldoende contact met zuurstof is. Vermindering van de fecale uitscheiding van onverteerde celwanden kan bewerkstelligd worden door de verteerbaarheid van het rantsoen te verhogen en zal dus parallel lopen met de vermindering van methaanemissie via de pens. Veevoedkundige maatregelen zullen slechts marginale effecten op de vermindering van de methaanemissie uit de mest van herkauwers kunnen bewerkstelligen.

4 Voedingsfactoren die methaanproductie in het maagdarmkanaal beïnvloeden

Tot de voedingsfactoren die een rol kunnen spelen bij de methaanproductie behoren de hoeveelheid voer, de samenstelling van het rantsoen, waarbij zowel de verhouding waarin het basisvoer (ruwvoer) en het aanvullende mengvoer (krachtvoer) worden verstrekt als de soorten ruwvoer en de samenstelling van het mengvoer een rol spelen, en verder de verteerbaarheid van het rantsoen of van bepaalde rantsoencomponenten.

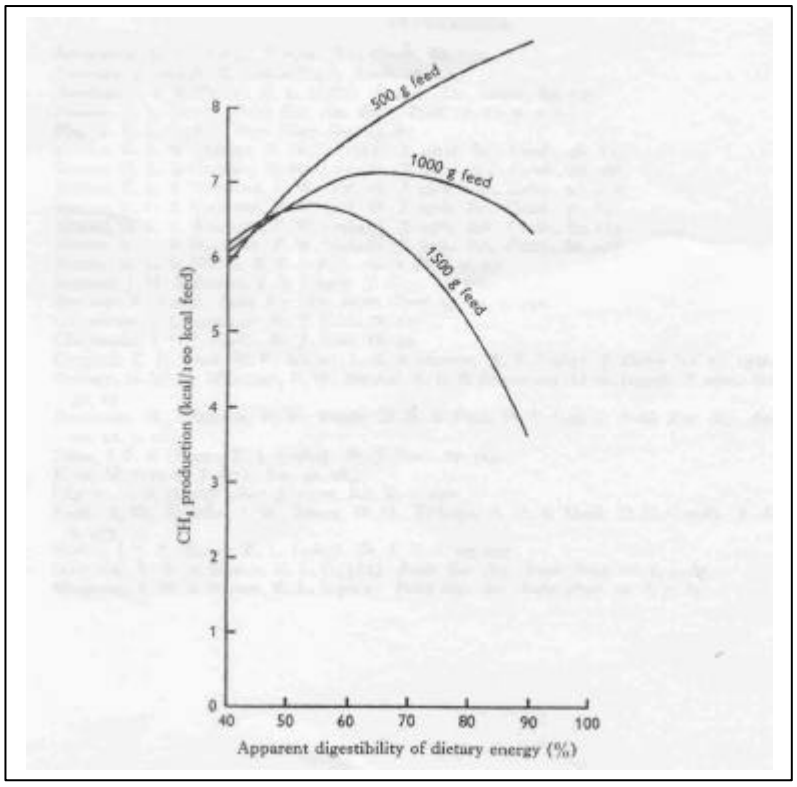
4.1 Voerniveau

Blaxter & Clapperton (1965) hebben gegevens uit in totaal 615 experimenten met schapen en koeien in respiratiecellen, uitgevoerd vóór 1965, verzameld en geanalyseerd. Uit deze analyse bleek dat er een ingewikkelde relatie is tussen de verteerbaarheid van het rantsoen en het voerniveau enerzijds en de methaanproductie uitgedrukt in bruto energie per eenheid energie uit voer anderzijds. Dit verband wordt uitgedrukt door de vergelijking:

$$Ym = 1{,}30 + 0{,}112 \times D + L \times (2{,}37 - 0{,}050 \times D) \qquad \text{(formule 3)}$$

waarin:
Ym = methaanproductie in MJ methaan per 100 MJ bruto energie uit voer
D = percentage verteerbaarheid van de energie uit het voer
L = de factor die de verhouding aangeeft tussen de netto energie opname en de benodigde netto energie als op onderhoud wordt gevoerd.

Uit de formule blijkt dat wanneer er op onderhoud wordt gevoerd (L = 1) de methaanproductie stijgt als de verteerbaarheid toeneemt. Op een voerniveau van 2x onderhoud is er nog een geringe mate van stijging met toenemende verteerbaarheid, maar bij hogere voerniveaus daalt de methaanproductie bij hogere verteerbaarheid. Een en ander wordt geïllustreerd in figuur 5.



Figuur 5. Methaanproductie in relatie tot schijnbare verteerbaarheid van de rantsoen energie (Blaxter & Clapperton, 1965)

Alleen droogstaande koeien worden ongeveer op onderhoudsniveau gevoerd en tegen het einde van de dracht op een iets hoger niveau. Deze dieren krijgen meestal ruwvoer van een matige kwaliteit. Volgens formule 3 is dan de methaanemissie in verhouding tot de opgenomen energie relatief laag.

Verhoging van het voerniveau leidt op verschillende manieren tot een reductie van de methaanemissie: door een efficiëntere microbiële synthese, door verplaatsing van de vertering naar de darm en door een verhoogd krachtvoeraandeel in het rantsoen.
Een verhoogd voerniveau leidt tot een hogere passagesnelheid van vloeistof en vaste deeltjes uit de pens. Dat leidt tot een hogere efficiëntie van de microbiële synthese in de pens (**par. 3.1.**). Een hogere passagesnelheid leidt er ook toe dat relatief minder voer wordt gefermenteerd in de pens en meer enzymatisch afgebroken in de dunne darm of fermentatief in de dikke darm. Aangezien bij de verteringsprocessen in de dunne darm geen methaan wordt gevormd en bij fermentatie in de dikke darm relatief minder methaan dan in de pens, is een hoog voerniveau ook uit dat oogpunt gunstig voor de methaanemissie.
Een hoog voerniveau kan alleen maar bereikt worden door een hoog krachtvoeraandeel in het rantsoen aangezien de opname van het basisrantsoen (ruwvoer) beperkt wordt door de fysische opnamecapaciteit van de pens. Dat betekent dat het aandeel celwanden in het totale rantsoen afneemt, wat leidt tot minder azijnzuurvorming en dus ook tot minder van de daaraan gekoppelde methaanvorming.

4.2 Verteerbaarheid celwanden

Celwanden bestaan uit cellulose, hemicellulose en lignine, terwijl bij sommige voedermiddelen ook pectines een belangrijk bestanddeel kunnen zijn. Cellulose en hemicellulose worden bij fermentatie vooral omgezet in azijnzuur en geven daardoor dus ook aanleiding tot de vorming van methaan. Lignine wordt niet gefermenteerd. Een hoger gehalte aan celwanden in een rantsoen kan dus aanleiding zijn tot meer methaanvorming. Holter & Young (1992), die uit een groot aantal balansproeven verschillende voorspellende vergelijkingen voor de methaanemissie door individuele koeien afleidden, kwamen tot de conclusie dat verteerbare hemicellulose uit ruwvoer bij droogstaande koeien een grotere rol speelde bij de methaanvorming dan andere celwandcomponenten. Bij lacterende koeien leek juist verteerbare cellulose een grotere rol te spelen. Een mogelijke verklaring zou kunnen zijn dat de hogere passagesnelheid van de spijsbrij bij lacterende koeien (door het hogere voerniveau) minder fermentatie van hemicellulose toelaat, maar dat het cellulose bevattende celwandmateriaal door de grootte van de deeltjes langer in de pens verblijft. Bij droogstaande koeien die een rantsoen van voornamelijk ruwvoer krijgen wat lang in de pens verblijft, zou de hemicellulose eerder kans krijgen om gefermenteerd te worden.
De verteerbaarheid van celwanden hangt sterk samen met de passagesnelheid uit de pens, zoals uit het onderzoek van Holter & Young indirect bleek. Deze onderzoekers hebben weliswaar geen passagesnelheid gemeten, maar hebben hun balansproeven uitgevoerd met droogstaande en lacterende koeien, waarvan bekend is dat ze een verschil in passagesnelheid van voer uit de pens vertonen. Uit een onderzoek van Armstrong (1964) geciteerd door Johnson et al., (1992), bleek dat ingekuild vroeg geoogst gras in 1,3% minder methaan productie resulteerde dan laat geoogst gras. Dat zou volgens de auteurs kunnen samenhangen met het feit dat ouder gras meer celwanden bevat en dus langer in de pens verblijft. Daar kan overigens tegenover staan dat ouder gras meer gelignificeerd is en het lignine-deel van de celwand wordt niet gefermenteerd en draagt dus niet bij aan de methaanvorming in de pens. Uit een serie experimenten die door Kirchge?ner en medewerkers in de jaren ’80 werden uitgevoerd, bleek de methaanemissie op melkveerantsoenen met gedroogd gras als basis lager te liggen dan met snijmaïssilage als basis terwijl de gemiddelde verteerbaarheid van de organische stof van de basisvoeders nauwelijks verschilde (Kirchge?ner et al., 1991) Volgens de auteurs zou dit verklaard kunnen worden uit het feit dat celwanden uit gras meer gelignificeerd zijn dan die uit maïssilage en de lignine-verbindingen worden in het geheel niet gefermenteerd. Het blijkt dus dat het gehalte verteerbare celwanden voor de voorspelling van de methaanemissie zeker zo belangrijk is als het gehalte celwanden als zodanig.

4.3 Type en kwaliteit ruwvoer

Er zijn grote verschillen in kwaliteit van ruwvoeders tussen ontwikkelingslanden en geïndustrialiseerde landen. Leng (1993) schat dat herkauwers die voornamelijk lage kwaliteit ruwvoeders consumeren verantwoordelijk zijn voor 75% van de methaanemissie van de wereldpopulatie van herkauwers.
In Nederland bestaat het basisrantsoen voor melkvee uit grassilage, snijmaïssilage en combinaties daarvan. De teelt van snijmaïs neemt nog steeds toe, vooral door de ontwikkeling van nieuwe rassen die ook geschikt zijn voor weersomstandigheden en

grondsoort in het noorden van het land. Daarnaast is er de laatste jaren een geleidelijke toename van het gebruik van hele plantensilage (GPS), meestal van triticale maar ook wel van tarwe of gerst en in nog mindere mate van rogge en haver. In de visie van degenen die zich bezig houden met de ontwikkeling van een geïntegreerde veehouderij past snijmaïs niet in het rantsoen en zou dat vervangen moeten worden door GPS (**par. 8.5.**). GPS wordt o.a. positiever beoordeeld voor stikstofbenutting, bodemstructuur en (drijf)mestkwaliteit in relatie tot de bemestingswaarde (Projectteam Minderhoudhoeve, pers. meded.)
De verteerbaarheid van deze ruwvoeders is gemiddeld duidelijk lager dan die van snijmaïssilage door het lagere zetmeelgehalte en het hogere ruwe celstofgehalte. Door vervanging van snijmaïssilage door GPS zou de methaanemissie door herkauwers verhoogd kunnen worden.

Tabel 1. Samenstelling en verteerbaarheid van de organische stof van snijmaïssilage en hele plantensilages

	droge stof g/kg product	zetmeel g/kg DS	ruwe celstof g/kg DS	vert.coëff. OS
Snijmaïs[1] (n = 102)	339 ± 36	339 ± 32	198 ± 15	74,7 ± 1,4
GPS (diversen)[2] (n = 900)	364 ± 35	227 ± 74	238 ± 31	68,0 ± 3,9
Triticale (n = 95)	418 ± 80	246 ± 51	256 ± 24	63,6 ± 3,0
Gerst (n = 68)	369 ± 70	241 ± 71	226 ± 29	68,3 ± 3,1
Tarwe (n = 59)	379 ± 65	245 ± 61	222 ± 26	67,7 ± 3,0

[1] representatieve steekproef over 1999. Bron: Blgg Oosterbeek
[2] gehele plantensilages van triticale, gerst, tarwe, rogge, haver en gemengde granen uit Nederland, Denemarken en Duitsland; gegevens over 1998 en 1999. Bron: Blgg Oosterbeek.

4.4 Verhouding ruwvoer / krachtvoer

Uit het eerder geciteerde onderzoek van Beever (1993; zie **par. 3.1.**) werd geconcludeerd dat de methaanproductie verlaagd kon worden van 17,0 tot 10,6 mol per dag (272 – 170 g) als een rantsoen met veel ruwvoer vervangen werd door een met veel krachtvoer ten gevolge van een verhoogde propionzuurproductie. Krachtvoer fermenteert sneller zodat bacteriën die niet-structurele koolhydraten (oplosbare koolhydraten: zetmeel, suikers) fermenteren, sneller groeien. Deze bacteriën produceren vooral propionzuur. De fermentatie

van niet-structurele koolhydraten (zetmeel, suikers) veroorzaakt ook een snelle daling van de pH in de pens wat bovendien remmend werkt op celwandsplitsende en methanogene bacteriën. Maar een te lage pH (pensverzuring) kan leiden tot een stagnatie van de pensfermentatie en daardoor van de voeropname en dat is een ongewenste situatie. Daarmee is er een fysiologische beperking aan het verlagen van de ruwvoer/krachtvoer-verhouding.

4.5. Vetten en vetzuurpatroon

Vet speelt op verschillende manieren een rol bij de methaanproductie. Omdat vet zelf niet door bacteriën wordt gefermenteerd kan het op zichzelf geen bron voor methaanvorming zijn. Verder beperkt vet de fermenteerbaarheid van celwanden. Daarvoor zijn in het verleden diverse mogelijke oorzaken gesuggereerd die, mede afhankelijk van het soort vet, een meer of minder grote rol kunnen spelen. Vet zou als een soort coating van de celwanden optreden waardoor celwandsplitsende bacteriën zich niet kunnen hechten. Dit is echter volgens Demeyer en Van Nevel (pers. meded.) niet aangetoond. Andere theorieën zijn dat bacteriën en protozoën zelf door vet omhuld worden of dat bepaalde vetzuren een specifiek toxisch effect op bacteriën hebben (laurine- en myristinezuur). Lijnzaadolie (rijk aan linoleenzuur) en kokosolie (rijk aan laurine- en myristinezuur) remmen de groei van protozoën in een in vitro systeem (Machmuller et al., 1998). Dohme et al. (2000) toonden aan dat laurinezuur in een in vitro systeem zowel het aantal methanogene bacteriën als het aantal protozoën deed verminderen. Myristinezuur had alleen een negatief effect op de methanogene bacteriën. In een proef met melkkoeien die door deze onderzoekers werd uitgevoerd, was de methaanvorming op rantsoenen met 30 g per kg droge stof op beide vetzuren minder. Een deel van het grote effect met laurinezuur kon verklaard worden uit een verminderde voeropname. Van Nevel & Demeyer (pers. meded.) stellen dat de methaanproductie onder invloed van vet in het rantsoen daalt doordat zowel de celwandverteerbaarheid als de hoeveelheid methaan per g gefermenteerde celwanden daalt. Dat laatste zou het gevolg kunnen zijn van een toxisch effect van bepaalde vetzuren op methanogene bacteriën (Moss et al., 1999).

Behalve dat vet de fermenteerbaarheid van celwanden remt en daardoor de productie van methaan, spelen onverzadigde vetzuren zoals linolzuur (vooral in sojabonen en zonnebloemzaad) en linoleenzuur (in lijnzaad) nog een rol als waterstof-acceptor waarbij enkelvoudig onverzadigde of volledig verzadigde vetzuren ontstaan (zie ook **par. 3.1.**). Dat beperkt de methaanvorming in de pens nog verder. Het sterk negatieve effect van vet blijkt uit een regressieformule voor de voorspelling van methaanproductie uit de opname van nutriënten (Kirchgeßner et al. ,1991), waarin de opname van ruw vet de hoogste (negatieve) factor heeft. In kwantitatieve zin betekent dat echter niet zoveel omdat een gemiddeld melkveerantsoen maar ca. 5% ruw vet bevat. Een sterke verhoging van het vetgehalte van het rantsoen is echter niet aan te raden omdat dat de benutting van het ruwvoer sterk zou verlagen. Als afgeleid effect kan zowel het vet- als het eiwitgehalte van de melk negatief beïnvloed worden.

