

21 september 2010

**Het met publieke middelen te financieren deel van onderdeel 1
in het *'Innovatieprogramma Emissiearm Veevoer voor
Herkauwers'***

A. Bannink ¹, G. Van Duinkerken ¹ & J. Dijkstra ²

¹ Wageningen UR, Livestock Research, Lelystad

² Wageningen University, Wageningen

Voorwoord

In het maagdarmkanaal van koeien wordt methaan gevormd als gevolg van microbiële fermentatie van voer. Methaan is één van de belangrijkste bronnen van broeikasgassen uit de melkveehouderij. De voersamenstelling en het niveau van voeropname en melkproductie van een koe hebben beide een sterke invloed op de hoeveelheid methaan die wordt gevormd. Een uitgekende samenstelling van het rantsoen kan daarom de uitstoot van methaan verminderen. Essentiële informatie rondom de effectiviteit en de haalbaarheid van enkele maatregelen onder Nederlandse productieomstandigheden ontbreekt echter nog. Er zijn nauwelijks betrouwbare Nederlandse meetgegevens voor methaanemissie voorhanden en van een heel aantal voermaatregelen ontbreekt inzicht over de effectiviteit (reductiepotentieel, persistentie van effect) volledig.

In het kader van het convenant 'Schoon & Zuinig' zijn afspraken gemaakt tussen de ministeries en de uiteenlopende sectoren in de maatschappij om tot een verlaging van de broeikasgasemissies te komen. Hierbij zijn eveneens afspraken gemaakt voor de landbouw. De afspraken hebben geleid tot het opstellen van een 'Innovatieprogramma Emissiearm Veevoer'. Dit programma bestaat uit drie onderdelen:

- 1) onderbouwing en kwantificering van methaanreducerende voedingsmaatregelen
- 2) toepassing van methaanreducerende voedingsmaatregelen in de praktijk, door integratie van onderdelen 1) en 3) in een reeds bestaand onderzoeksprogramma 'Koeien & Kansen' waarin praktiserende melkveehouders deelnemen en nauwkeurig gevolgd worden.
- 3) de ontwikkeling van een indicator (m.n. in melk) om het niveau van methaanemissie op een melkveebedrijf te schatten of te volgen.

Het voorliggende programmavoorstel betreft uitsluitend onderdeel 1 van het programma 'Innovatieprogramma Emissiearm Veevoer'. Dit programmaonderdeel 1 heeft tot doel om de effectiviteit van voermaatregelen te onderbouwen, alvorens deze te implementeren in de praktijk. Een rapport van de Animal Sciences Group van Wageningen UR diende hierbij als uitgangspunt. Deze literatuurstudie van Tammenga *et al.* (2007) werd in opdracht van Agentschap-NL (voorheen SenterNovem) verricht, en verkent de voedingsmaatregelen die in aanmerking komen om de methaanvorming uit rundvee te reduceren. De bevindingen vormden de basis voor deze programmeringstudie voor toekomstig onderzoek aan methaanemissie door herkauwers.

Er wordt in programmaonderdeel 1 aandacht geschonken aan:

- 1) experimenteel voedingsonderzoek om de benodigde meetgegevens te verzamelen
- 2) modelmatig onderzoek om het effect van de methaanreducerende voedingsmaatregelen weer te even
- 3) modelmatig onderzoek om de effectiviteit onder uiteenlopende productieomstandigheden te kwantificeren
- 4) het in kaart brengen van afwenteling van een verlaagde methaanaanemissie naar overige broeikasgassen en andere milieueffecten
- 5) afstemming en uitwisseling van onderzoeksgegevens met het praktijkprogrammaonderdeel 2.

Samenvatting

Methaan, gevormd door spijsvertering van voer in het maagdarmkanaal van herkauwers, is een belangrijke bron van broeikasgassen in de landbouw. De hoeveelheid methaan die vrijkomt uit een koe is vooral afhankelijk van de samenstelling van het rantsoen. Veel onderzoek naar de mogelijkheden en doeltreffendheid van rantsoenaanpassingen om methaanuitstoot te verminderen is uitgevoerd in het laboratorium. Vaak is er veel minder bekend over de effectiviteit, persistentie van effect en toepassing in het dier zelf. Aanvullend onderzoek is nodig voor het onderbouwen van de effectiviteit van voermaatregelen om methaanemissie door herkauwers te verminderen. De mogelijkheden om via voedingsmaatregelen methaanemissie te reduceren zijn recent beschreven door Tamminga *et al.* (2007) in opdracht van AgentschapNL (voorheen SenterNovem). Op basis van de aanbevelingen in deze studie wordt onderzoek voorgesteld voor de volgende aspecten voor onderdeel 1 van het 'Innovatieprogramma Emissiearm Veevoer':

<u>Aspect</u>	Onderzoekskosten MEuro, excl. BTW	Effectiviteit % reductie per eenheid dierlijk product
1. Invloed graslandmanagement en eigenschappen gras	1,583	5%
2. Aanpassing van hoeveelheid en aard zetmeelbronnen in de melkveevoeding	0,652	5-15%
3. Alterneren van verschillende CH ₄ -inhiberende stoffen	0,179	5-10%
4. Interacties & additiviteit van verschillende maatregelen	0,323	5-20%
5. Modelleren invloed alle voedingsmaatregelen (incl. modelleren effect CH ₄ -inhiberende stoffen & procestechnologie)	0,400	
Ontwikkelen gebruikersinterface	0,400	
6. Inbreng gegevens voor afwentelingeffecten & vertaling naar andere herkauwersoorten (m.n. schaap)	0,163	
7. Programma-coördinatie	0,300	
	<hr/>	
	Totaal	4,000 MEuro, excl. BTW

De achtergronden van het werkingsmechanisme van maatregelen zijn beschreven. Op basis daarvan zijn criteria opgesteld waaraan de uitvoering van dit onderzoek moet voldoen om tot een onderbouwing te komen die breed geaccepteerd kan worden door veehouders, beleidsmedewerkers, en internationale organisaties en onderzoeksgroepen. Hierbij is aandacht geschonken aan de onderzoeksaanpak, de opzet van goed gecontroleerde dierexperimenten en de te hanteren methoden om methaanemissie te kwantificeren en de effectiviteit onder uiteenlopende productieomstandigheden te voorspellen. Het voorstel is om *state of the art* technieken en methoden te gebruiken.

Bij de uitwerking van de programmaonderdelen waarin sprake is van experimenteel onderzoek komen drie aspecten aan bod: 1) het vaststellen van de effectiviteit van een maatregel in klimaatrespiratiekamers als gouden standaard voor het meten van methaanemissie en de energiehuishouding van dieren, 2) meting van de effectiviteit en werkingsmechanisme in de pens met pensgefistuleerde dieren, en 3) kwantificering van effecten met behulp van een mechanistisch pensmodel dat de onderliggende mechanismen beschrijft (t.b.v. modevaluatie, modelontwikkeling en

vertaling van uitkomsten naar andere productieomstandigheden). Bij alle experimentele onderdelen in dit programmavoorstel is het gebruik van klimaatrespiratiekamers voorgesteld, evenals een modelmatige aanpak. Een meer gerichte inzet is gepland van de overige experimentele metingen (pensfermentatie-onderzoek, afbraakeigenschappen vaststellen door incubatie in nylon zakjes in de pens, vaststellen van effect op voeropname d.m.v. voederproeven). Alleen op deze wijze kon de begroting binnen het hierboven gestelde budget blijven.

Naast experimenteel onderzoek maakt ook desk-studie naar de effectiviteit op bedrijfsschaal deel uit van het programma. Daarin worden gegevens aangereikt zodat in nauwe afstemming met onderdeel 2 van het 'Innovatieprogramma Emissiearm Veevoer' de mogelijke afwenteling wordt onderzocht van methaanreductie uit de koe op oveige emissies van methaan (m.n. mest) en op emissies van lachgas en ammoniak.

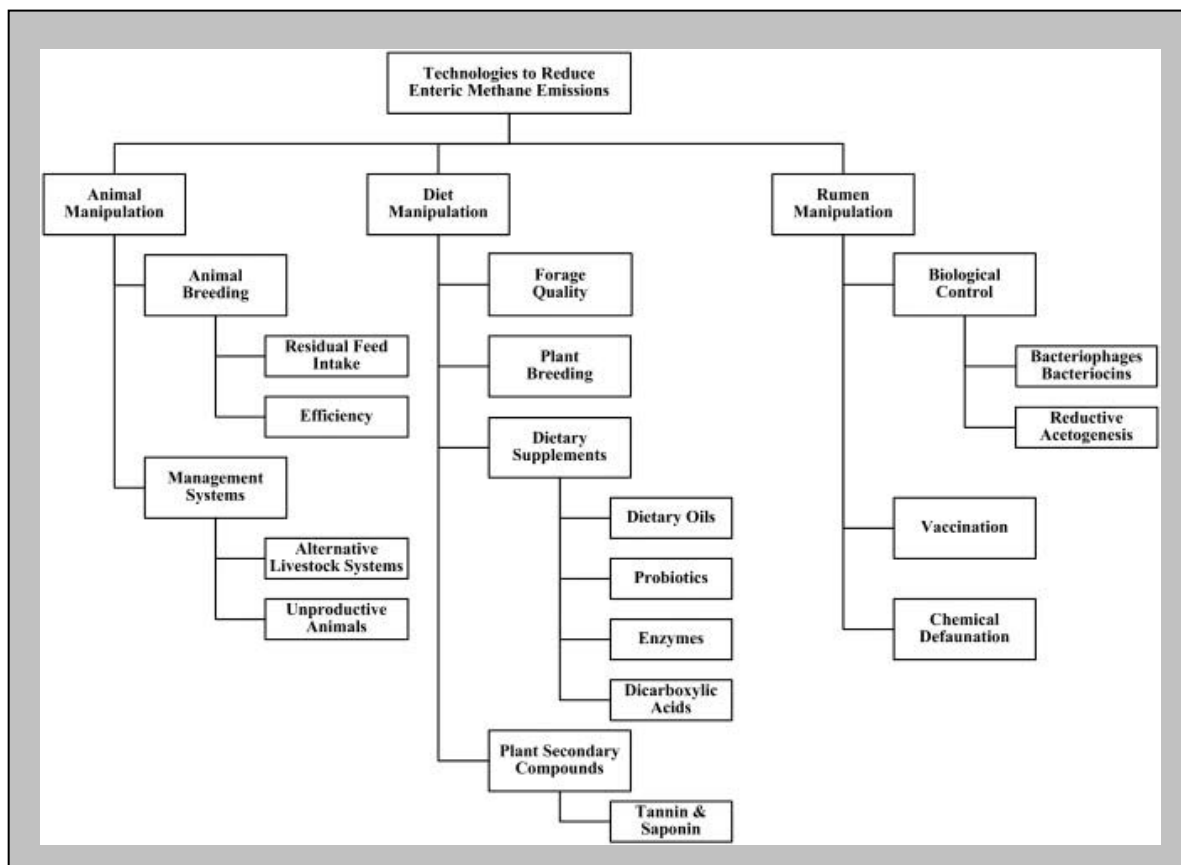
Inleiding

Methanogenen in de pens en de dikke darm van melkvee zijn verantwoordelijk voor de vorming van aanzienlijke hoeveelheden methaan (bij Nederlands melkvee gaat ongeveer 6% van de bruto energieopname met voer verloren in de vorm van methaan, CH₄). Een reductie van de CH₄-vorming gaat mogelijk gepaard met een groter energieaanbod aan de melkkoe. Aan de andere kant is de CH₄-vorming door methanogenen juist noodzakelijk omdat de bij fermentatie gevormde waterstof een negatieve (remmende) uitwerking kan hebben op vooral de micro-organismen die celwandmateriaal afbreken. De methanogenen gebruiken waterstof als substraat om te groeien en produceren daarbij eveneens CH₄ als eindproduct. De activiteit van de methanogenen verzekert dat de hoeveelheid waterstof in het pens- en dikke darmmilieu laag blijft en de pensfermentatie niet geremd wordt.

Micro-organismen in de pens fermenteren voersubstraat en daarbij wordt naast microbiële massa eveneens vluchtige vetzuren en waterstof gevormd. De hoeveelheid en het type substraat bepaalt sterk welke hoeveelheden en type vluchtige vetzuren er ontstaan en, als gevolg daarvan, welke hoeveelheid waterstof er ontstaat. Dit betekent dat voedingsfactoren een grote invloed hebben op de vorming van waterstof en CH₄. Het ligt dan ook voor de hand om via de voeding de CH₄-vorming in melkvee te reduceren zonder een negatief effect op de voeropname, vertering van het rantsoen en dierlijke productie.

Naast voedingsmaatregelen kunnen ook andere maatregelen worden getroffen om op meer indirecte wijze eveneens een verlaging van de CH₄-emissie te realiseren. Dit betreft een scala aan factoren die al algemeen bekend zijn uit onderzoek naar de optimalisering van het dier- en bedrijfsmanagement en de gevolgen daarvan op de kosteneffectiviteit van maatregelen en op andere aspecten van het milieu dan CH₄. Te denken valt bijvoorbeeld aan maatregelen om de productiviteit van het melkvee te verhogen (via fokkerij en aangepaste voeding tot een hogere voeropname en melkproductie per koe) en een aangepaste opfok van jongvee (minder jongvee aanhouden). Beide maatregelen werden de afgelopen decennia al toegepast (als reactie op mestbeleid) en hebben geleid tot een stijging van de melkproductie per koe en minder jongvee per melkkoe. In hoeverre deze stijging aanhoudt hangt vooral af van de kosteneffectiviteit en de optimalisering van het bedrijfsmanagement. Dergelijke factoren hangen dus samen met aspecten van dier- en bedrijfsmanagement waarbij vermindering van CH₄-emissie niet zozeer het doel zal zijn van de maatregel, maar waarbij het 'meeloopt' met keuzes in het management. Dit betekent dat veel van deze maatregelen al genomen zijn, of momenteel genomen worden als autonome ontwikkeling binnen de veehouderij. De via deze factoren bereikte afname in de CH₄-emissie is dan ook te beschouwen als een soort van autonoom bereikte reductie van CH₄-emissie per eenheid geproduceerde melk. De effectiviteit van deze maatregelen op de bereikte verlaging van de CH₄-emissie is eenvoudig te herleiden door middel van berekeningen op basis van productie- en bedrijfsgegevens analoog aan de berekeningen in het BEX-instrument voor berekening van de bedrijfsspecifieke excretie van stikstof en fosfor.

Aanvullende voedingsmaatregelen richten zich op een extra reductie van CH₄-emissie t.o.v. deze autonome daling als resultaat van wijzigingen in bedrijfsmanagement. Voor deze voedingsmaatregelen is onvoldoende bekend wat het CH₄-reducerend effect is en hoe deze ingerekend moeten worden bij wisselende productieomstandigheden. In tegenstelling tot de zichtbare effecten van de bovengenoemde managementmaatregelen op dierprestaties en het daarbij te verwachten effect op CH₄, zijn de effecten van voedingsmaatregelen onvoldoende bekend en kunnen op dit moment niet (of met te veel onzekerheid) berekend worden. Uiteenlopende voedingsfactoren zijn mogelijk om de CH₄-emissie te verlagen. Onderstaande figuur, ontleend aan een recente review van CH₄-verlagende maatregelen door Eckhard et al. (2010), geeft een samenvatting van deze voedingsfactoren, naast enkele algemene dier- en bedrijfsmanagementfactoren. In dit programmavoorstel komen de meeste van deze voedingsfactoren aan bod.



Figuur ontleend aan Eckhard et al. (2010) met een samenvatting van maatregelen die de CH₄-emissie in herkauwers beïnvloeden.

Methaan belangrijke bijdrage aan broeikasgasemissies landbouw

De directe methaanemissie van vee vertoont een dalende trend in het afgelopen decennium (1990-2005). De tabel geeft een overzicht van de methaanproductie uit enterische fermentatie, overige methaan uit de landbouw, stikstofdioxide uit de landbouw, en het totaal van broeikasgassen, uitgedrukt in eq. CO₂ (Gg) en als % van totaal CO₂ eq in dat jaar in 1990, 1995, 2000 en 2005 (MNP National Inventory Report 2007, Brandes *et al.*, 2007).

	1990	1995	2000	2005
CH ₄ enterische fermentatie	7 525 (3.5%)	7 306 (3.2%)	6 411 (3.0%)	6 345 (3.0%)
CH ₄ landbouw overig	2 969 (1.4%)	3 040 (1.3%)	2 672 (1.2%)	2 459 (1.1%)
N ₂ O landbouw totaal	11 486 (5.3%)	12 648 (5.6%)	10 701 (4.9%)	9 368 (4.4%)
Totaal broeikasgassen	215 355 (100%)	227 271 (100%)	216 850 (100%)	214 475 (100%)

Literatuurstudie in opdracht van Agentschap-NL (voorheen SenterNovem)

In opdracht van Agentschap-NL (voorheen SenterNovem) voerden Tamminga *et al.* (2007) eind 2006 een literatuurstudie uit naar de mogelijkheden om via een aangepaste voeding de CH₄-emissie door herkauwer te reduceren. De auteurs van dit programmavoorstel zijn uitgenodigd om de belangrijkste bevindingen uit deze studie te publiceren in het gerenommeerde wetenschappelijk tijdschrift *Nutrition Research Reviews*. In het onderzoek kwamen de volgende aspecten aan bod:

- 1) het effect van het niveau van voeropname en melkproductie,
- 2) het effect van aanpassingen in het rantsoen of in het voedingsmanagement van herkauwers (met name rundvee),
- 3) het effect van veranderingen in de chemische samenstelling van het rantsoen,
- 4) het effect van chemische bestanddelen met een specifiek CH₄-inhiberende invloed (selectieve beïnvloeding van de microbiële activiteit en/of methanogenese in de pens),
- 5) kwantitatieve (modelmatige) weergave van de interactie tussen uiteenlopende voedingsfactoren bij het voorspellen van de invloed van voeding op CH₄-vorming.

Aanbevelingen Tamminga *et al.* (2007)

De studie diende tevens als overzicht van recente literatuur op het gebied van CH₄-vorming in herkauwers en de huidige ontwikkeling bij verschillende internationale onderzoekscentra op het terrein van CH₄-emissie door rundvee. De aanbeveling werd gedaan om, in volgorde van prioriteit, de volgende onderwerpen nader te onderzoeken:

- 1) het verteringsgedrag van zetmelen (snijmaïs, krachtvoerders) in het maagdarmkanaal van melkvee,
- 2) de effectiviteit, interacties en additiviteit van verschillende CH₄-reductiemethoden,
- 3) de effectiviteit van het afwisselen van verschillende CH₄-reductiemethoden (vetten, methaan inhiberende stoffen, etc.) gedurende de lactatie (switch-over strategie),
- 4) een vergelijking van verteerbaarheidskarakteristieken tussen en binnen ruwvoerders (vers gras, grassilage, snijmaïssilage, gehele-planten-silage),
- 5) het monitoren van pensfermentatie, inclusief vetzuursamenstelling (m.n. de oneven- en vertakteketen vetzuren) van melk, in combinatie met en als onderdeel van 1), 2), 3) en 4),
- 6) het onderscheiden van de enterische CH₄-verliezen van CH₄-verliezen uit mest gedurende de opslag van mest
- 7) de scenario's van uitruil en afwenteling van broeikasgas emissies,
- 8) de invloed van tannines in ruwvoer, en
- 9) de invloed van jongveeopfokstrategieën.

Kwantitatieve methoden voor implementatie maatregelen (voorspelling CH₄)

Uit de dekstudie van Tamminga *et al.* (2007) werd geconcludeerd dat de veel gebruikte empirische modellen (regressievergelijkingen) niet goed de effecten van interventies via de voeding op de emissie van broeikasgassen kunnen schatten. Dit blijkt eveneens uit studies waarbij de prestaties van empirische en dynamisch mechanistische modellen direct met elkaar werden vergeleken (bijv. Kebreab *et al.*, 2006a, b). Recent evalueerden Ellis *et al.* (2010) empirische vergelijkingen die toegepast worden in modellen die de totale broeikasgasuitstoot op een melkveebedrijf voorspellen. Ook hier bleek de voorspelkracht van empirische modellen gering. Toepassing van deze modellen in modellen van het gehele melkveebedrijf kan tot onjuiste adviezen voor broeikasgasvermindering leiden. Om die reden verdient het aanbeveling om te werken met dynamische mechanistische modellen die in staat zijn de uiteenlopende gevolgen van deze interventies te

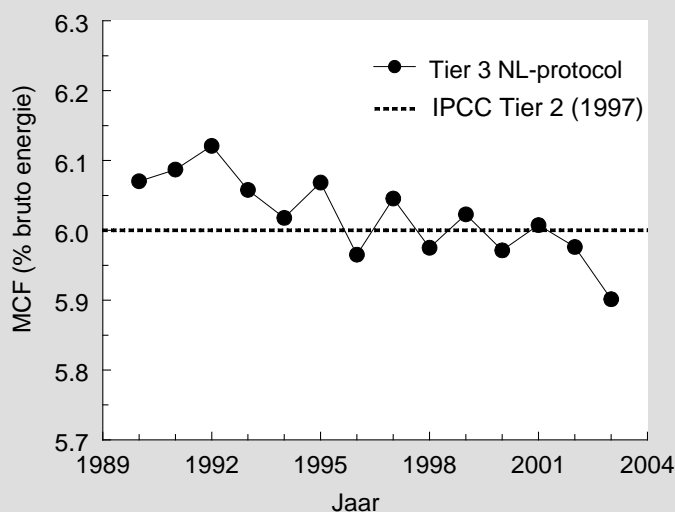
reproducen, en om interacties tussen voerfactoren en diverse gevolgen te voorspellen.

