

## Beperking van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden

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 geregening

# **Beperking van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden**

## **Eindrapport voor Reductieplan Overige Broeikasgassen Landbouw Cluster 1**

**G.L. Velthof<sup>1</sup>**

**J. Dolfing<sup>1</sup>**

**G.J. Kasper<sup>2</sup>**

**J.W. van Groenigen<sup>1</sup>**

**W.J.M. de Groot<sup>1</sup>**

**A. van den Pol-van Dasselaar<sup>2</sup>**

**P.J. Kuikman<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Alterra

<sup>2</sup>Praktijkonderzoek Veehouderij

**Alterra-rapport 560.2**

**Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2002**

## REFERAAT

Velthof, G.L., J. Dolfig, G.J. Kasper, J.W. van Groenigen, W.J.M. de Groot, A. van den Pol-van Dasselaar en P.J. Kuikman, 2002. *Beperking van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden. Eindrapport Reductieplan Overige Broeikasgassen Landbouw Cluster 1*. Alterra, Wageningen. Alterra-rapport 560.2. 58 blz. 8 fig.; 10 tab.; 28 ref.

In het kader van het Reductie Plan Overige Broeikasgassen (ROB Landbouw) zijn de mogelijkheden voor het verminderen van de emissie van lachgas ( $N_2O$ ) uit bemeste landbouwgronden bestudeerd. In de periode tussen augustus 2000 en juli 2002 zijn door middel van incubatie- en veldproeven de effecten van een groot aantal bemestingsmaatregelen op de  $N_2O$ -emissie onderzocht. 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  $N_2O$ -emissie te verminderen zijn i) het verminderen van de stikstofbemesting via kunstmest en dierlijke mest, ii) het verlagen van het gehalte aan afbreekbare organische stof van mest, door aanpassingen in rantsoen en mestbehandeling, iii) het toedienen van een ammoniummeststof in plaats van een nitraatmeststof, iii) het splitsen van stikstofgiften op grasland, iv) minder gebruik van dierlijke mest op maïsland en bouwland en v) het toedienen van mest via slangen en sleepvoet in het voorjaar aan zware kleigrond in plaats van mestinjectie. De geschatte effectiviteit van de afzonderlijke maatregelen op nationaal niveau varieert van minder dan 0,1 tot 1 Mton  $CO_2$ -equivalenten per jaar. Het merendeel van de maatregelen is kostenneutraal of levert een kleine winst. Voorlichting is van belang om tot effectieve implementatie van maatregelen te komen. Een integrale analyse van de effectiviteit van de maatregelen samen met die van maatregelen uit andere ROB-projecten is nodig om interacties tussen maatregelen en risico's van afwenteling naar andere emissies (zoals methaan, ammoniak en nitraat) te kwantificeren. De effectiviteit van een deel van de maatregelen kan niet worden gekwantificeerd met de rekenmethodieken die voor de huidige rapportage in het kader van het Klimaatverdrag en het Kyoto Protocol worden gebruikt.

Trefwoorden: bemesting, broeikasgassen, emissiereductie, lachgas, landbouw, stikstof

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door €22,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 560.2. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2002 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,  
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.  
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: [postkamer@alterra.wag-ur.nl](mailto:postkamer@alterra.wag-ur.nl)

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

Samenvatting	7
1 Inleiding	11
2 Sturende factoren	13
3 Overzicht maatregelen en kennishiaten	15
4 Resultaten van experimenteel onderzoek	17
4.1 Nitraat houdende kunstmest op grasland vervangen door ammoniummeststof	18
4.2 Type en toedieningstechniek van dierlijke mest	20
4.3 Verandering in mestsamenstelling door aanpassingen in rantsoen	22
4.4 Mestbehandeling: vergisting van varkensmest	24
4.5 Mestbehandeling: co-vergisting van varkensmest	26
4.6 Splitsen van giften van dierlijke mest en kunstmest op grasland	28
4.7 Effect van grootte van giften van (combinaties van) dierlijke mest en kunstmest op grasland	30
4.8 Effect van grootte van giften van (combinaties van) dierlijke mest en kunstmest op maïsland	33
4.9 Toedieningstechniek van mest op maïsland	35
4.10 Telen van wintergewassen bij najaarstoediening van dierlijke mest	37
5 Nieuwe inzichten	41
6 Evaluatie van maatregelen	43
7 Conclusies en selectie van perspectievolle maatregelen	49
Literatuur	51
<b><i>Aanhangsels</i></b>	
1 Overzicht van de uitgevoerde proeven in ROB Landbouw project 1.2 Bemesting	55
2 Producten in 2000 – 2002	57



## Samenvatting

In het kader van Cluster 1 (Best Management Practices) van het Reductie Plan Overige Broeikasgassen (ROB Landbouw) wordt beoogd een reductie van de emissie van lachgas ( $N_2O$ ) uit verschillende bronnen te realiseren door middel van het ontwikkelen en toetsen van maatregelen. In het kader van het ROB Landbouw project 1.2 (Vermindering van de lachgasemissie door aanpassingen in strategieën en technieken van toepassing van dierlijke mest en kunstmest) zijn de mogelijkheden voor het verminderen van de lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden bestudeerd.

