

Beperking van lachgasemissie uit beweid grasland

In de serie 'Reductie Lachgasemissie door ontwikkeling van Best Management Practices' zijn verschenen:

- 560.1 Beperking van lachgasemissie uit beweid grasland
- 560.2 Beperking van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden
- 560.3 Beperking van lachgasemissie uit gewasresten
- 560.4 Beperking van lachgasemissie door gebruik van klaver in grasland
- 560.5 Beperking van lachgasemissie na scheuren en bij vernieuwing van grasland
- 560.6 Beperking van lachgasemissie door waterbeheer en bij beregening

Beperking van lachgasemissie uit beweid grasland

Eindrapport voor Reductieplan Overige Broeikasgassen Landbouw Cluster 1

**Peter Kuikman¹
Jan Willem van Groenigen¹
Gerard Velthof¹
Dennis Walvoort¹
Frank van der Bolt¹
Christy van Beek¹
Agnes van den Pol-van Dasselaar²**

¹ Alterra

² Animal Sciences Group – Praktijkonderzoek Veehouderij

Alterra-rapport 560.1

Alterra, Wageningen, 2004

REFERAAT

Kuikman, P.J., J.W. van Groenigen, G.L. Velthof, D. Walvoort, F. van der Bolt, C. van Beek, A. van den Pol-van Dasselaar, *Beperking van lachgasemissie uit beweide grasland. Eindrapport Reductieplan Overige Broeikasgassen Landbouw Cluster 1*. 2004. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 560.1. 46 blz.; 7 fig.; 11 tab.; 14 ref.

In het kader van het Reductie Plan Overige Broeikasgassen (ROB Landbouw) zijn de mogelijkheden voor het verminderen van de emissie van lachgas (N₂O) bij optimaliseren van beweiding bestudeerd. In de periode tussen augustus 2000 en juli 2002 zijn door middel van incubatie- en veldproeven de gevolgen van een aantal maatregelen op de N₂O-emissie onderzocht en zijn emissiefactoren voor lachgasproductie bepaald. In dit rapport worden de belangrijkste resultaten van het onderzoek gepresenteerd; de gedetailleerde resultaten worden in aparte rapporten en publicaties beschreven. Perspectievolle maatregelen om de N₂O-emissie te verminderen zijn onveranderd beperken van beweiding variërend van beperkt weiden gedurende het jaar, volledig opstallen en in het najaar na 1 september opstallen. Deze maatregelen verminderen de emissie van lachgas omdat er meer mest in de stal en opslag komt in plaats van in de wei en omdat er minder sterke verdichting van de bodem door vertrapping optreedt. Het draagvlak bij boeren is niet onverdeeld gunstig. Minder weiden betekent meer werk om de koeien binnen te halen voor de ondernemer, er is milieuwinst met minder nitraatuitspoeling en lager stikstofoverschot en -gebruik en risico op verhoogde emissie van methaan en ammoniak. De uitdaging voor de boer is om aan de wens van de samenleving dat koeien in de wei zijn tegemoet te komen tegelijkertijd met vermindering van de beweidingsduur.

Trefwoorden: beweiding, broeikasgassen, emissiereductie, lachgas, landbouw, melkveehouderij, stikstof

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door €20,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 560.1. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2004 Alterra
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info@alterra.wur.nl

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

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Sturende factoren	13
3 Overzicht maatregelen en kennishiaten	15
4 Onderbouwing van de effectiviteit van maatregelen op basis experimenteel onderzoek, deskstudies en literatuur	17
4.1 Invloed van beweidingssysteem op de emissie van lachgas	18
4.1.1 Samenstelling urine en combinatie met mest	18
4.1.2 Vochtgehalte en compactie in de bodem	21
4.1.3 Grazen en seizoenseffecten	22
4.2 Effecten van intensiteit van beweiding op lachgasemissie uit grasland	24
4.2.1 Doel	24
4.2.2 Opzet	24
4.2.3 Resultaten	25
4.2.4 Emissie van lachgas	26
4.3 Variabiliteit in emissie binnen- en tussen veenweidebedrijven	26
4.3.1 Werkwijze	27
4.3.2 Resultaten	28
4.3.3 Perspectieven	29
5 Nieuwe inzichten op basis van het uitgevoerde onderzoek	31
6 Evaluatie maatregelen en afwenteling en draagvlak	33
7 Conclusies en selectie van perspectiefvolle maatregelen	35
Literatuur	37
Aanhangsels	
1 Overzicht van de activiteiten in ROB Landbouw project 1.1 Beweiding	39
2 Producten uit het ROB onderzoek naar beweiding	41
3 Proefopzet voor integrale veldmetingen op bedrijfsschaal binnen ROB project beweiding	43

Woord vooraf

De werkzaamheden in dit project zijn uitgevoerd door Alterra in samenwerking met Praktijkonderzoek Veehouderij in Lelystad. In de projecten zijn metingen uitgevoerd op proefbedrijf Droevendaal van Plant Research International in Wageningen. De metingen zijn uitgevoerd door medewerkers van Alterra en Plant Research International en met medewerking van de melkkoeien van Plant Research International die gratis mest en urine ter beschikking hebben gesteld. De verantwoordelijkheid voor de verwerking van resultaten en voor de rapportage ligt bij Alterra. De chemische analyses zijn uitgevoerd bij Plant Research International en de leerstoelgroep Bodemkwaliteit in Wageningen. De auteurs bedanken de medewerkers aan proeven en metingen voor de grote betrokkenheid bij de uitvoering van proeven en metingen.

Samenvatting

Berekeningen voor Nederland geven aan dat weidend vee verantwoordelijk is voor ongeveer een derde van de lachgasemissies uit de landbouw via directe emissies en verder voor een deel van de indirecte lachgasemissie (ten gevolge van stikstof die via nitraatuitspoeling en ammoniak-vervluchting uit de landbouw is ontsnapt en elders alsnog aanleiding geeft tot de vorming en emissie van lachgas).

De relatief grote bijdrage van weidend vee aan de totale emissie van lachgas uit de landbouw wordt veroorzaakt door een combinatie van (i) de hoge concentratie van stikstof in urine en mest, (ii) de pleksgewijze uitscheiding van urine en mest in de wei, (iii) de slechte benutting van de stikstof in urine en mest door het gras, en (iv) de sequentie van omzettingen van de stikstofverbindingen in urine en mest; lachgas wordt gevormd bij de processen nitrificatie en denitrificatie, en (v) de meer dan proportionele toename van de lachgasemissie bij een toename van het stikstofgehalte in de urine.

De totale stikstofuitscheiding via de urine is een functie van de voersamenstelling (eiwitgehalte) en van het diertype (melkvee vs vleesvee; hoogproductief vs laagproductief). Hoe meer stikstof in het voer hoe groter de stikstofuitscheiding. Door aanpassing van het rantsoen kan de stikstofuitscheiding door het vee en het stikstofgehalte van de urine worden gestuurd. Dit heeft consequenties voor de stikstofconcentraties in de bodem.

Met de keuze van het beweidingssysteem wordt bepaald hoeveel mest en urine uiteindelijk in de wei in de bodem terecht komt. Bij dag en nacht weiden komt vrijwel alle mest en urine die zomers wordt geproduceerd in de wei terecht. Bij overdag beweiden en 's nachts opstallen komt slechts een deel van de in de zomer geproduceerde mest en urine in de wei. Door bovendien in het najaar eerder op te stallen komt nog minder in de wei terecht. Bij dag en nacht opstallen (zero grazing) komt in het geheel geen mest en urine in de wei terecht.

Omdat de effecten van beweiden en bijvoeren doorwerken in de gehele bedrijfsvoering zijn er duidelijk raakvlakken met de overige projecten binnen cluster I en vindt afstemming plaats.

De doelstelling van het project is om praktische richtlijnen voor het bijvoeren en weiden van rundvee tijdens het zomerseizoen te ontwikkelen en te toetsen. Deze richtlijnen beogen een kosteneffectieve bijdrage te genereren aan de vermindering van de uitstoot van lachgas uit de rundveehouderij in Nederland. Via aanpassingen in het rantsoen van het vee en het beweidingssysteem kunnen stikstofstromen en -verliezen worden beïnvloed en de emissie van lachgas worden verminderd. Dat kan op twee manieren, namelijk door vermindering van de hoeveelheid stikstof die op bedrijfsniveau in omloop is en door vermindering van de lachgasemissie per eenheid stikstof die op het bedrijf in omloop is.

In de systeemanalyse (Velthof et al., 2002) is aandacht gegeven aan:

- het modelmatig analyseren van mogelijke opties van bijvoeren en beweiding van rundvee, in termen van lachgasemissie, stikstofbenutting, melkproductie, dierenwelzijn en -gezondheid, economische kosten en praktische toepasbaarheid (verkenning van “window of opportunities”);
- het selecteren van perspectievolle opties als functie van bedrijfstype en grondsoort.

In deze eindrapportage wordt de volgende onderdelen besproken:

- het kwantificeren van de lachgasemissie van perspectievolle opties van bijvoeren en beweiden van rundvee, via directe metingen in het veld op proefbedrijven en praktijkbedrijven en het opstellen van emissiefactoren als functie van beweiding-systeem;
- het selecteren en prioriteren van maatregelen en opstellen en van richtlijnen voor het bijvoeren en beweiden van rundvee ten behoeve van de praktijk.

1 Inleiding

In het kader van Cluster 1 (Best Management Practices) van het Reductie Plan Overige Broeikasgassen (ROB Landbouw) wordt een vermindering van de lachgasemissie uit verschillende bronnen beoogd door middel van het ontwikkelen en toetsen van maatregelen. In het kader van het ROB-project 1.1 (Vermindering van de lachgasemissie door optimaliseren van bijvoeding en beweiding) worden mogelijkheden bestudeerd voor het verminderen van de lachgasemissie uit beweid grasland. De aandacht gaat hierbij naar rundvee (en met name melkkoeien), omdat dit de belangrijkste diercategorie is die in Nederland voor beweiding wordt toegepast zowel uit oogpunt van aantal dieren als uit oogpunt van hoeveelheid stikstof die tijdens beweiding wordt uitgescheiden en in de bodem terecht komt en uit oogpunt van stuurbaarheid van de vorm en intensiteit van beweiding.

In 2000 is een systeemanalyse uitgevoerd met daarin een overzicht van de sturende factoren bij N₂O-emissie als gevolg van beweiding (Velthof et al., 2000). Hierin is een schatting gemaakt van de potentiële vermindering van emissie van lachgas uit melkveehouderijen. Er zijn daarbij een 5-tal maatregelen beschreven die samen goed zijn voor een vermindering in de orde van 0.1 - 1.1 Mton CO₂-equivalenten per jaar.

Op basis van de systeemanalyse, adviezen van de begeleidingscommissie¹ van ROB Landbouw en mogelijkheden tot aansluiten bij lopend onderzoek is in de periode augustus 2000 –december 2002 (experimenteel) onderzoek uitgevoerd. In dit rapport worden de belangrijkste resultaten van het onderzoek gepresenteerd tegen het licht van de eerder gedefinieerde opties voor beheer en concrete maatregelen.

In hoofdstuk 2 wordt in het kort ingegaan op de sturende factoren bij N₂O-emissie uit gewasresten.