Een opmerkelijke rol is er weggelegd voor visolie dat in een experiment met vier schapen wel de methaanvorming remde, maar niet de celwandvertering en de opname van vezelrijk materiaal. Bij twee proefdieren was de verteerbaarheid van de totale droge stof in de pens wel minder, maar dat werd blijkbaar gecompenseerd door vertering in de dikke darm

(Danneels et al., 1999). Doreau & Chilliard (1997) vonden zelfs een hogere fecale celwandverteerbaarheid na een infuus van 300 ml visolie in de pens van een koe. Mogelijk was de celwandverteerbaarheid in belangrijke mate verplaatst naar de dikke darm. Zowel bij het infuus van visolie in de pens als bij toevoeging van 185 of 370 g aan het rantsoen werd de voeropname verlaagd, maar nam de verteerbaarheid van organische stof en celwanden toe. In de pens nam het aandeel propionzuur in de vluchtige vetzuren toe (wat ook wijst op een verlaging van de celwandverteerbaarheid in de pens) en uit het patroon van de vetzuren in de dunne darm bleek dat de specifieke visolie vetzuren met 20 en 22 koolstofatomen in belangrijke mate waren gehydrogeneerd. Beide factoren wijzen op een verlaging van de methaanproductie omdat waterstof in alternatieve processen wordt weggewerkt. Uit oudere experimenten was gebleken dat visolie een negatief effect heeft op het melkvetgehalte wat juist verklaard zou kunnen worden door een verminderde celwandafbraak in de pens en de daarmee gepaard gaande lagere azijnzuurproductie. Maar voor een lagere melkvetsynthese zijn ook andere verklaringen mogelijk zoals remming van de opname van vetzuren uit het bloed in het uier onder invloed van de langketen vetzuren uit visolie of remming van de synthese van vetzuren uit de precursor acetyl-CoA. Uit economische overwegingen hoeft een verlaging van de melkvetproductie niet altijd een nadeel te zijn (melkvetquotering), maar een relatief hoog niveau aan onverzadigde vetten in het rantsoen heeft ook een negatief effect op de melkeiwitproductie wat in diverse proeven op De Schothorst werd aangetoond (interne proefverslagen). Verlaging van de melkeiwitproductie bij een hoog vetniveau kan ook optreden bij vetten die niet veel onverzadigde vetzuren bevatten, door een tekort aan fermenteerbare organische stof en daardoor een verminderde microbiële eiwitproductie.
Het is van belang vast te stellen dat een eventuele compensatie van een verminderde celwandvertering in de pens door de microflora in de dikke darm wel uit energetisch oogpunt van belang is, maar geen compensatie levert voor de verminderde synthese van microbieel eiwit in de pens.

Het is wel zo dat met extra vet het rantsoen energierijker (geconcentreerder) wordt. Dat kan leiden tot een hogere melkproductie per kg opgenomen organische stof en daardoor tot een lagere methaanproductie per kg melk. Een soort vet dat in de pens geen of weinig effect op de celwandfermentatie heeft zou als eerste in aanmerking komen. Tot voor kort zou de keuze dan op dierlijk vet (destructievet) vallen, maar daarvan is de verwerking in herkauwervoeders sinds kort verboden. Een andere mogelijkheid is een mengsel van calciumzouten van palmolievetzuren, dat onder de naam Megalac in de handel is, maar de prijs daarvan kan verwerking in de weg staan.

4.6 Eiwitgehalte en eiwitwaardering

Het eiwitgehalte van het rantsoen op zichzelf is geen belangrijke factor in de methaanemissie. Maar het is wel van belang dat in de pens een optimale verhouding gecreëerd wordt tussen fermenteerbaar eiwit en fermenteerbare koolhydraten (zie verder **par. 8.2.**).

5 Mogelijkheden om de methaanproductie in de pens te verminderen

5.1 Verbetering verteerbaarheid ruwvoeders

In ontwikkelingslanden is men reeds lang geleden begonnen met het ontsluiten van stro om dat beter verteerbaar te maken voor herkauwers. Ontsluiting is mogelijk door behandeling met ammoniak of met loog. In Nederland heeft het geen zin om stro te ontsluiten omdat er voldoende goed verteerbaar ruwvoer aanwezig is. Stro wordt juist onder bepaalde omstandigheden aan een rantsoen toegevoegd om meer structuur in de pens te krijgen en de verblijftijd van het voedsel in de pens te verlengen. Aan snijmaïssilage die over het algemeen wat minder goed verteerbaar is dan grassilage wordt wel ureum toegevoegd. Behalve dat daarmee een gemakkelijk beschikbare stikstofbron wordt toegevoegd aan een koolhydraatrijk stikstofarm ruwvoeder, wordt ook de mogelijkheid geschapen dat ammoniak, dat door hydrolyse uit ureum gevormd wordt, de verteerbaarheid verbetert doordat het bindingen tussen lignine en hemicellulose verbreekt. De hemicellulose zou daardoor beter beschikbaar zijn. Maar hierbij moet worden aangetekend dat het vrijmaken van hemicellulose de methaanproductie per kg droge stof eerder zal verhogen. Immers zolang hemicellulose door de binding aan lignine niet door bacteriën gefermenteerd kan worden ontstaat ook geen methaan. Op De Schothorst is overigens in een tweetal experimenten tot nu toe niet aangetoond dat door toevoeging van ureum aan snijmaïssilage de verteerbaarheid van de organische stof van de maïs verbeterde (De Schothorst; interne verslagen).
Verbetering van de verteerbaarheid van snijmaïs zal vooral tot stand moeten komen door veredeling van de rassen, waarbij men de aandacht vooral moet richten op de verteerbaarheid van blad en stengel. Deze ontwikkelingen zijn aan de gang.

5.2 Additieven

5.2.1. Gehalogeneerde methaan analogen

Gehalogeneerde methaan analogen zijn verbindingen waarbij een of meer waterstofatomen in methaan vervangen zijn door chloor- of broomatomen. Chloroform is daar een voorbeeld van. Moss et al. (1999) hebben de literatuur betreffende het gebruik van gehalogeneerde methaan analogen en verwante verbindingen samengevat. Meestal hebben dergelijke producten maar tijdelijk een remmende werking op de methaanvorming als ze continu worden verstrekt. Bovendien zijn chloroform en chloraalhydraat, dat in de pens tot chloroform wordt omgezet, schadelijk voor de gezondheid van het dier. Broomchloormethaan remt de methaanproductie sterk, maar het verhoogt niet de productiviteit van het dier, mogelijk omdat andere micro-organismen waterstof gaan benutten en omzetten in bepaalde vluchtige vetzuren (valeriaanzuur, capronzuur) of melkzuur, wat ook tot energieverlies leidt (Baker, 1999). Ook van deze verbinding werd overigens aangetoond dat het effect van voorbijgaande aard is, maar een combinatie van broomchloormethaan met ?-cyclodextrine zou over een langere periode de methaanemissie door schapen en rundvee kunnen remmen. Dit betreft een patent beschreven door May et al. (1995; cit. Moss et al., 1999).

Een speciale plaats neemt 2-broomethaansulfonzuur (BES) in. Dit product heeft een selectieve remming op de methaanvorming doordat het interfereert met co-enzym F dat

werkzaam is in methanogene bacteriën. Ook het effect van deze verbinding was van voorbijgaande aard omdat de methanogene bacteriën zich kennelijk aanpasten (Immig et al., 1996)

5.2.2. Ionofore antibiotica

Ionoforen zijn verbindingen die invloed uitoefenen op het transport van ionen over celmembranen. Deze verbindingen werken niet direct op de methaanvormende bacteriën, maar zij bevorderen de groei van gram negatieve bacteriën ten koste van gram positieve waardoor de fermentatie verschuift van azijnzuurvorming naar propionzuurvorming. Daardoor komt minder waterstof vrij voor de vorming van methaan (Moss et al., 1999). Bekende ionoforen zijn monensin, lasalocid en salinomycine. Er zijn verschillende onderzoeken bekend waaruit blijkt dat monensin zeer effectief kan zijn in de vermindering van de methaanproductie (Demeyer & Fievez, 2000). Het effect van monensin op verschuiving in het patroon van vluchtige vetzuren in de richting van meer propionzuur en minder azijnzuur is sterker naarmate het rantsoen meer ruwvoer bevat (Baker ,1999)
Van monensin is ook bekend dat het een eiwitsparend effect heeft doordat de verbinding sommige bacteriestammen die ammoniak van aminozuren afsplitsen remt (Russell & Strobel, 1993). Monensin wordt in de VS in rantsoenen voor vleesstieren routinematig toegepast. Doordat in de pens meer propionzuur en minder azijnzuur wordt gevormd en er een eiwitsparend effect van uitgaat, wordt de vleesaanzet bevorderd en de vetaanzet beperkt.
Het effect van aan een rantsoen toegevoegde ionofoor zou echter wel eens van voorbijgaande aard kunnen zijn waarvoor volgens Beever (1993) de literatuur verschillende aanwijzingen geeft. Carmean & Johnson (1990) gaven aan zes van pensfistels voorziene vleesstieren een rantsoen met 90% krachtvoer en 26 mg/kg monensin. Na 2 dagen werd een 35% reductie van de methaanproductie waargenomen, maar na 8 dagen en later (tot dag 44 gemeten) bleek de methaanproductie weer op het niveau van de controle te zijn. Parallel hiermee werd eerst een afname van het aantal protozoën gezien en later weer een toename tot het oorspronkelijke niveau. Ook Moss et al. (1999) concludeerden in hun overzichtsartikel dat uit enkele lange termijn *in vivo* proeven naar voren komt dat het effect op de verlaging van de methaanproductie niet blijvend is. Dat is overigens niet in overeenstemming met de waarneming dat monensin op de lange termijn wel het effect behield op de verandering van het patroon van vluchtige vetzuren. Het effect van salinomycine zou wel persistenter zijn (Moss et al., 1999).
Demeyer & Fievez (2000) zijn iets genuanceerder in hun constatering dat bij rantsoenen die minder extreem waren en 50–70 % krachtvoer bevatten, er geen adaptatie in de pens plaatsvond. Alhoewel het hier om proeven met schapen gaat zijn de genoemde rantsoenen in ieder geval meer representatief voor melkveerantsoenen.
Factoren die een rol kunnen spelen bij het wel of niet optreden van adaptatie aan ionoforen in het rantsoen zijn de diersoort (rund of schaap), het aandeel krachtvoer in het rantsoen en het voerniveau.
Indirect kunnen ionoforen wel bijdragen aan een reductie van de methaanvorming omdat onder invloed van dit soort verbindingen de efficiëntie waarmee voer in melk wordt omgezet toeneemt. Daardoor daalt de methaanproductie per kg geproduceerde melk.

De toevoeging van ionofore antibiotica stuit tot nu toe op grote weerstand in Europa, omdat men vreest voor de ontwikkeling van resistente bacteriën bij de mens.

5.2.3. Andere additieven

Uit het overzicht van Moss et al. (1999) blijkt dat er diverse onderzoeken zijn uitgevoerd naar het effect van dicarbonzuren zoals appelzuur en fumaarzuur als vervangers van ionofore antibiotica. Uit deze zuren kan propionzuur gevormd worden. Ook het gebruik van acrylzuur, eveneens een voorloper van propionzuur, is geprobeerd. De meeste van deze proeven zijn echter uitgevoerd in *in vitro* fermentatiesystemen. Appelzuur is getest bij rundvee en had in twee recente onderzoeken geen effect op de methaanproductie.
Garcia-Lopez et al. (1996) onderzochten de werking van 9,10-anthraquinon op *in vitro* microbiële fermentatie met gebruikmaking van pensvloeistof van stieren die tenminste 4 weken gewend waren aan verschillende rantsoenen. Anthraquinonen zijn natuurlijke verbindingen die in sommige microben, planten en insecten voorkomen.
De geteste verbinding bleek een ander werkingsmechanisme dan monensin te hebben. Niet de micro-organismen die waterstof produceren worden geremd, maar de methanogene bacteriën zelf. Er wordt dan ook wel [H] gevormd, maar dit verdwijnt in andere processen zoals de vorming van propionzuur. De verbinding moet nog wel getest worden op langdurige effectiviteit in het dier zelf.
Er zijn ook additieven die gericht zijn op het defauneren van de pens (zie **par. 5.2.3.**).

5.3. Biotechnologische ingrepen

5.3.1. Stimulering van acetogene bacteriën

De acetaatvormende bacteriën die CO_2 reduceren (acetogene bacteriën) zijn in de pens wel aanwezig maar minder actief dan de methaanvormers (**par. 3.1.**). Er is nog veel gebrek aan kennis over de metabolische mogelijkheden en de mogelijkheid tot competitie met methaanvormende bacteriën (Joblin, 1999). Met de kennis waarom de methaanvormers veel actiever zijn zou het wellicht mogelijk zijn om de pensfermentatie zo te manipuleren dat minder waterstof via methaan wordt weggewerkt. De extra productie van azijnzuur zou ook een extra bron van energie voor de herkauwer opleveren (Miller, 1995). Omdat acetogene bacteriën ook in de dikke darm van de mens voorkomen en dus als natuurlijk ervaren kunnen worden, zou deze techniek wellicht niet op weerstand van de consument stuiten (Australische Workshop, 1999, summary).

5.3.2. Probiotica

Probiotica zijn verbindingen of micro-organismen die de groei van (andere) micro-organismen stimuleren.
In een in vitro systeem kon celvrij supernatant van een *Lactobacillus plantarum* stam (LP80) de methaanproductie aanzienlijk remmen en de productie van vluchtige vetzuren verhogen, waarbij zich waterstof ophoopte. Door daarnaast *Peptostreptococcus productus* toe te voegen, een isolaat uit de rioolwaterzuivering, werd de vluchtige vetzuren productie nog verder verhoogd en de methaanproductie verder verlaagd terwijl het overschot waterstof via

reductieve acetogenese met kooldioxide werd omgezet in azijnzuur. Na infusie van deze combinatie van supernatant en *P. productus* in de pens van enkele rammen werd aanvankelijk de methaanvorming zelfs nog sterker geremd dan in vitro, maar na ca. 6 dagen was het effect verdwenen. Dit hangt wellicht samen met het feit dat de factor of factoren in de supernatant van LP80 die de methaanvorming remmen op den duur worden afgebroken in de pens (Nollet et al.). Uit onderzoek van anderen, door deze auteurs geciteerd, bleek dat toevoeging van specifieke pens–eigen of andere bacteriestammen of van gisten soms wel een effect op de remming van de methaanvorming had, maar er trad echter geen kolonisatie van de geïntroduceerde micro-organismen op. De preparaten moesten dus continu worden toegediend.
Een vrij veel toegepast microbieel supplement is gist. Gisten komen van nature in de pens voor, maar slechts in een geringe concentratie. *Saccharomyces cerevisiae* en *Aspergillus oryzae.* De meeste experimenten zijn uitgevoerd in *in vitro* systemen. Daarbij trad soms wel reductie van de methaanvorming op maar in sommige experimenten werd juist een verhoogde methaanproductie gevonden (Moss et al., 1999). Dit laatste zou verklaard kunnen worden door gegevens van Dawson et al., (1990) die door toevoeging van een culture van levende gistcellen aan een rantsoen een verhoging van de concentratie van cellulolytische bacteriën zag, zowel in een in vitro systeem als in de pens van stieren.
Uit deze informatie kan geconcludeerd worden dat er eerst meer onderzoek nodig is om na te gaan of het gebruik van een of meer soorten gist een bijdrage kan leveren aan de vermindering van de methaanvorming in de pens.