Op basis van een systeemanalyse die in 2000 is uitgevoerd (Velthof et al., 2000), adviezen van de begeleidingscommissie van ROB Landbouw en mogelijkheden tot aansluiten bij lopend onderzoek is in de periode tussen augustus 2000 en juli 2002 experimenteel onderzoek uitgevoerd. In dit rapport worden de belangrijkste resultaten van het onderzoek gepresenteerd, alsmede de eindconclusies ten aanzien van potentiële maatregelen. De gedetailleerde proefopzet en resultaten worden in rapporten, publicaties en/of informatiebladen gepresenteerd.

In kader van het ROB Landbouw project 1.2 *bemesting* zijn incubatieproeven en veldproeven op grasland, bouwland en maïsland op verschillende locaties uitgevoerd waarin de volgende maatregelen zijn onderzocht:

- Type kunstmest op grasland;
- Type en toedieningstechniek dierlijke mest ;
- Verandering van de samenstelling van varkensmest door aanpassing van het rantsoen;
- Mestbehandeling: vergisting en co-vergisting van varkensmest;
- Splitsen van giften aan dierlijke mest en kunstmest op grasland;
- Grootte gift en combinaties van dierlijke mest en kunstmest op grasland;
- Grootte gift en combinaties van dierlijke mest en kunstmest op maïsland;
- Toedieningstechniek van mest op maïsland;
- Teelt van wintergewassen op bouwland.

In alle veldexperimenten is de  $N_2O$ -emissie met fluxkamers en een fotoacoustische gasmonitor dagelijks tot maandelijks gemeten gedurende een periode van enkele weken tot meer dan een jaar. In de proeven werd steeds de gangbare praktijk vergeleken met de maatregel en werd een controle (onbemest object) meegenomen om in staat te zijn de emissiefactor (= percentage van toegediende N dat als  $N_2O$  wordt geëmitteerd) van de maatregel en de gangbare praktijk te berekenen.

Uit verschillende proeven blijkt dat toediening van dierlijke mest aan bouwland en maïsland kan leiden tot hoge  $N_2O$ -emissies, zowel bij toediening in het voorjaar als in het najaar. De gegevens laten duidelijk zien dat naast de toediening van stikstof ook de toediening van gemakkelijk afbreekbare organische stof via mest een belangrijke

factor is die de  $N_2O$ -emissie bepaalt. Organische stof is een energiebron voor denitrificerende bacteriën en een toename in de activiteit van deze bacteriën door de aanwezigheid van afbreekbare organische stof kan leiden tot een hogere  $N_2O$ -productie. De hoeveelheid afbreekbare organische stof in grasland is hoger dan die in bouwland en maïsland en daardoor heeft toediening van gemakkelijk afbreekbare organische stof een veel groter effect op de  $N_2O$ -emissie uit bouwland en maïsland dan uit grasland. Mogelijke maatregelen die hieruit volgen zijn het minder bemesten van bouwland en maïsland met dierlijke mest of het gebruik van dierlijke mest met een laag gehalte aan afbreekbare organische stof, bijvoorbeeld door vergisting van mest of aanpassing van het rantsoen.

Er was een grote spreiding in emissiefactoren, variërend van minder dan 0,2 procent van de toegediende N op grasland op droge zandgrond in Wageningen tot meer dan 3 procent voor najaarstoediening van dierlijke mest aan bouwland op deze zandgrond en voor bemest maïsland op kleigrond in Goutum. Grondgebruik (grasland of bouwland), grondsoort, weersomstandigheden en type meststof hebben een groot effect op de  $N_2O$ -emissie. De resultaten van ROB en ander onderzoek geven aan dat de werkelijke emissies behoorlijk kunnen afwijken van berekende emissies, indien de *default* waarden van IPCC (Mosier et al., 1998) worden gebruikt.

Op basis van het experimentele onderzoek wordt geconcludeerd dat de volgende maatregelen (in willekeurige volgorde) op het gebied van bemesting het meest perspectiefvol zijn:

- Verlaging van de N-bemesting via kunstmest en dierlijke mest;
- Verlagen van het gehalte aan afbreekbare organische stof in mest, door aanpassingen in rantsoen en mestbehandeling;
- Toediening van een ammoniummeststof in plaats van een nitraatmeststof aan grasland onder natte omstandigheden of aan de eerste snede in het vroege voorjaar;
- Verder splitsen van stikstofgiften op grasland;
- Minder gebruik van dierlijke mest op maïsland en bouwland;
- Toediening van mest via slangen en sleepvoet in het voorjaar aan zware kleigrond in plaats van mestinjectie.