In hoofdstuk 3 wordt een overzicht gegeven van de in de systeemanalyse aangegeven potentiële maatregelen en kennishiaten, alsmede een overzicht van de maatregelen waarna aanvullend onderzoek is verricht.

In hoofdstuk 4 wordt een samenvatting gegeven van de belangrijkste resultaten uit het (experimentele) onderzoek naar maatregelen om N₂O-emissie te beperken. De gedetailleerde proefopzet en resultaten worden in rapporten, publicaties en/of informatiebladen gepresenteerd; deze zijn in een aparte bijlage bijgevoegd.

In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op nieuwe inzichten of andere potentiële maatregelen die door het in hoofdstuk 4 beschreven aanvullende onderzoek zijn verkregen. Hoofdstuk 6 behandelt en kwantificeert het mogelijke risico op afwenteling naar andere broeikasgassen (TEWI) of andere verbindingen (ammoniak en nitraat).

¹ In de begeleidingscommissie van ROB-AGRO zitten vertegenwoordigers van NOVEM, klimaatbeleid (LNV en VROM), landbouwpraktijk (LTO en NJAK) en onderzoek (Alterra, RIVM, Wageningen Universiteit, Universiteit van Gent)

De integratie van de systeemanalyse en het (experimentele) onderzoek in kader van ROB vindt plaats in hoofdstuk 7. In dit hoofdstuk worden de meest perspectiefvolle maatregelen gedefinieerd, rekening houdend met de effectiviteit, risico op afwenteling, kostenefficiëntie, controleerbaarheid, handhaafbaarheid en draagvlak bij boeren. Tevens worden de belangrijkste kennislücken aangegeven waaraan het zinvol is om in vervolgactiviteiten van ROB aandacht te besteden om zodoende de mogelijkheden tot emissievermindering te onderbouwen met emissiefactoren en emissievermindering zichtbaar te maken in de nationale rapportages over emissies van broeikasgassen.

2 Sturende factoren

De emissies van methaan en lachgas uit de melkveehouderij zijn in belangrijke mate gerelateerd aan veevoeding en beweiding. Beweiding beïnvloedt het rantsoen, bepaalt hoe en waar de mest terechtkomt en leidt tot indirecte effecten (zoals vertrapping van de zode, beweidingsverliezen) die allen een bijdrage leveren aan de emissie van lachgas (Oudendag en Kuikman, 2003).

Sturende factoren zijn te verdelen in chemische, fysische en biologische factoren en sociaal-economische factoren. De eerste drie typen sturende factoren van N₂O-emissie uit beweid grasland zijn afhankelijk van klimaat, bodem, gewassen, grondsoort en bodembeheer. De belangrijkste factoren die de N₂O-emissie uit beweid grasland bepalen, zijn stikstofuitscheiding tijdens beweiding (duur van beweiding, intensiteit, samenstelling urine), bemesting en bodem-, klimaat- en gewasfactoren, zoals vochtgehalte, temperatuur, uitspoeling en stikstofopname door het gras). De voornaamste sociaal-economische sturfactoren zijn: MINAS en gebruiksnorm dierlijke mest, uitbreiding EU en economische ontwikkelen (Agenda 2000, WTO) die van invloed zijn op subsidies, toenemende vraag naar schone productiewijzen en eisen die worden gesteld aan productieketen en -proces en aanscherping milieubeleid. Allen hebben invloed op de omvang van de (rund)veestapel in Nederland.

In het project beweiding worden maatregelen onderzocht die merendeels inhouden dat de duur van de beweiding wordt teruggebracht. Dit leidt tot minder mest op het land tijdens beweiding en meer mest in de stal en mestkelder. De mest uit de opslag kan vervolgens homogener worden verspreid over het land en beter benut door afstemming op de opnamecapaciteit van gewassen dan na depositie op het gras door weidend vee.

3 Overzicht maatregelen en kennishiaten

Maatregelen die leiden tot beperkt beweiden leiden tot een lagere lachgasemissie omdat enerzijds de stikstof op het bedrijf beter wordt benut en anderzijds de lachgasemissie per eenheid stikstof uit beweid grasland (veel) hoger is dan die uit grasland bemest met kunstmest en dierlijke mest. Beperkt beweiden kan worden gerealiseerd door een beperkte weidegang van de dieren (bijvoorbeeld 's-nachts opstallen, siëstabeweidings, na 1 september niet meer beweiden) of door een beperking van het aantal dieren (verhoging van de productie per dier en vermindering van het aantal jongvee). Het is belangrijk te realiseren dat ongeveer de helft van de melkvee in Nederland onbeperkt wordt beweid (Velthof et al., 2002, Tabel 2); het overige melkvee wordt al beperkt beweid.

Er zijn vijf (combinaties van) perspectievolle maatregelen rond gewasresten beschreven in de systeemanalyse (Velthof et al., 2000; Tabel 9) die tot een lagere N₂O-emissie kunnen leiden:

- siëstabweiden in combinatie met beperkt beweiden
- dag en nacht op stallen van vee
- per 1 september opstallen
- minder jongvee houden
- hogere melkproductie per koe.

In de systeemanalyse zijn de volgende kennishiaten en aandachtspunten voor vervolgonderzoek beschreven:

- relatie tussen samenstelling van urine en weidemest en de emissie van lachgas
- effecten van betreding en vertrapping op emissie van lachgas
- integrale benadering (incl. TEWI) van lachgas-, ammoniak- en methaanemissies en nitraatuitspoeling uit beweid grasland, stal en mestopslag (zie figuur 4 in Velthof et al., 2000).

4 Onderbouwing van de effectiviteit van maatregelen op basis experimenteel onderzoek, deskstudies en literatuur

In dit hoofdstuk wordt op basis van onderzoek in ROB de effectiviteit van mogelijke maatregelen gekwantificeerd. Per maatregel worden de relevante resultaten uit ROB onderzoek weergegeven en wordt verwezen naar rapporten of publicaties waarin de volledige resultaten van de betreffende proef worden gegeven.

Metingen en proeven hebben enerzijds in het laboratorium of onder geconditioneerde omstandigheden buiten plaatsgevonden (kennishiaat 1 en 2). Daarbij zijn metingen verricht naar de emissie van lachgas in relatie tot de hoeveelheid urine en urine N en mest en omgevingsvariabelen inclusief seizoen en verdichting en in relatie tot de beweidingsintensiteit. Deze metingen zijn gericht op het extraheren van zogenaamde emissiefactoren voor specifieke sets van omstandigheden die de emissie van lachgas als gevolg van beweiding bepalen. Resultaten van toediening van dierlijke mest aan gras- en bouwland op de emissie van lachgas zijn beschreven in Velthof et al. (2002).

Aan het einde van 2000 en begin 2001 is een voorstel gemaakt voor metingen in beweidingsonderzoek om gegevens op bedrijfsniveau en voor het derde kennishiaat "integrale benadering" te verzamelen. Omwille van de hoge kosten van dergelijke integrale metingen op bedrijfsniveau is aansluiting bij bestaande projecten en initiatieven gezocht (zie paragraaf 4.1 en 4.2). Inventarisatie van lopend onderzoek leverde één onderzoek op waar uitermate zinvol gebruik van kan worden gemaakt en waar vele gegevens over stikstof beschikbaar zullen zijn om niet. Dit project ("Ontwikkelen en toetsen van bedrijfsmaatregelen gericht op de verlaging van het nitraatgehalte in het grondwater onder droogtegevoelige zandgronden in Noord-Brabant") is en wordt uitgevoerd op een proefbedrijf van Praktijkonderzoek Veehouderij in Cranendonck in Brabant. In dit project worden twee bedrijfssystemen vergeleken en getoetst waarbij één systeem gericht is op het kunnen voldoen aan de Europese nitraatrichtlijn voor grondwater en het andere systeem overeenkomt met de gangbare landbouwpraktijk in Noord-Brabant. Managementmaatregelen op het gebied van beweiding, voeding, bemesting en snijmaisteelt staan hierbij centraal (paragraaf 4.3).

Echter, in de proef op Cranendonck wordt het effect van een combinatie van maatregelen op nitraatuitspoeling en voor ROB op lachgasemissie getoetst op bedrijfsniveau in aanvulling op metingen in incubatie- en veldproeven. Zonder aanvullende werkzaamheden is het niet mogelijk om effecten eenduidig toe te (kunnen) schrijven aan of aantal graasuren, of bijvoeding, of opstallen. Aanvullende metingen op proeflocaties waarbij uitsluitend het aantal graasuren of de begrazingsdruk, danwel tijdstip van opstallen worden gevarieerd kunnen wel inzicht geven. We hebben bij de opzet aangegeven dat hierin een risico voor ROB kan zitten maar dat dit onlosmakelijk verbonden is met de aard van de proef. De opzet is voor aanvang van de metingen voorgelegd aan NOVEM (zie aanhangsel 2 voor het

verzoek). In overleg met NOVEM is besloten deze proef niet uit te voeren. Deze notitie is opgesteld ten behoeve van de opdrachtgever in voorjaar 2001 en besproken met de opdrachtgever waarna besloten is dat deze metingen te veelomvattend zijn en derhalve een relatief groot risico op mislukken meebrengen. Ruim 2 weken later brak MKZ uit en werd het meeste veldwerk onmogelijk tot in de zomer van 2001.

In plaats hiervan is besloten om metingen uit te voeren naar oorzakelijke verbanden tussen onderdelen van beweiding en omgevingsvariabelen en beweidingsvariabelen. Deze zullen vervolgens worden gecombineerd in een aantal conclusies t.a.v. beweidingsmaatregelen.

Het effect van deze maatregelen is complex en is berekend op basis van gegevens over emissie uit urine- en mestplekken (uit laboratorium- en veldmetingen), metingen aan beweid grasland en gegevens over toepassing dierlijke mest (bemesting) aangevuld met gegevens uit wetenschappelijke literatuur.

4.1 Invloed van beweidingssysteem op de emissie van lachgas

4.1.1 Samenstelling urine en combinatie met mest

Bij beweiding wordt urine lokaal in grote hoeveelheden en hoge concentraties op de bodem gedeponeerd. Het is nog onduidelijk wat voor effect dit heeft op de emissiefactor van N_2O . Mogelijkerwijs is er door middel van een gelijkmatiger verspreiding van urine na opstalling een lagere emissie te bereiken. Verder is het nog onduidelijk wat de effecten zijn van een gecombineerde toediening van mest en urine op dezelfde plek. De gemakkelijk beschikbare koolstof in de mest zou kunnen leiden tot een hogere N_2O emissiefactor. In een serie pot- en veldproeven zijn de effecten gekwantificeerd van de samenstelling van urine en combinatie met mest op emissiefactoren.