5.3.3. Defaunering

Een verandering van het pensmilieu welke leidt tot het verdwijnen van de protozoën wordt defaunering genoemd. Er zijn diverse manieren om de pens te defauneren. Deze zijn door Jouany et al. (1988) en Hegarty (1999b) geïnventariseerd. Bij een lage pH sterven protozoën af. Met een snelle introductie van een volledig granen dieet kan men de pens van rundvee defauneren (Whitelaw et al., 1984). Dat lukt ook met oliën en melkvet (Kreuzer & Kirchge?ner, 1987).
Bij vleesvee en mestlammeren, waarvan het rantsoen grotendeels uit krachtvoer bestaat, is de pens meestal vrij van protozoën of het aantal is zeer laag (Kreuzer & Kirchge?ner, 1987; Demeyer & Fievez, 2000) Voorwaarde is dan wel dat het krachtvoer gepelleteerd is en onbeperkt verstrekt wordt. In een experiment van Kreuzer & Kirchge?ner (1987) met vaarzen bleek dat defaunering ook wel kon optreden als het krachtvoer enigszins beperkt werd aangeboden, maar essentieel was wel dat het rijk moest zijn aan granen, in één keer verstrekt werd en dat het gepelleteerd was.
Voor hoogproductief melkvee zijn deze maatregelen in de sfeer van de rantsoensamenstelling echter geen optie. Het benodigde hoge voerniveau vereist een optimale penswerking waarvoor een substantieel aandeel ruwvoer in het rantsoen noodzakelijk is.
Defaunering leidt tot een snellere fermentatie en tot meer propionzuur en minder methaan (zie **par. 3.1.1.**). Het aandeel boterzuur en azijnzuur in de pool van vluchtige vetzuren daalt. Door defaunering wordt de methaanproductie 30 tot 45% verlaagd (Jouany et al., 1988;. Whitelaw et al., 1984). De methanogene bacteriën verdwijnen dus niet volledig, omdat ze

niet allemaal in symbiose met protozoën leven, maar ook wel met bepaalde schimmels (Hegarty, 1999).
Uit twee experimenten met zowel gefauneerde als gedefauneerde stieren konden Whitelaw et al. een zeer significant lineair verband afleiden tussen het molaire percentage propionzuur (percentage van de som van de vluchtige vetzuren) en de gemeten methaanproductie. Defaunering reduceerde de methaanproductie in twee experimenten met schapen, maar daarbij werden semi-synthetische rantsoenen gebruikt (Kreuzer et al., 1986). Alhoewel defaunering vooral tot minder methaanvorming leidt omdat meer waterstof voor de propionzuurvorming wordt gebruikt, zal het aandeel van propionzuur in de vluchtige vetzuren niet altijd verhoogd worden. De protozoën van het type ciliaten vangen namelijk zuurstof weg en een lage zuurstofdruk in de pens is gunstig voor de vorming van methaan. Als deze zuurstofbuffering wegvalt door defaunering zal er dus minder methaan gevormd worden en zal de waterstofdruk hoger worden, zonder dat dat aanleiding geeft tot een verhoogde propionzuurproductie.

Omdat de aanwezigheid van protozoën een nadelig effect op de bacteriële efficiëntie heeft (**par. 3.1.1.**) leidt defaunering in het algemeen tot een verhoogde flow van bacterieel eiwit naar de dunne darm. Omdat er ook een tendens is dat door defaunering het voereiwit in de pens minder wordt afgebroken zal defaunering leiden tot een hogere eiwitflow naar de dunne darm, dus naar een efficiëntere N-benutting, vooral bij eiwitrijke rantsoenen (Jouany et al., 1988). De combinatie van een efficiëntere energiebenutting (minder methaanproductie) en een efficiëntere N-benutting maakt defaunering in principe tot een aantrekkelijke methode om de methaanemissie bij hoogproductieve herkauwers te verlagen (Hegarty, 1999b). Daar staat echter tegenover dat de verminderde activiteit van celwandsplitsende bacteriën kan leiden tot een verlaging van de verteerbaarheid van het ruwvoeraandeel in het rantsoen. De verminderde celwandafbraak in de pens kan ten dele wel gecompenseerd worden in de dikke darm. Daar zijn geen protozoën aanwezig en een belangrijk deel van de bij fermentatie vrijkomende waterstof wordt via reductieve azijnzuurvorming weggewerkt, alhoewel ook nog methaanvorming plaatsvindt (Demeyer & Jouany, 2000).

Behalve door een verandering in de rantsoensamenstelling kan defaunering ook bereikt worden door het toevoegen van vet (Moss et al., 1999). Het effect van vetten werd in **par.4.5.** uitgebreider besproken. Volgens Demeyer (pers. meded.) zou het toevoegen van extra vet aan het rantsoen wellicht nog het meeste perspectief bieden om op een diervriendelijke manier de methaanemissie terug te dringen zonder bezwaren van de consument. Het soort vet dat daarbij gebruikt wordt moet dan wel in de pens effect op de micro-organismen hebben (dus niet een type vet dat inert is in de pens) en het niveau dat gebruikt kan worden is niet al te hoog. Toevoeging van vet aan een rantsoen betekent namelijk dat er minder fermenteerbare organische stof in de pens beschikbaar is en dat leidt weer tot een minder efficiënte benutting van stikstof. Omdat in de meeste Nederlandse melkveerantsoenen al een overmaat aan stikstof beschikbaar is in verhouding tot fermenteerbare energie, leidt verhoging van het vetniveau tot een verhoging van de ammoniakuitstoot als het rantsoen niet verder wordt aangepast.

Ten behoeve van defaunering is in experimenten ook gebruik gemaakt van de toevoeging van chemicaliën of natuurlkijke verbindingen. Zo zijn kopersulfaat, calcium- peroxide,

Mannoxol OT en detergentia gebruikt. Voor zover ze al effectief zijn lenen ze zich in ieder geval niet voor praktische toepassing, maar alleen voor wetenschappelijk onderzoek naar de effecten van defaunering.

Natuurlijke verbindingen die door Hegarty (1999b) genoemd worden zijn vitamine A, niet-eiwit aminozuren en analogen daarvan, steroïd hormonen die bij insecten de vervelling reguleren en een bepaald bladmateriaal waarvan vooral de saponinen fractie protozoën kan desactiveren. Het is duidelijk dat de genoemde stoffen nooit een commerciële toepassing zouden kunnen krijgen. Wel geven Moss et al. (1999) een overzicht van diverse publicaties waarin succes wordt gemeld met het opnemen van saponinen-rijke producten.

Tenslotte is het mogelijk om de ontwikkeling van de protozoënpopulatie in de pens te voorkomen. Faichney et al. (1999) isoleerden jonge lammeren 2 dagen na de geboorte van het moederdier. De lammeren kregen gedurende 2 weken koemelk en vanaf 10 dagen ook een droogvoer en fris drinkwater. Het droogvoer bestond uit pellets van gemalen producten waaronder 50% luzernehooi. In de pens van deze lammeren werden vrijwel geen protozoën aangetroffen en een relatief uniforme bacteriële populatie. De waterstofbalans in de pens was relatief laag, het aandeel azijnzuur in de vluchtige vetzuren hoger en de methaanproductie meer dan 50% minder in vergelijking met lammeren die 4 weken na isolatie gedurende 5 achtereenvolgende dagen met verse pensvloeistof van volwassen schapen werden geïnoculeerd. Er werd verondersteld dat bij de geïsoleerde jonge lammeren meer reductieve acetogenese (**par.3.1.**) in de pens optrad. Deze dieren vertoonden wel een lagere verteerbaarheid van organische stof en energie, maar opmerkelijk genoeg niet van de celwanden als de voeropname althans niet al te hoog was. De lagere verteerbaarheid van de energie werd echter gecompenseerd door een lager energieverlies in de vorm van methaan. Een dergelijk experiment is met koeien nog niet beschreven en het is de vraag in hoeverre een rantsoen voor hoogproductieve melkkoeien, met daarin 40-50% geconserveerd ruwvoer aanleiding geeft tot het alsnog ontwikkelen van een protozoën populatie in de pens.

5.4. Andere mogelijkheden om de methaanproductie te verminderen

5.4.1. Vaccinatie

Baker (1999) doet onderzoek naar een vaccinatie techniek waarbij de concentratie in het bloed van antilichamen tegen methanogene bacteriën (immunoglobulines G en A) significant verhoogd worden boven de normaal waarden. Deze benadering zou wellicht niet op weerstand van de consument stuiten omdat er hier gebruik gemaakt wordt van het immuunsysteem van het dier zelf (Australische Workshop, 1999. Summary). Toepassing van deze techniek, die strikt genomen geen veevoedkundige maatregel is, is nog in ontwikkeling.

5.4.2. Reducering van de methaanuitstoot in andere landen

Als handel in emissierechten van methaan zal worden toegestaan zou Nederland op landbouwkundig terrein veel kunnen bereiken in Oost Europa. De contacten met die landen zijn goed. Er wordt reeds veel krachtvoer vanuit Nederland daarheen geëxporteerd en er hebben zich Nederlandse veehouders gevestigd. De verteerbaarheid van het ruwvoer in die landen kan nog aanzienlijk worden verbeterd door een juiste rassenkeuze, gerichte bemestingsmaatregelen en in het algemeen verbetering van het graslandmanagement. Verder zal gezocht moeten worden naar de juiste balans tussen het gebruik van graslandproducten, graangewassen van eigen bedrijf en aanvullende krachtvoeders. De kennis hiervoor is in Nederland en met name ook bij de Nederlandse mengvoederindustrie aanwezig.

6. Relatie productieniveau en methaanproductie

De meest belovende en kosten effectieve manier om methaanemissies door rundvee te verminderen is het verhogen van de productie van melk en vlees via een hogere voerefficiëntie. Het resultaat van een hogere productie is meestal wel dat er in absolute zin meer methaan wordt uitgescheiden, maar als de productie uiteindelijk met minder dieren bereikt kan worden kan de totale methaanemissie door de veehouderij verminderd kan worden. De volgende tabel betreffende gegevens van de VS illustreren dat (Nat. Council Agric. Ed.).

Tabel 2. Toename in productiviteit melkkoeien en afname in methaanproductie in VS.

	1960	1990
Melk/koe/jaar, kg	3196	7000
Methaan/koe/jaar, kg	76,1	114,6
Methaan/kg melk, g	24	17
Aantal melkkoeien	$17,5 \times 10^6$	$10,1 \times 10^6$
Totale melkproductie, kg	$55,9 \times 10^9$	$65,6 \times 10^9$
Totale methaanproductie, (metric tons)	$1,33 \times 10^6$	$1,16 \times 10^6$

Een verdere verhoging van de melkproductie per dier heeft in het kader van het streven naar vermindering van de methaanemissie zeker zin als de melkquotering gehandhaafd blijft. Dit wordt in de volgende paragraaf nader toegelicht.

6.1. Melkvee

De methaanproductie zal in het algemeen toenemen bij een hoger productieniveau van melkkoeien. Een hoger productieniveau gaat namelijk samen met een hogere voeropname, dus met meer fermentatie in de pens. Uitgaande van een basisrantsoen dat vervolgens wordt aangevuld met krachtvoer zal de melkproductie op het laatstgenoemde rantsoen in het algemeen toenemen. Dit geldt echter niet als er door de krachtvoeropname een sterke

verdringing van de ruwvoeropname plaats heeft. De consequenties voor de methaanproductie in absolute en relatieve zin laten zich dan ook niet makkelijk voorspellen (Moss, 1993)

Kirchge?ner et al. (1995) lieten zien dat de methaanemissie per kg geproduceerde melk asymptotisch afneemt bij hogere melkproductie. Ook uit door ons bewerkte gegevens (zie **par. 7.**) blijkt dat de methaanemissie per kg geproduceerde melk afneemt in de range van 6 tot 34 kg per dag. Als dezelfde hoeveelheid melk per jaar dus door minder koeien wordt geproduceerd zal de methaanemissie per hoeveelheid geproduceerde melk en dus ook in absolute zin afnemen.
In Queensland (Australië) nam in de periode van 1988 tot 1996 de methaanemissie per liter melk af van 0,056 kg tot 0,04 kg, maar er was een toename per dier per dag van 0,287 kg tot 0,304 kg (Howden & Ryenga, 1999).
Een toename van het aandeel krachtvoer in het rantsoen en dan vooral zetmeelrijk voer zal leiden tot een hogere melkproductie en door een verbetering van de efficiëntie van de microbiële groei tot zowel een lagere methaan- als ammoniakemissie. De grenzen worden echter bepaald door het niveau waarop de pH in de pens daalt. Een te lage pH in de pens leidt tot gezondheidsschade voor het dier door het optreden van acidose, laminitis en een verminderde vruchtbaarheid. Als de pensacidose te sterk wordt, treedt ook een verminderde voeropname op zodat het positieve effect van een zetmeelrijk rantsoen op de productie verdwijnt.
Behalve het aanvullen van het basisrantsoen (het ruwvoer) met krachtvoer kan ook gestreefd worden naar een verbetering van de kwaliteit (en dus de verteerbaarheid) van het ruwvoer (Moss et al., 1999). In de Nederlandse situatie hebben we echter te maken met een relatief hoge kwaliteit ruwvoer. Gezien de tendens naar het gebruik van meer soorten ruwvoer en naar een lagere stikstofbemesting zal de verteerbaarheid van het ruwvoeraandeel zeker niet toenemen. Bovendien mag verwacht worden dat het aandeel ruwvoer in het rantsoen eerder zal toenemen dan afnemen (zie verder **par. 4.4., 8.3.** en **8.4.**).

6.1.1 Gebruik van BST (groeihormoon)

Het gebruik van het groeihormoon BST (bovine somatotropine) leidt tot een hogere melkproductie. Dit wordt echter niet veroorzaakt door een efficiëntere benutting van de energie maar door meer mobilisatie van energiereserves uit het lichaam (Kirchge?ner et al., 1990). Men kan dus hooguit veronderstellen dat door gebruik van BST de methaanemissie per kg melk verlaagd wordt. Het gebruik van BST is echter vooralsnog in de EU niet toegelaten.

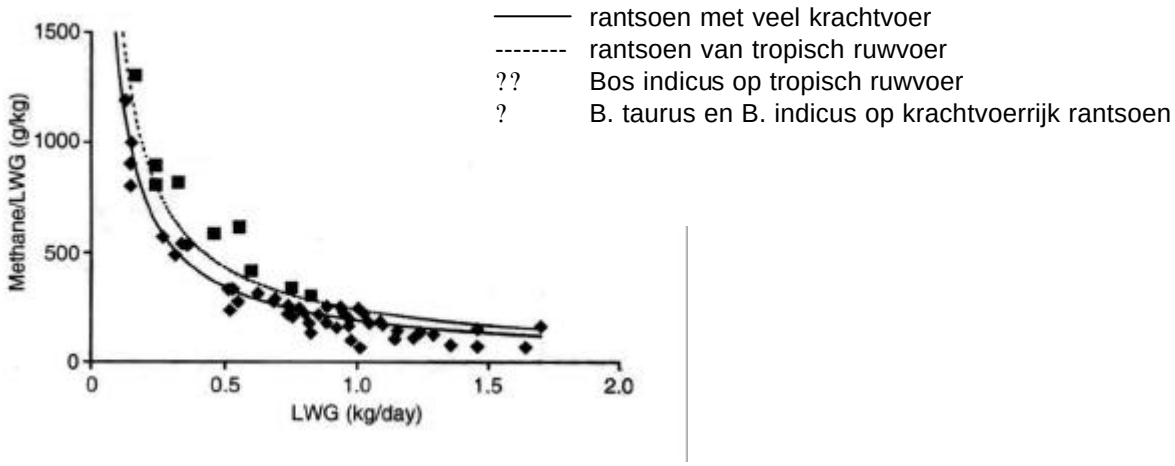
6.1.2. Vruchtbaarheid en gezondheid

De EPA wijst er op dat er winst te behalen is als het afkalfpercentage verhoogd kan worden. Hoe sneller een koe drachtig wordt des te minder methaan zal er per kg melk per levenscyclus van een melkkoe worden uitgescheiden. (Nat. Council Agric. Ed., 1998). Volgens een berekening op basis van gegevens uit de V.S. ontleend aan Holter & Young (1992) produceren droogstaande koeien op rantsoenen die alleen uit ruwvoeders bestaan

gemiddeld 180 à 190 g methaan ofwel 250 tot 270 l per dag. Vermorel (1995) komt voor droogstaande koeien in Frankrijk op 205 l per dag.
Voor de Nederlandse situatie is waarschijnlijk het vervangingspercentage van de melkkoeien nog meer van belang. Naarmate een koe langer in productie wordt gehouden, dus meer lactaties heeft, des te minder kalveren er tot melkkoe opgefokt hoeven te worden. De methaanproductie per kg melk per levenscyclus van de koe wordt daardoor lager.
Howden & Ryenga wijzen op het positieve effect van een goede gezondheid op de efficiëntie waarmee voer benut wordt en daardoor op een verminderde methaanemissie per liter melk.

6.2 Vleesvee

Alhoewel de vleesvee populatie in Nederland relatief een kleine omvang heeft, is het van belang de algemene principes betreffende de methaanemissie en de mogelijkheden van beperking ervan te kennen. Vleesvee heeft een relatief kleinere behoefte aan ruwvoer en zal dus in het algemeen minder celwandmateriaal verteren en per kg opgenomen droge stof ook minder methaan.
Ook voor vleesvee geldt dat met toenemende productie (groei per dag) de relatieve methaanproductie afneemt (Howden & Ryenga, 1999). Een hogere groeisnelheid zal echter alleen bereikt worden door een hogere voeropname, zodat de methaanproductie in absolute zin toeneemt. De toename zal echter minder zijn als de verhoging uit krachtvoer komt dan wanneer deze uit ruwvoer komt. Een en ander blijkt uit figuur 6.