De afgelopen jaren hebben de auteurs gewerkt aan de verdere ontwikkeling van een dynamisch mechanistisch model binnen het BO5-onderzoek (Bannink & Dijkstra, 2005, 2006, 2007; Bannink *et al.*, 2007) en KB2-onderzoek (Bannink *et al.*, 2005, 2006b; Dijkstra *et al.*, 2007). De wetenschappelijke onderbouwing van deze modellen is dus reeds in diverse publicaties vastgelegd. Daarbij wordt intensief samengewerkt met buitenlandse onderzoeksgroepen (Dijkstra *et al.*, 1992, 2007; Mills *et al.*, 2001; Kebreab *et al.*, 2006a; Bannink *et al.*, 2005, 2006, 2007). Het model is bovendien verder ontwikkeld voor andere doeleinden, waaronder: 1. de voorspelling van mestkwaliteit (hoeveelheid en samenstelling van feces en urine; Reijs, 2007), 2. de voorspelling van de invloed van vet, en verzadigde en onverzadigde langketen vetzuren op de microbiële activiteit in de pens (Dijkstra *et al.*, 2000), en 3. de voorspelling van de invloed van het patroon van voeropname (en van maaltijden die verschillen in samenstelling) op pensfermentatie (Bannink & Dijkstra, 2007).

Het resultaat is dat het model niet uitsluitend een theoretisch model is dat binnen onderzoek wordt toegepast, maar dat het ook inzetbaar is voor het beantwoorden van vragen uit de praktijk. Momenteel worden deze modellen ingezet in praktijkprojecten (o.a. project Koeien & Kansen; Bannink *et al.*, 2005, 2007) en voor de berekening van de nationale CH₄-emissie door melkvee ten behoeve van de Emissieregistratie door het Planbureau Natuur & Leefomgeving.

NL-specifieke versus IPCC-schatting van methaanuitstoot

Er zijn allerlei empirische modellen om de methaanuitstoot door melkvee te schatten. Deze empirische modellen worden ook, op bedrijfsniveau, ingezet om diverse strategieën te beoordelen. Dit kan aanleiding geven tot onjuiste conclusies. Een voorbeeld is het veelgebruikte Tier 2 in het door IPCC opgetelde protocol voor de landelijke emissieregistratie. Dit model schat de methaanuitstoot als een vaste Methaan Conversie Factor (MCF) van 6% van de bruto-energieopname per dag. De methaanuitstoot van bijvoorbeeld vet en zetmeel is echter veel lager dan deze 6%, omdat vet niet en zetmeel slechts deels, en dan nog tot relatief veel propionzuur, wordt gefermenteerd. Deze 6% is dus niet altijd toepasbaar. Voor de jaarlijkse emissieregistratie maakt de Nederlandse overheid gebruik van Tier 3 door gebruik van een mechanistisch model voor pensfermentatie dat nauwkeuriger de methaanemissie door melkvee inschat. Met dit model berekenden Dijkstra *et al.* (2006) de ontwikkeling in methaanuitstoot in de periode 1990-2003, gebaseerd op gemiddelde voeropname en voersamenstelling in die jaren. Uit de figuur hieronder blijkt dat met dit model de methaanuitstoot per eenheid bruto energie met ca 3% daalde (van 6.1% naar 5.9% van bruto-energie). De absolute hoeveelheid methaan (per koe) steeg wel, maar dit was het gevolg van een hogere voeropname. Het model voorspelde een toename van 1.21 kg methaan per koe per jaar, terwijl de Tier 2 methode volgens het IPCC een 20% hogere stijging voorspelde van 1.45 kg methaan per koe per jaar.



State-of the-art sinds review Tamminga et al. (2007)

Het is niet mogelijk om in het korte tijdsbestek waarin dit voorstel opgesteld diende te worden een uitgebreid, volledig overzicht van de ontwikkelingen te geven. Een aantal belangrijke recente bevindingen worden hierna besproken.

In een recent verschenen review van Beauchemin et al. (2008) komen de meeste aspecten rondom CH₄-verlagende voedingsmaatregelen aan bod. Zij concluderen dat een hoger aandeel graan in het rantsoen, het gebruik van ionophoren (zoals monensin) en het toevoegen van vet met een hoge waarschijnlijkheid de CH₄-emissie zal doen dalen. Een verbeterd graslandmanagement en het vervanging van grassilage door maissilage is ook in potentie veelbelovend, maar volgens deze studie is er nog onvoldoende onderzoek naar gedaan om uitsluitsel te kunnen geven. Onderzoek naar lange termijn effecten van rantsoenwijzingen op CH₄ ontbreekt vrijwel geheel.

Een andere review van Patra en Saxena (2009) was specifiek gericht op de CH₄-verlagende uitwerking van saponinen. Uit deze review valt op te maken dat de effecten van saponinen in vivo variabel zijn (er werd vaker geen dan wel een effect op CH₄ gemeten). Zij benadrukken dat er adaptatie van micro-organismen optreedt bij langdurige toediening van dit type stoffen. Dit betekent dat effecten van CH₄-verlagende stoffen juist voor een lange termijn getest moeten worden, terwijl Beauchemin et al. (2008) vaststelden dat dit type studies vrijwel geheel ontbreken.

CH₄-remmende stoffen

In recente jaren zijn verschillende stoffen in vivo onderzocht op hun CH₄-verlagend vermogen. In een studie van Holtshausen et al. (2009) werden saponinhoudende extracten van *Yucca schidigera* en *Quillaja saponaria* toegevoegd wat de CH₄-productie in vitro verminderde (lineair effect van dose-respons proef). Deze reductie werd vooral veroorzaakt door lagere afbraak en fermentatie van organische stof. Echter, wanneer de saponinen in vivo werden gevoerd aan melkvee was er geen CH₄-verlaging. Geconcludeerd werd dat saponinen een onaantrekkelijke mitigatiemaatregel zijn vanwege lagere efficiëntie melkproductie en lagere vertering van voer.

In een studie van Grainger et al. (2009) gaf toevoeging van 'condensed' tannines van *Acacia mearnsii* een daling van CH₄ tot 30%, maar tegelijkertijd daalde de melkvet- en melkeiwitproductie met 19 en 7%. De dosis tannines was duidelijk te hoog om van praktisch nut te zijn.

In de Wageningse respiratiekamers zijn recent diverse proeven gedaan in een samenwerkingsproject van Provimi, Alimetrics en WU (Van Zijderveld et al., 2009). De toevoeging van een knoflookextract, van yucca extract, en van calcium fumarate (elk afzonderlijk) op de CH₄-productie werd in vivo getest met melkvee. Alhoewel al deze toevoegmiddelen in vitro een bewezen CH₄-verlagend effect hadden, was er in vivo geen effect (CH₄ per kg melk tussen de 14.5 en 15.1 g; P=0.935). In een andere proef werd de toevoeging van een hogere dosis knoflookextract, een mengsel van C8 en C10 vetzuren, en geextrudeerd lijnzaad getest, en opnieuw was er geen effect op CH₄-productie (14.4 tot 16.3 g CH₄/kg melk; P 0.74). Belangrijk hierbij is dat in tegenstelling tot de meeste andere in vivo proeven de voeropname tussen alle behandelingen gelijk werd gehouden. In andere proeven die gerapporteerd worden in de literatuur is de waargenomen CH₄-verlaging vaak gerelateerd aan een daling van de voeropname. Hierdoor kan het effect het gebruikte toevoegmiddel niet meer onderscheiden worden van een sterk effect van voeropname.

Patra et al. (2009) vonden in schapen, als respons op toevoeging van knoflook, een daling van CH₄ per eenheid verteerde voer droge stof, maar geen daling wanneer uitgedrukt als absolute hoeveelheid CH₄ of als CH₄ per eenheid opgenomen bruto energie. Toevoeging van knoflook verhoogde de droge

stofopname van 0.59 kg DS/d naar 0.78 kg droge stof/d en de NDF vertering van 37.5% naar 47.4%, wat overigens een tamelijk opmerkelijke uitkomst is.

De theoretische rol van nitraat (Morgavi et al., 2010) werd recent door Van Zijderveld et al. (2010a, 2010b) in vivo getest in melkvee. Deze studies tonen enerzijds aan dat nitraat op effectieve wijze waterstof laat verdwijnen en daarmee CH₄ verlaagd. Tevens werd aangetoond dat deze effecten persistent van aard zijn, wat conform de theorie is rondom het werkingsmechanisme voor waterstofverbruik bij de omzetting van nitraat in de pens.

Naast voorgaande stoffen met een potentiële CH₄-remmende uitwerking, zijn ook recent resultaten gepubliceerd van het effect van oliën op de CH₄-vorming. Martin et al. (2008) en Chilliard et al. (2009) testten diverse lijnzaadtoevoegingen en CH₄ werd gemeten met de SF₆ methode (merkgas aan de hand waarvan op indirecte wijze de CH₄-emissie bepaald kan worden). De resultaten gaven een spectaculaire daling van de CH₄-productie aan. Ten opzichte van de controlebehandeling zonder toevoeging van lijnzaad was de daling van CH₄ (in g/d) 12% voor intact lijnzaad, 38% voor geëxtrudeerd lijnzaad, en 64% voor lijnzaadolie. Er werden wel problemen met de SF₆ methode gerapporteerd (verontreiniging van de vacuum tubes waarin gas wordt verzameld). Ook bleek de voeropname sterk te dalen (tussen 3 en 5 kg/d) evenals de NDF-vertering (van 47.5% op controlebehandeling tot 42.2% op de behandeling met lijnzaadolie). De diverse vormen van lijnzaad resulteerden dus wel in CH₄-vermindering, maar er kleven forse praktische problemen aan vanwege een daling van voeropname, vertering en melkproductie. Ten slotte werd ook het melkvetzuurprofiel geanalyseerd (*relevant in verband met de ontwikkeling van een indicator voor CH₄ in onderdeel 3 van het "Innovatieprogramma Emissiearm Veevoer"*). Vanzelfsprekend werd binnen dit experiment een goede relatie tussen het melkvetzuurprofiel en de CH₄-productie gevonden. De gevonden relaties zijn echter met zekerheid niet overdraagbaar naar praktijksituaties en als een generieke voorspellingsmethode onbruikbaar.

Ook Beauchemin et al. (2009) testten het effect van een toevoeging van 9% geplet lijnzaad. Dit had een 18% daling van de CH₄-productie tot gevolg, maar uitgedrukt per eenheid verteerde voer droge stof was er geen daling van de CH₄-productie. Dit betekent dat het CH₄-verlagende effect volledig kan worden toegeschreven aan een verlaagde vertering bij lijnzaadtoevoeging.

Grainger et al. (2008) voegden geheel katoenzaad toe aan een rantsoen van melkvee. Dit gaf een 12% verlaging van de CH₄-productie (indirecte meting met SF₆ als merkgas). De voeropname was 2.7 kg DS/d hoger bij toevoeging van katoenzaad en de CH₄-productie daalde van 453 naar 399 g/d. Dergelijke CH₄-producties (33 g/kg voer droge stof, wat ca. 10% van de opgenomen bruto energie is) zijn beide echter onwaarschijnlijk hoog en is mogelijk een gevolg van de gebruikte meettechniek (SF₆).

Ten slotte, zijn ook belangrijke nieuwe inzichten beschikbaar gekomen voor het effect van ionophoren op de methanogenese in de pens. Het CH₄-verlagende effect van monensin is al geruime tijd bekend. Recent vonden ook Odongo et al. (2007) opnieuw een significante en persistente daling (6-maanden durend experiment) van de CH₄-productie wanneer Monensin werd verstrekt. Naast de CH₄-productie werden door Hook et al. (2009) ook de methanogene populaties in de pens bepaald met qPCR en DGGE technieken. Hoewel de CH₄-productie significant lager was, bleek de hoeveelheid en de diversiteit van de methanogenen echter niet beïnvloed door de toevoeging van monensin. Dit duidt er op dat een kwantificering van de aanwezige populaties methanogenen niet noodzakelijkerwijs iets zegt over de CH₄-vorming die optreedt. De precieze achtergronden van het uitblijven van een relatie tussen grootte van de aanwezige populaties methanogenen en de CH₄-productie zijn onduidelijk. Vergelijkbare resultaten werden gepresenteerd door Morgavi et al. (2010) die wel een positieve correlatie vonden tussen de gemeten CH₄-emissie en de aanwezigheid van protozoën (protozoën van invloed op

aanwezigheid van methanogenen), maar de relatie was zeer variabel en sterk afhankelijk van het betreffende experiment.

Uit deze bevindingen valt te concluderen dat vooral een meting van de activiteit van de methanogene populaties, maar niet het aantal of de diversiteit van methanogenen, relevant is om te onderzoeken wanneer het doel is om het CH₄-verlagende effect van een voedingsmaatregel aan te tonen.

Genetische achtergronden van verschillen in CH₄-vorming

Naast CH₄-remmende stoffen wordt dikwijls geopperd dat via genetische weg de CH₄-productie verlaagd kan worden door gebruik te maken van de genetische achtergronden van de verschillen tussen individuele dieren of tussen verschillende runderrassen in CH₄-productie per eenheid verteerd voer. Het is echter vooralsnog onduidelijk in hoeverre deze verschillen daadwerkelijk toegeschreven kunnen worden aan de activiteit van de methanogenen in de pens, of juist aan verschillen in het functioneren van de pens en verschillen in vertering. Munger & Kreuzer (2008) vergeleken de rasverschillen in CH₄-productie. De CH₄-productie werd meerdere malen gedurende lactatie gemeten bij Holstein, Jersey en Simmental melkkoeien in respiratiekamers. Er bleken geen rasverschillen te zijn in CH₄-productie (25, 26 en 25 g CH₄/kg droge stofopname). Ook was er geen indicatie van individuele koeien met een persistent lagere of hogere CH₄-productie. Op basis hiervan werd geconcludeerd dat genetische effect op de CH₄-emissie minimaal was.

Ruwvoer

De laatste jaren zijn enkele Britse studies gerapporteerd waaruit een lagere CH₄-productie werd gemeten bij het voeren van maissilage vergeleken met grassilage (McCourt et al., 2007). De laagste CH₄-productie werd verkregen met het voeren van gehele plantsilage van tarwe. Uit dit type studies blijkt dat de verschillen tussen ruwvoerders veroorzaakt worden door een verschillende samenstelling van de koolhydraatfractie (suikers, zetmeel, NDF), maar ook dat de snelheid waarmee deze fracties in de pens fermenteren een belangrijke rol kan spelen. Dit komt overeen met de concepten in het dynamisch, mechanistische model dat momenteel als Tier 3 methode wordt gebruikt in het protocol voor de Nederlandse emissieregistratie van broeikasgassen.

Recent werd door Bannink (2010) de simulatieresultaten van Bannink et al. (2010) vergeleken met enkele in de literatuur gerapporteerde effecten van gras op CH₄-productie. Nagenoeg alle gerapporteerde meetgegevens betroffen een indirecte metingen van CH₄ met behulp van SF₆ als merkgas. Dikwijls worden geen significante verschillen gerapporteerd in de literatuur, waarschijnlijk vanwege de gebruikte indirecte meetmethode met behulp van SF₆. De numerieke uitkomsten vertoonden een redelijke gelijkenis met de verwachting op basis van de modelsimulaties van Bannink et al. (2010), vooral wat betreft de richting van verschillen in CH₄-productie voor uiteenlopende typen gras. Harde uitspraken zijn echter niet mogelijk omdat meetgegevens met het juiste doelvoer (grasland onder Nederlandse omstandigheden) en het juiste doeldier (lacterend hoogproductie melkvee) ontbreken.

Beperking huidige experimentele resultaten in de literatuur

Een laatste belangrijke constatering is dat grote claims op een CH₄-reducerend effect van een maatregel dikwijls gebaseerd zijn op hoofdzakelijk *in vitro* studies (CH₄-vorming in uit de pens geïsoleerd pensvocht in een labopstelling). De ontwikkeling van de microbiële populatie in een labopstelling kan echter afwijken van die in de pens van een koe. De veel minder voorkomende *in vivo* studies met herkauwers die gerapporteerd zijn in de literatuur, zijn meestal over een korte periode uitgevoerd.

Ook blijkt er onvoldoende kennis te zijn op het gebied van het verteringsgedrag van voerdeeltjes in het maagdarmkanaal. Er zijn onduidelijkheden

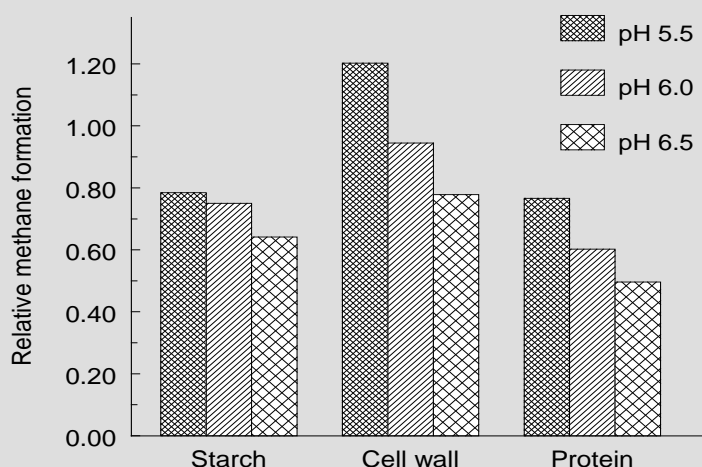
rondom de plaats van vertering en het profiel van de gevormde vluchtige vetzuren (wat een sterk bepalende factor is voor de daarbij optredende CH₄-vorming).

Onderzoek is wenselijk, met name voor wat betreft de verschillende zetmeelbronnen in het rantsoen van herkauwers en de gevolgen daarvan voor CH₄-emissie. De aanpassing van ruwvoerders (ruwvoermanagement) biedt mogelijk perspectief, maar ook hier is nog veel onderzoek nodig. Te denken valt aan de verschillen in de bijdrage aan CH₄-emissie door vers gras en graskuil van verschillende kwaliteiten (bemestingsregime, groeistadium waarin geoogst).

Specifieke bestanddelen, zoals bijv. CH₄-inhiberende stoffen, beïnvloeden mede het verteringsproces. Het is belangrijk om deze effecten mee te nemen bij de evaluatie van het werkingsmechanisme en de effectiviteit om CH₄-emissie te reduceren.

Ruwvoermanagement voor betere N efficiëntie mogelijk negatief voor methaanuitstoot

Verskillende milieudoelstellingen in de melkveehouderijsector kunnen tegengesteld zijn aan elkaar. In de afgelopen jaren zijn de veehouders aanzienlijk minder kunstmest gaan gebruiken en is er een tendens om het gras in een wat ouder groeistadium te maaien. Dit geeft een kwaliteit ruwvoer die gekarakteriseerd wordt door een lager ruw eiwitgehalte en een hoger koolhydraatgehalte (suikers, vezels). De fermentatie van suikers en van vezels (geanalyseerd als NDF) gaat echter gepaard met een hogere methaanproductie dan de fermentatie van eiwit. De figuur hieronder illustreert dit. Het betreft de uitkomst van een wiskundige afleiding gebaseerd op stoichiometrische principes en gerapporteerde meetgegevens voor pensfermentatie in melkgevende koeien. De wiskundige afleiding maakt onderdeel uit van het model dat momenteel gebruikt wordt voor de schatting van de methaanuitstoot door de Nederlandse melkveestapel in de emissieregistratie. Verlaging van eiwitgehalte van ruwvoer door een lagere bemesting is effectief om de N-verliezen te beperken, maar kan tegelijkertijd de methaanuitstoot van koeien juist vergroten omdat de koe meer fermenteerbare suikers en vezels consumeert die beide een hogere methaanvorming geven dan fermenteerbaar eiwit. Het oogsten van gras in een ouder groeistadium is eveneens effectief om het eiwitgehalte te verlagen. Vergelijkbare effecten op de methaanvorming zijn dan denkbaar. Daar staat echter weer tegenover dat de vezelfractie minder fermenteerbaar zal worden wat minder methaan oplevert, terwijl het tegelijkertijd de koe minder energie zal opleveren en de melkproductie zal drukken. De relaties zijn dus complex. Op dit moment zijn er vrijwel geen *in vivo* meetgegevens over de relatie tussen graskwaliteit en methaanuitstoot.