4.1.1.1 Werkwijze

Op een zandgrond in Wageningen werd het effect van urinesamenstelling op N_2O emissies gekwantificeerd door middel van een potproef (voor het nauwkeurig en uitvoerig meten van de verschillende effecten) en een veldproef (voor het checken van resultaten onder realistische omstandigheden). Bij de potproef werden verschillende behandelingen onderscheiden: (i) verschillende hoeveelheden N in dezelfde hoeveelheid urine; (ii) verschillende hoeveelheden urine met dezelfde totale hoeveelheid N; (iii) dezelfde hoeveelheid urine met en zonder toegevoegde mest; en (iv) verschillende N bronnen in de urine. De N_2O flux werd 27 keer gemeten gedurende een periode van 103 dagen. Alle behandelingen werden in tweevoud gedaan, en fluxen werden gecorrigeerd voor achtergrond emissies. Bij de veldproef werden dezelfde effecten bekeken gedurende 14 maanden waarin de behandeling 8 keer werd uitgevoerd om evt. seizoenseffecten te kunnen detecteren. Na elke behandeling werd ± 8 keer gemeten totdat de flux niet meer detecteerbaar was (meestal binnen een maand). De behandelingen werden uitgevoerd in drievoud, en fluxen werden gecorrigeerd voor achtergrondemissies. Voor beide proeven werd de

significantie van de effecten getest met een ANOVA, zo nodig met meervoudige behandelingen en/of factoren.

4.1.1.2 Resultaten

Voor zowel de labproef als de veldproef werd er geen significant verschil gevonden voor de hoeveelheid N in een gelijk volume urine (Tabel 1). Ook viel er geen trend te ontdekken: de laagste hoeveelheid N resulteerde in de laagste emissiefactor in de veldproef, maar in de hoogste factor in het lab. De gemiddelde emissiefactor in het lab (3.2 %) was bijna twee keer zo hoog als in het veld (1.6 %).

Tabel 1. De invloed van de hoeveelheid N in urine op N_2O emissie bij gelijkblijvend volume urine.

Toegediende hoeveelheid urine-N ($g \cdot m^{-2}$)					
Veldproef	18,65	28,00	37,30	74,61	p
	0,78	2,03	1,60	1,92	0,49
Toegediende hoeveelheid urine-N ($mg \cdot kg^{-1}$ grond)					
Labproef	119	237	474	949	
	3,80	2,79	3,57	2,60	0,49

Het volume urine bij een gelijkblijvende hoeveelheid stikstof gaf een duidelijk significant effect in de labproef, met emissiefactoren die meer dan halveerden bij een hoog volume, mogelijk door een lagere N_2O/N_2 ratio als gevolg van het hogere vochtgehalte (Tabel 2). Dit effect was echter niet zichtbaar in het veld, waar de hoogste emissiefactor werd gemeten in de behandeling met het grootste volume urine. Het valt dan ook te betwijfelen of het gemeten effect in de potproef meer is dan een artefact als gevolg van de proefopzet.

Tabel 2. De invloed van het volume urine bij gelijkblijvende hoeveelheid toegediende N op N_2O emissie.

Toegediende hoeveelheid urine ($l \cdot m^{-2}$) bij $37,30 g N \cdot m^{-2}$					
Veldproef	2	4	8		p
	1,27	0,65	1,60		0,25
Toegediende hoeveelheid urine ($ml \cdot kg^{-1}$ grond) bij $474 mg N \cdot kg^{-1}$ grond					
Labproef	26	50	102	204	p
	3,17	3,57	1,87	1,31	<0,001***

Het toedienen van mest leidde bij beide proeven tot een sterke verhoging van de emissiefactor (Tabel 3). De verhoging in de potproef was meer dan achtvoudig, terwijl de verhoging in het veld zo'n 75 % bedroeg. Het lijkt duidelijk dat de gemakkelijk beschikbare koolstof in de mest voor extra energie zorgt voor de denitrificerende bacteriën.

Tabel 3. De invloed van mest op N_2O emissie uit urine. Emissiefactoren zijn gecorrigeerd voor N_2O afkomstig uit mest.

	Veldproef e.f. %	Labproef e.f. %
Urine	1,60	0,92
Urine + mest	2,82	7,88
p	0,10*	< 0,001***

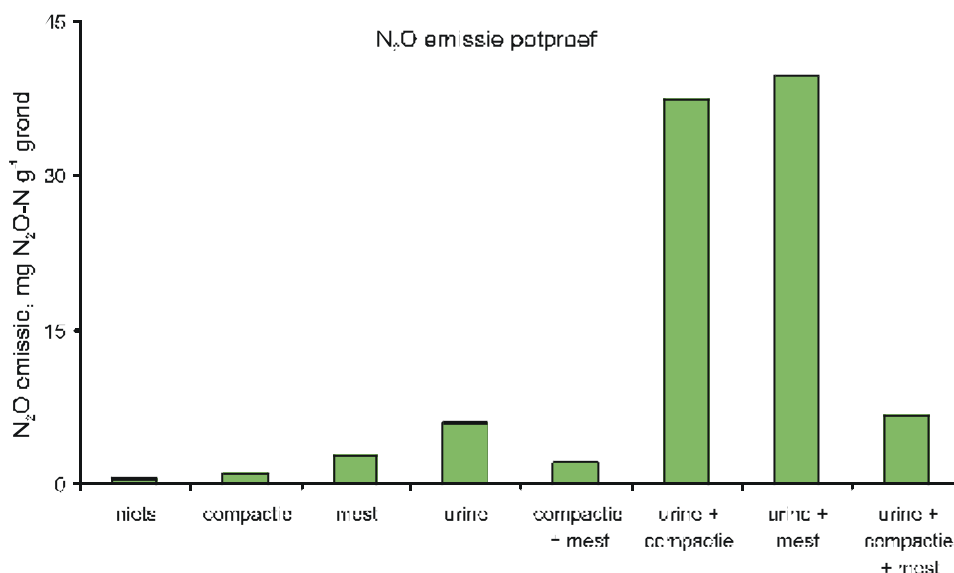
Zowel bij de veldproef als in het lab was er een duidelijk en sterk effect van de stikstof vorm in de urine. In de potproef gaven ureum en ammonium duidelijk lagere emissies dan nitraat (Tabel 4). Dit is opmerkelijk omdat beide vormen genitrificeerd worden tot nitraat, waarbij extra N_2O verliezen kunnen optreden. Mogelijk spelen hier echter pH effecten van ureum en ammonium een rol. In het veld gaf verse urine duidelijk lagere emissies dan kunsturine of ureum. Mogelijk spelen zouten in verse urine een remmende rol bij denitrificatie [Peter, is dit onzin?]. Dit illustreert goed dat de resultaten uit deze proeven met kunsturine met name relatief moeten worden gezien; de verschillen tussen de behandelingen zijn zeer relevant.

Tabel 4. De invloed van de vorm van N in urine op N_2O emissie.

Vorm N in urine				
Veldproef	Kunsturine	Ureum	Verse urine	p
	1,60	1,82	0,70	0,05**
Vorm N in urine				
Labproef	Ureum	Ammonium	Nitraat	p
	0,92	1,26	1,53	<0,001***

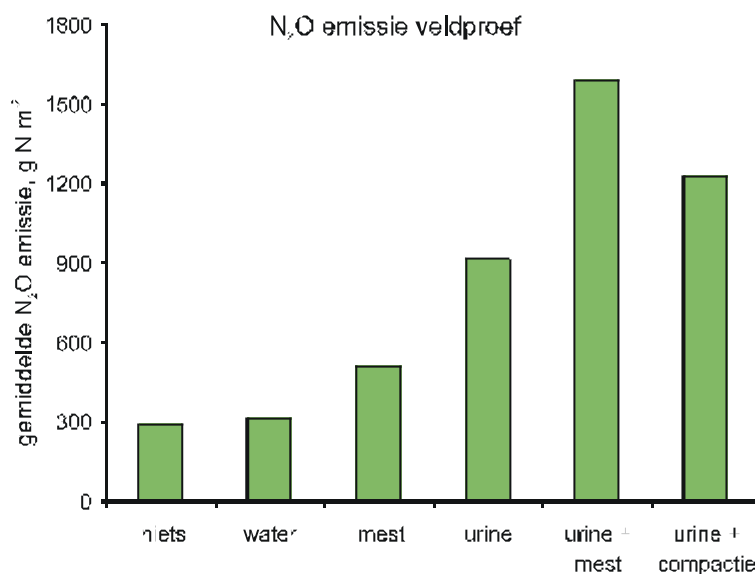
4.1.1.3 Perspectieven

De hoeveelheid stikstof in de urine had geen effect op de emissiefactor, en het volume urine had slechts een effect in de labproef. Het is dan ook niet te verwachten dat de betere distributie van urine als gevolg van meer beweiden op zich zal leiden tot lagere emissies van N_2O . Uiteraard zal een lagere hoeveelheid urine N wel leiden tot lagere emissies, maar er is geen extra emissiefactor effect te verwachten. De resultaten van de potproef en de veldproef zullen verder worden verwerkt en gepubliceerd in twee wetenschappelijke artikelen (resp. Van Groenigen et al. 2004a en 2004b).



Figuur 1. Totale emissies (inclusief achtergrond emissie, ongecorrigeerd voor mest) bij de verschillende behandelingen in de potproef. Afgezien van de nulbehandeling ontvingen alle behandelingen hetzelfde volume urine met dezelfde hoeveelheid N.

Het is echter wel duidelijk dat de combinatie van urine en mest in het veld kan leiden tot een hogere emissiefactor (Tabel 3). Figuur 1 zet de verschillen in totale emissie tussen de verschillende behandelingen nog eens op een rijtje (compactie wordt in sectie 4.2 behandeld). Een dergelijk effect kan leiden tot sterk lokale hotspots van lachgas emissies in het veld, en komt overeen met eerder gerapporteerde sterke ruimtelijke variabiliteit (Velthof et al., 1996). Alhoewel de gemeten interactie tussen urine en mest in de veldproef minder sterk was (Tabel 3; figuur 2) is het duidelijk dat beweidingsmaatregelen gericht op het vermijden van de combinatie urine / mest tot een reductie van emissie zou kunnen leiden.



Figuur 2. Totale emissies (inclusief achtergrond emissie, ongecorrigeerd voor mest) bij de verschillende behandelingen in de veldproef. Afgezien van de nulbehandeling ontvingen alle behandelingen hetzelfde volume urine met dezelfde hoeveelheid N.

4.1.2 Vochtgehalte en compactie in de bodem

Zowel vochtgehalte als vertrapping kunnen leiden tot een lagere zuurstofconcentratie in de bodem, en daardoor tot hogere denitrificatie activiteit. Verder leidt vertrapping tot een lagere N opname door het gras, waardoor er meer kans is op verdere N₂O emissies. In een serie proeven zijn de effecten van vochtgehalte en vertrapping (compactie) op emissiefactoren gekwantificeerd.

4.1.2.1 Werkwijze

Het effect van vochtgehalte op de emissiefactor van urine werd gemeten in een potproef met grotendeels dezelfde opzet als die in sectie 4.1.2. Een bodem op veldcapaciteit werd vergeleken met een iets drogere bodem. Het effect van compactie werd gemeten in zowel de potproef als in een veldproef. In de potproef werd compactie bereikt door het stevig aandrukken van de grond in de potten. In de veldproef (met dezelfde meetopzet als die genoemd in sectie 4.1.2) werd compactie bereikt door het gehele meetgebied te bewerken met een houten voorhamer.

4.1.2.2 Resultaten

Een relatief bescheiden toename van het vochtgehalte leidde in de labproef tot meer dan een verdrievoudiging van de emissiefactor (Tabel 5). Compactie van de vochtige grond deed de emissiefactor nog eens stijgen tot het 19-voudige van de originele 'droge' grond (Tabel 6). Alhoewel het effect van compactie in de veldproef iets bescheidener was, leidde het tot meer dan een verdubbeling van de emissiefactor.