Figuur 6. Het verband tussen de groei en de methaanproductie per kg groei. (Howden & Ryenga, 1999)

Het gebruik van het ionofore antibioticum monensin leidt ook bij vleesvee door een remmende werking op de protozoën tot een verlaging van de methaanuitstoot. Ook al zou op de lange termijn het effect van een verlaagde absolute methaanuitstoot minder worden omdat de protozoën terugkeren, dan nog blijft het positieve effect op de groei, zodat de methaanuitstoot bij een gelijkblijvende vleesproductie afneemt. Er is echter een toenemende weerstand bij de consument van dierlijke producten om antibiotica in het veevoer toe te staan.

7 Voorspelling van de methaanemissie

Bij individuele dieren kan men de methaanemissie nauwkeurig bepalen door het gebruik van stofwisselingskamers waar de dieren in gehuisvest kunnen worden en voor vrij lopende dieren kan men gebruik maken van radioactieve isotopen als tracer. Uit dergelijke metingen zijn formules afgeleid die de methaanemissie voorspellen uit verschillende dier- en rantsoenparameters.
Voor de schatting van nationale emissies stuit men op het probleem van het op de juiste wijze inschatten van toegepaste rantsoenen en de samenstelling van de veestapel (U.S. Environmental Protection Agency). Demeyer (pers. meded.) veronderstelt dat het aantal dieren in veel landen redelijk nauwkeurig is vast te stellen. Ook hij ziet problemen bij de inschatting van de samenstelling van rantsoenen. Zelfs in Nederland kan het rantsoen van melkkoeien per regio al aanzienlijk verschillen. Verder hebben de door diverse onderzoekers afgeleide voorspellingsformules vaak een lage betrouwbaarheid van voorspelling van de methaanemissie.
Een overzicht van vergelijkingen die de methaanemissie door Holstein koeien voorspellen werd gegeven door Wilkerson et al. (1995). In tabel 3 zijn deze vergelijkingen weergegeven. Aangezien de auteurs de methaanproductie weergeven in de vorm van energie in Mcal/d is een omrekening toegepast naar gram per dag, waardoor een directer verband met het broeikaseffect gelegd kan worden. Voor de omrekening is gebruik gemaakt van de door de auteurs zelf aangegeven factor, nl. 1g methaan vertegenwoordigt 0,013184 Mcal bruto energie.

Tabel 3. Regressievergelijkingen die de methaanproductie (g/d) door Holstein koeien voorspellen[1)]

Auteur(s)	Formule Methaan (g/d) =
Kriss, M (1930)	18 + 22,5 x DS (kg/d)
Axelsson (1949)	-37,469 + 47,709 x DS (kg/d) – 1,896 x DS2 (kg/d)
Blaxter, K.L & J.L. Clapperton (1965)	[(98,604 + 849,5 x DE/GE) + L x (179,763 – 379,2 x DE/GE)] x 0,758 x GE (Mcal/d)][1]
Bratzler, J.B. & E.B. Forbes (1940)	17,68 + 0,04012 x verteerbare koolhydraten (g/d)
Moe, P.W. & H,.F. Tyrrell (1979)	61,741+ 9,253 x oplosbare koolhydraten[2)] (kg/d)+31,477 x hemicellulose (kg/d) + 48,012 x cellulose (kg/d)
idem	33,298+20,707x vert. oplosb.koolhydraten + 38,835 x vert. hemicellulose (kg/d) + 105,658 x vert. cellulose (kg/d)
Holter, J.B. & A.J. Young	droogstaande koeien: [12,12 – 0,0054 x LG[3)] (kg) – 0,09 x ADF (%DS opname) + 0,1213 x ADF-verteerbaarheid (%) – 2,472 x DE (Mcal/kg DS) + 0,0417 NDS[4)] verteerbaarheid - 0,0748 x cellulose verteerbaarheid (%) + 0,0339 x hemicellulose verteerbaarheid] x 0,758 GE (Mcal/d) lacterende koeien met extra rantsoenvet: [2,898 – 0,0631 x melk (kg/d) + 0,297 x melkvet (%) – 1,587 x melkeiwit (%) + 0,0891 x RE (% DS) +0,1010 x ruwvoer ADF (% DS) + 0,102 x DS opname (kg/d) - 0,131 x RV (%DS) + 0,116 x DS verteerbaarheid (%) – 0,0737 x RE verteerbaarheid] x 0,758 GE (Mcal/d)

lacterende koeien zonder extra rantsoenvet:
[2,927 – 0,0405 x melk (kg/d) + 0,335 x melkvet (%) – 1,225 x melkeiwit (%) + 0,248 x RE (% DS) – 0,448 x ADF (% DS) + 0,502 x ruwvoer ADF (% DS) + 0,0352 x ADF verteerbaarheid (%)] x 0,758 GE (Mcal/d)

[1]) DE en GE zijn de verteerbare en de bruto energie opname ; L = aantal malen onderhoudsniveau
[2]) oplosbare koolhydraten = OS – NDF – RE - RV
[3]) LG = lichaamsgewicht
[4]) NDS = neutral detergent solubles (celinhoud)

De vergelijkingen werden gevalideerd op een gegevensbestand van 16 balansproeven uitgevoerd in Beltsville (VS) tussen 1976 en 1992, waarin methaanproductie werd gemeten met in totaal 382 individuele waarnemingen bij melkkoeien en 220 bij droogstaande koeien. In deze proeven kregen de koeien volledig gemengde rantsoenen met een ruwvoeraandeel van 40-60%. Het ruwvoer bestond behalve uit de ook in Nederland gebruikelijke gras- en maïssilage en bietenpulp (in Nederland wordt dit overigens gerekend tot vochtrijke krachtvoeders), ook uit luzernehooi en -silage en katoenzaaddoppen die in Nederland niet of nauwelijks als ruwvoer worden toegepast. Gezien het feit dat Holstein koeien een groot aandeel hebben in de totale melkveepopulatie in Nederland, het ruwvoeraandeel niet afwijkt van een gemiddelde praktijksituatie en een groot deel van de gebruikte krachtvoergrondstoffen hier ook worden toegepast, zijn deze vergelijkingen voor de Nederlandse situatie zeker bruikbaar. Wel moet hierbij aangetekend worden dat de gemiddelde dagelijkse melkproductie tijdens de experimenten met de lacterende dieren slechts 28 kg per dag was.

De simpele vergelijking van Kriss bleek bij de analyse van Wilkerson et al. (1995) een overschatting te geven bij hoge methaanproducties en is dus niet geschikt om de effecten van veevoedingsmaatregelen bij hoogproductieve melkkoeien na te rekenen. De vergelijking van Axelsson voldeed helemaal niet, maar deze vergelijking was ook afgeleid voor koeien met een zeer lage gemiddelde voeropname vergeleken met het gegevensbestand waarop gevalideerd werd. In ieder geval kan geconcludeerd worden dat kennis van de opname van droge stof alleen, niet voldoende is om tot een betrouwbare voorspelling van de methaanemissie te komen.
De vergelijking die gebaseerd is op verteerbare energie, gemeten op onderhoudsniveau en de voeropname (Blaxter & Clapperton) bleek een verbetering ten opzichte van de bovengenoemde. Maar bij lacterende koeien bleek de methaanproductie overschat te worden als deze laag was en onderschat bij een hoge productie. Een vergelijking die gebaseerd is op verteerbare energie kan maar weinig van de variatie in methaanproductie verklaren omdat bij het bepalen van de verteerbare energie geen rekening gehouden wordt met de plaats van de vertering: pens, dunne darm of dikke darm (Johnson & Johnson, 1995). Alleen bij verteringsprocessen in de pens is substantiële methaanproductie mogelijk. Johnson et al., (1992) wezen er bovendien op dat er granen en ruwvoeders zijn die een zelfde verteerbaarheid van de energie hebben, maar verschillende fermentatiepatronen.
De IPCC heeft ondanks deze fundamentele bezwaren tegen de formule van Blaxter & Clapperton deze lange tijd gebruikt om nationale methaanemissies door herkauwers te schatten. Sinds 1996 wordt echter een geheel andere benadering voor de schatting van de methaanemissie gekozen (zie hierna).

De vergelijking van Bratzler & Forbes lijkt op het eerste gezicht betrouwbaarder dan die van Blaxter & Clapperton omdat hier niet de verteerbaarheid van de totale droge stof als variabele wordt genomen, maar de verteerbare koolhydraten. Methaan wordt immers voor het grootste deel geproduceerd bij de fermentatie van koolhydraten. Maar de vergelijking werd afgeleid uit een gegevensbestand waarin een veel smallere range in opname van verteerbare kolhydraten voorkwam dan in het gegevensbestand van de validatie. De voorspelling van de methaanproductie gaf geen verbetering ten opzichte van de vergelijking van Blaxter & Clapperton en dit kwam vooral door een overschatting bij een lage methaanproductie voor lacterende koeien.
Moe & Tyrrell houden in hun eerste regressievergelijking rekening met het feit dat de verschillende typen koolhydraten bij fermentatie niet dezelfde hoeveelheid methaan geven. Ook hier gold weer dat het gegevensbestand dat voor de validatie werd gebruikt een grotere range had in de verschillende koolhydraatfracties dan het bestand waaruit de vergelijking was afgeleid. De fout in de voorspelling van de methaanproductie was het laagste van alle vergelijkingen. In de tweede vergelijking van Moe & Tyrrell wordt gebruik gemaakt van de verteerbare koolhydraatfracties. De voorspelling voor de methaanproductie wordt daardoor niet belangrijk verbeterd.
Holter & Young (1992) leidden aparte vergelijkingen af voor droogstaande en twee voor lacterende koeien, afhankelijk van het feit of wel of niet extra rantsoenvet werd toegevoegd. De vergelijkingen werden op empirische wijze afgeleid door een selectie van onafhankelijke variabelen te maken en daaruit systematisch variabelen te elimineren. Dit lijken geen hanteerbare formules te zijn, o.a. omdat het vetgehalte ons inziens meer bepalend is dan het feit of vet wel of niet als aparte grondstof wordt toegevoegd. In de vergelijkingen voor de lacterende koeien komen bovendien productiegegevens voor. Dit maakt toepassing van de formule voor groepen dieren in een bepaalde regio nog moeilijker. Wilkerson et al. (1995) concluderen dat deze vergelijkingen enkele onlogische regressiecoëfficiënten bevatten en een niet al te nauwkeurige schatting van de methaanproductie geven.
In het algemeen waren de meeste vergelijkingen wel geschikt om de methaanproductie bij droogstaande koeien te voorspellen. Als een algemeen toepasbare formule, dus voor zowel droogstaande als melkgevende koeien scoorde de eerste vergelijking van Moe & Tyrrell met daarin de factoren cellulose, hemicellulose en niet-celwand koolhydraten (= OS – NDF – RE – RV) het hoogste. De auteurs menen dat deze gegevens relatief gemakkelijk te verkrijgen zijn, maar voor de in Nederland gebruikelijke voedermiddelen zijn de gehalten aan cellulose en hemicellulose nog lang niet allemaal bekend.
Kirchge?ner et al. (1995) konden de methaanemissie redelijk betrouwbaar schatten uit de opname van afzonderlijke nutriënten (ruwe celstof, ruw eiwit, ruw vet en overige koolhydraten):

$$\text{Methaan (g/d)} = 63 + 79 * RC + 10 * OK + 26 * RE - 212 * RV \qquad \text{(formule 4)}$$

waarbij de nutriëntenopname is weergegeven in kg per dag. Het voordeel van deze formule is dat alle gebruikte parameters tot de in experimenten routinematig bepaalde nutriënten behoren, en waarvan bovendien voor alle voedermiddelen gemiddelde waarden bekend zijn. Uit de formule blijkt dat de opname van ruwe celstof de methaanemissie van alle nutriënten het meest bepaalt. De methaanvormende bacteriën benutten echter vooral de cellulose uit

de ruwe celstof als substraat. Hieruit kan worden geconcludeerd dat een formule met ruwe celstof als parameter misschien gemiddeld een aardige schatting van de methaanproductie geeft, maar voor individuele rantsoenen toch een grote fout kan hebben. De grootste factor heeft de opname van ruw vet, maar het gehalte ruw vet is in rundveerantsoenen zelden hoger dan 6%. Het gehalte ruw vet zegt echter niets over de aard van het vet. Zoals uit **par. 4.5.** blijkt zijn er vetten die in de pens indifferent zijn en dus nauwelijks invloed op de methaanproductie hebben.
Benchaar et al. (1998) toonden aan dat dynamische en mechanistische modellen voor de pensfermentatie een betere schatting van de methaanproductie geven dan alle bekende regressievergelijkingen. Zij vonden dat een verbeterd model van Dijkstra et al. (1992) waarin bepaalde concepten en vergelijkingen waren opgenomen om ook de methaanproductie te kunnen schatten, de beste voorspellende waarde had.

Voor de schatting van methaanemissie door melkkoeien op landelijke schaal in Nederland zijn de bovengenoemde formules niet geschikt omdat de rantsoenen qua nutriëntensamenstelling sterk kunnen verschillen, afhankelijk van lactatiestadium en regio van het land. Voor het voorspellen van effecten van verandering van rantsoensamenstelling zouden ze wel geschikt kunnen zijn.
Kirchge?ner et al. (1994) konden 60% van de variatie in de methaanproductie van melkkoeien verklaren uit de melkproductie en het metabolisch lichaamsgewicht (kg ^{0,75}). Er was echter een verschillend intercept van de regressievergelijking voor grasrantsoenen en maïsrantsoenen. Daarmee zijn deze formules ook niet geschikt om de methaanemissie van melkkoeien op landelijke schaal te schatten.
Dijkshoorn (pers. meded.) gebruikte voor een scriptie een aantal datasets van balansproeven die op het toenmalige ID-DLO in Lelystad waren uitgevoerd. Later kreeg hij nog de beschikking over datasets van proeven die op de toenmalige Landbouwuniversiteit Wageningen waren uitgevoerd. De datasets bevatten gegevens van individuele dieren o.a. wat betreft methaanemissie, melkproductie en melksamenstelling. De rantsoenen varieerden van vrijwel alleen vers gras via rantsoenen met ruwvoer en krachtvoer in verschillende verhoudingen tot uitsluitend krachtvoer. In de scriptie wordt overigens niet expliciet op de methaanemissie ingegaan (Dijkshoorn, 1990). In tegenstelling met Kirchge?ner et al. (1994) vonden wij met deze datasets geen enkel verband tussen de methaanproductie in gram per dag en gegevens betreffende melkproductie en melksamenstelling. Wel bleek na samenvoeging van alle gegevens (n = 605) dat de methaanproductie per kg melk per dag verklaard kon worden met de volgende vergelijking:

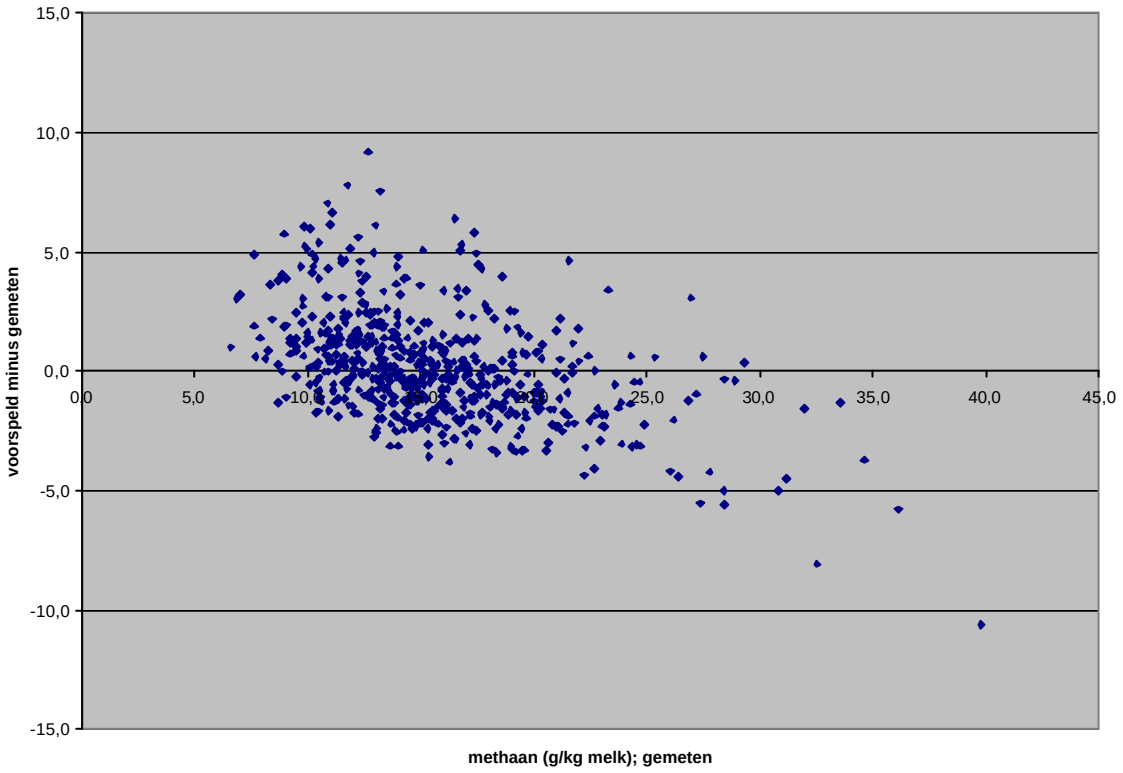
methaan/ kg melk/dag (g) =
51,64 (± 1,39) – 14,65 (± 0,33) * Ln (kg melk) + 0,014 (±0,002) * LG (formule 5)

waarin Ln = natuurlijke logaritme en LG = lichaamsgewicht in kg.