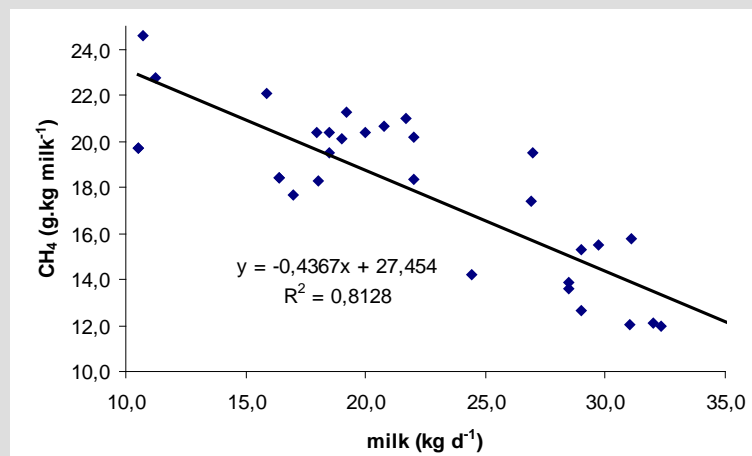


De methaanvorming uit zetmeel, vezels (NDF) en eiwit (alle in g CH₄/g in de pens gefermenteerd materiaal) ten opzichte van methaanvorming uit suiker. Een relatieve waarde van 1 geeft aan dat de methaanvorming van dat substraat gelijk is aan die uit suikers. Data van Bannink *et al.* (2006a,b).

NB alle waarden zijn uitgedrukt *relatief* ten opzichte van suiker. Omdat bij lagere pH waarden suiker (in absolute eenheden) minder methaan geeft, daalt ook (in absolute eenheden) de methaanuitstoot van de andere componenten. De figuur geeft aan dat onder alle fysiologische pH waarden de fermentatie van eiwit en zetmeel minder methaanproductie geeft dan de fermentatie van suiker, terwijl voor NDF het omslagpunt rond pH 6 ligt.

Methaanverliezen zijn lager bij hogere melkproductie

Een toename in de jaarlijkse voeropname en melkproductie per koe geeft een toename in fermentatie van nutriënten in de pens en in methaanproductie. Daarmee is het niveau van melkproductie altijd een belangrijke verklarende factor in de methaanuitstoot door een melkkoe. Globaal geldt echter dat hoe hoger de melkproductie per dier is, hoe lager de methaanuitstoot per eenheid geproduceerde melk. Tamminga *et al.* (2007) relateerden methaanproductie van melkvee aan het niveau van melkproductie gebaseerd op recent onderzoek, bij een ruime variatie in melkproductie (10 tot 40 kg melk/d). Recente data uit Wageningen (Van Knegsel *et al.* 2007) in het lagere traject van methaanemissies per kg melk (niet meegenomen in de figuur) bevestigen de relatie. Desondanks blijft er een forse variatie bestaan tussen verschillende rantsoenen bij dezelfde melkproductie. Dat betekent dat er potentieel nog veel mogelijkheden zijn om de methaanuitstoot via voeding verder te verminderen.



Benodigde experimentele resultaten / onderzoeksaanpak

Voor een degelijke onderbouwing van uitspraken over de toepasbaarheid en de effectiviteit van voedingsmaatregelen onder praktijkomstandigheden is onderzoek nodig dat idealiter voldoet aan de volgende criteria:

- 1) Een juist gekozen proefopzet, volledig bepaald door de vraagstelling.
- 2) Toetsing in het doeldier en over een meetperiode die aansluit bij de periode waarvoor effectiviteit onderbouwd moet worden (langdurende *in vivo* experimenten).
- 3) Een nauwkeurige meetmethode voor CH₄, wat betekent een meting in klimaatrespiratiekamers als gouden standaard. ¹ Daarbij heeft het de voorkeur om pensgefistuleerde dieren in te zetten in de experimenten in respiratiekamers, zodat meetgegevens over de fermentatie gekoppeld kunnen worden aan CH₄-uitstoot. Effecten op voeropname (eventueel ook met pensgefistuleerde dieren om ook bij deze experimenten metingen te kunnen verrichten aan pensfermentatie) kunnen in aparte voederproeven getest worden. ²
- 4) Bij voorkeur gelijktijdig pensfermentatie- en verteringsonderzoek, en onderzoek van CH₄-emissie. ²

¹ Om deze reden zijn alle huidige energiewaardingsystemen voor herkauwers gebaseerd op experimenten met respiratiekamers.

² De fecale verteerbaarheid van het rantsoen (met name de koolhydraten) dient bij voorkeur vastgesteld te worden bij beide typen experimenten (die met klimaatrespiratiekamers en die met voederproeven). Gemeenschappelijke metingen van fecale verteerbaarheid, de nauwe aansluiting van de proefopzet, gelijke (ruw)voeders, gelijke proefdieren, zijn alle belangrijke voorwaarden voor een reële vergelijking van beide onderdelen.

Vragen bij vaststellen effectiviteit CH₄-reducerende maatregel

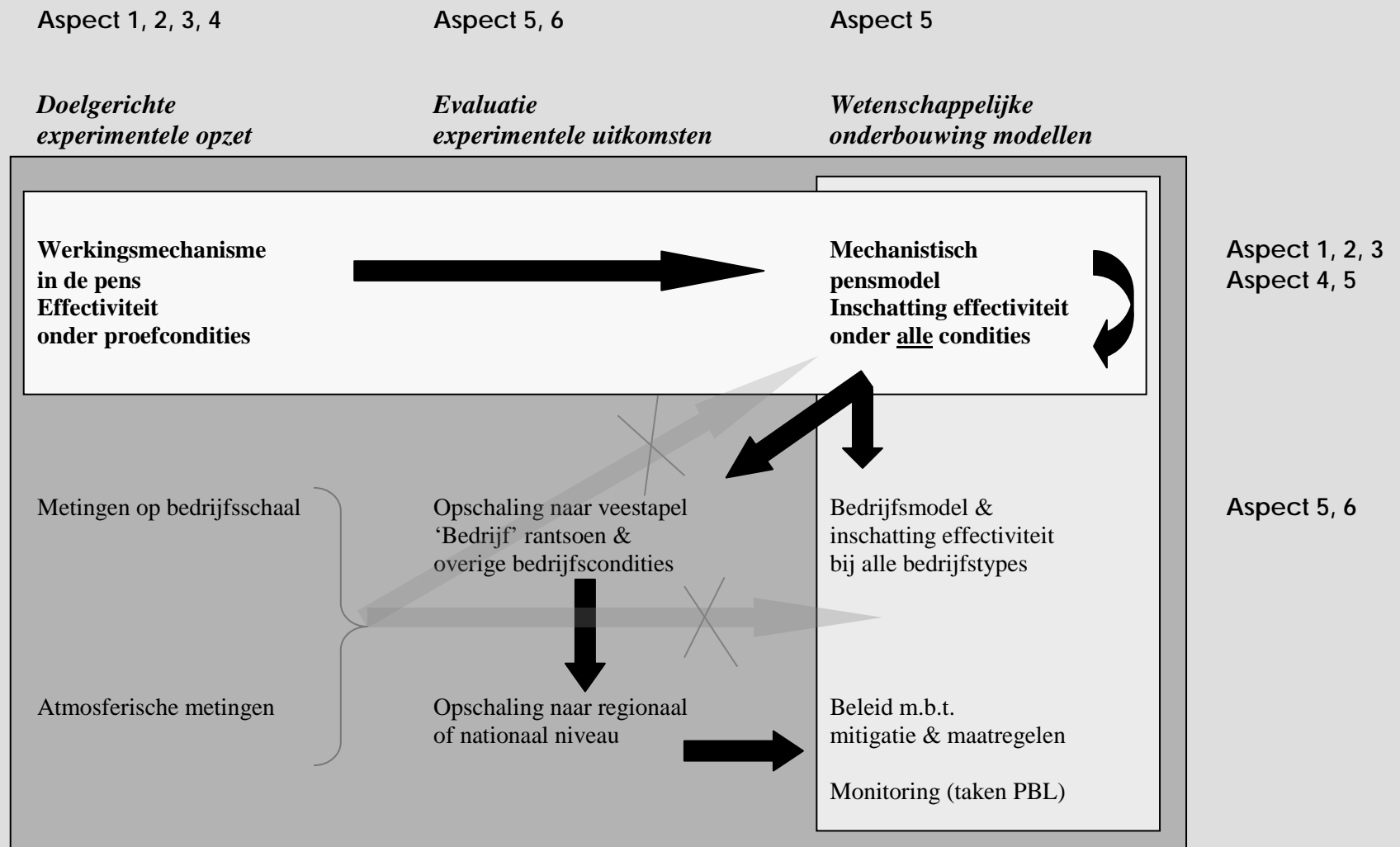
- Welke factoren belangrijk voor CH₄-vorming in pens herkauwer?
- Wat is precies de vraag (welke maatregel, welk rantsoen, welk dier)?
- Hoe CH₄-vorming te voorspellen; op basis van welke voer- en dierfactoren?

Opsomming criteria voor onderzoek naar de effectiviteit van CH₄-reducerende maatregelen

- proefopzet volledig ten dienste van vraagstelling
 - controle over voeropname
 - controle over rantsoensamenstelling
 - controle over te toetsen maatregel (dosis, intensiteit, duur uitwerking, adaptatieperiode, etc.)
 - toetsing van maatregelen in het doeldier
 - meetperiode kiezen op grond van periode waarvoor onderbouwing effectiviteit gewenst is
-
- meetmethode 1: metingen in klimaatrespiratiekamers met pensgefistuleerde dieren
 - metingen van CH₄-emissie als gouden standaard
 - meting fecale verteerbaarheid (deels) en totale energiebalans
-
- meetmethode 2: metingen in voederproeven met pensgefistuleerde dieren
 - meting van voeropname en productie
 - meting pensfermentatie
 - meting fecale verteerbaarheid
-
- kwantificeren / voorspellen met (onderbouwd) dynamisch, mechanistisch pensmodel

Onderstaand schema geeft weer hoe de informatie uit goed doordachte experimenten op pens- en koeniveau gebruikt kan worden voor

1. het onderbouwen van de effectiviteit van uiteenlopende maatregelen om CH₄-emissie te reduceren
2. het vertalen van deze informatie naar alle rantsoenen, productieomstandigheden & bedrijfstypes
3. het voorspellen van CH₄-vorming (en overige relevante aspecten van voeding en productie) en de relatie met praktische indicatoren.



Het volledig met publieke middelen te financieren deel van onderdeel 1 in het 'Innovatieprogramma Emissiearm Veevoer'

Het onderdeel 1 van het innovatieprogramma is opgedeeld in twee afzonderlijke onderdelen met een verschillende financieringsstructuur;

1) Een door private partijen te co-financieren deel van het programma waarin het CH₄-verlagende effect wordt getest van:

1. Additieven
2. Procesttechnologie.

Dit deel bevat uitsluitend experimenteel onderzoek.

2) Een met publieke middelen te financieren deel van het programma met de volgende aspecten:

1. Het vaststellen van het effect van ruwvoerkwaliteit op de CH₄-vorming en de mate waarin een hogere (lagere) ruwvoerkwaliteit een lagere (hogere) CH₄-emissie geeft.
2. Onderzoeken van de invloed van verteringsgedrag van zetmelen op de CH₄-vorming in de pens.
3. Onderzoeken van de mogelijkheid voor alternerende maatregelen om een langdurig reducerend effect op CH₄-emissie te bereiken.
4. Onderzoeken van de effectiviteit, interactie en additiviteit van diverse maatregelen; effecten op de lange termijn.
5. Modelleren van de invloed van voedingsmaatregelen op CH₄-emissie (inclusief modelleren van het effect van CH₄-inhiberende stoffen en procesttechnologie dat met financiering door private partijen wordt onderzocht).
Ook wordt het effect van de met melkvee onderzochte voedingsmaatregelen vertaald naar andere categorieën herkauwers (met name schapen).
6. Op basis van huidige inzichten onderzoeken in hoeverre er afwentelingen van broeikasgasemissies (of andere milieueffecten) optreedt. Dit zal in nauwe afstemming met het praktijkonderdeel 2 van het 'Innovatieprogramma Emissiearm Veevoer' worden uitgevoerd. Hetzelfde geldt voor de effectiviteit en de praktische haalbaarheid.
7. De ontwikkeling van een gebruikersinterface om de ontwikkelde modellen toegankelijk te maken en het voor de sector mogelijk te maken om kentallen voor CH₄-emissie te implementeren bij gevolgen advisering, rantsoenformulering en keuze van bedrijfsmanagement op CH₄-emissie.

De volgende hoofdstukken van voorstel voor invulling van het onderzoeksprogramma in onderdeel 1 gaan uitsluitend in op het vanuit publieke middelen te financieren deel.

De hoofdstukken beschrijven een voorstel voor een onderzoeksaanpak bij ieder van de onder 2) genoemde aspecten. Een korte beschrijving wordt gegeven voor ieder aspect, met daarbij de beoogde milieuwinst in termen van het percentage CH₄-emissiereductie. Overigens is niet alleen de milieuwinst van belang; onderzoek naar voedermaatregelen waarbij een kleinere milieuwinst is te verwachten is eveneens van belang vanwege het eenvoudigweg ontbreken van betrouwbare meetgegevens voor CH₄ in melkvee. Dergelijke gegevens zijn nodig voor een betere onderbouwing van 'inventory'-studies naar CH₄-emissies uit de melkveehouderij.

Bij de beschrijving van ieder aspect komt aan bod 1) de benodigde proefopzet, 2) de belangrijkste aandachtspunten met betrekking tot de onderzoeksopzet, 3) de methode voor het kwantificeren (voorspellen) van de effectiviteit van maatregelen in de sector, en 4) wat de belangrijkste overwegingen zijn bij het kwantificeren van het effect van maatregelen op de CH₄-emissie door herkauwers.

Alle hier opgesomde aspecten worden in dit programmavoorstel besproken, echter, ze konden niet alle worden opgenomen in het uiteindelijke onderzoeksvoorstel. Om binnen het gestelde budget te blijven waren keuzes noodzakelijk en een prioritering werd aangelegd. Enkel de aspecten met een hoge prioriteit en incidenteel een aspect met een hoge/middel prioriteit zijn opgenomen in het onderzoeksvoorstel.

Aspect 1.

De invloed van de bemesting- en oogststrategie op het verteringsgedrag van grassilage en op de CH₄-emissie

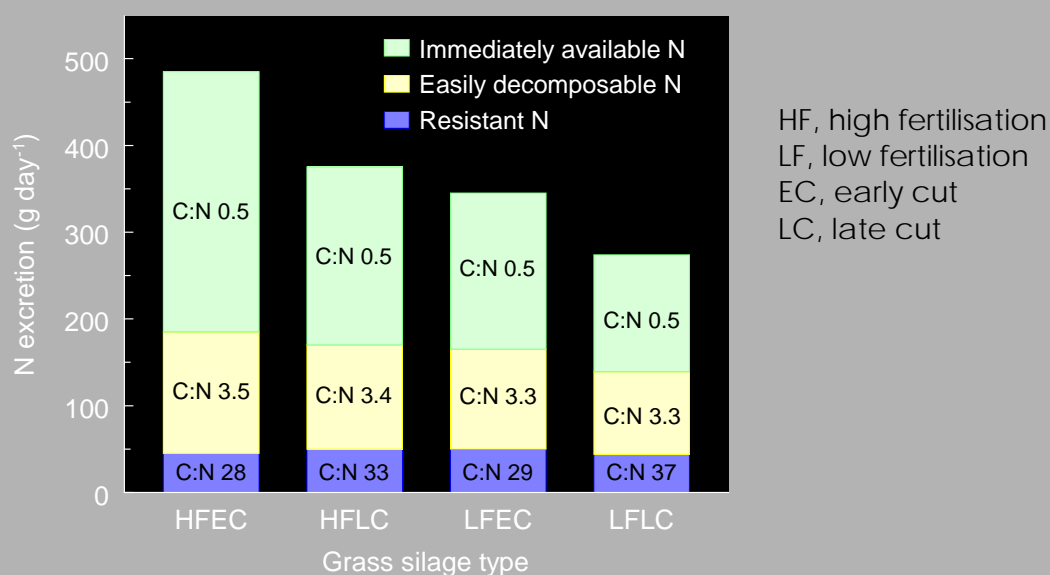
Achtergrond

Ongeveer de helft van het rantsoen van Nederlands melkvee bestaat uit grasproducten (CBS, 2008). Vanwege dit grote aandeel is het van belang dat bekend is in welke mate gras bijdraagt aan de vorming van CH₄ in het maagdarmkanaal van melkvee. Gezien de grote invloed van het mestbeleid op de bemesting van grasland en de kwaliteit en eigenschappen van geoogst gras, is het eveneens noodzakelijk om inzicht te hebben in de wijze waarop variatie in de eigenschappen van geoogst gras de CH₄-emissie beïnvloedt.

De afbraakarakteristieken in de pens en de chemische samenstelling van graskuil varieert sterk met aanpassing van de hoeveelheid stikstofbemesting van grasland, en het groeistadium waarin het gras wordt geoogst. Reijs (2007) voerde een modelmatige analyse uit van het effect van deze twee aspecten van graslandmanagement op de verteringseigenschappen van graskuil, de urine en fecessamenstelling en de gevolgen voor emissies. Het pensfermentatiemodel van Dijkstra et al. (1992) werd aangevuld met berekeningen voor de vertering in de dunne darm en dikke darm, en berekeningen van de fracties in urine en feces. De invloed van graslandmanagement op de eigenschappen van mest bleek groot (zie onderstaand kader).

Invloed graslandmanagement op de eigenschappen van rundermest

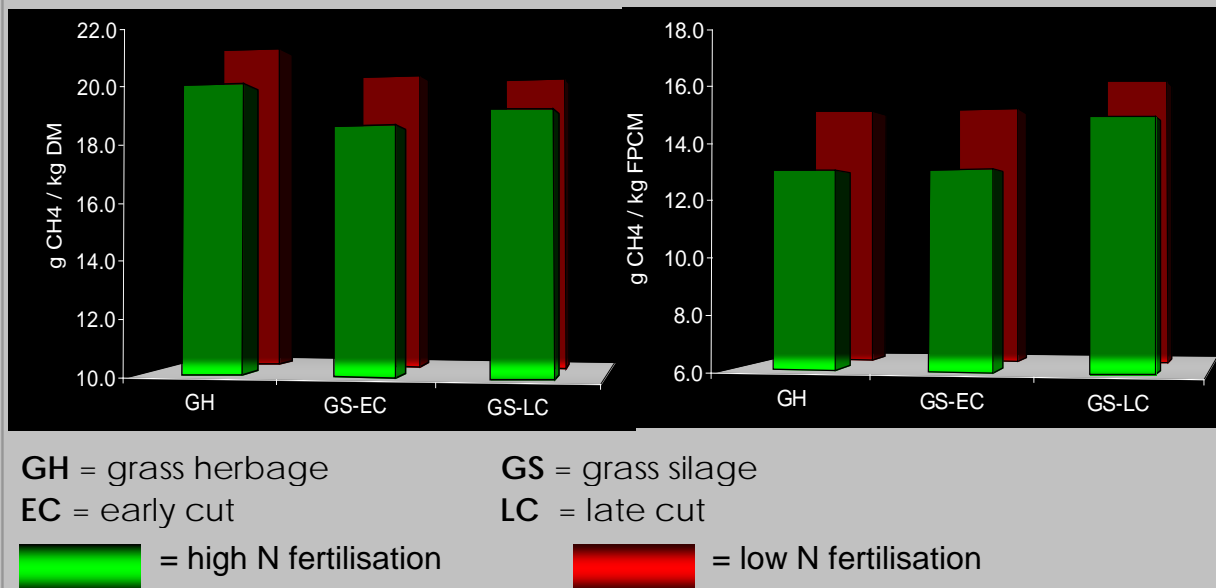
Door Reijs (2007) werd aan het pensfermentatiemodel van Dijkstra et al. (1992) rekenregels toegevoegd voor de vertering in de dunne en dikke darm en de samenstelling van urine en feces. Hieruit blijkt dat bij een grote spreiding in de rantsoensamenstelling ook de eigenschap van mest sterk varieert in termen van de hoeveelheid en het aandeel van direct beschikbare koolstof (C) en stikstof (N), snel afbreekbare C en N en moeilijk afbreekbare C en N. Dit heeft grote gevolgen voor de ammoniakemissie en mogelijk ook gevolgen voor de hoeveelheid methaan die uit de mestopslag emitteert en de fractie N in mest die bij aanwending van deze mest als lachgas emitteert. De figuur is ontleend aan Dijkstra et al. (2007).



Invloed graslandmanagement op CH₄-emissie

Op basis van dezelfde aannames rondom rantsoensamenstelling- en rantsoeneigenschappen waarmee de resultaten door Reijs (2007) en Dijkstra et al. (2007) in vorige kader werden verkregen, werd door Bannink et al. (2010) in kaart gebracht welke effecten graslandmanagement heeft op voorspelde enterische CH₄-emissie. De CH₄-emissie bleek sterk afhankelijk van graslandmanagement met maximale verschillen in CH₄-emissie per kg gecorrigeerde melk van meer dan 30% bij een gelijke voeropname, en maximale verschillen ten gevolge van graslandmanagement en voeropnameniveau van 47%.