Tabel 5. De invloed van vochtgehalte van de bodem op N₂O emissie uit urine.

	Labproef e.f. %
droog	0,26
vochtig	0,92
p	<0,001***

4.1.2.3 Perspectieven

Het is duidelijk dat het zuurstofgehalte in de bodem, gestuurd door vochtigheid en compactie, mogelijk gecombineerd met een remming van N opname door compactie, een zeer grote rol speelt bij de emissiefactor. Het is daarom waarschijnlijk dat maatregelen gericht op minder vertrapping (meer opstallen, minder beweiden in natte perioden) een duidelijk effect zullen hebben op de N₂O emissie. De resultaten van de potproef en de veldproef zullen verder worden verwerkt en gepubliceerd in twee wetenschappelijke artikelen (resp. Van Groenigen et al. 2004a en 2004b).

Tabel 6. De invloed van compactie op N₂O emissie.

	Veldproef e.f. %	Labproef e.f. %
Geen compactie	1,19	0,92
Compactie	2,81	4,94
p	0,001***	<0,001***

4.1.3 Grazen en seizoenseffecten

Naast de effecten van beweiding op N depositie in de vorm van urine en mest en op vertrapping, zijn er mogelijk ook effecten van begrazing op N₂O emissie. Begrazing kan leiden tot een groeistimulans voor het gras, met een bijbehorende verhoogde N opname, wat resulteert in een kleinere N pool voor denitrificatie. Begrazing vlak voor bemesting zou daarom een strategie kunnen zijn om N₂O emissie te verminderen.

Ook is er mogelijk een seizoenseffect op de emissiefactor van urine in de weide. In de zomer kan het geringe vochtgehalte van de bodem een remmende werking hebben op de denitrificatie (zie sectie 4.2). In de herfst en lente kan een hoger vochtgehalte leiden tot grotere denitrificatie, terwijl in de winter de het vochtgehalte zo ver zou kunnen toenemen dat de N₂O / N₂ ratio van de denitrificatie kan dalen.

In een serie proeven zijn het effect van grazen voor bemesting, en de seizoenseffecten van emissiefactoren gekwantificeerd.

4.1.3.1 Werkwijze

Het effect van begrazen vlak voor bemesting werd gesimuleerd in de veldproef die beschreven is in sectie 4.1. Begrazing werd gesimuleerd door vlak voor toediening van de bemesting de desbetreffende plots te maaien. Op deze manier kon het effect van 'begrazing' worden gescheiden van eventuele vertrappings en/of N depositie effecten. Het seizoenseffect werd gekwantificeerd door de emissiefactoren van dezelfde urinebehandelingen te vergelijken van de verschillende toedieningen in de periode augustus 2001 – oktober 2002.

4.1.3.2 Resultaten

Tabel 7 vat de resultaten van het 'begrazings'effect samen. Alhoewel maaien vlak voor de mesttoediening, zoals verwacht, resulteerde in een lagere emissiefactor was dit effect niet significant. Vergeleken met de effecten van compactie en mestdepositie is dit waarschijnlijk een te verwaarlozen effect.

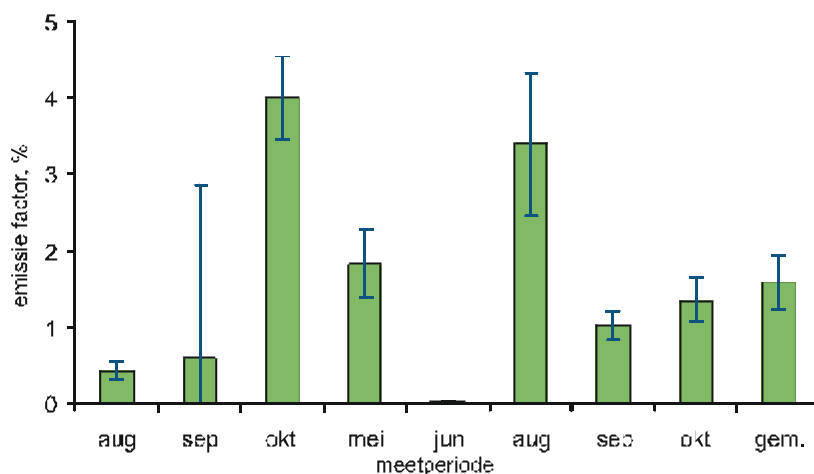
Tabel 7. De invloed van maaien op N_2O emissie uit urine.

	Veldproef e.f. %
niet maaien	1,60
maaien	1,37
p	0,83

De seizoensafhankelijkheid van emissiefactoren voor urine wordt geïllustreerd in figuur 3. Alhoewel de emissiefactoren significant en sterk variëren van 0.02 % in juni 2002 tot 4.01 % in oktober 2001, is er binnen de meetperiode van 15 maanden nog geen trend te herkennen. De emissiefactoren voor augustus 2001 en 2002 zijn respectievelijk 0.43 % en 3.40 %, terwijl de emissiefactoren in oktober 2001 en 2002 respectievelijk 4.01 % en 1.35 % zijn. Alhoewel het te verwachten is dat er een seizoenseffect is, is dit effect waarschijnlijk alleen te meten over langere periodes. Binnen deze meetperiode spelen weersomstandigheden (met name neerslag) een grotere rol.

4.1.3.3 Perspectieven

Het afstemmen van het grazen op de bemesting lijkt weinig perspectief te bieden voor een reductie van de N_2O emissiefactor. Dit temeer omdat een dergelijke afstemming vrij lastig te realiseren is in het veld. Het seizoenseffect van emissiefactoren kon in deze studie niet worden gedemonstreerd, alhoewel dit waarschijnlijk wel aanwezig is. Veel praktischer lijkt echter om de beweidingsstrategie aan te passen aan de actuele vochtsituatie vanwege de hogere kans op vertrapping en de resulterende hogere emissiefactor (sectie 4.2). De resultaten van de veldproef zullen verder worden verwerkt en gepubliceerd in een wetenschappelijke artikelen (Van Groenigen et al., 2004b).



Figuur 3. Seizoenseffect op N_2O emissie, plus de standaardfouten in de metingen.

4.2 Effecten van intensiteit van beweiding op lachgasemissie uit grasland

De emissies van methaan en lachgas uit de melkveehouderij zijn in belangrijke mate gerelateerd aan veevoeding en beweiding. Beweiding beïnvloedt het rantsoen, bepaalt hoe en waar de mest terecht komt en leidt tot indirecte effecten (zoals vertrapping van de zode, beweidingsverliezen) die allen een bijdrage leveren aan de emissie van lachgas. In het project beweiding worden maatregelen onderzocht die inhouden dat de duur van de beweiding wordt teruggebracht. Dit leidt tot minder mest op het land tijdens beweiding en meer mest in de stal en mestkelder. De mest uit de opslag kan vervolgens beter worden verspreid en benut dan na depositie op het gras door weidend vee. De reductie van deze maatregelen is complex en zal worden berekend op basis van gegevens over emissie uit urine- en mestplekken (lab en veldmetingen), metingen aan beweid grasland (deze proef), en gegevens over toepassing dierlijke mest (bemesting) en literatuur-gegevens

4.2.1 Doel

Omvang en variatie van emissies van lachgas vaststellen na beweiding bij 3 intensiteiten van beweiding in een weidegang in voorjaar (mei 2001)², begin van de zomer (begin juni 2001) en in najaar (begin september 2001, resultaat nog niet verwerkt)

4.2.2 Opzet

Op Droevendaal is een aantal velden (1000 m²) afgezet waarop beweiding plaatsvindt met een groep koeien van bepaalde omvang en gedurende bepaalde tijd om verschillen in beweidingsintensiteit te creëren. De velden zijn ieder in tweevoud

² De meting in mei 2001 is niet doorgegaan als gevolg van de MKZ crisis in het voorjaar van 2001.

aangelegd. Per veld is volgens onderstaand schema beweid (Tabel 8). Metingen van emissies hebben plaatsgevonden in grote fluxkamers (0,5 m²) direct volgend op de 5-daagse beweiding om de verdeling en variatie van emissies binnen een perceel te bepalen (192 fluxkamermetingen op 32 plaatsen per veld volgens een vast schema).

Tabel 8. Beschrijving van 3 behandelingen elk in tweevoud aangelegd in telkens 1000 m² waarop 8 koeien, 6 koeien of 4 koeien telkens 8 uur per dag hebben gegraasd gedurende 5 opeenvolgende dagen. De koeien werden dagelijks random uit de totale populatie van 37 melkkoeien gekozen.

Behandeling	Oppervlakte	Uren beweiding per dag	Aantal koeien	Aantal dagen	Aantal koe-uren in wei	Aantal keren urineren per uur	Omvang urineplek in m ²	% van veld dat urineplek is
1	1000	8	8	5	320	0.5	0.25	4
2	1000	8	6	5	240	0.5	0.25	3
3	1000	8	4	5	160	0.5	0.25	2

De metingen werden in een beperkt aantal kamers voorgezet gedurende 2-3 weken (net zo lang totdat er geen flux meer is te meten) na beweiding om de dynamiek van de emissies te bepalen. Het uitgangspunt was om op basis van de dynamiek in een beperkt aantal kamers een schatting van de dynamiek in alle kamers met bekende uitgangssituatie te maken. Zo kan ook een berekening van de emissie per veld en per koe(uur) worden gemaakt. Bij deze continuering van de metingen is in de proef in juni 2001 de helft van de fluxkamers bemest en de helft niet. Op deze wijze wordt de praktijk gevolgd waarin een boer bemesting toepast na een weidegang.

De volgende metingen zijn uitgevoerd:

- Bodemonderzoek (nutriënten en vocht)
- Bepaling aantal koeienflatten (en verdeling over veld)
- Verdeling van de emissies van lachgas in de proefvelden
- Dynamiek van de emissie van lachgas in 2-3 weken volgend op de beweiding

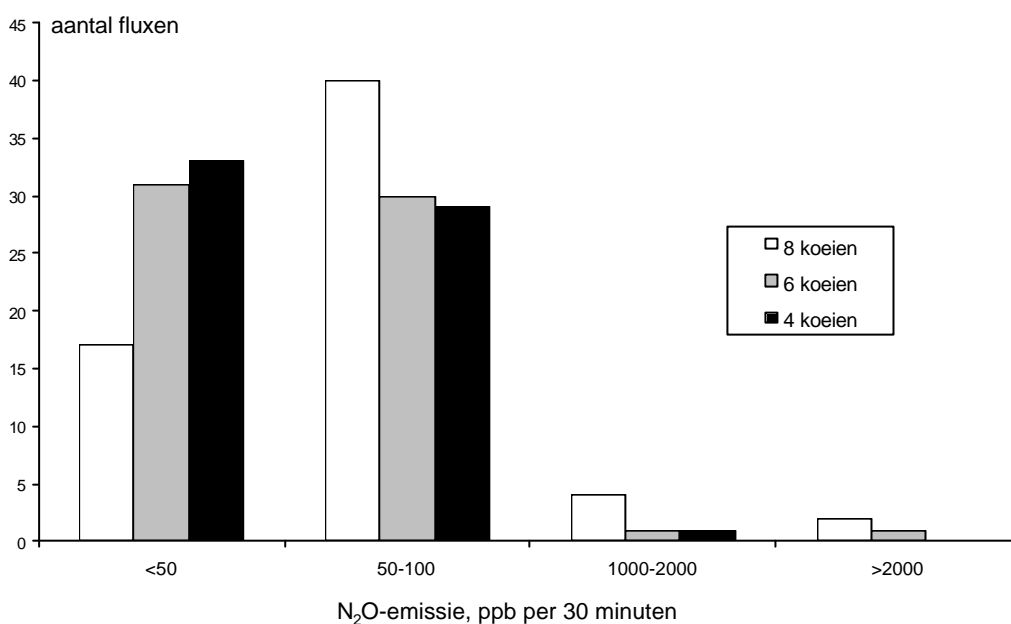
4.2.3 Resultaten

Kans om een urineplek in een fluxkamer aan te treffen.