R^2 = 0,76; standaard fout in Y = 2,27

De nauwkeurigheid van de voorspelling van de methaanemissie per kg melk verbeterde niet als in plaats van het lichaamsgewicht als zodanig het metabolisch gewicht werd genomen. Wel bleek de betrouwbaarheid van de voorspelling nogal afhankelijk te zijn van het soort

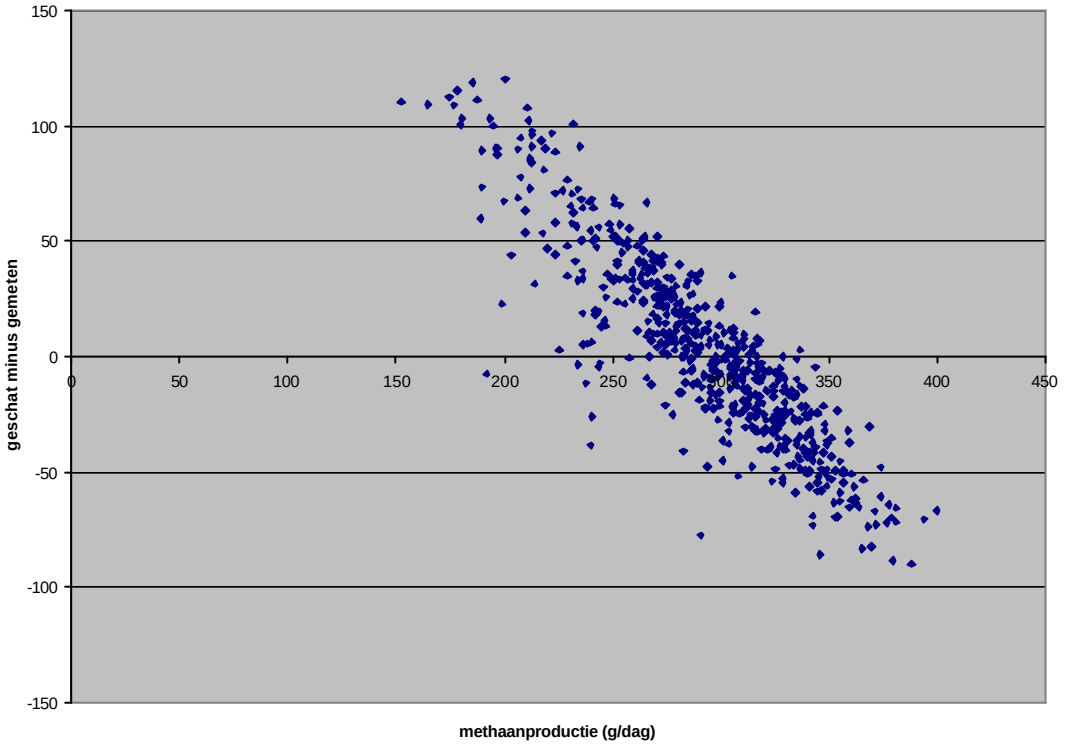
rantsoen, hetgeen overeenkomt met Kirchge?ner et al. (1994). De schatting was het nauwkeurigste als alleen de proeven met uitsluitend gras in de berekening werden meegenomen.
In tabel 2 (**par.6**) wordt de gemiddelde melkproductie per koe per jaar en de methaanemissie in de VS in het jaar 1990 gegeven. Op basis van die gegevens kan de gemiddelde melkproductie per dag geschat worden op 21 kg en het lichaamsgewicht van de koeien op 600 kg. Volgens **formule 5** zou dat dan tot een methaanproductie van 15,4 g per kg melk per dag leiden. Dit komt redelijk goed overeen met de in tabel 2 genoemde waarde van 17 g.
Ofschoon **formule 5** een redelijk betrouwbare voorspellingsvergelijking lijkt, geldt deze alleen voor de range van data waarvoor hij is afgeleid, d.w.z. voor melkproducties variërend van 6 tot 34 kg per dag. Toch kan men met deze formule wel een indicatie krijgen van het effect van verhoging van de melkproductie op de methaanuitstoot bij gelijkblijvend melkquotum.
In 1998/99 produceerden 1.140.302 melkkoeien in Nederland die onder de melkcontrole



Figuur 7 De voorspelde minus de gemeten methaan uitscheiding uitgezet tegen de gemeten waarde in grammen per kg melk.

vielen 8129 kg melk per lactatie (gemiddeld 334 dagen). Daarentegen produceerden de koeien in Flevoland 9090 kg melk (CR Delta 1998 – 1999). In principe moet een dergelijk productie gemiddeld over heel Nederland ook haalbaar zijn. Van 1990 t/m 1995 steeg de melkproductie van de gecontroleerde melkveestapel met 9,2% (Handboek Melkveehouderij,1997). Een stijging van 8129 tot 9090 kg (11,8%) moet dus haalbaar zijn in 2008. Bij een gelijkblijvend melkquotum zal de productie verzorgd worden door 1.019.748 (gecontroleerde) melkkoeien.

De hoeveelheid methaan die geproduceerd wordt per kg melk is volgens de door ons afgeleide formule bij 8129 kg melk per 334 dagen (= 24,3 kg per dag) en de aanname dat de koeien gemiddeld 650 kg wegen 14,0 g per kg melk per dag. Bij een productie van 9090 kg melk per 334 dagen (= 27,2 kg per dag) en een zelfde lichaamsgewicht zou de methaanproductie op 12,3 g per kg melk komen.
In figuur 7 is voor de gehele dataset de voorspelde methaanproductie per kg melk per dag uitgezet tegen de waargenomen waarde. Daaruit blijkt dat bij hogere dagproducties de berekende methaanproductie per kg melk onderschat wordt. Door de gemiddelde melkproductie per dag te vermenigvuldigen met de berekende methaanproductie per kg melk krijgen we dus ook een onderschatting van de methaanemissie per dag. Dat blijkt uit figuur 8.



Figuur 8 Verschil tussen de geschatte en gemeten methaanproductie vs. de gemeten waarden

De onderschatting van de methaanemissie met de formule in het gebied waarover wij spreken (ca. 340 g/d) is ca. 50 g per dag is. Dat betekent dat de berekende methaanemissie tijdens de lactatieperiode in de huidige situatie per jaar is:
(8129 x 14 + 50 x 334) x 1.140.302 = 148.816.253 kg
Hierbij komt echter nog de productie van methaan in de droogstand. Bij 334 dagen lactatie resteren er nog 31 dagen droogstand. Op grond van gegevens van De Schothorst in combinatie met informatie uit “Tabellenboek Veevoeding 2000” (Centraal Veevoederbureau, 2000) schatten wij de dagelijkse opname van droge stof op 11 kg.
Volgens Wilkerson et al. (1995) waren de meeste door hen gevalideerde formules (tabel 3) wel geschikt om de methaanemissie in de droogstand te bepalen. Als we de formules van Kriss (1930) of Axelsson (1949)gebruiken, waarin de droge stof opname als enige variabele

voorkomt, komen we op een methaanemissie gedurende de droogstand van ongeveer 260 g/dag. De methaanemissie per koe per jaar wordt dan:
8129 x 14 + 50 x 334 + 31 x 260 = 138.566 g. Dat betekent dat 6% van de methaanuitstoot per jaar afkomstig is van de droogstandsperiode. Voor het genoemde aantal koeien is de totale methaanuitstoot per jaar dan 158.007.087 kg.
Bij een productie van gemiddeld 9090 kg melk per jaar door 1.019.748 koeien is de methaanuitstoot:
(9090 x 12,3 + 50 x 334 + 31 x 260) x 1.019.748 = 139.263.925 kg.
De reductie in CO_2-equivalenten is dan 394 miljoen kg.
Zelfs bij een zelfde aantal koeien is de methaanproductie minder omdat de productie per koe door de lagere methaanuitstoot per kg melk zoveel lager is dat die verlaging niet geheel genivelleerd wordt door de hogere melkproductie :
9090 x 12,3 + 50 x 334 + 31 x 260 = 136.567 g per jaar.
Bij bovenstaande berekening is geen rekening gehouden met de koeien die niet onder de melkcontrole vallen. Hun aantal is naar schatting nog wel 20% van de huidige melkveestapel en het is logisch om te voeronderstellen dat juist deze koeien energetisch inefficiënt zijn en dus relatief meer methaan produceren.

De IPCC (1996) gaat uit van een schatting van de netto energie (NE) op basis van de productie en het gewicht van de dieren. De behoefte aan NE is ontleend aan het energiesysteem van de NRC (National Research Council) in de VS. Uit de opname van NE wordt die van de bruto energie (BE) geschat rekening houdend met een bepaalde verhouding tussen NE voor onderhoud, lactatie, dracht en arbeid (trekkracht) en verteerbare energie (DE), respectievelijk NE voor groei en de verteerbare energie. Tenslotte wordt dan de methaanemissie geschat door aan te nemen dat 6% van de BE als methaan wordt uitgescheiden. De gebruikte formules zijn de volgende:
Als de verteerbaarheid van de energie 65% of hoger is:

$$NE/DE = 1{,}123 - (4{,}092 \times 10^{-3} \times DE\%) + ((1{,}126 \times 10^{-5} \times (DE\%)^2) - 25{,}4/DE\% \quad \text{(formule 6)}$$

$$NE_{groei}/DE = 1{,}164 - (5{,}160 \times 10^{-3} \times DE\%) + ((1{,}308 \times 10^{-5} \times (DE\%)) - 37{,}4/DE\% \quad \text{(formule 7)}$$

Als DE onder de 65% ligt gelden de formules:

$$NE/DE = 0{,}298 + (0{,}00335 \times DE\%) \quad \text{(formule 8)}$$

$$NE_{groei}/DE = -\,0{,}036 + (0{,}00535 \times DE\%) \quad \text{(formule 9)}$$

$$BE = \frac{(NE_{onderhoud} + NE_{voer} + NE_{lactatie} + NE_{trekkracht} + NE_{dracht}) \times (100/DE\%)}{(NE/DE) + [NE_{groei}/\ ?NE_{groei}\ /DE?]} \quad \text{(formule 10)}$$

BE en NE zijn uitgedrukt in MJ/dag.

In deze formule moet ?NE_{groei}/DE? berekend worden uit **formule 7**.

NE_{voer} is de netto energie die dieren nodig hebben om het voer te verkrijgen. Voor grazende dieren is dat meer dan voor dieren die op stal gevoerd worden. De NRC rekent geen extra behoefte aan NE voor dieren op stal. Voor dieren die grazen op een goede kwaliteit grasland op relatief kleine oppervlakken, zoals in Nederland, wordt 17% van $NE_{onderhoud}$ aangehouden. Voor dieren die op veel grotere oppervlakken grazen wordt als behoefte 37% van $NE_{onderhoud}$ verondersteld. Wellicht moet hier rekening mee gehouden worden bij herkauwers die in beheersgebieden grazen.

We hebben op basis van behoefte cijfers uit het "Tabellenboek Veevoeding 2000" (Centraal Veevoederbureau, 2000) formule 10 toegepast voor de volgende situaties:

- een melkgevende koe met een gewicht van 650 kg, een productie van 30 kg melk per dag met 4,25% vet en 3,45% eiwit en in de 6e maand van de dracht; op stal gehouden, dus geen netto energiebehoefte voor het verkrijgen van het voer en geen behoefte voor groei;
- hetzelfde dier maar dan weidend, waarbij rekening is gehouden met NE_{voer} van 17% van $NE_{onderhoud}$;

Daarbij werd uitgegaan van een verteringscoëfficiënt van de energie van 68% wat het gemiddelde was van de waarden van het geanalyseerde databestand. De methaanproductie per kg melk was dan respectievelijk 13,7 en 14,3 g methaan per kg melk. Dit komt zeer goed overeen met de gemiddelde waarde van 14 g per kg die wij uit het geanalyseerde databestand hebben afgeleid.

De door het IPCC aanbevolen formule om de methaanemissie per dier te schatten wordt terecht als een vuistregel gezien (IPCC, Revised Guidelines, 1996, pag.4.17). In Nederland zijn er verschillen tussen regio's ten aanzien van het gebruik van grassilage en snijmaïssilage. Dit geeft verschillen in verteerbaarheid van de rantsoenen. Relevante gegevens daarover zijn beschikbaar bij het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek Blgg in Oosterbeek. Regionale verschillen in melkproductie zijn te achterhalen bij het Nederlands Rundvee Syndicaat NRS.

Van meer belang is de vraag in hoeverre **formule 10** geschikt is om veranderingen in methaanemissie ten gevolge van bepaalde veevoedingsmaatregelen of tengevolge van genetische verbetering te schatten. Als de melkproductie per koe toeneemt zal ook de behoefte aan $NE_{lactatie}$ toenemen. Bij een onveranderde verhouding NE/DE zou dan de methaanproductie per koe toenemen. Het ligt echter voor de hand dat een verhoging van de melkproductie samengaat met een toename van de verteerbaarheid van de energie omdat verhoging van de melkproductie bereikt kan worden door betere verteerbare ruwvoeders en/of meer krachtvoer of vochtrijke krachtvoeders (bijv. pulp, bierbostel, aardappelvezels) in het rantsoen op te nemen. De verhouding NE/DE wordt dan groter en dat leidt tot een lagere schatting van BE. Het hangt bovendien van de verhouding tussen de toename van de methaanproductie en die van de melkproductie af of de methaanemissie per kg melk afneemt. Uit het hierboven gegeven rekenvoorbeeld blijkt dat bij een hogere melkproductie de methaanemissie gelijk kan blijven of zelfs dalen.

Uit **par. 3.1.** blijkt verder dat voor een minimalisering van de methaanemissie gestreefd moet worden naar een optimale verhouding tussen fermenteerbare organische stof en de vorming van microbiële organische stof. Deze verhouding wordt bepaald door de balans tussen de snelheid waarmee fermenteerbare koolhydraten en fermenteerbaar eiwit worden afgebroken.

Dat laat zich niet zomaar vertalen naar een gunstigere verhouding NE/DE. Bovendien leidt een energetisch efficiëntere pensfermentatie tot een lager percentage methaan in verhouding tot de bruto energie. In de toekomst zal een op nutriënten gebaseerd voederwaarderingssysteem, waarvoor thans in Nederland initiatieven worden ontwikkeld, leiden tot een betere mogelijkheid om methaanemissie te schatten.
De door ons uitgevoerde data-analyse is gebaseerd op een achterhaalde situatie. Daarom verdient het aanbeveling om nieuwe balansproeven met de huidige hoog-productieve melkkoeien zowel in de lactatieperiode als in de droogstand uit te voeren. Daaruit zou een algemene formule moeten worden afgeleid met als belangrijkste parameters de gemakkelijk in de praktijk te achterhalen gegevens over melkproductie en lichaamsgewicht en eventueel lactatiestadium. Enkele waarnemingen met rantsoenen die koeien in beheersgebieden krijgen (**par.8.6**) en rantsoenen die gebruikelijk zijn in de biologische en de geïntegreerde landbouw en veeteelt (**par.8.5**) zouden inzicht kunnen geven in de consequenties van dergelijke veehouderijsystemen voor de methaanuitstoot.