18 kg DS-opname/d (90% gras & 10% krachtvoer)



Met dezelfde uitgangspunten voor afbraakcharacteristieken en chemische samenstelling onderzochten Bannink et al. (2010) het effect van graslandmanagement en voeropnameniveau op CH₄-emissie. Ook de voorspelde CH₄-emissie bleek sterk afhankelijk van graslandmanagement (*zie bovenstaand kader*), ongeacht de eenheid waarin CH₄-emissie werd uitgedrukt (in g CH₄/koe/dag; in CH₄-energie als % van de bruto energieopname; in g CH₄/kg voer droge stof; in g CH₄/kg gecorrigeerde melk). Het maximale verschil in voorspelde g CH₄/kg gecorrigeerde melk voor een rantsoen waarvan de droge stof voor 90% uit gras bestond was nagenoeg 30% bij een voeropname van 14 tot 18 kg droge stofopname per dag. Bij een rantsoen dat 60% gras en 40% krachtvoer bevatte in de droge stof was het maximale verschil van een vergelijkbare orde van grootte bij een 14 tot 23 kg droge stofopname per dag.

Een vergelijking van de modelvoorspellingen voor CH₄ met enkele sporadische meetgegevens van CH₄ in klimaatrespiratiekamers bij melkvee dat een rantsoen aangeboden kreeg dat hoofdzakelijk uit vers gras bestond, gaf aan dat het model dezelfde trends voorspelt als die aanwezig in de meetgegevens (Bannink et al., 2010). Er zijn echter nauwelijks bruikbare gegevens voorhanden in de literatuur waaruit het effect blijkt van graskwaliteit, of van graslandmanagement, op de CH₄-emissie in melkvee. Ook de gegevens gebruikt in de studie van Bannink et al. (2010) waren in dit opzicht zeker niet ideaal vanwege ontbrekende gegevens, en een proefopzet die niet overeenstemt met het doel van analyse van het effect op CH₄-emissie.

Overzicht van onderzoeksvraag

1. Hoe beïnvloedt het niveau van stikstofbemesting van grasland de eigenschappen en voederwaarde van gras, en welke gevolgen heeft dit voor de CH₄-emissie?
2. Hoe beïnvloedt de graskwaliteit (afhankelijk van oogstmoment; DS-opbrengst snede) de eigenschappen en voederwaarde van gras, en welke gevolgen heeft dit voor de CH₄-emissie?
3. Hoe verhoudt weidegras (geogst middels zero-grazing) zich tot ingekuild gras wat betreft gerealiseerde CH₄-emissie?
4. Welke invloed heeft het suikergehalte (verschillen tussen grasvariëteiten) in graskuil op de CH₄-emissie?
5. Welke invloed heeft het voeropnamepatroon op de CH₄-emissie bij verschillende kwaliteiten graskuil?
6. Wat is de invloed van variatie in de eigenschappen van gras(kuil) op pensfermentatie?
7. Kan op basis van informatie over de variatie in de eigenschappen van gras(kuil) de vluchtige vetzuurvorming, de vorming van waterstofgas en de vorming van CH₄ voorspeld worden?

Prioritering van experimentele onderzoeksvragen gericht op invloedsfactoren:

- Hoog: vraag 1.: stikstofbemesting
vraag 2.: oogstmoment
- Hoog/Middel: vraag 3.: weidegras vs. graskuil
- Middel: vraag 4: grasvariëteiten & suikergehalte
- Laag: vraag 5.: voeropnamepatroon

Alleen de onderzoeksvragen met prioriteit hoog of hoog/middel zijn geselecteerd en onderdeel van het huidige onderzoeksvoorstel.

Benodigd onderzoek

Keuze grasbronnen. Als gevolg van de Europese richtlijnen voor de lucht- en waterkwaliteit en de Nederlandse mestwetgeving zijn de afgelopen decennia belangrijke veranderingen opgetreden in het mest-, bemestings- en ruwvoermanagement. Met deze aanpassingen varieert vooral de kwaliteit van geogst gras en neemt het risico op variatie daarin toe. Op dit moment is het echter lastig om de gevolgen van variatie in de eigenschappen van gras(kuil) op de CH₄-emissie te voorspellen.

Tot op heden ontbreken meetgegevens op dit terrein, niet alleen voor de Nederlandse situatie, maar wereldwijd. Een voor de hand liggende keuze is dan ook om te gaan onderzoeken wat het effect is van het niveau van graslandbemesting, de kwaliteit waarmee gras wordt geogst (droge stofopbrengst snede) en het effect van inkuilen op de CH₄-emissie.

Daarnaast is er eveneens nauwelijks informatie omtrent de invloed van voeropnamepatroon en voeropnameniveau op de CH₄-emissie uit vers gras of graskuil, en de invloed van een variërende chemische samenstelling van verschillende grasvariëteiten. Voor zover nog niet beschikbaar bij de aanvang van het project (Bannink et al., 2010) zal voorafgaand aan dit onderzoek een aanvullende gevoeligheidsanalyse met behulp van een mechanistisch pensfermentatiemodel plaats vinden. Dit geeft informatie over het belang van diverse factoren (graslandmanagement, afbraakeigenschappen, chemische samenstelling) op de benutting van gras(kuil) voor melkproductie en de daarbij optredende CH₄-emissie.

Onderzoeksmethode. Het toetsen van het effect van grastype op CH₄-vorming dient onder strikt gecontroleerde omstandigheden te worden uitgevoerd. Deze controle betreft de voeropname, de rantsoensamenstelling en de methode voor

het meten van CH₄ (dus zonder verstoring door aanvullende CH₄-bronnen als mest, en met klimaatrespiratiekamers). Bij keuze voor metingen aan het proces van pensfermentatie is vereist dat (deels) pensgefistuleerde dieren worden ingezet in het onderzoek. Een absolute voorwaarde is dat gebruik wordt gemaakt van identieke voeropnameniveaus en een gelijk aandeel van de overige bestanddelen in het rantsoen.

Naast proeven in klimaatrespiratiekamers kunnen aparte voederproeven worden uitgevoerd om te testen wat het effect is van variatie in gras(kuil)eigenschappen op voeropname, vertering en pensfermentatie, en melkproductie.

Onderzoek met respiratiekamers als 'gouden standaard' vormt de basis voor het toetsen van het effect van voedingsmaatregelen op CH₄-emissie. Het onderzoek in de respiratiekamers richt zich op een relatief korte duur van ca 3 weken. Indien de dieren in een later stadium van de lactatie herhaald worden ingezet in respiratieonderzoek kan het effect van het niveau van voeropname getoetst worden.

In alle experimenten (proeven met klimaatrespiratiekamers) wordt gedurende de meetperiodes de voeropname, melkproductie en melksamenstelling gemeten, inclusief melkureumgehalte en melkvetzuurpatroon om een database op te bouwen ten behoeve van een indicator voor CH₄-emissie als praktisch inzetbaar management instrument (*onderdeel 3 van het programma 'Innovatieprogramma Emissiearm Veevoer'*).

Prioritering onderzoeksmethoden voor 'proof of principle' en aantonen effectiviteit:

- Hoog: klimaatrespiratiekamer onderzoek
- Laag: voederproef

In het onderzoeksvoorstel voor aspect 1 wordt uitsluitend de methode met prioriteit hoog toegepast ¹.

¹ Aangenomen wordt dat al voldoende bekend over het effect van graslandmanagement op de voeropname door melkvee, en dat dit afdoende wordt weergegeven door middel van het voeropnamemodel dat momenteel in de praktijk gebruikt wordt, en de verzadigingswaarden van gras en graskuil zoals vermeld in de veevoertabel (CVB, 2007) en afhankelijk van chemische kenmerken en voederwaarde.

Het opnieuw testen van het effect op voeropname in dit programma heeft geen praktische meerwaarde en is om die reden uitgesloten van het huidige programmavoorstel.

Voorstel onderzoeksplanpak (alleen experimenten met hoge en hoge/middel prioriteit zijn geselecteerd in het huidige programmavoorstel)

1. Op basis van Bannink et al. (2010) en indien nodig aanvullende berekeningen met een mechanistisch pensmodel voorspellen welke gevolgen de variatie in eigenschappen van vers gras of graskuil bij 2., 3., 4. en 5. heeft op CH₄-emissie.
2. (hoge prioriteit) Het experimenteel vaststellen van de invloed van 4 stikstofbemestingsniveaus van grasland bij 2 verschillende kwaliteiten graskuil (2 verschillende droge stofopbrengsten snede) op de pensfermentatie, de vertering, de melkproductie en de CH₄-emissie. Het aandeel grasproduct in het rantsoen wordt gelijk gehouden evenals de niet-grasbestanddelen in het rantsoen.
3. (hoge prioriteit) Het experimenteel vaststellen van de invloed van 4 kwaliteiten graskuil (verschillende droge stofopbrengsten snede) op de pensfermentatie, de vertering, de melkproductie en de CH₄-emissie, bij 2 verschillende voeropnameniveaus. Het aandeel grasproduct in het rantsoen wordt gelijk gehouden evenals de niet-grasbestanddelen in het rantsoen.
4. (hoge/middel prioriteit) Het experimenteel vaststellen of het effect van 2 niveaus van stikstofbemesting en 2 niveaus van weidegrasaanbod (zero-grazing) op pensfermentatie, de vertering, de melkproductie en de CH₄-emissie vergelijkbaar is aan de effecten waargenomen bij graskuil. Het aandeel grasproduct in het rantsoen wordt gelijk gehouden evenals de niet-grasbestanddelen in het rantsoen. In de proefopzet wordt er van uitgegaan dat de resultaten van dit experiment vergeleken kunnen worden met die van eerdere experimenten; er vindt geen directe vergelijking tussen zero-grazing en grassilage plaats..
5. (middel prioriteit) Het experimenteel vaststellen van de invloed van verschillende grasvariëteiten (o.a. wat betreft suikergehalte) bij twee bemestingsniveaus van grasland op de pensfermentatie, de vertering, de melkproductie en de CH₄-emissie. Het aandeel grasproduct in het rantsoen wordt gelijk gehouden evenals de niet-grasbestanddelen in het rantsoen.
6. (lage prioriteit) Het experimenteel vaststellen van de invloed van 2 verschillende voeropnamepatronen (TMR versus 2-maal daags voeren) bij 2 kwaliteiten graskuil (verschillende droge stofopbrengsten snede) op de pensfermentatie, de vertering, de melkproductie en de CH₄-emissie. Het aandeel grasproduct in het rantsoen wordt gelijk gehouden evenals de niet-grasbestanddelen in het rantsoen. Het rantsoen bevat een snel-afbreekbaar krachtvoer.

Effectiviteit maatregel in de sector

Het vertalen van de waargenomen effectiviteit van aanpassingen in het graslandmanagement op de benutting van het gras door melkvee en de gevolgen op de CH₄-emissie is mogelijk aan de hand van de volgende stappen:

1. op basis van experimentele uitkomsten en modevaluatie parameteriseren/ijken van het mechanistische model wat betreft voorspelde effecten op grasfermentatie en vluchtige vetzuur- en CH₄-vorming.
2. toepassing van het mechanistische model om uitspraken te doen over de effectiviteit en de gevolgen van de maatregelen rondom graseigenschappen onder uiteenlopende productieomstandigheden (*hierbij nauwe afstemming met onderdeel 2 van 'Innovatieprogramma Emissiearm Veevoer'*).
3. aanbevelingen doen over welke informatie nodig is om eventuele claims voor een CH₄-reducerend effect van een aangepast graslandmanagement te onderbouwen (i.k.v. emissieregistratie) en welke mogelijkheden er zijn om deze toe te kennen aan veehouders.

Huidige inschatting reductiepotentieel

1. combinatie van een meer optimale stikstofbemesting en een meer optimaal oogstmoment op de voederwaarde en de chemische samenstelling van graskuil tijdens de vroege lactatie: bandbreedte 5 tot 10% reductie van de CH₄-emissie per kg geproduceerde melk, of per koe uitgaande van gelijke melkproductie
2. idem, tijdens middenlactatie: 5% reductie
3. idem, tijdens late lactatie: 5% reductie.

Aspect 2.

De invloed van verteringsgedrag van zetmelen op CH₄-vorming in de pens

Achtergrond

Zetmeel is een belangrijk bestanddeel van de voeding van runderen. Met name de voeding van hoogproductief melkvee vraagt om voldoende zetmeel in het rantsoen. De reden hiervan is dat dit melkvee een hoge glucosebehoefte heeft. Vooral in de vroege lactatie (direct na afkalven) krijgt een melkkoe veel zetmeel omdat dan de melkproductie en dus de glucosebehoefte het hoogst zijn. Zetmeel wordt verstrekt in de vorm van krachtvoer (verschillende zetmeelbronnen) en ruwvoer (snijmaïs). In de vorm van ruwvoer gaat dit in het algemeen gepaard met een licht verbeterde voeropname vergeleken met uitsluitend grasproducten als ruwvoer. In de vorm van krachtvoer is de voeropname aanzienlijk hoger. De vorm en de hoeveelheid zetmeel in een rantsoen heeft dus ook gevolgen voor de voer- en energieopname door een melkkoe, en daarmee voor de realiseerbare melkproductie.

Het grootste deel van zetmeel fermenteert in de pens waarbij relatief veel propionzuur vrijkomt wat de koe omzet in glucose. Andere koolhydraten dan zetmeel (suikers, celwanden) worden in veel hogere mate omgezet in azijnzuur en boterzuur zoals Hristov & Jouany (2005) aantoonde door deze koolhydraten tegen elkaar uit te wisselen met 20% van de droge stofopname. Hindrichsen *et al.* (2005) vonden effecten op CH₄-vorming van verschillen typen koolhydraten die hiermee overeenstemmen (Bannink, 2007; Bannink *et al.*, 2006a). Een aanzienlijk deel van zetmeel wordt niet gefermenteerd in de pens maar stroomt door naar de darm waar het nagenoeg volledig verteert, net als bij het varken en de mens bijvoorbeeld. Het zetmeel levert de melkkoe dus niet alleen veel glucose maar vanwege de volledige vertering ook veel energie, vergeleken met ruwvoerders. De hoeveelheid zetmeel en de aard van het zetmeel in het rantsoen heeft een grote invloed op de hoeveelheid CH₄ die ontstaat. Bij de vorming van azijnzuur- en boterzuur ontstaat waterstof, bij de vorming van propionzuur wordt waterstof juist opgenomen. Minder waterstof betekent vervolgens minder substraat voor methanogene bacteriën die deze waterstof omzetten in CH₄ (zie eerdere kader rondom ruwvoermanagement).

Dit mechanisme is reeds vele decennia bekend (bijv. Hungate, 1966) en onomstreden. De mate waarin de vorm en aard van zetmeel de vluchtige vetzuur- en CH₄-vorming in de pens bepaald is echter minder duidelijk en niet systematisch onderzocht voor Nederlandse omstandigheden. Het verteringsgedrag van zetmeel werd in de 80-er jaren op een zeer systematische wijze (juiste proefopzet) onderzocht door Robinson *et al.* (1986 & 1987). Dit onderzoek combineerde het effect van voeropnameniveau en zetmeelgehalte in het rantsoen. De verstrekte rantsoenen en wellicht ook de gebruikte melkkoeien zijn echter atypisch voor de huidige landbouwpraktijk. Sindsdien is nooit meer op een dergelijk systematische wijze (combinatie van voeropname en zetmeelgehalte) onderzoek verricht naar zetmeelvertering in de pens. Nooit is een dergelijk onderzoek uitgevoerd in combinatie met metingen van de CH₄-emissie. Dergelijke metingen zijn echter essentieel om schattingen van de invloed van variatie in zetmeelbron en hoeveelheid zetmeel op CH₄-emissie te onderbouwen.

Overzicht van onderzoeksvraag

1. Wat is de invloed van de zetmeelbron (snijmaïs of krachtvoer) op de vluchtige vetzuur- en CH₄-vorming in de pens?
2. Hoe beïnvloedt het zetmeelgehalte in het rantsoen de zetmeelvertering in de pens en de daarbij optredende vluchtige vetzuur- en CH₄-vorming?
3. Hoe beïnvloedt het niveau van voeropname de zetmeelvertering in de pens en de daarbij optredende vluchtige vetzuur- en CH₄-vorming?

4. Welke invloed heeft voeropnamepatroon op de CH₄-vorming uit zetmeelbronnen?
5. Kan op basis van informatie over voeding en zetmeeleigenschappen de vluchtige vetzuur- en CH₄-vorming voorspeld worden (publieke deel onderdeel 1, aspect 5)?

Prioritering van experimentele onderzoeksvragen gericht op invloedsfactoren:

- Hoog: vraag 1.: zetmeelbron (snijmais), zetmeelbron (krachtvoer)
- Middel: vraag 2.: zetmeelgehalte rantsoen
- Laag: vraag 3. & 4.: voeropnameniveau, voeropnamepatroon

Alleen de onderzoeksvragen met prioriteit hoog en middel zijn geselecteerd en onderdeel van het huidige onderzoeksvoorstel.

Benodigd onderzoek

Keuze zetmeelbronnen. Een voor de hand liggende keuze is het onderzoeken van de meest toegepaste zetmeelbronnen in krachtvoerders of als bijvoeding (naast de ruwvoerders): maïszetmeel, graanzetmeel en zetmeelrijke producten uit de aardappelverwerkende industrie.

Daarnaast is er weinig informatie over het verteringsgedrag van zetmeel in de verschillende maïsrassen. Om optimaal gebruik te maken van de variatie tussen deze rassen in de zetmeelvertering in de pens is het noodzakelijk om hier gericht onderzoek naar te doen waarbij pensvertering wordt onderzocht in combinatie met de optredende vluchtige vetzuur- en CH₄-vorming. Voorafgaand aan dit onderzoek zal een gevoeligheidsanalyse met behulp van een mechanistisch pensfermentatiemodel plaats vinden. Dit geeft dan informatie over het belang van diverse factoren, zoals effect van variatie in zetmeelgehalte, van variatie in zetmeelbestendigheid, en van variatie in NDF afbreekbaarheid op CH₄-uitstoot.

Ten slotte voorziet het onderzoek in het toetsen van het effect van het type basisrantsoen (uitsluitend gras versus grassnijmaïs mengsel als ruwvoer) en het maaltijdpatroon op de vertering van zetmeel en de CH₄-emissie. Variatie in het maaltijdpatroon zal een afspiegeling zijn van voermanagement en is bedoelt als simulatie van verschillen in bijvoorbeeld beweidingregiem, voerverstrekking, moment en dosering van krachtvoerverstrekking, e.d.

Onderzoeksmethode. Het toetsen van het effect van zetmeelbron en snijmaïsras op CH₄-vorming en zetmeelvertering in de pens dient onder strikt gecontroleerde omstandigheden te worden uitgevoerd. Deze controle betreft de voeropname, de rantsoensamenstelling en de methode voor het meten van CH₄ (dus zonder verstoring door aanvullende CH₄-bronnen als mest, en ook niet een methode die ten opzichte van de gouden standaard klimaatrespiratiekamers een aanzienlijk grotere variatie in meetgegevens geeft). Om het werkingsmechanisme in de pens te bestuderen is het noodzakelijk dat (deels) pensgefistuleerde dieren worden ingezet. Een absolute voorwaarde is dat gebruik wordt gemaakt van identieke voeropnameniveaus in deze experimenten.

Aparte voederproeven kunnen worden uitgevoerd om het effect op voeropname, vertering en melkproductie uit te testen. Hierbij dient wel aan enkele voorwaarden te worden voldaan: bij voorkeur gebruik van dezelfde dieren als in de proeven met de klimaatrespiratiekamers, gebruik van zelfde rantsoenbestanddelen, verrichten van metingen in verschillende lactatiestadia, en een overigens vergelijkbare proefopzet (bijv. qua rantsoensamenstelling).

Het onderzoek in de respiratiekamers richt zich op een relatief korte duur van ca 3 weken. Door de dieren in een later stadium van de lactatie herhaald te gebruiken in respiratieonderzoek kan het effect van het niveau van voeropname

getoetst worden. Adaptatie op zetmeelverstrekking speelt zich in een veel kortere periode af dan bij het gebruik van CH₄-reducerende stoffen. Niet de adaptatie aan zetmeelverstrekking maar het effect van voeropnameniveau is dus de reden om over een langere periode te meten in dezelfde proefdieren.

In alle experimenten wordt gedurende de meetperiodes de voeropname, melkproductie en melksamenstelling gemeten, inclusief melkureumgehalte en melkvetzuurpatroon om een database op te bouwen ten behoeve van het ontwikkelen of evalueren van een indicator voor CH₄-emissie als praktisch inzetbaar management instrument (*onderdeel 3 'Innovatieprogramma Emissiearm Veevoer'*).

Prioritering onderzoeksmethoden voor 'proof of principle' en aantonen effectiviteit:

- Hoog: klimaatrespiratiekameronderzoek
- Middel: voederproef

In het onderzoeksvoorstel voor aspect 2 wordt uitsluitend de methode met prioriteit hoog toegepast.

Voorstel onderzoeksaanpak (alleen experimenten met hoge en middel prioriteit zijn geselecteerd in het huidige programmavoorstel)

1. Gevoeligheidsanalyses uitvoeren met een mechanistisch pensmodel om vast te stellen welke zetmeelkenmerken en (van snijmaïs) NDF kenmerken in combinatie met voerfactoren het meest belangrijk zijn om te onderzoeken.
2. (hoge prioriteit) Het experimenteel evalueren van 4 verschillende kwaliteiten snijmaïs.
3. (hoge prioriteit) Het experimenteel evalueren van 2 verschillende zetmeelbronnen bij 2 verschillende aandelen in het rantsoen
4. (middel prioriteit) Het experimenteel evalueren van verschillende (gangbare) zetmeelbronnen in krachtvoer bij 1) verschillende zetmeelbronnen en 2) verschillende zetmeelgehaltenes (dosering van zetmeelbron).
5. (lage prioriteit) Het experimenteel evalueren van 2 verschillende voeropnamepatronen zetmeel van 2 verschillende zetmeelbronnen.