Koeien produceren iedere 2 uur een urineplek van ongeveer 0.25 m² groot. In Tabel 8 is aangegeven dat op basis hiervan tussen 2 en 4 % van het veld urineplek zal zijn. Dat betekent dat gemiddeld 2-4% van de totale fluxkamer oppervlakte een urineplek zou kunnen zijn; per fluxkamer dus een heel enkele keer een hele plek, iets vaker een deel, maar heel vaak ook niets of bijna niets. Dat betekent dat een groot deel van de fluxkamers vrijwel geen verhoging van de concentratie N₂O zal laten zien boven de achtergrond waarde en dat verschillen met name in de frequentieverdeling tot uiting kunnen komen. Het aantal koeienflatten hebben we gebruikt om een indicatie van de beweidingsintensiteit te verkrijgen. In de velden met 8, 6 en 4 koeien werden in juni respectievelijk 204, 143 en 95 flatten geteld. Deze verdeling komt overeen met de verwachting. Urineplekken zijn kort na beweiding nog niet waar te nemen. In de proef in september is een poging ondernomen om wel urineplekken te identificeren en juist daar metingen met fluxkamers uit te voeren (resultaten nog niet verwerkt).

4.2.4 Emissie van lachgas

Per veld werd de concentratie lachgas die accumuleert (in ppb) na 30 minuten in 32 en per behandeling dus in 64 fluxkamers gemeten. Uit de frequentieverdeling van concentraties die werden gemeten (figuur 4) kunnen we constateren dat hoge concentraties (>1000 ppb) in slechts een beperkt deel van de kamers voorkomt en varieert van 1 bij 4 of 6 koeien tot 2-4 bij 8 koeien. Middelhoge concentraties tussen 50 en 100 ppb en lage concentraties (<50 ppb) lachgas worden gevonden bij alle drie intensiteiten van beweiding. De hogere concentraties worden meer aangetroffen in de behandeling met 8 weidende koeien en de lage concentraties (<50 ppb) vinden we meer in behandelingen met 4 of 6 weidende koeien.



Figuur 4 Frequentieverdeling van aantal fluxkamers (van 64 per behandeling van 8, 6 of 4 weidende koeien) waarin concentraties van lachgas na 30 minuten sluiten van respectievelijk <50 ppb, 50-100 ppb, 100-1000 ppb en >1000 ppb werden gemeten.

4.3 Variabiliteit in emissie binnen- en tussen veenweidebedrijven

Aan het einde van 2000 en begin 2001 is een voorstel gemaakt voor metingen in beweidingsonderzoek om gegevens op bedrijfsniveau en voor het derde kennishiaat “integrale benadering” te verzamelen. Omwille van de hoge kosten van dergelijke integrale metingen op bedrijfsniveau is besloten om in proeven emissies en emissiefactoren te bepalen (zie paragraaf 4.1 en 4.2). In één onderzoek kon gebruik gemaakt worden van vele gegevens over stikstof. In onderstaande paragraaf laten we zien dat een bedrijfsberekening zeer wel mogelijk is indien voldoende gegevens beschikbaar zijn en maken gebruik van een analyse van bedrijven in het veenweidegebied in de Vlietpolder om verschillen tussen bedrijven te illustreren en om verschillen in effecten van methodieken zichtbaar te maken.

Algemeen wordt aangenomen dat de hoogste N₂O emissies komen vanuit agroecosystemen op intensieve veehouderijbedrijven in veenweidegebieden (Velthof en Oenema, 1995). Naast hoge N input in het systeem spelen ook beweiding en mineralisatie van veen een belangrijke rol bij deze emissies. Naast de IPCC default emissiefactoren uit de verschillende compartimenten (Mosier et al., 1998; IPCC, 1997) heeft Nederland voor deze typisch Nederlandse systemen ook eigen emissiefactoren gedefinieerd (Kroeze, 1994). In het Nederlandse systeem wordt met name directe emissie van (kunst)mest in het veld hoger ingeschat, en indirecte emissie als gevolg van uitspoeling lager ingeschat dan bij het IPCC systeem. Voor een aantal dicht bij elkaar gelegen melkveehouderij bedrijven in de Vlietpolder werd gedurende 3 jaar de totale N₂O emissie gekwantificeerd volgens beide schattingsmethode, en werden verschillen tussen de bedrijven geïnventariseerd.

4.3.1 Werkwijze

De Vlietpolder is gelegen in west-Nederland, en is ongeveer 200 ha groot. De anthropogene bovengrond (0 – 40 cm) bestaat uit leem met een hoog gehalte aan organisch materiaal (20 %). De ondergrond bestaat uit houtig veen. Volgens het FAO systeem wordt de bodem geklassificeerd als een Terric Histosol. Bijna al het land in de Vlietpolder (> 95 %) is veenweide gebied. In dit project werkten 7 bedrijven mee, die tezamen 80 % van het gebied beslaan. De bedrijven werden gestimuleerd om 1 jaar voor te lopen met emissiereducerende maatregelen. Daardoor daalden de bedrijfsoverschotten met gemiddeld 58 kg N ha⁻¹ yr⁻¹ in de periode 1999-2001 (Van Beek et al., 2003). Tabel 9 laat de belangrijkste parameters voor de verschillende bedrijven zien.

Tabel 9. Bedrijfsparameters van verschillende bedrijven in de Vlietpolder. Data uit 1999.

	Eenheid	Bedrijf						
		A	B	C	D	E	F	G
# koeien		58,2	64,8	56,0	44,7	63,1	102,1	74,4
oppervlakte	Ha	30,7	20,5	35,2	30,3	37,2	62,7	47,7
melkproductie	Kg FCM·ha ⁻¹	20159	20465	14038	13379	16360	14018	18278
FGB balance*	Kg N ha ⁻¹ yr ⁻¹	270	216	327	282	270	208	327

Farm Gate Balance, zie Van Beek et al., 2003

Tabel 10. De gebruikte emissiefactoren volgens zowel de IPCC default als het Nederlandse systeem. Nummers refereren naar Figuur 5.

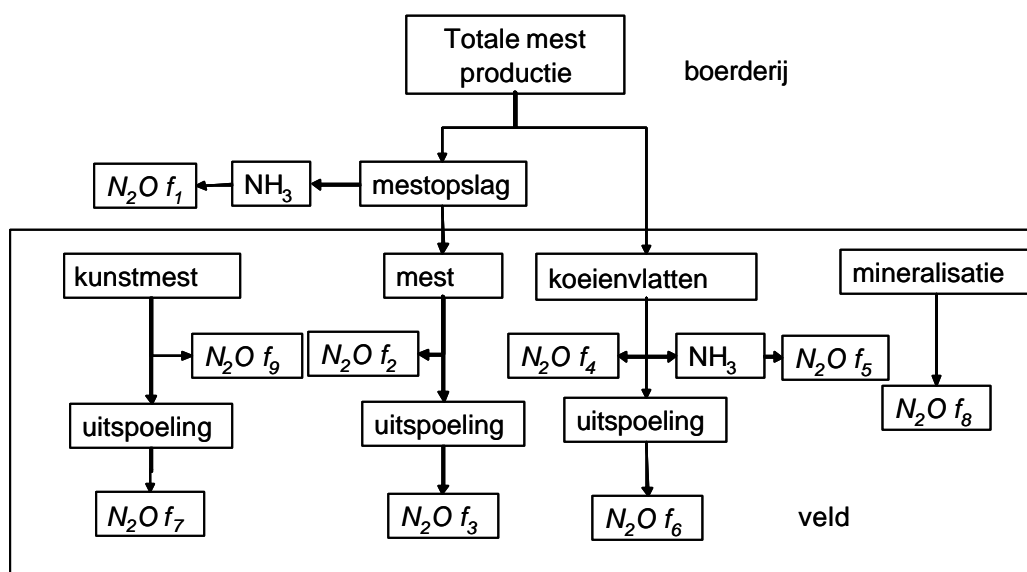
Emissiefactor nummer (zie Figuur. 5)	Emissie factor, %	
	IPCC default	Kroeze
1	0,1	0,1
2	1,25	2,0
3	0,75	0,3
4	1,25	2,0
5	0,1	0,1
6	0,75	0,3
7	0,75	0,3
8	5 kg N ha ⁻¹ yr ⁻¹	5 kg N ha ⁻¹ yr ⁻¹
9	1,25	2,0

Voor elk bedrijf en elk jaar werd, gebaseerd op de omvang van de stikstofstromen, de N_2O emissie geschat volgens zowel de IPCC default methode als volgens de methode-Kroeze. Figuur 5 en Tabel 10 laten het gebruikte rekenschema en de parameters voor de verschillende methoden zien.

4.3.2 Resultaten

Figuur 5 laat de totale berekende emissies uit de verschillende bedrijven zien, berekend volgens beide methoden. Over de gehele meetperiode was de gemiddelde emissie voor alle bedrijven $8.7 \pm 2.2 \text{ kg } N_2O\text{-N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ volgens de IPCC default methode, en $9.2 \pm 2.6 \text{ kg } N_2O\text{-N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ volgens de methode-Kroeze. Ook de trends voor de individuele bedrijven en jaren kwamen overeen voor de verschillende methoden (figuur 6). Er is een duidelijke negatieve trend gedurende de meetperiode, zeker als wordt gecorrigeerd voor het lachgas afkomstig uit mineralisatie, en verschillen in emissies tussen bedrijven zijn maximaal zo'n 100 %.

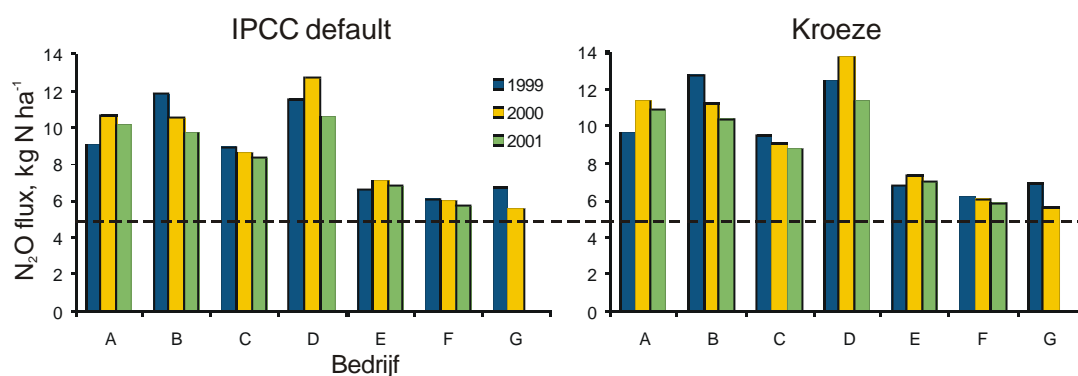
Figuur 6 laat duidelijk zien dat, ondanks de goede overeenkomst tussen de twee berekeningsmethodieken in totale emissie, de deelemissies wel flink verschillen. Met name de indirect emissie wordt in de methode-Kroeze flink lager ingeschat, wat weer wordt gecompenseerd door een hogere directe emissie vanuit mest, kunstmest en koeienvlaten. De totale indirecte emissie bedraagt 34 % bij de IPCC methode, en slechts 12 % bij de methode-Kroeze.