8 Interactie met andere milieucomponenten

Bij het zoeken naar maatregelen om de methaanemissie door herkauwers terug te dringen zal men alert moeten zijn op mogelijk negatieve gevolgen voor het milieu vanuit een ander gezichtspunt of de strijdigheid van bestaande milieurichtlijnen met het streven naar vermindering van de methaanemissie door herkauwers. Verder moet ook gedacht worden aan het welzijn van de dieren en de emotionele beleving van de dierhouderij door het publiek.

8.1 Intensivering van de melkproductie

Als dezelfde melkproductie door intensivering bereikt kan worden met een kleiner aantal dieren zal de methaanemissie verminderen als de melkquotering gehandhaafd blijft. Intensivering van de melkproductie vraagt om een optimaal gebruik van management-middelen. Dit betreft het beheer van het grasland, de teelt van voedergewassen en de voederwinning, de melkfrequentie en controle op de samenstelling en de opname van aanvullend krachtvoer en eventueel vochtige bijproducten. Op het zogenaamde “high-tech” bedrijf van het Proefstation voor de Rundvee-, Schapen- en Paardenhouderij (PR) in Lelystad wordt een gemiddelde jaarproductie gehaald van ruim 10.000 kg melk per koe. Dit wordt bereikt door de koeien permanent op stal te houden, ze automatisch meer dan tweemaal daags te melken via de melkrobot en ze een hoog energetisch en goed verteerbaar rantsoen aan te bieden, waarvan de basis bestaat uit een mengsel van grassilage en snijmaïssilage. De dieren kunnen vrij door de stal lopen en hebben voldoende ligplaats. De krachtvoervoorziening vindt plaats via een krachtvoerautomaat. De dieren komen ook ’s zomers niet in de wei, maar de zijwanden van de stal kunnen volledig open gemaakt worden. Theoretisch moet de methaanproductie per kg geproduceerde melk relatief laag zijn. Een negatief punt van een dergelijk systeem is dat de koeien niet meer in de wei komen en dat is iets wat op maatschappelijke weerstanden stuit. Bovendien moet aan de gezondheid van dieren die nooit in de wei komen extra zorg besteed worden.

Op De Schothorst wordt ook een gemiddelde jaarproductie van meer dan 10.000 kg melk gehaald, waarbij de koeien wel weidegang krijgen volgens het zogenaamde siësta beweidingssysteem.

Op veel melkveebedrijven zou de melkproductie nog verder opgevoerd kunnen worden door een hoger krachtvoergebruik, zonder nadelige gevolgen voor de gezondheid van het dier. Maar de productie van meer krachtvoer leidt tot verhoogd energieverbruik en een daarmee samenhangende CO_2–uitstoot door de mengvoerindustrie. Ook moet rekening gehouden worden met een eventuele verhoging van de CO_2-uitstoot door meer wegtransport.

8.2 N-efficiëntie in de pens en intermediaire stofwisseling

Het officiële Nederlandse eiwitwaarderingssysteem, het DVE-systeem, heeft in de praktijk al diverse veranderingen ondergaan. Alhoewel deze primair door mengvoerproducenten ontwikkeld werden om zich commercieel te kunnen onderscheiden, hebben ze wel geleid tot de mogelijkheid om de koeien nog nauwkeuriger op de eiwitbehoefte te voeren (bijvoorbeeld het WDVE-systeem van de coöperatieve mengvoederindustrie). Daarmee zijn belangrijke stappen gemaakt in de optimalisatie van de microbiële eiwitsynthese en dat draagt primair bij aan een vermindering van de ammoniakemissie, maar eveneens aan de vermindering van de methaanemissie (**par. 3.1.**). Zonder een uitspraak te doen over de kwantitatieve effecten kan wel geconstateerd worden dat hier twee milieudoelstellingen tegelijk gediend worden.

8.3 N-bemesting grasland

Om tot een lager N-overschot op de melkveebedrijven te komen is het noodzakelijk om (1) de N-gift via kunstmest terug te dringen en (2) eiwitarmer te voeren. Het eerste heeft gevolgen voor de chemische samenstelling van het gras en voor de voederwaarde. Valk et al. (2000) voerden een serie proeven met melkkoeien uit die op stal vers gemaaid gras kregen met een kleine aanvulling (2 à 3 kg) van krachtvoer. Er werd gras gewonnen van percelen die bemest waren met respectievelijk 150, 300 en 450 kg N ha^{-1} $jaar^{-1}$. Het gras werd steeds geoogst in een stadium waarbij de opbrengst 1500 à 2000 kg DS ha^{-1} was. Omdat bij een lagere N-bemesting de groei trager verloopt was het gras dus ook ouder bij oogsten naarmate er minder was bemest. In drie van de vier proeven was de *in vitro* verteerbaarheid van de organische stof op het laagste bemestingsniveau significant lager dan op de andere twee bemestingsniveaus. De auteurs concluderen dat binnen de gekozen grenzen van de N-bemesting de ouderdom van het gras meer effect had op de verteerbaarheid en het gehalte NDF heeft dan het niveau van de N-bemesting zelf.
Verlaging van de N-bemesting had tot gevolg dat de pensinhoud minder N en meer celwandbestanddelen bevatte. De afbraaksnelheid van NDF en de snelheid van penslediging namen af. Dit had gevolgen voor de concentratie van de vluchtige vetzuren, die lager was bij aanwending van 150 kg N dan bij 450 kg N ha^{-1} $jaar^{-1}$. Een tragere pensfermentatie zou moeten leiden tot een verhoging van de ketogene vluchtige vetzuren azijnzuur en boterzuur en mogelijk dus ook tot een hogere methaanproductie. Met behulp van de gegevens betreffende de daggemiddelden van de concentraties van azijnzuur, propionzuur en boterzuur in de pensvloeistof (Kappers & Valk, 1996), de daaruit berekende molaire

verhouding ten opzichte van de gegeven som van alle vluchtige vetzuren en formule 1 (**par.3.1.**) werd de methaanproductie berekend. Deze bleek op beide graslandrantsoenen gelijk, nl. 28,86 ± 0,95 en 28,95 ± 1,27 mmol per 100 mmol vluchtige vetzuren op graslandrantsoenen bemest met 450 respectievelijk 150 kg N per ha. Alhoewel er een lichte tendens was dat op een rantsoen met lage N-bemesting het relatieve aandeel van azijnzuur en boterzuur in het totaal van de vluchtige vetzuren iets hoger was, bleek dat dus niet tot een berekend verschil in methaanproductie te leiden. Daarentegen bleek uit drie van de vier uitgevoerde voederproeven (Valk et al., 2000) dat de melkproductie significant lager was op het rantsoen van laag-bemest gras. Het verschil in melkproductie varieerde van 0,4 kg (n.s.) tot 4,1 kg per dag. Uit een combinatie van deze gegevens kan geconcludeerd worden dat door een sterke verlaging van de N-bemesting de methaanproductie per kg geproduceerde melk toeneemt. Van Bruchem (pers. meded.) wijst er echter op dat het effect van lagere bemesting pas na langere tijd beoordeeld kan worden, omdat het microbiologisch evenwicht in de bodem geleidelijk aan pas ingesteld is op de lagere bemesting. Uit ervaring op de prototype proefbedrijven van Wageningen Universiteit blijkt dat zelfs bij een lagere N-bemesting dan in de proeven van Kappers en Valk de productie van de koeien eerder hoger dan lager wordt. Dit zou ondermeer het gevolg van een betere gezondheid kunnen zijn. Van Bruchem betwijfelt of de methaanproductie per kg melk dan wel stijgt.
Mbanzamihigo et al. (2000) vergeleken het effect van een bemesting met 150 kg N/ha/jr met geen bemesting op een gemengde gras/klaver weide op de samenstelling van het gewas en de methaanproductie door schapen. Zij vonden geen effect van de N-bemesting op de methaanproductie alhoewel al hoewel er wel een effect op het eiwitgehalte van het gewas was.

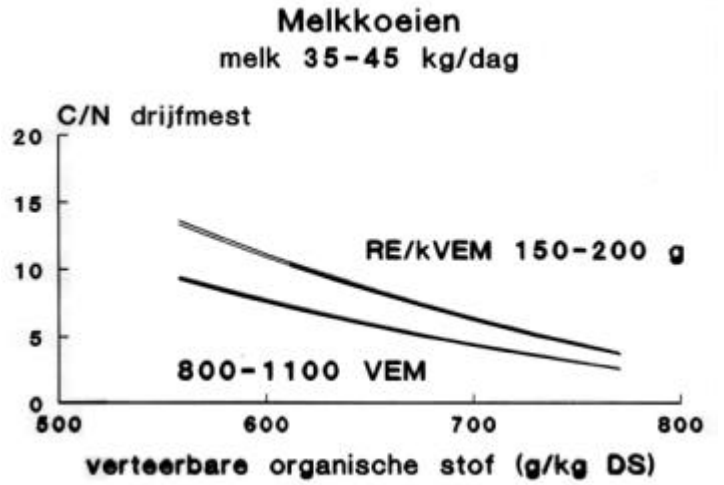
8.4 Stimulering gebruik ruwvoeders

De EU heeft een programma opgestart genaamd Forage 2000. Het doel van het programma is om onderzoekers te stimuleren om te zoeken naar verbetering van plantenkwaliteit, het ontwikkelen van nieuwe rassen, bevordering van de teelt van lokale voedergewassen en het zoeken naar inpassing in dierlijke productiesystemen. Uiteindelijk moet dit resulteren in een vermindering van de milieubelasting door herkauwers. Als belangrijke punten van onderzoek onder het hoofdstuk “dierlijke productie” worden ondermeer genoemd het optimaliseren van de pensfermentatie en het synchroniseren van energie- en eiwitafbraak in de pens. Onder het hoofdstuk voederwaarde van voedergewassen valt ondermeer de verbetering van de voederwaarde van grassen en evaluatie van andere eiwitrijke voedergewassen voor low-input systemen (o.a. biologische veehouderij).
In de algemene doelstellingen wordt niet gesproken over methaanemissie, maar in het licht van het stimuleren van het gebruik van ruwvoeders zou dit zeker aandacht moeten krijgen.

8.5 Geïntegreerde landbouw/veehouderij

Aan het eind van het tweede millennium was het gemiddelde overschot aan stikstof 345 kg/ha/jr bij een opbrengst van 100 kg N in de producten. De N-benutting was daarmee 22%. Volgens Van Bruchem (pers. meded.) is een overschot van slechts 140 kg N/ha/jr bij eenzelfde N-afvoer via de producten mogelijk. Daarmee zou de N-benutting op 42% komen.

Een hoge N-efficiëntie op het melkveebedrijf wordt nagestreefd bij de geïntegreerde veehouderij. Daarbij probeert men de N-verliezen via grondwater (nitraat) en ammoniakemissie in de atmosfeer te minimaliseren. Het streven van enkele coöperaties van melkveehouders in Friesland is om de N-verliezen terug te brengen tot 75 – 100 kg N/ha/jr waarbij vooral winst gehaald moet worden uit een verbeterde N-benutting door de gewassen (75%; nu nog 30 tot 60%), terwijl bij de koe een N-efficiëntie van 25% haalbaar wordt geacht, terwijl deze thans landelijk varieert van 10 tot 24% (Van Bruchem, pers. meded.). Een verbeterde N-benutting door gewassen moet bereikt worden door de balans van koolstof en stikstof in de bodem te herstellen. Dat kan niet bereikt worden door alleen maar minder kunstmest te strooien. Daarom wordt bewust gestreefd naar minder verteerbare rantsoenen om meer organische stof in de mest en daardoor in de bodem te krijgen. De verteerbaarheid van de organische stof zou ca. 65% moeten zijn en het gehalte verteerbare organische stof in het rantsoen ca. 600 g/kg droge stof. Dit probeert men te bereiken door niet alleen een matige N-bemesting op het grasland toe te passen, maar vooral ook door later te maaien (verg. de conclusies van Valk et al. (2000) in **par. 9.2.**). Verder past in deze filosofie het vervangen van snijmaïssilage door GPS (zie tabel 1 in **par.4.3.**). Uit bijgaande figuur 9 (Van Bruchem, gepresenteerd op een EAAP-symposium, 1999) blijkt dat bij een afnemend gehalte VOS per kg droge stof de C/N-verhouding in de drijfmest snel toeneemt.



Figuur 9. Het verband tussen de opname van verteerbare organische stof en de C:N-verhouding in drijfmest. (Van Bruchem, EAAP congres, 1999)

Het verhogen van het OS-gehalte in de mest betekent dat een minder verteerbaar rantsoen wordt verstrekt en dat zal leiden tot een verhoging van de methaanuitstoot. Daar staat echter tegenover dat er koolstof in de bodem wordt vastgelegd welke dus niet via verteerbare koolhydraten bijdraagt aan de CO_2-uitstoot. Het streven van de geïntegreerde veehouderij is om het OS-gehalte in de bovenste 15 cm van de bodem in 15 jaar tijd met 5% te verhogen. Per hectare betreft dat dus 1.500 m^3 grond ofwel 2000 ton OS. Een verhoging van 5% betekent dus dat er 100 ton OS bijkomt. Deze organische stof bevat ca. 50% C, zodat dat een besparing aan CO_2-uitstoot oplevert van 44/12 x 0,5 x 100 = 183 ton. Dat is als broeikasgas equivalent met 183/21 = 8,7 ton methaan over een periode van 15 jaar. Per jaar zou 580 kg methaan extra uitgestoten mogen worden om het effect van de besparing op de

CO_2-emissie teniet te doen. Dat komt neer op 1,6 kg methaan per dag en dat is de productie van ca. 8 koeien. De vraag is dan welke melkproductie gehaald kan worden in zo'n systeem. Op de A.P. Minderhoudhoeve van Wageningen Universiteit bereikt men nog 8000 kg melk met een basisrantsoen van grassilage met een voederwaarde van ca. 800 VEM (Van Bruchem, pers. meded.)

8.6 Kwaliteit ruwvoeders beheersgebieden

In de zogenaamde beheersgebieden wordt de maaidatum van de eerste snede uitgesteld. Normaal productiegras (dit is voor 70 tot 80% Engels raaigras) wordt vaak al eind april voor het eerst een keer gemaaid. In beheersgebieden wordt het winnen van de eerste snede naar omstreeks half juni uitgesteld als het gaat om de weidevogels een kans te geven om de jongen uit te broeden en ze vliegvaardig te maken. Als het gaat om een meer bloeiende en afwisselende vegetatie te krijgen wordt het maaien zelfs uitgesteld tot begin juli. Door het uitstellen van het maaien treedt een verouderingseffect van het gras op wat leidt tot een daling van de verteerbaarheid.
Als het streven is om de bodem te verschralen zal minder stikstofbemesting worden toegepast. Dit heeft op zichzelf maar een geringe invloed op de verteerbaarheid van het gras (alleen door een iets dalend eiwitgehalte). Omdat pas later gemaaid kan worden om een gewenste opbrengst te bereiken treedt ook hier een verouderingseffect op, wat meer effect op de verteerbaarheid heeft (verg. Valk et al., 2000).
Het effect van veroudering en botanische samenstelling werd in een proef op het proefbedrijf van het Proefstation Rundvee-, Paarden- en Schapenhouderij in Zegveld onderzocht. Bij een normale bemesting was de verteringscoëfficiënt van de organische stof na herinzaai van een perceel met normaal productiegras 77,4% en met gras van een "matige" botanische samenstelling 73,5 als er in begin mei gemaaid werd. Werd het maaien tot half juni uitgesteld dan was de verteringscoëfficiënt respectievelijk 68,5 en 59,8%. Hieruit blijkt dat veroudering bij een "matige" botanische samenstelling nog sterker in de daling van de verteerbaarheid tot uiting komt (Korevaar, pers. meded.).
Ten aanzien van de methaanemissie in beheersgebieden spelen dus twee zaken een rol. Door veroudering van het gras zal in de pens meer fermentatie van matig verteerbare celwanden optreden, wat leidt tot meer methaanproductie. Bovendien zal de melkproductie lager zijn en in combinatie met de slechtere verteerbaarheid van het gras zal de methaanproductie per kg melk zeker hoger zijn dan bij een intensief graslandbeheer.