Effectiviteit maatregel in de sector

Het vertalen van de waargenomen effectiviteit van aanpassingen in de zetmeelvoeding om CH₄ te reduceren kan aan de hand van de volgende stappen:

1. op basis van experimentele uitkomsten en modevaluatie parameteriseren/ijken van het mechanistische model wat betreft voorspelde effecten op zetmeelfermentatie en vluchtige vetzuur- en CH₄-vorming.
2. toepassing van het mechanistische model om uitspraken te doen over de effectiviteit onder uiteenlopende productieomstandigheden (*nauwe afstemming met onderdeel 2 'Innovatieprogramma Emissiearm Veevoer'*).
3. aanbevelingen doen over welke informatie nodig is om eventuele claims voor een CH₄-reducerend effect van zetmeelbronnen en snijmaïsrassen te onderbouwen (registratie) en hoe deze toe te kennen (*nauwe afstemming met onderdeel 2 'Innovatieprogramma Emissiearm Veevoer'*).

Huidige inschatting reductiepotentieel

1. combinatie meer zetmeel, minder suikers en meer bestendig zetmeel in krachtvoer en snijmaïs tijdens vroege lactatie: bandbreedte 5 tot 15% reductie van de CH₄-emissie per kg geproduceerde melk, of per koe uitgaande van gelijke melkproductie
2. idem, tijdens middenlactatie: 5 tot 10% reductie
3. idem, tijdens late lactatie: 5% reductie.

Aspect 3.

De mogelijkheid voor alternerende maatregelen voor een langdurig effect op de methaanemissie

Achtergrond

Het vermogen van micro-organismen in de pens om zich aan te passen aan veranderende fermentatieomstandigheden is reeds lange tijd bekend. Twee typen adaptatie zijn te onderscheiden. Ten eerste, adaptatie aan een veranderende voersamenstelling na afkalven door een sterke verhoging van de krachtvoergift met een relatief hoog aandeel snel-fermenteerbare koolhydraten en de verstrekking van hoogwaardig ruwvoer. Binnen een periode van ongeveer twee weken kunnen micro-organismen en de penswand zich aanpassen aan de sterk gewijzigde voeding (Bannink, 2007). Dit is tevens de voorperiode die veelal wordt aangehouden in experimenteel onderzoek om de microbiële populatie te laten adapteren aan de nieuwe voedingsomstandigheden, alvorens te gaan meten in de koe.

Een ander type adaptatie betreft de aanpassing van micro-organismen aan CH₄-inhiberende stoffen of andere stoffen met een directe inwerking op de activiteit van de micro-organismen. Dit type adaptatie kwam reeds aan bod bij het vorige onderdeel. Hoewel periodeduur waarin adaptatie optreedt kan variëren per type additief, lijkt de adaptatieperiode opnieuw eerder enkele weken dan enkele maanden te bestrijken. Om toch een maximale reductie in CH₄-emissie te realiseren is het daarom wellicht een interessante optie om alternerend verschillende CH₄-inhiberende stoffen toe te passen (Tamminga *et al.*, 2007). Een vergelijkbaar concept wordt bijvoorbeeld toegepast in de bestrijding van plagen in plantaardige teelten. De omvang van de tijdelijke reductie in CH₄-emissie die gerapporteerd wordt bij gebruik van uiteenlopende CH₄-inhiberende stoffen, maakt het zonder meer interessant om te onderzoeken of alternerende maatregelen inderdaad effectiever zijn om de CH₄-emissie langdurig te reduceren.

Overzicht van onderzoeksvraag

1. Welke CH₄-inhiberende stoffen kunnen (het beste) worden gecombineerd?
2. Wat is de extra reductie in CH₄-emissie die kan worden bereikt met een alternerende strategie?
3. In hoeverre is de werking een bepaalde CH₄-inhiberende stof onafhankelijk van die van een andere CH₄-inhiberende stof die alternerend wordt ingezet?
4. In welke mate is het succes van een alternerende strategie afhankelijk van het rantsoen?
5. Hoe de effectiviteit van een alternerende strategie te kwantificeren en voorspellen?

Prioritering van experimentele onderzoeksvragen gericht op invloedsfactoren:

- Hoog vraag 1., 2. & 3.: alterneren CH₄-inhiberende stoffen
- Middel vraag 4.: afhankelijkheid rantsoen
- Laag

Alleen de onderzoeksvragen met prioriteit hoog of hoog zijn geselecteerd en onderdeel van het huidige onderzoeksvorstel.

Benodigd onderzoek

Keuze van alterneren CH₄-inhiberende stoffen en/of maatregelen.

Het ligt voor de hand om CH₄-inhiberende stoffen met eenzelfde werkingsmechanisme (bijvoorbeeld verschillende typen onverzadigde vetzuren) niet na elkaar toe te passen. Een afweging is nodig met betrekking tot mogelijke beïnvloeding van de voeropname, de vertering, de energiebalans van de koe, en de gezondheidsrisico's voor de koe.

Onderzoeksmethode Om de effectiviteit van een strategie van alternerende maatregelen vast te stellen is een goed gecontroleerde experimentele opzet. Vanwege mogelijke carry-over effecten van CH₄-inhiberende stoffen is een nauwkeurige meting van de effecten op de CH₄-emissie noodzakelijk. Om die reden verdient het de voorkeur om metingen in respiratiekamers uit te voeren. Ook bij deze voederproeven is de gekozen proefopzet leidend voor de zeggingskracht van de resultaten. In de inleiding is al omschreven dat om een *proof of principle* aan te tonen, een gedegen meetmethode noodzakelijk is. De gewenste meetmethode is die in respiratiekamers. In vitro experimenten zullen uit hun aard per definitie geen *proof of principle* kunnen zijn: er wordt immers niet in het doeldier zelf gemeten. De uitvoering van een in vitro proef om het effect van alternerende strategieën vast te stellen, vereist bovendien de inzet van een voldoende aantal pensgefistuleerde dieren over een langere periode. Pensvloeistof zal verzameld moeten worden van dieren die volgens het gewenste alternerende schema gevoerd zijn. Aan begin en einde van een wisselmoment (wisselen van additief of strategie) moet met de verkregen pensvloeistof in vitro incubaties worden uitgevoerd.

Verschillende volgordes kunnen worden getest bij alternerende maatregelen. Een vergelijking met experimentele uitkomsten uit onderdeel 2 maakt duidelijk in hoeverre effecten en werkingsmechanismen van verschillende typen CH₄-inhiberende stoffen onafhankelijk van elkaar zijn, of elkaar juist beïnvloeden.

Kwantificeren om te handhaven, monitoren en registreren. De basiskenmerken van de invloed die een additief uitoefent op de microbiële activiteit en de vluchtige vetzuur- en CH₄-vorming, en de snelheid en mate van adaptatie die optreedt, dient bekend te zijn. Deze kenmerken komen beschikbaar uit het onderzoek voorgesteld bij onder onderdeel 2. Het mechanistische model dat gebruikt wordt voor het voorspellen van het effect van een additief dient een weergave te bevatten van het werkingsmechanisme van het additief. Door op basis van de experimenteel vastgestelde basiskenmerken dit werkingsmechanisme te parameteriseren kunnen voorspellen gedaan worden voor de effectiviteit van een additief onder uiteenlopende voedings- of productieomstandigheden. Hierbij wordt aangenomen dat het effect van verschillende typen CH₄-inhiberende stoffen onafhankelijk van elkaar zijn. De toepasbaarheid van deze aanname moet volgen uit het experimentele onderzoek voorgesteld in dit onderdeel.

Prioritering onderzoeksmethoden voor 'proof of principle' en aantonen effectiviteit:

- Hoog: klimaatrespiratiekamer onderzoek
- Middel: voederproef

In het onderzoeksvoorstel voor aspect 3 wordt uitsluitend de methode met prioriteit hoog toegepast.

Voorstel onderzoeksplan

1. Evaluatie van bruikbare CH₄-inhiberende stoffen (private deel onderdeel 1) ten behoeve van keuze van stoffen die alternerend worden ingezet in achtereenvolgens de vroege lactatie, midlactatie en de late lactatie.
2. Toetsing van verschillende combinaties van typen CH₄-inhiberende stoffen die alternerend worden ingezet.
3. Toetsing of de weergave en de parameterisering van de werkingsmechanismen van CH₄-inhiberende stoffen (publieke deel onderdeel 1, aspect 5) in het mechanistische model voor pensfermentatie de waargenomen effecten op vluchtige vetzuur- en CH₄-vorming bij alternerende maatregelen kan reproduceren.

Effectiviteit alternerende maatregelen in de sector

Voorspellen van effectiviteit bij uiteenlopende productieomstandigheden.

Inschatting reductiepotentieel voor alternerende maatregelen

Het reductiepotentieel is lastig aan te geven. Indien uit onderdeel 2 blijkt dat het effect van CH₄-inhiberende stoffen persistent is dan zal alterneren weinig extra reductie geven. Daarentegen, indien het CH₄-inhiberende effect van stoffen tijdelijk blijkt te zijn dan is het reductiepotentieel genoemd bij onderdeel 2 niet haalbaar. In dat geval is het alterneren van maatregelen een mogelijkheid om alsnog dit reductiepotentieel te realiseren over een langere periode. De reductie is dan gelijk aan die genoemd bij onderdeel 2 voor afzonderlijke maatregelen: 5-10% reductie in CH₄-emissie per kg geproduceerde melk. .

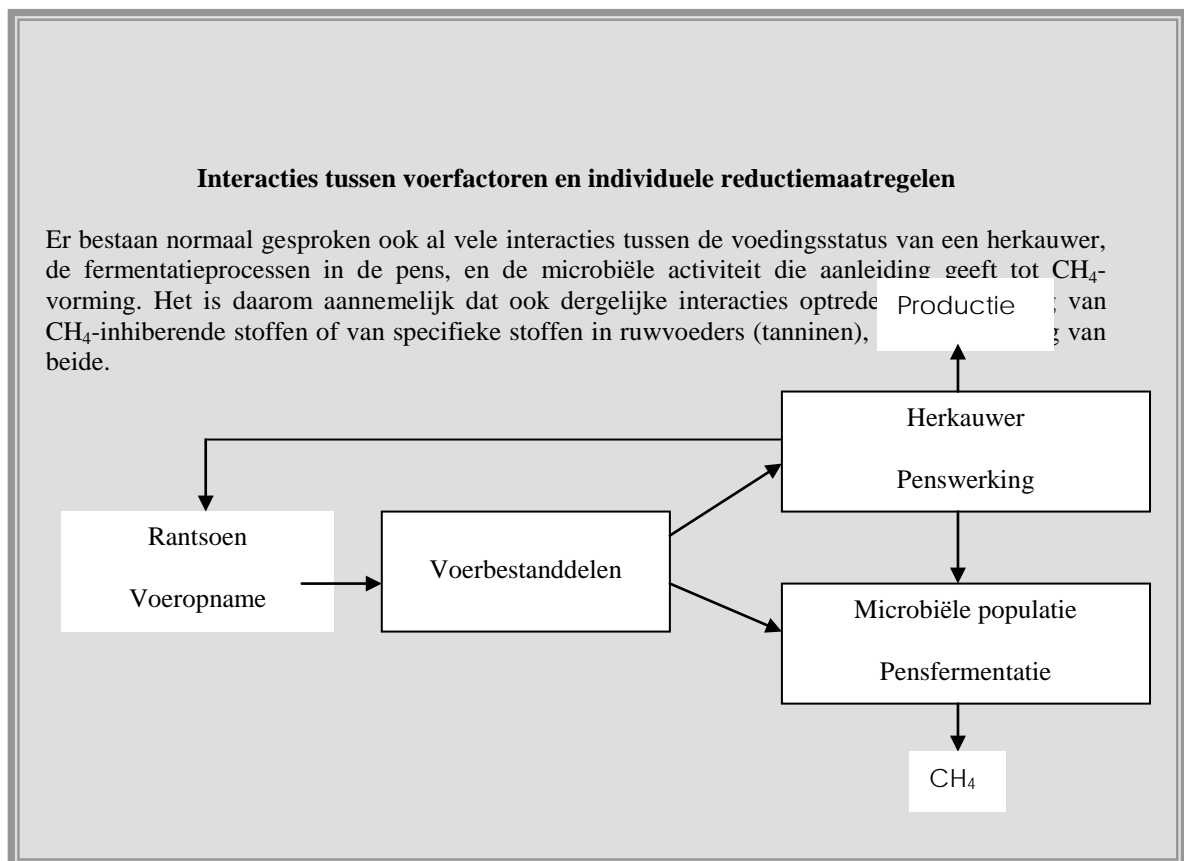
Aspect 4.

Effectiviteit, interactie en additiviteit van diverse CH₄-inhiberende maatregelen

Achtergrond

Onderzoek naar de effectiviteit van aanpassingen in de ruwvoer kwaliteit, zetmeelvoeding, of naar de effectiviteit van CH₄-inhiberende stoffen wordt reeds gedekt door het met private middelen te financieren deel, en door het onderzoek naar aspecten 1. en 2. in het met publieke middelen te financieren deel van onderdeel 1. Dit onderzoek richt zich op echter op individuele maatregelen. Dan resteert nog de vraag in hoeverre er interacties kunnen optreden bij het gebruik van meerdere maatregelen tegelijkertijd. Het is waarschijnlijk dat interacties optreden gezien nauwe interactie tussen de microbiële populaties in de pens en de voeding, en de invloed van CH₄-reducerende maatregelen op de microbiële activiteit en waterstofbalans en methanogenese in de pens .

Ook een vergelijking tussen de resultaten verkregen met verschillende niveaus van voeropname en met verschillende rantsoenen geeft mogelijk een indruk van de mate waarin interacties optreden met betrekking tot de effectiviteit van CH₄-reducerende maatregelen.



Overzicht van onderzoeksvraag

1. Is het reductiepotentieel van verschillende typen CH₄-inhiberende stoffen en/of maatregelen (kwaliteit gras, snijmaïs, zetmeel, CH₄-inhiberende stoffen) optelbaar, of is er sprake van interacties?
2. Welke werkingsmechanismen veroorzaken deze interacties en hoe hangen deze af van de voeding?
3. Zijn de interacties te voorspellen en hoe is de beschikbare kennis te gebruiken om de interacties te kwantificeren ?

Prioritering van experimentele onderzoeksvragen gericht op invloedsfactoren:

- Hoog vraag 1.: optreden interacties
vraag 2.: achtergronden interacties

Benodigd onderzoek

Maatregelkeuze Het onderzoek richt zich op het testen van de combinatie van de twee meest veelbelovende CH₄-inhiberende stoffen, en een combinatie van het meest belovende additief en ruwvoer met een hoog gehalte aan een specifieke stof (tanninen). De gebruikte dosis wordt gekozen op basis van bevindingen in de drie voorgaande programmaonderdelen.

Onderzoeksmethode Effecten worden getoetst in respiratiekamers (m.n. gericht op meting CH₄-emissie).

De keuze van het basisrantsoen en de minimale duur van de experimenten wordt bepaald op basis van de resultaten verkregen bij de voorgaande drie programmaonderdelen.

Kwantificeren om te handhaven/monitoren/registreren Voorgaande drie programmaonderdelen hebben mede tot doel om een mechanistisch model verder te ontwikkelen om tot kwantificering van het effect van zetmelen, vetten, CH₄-inhiberende stoffen en specifieke in ruwvoer toe te passen stoffen (tanninen) te komen. In dit onderdeel wordt getoetst of deze kwantitatieve methoden ook de interacties kunnen voorspellen als waargenomen. Dit is een belangrijk onderdeel in het onderzoek omdat het inzage geeft in hoeverre de werkingsmechanismen betrouwbaar zijn onder uiteenlopende omstandigheden (combinaties van maatregelen). Alleen indien het werkingsmechanisme achter de interacties helder is, kunnen de benodigde aanpassingen worden doorgevoerd in het model.

Gevonden effecten op het niveau van pensfermentatie en op CH₄-vorming dienen ook meegenomen te worden in beschouwingen van de broeikasgasemissie op bedrijfsniveau. Het meenemen van de in dit programma gegenereerde kennis in beschouwingen op bedrijfsschaal vergt aanpassing van de gebruikte kengetallen in de modellen die op deze schaal beschrijven (Šebek *et al.*, 2006; Schils *et al.*, 2005). Met dergelijke modellen zijn uiteenlopende keuzes op bedrijfsniveau te toetsen op haalbaarheid en effectiviteit waarbij vooral de productietechnische, economische en milieukundige aspecten van de algehele bedrijfsvoering aan bod komen. De samenhang met de overige beleidsthema's is in kaart te brengen, evenals de begrenzingen door overig beleid. Mits de juiste aannames gemaakt worden zijn eveneens afwentelingen in directe en indirecte broeikasgasemissies kaart te brengen.

Bedrijfsmodellen zijn op dit moment echter niet geschikt om effecten te voorspellen van aanpassingen in de voeding van suikers, zetmelen en andere koolhydraten, de voeding van vetten en oliën, en het gebruik van CH₄-inhiberende stoffen en specifieke stoffen in ruwvoerders (tanninen) op de CH₄-emissie. Om dergelijke effecten in kaart te brengen, inclusief de eventuele

afwenteling op de overige directe en indirecte emissies, is aanpassing van deze bedrijfsmodellen nodig op basis van de kennis die voortvloeit uit dit onderzoeksprogramma en uit het mechanistische model voor pensfermentatie.

Prioritering onderzoeksmethoden voor 'proof of principle' en aantonen effectiviteit:

- Hoog: klimaatrespiratiekamer onderzoek
- Middel ¹: voederproef

In het onderzoeksvoorstel voor aspect 4 worden beide methoden toegepast.

Voorstel voor onderzoeksaanpak

1. Evalueren van een combinatie van veelbelovende maatregelen m.b.t. ruwvoerders, zetmeelbronnen en CH₄-inhiberende stoffen en/of maatregelen.
2. Toetsing van de additiviteit bij combinaties van maatregelen
3. Evaluatie van de nauwkeurigheid waarmee het mechanistische pensmodel de interacties voorspelt tussen maatregelen gericht op ruwvoerders, zetmeelbronnen, en CH₄-inhiberende stoffen en/of maatregelen.

Effectiviteit maatregel in de sector

Een mechanistische pensmodel is te gebruiken voor een opschaling naar bedrijfsniveau van de effectiviteit van een voermaatregel om CH₄-emissie te verlagen naar bedrijfsniveau. De verschillende productiegroepen op een bedrijf dienen afzonderlijk te worden doorgerekend om vervolgens te worden gesommeerd naar de totale CH₄-emissie door melkvee.

Om afwenteling op overige broeikasgasemissies, en overige emissies zoals ammoniakemissie en nitraatuitspoeling in kaart te brengen zijn aanvullende rekenregels nodig, zoals die gebruikt in bedrijfsmodellen (Schils et al., 2005). Deze rekenregels dienen nauw afgestemd te worden met de uitkomsten van berekeningen van de CH₄-emissie door melkvee verkregen met het mechanistische pensmodel. De aannames in bedrijfsmodellen bestaan meestal uit relatief eenvoudige kengetallen die een afspiegeling zijn van algemene inzichten rondom de invloed van dierlijke excretie, mestsamenstelling op de ammoniakemissie, de invloed mestkwaliteit, bemestingsniveau en grondsoort op de N₂O-emissies, en de invloed van bemesting, grondsoort en gewas op verwacht nitraatuitspoeling. Als alternatief voor het gebruik van bedrijfsmodellen zijn deze kengetallen ook eenvoudig te koppelen aan de uitkomsten verkregen met het mechanistische pensmodel.

¹ Aangenomen wordt dat het met private middelen mede te financieren deel van onderdeel 1 al inzicht oplevert over het effect van additieven op de voeropname en productie van melkvee. Omdat het hier om interactie gaat tussen additieven waarvoor geen opnamegegevens beschikbaar zijn (voeropnamemodel), is in tegenstelling tot aspecten 1-3 wel voeropname onderzoek gewenst.

Ingeschatte additieve reductiepotentieel bij meerdere gelijktijdige maatregelen:

1. vroege lactatie, bandbreedte reductie van de CH₄-emissie per kg geproduceerde melk: 10 tot 20% ¹
2. tijdens middenlactatie: bandbreedte reductie: 5 tot 15% ¹
3. tijdens late lactatie: bandbreedte reductie: 5 tot 15% ¹

¹ Indien de uitwerking van een aangepaste zetmeelvoeding de werking van het reducerende effect van CH₄-inhiberende stoffen niet verhindert. Het betreft hier een verondersteld additief effect van afzonderlijke maatregelen. Alleen aanvullend experimenteel onderzoek kan deze reductiepercentages daadwerkelijk onderbouwen. De aanpassingen met betrekking tot ruwvoerders en de interactie met aanpassing van de zetmeelvoeding en gebruik van CH₄-inhiberende stoffen is onbekend en niet meegenomen in deze schatting.

Aspect 5.