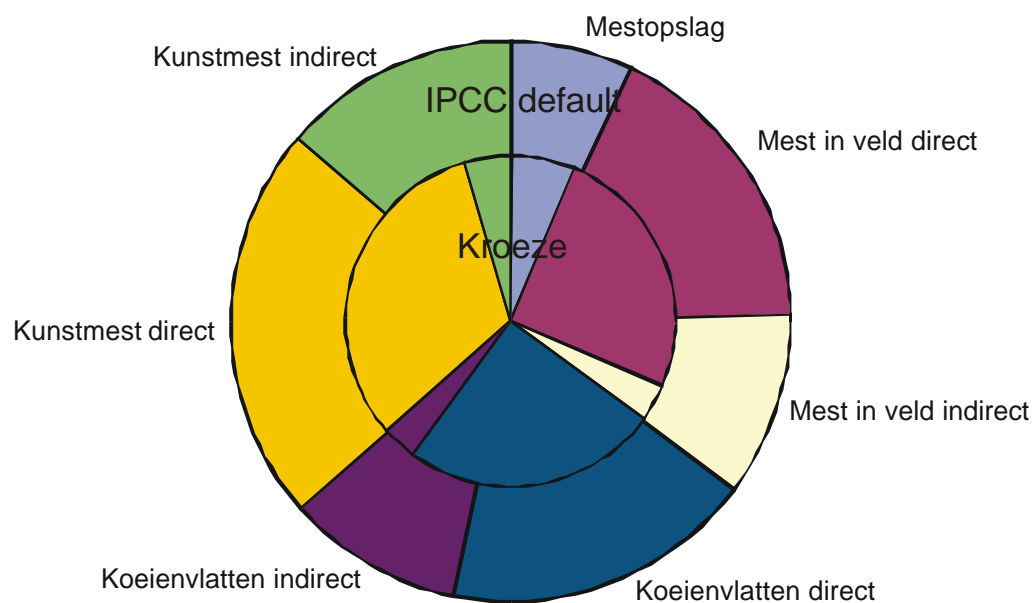
Figuur 5. Het gebruikte berekeningschema voor N_2O emissie. De factoren f_1 ... f_8 refereren naar de emissie factoren in Tabel 10.

4.3.3 Perspectieven

Alhoewel de verschillende deelposten flink verschillen tussen de twee methodes, komt de totale emissie vrijwel gelijk uit. Het is dus niet te verwachten dat het kiezen voor 1 van de 2 methodes duidelijke voordelen biedt m.b.t. rapportage. Wel is het zo dat de emissiefactoren voor indirecte emissies op bijzonder weinig experimentele data is gebaseerd, en dat het dus voor de hand licht dat deze factoren in de toekomst zullen worden bijgesteld. Voorlopige onderzoeksresultaten lijken te wijzen op een ietwat lagere emissiefactor (b.v. Reay et al., 2003).



Figuur 6. Totale N₂O emissie van de verschillende bedrijven in de Vlietpolder volgens de twee gebruikte methodes, inclusief mineralisatie (stippellijn).



Figuur 7. Een vergelijking van de verschillende componenten van de N₂O emissie (minus mineralisatie) volgens de IPCC default (buitenste cirkel) en de methode Kroeze (binnenste cirkel).

5 Nieuwe inzichten op basis van het uitgevoerde onderzoek

In het vorige hoofdstuk is specifiek ingegaan op de effectiviteit van de voorgestelde maatregelen op basis van het uitgevoerde onderzoek. Het uitgevoerde onderzoek heeft echter op andere aspecten nieuwe inzichten gegeven ten opzichte van het startpunt van ROB, de systeemanalyse. Enkele belangrijke nieuwe inzichten:

- De gemiddelde N₂O emissiefactor uit urineplekken over een groot aantal verschillende urinesamenstellingen (verschillen in hoeveelheid N en concentratie N) bedroeg 1.4 % voor de veldproef, en 2.8 % voor de labproef, vergeleken met een IPCC default waarde van 2.0 %. De resultaten van een literatuuronderzoek van Van Groenigen et al. (2004) naar 31 gepubliceerde emissiefactoren in de internationale literatuur laten ook een beeld zien van lagere emissiefactoren (gemiddeld 0.9 %) bij veldproeven, vergeleken bij incubatieproeven (gemiddeld 1.4 %).
- Uit literatuuronderzoek van Van Groenigen et al. (2004) blijkt voorts dat over het algemeen lagere emissiefactoren worden gevonden voor echte urine (gemiddeld 1.1 %) dan voor kunsturine (gemiddeld 1.4 %). Dit effect is nog duidelijker in studies waarbij beide vormen van urine worden gebruikt, zoals de veldproef die hier is gerapporteerd. Wij vonden een toename in de emissiefactor van 250 % (van 0.7 % tot 1.60 %) bij het gebruik van kunsturine. Dit zou samen kunnen hangen met de gekozen samenstelling van de kunsturine. Deze bevatte 89 % van N in de vorm van ureum. Alhoewel dit een waarde is die in de praktijk voorkomt, is het aan de hoge kant. Bussink en Oenema (1998) rapporteren in een literatuur overzicht een range van 50 tot 90 %, met een gemiddelde waarde van 75 %. De grote relatieve hoeveelheid ureum-N in de kunsturine zal leiden tot een hogere pH als gevolg van ureum-hydrolyse dan bij urine met een lager ureum aandeel. Ook het relatief grote aandeel hippuurzuur kan hydrolyse van ureum hebben versneld (Doak, 1952) Dit kan vervolgens via nitrietophoping weer leiden tot een verhoogde N₂O emissie. Ook kan een mogelijk groter aandeel van makkelijk beschikbaar C in de echte urine hebben geleid tot een tijdelijke immobilisatie van N, en zodoende verlaging van de emissie.
- Bovenstaande resultaten van de literatuurstudie in combinatie met de veldproeven suggereert dat een verlaging van de emissiefactor van 2.0 % naar 1.0 % redelijk zou zijn. Een groot deel (~ 50 %) van de gevonden emissiefactoren is pas recentelijk (< 5 jaar geleden) gepubliceerd, en is dus niet meegenomen in de oorspronkelijke overwegingen van het IPCC voor het vaststellen van de default emissie factor.
- Het is echter wel belangrijk om voor ogen te houden dat het hier gaat om emissiefactoren van uitsluitend urine. Zowel compactie als toediening van mest leidde tot een forse toename van de emissiefactor (met een factor 8 en 5, respectievelijk volgens die onderzoek). Voor een preciezere schatting van N₂O emissies zou een uitsplitsing van de emissiefactor voor deze omstandigheden aan te bevelen zijn.

6 Evaluatie maatregelen en afwenteling en draagvlak

Op basis van de voorgaande resultaten en de systeemanalyse (Velthof et al., 2000) zijn de volgende maatregelen haalbaar:

1. Siësta + beperkt beweiden
2. Dag en nacht op stal
3. Per 1 september opstallen
4. Minder jongvee
5. Hogere melkproductie

De analyse van de maatregelen op effectiviteit, kostenefficiëntie, controleerbaarheid, handhaafbaarheid, risico op afwenteling en kennishiaten is weergegeven in Tabel 11.

Het risico op afwenteling is bij beperkte beweiding reeel aanwezig. Beperkte beweiding leidt tot meer mest in de kelder en een risico op hogere methaan en ammoniak emissie uit mestopslag. Het risico op nitraatuitspoeling is echter kleiner omdat een groter deel van de mest en urine gecontroleerd kan worden toegediend aan gewassen inclusief grasland. Verder is de behoefte aan additionele kunstmest geringer. Aangezien de methaan- en ammoniakvorming in de kelder goed onder controle te houden is zijn de bijwerkingen en afwenteling naar overige broeikasgassen conform TEWI beperkt.

Tabel 11. Maatregelen om de N₂O-emissie veroorzaakt door beweiding te beperken.

Maatregel	Schatting van de effectiviteit t.o.v. autonome ontwikkeling, Mton CO ₂ -equivalenten ¹	Kosten-efficiëntie ²	Controleerbaarheid	Handhaafbaarheid	Risico op Afwenteling	Draagvlak bij boeren	Kennishiaten
Siësta + beperkt beweiden	0,19	klein-gemiddeld	slecht-redelijk	moeilijk-redelijk	aanwezig	redelijk	groot
Dag en nacht op stal	1,14	klein	Goed	goed	aanwezig	slecht	groot
Per 1 september opstallen	0,41	klein	Goed	goed	aanwezig	redelijk	groot
Minder jongvee	0,09	zeer groot	Goed	redelijk	gering	goed	beperkt
Hogere melkproductie	0,05	zeer groot	Goed	redelijk	gering	goed	groot

¹ Naar verwachting leidt de autonome ontwikkeling (met name MINAS) tot een vermindering van lachgasemissie ten opzichte van 1990 met ongeveer 3 Mton CO₂-equivalenten. De hier gegeven effectiviteit is ten opzichte van de autonome ontwikkeling.

² indicatie voor kosten voor vermindering van N₂O-emissie in guldens per ton CO₂-equivalenten per jaar: klein > fl. 100; gemiddeld fl. 50-100; groot fl. 0-50; zeer groot < fl. 0.

Het draagvlak bij boeren zal beperkt zijn omdat boeren graag zelf hun bedrijfsvoering inrichten en liefst flexibel blijven en aanpassen aan omstandigheden in de loop van het jaar. Voor systemen met beperkt weiden zal de benodigde arbeid toenemen (koeien verzamelen en opstallen). De mestopslagbehoefte is groter en dit geldt met name aan het einde van het jaar bij vervroegd opstallen. Het risico bestaat dat er eerder in het voorjaar moet worden uitgereden om de kelder leger te maken. Beperkt weiden kan bij voldoende opslagcapaciteit voor mest wel leiden tot een lager stikstofoverschot en minder stikstofaanvoer.