8.7 Benutting bijproducten door rundvee

Bij de afweging van het negatieve effect van de rundveehouderij ten aanzien van de methaanuitstoot moet bedacht worden dat het grootste deel van de grondstoffen voor het krachtvoer en verder alle zogenaamde vochtrijke krachtvoeders, bijproducten zijn van de humane voedingsindustrie. Deze producten zoals bijvoorbeeld maïsglutenvoer, bietenpulp, citruspulp, aardappelvezels en schroten van oliehoudende zaden, zouden anders gestort of verbrand moeten worden. Slechts een deel van de genoemde grondstoffen kan ook ingezet worden in de intensieve veehouderij. De omvang daarvan wordt bovendien kleiner gemaakt om de milieubelasting met fosfor en ammoniak te verkleinen.

9 Conclusies, aanbevelingen en haalbaarheid

1. Via aanpassing van de voeding van herkauwers is de methaanemissie in principe te beïnvloeden.
2. De methaanemissie door herkauwers in Nederland is vrijwel geheel afkomstig van rundvee. Een vleesrund scheidt hooguit de helft van de hoeveelheid methaan uit van een melkkoe en bovendien is de vleesveehouderij in Nederland een marginale bedrijfstak. Veevoedkundige maatregelen om de methaanemissie te reduceren moeten daarom vooral gericht worden op de voeding van melkkoeien.
3. De methaanemissie kan verlaagd worden door
   - de verteerbaarheid van plantaardige celwanden in het rantsoen te verhogen
   - de efficiëntie van de microbiële groei in de pens te verhogen
   - meer vet in het rantsoen op te nemen
   - het gebruik van een aantal additieven
   - het veranderen van de samenstelling van microbiologische populatie in de pens
4. Verbetering van de verteerbaarheid van plantaardig celwandmateriaal is maar in beperkte mate mogelijk, omdat de verteerbaarheid van het basisrantsoen (ruwvoer) gemiddeld in Nederland al op een hoog niveau ligt. Bij de veredeling van snijmaïsrassen is nog wel winst te behalen door verbetering van de verteerbaarheid van blad en stengel. Maar er zijn ontwikkelingen gaande die haaks staan op verbetering van de celwandverteerbaarheid van het hele rantsoen:
   - er wordt op Europees niveau gestreefd naar verhoging van het gebruik van traditionele ruwvoeders en andere gewassen die op het eigen bedrijf geteeld kunnen worden ten koste van het gebruik van mengvoeders
   - steeds meer veehouders sluiten beheersovereenkomsten waarbij met name gras in een later groeistadium wordt gemaaid zodat de verteerbaarheid minder wordt
   - in het kader van het streven naar verlaging van het stikstofoverschot op de melkveebedrijven wordt het niveau van de stikstofbemesting verlaagd wat indirect een effect kan hebben op de verteerbaarheid (later maaien om voldoende opbrengst te krijgen)
   - binnen hetzelfde kader valt een trend om minder snijmaïssilage en meer van de minder goed verteerbare gehele planten silages (GPS) van andere graangewassen (triticale, gerst, tarwe) te gaan vervoederen omdat deze gewassen effectiever zijn in de stikstofbenutting.
5. In beperkte kringen van de melkveehouderij streeft men bewust naar verlaging van de verteerbaarheid van het basisrantsoen om via de mest meer koolstofverbindingen in de bodem te krijgen en daarmee de bodemstructuur te verbeteren.
6. Verhoging van de microbiële efficiëntie in de pens wordt op dit moment al nagestreefd omdat dat een positief effect heeft op de stikstofbenutting. De ontwikkelingen in deze richting moeten gestimuleerd worden.
7. Het verhogen van het vetgehalte in het rantsoen is maar beperkt mogelijk:
   - het gebruik van dierlijk vet is sinds kort verboden
   - veel plantaardige vetten hebben de eigenschap dat ze vaak wel de melkproductie verhogen, maar een negatief effect op het vet- en eiwitgehalte van de melk hebben. Aan het gebruik van visolie zou meer aandacht besteed moeten worden omdat er (beperkte)

aanwijzingen zijn dat deze wellicht de methaanvorming remt zonder een negatief effect op de celwandfermentatie in de pens.

8. Het gebruik van sommige additieven is vaak maatschappelijk minder acceptabel of reeds verboden, maar kennisontwikkeling op dit gebied moet wel gestimuleerd worden.
9. Verandering van de microbiologische samenstelling van de pens staat nog maar aan het begin van ontwikkeling. Ook hiervoor geldt dat rekening gehouden moet worden met maatschappelijke weerstand, maar dat wetenschappelijk onderzoek om die reden niet belemmerd moet worden.
10. De grootste bijdrage aan de terugdringing van de methaanemissie wordt bereikt door de melkproductie per dier te verhogen bij een gelijkblijvend melkquotum.
    Productieverhoging is mogelijk door:
    - genetische selectie
    - optimaal gebruik van managementmogelijkheden in het kader van gewassenteelt, voederwinning, huisvesting van koeien en melkwinning
11. Bij de verhoging van de productie moet bedacht worden dat veel melkveehouders bewust niet streven naar een maximale melkproductie, o.a. uit zorg over de gezondheid van de koeien en de wens om maximaal gebruik te maken van de mogelijkheid tot weiden van de koeien.
12. Het zou aanbeveling verdienen om de overgrote meerderheid van de melkproductie te laten plaatsvinden op bedrijven met grote en zeer productieve melkveestapels, waarbij gebruik gemaakt wordt van hoge kwaliteit ruwvoeders en krachtvoeders. Er blijft dan ruimte voor wat kleinschaligere melkveehouderij in landschappelijk waardevolle gebieden en voor begrazingsprojecten.
13. Indien handel in emissierechten over landsgrenzen heen toegelaten zou worden kan Nederland een belangrijke bijdrage leveren aan de verbetering van de verteerbaarheid van ruwvoeders in landen in Oost Europa. Export van kennis en van zaaigoed kan daarbij een hulpmiddel zijn.
14. Er is in Nederland de laatste 10 jaar geen onderzoek meer gedaan naar de methaanuitstoot door melkkoeien. Bij de vroeger uitgevoerde experimenten was bovendien niet de methaanuitstoot op zichzelf onderwerp van onderzoek, maar de efficiëntie waarmee de energie werd benut. Kennis over de methaanuitstoot bij melkkoeien met de gemiddeld hoge producties van tegenwoordig ontbreekt. Extrapolatie van gegevens uit oudere proeven kan hooguit enige indicatie opleveren. Ook de consequenties van het houden van koeien in beheersgebieden en van alternatieve vormen van veeteelt zouden onderzocht moeten worden via balansproeven in respiratiecellen.
15. De formule waarmee volgens IPCC-richtlijnen landelijke methaanemissies wordt berekend is in feite ongeschikt door de grote variatie in rantsoensamenstelling binnen Nederland. Kennis over die variatie per regio en van de melkproductie oer regio is echter voorhanden. De formule is zeker niet toepasbaar om effecten van veevoedings-maatregelen betrouwbaar in te schatten, omdat in de formule geen rekening wordt gehouden met de toenemende energetische efficiëntie van melkkoeien bij hogere producties.

10 Geraadpleegde literatuur

Amstel, A.R.van, R.J. Swart, M.S. Krol, J.P. Beck, A.F. Bouwman & K.W. van der Hoek, 1993. Methane, the other greenhouse gas. Research and Policy in the Netherlands. RIVM-report 48 1507001.

Baker, S.K., 1999. Biology of rumen methanogens, and stimulation of animal immunity. *In*: "Meeting the Kyoto Target – Implications for the Australian Livestock Industries, workshop Proceedings" . Canberra 4 – 5 November 1998. Eds.: P.J. Ryenga & S.M. Howden. pp. 41 – 49. (Bureau of Rural Sciences, Canberra).

Beever, D.E., 1993. *In:* Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism. Eds.: J.M. Forbes & J. France. CAB International, Wallingford, UK; pp. 187-215.

Benchaar, C., J. Rivest, C. Pomar & J. Chiquette, 1998. Prediction of methane production from dairy cows using existing mechanistic models and regression equations.
*Journal of Animal Science **76**: 617-627.*

Blaxter, K.L. & J.L. Clapperton, 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *British Journal of Nutrition **19**: 511-522.*

Carmean, B.R. & D.E Johnson, 1990. Persistence of monensin-induced changes in methane emissions and ruminal protozoa numbers in cattle. *Journal of Animal Science **65** (Supplement 1): S 517.*

CBS, 1999. Landbouwtellingen 1980-1999. http://argon2.cbs.nl./statweb/indexned.stm

Centraal Veevoederbureau, 2000. Tabellenboek Veevoeding 2000.

Counotte, G.H.M., 1981. Regulation of lactate metabolism in the rumen. *Proefschrift, Rijksuniversiteit Utrecht.*

Crutzen, P.J., 1995. The role of methane in atmospheric chemistry and climate. *In*: Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction. Proceedings 8th International Symposium on Ruminant Physiology. Eds.: W. von Engelhardt, S. Leonhard-Marek, G. Breves & D. Giesecke, pp. 291- 315.

Danneels, M., V. Fievez & D. Demeyer, 1999. Effect van (n-3)-visolievetzuren op ruwvezelverteerbaarheid en fermentatiepatroon in de pensmaag van het schaap. Proc. 24e Studiedag Nederlandstalige Voedingsonderzoekers. Gent, België. pp. 44-45.

Dawson, K.A., K.E. Newman & J.A. Boling, 1990. Effects of microbial supplements containing yeast and lactobacilli on roughage-fed ruminal microbial activities. *J. Animal Science **68**: 3392-3398.*

Demeyer, D.I. & K. De Graeve, 1991. Differences in stoichiometry between rumen and hindgut fermentation. *Advances in Animal Physiology and Animal Nutrition **22**: 50-61.*

Demeyer, D. & V. Fievez, 2000. Ruminants et environnement: la méthanogenèse.
*Annales de Zootechnie **49**: 95 –112.*

Dijkshoorn, D., 1990. Absorbed protein systems and prediction of performance of dairy cattle. *Scriptie Vakgroep Veevoeding, Landbouwuniversiteit Wageningen.*

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

Dohme, F., F. Sutter, A. Machmüller & M. Kreuzer, 2000. Untersuchungen zur Wirkung von einzelnen mittellangkettigen Fettsäuren auf die Methanbildung von Milchkühen. *Proceedings of the Society of Nutritional Physiology, **9**: 120.*

Doreau, M. & Y. Chilliard, 1997. Effects of ruminal or postruminal fish oil supplementation on intake and digestion in dairy cows. *Reproduction, Nutrition, Development* ***37****: 113-124.*

ECN en RIVM, 1998. Optiedocument voor emissiereductie van broeikasgassen.

EPA, Ruminant Livestock Efficiency. http://www.epa.gov/outreach/rlep/faq.htm , bijgewerkt juli 1998.

Faichney, G.J., N.M. Graham & D.M. Walker, 1999. *Australian Journal of Agricultural Research* ***50****: 1083-1089.*

Fievez, V., F. Piattoni, L. Mbanzamihigo, D. Demeyer, 1999. Reductive acetogenesis in the hindgut and attempts to its induction in the rumen – A review. *Journal of Applied Animal Research* ***16****: 1-22.*

France, J. & R.C. Siddons, 1993. *In:* Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism. Eds.: J.M. Forbes & J. France. CAB International, Wallingford, UK; pp. 107-121.

Garcia-Lopez, P.M., L. Kung,Jr. & J.M. Odom, 1996. In vitro inhibition of microbial methane production by 9,10-anthraquinone. *Journal of Animal Scienc* ***74****: 2276-2284.*

Goossensen, F.R. & P.C. Meeuwissen, 1990. Wat draagt de landbouw bij aan het broeikaseffect? *Landbouwkundig Tijdschrift* ***102*** *,nr.10: 21-23.*

Hegarty, R.S., 1999a. Enhancing reactions which competitively reduce ruminal methane emissions. *In*: "Meeting the Kyoto Target – Implications for the Australian Livestock Industries, workshop Proceedings" . Canberra 4 – 5 November 1998. Eds.: P.J. Ryenga & S.M. Howden. pp. 56–65. (Bureau of Rural Sciences, Canberra).

Hegarty, R.S., 1999b. Reducing rumen methane emissions through elimination of rumen protozoa. *In*: "Meeting the Kyoto Target – Implications for the Australian Livestock Industries, workshop Proceedings" . Canberra 4 – 5 November 1998. Eds.: P.J. Ryenga & S.M. Howden. pp. 66–72. (Bureau of Rural Sciences, Canberra).

Holter, J.B. & A.J. Young, 1992. Methane production in dry and lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science* ***75****: 2165-2175.*

Honing, Y. van der, A.M. van Vuuren & R.H. ten Cate, 1994. Measurements of methane release by productive dairy cows on various rations and evaluation of factors involved. *In:* 45th Annual Meeting of the European Association for Animal Production. Edinburgh, 5-8 September, 1994.

Howden, S.M. , & P.J. Ryenga, 1999. Methane emissions from Australian livestock: implications of the Kyoto Protocol. *Australian Journal of Agricultural Research* ***50****: 1285 – 1291.*

Hungate, R.E. 1966. The rumen and its microbes. Academic Press, New York and London.

Inventory of. U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-1997. 5. Agriculture.

Immig, I., D. Demeyer, D. Fiedler, C. van Nevel & L. Mbanzamihigo, 1996. *Arch. Anim. Nutr.* ***49****: 363 – 370.*

IPCC: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual, pp. 4.3 – 4.22.

Joblin, K.N., 1999. Acetogens – opportunities and constraints to use in the rumen. *In*: "Meeting the Kyoto Target – Implications for the Australian Livestock Industries, workshop Proceedings" . Canberra 4 – 5 November 1998. Eds.: P.J. Ryenga & S.M. Howden. pp. 50 – 55. (Bureau of Rural Sciences, Canberra).

Johnson, K.A., H. Westberg & B. Lamb, 1992. Impact of ruminant animals on greenhouse gas production. Maryland Nutrition Conference, pp. 124-132.

Johnson, K.A. & D.E. Johnson, 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science* ***73****: 2483-2492.*

Jouany, J.P., D.I. Demeyer & J.Grain, 1988. Effect of defaunating the rumen. *Animal Feed Science and Technology* ***21****: 229-265.*

Kappers, I.E. & H.Valk, 1996. Het effect van N-bemesting op voederwaarde, voeropname en N-benutting bij hoogproductieve melkkoeien. 4. Pensfermentatie en –kinetiek. Intern Rapport ID-DLO no. 442.

Kirchge?ner, M., W. Schwab & H.L. Müller, 1990. Energiebilanz und Energieverwertung bei Applikation von rekombinantem bovinem Wachstumshormon an Milchkühe. 3. Mitteilung. Energie- und Proteinstoffwechsel von Kühen bei Einsatz von rekombinantem bovinem Wachstumshormon in unterschiedlichen Laktationsstudien. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* ***64****: 151-160.*

Kirchge?ner, M., W. Windisch, H.L. Müller & M. Kreuzer, 1991. Release of methane and of carbon dioxide by dairy cattle. *Agribiological Research* ***44****: 91-102.*

Kirchge?ner, M., W. Windisch & H.L. Müller, 1994. Methane release from dairy cows and pigs. *In*: Proceedings XIII Symposium on energy metabolism of farm animals. Ed. Aguilera, J.F. pp. 399 – 402, EAAP Publ. 76.

Kirchge?ner, M., W. Windisch & H.L. Müller, 1995. Nutritional factors for the quantification of methane production. *In*: Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction. Proceedings 8th International Symposium on Ruminant Physiology. Eds.: W. von Engelhardt, S. Leonhard-Marek, G. Breves & D. Giesecke, pp. 291 - 315.

Kreuzer, M., M. Kirchge?ner & H.L. Müller, 1986. Effect of defaunation on the loss of energy in wethers fed different quantities of cellulose and normal or steamflaked maize starch. *Animal Feed Science and Technology* ***16****: 233-241.*

Kreuzer, M. & M. Kirchge?ner, 1987. Untersuchungen zur nutritiven Defaunierung des Pansens beim Wiederkäuer. *Archives of Animal Nutrition* ***37****: 489-503.*

Leng, R.A., 1993. Quantitative ruminant nutrition – A green science. *Australian Journal of Agricultural Research* ***44****: 363 –380.*

Machmuller, A., D.A. Ossowski, W. Warner & M. Kreuzer, 1998. Potential of various feeds to reduce methane release from rumen fermentation in vitro (Rusitec). *Animal Feed Science and Technology* ***71****: 117-130.*

Mbanzamihigo, L., C. da Costa Gomez, V. Fievez, F. Piattoni, L. Carlier & D. Demeyer, 2000. Effects of N fertilisation on sward composition and CH_4 production: importance of season and animal effects. In: 25e Studiedag Nederlandstalige Voedingsonderzoekers, 28 april 2000. Wageningen Universiteit, Leerstoelgroep Diervoeding.