Modellering van het effect van CH₄-reducerende voedingsmaatregelen

Onderdeel: gevoeligheidsanalyses, modellering, implementeren modeluitkomsten

Om CH₄-reducerende voedingsmaatregelen te kwantificeren voor de nationale emissieregistratie is het noodzakelijk om de effecten van deze maatregelen te modelleren en onderdeel te laten uitmaken van het protocol voor de berekening van enterische CH₄. Dit protocol maakt gebruik van een dynamisch, mechanistisch model dat de fermentatieprocessen in de pens en dikke darm beschrijft (Dijkstra et al., 1992; Mills et al., 2001; Bannink et al., 2006, 2008 & 2010).

Omdat de werkingsmechanismen van de onder aspect 1 t/m 4 onderzochte maatregelen verschillen en nog niet weergegeven zijn in het mechanistische model voor enterische CH₄-productie, is het eveneens nodig om het huidige model aan te passen. Vooral de weergave van de invloed van CH₄-inhiberende stoffen vraagt om een aanvullende beschrijving van het werkingsmechanisme in het model. Maar ook aspecten als het altemnerend toepassen van maatregelen, de additiviteit van maatregelen en de persistentie van maatregelen vraagt om uitbreiding van het model.

Het modelleerwerk maakt gebruik van de onderzoeksgegevens verkregen uit het onderzoek van de aspecten 1 t/m 4 in het huidige voorstel, en uit het onderzoek aan CH₄-inhiberende stoffen en/of procesttechnologie dat met inbreng van private middelen zal worden uitgevoerd (geen onderdeel van voorliggend programmavoorstel).

Voorgesteld onderzoek:

- Gevoeligheidsanalyses uitvoeren met een mechanistisch pensmodel om de optimale proefopzet vast te stellen en een uitspraak te doen over de verwachte effecten van maatregelen op CH₄-emissie.
- Invoegen van het werkingsmechanisme van een beperkt aantal voedingsmaatregelen in dit model voor zover deze ontbreken. Hierbij wordt tevens teruggegrepen op de experimentele gegevens die verzameld zijn in onderdeel 1 (zowel het met private middelen als het met publieke middelen gefinancierde deel)
- Op basis van het aangepaste / uitgebreide model verkennen wat de uitwerking is van de onderzochte CH₄-reducerende maatregelen bij uiteenlopende (voedings)omstandigheden
- Met het uitgebreide model de effecten weergeven van het altemneren van CH₄-reducerende maatregelen weergeven
- Met het uitgebreide model de interacties weergeven tussen maatregelen gericht op ruwvoerders, zetmeelbronnen en CH₄-inhiberende stoffen.

Onderdeel: ontwikkeling gebruikersinterface

Enkele jaren geleden werd in opdracht van Productschap Diervoeder een verkennende studie uitgevoerd naar de mogelijkheden om een gebruikersinterface te ontwikkelen rondom het ASG pensfermentatiemodel. Deze studie werd samen met vertegenwoordigers van het mengvoerbedrijfsleven en Productschap Diervoeder uitgevoerd. Een beschrijving werd gegeven van de gewenste functionaliteit van deze gebruikersinterface. Hierbij werd al geanticipeerd op het beschikbaar komen van een dynamisch, mechanistisch model voor de vertering in de dunne darm van melkvee (Bannink & Dijkstra, 2010a) en de dikke darm (Bannink & Dijkstra, 2010b). Het ontwerp van de gebruikersinterface bevat zowel productietechnische elementen als milieukundige elementen, waaronder berekeningen van CH₄ en excretie. Naast een beschrijving van de gewenste opzet en functionaliteit van de gebruikersinterface werden

tevens schermontwerpen opgesteld waaruit deze functionaliteit blijkt (Bannink & Gerrits, 2004b).

Het primaire doel van dit onderdeel is het ontwikkelen van een gebruikersinterface die het mogelijk maakt om het Tier 3 model te gebruiken dat momenteel wordt ingezet bij het inschatten van de CH₄-emissie in melkvee conform het protocol voor de nationale emissieregistratie. Daartoe wordt een gebruikerspaneel ingesteld die vaststelt hoe, binnen het beschikbare budget, te komen tot het formuleren van eisen waaraan de gebruikersinterface moet voldoen, een ontwikkeltraject in te zetten voor het bouwen van de gebruikersinterface, het testen van de gebruikersinterface (betrokkenheid onderzoekers die model ontwikkeld hebben) en het organiseren van beheer en gebruik van de gebruikersinterface. Het doel van dit onderdeel is het realiseren van een 'stand-alone' gebruikersversie van het ASG-pensfermentatiemodel.

Voorgesteld onderzoek:

- Vaststellen en 'updaten' van de functionaliteit waaraan de gebruikersinterface moet voldoen. Onder andere dient de gebruikersinterface ten dienste te staan van het beantwoorden van vragen vanuit beleid, in dit geval CH₄-emissie in melkvee.
- Ontwikkeling van een gebruikersinterface met gebruikmaking van een DLL van het de dynamische, mechanistische modellen die reeds ontwikkeld zijn door ASG.
- Begeleiding van ontwikkeltraject door vertegenwoordiging van het ministerie VROM en/of LNV, het Productschap Diervoeder, en betrokkenheid van ASG-onderzoekers bij het testen van de functionaliteit van de ontwikkelde softwareapplicatie.

Aspect 6.

In kaart brengen van afwentelingen naar andere emissies en milieueffecten, haalbaarheid van CH₄-reducerende voedingsmaatregelen, vertaling resultaten melkvee naar andere herkauwersoorten (m.n. schaaap)

Verkenning afwentelingen naar andere emissie en milieueffecten en haalbaarheid van CH₄-reducerende voedingsmaatregelen

Voedingsmaatregelen die een verlaging geven van de CH₄-emissie in melkvee hebben mogelijk ook een effect op andere emissies dan die van enterische CH₄. Zo lijkt er een relatie te zijn tussen CH₄-emissie en N-excretie met bijbehorende N-emissies als die van het broeikasgas lachgas (Dijkstra et al., 2010). Het is dus zaak om niet enkel het CH₄-reducerende effect van een voedingsmaatregel in te rekenen. Ook moet een inschatting gemaakt worden van de effecten op andere (al dan niet broeikasgas-) emissies dan de emissie van CH₄, en op de prestaties van melkvee (voeropname, vertering, melkproductie).

De inschatting van het effect op andere emissies zal worden gemaakt op basis van de huidige inzichten en generieke waarden die gehanteerd in het bedrijfsbegrotingsprogramma BBPR. Voordeel van BBPR is dat naast berekeningen van de milieukundige en productietechnische aspecten er ook berekeningen kunnen worden gemaakt voor de haalbaarheid van een voorgestelde maatregel.

Ook andere instrumenten dan BBPR kunnen geraadpleegd worden. Vooral van belang is dat de onderliggende rekenregels en aannames goed onderbouwd zijn, en op een transparante wijze beschreven zodat de gehanteerde methodiek te vergelijken en wetenschappelijk te beoordelen is. Ook zullen generieke waarden bij voorkeur gebaseerd moeten zijn op peer-reviewed wetenschappelijke publicaties (onbesproken en transparante referenties). Het vasthouden aan deze aanpak is zonder meer een pre indien het doel is om de onderzoeksresultaten te publiceren in een wetenschappelijk tijdschrift.

Voorgesteld onderzoek:

- Aanwijzingen geven hoe bedrijfsmodellen aan te passen om bij berekeningen op bedrijfsschaal op een juiste wijze het effect van voermaatregelen op CH₄-emissie en melkproductie te kunnen meenemen. Een bedrijfsmodel moet gebruikt worden dat voldoende toegerust is om de uiteenlopende aspecten rondom bedrijfsvoering, die relevant zijn in verband met mogelijke afwenteling van reductie van CH₄-emissie naar overige milieueffecten, mee te nemen (overige directe en indirecte broeikasgasemissies, ammoniakemissie, nitraatuitspoeling). Ook moet het bedrijfsmodel in staat zijn om een analyse te geven van de kosteneffectiviteit van veranderingen in voeding, bedrijfsmanagement en de veevoedermaatregelen die in dit programma onderzocht worden.
- Tevens moet een koppeling worden gemaakt tussen wijzigingen in bedrijfsstrategie en -management (voeraankoop, bemesting- en oogststrategie, voerwinning) en de gevolgen voor voeding en de rantsoeneigenschappen. Dit laatste is van groot belang voor het kunnen doorrekenen van het te verwachten effect van een veranderde voeding op de CH₄-emissie door melkvee in het bedrijfsmodel. Voor invulling van dit aspect is er een nauwe afstemming nodig met onderdeel 2 van het 'Innovatieprogramma Emissiearm Veevoer'.
- Berekenen van de gevolgen van CH₄-reducerende voermaatregelen voor overige broeikasgasemissies (CH₄, m.n. mestopslag) en N₂O (m.n. bodem) en ammoniakemissie voor enkele standaard bedrijfstypes. Hierbij wordt in kaart gebracht welke bijdrage een gereduceerde CH₄-emissie door melkvee kan leveren aan een reductie van de totale bedrijfsemissie van broeikasgassen.
- Nagaan of, en hoe, afwenteling van een gereduceerde CH₄-emissie door melkvee naar een toename van overige directe of indirecte broeikasgasemissies,

ammoniakemissies en nitraatuitspoeling voorkomen kan worden. Voor invulling van dit aspect is eveneens nauwe afstemming en samenwerking nodig met onderdeel 2 van het 'Innovatieprogramma Emissiearm Veevoer'.

- Het vertalen van de onderzochte effecten van voedingsmaatregelen voor CH₄-reductie naar omstandigheden op praktijkbedrijven die participeren in het Koeien & Kansen als onderdeel 2 van het 'Innovatieprogramma Emissiearm Veevoer'

Verondersteld wordt dat er met onderdeel 2 rekenmethoden kunnen worden uitgewisseld (conform de actuele inzichten) rondom de niet-enterische emissies op een melkveebedrijf, en indien noodzakelijk daarbuiten.

CH₄ versus lachgas

Kenmerken van systeem waaraan gemeten wordt

Een meting van de invloed van een voermaatregel op enterische CH₄-productie heeft een algemene zeggingskracht voor andere productieomstandigheden. Voorwaarde is dat het onderzoek een onderbouwing geeft voor het werkingsmechanisme. Hiervoor is het meestal noodzakelijk dat experimenten worden uitgevoerd met een vaste voeropname. De omstandigheden in de pens van melkvee daarentegen zijn sterk gereguleerd door de melkkoe en om die reden eenvoudiger in kaart te brengen.

Een meting van de lachgasemissie heeft veel minder algemene zeggingskracht omdat het systeem waaraan gemeten wordt (bodem) veel meer bloot staat aan externe invloeden en condities heeft die zeer variabele zijn. Zo is lachgasemissie niet alleen afhankelijk van de hoeveelheid N die in de bodem gebracht wordt, maar ook van neerslagpatroon, bodemtemperatuur, zuurgraad, grondwaterstand, mineralisatie en onttrekking door gewasgroei.

Beschikbare metingen / lopend onderzoek

De afgelopen decennia tot op heden (dr. Velthof, Alterra; dr. Mosquera, ASG; dr. J.W. Van Groenigen; WU) wordt er veelvuldig experimenteel onderzoek verricht naar lachgasemissies. Er zijn meetgegevens verzameld in het kader van het programma Reductie Overige Broeikasgassen gecoördineerd door SenterNovem (huidige Agentschap-NL), in meerdere EU-programma's en ook binnen meerdere LNV-onderzoeksprogramma's ('Mest & Mineralen, programma 398-I; 'Gasvormige Emissies', programma 415; het BO5-onderzoeksprogramma, thema Gasvormige emissies; KB2-programma 'Klimaatverandering'). Daarnaast wordt momenteel strategisch onderzoek verricht naar lachgasemissie in het kader van een vidi beurs verkregen door dr. J.W van Groenigen van de WU.

Er zijn sinds de 70-er jaren geen metingen meer verricht aan enterische CH₄-emissie bij melkvee tot aan 2007. De 'oude' metingen zijn echter niet geschikt voor het afleiden van de effectiviteit van voermaatregelen omdat cruciale gegevens over het rantsoen ontbreken (Bannink et al., 2010). Er zijn wel veel metingen verricht met indirecte meetmethoden (pluimmetingen in veld, stalmetingen, atmosferische metingen, metingen met SF₆ als merkgas) in het kader van het Rob-Agro onderzoeksprogramma, EU-programma's (Carbon Europe, e.d.), echter dergelijke meetgegevens zijn ongeschikt voor een nauwkeurige evaluatie van de effectiviteit en het werkingsmechanisme van CH₄-reducerende maatregelen. Het ontbreekt dus aan geschikte meetgegevens voor het effect van voermaatregelen op de enterische CH₄-productie.

Combineren metingen CH₄ en lachgas

___ Bij verlaging van het ruw eiwitgehakte van rantsoenen lijkt er sprake van een afwenteling tussen enterische CH₄ en N-excretie en bijbehorende lachgasemissie. Het experimenteel vaststellen van deze afwenteling is binnen het hier voorgestelde onderzoeksprogramma echter niet mogelijk omdat bij meting van het effect van geoogst gras op de enterische CH₄-productie de daarbij verkregen mest niet gebruikt kan worden voor het produceren van dat gras. Het ligt dan ook meer voor de hand om degelijke effecten op praktijkbedrijven na te meten.

Een bijkomend probleem is dat het onzeker is in hoeverre een lachgasmeting op een perceel grasland wel algemene zeggingskracht heeft. Bovendien zijn effecten bijvoorbeeld N-bemesting en moment van mesttoediening op lachgasemissie al veelvuldig experimenteel vastgesteld. Herhaling van dergelijke metingen levert geen ander generiek emissie % op.

Kwantificering

Bovenstaande verschillen tussen enterische CH₄ en lachgas uit de bodem maken dat voor schatting van de lachgasemissie men noodgedwongen volstaat met het afleiden van een enkele generieke waarde voor het percentage van de N-bemesting dat emitteert als lachgas. Een vergelijkbare aanpak is de Tier 2 benadering voor het schatten van de enterische CH₄. Bij deze methode wordt aangenomen dat 6.0% van de bruto energieopname emitteert als CH₄. Er zijn echter meerdere argumenten die maken dat de aanname van een constante 6.0% een onjuiste aanpak is bij verschillende voedingsmaatregelen en dus geen recht doet aan de effectiviteit van een CH₄-reducerende voermaatregel.

Om die reden wordt gebruikt gemaakt van een dynamisch, mechanistisch model dat wel recht kan doen aan de effectiviteit van voermaatregelen. Ook voor het schatten van de lachgasemissies zijn dergelijke dynamisch, mechanistische modellen voorhanden (Li et al., 1992a, 1992b). Maar, de problematiek van de emissiemetingen en de variabiliteit van lachgasemissie als proces maakt dat dergelijke modellen met veel minder vertrouwen kunnen worden ingezet, en men liever gebruik maakt van een diversificatie van emissie % voor lachgas bij verschillende managementopties

Vertaling effecten voedingsmaatregelen naar andere herkauersoorten

Bij andere herkauwers dan melkvee, zijn de processen van CH₄-vorming in de pens zijn niet wezenlijk anders. Het grootste verschil in CH₄-emissiefactoren is gelegen in het niveau van voeropname en de samenstelling van het rantsoen. Qua orde van grootte zal het pensfermentatiemodel dan ook waarschijnlijk een goede indicatie geven van de mate van het voor melkvee aangetoonde reducerende effect op CH₄ ook toegerekend kan worden aan andere categorieën herkauwers.

Het aantal vleeskalveren in Nederland is hoog (ca 800.000). Het grootste deel van het rantsoen van vleeskalveren bestaat echter uit kalvermelk. Voor het overgrote deel komt melk niet in de voermagen terecht, wordt bijna volledig opgenomen uit de dunne darm, en draagt daarmee niet of nauwelijks bij aan CH₄-vorming. De opname aan ruw- en krachtvoer van de meeste vleeskalveren is gering. In de praktijk wordt vaak niet ver boven het minimum voorschrift van de EU gevoerd (gedurende het mesttraject 50 tot 200 gram vezelhoudend voer per dag). De rose-vleeskalveren zijn gering in aantal. De bijdrage van vleeskalveren aan de CH₄-uitstoot is gering en de mogelijkheden om daar via voeding op in te spelen idem.

Het aantal vleesveedieren (vleeskoeien, weidekoeien, zoogkoeien en jongvee) is ongeveer 400.000. De betreffende houderijsystemen zijn zeer divers. Er is geen reden te veronderstellen dat de CH₄-vormingsprocessen in bijvoorbeeld een zoogkoe anders verlopen dan in een melkkoe, indien beide hetzelfde rantsoen zouden krijgen. De resultaten van onderzoek met melkvee kunnen wellicht worden doorgetrokken naar vleesvee.

De fermentatie- en metabolismeprocessen in de voermagen van geit en schaaap zijn op diverse punten enigszins afwijkend van dat van runderen. Bijvoorbeeld, het effect van anti-nutritionele factoren in geiten is lager dan in rundvee vanwege factoren waaronder veranderingen in eiwit in speeksel van geiten ten opzichte van rundvee (Foley *et al.*, 1999), waardoor het effect van tanninen in geiten minder groot zou kunnen zijn. Bij schapen is ook bekend dat de samenstelling en diversiteit van pensflora sterk afwijkt van die bij rundvee (Klieve *et al.*, 2007). Daarom kan niet op voorhand worden verondersteld dat de CH₄-reducerende maatregelen bij rundvee 1 op 1 toepasbaar zijn voor andere herkauwers. Het aantal schapen is duidelijk hoger dan dat van geiten (1.3 miljoen en 0.3 miljoen, respectievelijk). Onderzoek met schapen qua toepasbaarheid lijkt daarmee het meest veelbelovend. Daar staat tegenover dat juist bij geiten er meer ingegrepen wordt in voedingsmanagement en dit meer perspectief biedt voor toepassing van diverse opties uit het huidige voorstel.

Schapen hebben een relatief laag voeropnameniveau ten opzichte van melkvee en ontvangen meestal een laagwaardiger, ruwvoerrijker rantsoen waarin gras(kuil) een hoofdbestanddeel is. Voerstrategieën zouden zich daarom vooral moeten richten op graskwaliteit in samenspraak met CH₄-inhiberende stoffen geschikt voor ruwvoer (met name tanninen). Om de mate van overeenkomst tussen koeien en schapen vast te stellen als basis voor toepasbaarheid van andere melkvee strategieën bij schapen is in eerste instantie gewenst te onderzoeken in hoeverre CH₄-emissies (op juiste manier geschaald, bijv. per eenheid opgenomen voer of per eenheid lichaamsgewicht) op gelijke rantsoenen bij volwassen schapen en niet-lacterende volwassen koeien gelijk zijn. Vervolgens kunnen enkele veelbelovende CH₄-inhiberende stoffen uit eerder onderzoek getest worden waarbij ook de praktische toepasbaarheid voor de schapen- en geitensector een rol speelt.

Voorgesteld onderzoek:

- Met modelmatige aanpak vertalen van de effectiviteit van CH₄-inhiberende voedingsmaatregelen naar andere categorieën herkauwers, met specifieke

aandacht voor vleesvee, schapen en melkgeiten. Op basis de beschikbare kennis rondom de voeding van deze diercategorieën zal een inschatting worden gemaakt van het rantsoen.

- Op uitnodiging van de onderzoeksgroep van AgResearch in Nieuw-Zeeland zijn afspraken gemaakt over samenwerken op het terrein van het modelleren van CH₄-emissie in schapen
- Uitwisseling van kennis uit dit programma in de zogeheten 'Global Research Alliance' die recent is opgericht en waarbij Nederland en Nieuw-Zeeland de coördinatie van het onderdeel veehouderij op zich nemen.

Rantsoen veroorzaakt relatief meer methaan bij schapen dan koeien

Geiten, maar vooral schapen, hebben een aanzienlijk lager voeropnameniveau dan melkvee. Een zogende ooi (1^e maand lactatie, 2 lammeren) van 75 kg heeft een voeropname van ongeveer 2.6 kg DS/dag, ofwel 102 g/kg^{0.75}/d. Een lacterende geit (6 kg melk/dag) van 75 kg vreet ca 4 kg DS/dag, ofwel 157 g/kg^{0.75}/d. Een lacterende koe (30 kg melk/d) van 650 kg neemt ca 22 kg DS/dag op, ofwel 171 g/kg^{0.75}/d. Voeropnameniveau is een belangrijke factor in de methaanuitstoot: een hoger voeropnameniveau gaat gepaard met een daling van de hoeveelheid methaan per eenheid opgenomen bruto energie. Bovendien wordt aan schapen vaak een laagwaardiger, energiearmer voer verstrekt dan aan koeien. Beide factoren zorgen ervoor dat de hoeveelheid methaan, uitgedrukt als fractie van de bruto energie (GE) (de Methaan Conversie factor MCF) bij schapen gemiddeld hoger is dan bij melkvee.