7 Conclusies en selectie van perspectievolle maatregelen

Op basis van de vorige hoofdstukken wordt geconcludeerd dat de perspectievolle maatregelen om de emissie van lachgas als gevolg van beweiding zoals die zijn geïdentificeerd en toegelicht in de zogenaamde systeemanalyse Beweiding (Velthof et al., 2000) nog steeds actueel zijn. In dit rapport wordt aangegeven dat de emissies uit urine en mest van koeien tijdens weidegang op zandgrond zeer variabel zijn. De emissies zijn moeilijk te kwantificeren als gevolg van de intrinsieke complexiteit van beweiding op bedrijfsschaal: de factoren bemesting (kunstmest en dierlijke mest), beweidingsintensiteit en waterbeheer kunnen alleen met grote moeite en omvangrijke onderzoeksinspanning uit elkaar worden gehouden bij de analyse van hun afzonderlijke invloed op de emissies van broeikasgassen. De implementatie van maatregelen die de beweidingsduur en -frequentie verlagen, stuit op weerstand in de samenleving die koeien in de wei wil zien. Het is dan ook een uitdaging om tegelijkertijd aan de wens “koeien in de wei” tegemoet te komen en beweiding zoveel mogelijk te beperken. Alleen dan is er draagvlak te vinden bij agrariërs om te zorgen dat zoveel mogelijk mest en urine in de mestkelder terecht komt in plaats van in de wei. En de mest aansluitend alleen dan toe te passen wanneer dat uit oogpunt van productie nodig is en zodanig (wijze van toediening en hoeveelheid) dat emissies van lachgas maar ook nitraat en ammoniak worden beperkt (zie rapportage over ROB Landbouw project 1.2 Bemesting in Velthof et al., 2002; van Beek et al., 2004). Een systeembenadering op bedrijfsniveau is onontbeerlijk om de gevolgen van afwegingen in bedrijfsvoering voor emissies integraal te berekenen en verantwoorde keuzes te suggereren aan het bedrijfsmanagement.

De resultaten uit deze studie leiden tot de volgende conclusies:

- De hoeveelheid stikstof in de urine lijkt weinig tot geen effect te hebben op de emissiefactor. Uiteraard leidt ook bij dezelfde emissiefactor een lagere N input wel tot een lagere emissie.
- Meer urine (bij gelijkblijvende hoeveelheid stikstof) leidt wellicht tot een lichte verhoging van de emissiefactor als gevolg van de verhoging in de het vochtgehalte (zie volgende punt).
- Compactie en een hoger vochtgehalte *samen* resulteren in een sterke toename van de emissie factor. Een hoger vochtgehalte verdriedubbelde de emissiefactor in de laboratoriumscreening, terwijl compactie de emissiefactor meer dan verdubbelde in een realistische veldsituatie (zie sectie 4.2).
- Zowel in een laboratoriumscreening als in veldproef resulteerde de toediening van mest in een sterke toename van de emissiefactor; in het veld met zo'n 75 %.
- De vorming van lachgas tijdens en na weidegang van rundvee is hoog maar ruimtelijk zeer variabel en met moeite uit metingen in fluxkamers op te schalen naar emissies per oppervlakte.

Gebaseerd op het bovenstaande zijn de meest perspectiefrijke maatregelen diegene die gericht zijn op (i) het voorkomen van intensieve vertrapping en andere oorzaken die leiden tot verdichting van de bodem, (ii) het voorkomen van de gecombineerde

mest- en urineplekken, en (iii) het voorkomen van urinedepositie onder vernatte en/of vertrapte omstandigheden. Er moet hier met name worden gedacht aan maatregelen die leiden tot frequente opstalling van vee en beperkt (dagelijkse) verblijf in de wei. Deze maatregelen zijn urgenter naarmate de bodem (van nature) natter is en met name in die situaties waar een grote kans bestaat op verdichting van de bodem.

De belangrijkste kennisvragen die om nadere aandacht vragen:

- Rekeninstrumentarium waarmee emissies uit beweidings- en bedrijfssystemen kunnen worden berekend en opgeschaald en geanalyseerd (zie aanhangsel 3 en Van Beek et al, 2004).
- Interactie tussen grondsoort, verdichting, waterbeheer en emissies als gevolg van urine en mest uitscheiding tijdens beweiding.
- Relatie tussen mest- en urinesamenstelling (stikstofcomponenten en koolstofverbindingen).
- Relatie tussen uit- en afspoeling van nitraat en indirecte emissie van lachgas.
- Effecten van verdichting op de vorming en emissie van methaan in de bodem.
- Systematische analyse van recente internationale literatuur over metingen aan emissies van lachgas uit urine en mest en afgeleide emissiefactoren ter vergelijking van de afgeleide emissiefactoren in deze studie.
- Verificatie van metingen met behulp van fluxkamers op specifieke plekken in beweide grasland met behulp van (te ontwikkelen) metingen aan emissies op de schaal van beweide percelen met behulp van Eddy Correlatie technieken en tunable laser technologie (Jacobs et al., 2004; Kabat et al, 2004).

Tenslotte moet worden vastgesteld dat eventuele veranderingen als gevolg van bedrijfsmanagement in de beweidingsintensiteit en –frequentie niet zondermeer met de huidige rekenmethodiek voor de vaststelling van emissies van lachgas en methaan volgens IPCC of de landenspecifieke methodiek van Nederland kunnen worden gekwantificeerd. Dit geldt bijvoorbeeld voor bedrijfsspecifieke veranderingen in beweidingsintensiteit. Nederland gebruikt een generieke verhouding tussen beweidingsduur en duur van opstallen van rundvee. Om meer gedetailleerd te kunnen berekenen en te rapporteren is het nodig de protocollen aan te passen en additionele bedrijfsgegevens over beweidingsduur per jaar te verzamelen. Om de kans op acceptatie van landenspecifieke waarden voor de emissiefactoren van urine en mest tijdens beweiding te vergroten, worden publicaties in internationale literatuur voorbereid en ter publicatie aangeboden aan wetenschappelijke tijdschriften (van Groenigen et al., 2004a; van Groenigen et al., 2004b).

Literatuur

IPCC, 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. OECD/OCDE, Paris

Jacobs, C.M.J., Moors, E.J. & Bolt, F.J.E. van der (2004) Invloed van waterbeheer op gekoppelde broeikasgasemissies in het veenweidegebied bij ROC Zegveld. Alterra, Wageningen, Alterra rapport 840

Kabat et al, (2004) Klimaat voor ruimte, ruimte voor klimaat. Onderzoekprogramma in het kader van BSIK (ICESKIS). Knowledge Project Plan 'Climate changes Spatial Planning'.

Kroeze, C., 1994. Nitrous oxide (N₂O) emission inventory and options for control in the Netherlands. RIVM (report 773001004), 163 p.

Mosier, A., C. Kroeze, C. Nevison, O. Oenema, S.P. Seitzinger & O. van Cleemput, 1998. Closing the global N₂O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. *Nut. Cycl. Agroecosyst.* 52, 225-248.

Oudendag, D.A. & P.J. Kuikman, 2003. Effecten van extensivering van de melkveehouderij op de emissies van broeikasgassen. Alterra, Wageningen-UR, Wageningen. Alterra rapport 649, pp. 62

Reay, D.S., K.A. Smith, & A.C. Edwards, 2003. Nitrous oxide emission from agricultural drainage waters. *Glob. Change Biol.* 9, 195-203.

Van Beek, C.L., L. Brouwer & O. Oenema, 2003. The use of farmgate balances and soil surface balances as estimator for nitrogen leaching to surface water. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 67, 233-244.

Van Groenigen, J.W., G.L. Velthof & P.J. Kuikman, 2004a. Urine-derived nitrous oxide emissions from an intensively managed pasture I. Incubation study and controlling factors. Aangeboden aan *Soil Biology and Biochemistry*.

Van Groenigen, J.W., F.J.E. Van der Bolt, A. Vos, G.L. Velthof & P.J. Kuikman, 2004b. Urine-derived nitrous oxide emissions from an intensively managed pasture II. Field study and mitigation strategies. In voorbereiding.

Velthof, G.L., M.H. de Haan, G. Holshof, A. van den Pol-van Dasselaar & P.J. Kuikman, 2000. Beperking van lachgasemissie uit beweid grasland. Een systeemanalyse. Wageningen, Nederland, Alterra rapport 114-1 ROB beweiding, pp. 52.

Velthof, G.L., J. Dolfing, G.J. Kasper, J.W. van Groenigen, W.J.M. de Groot, A. van den Pol-van Dasselaar & P.J. Kuikman, 2002. Beperking van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden. Eindrapport Reductieplan Overige Broeikasgassen Landbouw Cluster 1. Wageningen, Nederland, Alterra-rapport 560.2, pp. 58

Velthof, G.L., S.C. Jarvis, A. Stein, A.G. Allen & O. Oenema, 1996. Spatial variability of nitrous oxide fluxes in mown and grazed grasslands on a poorly drained clay soil. *Soil Biol. Biochem.* 28, 1215-1225.

Velthof, G.L. & O. Oenema, 1995. Nitrous oxide fluxes from grassland in the Netherlands: II. Effects of soil type, nitrogen fertilizer application and grazing. *Eur. J. Soil Sci.* 46, 541-549.

Aanhangsel 1 **Overzicht van de activiteiten in ROB Landbouw project 1.1 Beweiding**

Proef	Doel	Resultaten
Incubatieproef urine en mest	Screening van emissies van lachgas, methaan en andere emissies uit dierlijke mest en verschillende hoeveelheden en concentraties van urine in combinatie met verschillen in bodemvocht en verdichting	Paragraaf 4.1
Veldproef urine en mest	Effecten van mest en urine tijdens beweiding en de invloed van seizoen, hoeveelheid urine, concentratie van N in de urine, interactie met vast mest	Paragraaf 4.1
Opzet voor metingen op bedrijfsniveau met verschillende beweidingssystemen	Integrale berekening van emissies op basis van metingen op relevante tijdstippen en plaatsen in een bedrijfssysteem met verschillen in beweidingduur	Aanhangsel 3
Veldmetingen van emissies tijdens beweiding met verschillende veedichtheden	Metingen in het veld aan emissies van lachgas op veldschaal bij beweiding met verschillende veedichtheden en inzicht in de ruimtelijke variatie van emissies	Paragraaf 4.2

Aanhangsel 2 Producten uit het ROB onderzoek naar beweiding

Velthof, G.L., M.H. de Haan, G. Holshof, A. van den Pol-van Dasselaar & P.J. Kuikman, 2000b. Beperking van lachgasemissie uit beweid grasland. Een systeemanalyse. Wageningen, Nederland, Alterra rapport 114-1 ROB beweiding, pp. 52.

Van Groenigen, J.W., G.L. Velthof & P.J. Kuikman, 2004a. Urine-derived nitrous oxide emissions from an intensively managed pasture I. Incubation study and controlling factors. Aangeboden aan Soil Biology and Biochemistry.

Van Groenigen, J.W., F.J.E. Van der Bolt, A. Vos, G.L. Velthof & P.J. Kuikman, 2004b. Urine-derived nitrous oxide emissions from an intensively managed pasture II. Field study and mitigation strategies. In voorbereiding.

Aanhangsel 3 Proefopzet voor integrale veldmetingen op bedrijfsschaal binnen ROB project beweiding

De onderstaande tekst is integraal overgenomen uit een voorstel voor invulling van metingen binnen het ROB Landbouw project 1.1 Beweiding met metingen op proefbedrijf Cranendonck in twee bedrijven die verschillen in beweidingsintensiteit; het voorstel is besproken met de opdrachtgever NOVEM in voorjaar 2001 en na rijp beraad als te risicovol niet tot uitvoering gebracht.