McAllister, T.A., E.K. Okine, G.W. Mathison & K.-J. Cheng, 1997. Dietary and environmental aspects of methane production in ruminants. *Canadian Journal of Animal Science* ***76***

Meijer, G.A.L., A. Klop, A.M. van Vuuren & H. de Visser, 1998. Het effect van de chemische en fysische samenstelling van grassilage en zetmeel op de nutriëntenflux bij melkkoeien.3. Fermentatie van NDF en zetmeel in de dikke darm. Rapport ID-DLO 98.046.

Miller, T.L., 1995. *In*: Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction. Proceedings 8th International Symposium on Ruminant Physiology. Eds.: W. von Engelhardt, S. Leonhard-Marek, G. Breves & D. Giesecke, pp. 317-331.

Moss, A.R., 1994. Methane production by ruminants – Literature review of I. Dietary manipulation to reduce methane production and II. Laboratory procedures for estimating methane potential of diets. *Nutrition Abstracts and Reviews (Series B)* ***64****: 785 - 806.*

Moss, A.R., J.-P. Jouany & J.Newbold, 2000. *In:* Methane production by ruminants: its contribution to global warming. Annales de Zootechnie ***49***: 231 - 253

Murray, R.M., A.M. Bryant & R.A. Leng, 1976. Rates of production of methane in the rumen and large intestine of sheep. *British Journal of Nutrition* ***36****: 1-14.*

National Council for Agricultural Education, 1998. Global Climate Change and Environmental Stewardship by Ruminant Livestock Producers. Student Reference.

Nolan, J.V., 1999. Stoichiometry of rumen fermentation and gas production. *In*: "Meeting the Kyoto Target – Implications for the Australian Livestock Industries, workshop Proceedings" . Canberra 4 – 5 November 1998. Eds.: P.J. Ryenga & S.M. Howden. pp. 32–40. (Bureau of Rural Sciences, Canberra).

Nollet, L., L. Mbanzamihigo, D. Demeyer & W. Verstraete, 1998. Effect of the addition of *Peptostreptococcus productus* ATCC 35244 on reductive acetogenesis in the ruminal ecosystems after inhibition of methanogenesis by cell-free supernatant of *Lactobacillus plantarum 80. Animal Feed Science and Technology* ***71****: 49-66.*

Productschap Zuivel. Aandeel van diverse bronnen in de emissie van broeikasgassen, 1995., http://www.prodzuivel.nl/pz/productschap/publicaties/mem/tabel_c1.htm, bijgewerkt juni 1999.

Spakman, J., J.G.J. Olivier & M.M.J. van Loon, 1997. Greenhouse gas emissions in the Netherlands. RIVM-report 728001008.

Swart, R.J., A.R. van Amstel, G.J. van den Born & C. Kroeze, 1994. Emissions inventory and options for control. SUMMARY REPORT. RIVM, Report nr. 481507009.

Ulyatt, M.J., K.R. Lassey, R.J. Martin, C.F. Walker & I.D. Shelton, 1997.
Methane emission from grazing sheep. http://www.rsnz.govt.nz/clan/nzsap/con97/1997/ab97068.html

USDA, 1998. Greenhouse gas emissions and agriculture.
http://www.usda.gov/oce/gcpo/greenhou.htm

Valk, H., I.E. Leusink-Kappers & A.M. van Vuuren, 2000. Effect of reducing nitrogen fertilizer on grassland on grass intake, digestibility and milk production of dairy cows. *Livestock Production Science* ***63****: 27-38.*

Vermorel, M., 1995. Emissions annuelles de méthane d'origine digestive par les bovins en France. Variations selon le type d'animal et le niveau de production. *INRA Productions Animales* ***8****: 265-272.*

Whitelaw, F.G., J.M. Eadie, L.A. Bruce & W.J. Shand, 1984. Methane formation in faunated and ciliate-free cattle and its relationship with rumen volatile fatty acid proportions. *British Journal of Nutrition* ***52****: 261-275.*

Wilkerson, V.A., D.P. Casper & D.R. Mertens, 1995. The prediction of methane production of Hoilstein cows by several equations. *Journal of Dairy Science* ***78****: 2402-2414.*

Wood, C. & C.K. Knipmeyer, 1998. Global climate change and environmental stewardship by ruminant livestock producers. Student Reference; Agricultural Education, University of Missouri

Workshop. Summary of workshop discussions. *In*: "Meeting the Kyoto Target – Implications for the Australian Livestock Industries, workshop Proceedings" . Canberra 4 – 5 November 1998. Eds.: P.J. Ryenga & S.M. Howden. pp. 120 – 126. (Bureau of Rural Sciences, Canberra).

Bijlage 1.

Workshop ter informatie van mengvoerindustrie en leveranciers van vochtrijke bijproducten

De Schothorst, donderdag 27 april 2000.

Methaanemissie door herkauwers:
Bijdrage aan het broeikaseffect en mogelijkheden tot reductie

Algemeen

Ofschoon ca. 20 personen ruim van tevoren waren uitgenodigd gaven er uiteindelijk maar 7 aan de uitnodiging gehoor. Hieruit werd geconcludeerd dat het onderwerp in de sector nog niet als een belangrijk item wordt gezien.

De heer ing. P.M.J.A. Smulders van de Novem zette in een korte inleiding uiteen dat het Onderzoekprogramma "Reductie Overige Broeikasgassen (ROB)" een onderzoek- en monitoringsprogramma in diverse sectoren was. Het programma wordt uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van VROM. Voor het landbouwkundige deel is het Ministerie van LNV en Novem gezamenlijk verantwoordelijk. In eerste instantie wordt er geïnventariseerd waar er emissies optreden (weilanden, landbouwhuisdieren, mestopslag) en welke mogelijkheden er tot reductie zijn. Als voorbeelden van aandachtsgebieden werden genoemd: siësta beweiding; gewasresten op het veld; mestvergisting; veevoedingsmaatregelen.

Prof. Dr. ir. Daniël Demeyer van de Rijksuniversiteit Gent hield een voordracht onder de titel:

"Methanogenese: een geïntegreerd deel van de vertering in de herkauwer"

De inhoud van deze lezing was gelijk aan delen van de literatuurstudie.
Een belangrijke conclusie van de spreker was dat het zeer moeilijk is om op landelijke schaal tot een betrouwbare schatting van de methaanemissie door herkauwers te komen. Deze gaat via de stappen:
- tellen van de dieren
- bepaling van de samenstelling van het rantsoen en het productiesysteem
- schatting van de methaanemissie per dier uit de rantsoensamenstelling
- schatting van de totale emissie

Vertaald naar de Nederlandse situatie kan gezegd worden dat stap 1 relatief nauwkeurig uit te voeren is. De grote onnauwkeurigheid zit in de stappen 2 en 3. Voorspellingsformules voor methaanemissie uit rantsoensamenstelling zijn betrekkelijk onnauwkeurig.
Spreker meende wel dat een schatting van de relatieve reductie van de methaanemissie onder invloed van bepaalde maatregelen wat nauwkeuriger zou kunnen.

Ir. Veerle Fievez van dezelfde vakgroep sprak over:

Nieuwe benaderingen bij de modulatie van de methanogenese in de pens.

Ook hiervoor geldt dat de inhoud grotendeels in de literatuurstudie is terug te vinden.
Opvallende conclusie was dat veel additieven (chemicaliën, antibiotica, plantaardige extracten) ook bij continue toediening op den duur minder of geen effect hebben op het terugdringen van de methaanvorming in de pens. Er vindt dus adaptatie plaats van de microflora.
Uit onderzoek aan de Universiteit van Gent is wel gebleken dat de hoogte van de methaanproductie ook genetisch bepaald is. Dit zou een mogelijkheid op lange duur bieden om door selectie de methaanemissie van de herkauwerpopulatie terug te dringen.
Ook blijkt dat wanneer je jongvee na een dag al van het moederdier isoleert de protozoën in de pens nog niet aanwezig zijn.
Een veel belovende ontwikkeling is de immunisatie tegen lactaat-producerende pensbacteriën: Streptococcus bovis en Lactobacillus. De immunisatie vindt plaats via intramusculaire injectie van een vaccin. Via opname in het bloed en uitscheiding via het speeksel komen de antilichamen in de pens terecht.

Dr. Willem A.G. Veen van het Instituut voor de Veevoeding “De Schothorst” sloot de inleidingen af met een voordracht getiteld:

“Methaanemissie door herkauwers: poging tot kwantitatieve benadering”

In deze voordracht werd de methaanemissie van herkauwers in Nederland in het perspectief van de totale methaanemissie geplaatst. Van de herkauwers dragen de melkkoeien veruit het meeste aan de methaanemissie bij. Spreker had uit een databestand van stofwisselingsproeven met melkkoeien, uitgevoerd bij het toenmalige IVVO in Lelystad en bij de toenmalige Landbouwuniversiteit in Wageningen een formule afgeleid, die de methaanemissie koppelt aan de melkproductie en het lichaamsgewicht. Het bleek dat bij hogere melkproductie de methaanemissie per kg melk daalde, maar tevens ook de absolute productie van methaan. Daaruit werd geconcludeerd dat er gestreefd moet worden naar hogere melkproducties per koe. Zeker in combinatie met een melkquotering zou dat leiden tot een reductie van de methaanemissie bij herkauwers.
Verder werd geconcludeerd dat de voorspelling van de methaanemissie volgens de huidige IPCC-richtlijnen, waarbij uitgegaan wordt van de netto energiebehoefte van de dieren, waaruit de behoefte aan bruto energie en vervolgens de methaanemissie wordt geschat, niet correct is, omdat geen rekening wordt gehouden met bovengenoemde hogere efficiëntie bij hogere melkproductie. Een hogere melkproductie vergt meer netto energie en zou dus altijd tot hogere methaanemissies leiden.
Spreker gaf aan dat bij maatregelen om de methaanemissie terug te dringen ook mee gewogen moet worden wat het effect op andere emissies van broeikasgassen is. Zo leidt

een hogere krachtvoerproductie en het transport daarvan bijvoorbeeld tot meer energieverbruik en dus tot meer CO_2-emissie.
Een positieve samenhang ten aanzien van de milieueffecten werd gevonden in het bevorderen van een optimale pensfermentatie. Dat leidt niet alleen tot verlaging van de methaanemissie, maar ook tot een vermindering van de ammoniakemissie.

Daarna werd er gediscussieerd onder leiding van dr. ir. P.J. van der Aar, directeur van De Schothorst.

Een samenvatting daarvan:

1. Het "manipuleren" van de microbiologische flora in de pens via additieven of biotechnologie wordt niet al te enthousiast begroet. Het gebruik van micro-organismen zoals gisten, die invloed kunnen hebben op de samenstelling van de bacteriële flora, is acceptabel, maar dat moeten dan geen genetisch gemodificeerde gisten zijn.
   Er zijn al veel additieven verboden (monensin bijvoorbeeld), zodat betwijfeld wordt of nieuwe producten een kans hebben. Er is bij de consument veel emotionele weerstand tegen het gebruik van additieven in de veevoeding.
   Er wordt door een van de sprekers echter ook gezegd dat de emotionele signalen uit de samenleving geen rem mogen zijn op het blijven verkennen van nieuwe ontwikkelingen, ook als die liggen op het terrein van de biotechnologie. De maatschappelijke discussie moet tegelijkertijd voortgezet worden, zodat deze afgerond is op het moment dat nieuwe biotechnologische toepassingen beschikbaar zijn.

2. Verhoging van de melkproductie leidt tot verlaging van de methaanemissie per kg melk.
   We zijn daar in feite al 100 jaar meer bezig. Het voeren van bijproducten van de voedingsmiddelenindustrie heeft mede bijgedragen tot die productieverhoging. De conclusie lijkt gerechtvaardigd dat hiermee een dubbel milieudoel is bereikt: de bijproducten belasten het milieu niet omdat ze niet gestort worden en dragen indirect bij aan een verlaging van de methaanemissie.
   Er wordt hierbij opgemerkt dat die producten dan niet gedroogd moeten worden, omdat de energie die daarvoor gegenereerd moet worden weer leidt tot extra CO_2-emissie. Daarbij moet in acht genomen worden dat natte producten (bijv. natte bierbostel) veel meer transportcapaciteit eisen dan gedroogde producten. Het vervoer van die producten leidt dus ook tot extra CO_2-emissie. Maar er blijkt door de betreffende sector al berekend te zijn dat zelfs import vanuit een gebied binnen een straal van 500 km van de Nederlandse grenzen wat betreft CO_2-emissie al voordeliger is dan het drogen van die bijproducten. Smulders bevestigt dat het noodzakelijk is om dit soort overwegingen mee te nemen in een afweging van maatregelen.

3. Zijn we niet bezig met het zoeken naar maatregelen die slechts in de marge nuttig zijn?
   In dit verband wordt opgemerkt dat we eens zouden moeten schatten wat we in de afgelopen 100 jaar ten aanzien van terugdringing van de methaanemissie al hebben bereikt. Demeyer schat op grond van de energetische inefficiëntie van herkauwers

elders dat 100 jaar geleden in Nederland 10 à 12% van de bruto energie verloren ging als methaan. Omdat dat nu ca. 6% is kunnen we een winst van 50% schatten.
De voorzitter stelt dat als we nu in Nederland slechts in de marge bezig zijn, overwogen moet worden om onze kennis over efficiënte melkveevoeding te exporteren. Nederland kan dan beter zijn inspanningen richten op het terugdringen van de methaanemissie elders. Fievez merkt op dat we ook in dat geval het gehele biologische systeem moeten bekijken en daarom ook de andere milieuschadelijke effecten in de afweging mee moeten nemen.

4. De vraag wordt opgeworpen of we de methaanemissie niet beter zouden kunnen uitdrukken per kg melkvet en –eiwit in plaats van per kg melk. In de VS bijvoorbeeld is de gemiddelde melkproductie wel hoger dan in Nederland, maar de gehalten zijn veel lager.

5. Er wordt opgemerkt dat jongvee vooral ruwvoer vreet en dus per kg opgenomen droge stof rantsoen relatief veel methaan uitstoot. Het minder snel vervangen van melkkoeien kan dus ook bijdragen aan een vermindering van de methaanemissie. Veen heeft dat ook in de literatuur gevonden. Er wordt daarin ook gewezen op de winst die te behalen is door de vruchtbaarheid van melkkoeien te verbeteren. Het aantal verliesdagen draagt ook bij aan een grotere methaanuitstoot als deze gerelateerd wordt aan de totale jaarproductie aan melk.

6. Veen pleit er voor dat de veehouders bewust gemaakt worden dat herkauwers bijdragen aan de methaanuitstoot, maar dat daaraan in principe wel iets te doen is. Hij vraagt of de mengvoerindustrie op het terrein van de voorlichting nog kan bijdragen aan een bewustwording van de boeren over deze zaak. De vergadering is het eens over de opvatting dat een positieve boodschap aan de veehouders overgebracht moet worden. Er moet benadrukt worden dat men op de goede weg is met het streven naar een optimalisatie van de pensfermentatie. Dit draagt zowel bij aan vermindering van de ammoniak- als van de methaanemissie.

7. Demeyer legde nog eens de nadruk op het feit dat milieu-effecten van bepaalde maatregelen niet alleen per dier beoordeeld moeten worden. Niet alleen moet het effect beoordeeld worden op bedrijfsniveau, maar ook moet rekening gehouden worden met eventuele bijkomende effecten op de emissie van andere broeikasgassen en met name CO_2, zoals bijvoorbeeld onder punt 2 genoemd.

8. Smulders merkt afsluitend op dat het nu uitgevoerde onderzoek inventariserend is. Beleidsmatig gaat men verder door speerpunten te definiëren en subsidies te geven voor vervolgonderzoek en voor implementatie op bedrijven. Eventuele publicaties van de uitgevoerde studie of van delen daarvan zal alleen gebeuren op initiatief van Novem. Er zal geprobeerd worden om zoveel mogelijk aan te sluiten bij bestaand mestbeleid.

9. De voorzitter sluit af met de algemene conclusie dat de mengvoerindustrie het meeste kan bijdragen aan terugdringing van de methaanemissie als inspanningen worden gericht op landen waar de melkproductie nu nog zeer laag en dus inefficiënt is.