Voorbeeld (schatting met behulp van de formule van Blaxter & Clapperton, 1965):

- Melkkoe, 25 kg melk/dag, voeropnameniveau 3 maal onderhoudsbehoefte, rantsoenverteerbaarheid 75%, MCF is **5.6%**
- Schaap, 2^e maand lactatie, voeropnameniveau 1.5 maal onderhoudsbehoefte, rantsoenverteerbaarheid 65%, MCF is **7.3%**

Internationale samenwerking

Global Research Alliance

De onderzoeksresultaten zullen worden ingebracht in de Global Research Alliance (GRA) die momenteel wordt opgericht. Rondom de emissie uit de veehouderij hebben Nederland en Nieuw-Zeeland een coördinerende rol op zich genomen. Rondom de 'cross-cutting' 'modelling and measurements' in GRA hebben Nederland en Canada de leiding.

Het belang van de technische achtergronden waarbij de onderzoeksgegevens verkregen zijn, maakt dat de betrokken onderzoekers verantwoordelijk moeten worden gemaakt voor de uitwisseling van gegevens en inzichten met de buitenlandse onderzoeksgroepen. Een voordeel is dat de betrokken onderzoekers al benaderd zijn door Nieuw-Zeeland (dr. H. Clark) voor intensivering van de samenwerking en uitwisseling van onderzoeksresultaten.

Huidige samenwerking met buitenlandse groepen:

Nieuw-Zeeland. Recent is door een van de opstellers van dit programmavoorstel op uitnodiging van dr. H. Clark (AgResearch, NZ) een bezoek gebracht aan enkele Nieuw-Zeelandse onderzoeksgroepen (AgResearch, DairyNZ). Het doel van dit bezoek was om te inventariseren op welke terreinen de huidige samenwerking uitgebreid kan worden. Gedacht wordt aan een mogelijke (tijdelijke) uitwisseling van personeel, maar vooral van studenten en PhD's.

Daarnaast was er reeds sprake van een samenwerking tussen University of Guelph (CA), Wageningen UR (NL) en AgResearch (NZ) rondom de relatie tussen graseigenschappen en CH₄-productie.

Canada. Er is al enkele decennia sprake van een nauwe samenwerking met prof. dr. J. France, momenteel leider van het Centre of Nutrition Modelling van de University of Guelph. De samenwerking is intensief en beslaat verschillende terreinen, waaronder enterische CH₄-vorming. Er is sprake van een intensieve uitwisseling van PhD's (o.a. J.L. Ellis; S.E. Hook).

Verenigde Staten. Er is sinds kort eveneens een intensieve samenwerking met de University of California in Davis, via de persoon van prof. dr. E. Kebreab. De samenwerking beslaat verschillende onderwerpen, waaronder modellering van enterische CH₄-vorming en rapportage ten behoeve van de nationale emissieregistratie van broeikasgassen.

Verenigd Koninkrijk. Er bestaat al enkele decennia een nauwe samenwerking met prof. dr. C.K. Reynolds en dr. J.A.N. Mills van de University of Reading. Deze samenwerking omvat eveneens het in kaart brengen van broeikasgassen en de bijdrage van enterische CH₄ in herkauwers, alsook onderzoek naar N-metabolisme.

Europese Unie (KP7). Verschillende EU-programma's lopen momenteel, of zijn toegekend en zitten in de voorbereidings/onderhandelingsfase. Het betreft zowel strategisch als toepassingsgericht onderzoek:

- DAIRYMAN (praktijknetwerk met uitwisseling en overdracht van kennis en Methoden; opzet analoog aan die binnen Koeien & Kansen).
- ANIMALCHANGE (positief beoordeeld en start in 2011; rol van ASG met name modellering van emissies in dier, excreties en de gevolgen voor emissies uit mest en bodem; het doel is om afwentelingen tussen verschillende emissiebronnen beter te gaan kwantificeren op bedrijfsniveau, het verbeteren van bedrijfs- en regionale monitoringsmethoden, en (methoden aanreiken voor het) identificeren van kansrijke maatregelen.
- REDNEX (reductie van N excretie door herkauwers; is relevant vanwege samenhang met lachgas- en CH₄-emissies).

Criteria invulling onderzoek ('Terms of Reference')

Experimentele aspecten

- Respiratiekamers als gouden standaard. De meting van CH₄-uitstoot kan onbetwist het meest accuraat plaats vinden in klimaatrespiratiekamers. Deze methode is het meest nauwkeurig en betrouwbaar (minder risico op verrassingen bij de technische uitvoering). Dit is onder andere duidelijk geworden uit langdurig Nieuw-Zeelands onderzoek.

Het is niet aan te bevelen om met alternatieve methoden (sneller, goedkoper, hogere aantallen dieren) te gaan werken, tenzij die eerst volledig ontwikkeld en eerst grondig geverifieerd te worden. Indien alternatieve methoden gebruikt worden dan heeft het gebruik van met stabiele isotopen gelabeld CH₄ de voorkeur boven SF₆. Dergelijke alternatieve technieken dienen echter altijd gevalideerd te worden tegen de gouden standaard.

- Controle en sturing rantsoen en voeropname. Om een sluitende uitspraak over effecten van rantsoen, CH₄-inhiberende stoffen etc. op CH₄-vorming te kunnen doen, is het beperken van ongewenste variatie in de proefopzet een essentieel punt van aandacht. Daarom dient de voeropname (voorkomen van selectie van voerdeeltjes; accurate meting per dier per dag) en de samenstelling van opgenomen voer en van de voerresten (belangrijkste chemische karakteristieken) nauwkeurig te worden vastgesteld.

- Volledigheid van verzamelde set meetgegevens. Het werkingsmechanisme, en de effectiviteit, kan alleen in kaart gebracht worden bij juiste meting van de inputfactoren. Ook moet in alle proeven tenminste de vertering en/of metaboliseerbaarheid en melkproductie worden gemeten, zodat de CH₄ ook uitgedrukt kan worden per eenheid verteerd voer of per eenheid melk.

Voor het aantonen van het werkingsmechanisme is het noodzakelijk het experimentele werk te ondersteunen met meetgegevens rondom de pensfermentatie. Dit betekent dat gegevens verzameld dienen te worden rondom de effecten van de voermaatregel op het fermentatiepatroon, de zuurgraad, en eventueel de kinetiek van deeltjes en vloeistofpassage.

- Aansluiting keuzes proefopzet op onderzoeksvraag. Afhankelijk van de onderzoeksvraag is controle over het niveau van voeropname gewenst (bijv. bij vaststellen effectiviteit / werkingsmechanisme van een additief), of juist niet gewenst (voor vaststellen van de invloed op de voeropname door melkvee). Dergelijke keuzes dienen goed onderbouwd te worden omschreven bij aanvang van het onderzoek, en om het risico op geen internationale acceptatie van positieve resultaten te voorkomen.

Analyse, kwantificering & modellering

- Basisgegevens uit het experimenteel onderzoek moeten in een vroeg stadium beschikbaar komen om invulling te kunnen geven aan het programmaonderdeel waarin een weergave van de werkingsmechanismen wordt ingebouwd in het model voor CH₄-emissie dat gebruikt wordt in de Nederlandse emissieregistratie.

Weergave van het werkingsmechanisme is noodzakelijk om, conform internationale afspraken, een onderbouwing te geven van de emissiereductie die met de onderzochte maatregel wordt bereikt op nationale schaal. Het voor de emissieregistratie gehanteerde protocol wordt ieder jaar onderworpen aan een internationale 'review' waarbij men ook vooral aandacht besteed aan de wetenschappelijke onderbouwing en een correcte opzet en beschrijving van de gehanteerde protocollen.

- Aansluiten bij recente up-to-date methodologie voor nationale emissieregistratie door PBL (Planbureau Natuur & Leefomgeving). De emissieregistratie van CH₄ door melkvee is enkele jaren geleden gewijzigd. De standaard IPCC Tier-1 of Tier-2 normen zijn niet langer van toepassing bij de Nederlandse emissieregistratie. Een mechanistisch model wordt ingezet als Tier 3 methode om de invloed van wijzigingen in het rantsoen en de productie van de gemiddelde Nederlandse melkkoe op de CH₄-uitstoot te kwantificeren. Uitvoering van onderzoek in dit project dient bij voorkeur aan te sluiten bij deze methodologie.

Communicatie

- Voorspelling uitstoot & communicatie gebaseerd op mechanisme in plaats van empirie. Om de resultaten van proeven te vertalen naar andere omstandigheden, andere productieniveaus, of andere productiedoelinden dan wel diersoorten, is een voorspelling nodig die gebaseerd is op onderliggende werkingsmechanismen. Kennis van onderliggende factoren geeft de mogelijkheid beter te sturen, interacties in kaart te brengen, en ook in de nabije toekomst nieuwe inzichten in te kunnen bouwen.

Deze communicatie is nadrukkelijk een doel in het gehele innovatieprogramma. Om die reden is er een uitwisseling nodig van onderzoeksgegevens ten behoeve van modelleeractiviteiten (aanpak conform het Tier 3 model dat gebruikt voor de Nederlandse emissieregistratie) en ten behoeve van het meer praktijkgerichte onderdeel (Koeien & Kansen). Op deze wijze moeten resultaten vertaald worden naar emissieregistratie en naar meer praktische omstandigheden. Deze communicatie en uitwisseling dient uiteraard te geschieden met inachtneming van de belangen van betrokken (private en niet-private) partijen.

- Efficiënt gebruik en inzetten van internationale contacten. Het CH₄ onderzoek bij herkauwers staat wereldwijd in de belangstelling. Synergie en uitwisseling is vereist met toonaangevende internationale instellingen op het terrein van voeding en CH₄-productie in het maagdarmkanaal, en op het terrein van het modelmatig kwantificeren van deze CH₄-productie. Samenwerking gebaseerd op kundige inbreng en expertise van alle partijen verdient de voorkeur.

Het is een groot risico om het experimentele onderzoek te veel te versnipperen, en met verschillende proefopzet en meetprotocollen te laten uitvoeren. Voorkomen van dit laatste is van niet te onderschatten betekenis en noodzakelijk voor eenduidige resultaten en voor de mogelijkheid om resultaten van de verschillende onderdelen uiteindelijk met elkaar te kunnen vergelijken.

- Wetenschappelijke publicaties, internationale toegankelijkheid en erkenning. De recente wijziging in emissieregistratie methodologie (voorgaande aandachtspunt) is onderbouwd met internationale wetenschappelijke publicaties. Dit is essentieel voor een wereldwijde erkenning van voorgestelde aanpassingen in methoden en berekeningen. Daarom moeten resultaten uit dit project internationaal beschikbaar komen en van onbetwiste wetenschappelijke kwaliteit zijn. Dit is alleen haalbaar bij publicatie van 'peer-reviewed' artikelen in internationale wetenschappelijke tijdschriften. Het onderzoek dient dan ook bij voorkeur te worden uitgevoerd door instellingen die wat betreft onderzoek naar CH₄-emissie en publiceren een aantoonbare 'track-record' hebben.

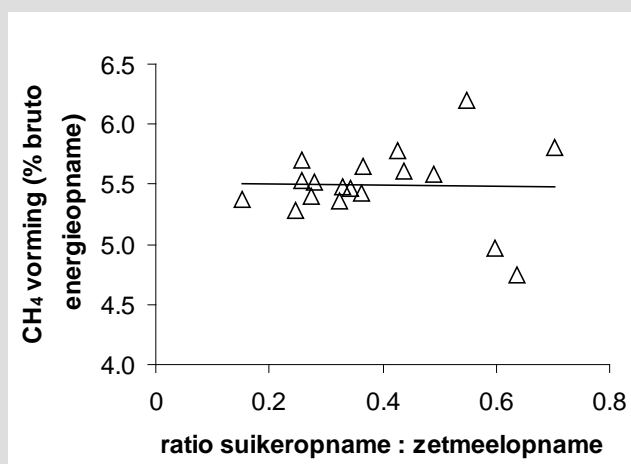
Voorspelling CH₄-emissie gebaseerd op mechanisme in plaats van empirie

Simulatie van het effect van een veranderde voeding op pensfermentatie-omstandigheden op de CH₄-vorming op een zomerrantsoen voor melkvee. De droge stofopname bestaat voor 42% uit vers gras, 9% graskuil, 27% snijmaïs, en 23% krachtvoer. De melkkoeien consumeren 20 kg droge stof per dag die voor de referentiesituatie 6% oplosbare koolhydraten (suikers), 18% zetmeel, 46% celwanden (NDF), 17% ruw eiwit, 4% vet en 8% as bestond.

	CH ₄ vorming % bruto energieopname	Vershil (%) t.o.v. referentie
Referentie situatie	5.69	----
Effect van extreme aanpassingen		
100% zetmeel voor suikers	5.41	-5
100% suikers voor zetmeel	6.48	14
100% zetmeel voor suikers & pens pH = 5.8	5.21	-8
100% suikers voor zetmeel & pens pH = 5.8	5.95	5
Lager oplosbare fractie & hogere afbreekbare fractie (30%) & lagere afbraaksnelheid (-100% /d)	5.73	1
Pens pH 6.4 (+0.3)	5.81	2
Pens pH 5.8 (-0.3)	5.41	-5
Pens pH 5.5 (-0.6)	5.11	-10

Uit bovenstaande simulatieresultaten blijkt duidelijk het CH₄-reducerende effect van meer zetmeel, minder suikers en een lagere zuurgraad (pH) in de pens. In onderstaande figuur zijn met hetzelfde model voorspellingen gedaan voor Koeien&Kansen-bedrijven. Monitoringsgegevens werden als modelinput gebruikt bij deze berekeningen. In tegenstelling tot bovenstaande simulatie-uitkomsten, komt het effect van de ratio suiker:zetmeel niet duidelijk naar voren in deze berekeningen voor Koeien & Kansen bedrijven. Het uitblijven van een duidelijk effect wordt veroorzaakt door de verstrengeling tussen uiteenlopende voerfactoren (verschillen tussen bedrijven in voeropnameniveau, rantsoensamenstelling, de chemische fracties in het rantsoen, afbraakarakteristieken van individuele chemische fracties, pensfermentatie-omstandigheden).

Uit dit voorbeeld blijkt duidelijk dat met uitsluitend empirie uit deze praktijkgegevens geen inzicht zou zijn verkregen over de invloed van suikers en zetmeel op de CH₄-vorming (Bannink *et al.*, 2005).



Overzicht van kostenaspecten

Hieronder volgt een onderverdeling van de kosten die gepaard gaan met de afzonderlijke programmaonderdelen. De kosten zijn weergegeven van uitsluitend de onderdelen met hoge prioriteit, en een enkel onderdeel met hoog/middel prioriteit.

BTW afdracht

Als uitgangspunt is gehanteerd dat geen afdracht van BTW hoeft plaats te vinden en de vermelde kosten in onderstaande begroting zijn alle exclusief BTW.

Verdeling over personeelscategorieën en gehanteerde tarieven

Een begroting met onderverdeling naar personeelscategorieën is opgenomen in de Appendix. Voor de post personeelskosten zijn de LNV-tarieven van WU-personeel aangehouden. Deze gelden voor de uitvoering van experimenten, ondersteunende taken, analyses, begeleiding en AIO's.

Voor taken die door personeel van Wageningen UR / Livestock Research worden uitgeoefend gelden licht afwijkende tarieven voor LNV en voor de Productschappen. Deze verschillen worden verrekend in het aantal beschikbare uren bij inzet door LR-personeel en hebben geen invloed op de kostenposten in onderstaande begroting.

Aanstelling AIO's

De beschikbare budgetruimte stond aanstelling van 4 AIO's niet toe naast uitvoering van alle onderdelen. Om die reden werd in eerste instantie besloten om het experimentele werk rondom het alterneren van additieven (aspect 3) te schrappen. Echter, het programma levert een grote hoeveelheid gegevens op. Ook hecht de begeleidende werkgroep en de financiers aan zo veel mogelijk wetenschappelijke resultaten (die bovendien aanvullend zijn op het met private middelen mede te financieren deel van onderdeel 1).

Om die reden is in het huidige programmavoorstel de keuze gemaakt om het voorgestelde experimentele werk rondom alterneren van additieven (aspect 3) toch uit te voeren, en om 3 in plaats van 4 AIO's aan te stellen. Daarnaast nemen Wageningen University en Wageningen UR / Livestock Research de inspanningsverplichting op zich via de inzet van een bursaal alsnog de maximale wetenschappelijke output te realiseren. Gezien het belang voor bovengenoemde onderzoeksgroepen neemt zij de kosten voor het begeleiden van deze bursaal op zich en dergelijke kosten maken dan ook geen onderdeel uit van de begroting vermeld bij aspect 3.

Aspect 1. Invloed graslandmanagement en eigenschappen gras(kuil) op CH₄-vorming in de pens

Betreft drie experimenten. Indien het effect van voeropname wordt getest, bestaat het experiment uit twee opeenvolgende kortdurende meetperioden bij een (1) hoog voeropnameniveau in de vroege lactatie, en een (2) gemiddeld voeropnameniveau tijdens middenlactatie.

Experiment 1. Effect van 4 stikstofbemestingsniveau op grasland en 2 graskwaliteiten (2 niveaus van droge stofopbrengst snede) met een op graskuil gebaseerd rantsoen (4 x 2 behandelingen)

Experiment 2. Effect van 4 graskwaliteiten (4 niveaus van droge stofopbrengst snede) bij 2 voeropnameniveaus van een op graskuil gebaseerd rantsoen (4 x 2 behandelingen)

Experiment 3. Verschillen in CH₄-vorming bij opname weidegras (gevoerd op stal, oftewel 'zero-grazing' bij 2 verschillende stikstofbemestingsniveaus en 2 niveaus van weidegrasaanbod (2 x 2 behandelingen)

• proeven in respiratiekamers		
indicatie iedere proef met 4 x 2 behandelingen à		585 kEuro
materiele kosten (proefdieren, huisvesting, voeding)	85 kE	
labanalyses	38 kE	
personeel	462 kE	
indicatie iedere proef met 2 x 2 behandelingen à		293 kEuro
materiele kosten (proefdieren, huisvesting, voeding)	43 kE	
labanalyses	19 kE	
personeel	231 kE	
In sacco analyses gras experimenten 1-3		48 kEuro
Pensfermentatie-onderzoek		72 kEuro
Totaal aspect 1		1583 kEuro

Aspect 2. Invloed zetmeelverteringsgedrag op CH₄-vorming in de pens

Betreft twee kortdurende experimenten

Experiment 1. Effect van 2 zetmeelbronnen en 2 zetmeelgehalten in krachtvoer met op graskuil gebaseerde rantsoenen (2 x 2 behandelingen)

Experiment 2. Effect van 4 kwaliteiten maiskuil (1 x 4 behandelingen)

• proeven in respiratiekamers		
indicatie iedere proef met 1 x 4 of 2 x 2 behandelingen à		293 kEuro
materiele kosten (proefdieren, huisvesting, voeding)	43 kE	
labanalyses	19 kE	
personeel	231 kE	
In sacco analyses snijmais experimenten 1-2		18 kEuro
Pensfermentatie-onderzoek		48 kEuro
Totaal aspect 2		652 kEuro

Aspect 3. Alternierende maatregelen voor een permanente reductie CH₄-emissie

Betreft een langdurend experiment voor de duur van 6 maanden.

Experiment 1. Effect van combinatie van CH₄-inhiberende stoffen naar keuze (A & B) die alternerend worden ingezet, vergeleken met controle behandeling met enkel de eerste CH₄-inhiberende stof.

- proeven in respiratiekamers
langere proef met meervoudig alterneren 179 kEuro
materiële kosten (proefdieren, huisvesting, voeding) 55 kE
labanalyses 25 kE
personeel (excl. kosten AIO, uitgangspunt bursaal student) 100 kE

Totaal aspect 3 179 kEuro

Aspect 4. Effectiviteit, interactie en additiviteit van diverse CH₄-reducerende maatregelen

Betreft een kortdurend experiment

Experiment 1. Toetsing van de interactie tussen 2 verschillende typen maatregelen naar keuze door vergelijking van 4 verschillende combinaties van wel of geen toepassing van deze maatregelen.

- proeven in respiratiekamers
experiment 1 × 4 behandelingen 293 kEuro
materiele kosten (proefdieren, huisvesting, voeding) 42 kE
labanalyses 19 kE
personeel 232 kE
- voederproef (testen effecten op voeropname) 30 kEuro

Totaal aspect 4. 323 kEuro

Subtotaal aspecten 1 t/m 4 ¹ 2737 kEuro

Aspect 5. Modelling van de reductie CH₄-emissie onder uiteenlopende omstandigheden

Modelling betreft het uitvoeren van gevoeligheidsanalyses t.b.v. onderzoek aan aspecten 1. en 2., evenals de modelmatige weergave van het effect van CH₄-inhiberende stoffen of procestechnologische behandelingen van grondstoffen op de pensfermentatie.