Doel van deze notitie:

Verzoek tot instemming met initiatie en uitvoering van voorgestelde veldmetingen binnen ROB Cluster 1, project 1.1 (Vermindering van lachgasemissie door optimalisering van bijvoeding en beweiding van rundvee) via aansluiting bij bestaande proef in Cranendonck en verschuiving van benodigde budget van project 1.2 bemesting naar 1.1 beweiding en wijziging in taak en omvang bijdrage IMAG via integrale veldmetingen.

Achtergrond

In de systeemanalyse “Beperking van lachgasemissie uit beweid grasland” (Velthof et al., 2000) worden als belangrijkste kennishiaten en aandachtspunten voor het vervolgonderzoek in het kader van ROB de volgende punten geïdentificeerd:

- relatie tussen de samenstelling van urine en weidemest en de lachgasemissie
- effecten van betreding en vertrapping op lachgasemissie
- effect van korte beweiden en/of eerder opstallen in een integrale benadering (incl. TEWI): lachgas, ammoniak- en methaanemissie, nitraatuitspoeling uit beweid grasland, stal en mestopslag.

Aan beide eerste punten is en wordt aandacht besteed in incubatie-experimenten. Voor het derde punt is beweidingsonderzoek noodzakelijk. Omwille van de hoge kosten is aansluiting bij bestaande projecten en initiatieven noodzakelijk. Inventarisatie van lopend onderzoek leverde één onderzoek op waar uitermate zinvol gebruik van kan worden gemaakt en waar vele gegevens over stikstof beschikbaar zullen zijn om niet. Ook is er ter plaatse voldoende menskracht om de metingen uit te voeren waardoor kostbare reistijd kan worden bespaard. Dit is een groot voordeel voor ROB beweiding. Zo zijn goedkoop gegevens beschikbaar die voor de uitvoering van de TEWI benadering nodig zijn (nitraatuitspoeling, mestproductie, bewaartijd in stal i.v.m. methaan, bijvoeding).

Dit project (“Ontwikkelen en toetsen van bedrijfsmaatregelen gericht op de verlaging van het nitraatgehalte in het grondwater onder droogtegevoelige zandgronden in Noord-Brabant”) wordt uitgevoerd op een proefbedrijf van PV in Cranendonck in Brabant. In dit project worden twee bedrijfssystemen vergeleken en getoetst waarbij één systeem gericht is op het kunnen voldoen aan de Europese nitraatrichtlijn voor grondwater en het andere systeem overeenkomt met de gangbare landbouwpraktijk in Noord-Brabant. Managementmaatregelen op het gebied van beweiding, voeding, bemesting en snijmaïsteelt staan hierbij centraal. Belangrijkste punten zijn: het aantal graasuren per koe per dag (van 8 naar 4), het bijvoedingsniveau, de Onbestendig

Eiwit Balans (OEB) in het rantsoen en moment van opstallen in het najaar (begin september i.p.v. half oktober). Deze combinatie sluit goed aan bij maatregelen die zijn voorgesteld binnen ROB-beweiding.

Echter, in de proef op Cranendonck wordt het effect van een combinatie van maatregelen op nitraatuitspoeling en voor ROB op lachgasemissie getoetst. Zonder aanvullende werkzaamheden is het niet mogelijk om effecten ondubbelzinnig toe te schrijven aan of aantal graasuren, bijvoeding, opstallen. Aanvullende metingen op proeflocaties waarbij uitsluitend het aantal graasuren of de begrazingsdruk, danwel tijdstip van opstallen worden gevarieerd kunnen wel inzicht geven. Met andere woorden: binnen ROB zijn een aantal incubatie en veldmetingen uitgevoerd en we stellen nu voor de stap naar bedrijfssystemen te maken. Daarbij slaan we metingen in proeven aan oorzakelijke verbanden gedeeltelijk over; afhankelijk van het resultaat in de voorgestelde proef zullen dit type metingen later alsnog moeten worden uitgevoerd om inzicht te geven in de resultaten van metingen op bedrijfsschaal. Dit is een nadeel en vormt een risico voor ROB maar is onlosmakelijk verbonden met de aard van de proef.

Proefopzet

Het onderzoek omvat 27 percelen. De directe lachgasemissie uit deze percelen wordt wekelijks gemeten met behulp van een fluxkamertechniek. De metingen vangen aan voor de eerste bemesting (februari) en worden minimaal tot in november gecontinueerd. De toe te passen fluxkamers zijn ongeveer 0,5 m² groot om heterogeniteit binnen een beweide veld zo goed als mogelijk te ondervangen. De resultaten van de metingen worden wekelijks geëvalueerd en de proefopzet wordt zonodig bijgesteld. Door combinatie van resultaten van metingen en andere informatie uit het onderzoek waar gebruik van kan worden gemaakt, kan een volledig beeld gegeven worden van de lachgasemissie, zowel direct (via hier voorgestelde fluxkamermetingen) als indirect (via nitraatuitspoeling, wordt gemeten in het onderzoek waarop aangesloten wordt).

Korte beschrijving beweidingsstelsel

- er worden twee systemen vergeleken: gangbaar en lage nitraatuitspoeling met als belangrijkste verschillen: beweiding, kunstmest, dierlijke mest en rantsoen
- zowel grasland als maïsland
- er zijn per systeem 9 percelen: nog niet duidelijk hoe ze liggen en wat het management per perceel is
- een aantal percelen wordt gesplitst bij beweiding
- er zijn 18 percelen die elk een unieke combinatie van bemesting-beweiding heeft (zowel in tijd als in grootte)
- om het effect van bedrijfssysteem te kwantificeren, moet de N₂O emissie uit alle 18 percelen worden gekwantificeerd. Hiertoe is een monitoring nodig van minimaal 1x per week meten in de periode maart t/m november: 30-40 meettijdstippen

- Cranendonk is een droogtegevoelige zandgrond; er bestaat een risico in bepaalde delen van het jaar weinig valt te meten (maar dit geldt ook voor andere grondsoorten, maar misschien in mindere mate).

Stel dat het meten geen probleem is, wat levert de proef aan eind op:

- emissie per perceel + gemiddelde emissie per bedrijfssysteem levert een kwantificering van effect van pakket aan maatregelen op de N₂O-emissie op “bedrijfsniveau”
- met behulp van emissiefactoren kan de N₂O-emissie worden berekend en kan de vraag beantwoord worden of deze overeenkomt met de gemeten emissie
- combinatie met de aanvullende gegevens met name van nitraatuitspoeling
- gezien de verstremgeling van de factoren is het niet mogelijk om de effecten van maatregelen op gebied beweiding/bemesting.rantsoen zuiver te kwantificeren: hierover alleen speculeren. Hierover zou meer gezegd kunnen worden indien er controle-veldjes worden aangelegd (= geen bemesting + geen beweiding, wel bemesting + geen beweiding, geen vanggewas bij maïs etc.), maar dit zou het aantal benodigde N₂O-meting fors doen toenemen: niet haalbaar
- het verhaal zou kunnen worden verkocht als de eerste keer dat er op N₂O-emissie op bedrijfsniveau wordt gemeten en vergeleken en lijkt me wel acceptabel voor een publicatie in combinatie met de aanvullende gegevens van PR, maar ik ben er niet overtuigd van. Eigenlijk zouden we dan ook N₂O-emissie uit sloten moeten meten (als deze er zijn), maar de vraag is of je deze aan een van de twee bedrijfstypen kan koppelen.
- het onderzoek past goed binnen het ROB, maar meer in de fase van praktijkonderzoek/ demonstratie dan kwantificeren van effecten van maatregelen.

Metingen

- de ROB-projecten beweiding/bemesting zijn groot, maar gezien bovenstaande overweging zou ik niet alle troeven op deze proef willen zetten en zeker ook andere proeven willen uitvoeren. In totaal beschikbaar voor ROB-bemesting/beweiding aan onderzoekassistenten 315 dagen en aan onderzoekers 160 dagen.
- stel 35 weken, maximaal 2 dagen voor metingen + berekening fluxen: maximaal 70 dagen onderzoeksassistenten
- er is een behoorlijke reistijd aanverbonden: per meetdag 3-4 uur (?) tenzij PV medewerkers op Cranendonck metingen kunnen (helpen) uitvoeren.
- meetmethodiek:
 - maisland: “kleine” fluxkamers die tussen de rijen/planten geplaatst kunnen worden, minimaal 6 per perceel. Niet duidelijk hoeveel maispercelen er zijn.
 - grasland: ruimtelijke variabiliteit een probleem in beweid grasland. Opties: i) veel fluxkamers (niet haalbaar gezien groot aantal benodigde metingen), ii) mega-chambers van enkele m².
 - mega-chambers: voordeel: verkleinen ruimtelijke variabiliteit, maar bij een mega-chamber van enkele m² blijft het probleem. Daarom zou ik minimaal 2 mega-chambers per perceel plaatsen. De mega-chambers moeten snel te plaatsen zijn (robust) en niet lekken. Dat zou een probleem kunnen zijn; er

zijn maar weinig (geen) groepen die mega-chambers gebruiken (groep van Keith Smith heeft er een getest, maar problemen met lekkages; gebruiken nu kleine fluxkamers).

- lukt het om 18 percelen op één dag te meten mbv gasmonitor (die met een karretje kan worden rondgereden). Dit hangt af van de ligging van de percelen. Ik denk niet dat het lukt dat één persoon zowel de fluxkamers plaatst als de metingen uitvoert. Twee personen zou een optie kunnen zijn. Een persoon plaatst de kamers en de andere voert de metingen uit. Mogelijk is het dan haalbaar om op één dag alles te meten, maar het blijft een forse klus.
- een andere optie is het nemen van monsters mbv van spuiten die een dag later met de GC worden gemeten. Dan kunnen er meer monsters worden genomen, maar wie voert de GC-analyses uit + waar (de benodigde tijd verdubbelt dus).
- nieuwe technieken: Arjan Henssen inhuren of IMAG? Investering van Alterra? Han Dolman had het er laatst ook al over voor CO₂. Ik ken de mogelijkheden niet van “nieuwe technieken”. Duidelijk is dat we tegen dit probleem vaker zullen tegenkomen (demonstratie/praktijk): hoe kunnen we snel een gemiddelde flux van een veld meten.
- Last but not least: hier kunnen een aantal meetmethodieken met elkaar worden vergeleken (zou eventueel via P344 budget kunnen worden ondersteund).

Al met al, heel veel vragen en discussiepunten. Een compromis zou kunnen zijn om bij elk systeem enkele “representatieve” velden te selecteren die goed te vergelijken zijn (indien mogelijk). In deze velden zouden we controles kunnen leggen, zodat we bepaalde effecten beter kunnen kwantificeren: dan heb je meer een proefveld idee. Dan heb je naast het vergelijken van beide systemen (met alle onzekerheden) in ieder geval de gegevens van het proefveld op het perceel (bv. het afleiden van emissiefactoren). Voordeel hiervan is dat je meer metingen op één perceel kunt uitvoeren dan op meerdere percelen.

Aanzet voor de opzet (indien mogelijk):

- twee systemen
- 3 graslandpercelen per systeem: in totaal 6 percelen
- op elk perceel:
 - controle 1: geen bemesting en geen beweiding
 - controle 2: wel bemesting en geen beweiding
 - veld zelf
 - fluxkamers: mega-chambers (> 1m²): 2-3 herhalingen