- gevoeligheidsanalyses 100 kEuro
- modelmatige weergave van effect CH₄-inhiberende stoffen en procestechnologie, alterneren en additiviteit 200 kEuro
- op basis van modelberekeningen uitwisselen van gegevens met onderdeel 2 van 'Innovatieprogramma Emissiearm Veevoer'.
communicatie analyse meetgegevens en modelberekeningen 100 kEuro
- Ontwikkelen van gebruikersinterface 400 kEuro

Totaal aspect 4 800 kEuro

Aspect 6. In kaart brengen van eventuele afwentelingen naar andere emissies en milieueffecten, aanreiken en uitwisselen van gegevens met onderdeel 2 van 'Innovatieprogramma Emissiearm Veevoer' en vertaling naar van effectiviteit voedingsmaatregelen naar andere herkauwersoorten (m.n. schaap)

- Afwentelingen 50 kEuro
- Uitwisselen gegevens t.b.v. onderdeel 2 63 kEuro
- Vertaling effect voedingsmaatregelen voor schaap 50 kEuro

Totaal aspect 6 163 kEuro

Programmacoördinatie

(coördinatie excl. dagelijkse begeleiding AIO's en overig personeel) 300 kEuro

Totaal coördinatie (excl. begeleiding) 300 kEuro

Totale kosten van het volledig met publieke middelen te financieren deel van onderdeel 1 in programma

4000 kEuro

Beoogd tijdpad en deliverables

In onderstaande tabel is het beoogde tijdpad en de deliverables voor de diverse projectonderdelen aangegeven. “Kleinere” deliverables die gepland zijn zoals nieuwsberichten, persberichten, attentiemails, deelname en bijdragen aan themadagen en “social media” zijn niet opgenomen.

Onderstaand indicatieve tijdschema geldt bij ondertekening van contractuele overeenkomst eind 2010 en aanstelling 3 maanden nadien van drie AIO's.

Tabel. Beoogd tijdpad (per kwartaal Q) en deliverables per projectonderdeel

Programma-onderdeel	2011				2012				2013				2014				2015				Deliverables
	Q1	Q2	Q3	Q4 ¹	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q3	
Aspect 1																					
<i>Experiment 1</i>																					
<i>Experiment 2</i>																					
<i>Experiment 3</i>																					
<i>In sacco onderzoek</i>																					
																					3 praktijkpublicaties
																					4 peer reviewed papers
																					PhD thesis 1
Aspect 2																					
<i>Experiment 1</i>																					
<i>Experiment 2</i>																					
<i>In sacco onderzoek</i>																					
																					2 praktijkpublicaties
																					4 peer reviewed paper
																					PhD thesis 2
Aspect 3	²																				
<i>Experiment 1</i>																					
Aspect 4	²																				
<i>Experiment 1</i>																					
<i>Voerproef aspect 4</i>																					
																					2 praktijkpublicatie
																					4 peer reviewed paper
																					PhD thesis 3
Aspect 5																					
<i>Rekenwerk</i>																					
<i>Gebruikersinterface</i>																					Gebruikersinterface
Aspect 6																					
<i>Rekenwerk</i>																					
																					2 peer reviewed paper
																					PhD thesis 4 (bursaal)
Programmacoördinatie																					
Communicatie																					3 praktijkpublicatie

¹ Verhuizing respiratiekamers naar De Born zal een tijdelijke sluiting van de respiratiekamers tot gevolg hebben; WU is afhankelijk van derden wat betreft de duur van deze sluiting; overzicht is indicatief. ² Uitvoering van private gefinancierd deel van onderdeel 1 van Innovatieprogramma Emissiearm Veevoer voor Herkauwers.

Communicatieplan

Communicatiekanalen

Bij toekenning van het programma zal worden gestart met het opstellen van een communicatieplan voor onderdeel 1 van het Innovatieprogramma. Voor communicatie richting sector en beleid wordt gebruik gemaakt van de bestaande communicatiekanalen in onderdeel 2 van het programma (Koeien & Kansen).

Eigen communicatiekanalen voor onderdeel 1 worden opgezet ten behoeve van wetenschappelijke artikelen, artikelen in vakbladen, onderzoeksbijeenkomsten, informatie-uitwisseling tussen onderzoeksgroepen, congresbezoek, inbreng in de GRA, en dergelijke.

Afstemming met onderdeel 2

Er zal een nauwe afstemming zijn en er zullen resultaten en informatie aangereikt worden aan onderdeel 2. Benodigde acties voor deze overdracht van informatie van onderdeel 1 naar onderdeel 2 zijn opgenomen in de huidige begroting bij aspecten 5 en 6. Het gebruik van onderdeel 1 - informatie binnen onderdeel 2 en het uitdragen van de met onderdeel 1 - informatie verkregen resultaten naar sector en beleid maken onderdeel uit van het communicatieplan binnen onderdeel 2.

Er zal overigens niet enkel via onderdeel 2 richting sector en beleid gecommuniceerd worden. Te denken valt aan het publiceren van resultaten in sector en beleid toegankelijke media (vakbladen, web-sites, e.d.).

Communicatie begroting

Er zijn geen aanvullende kosten begroot voor het opzetten van aanvullende communicatiekanalen binnen onderdeel 1, naast momenteel reeds gebruikte communicatiekanalen in onderdeel 2.

Er zijn geen kosten begroot voor communicatie binnen de eigen organisatie, of voor het opzetten en/of ondersteunen van reeds bestaande communicatiekanalen binnen de eigen organisatie.

Referenties

Bannink, A. & J. Dijkstra. 2010a. Een mechanistisch, dynamisch model voor de vertering van zetmeel, eiwit en vet in de dunne darm van de melkkoe. Vertrouwelijk ASG rapport 140, in druk.

Bannink, A. & J. Dijkstra. 2010b. Een dynamisch model voor de fermentatieprocessen in de dikke darm van melkvee. Vertrouwelijk ASG rapport 141, in druk.

Bannink, A. 2010. Theoretical impact of NDF quality on enteric methane production. International Symposium 'Role of Plant Cell Walls in Dairy Cow Nutrition', Livestock research, Wageningen UR.

Bannink, A., S. Tamminga, R. Zom & J. Dijkstra. 2010. The integration of nutritional factors affecting methane loss in cattle. *Nutrition Research Reviews*, in prep.

Bannink, A., M.C.J. Smits, E. Kebreab, J.A.N. Mills, A. Klop, J. France & J. Dijkstra. 2010. Effects of grassland management and grass ensiling on methane emissions from lactating cows. *Journal of Agricultural Science (Cambr.)* 148: 55-72.

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

Bannink, A. & Dijkstra, J., 2007. Toevoeging van enkele onderdelen aan een dynamisch pensmodel [weergave van voeropnamepatroon, vetzuurmetabolisme in de pens, en empirische vergelijkingen voor de voorspelling van darmvertering en melkproductie op basis van melksamenstelling]. Internal ASG report 72, Animal Sciences Group, Lelystad, NL (*in Dutch*).

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

Bannink, A., J. Dijkstra, E. Kebreab & J. France. 2006b. Advantages of a dynamical approach to rumen function to help resolve environmental issues. In *Modelling Nutrient Utilization in Farm Animals* (Eds. E. Kebreab, J. Dijkstra, J. France, A. Bannink & W.J.J. Gerrits), pp. 281-298. Wallingford: CAB International, UK.

Bannink, A. & J. Dijkstra. 2006. Voorspelling van de zuurgraad van pensvloeistof. Internal ASG report 12, Animal Sciences Group, Lelystad, NL (*in Dutch*).

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

Bannink, A. & J. Dijkstra. 2005. Schatting van de vorming van vluchtige vetzuren uit gefermenteerd substraat in de pens van melkvee. Report 05/I002371 Nutrition & Food, Animal Sciences Group, Lelystad, NL (*in Dutch*).

Bannink, A & W.J.J. Gerrits. 2004a. Beschrijving functionaliteit gebruikersinterface voor het op nutriënten gebaseerd voederwaarderingssysteem voor melkvee. Report 04/0011459 – deel A, Nutrition & Food, Animal Sciences Group, Lelystad.

- Bannink, A & W.J.J. Gerrits. 2004b. Beschrijving functionaliteit gebruikersinterface voor het op nutriënten gebaseerd voederwaarderingsysteem voor melkvee. ‘ Schermonwerpen’. Report 04/0011459 – deel B, Nutrition & Food, Animal Sciences Group, Lelystad.
- Beauchemin, K.A., S.M. McGinn, C. Benchaar & L. Holtshausen. 2009. Crushed sunflower, flax, or canola seeds in lactating dairy cow diets: Effects on methane production, rumen fermentation, and milk production. *Journal of Dairy Science* 92: 2118-2127.
- Beauchemin, K.A., M. Kreuzer, F. O’Mara & T.A. McAllister. 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: A review, *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 21–27.
- Blaxter, K.L. & J.L. Clapperton. 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *British Journal of Nutrition* 19, 511-520.
- Brandes, L.J., P.G. Ruysenaars, H.H.J. Vreuls, P.W.H.G. Coenen, K. Baas, K. van den Berghe, G.J. van den Born, B. Guis, A. Hoen, R. te Molder, D.S. Nijdam, J.G.J. Olivier, C.J. Peek & M.W. van Schijndel. 2007. Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands 1990-2005. National Inventory Report 2007. Netherlands Environmental Assessment Agency (MNP), Bilthoven, NL.
- Calsamiglia, S. M. Busquet, P.W. Cardozo, L. Castillejos & A. Ferret. 2007. Invited review: essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science* 90: 2580-2595.
- Carulla J.E., M. Kreuzer, A. Machmuller & H.D. Hess. 2005. Supplementation of *Acacia mearnsii* tannins decreases methanogenesis and urinary nitrogen in forage-fed sheep. *Australian Journal of Agricultural Research* 56: 961-970.
- Castillejos, L., S. Calsamiglia, A. Ferret & R. Losa. 2007. Effects of dose and adaptation time of a specific blend of essential oils compounds on rumen fermentation. *Animal Feed Science Technology* 132:186–201.
- CBS, 2009. Dierlijke mest en mineralen 1990 - 2008 Beschikbaar op www.cbs.nl. Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag, Nederland..
- Chilliard, Y., C. Martin, J. Rouel & M. Doreau. 2009. Milk fatty acids in dairy cows fed whole crude linseed, extruded linseed, or linseed oil, and their relationship with methane output. *Journal of Dairy Science* 92: 5199-5211.
- Dijkstra et al., 2010. Effects of nutritional strategies on nitrogen and methane losses in dairy cattle. In: Proceedings of the 7th International Workshop on Modelling Nutrient Digestion and Utilization in Farm Animals, Paris. Wageningen Academic Publishers, in press.
- Dijkstra, J., Bannink, A., France, J. & Kebreab, E. (2007). Nutritional control to reduce environmental impacts of intensive dairy cattle systems. In *Proceedings of the 7th International Symposium on the Nutrition of Herbivores. Herbivore Nutrition for the Development of Efficient, Safe and Sustainable Livestock Production*, pp. 411-435 [Q.X. Meng, L.P. Ren & Z.J. Cao, editors]. Beijing: China Agricultural University Press.

- Dijkstra, J., E. Kebreab, J.A.N. Mills, W.F. Pellikaan, S. López, A. Bannink & J. France. 2007. Predicting the profile of nutrients available for absorption: from nutrient requirement to animal response and environmental impact. *Animal* 1: 99-111.
- Dijkstra, J., A. Bannink, K.W. van der Hoek & W. Smink. 2006. Simulation of variation in methane emissions from enteric fermentation in Dutch dairy cattle. *Journal of Animal Science* 84 (Suppl 1) / *Journal of Dairy Science* 89 (Suppl 1): 259.
- Dijkstra, J., W.J.J. Gerrits, A. Bannink & J. France. 2000. Modelling lipid metabolism in the rumen. In: J.P. McNamara, J. France & D.E. Beever (Eds.), *Modelling Nutrient Utilization in Farm Animals*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 25-36.
- Dijkstra, J., H.D.St.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.
- Eckard, C.J., C. Craigner & C.A.M. de Klein. 2010. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: a review. *Livestock Science* 130: 47-56.
- Ellis, J.L., A. Bannink, J. France, E. Kebreab & J. Dijkstra. 2010. Evaluation of enteric methane prediction equations for dairy cows used in whole farm models. *Global Change Biology* (DOI 10.1111/j.1365-2486.2010.02188.x), in press.,
- Foley, W. J., G. R. Iason & C. McArthur. 1999. Role of plant secondary metabolites on the nutritional ecology of mammalian herbivores: how far have we come in 25 years? Pages 130–209 in *Nutritional Ecology of Herbivores*. H. J. G. Jung, & G. C. Fahey, Jr., ed. Fed. Am. Soc. Anim. Sci., Savoy, IL.
- France, J., D.E. Beever, R.C. Siddons. 1993. Compartmental schemes for estimating methanogenesis in ruminants from isotope dilution data. *Journal of Theoretical Biology* 164: 207-218.
- Grainger, C., T. Clarke, M.J. Auldist, K.A. Beauchemin, S.M. McGinn & R.J. Eckard. 2009. Potential use of *Acacia mearnsii* condensed tannins to reduce methane emissions and nitrogen excretion from grazing dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science* 89: 241-251.
- Grainger C, T. Clarke, K.A. Beauchemin, S.M. McGinn & R.J. Eckard. 2008. Supplementation with whole cottonseed reduces methane emissions and can profitably increase milk production of dairy cows offered a forage and cereal grain diet. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 73-76.
- Guan, G., K.M. Wittenberg, K.H. Ominski & D.O. Krause. 2006. Efficacy of ionophores in cattle diets for mitigation of enteric methane. *Journal of Animal Science* 84: 1896–1906.
- Hindrichsen, I.K., H.-R. Wettstein, A. Machmüller, B. Jörg & M. Kreuzer. 2005. Effect of the carbohydrate composition of feed concentrates on methane emission from dairy cows and their slurry. *Environmental Monitoring and Assessment* 107: 329-350.
- Holtshausen, L., A.V. Chaves, K.A. Beauchemin, S.M. McGinn, T.A. McAllister, P.R. Cheeke & C. Benchaar. 2009. Feeding saponin-containing *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* to decrease enteric methane production in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 92: 2809-2821.

- Hook, S.E., K.S. Northwood, A.-D. Wright & B. McBride. 2009. Long-term monensin supplementation does not significantly affect the quantity or diversity of methanogens in the rumen of the lactating dairy cow. *Applied Environmental Microbiology* 75, 374-380.
- Hungate, R.E. 1966. *The Rumen and its Microbes*. Academic Press, Inc., New York, USA.
- Hristov, A.N. & A.P. Jouany, 2005. Factors affecting the efficiency of nitrogen utilization in the rumen. In: A.N. Hristov & E. Pfeffer (Eds.), *Nitrogen and Phosphorus Nutrition of Cattle and Environment*, CAB International, Wallingford, UK, pp. 117-166.
- Kebreab, E., J. France, B.W. McBride, A. Bannink, J.A.N. Mills & J. Dijkstra. 2006a. Evaluation of models to predict methane emissions from enteric fermentation in North American Cattle. In: *Modelling Nutrient Utilization in Farm Animals* (Eds.), E. Kebreab, J. Dijkstra, J. France, A. Bannink & W.J.J. Gerrits), pp. 299-313. Wallingford: CAB International, UK.
- Kebreab, E., K. Clark, C. Wagner-Riddle & J. France. 2006b. Methane and nitrous oxide emissions from Canadian animal agriculture: a review. *Canadian Journal of Animal Science* 86: 135-158.
- Klieve, A.V., M.X. Tolosa, A.R.M. Wilson, D.P. Poppi, D. Ouwerekerk & S.R. McLennan. 2007. Linking rumen bacterial dynamics and dietary differences. *Chinese Agricultural Science Bulletin, Advances in Herbivore Nutrition Research (Special Issue)*. 23:1-6.
- Li, C., S. Frolking & T.A. Frolking. 1992a. A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: I. Model structure and sensitivity. *Journal of Geophysical Research* 97: 9759-9776.
- Li, C., S. Frolking & T.A. Frolking. 1992b. A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: I. Model applications. *Journal of Geophysical Research* 97: 9777-9783.
- Martin, C., J. Rouel, J. P. Jouany, M. Doreau & Y. Chilliard. Methane output and diet digestibility in response to feeding dairy cows crude linseed, extruded linseed, or linseed oil. *Journal of Animal Science* 86:2642-2650.
- Mc Court, A., T. Yan, and C. S. Mayne. 2007. Effect of forage type on methane production from dairy cows. *Proc. Brit. Soc. Anim. Sci.*, 48.
- Mills, J.A.N., J. Dijkstra, A. Bannink, S.B. Cammell, E. Kebreab & J. France. 2001. A mechanistic model of whole-tract digestion and methanogenesis in the lactating dairy cow: model development, evaluation, and application. *Journal of Animal Science* 79: 1584-1597.
- Morgavi, D.P., E. Forano, C. Martin & C.J. Newbold. 2010. Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *Animal* 4:1024-1036.
- Munger A & M. Kreuzer. 2008. Methane mitigation in ruminants: from rumen microbes to the animal. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 77-82.
- Newbold, C.J., S. Lopez, N. Nelson, J.O. Ouda, R.J. Wallace & A.R. Moss. 2005. Propionate precursors and other metabolic intermediates as possible alternative

electron acceptors to methanogenesis in ruminal fermentation in vitro. *British Journal of Nutrition* 94: 27-35.

Odongo, N.E., R. Bagg, G. Vessie, P. Dick, M.M. Or-Rashid, S.E. Hook, J.T. Gray, E. Kebreab, J. France & B.W. McBride. 2007. Long-term effects of feeding monensin on methane production in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 90: 1781-1788.

Patra et al. (2009). In CSIRO Nutrition Proceedings.

Patra, A.K. & J. Saxena. 2009. The effect and mode of action of saponins on the microbial populations and fermentation in the rumen and ruminant production. *Nutrition Research Reviews* 22: 204-219.

Pen, B., K. Takauraa, S. Yamaguchia, R. Asaa & J. Takahashi. 2007. Effects of *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* with or without β 1-4 galactooligosaccharides on ruminal fermentation, methane production and nitrogen utilization in sheep. *Animal Feed Science and Technology* 138: 75-88.

Reijs, J.W. 2007. Improving slurry by diet adjustment: a novelty to reduce N losses from grassland-based dairy farms. PhD Thesis, Wageningen University, Wageningen, NL.

Robinson, P.H., S. Tamminga & A.M. van Vuuren. 1986. Influence of a declining level of feed intake and varying proportions of starch in the concentrate on rumen fermentation in dairy cows. *Livestock Production Science* 15: 173-189.

Robinson, P.H., S. Tamminga & A.M. van Vuuren. 1987. Influence of a declining level of feed intake and varying proportions of starch in the concentrate on rumen ingesta quantity, composition and kinetics of rumen turnover in dairy cows. *Livestock Production Science* 17: 37-62.

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

Šebek, L.B.J. & R.L.M. Schils. 2006. Verlagering van methaan- en lachgasemissies uit de Nederlandse melkveehouderij: implementatie van reductiemaatregelen op praktijkbedrijven binnen Koeien & Kansen. ASG rapport 16, Animal Sciences Group, Lelystad, NL.

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

Tamminga, S., A. Bannink, H. Valk, G. Andre, L. Sebek, G. van Duinkerken & F. Aarts. 2004. Het melkureumgehalte als voorspeller van N-excretie in melkkoeien. Vertrouwelijk ASG rapport, *niet verschenen*.

Ungerfeld E.M., R.A. Kohn, R.J. Wallace & C.J. Newbold. 2007. A meta-analysis of fumarate effects on methane production in ruminal batch cultures. *Journal of Animal Science* 85: 2556-2563.

Van Knegsel, A.T.M., H. Van den Brand, J. Dijkstra, W.M. Van Straalen, M.J.W. Heetkamp, S. Tamminga B. Kemp. 2007. Dietary energy source in dairy cows in early lactation: energy partitioning and milk composition. *Journal of Dairy Science* 90: 1467-1476.

Van Zijderveld, W.J.J. Gerrits, J. Dijkstra, J.R. Newbold, D. Deswysen, H.B. Perdok. 2009. In: Ruminant Physiology. Digestion, Metabolism, and Effects of Nutrition on Reproduction and Welfare, pp. 384-385.

Van Zijderveld, S.M., W.J.J. Gerrits, J.A. Apajalahti, J.R. Newbold, J. Dijkstra, R.A. Leng, H.B. Perdok. 2010a. Nitrate and sulfate: effective alternative hydrogen sinks for mitigation of ruminal methane production in sheep. *Journal of Dairy Science* (in press).

Van Zijderveld, S.M., J. Dijkstra, W.J.J. Gerrits, J.R. Newbold, H.B. Perdok. 2010b. Dietary nitrate persistently reduces enteric methane production in lactating dairy cows. Abstract GGAA congress, Banff, Canada (in press).

Vlaeminck, B., V. Fievez, S. Tamminga, R.J. Dewhurst, A.M. van Vuuren, D. De Brabander & D. Demeyer. 2005. Milk odd- and branched-chain fatty acids in relation to the rumen fermentation pattern. *Journal of Dairy Science* 89: 3954-3964.

Vlaeminck, B., V. Fievez, A.R.J. Cabrita, A.J.M. Fonseca & R.J. Dewhurst. 2006. Factors affecting odd- and branched-chain fatty acids in milk: A review. *Animal Feed Science and Technology* 131: 389-417.

Vlaeminck, B., G. Mengistu, J. Dijkstra, L. de Jonge & V. Fievez. 2008. Effect of in vitro DHA supplementation to DHA-adapted and unadapted rumen inoculum on the biohydrogenation of linolenic and linoleic acid. *Journal of Dairy Science*, *In press*.

Wallace, R.J. 2004. Antimicrobial properties of plant secondary metabolites. *Proceedings Nutrition Society* 63: 621-629.