Een maatregel die weinig perspectief lijkt te bieden uit oogpunt van vermindering van directe  $N_2O$ -emissie, is het telen van een wintergewas die na het toedienen van dierlijke mest in het najaar wordt gezaaid. Het gebruik van co-vergiste mest kan soms leiden tot een verhoging van  $N_2O$ -emissie ten op zichte van onbehandelde mest. Meer inzicht is nodig in de effecten van het co-vergisten van organische producten en mest op de  $N_2O$ -emissie.

De geschatte effectiviteit per maatregel op nationaal niveau varieert van minder dan 0,1 tot 1 Mton  $CO_2$ -equivalenten per jaar. De effectiviteit van de maatregelen kan samen met die van maatregelen uit andere projecten in ROB Landbouw worden gekwantificeerd met het optimaliseringsmodel MITERRA (Velthof et al., 2002). Met dit model, ontwikkeld in het kader van ROB-DSS, kan de effectiviteit van



(combinaties van) maatregelen worden doorgerekend, waarbij rekening kan worden gehouden met afwenteling naar andere broeikasgassen, nitraatuitspoeling en ammoniakemissie.

Belangrijke kennishiaten die nader om aandacht vragen zijn:

- Interactie tussen grondsoort, gewas en bemesting op  $N_2O$ -emissie;
- Effecten van veranderingen in landgebruik (bijvoorbeeld het scheuren van grasland en grasland-bouwland rotaties) op de  $N_2O$ -emissie afkomstig van bemesting;
- Relatie tussen mestsamenstelling en  $N_2O$ -emissie;
- Effecten van de samenstelling van mest en organische producten op  $N_2O$ -emissie na co-vergisting;
- Indirecte emissie van  $N_2O$  via nitraatuitspoeling en ammoniakemissie;
- Effect van splitsen van N-gift op de  $N_2O$ -emissie uit maïs- en bouwland;
- Effectiviteit van nitrificatieremmers toegediend aan mest.

Tenslotte moet worden genoemd dat de effectiviteit van een deel van de maatregelen niet met de huidige rekenmethodieken van IPCC (Mosier et al., 1998) en Nederland (Kroeze, 1994) kan worden gekwantificeerd. Indien de vermindering in  $N_2O$ -emissie door implementatie van dit type maatregelen moet worden gekwantificeerd en gerapporteerd in het kader van het Kyoto-protocol, dan moeten rekenmethodieken hierop worden aangepast. Om de acceptatie van rekenregels en emissiefactoren te vergroten, worden de resultaten van het ROB-onderzoek zoveel mogelijk in internationale wetenschappelijke tijdschriften gepubliceerd.



# 1 Inleiding en doelstelling

In het kader van Cluster 1 (Best Management Practices) van het Reductie Plan Overige Broeikasgassen (ROB Landbouw) wordt beoogd een reductie van de emissie van lachgas ( $N_2O$ ) uit verschillende bronnen te realiseren door middel van het ontwikkelen en toetsen van maatregelen. In het kader van het ROB Landbouw project 1.2 (Vermindering van de lachgasemissie door aanpassingen in strategieën en technieken van dierlijke mest en kunstmest) worden de mogelijkheden voor het verminderen van de lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden bestudeerd.

In 2000 is een systeemanalyse uitgevoerd waarin een overzicht is gegeven van de sturende factoren bij  $N_2O$ -emissie uit bemeste landbouwgronden (Velthof et al., 2000). Hierbij zijn de effecten van bemesting op  $N_2O$ -emissie gekwantificeerd, zijn potentiële maatregelen om de  $N_2O$ -emissie uit bemeste landbouwgronden te verminderen geïdentificeerd en gekwantificeerd en zijn kennishiaten gesignaleerd. Op basis van de systeemanalyse, adviezen van de begeleidingscommissie<sup>1</sup> van ROB Landbouw en mogelijkheden tot het aansluiten bij lopend onderzoek is in de periode tussen augustus 2000 en juli 2000 experimenteel onderzoek uitgevoerd. In dit rapport worden de belangrijkste resultaten van het onderzoek gepresenteerd, alsmede de eindconclusies ten aanzien van potentiële maatregelen.

In hoofdstuk 2 wordt in het kort ingegaan op de sturende factoren bij  $N_2O$ -emissie uit bemeste landbouwgronden. In hoofdstuk 3 wordt een overzicht gegeven van de in de systeemanalyse aangegeven potentiële maatregelen en kennishiaten, alsmede een overzicht van de maatregelen waarnaar in het kader van ROB aanvullend onderzoek is verricht. In hoofdstuk 4 wordt een samenvatting gegeven van de belangrijkste resultaten uit het experimentele onderzoek naar maatregelen om  $N_2O$ -emissie te beperken. De gedetailleerde proefopzet en resultaten worden in rapporten, publicaties en/of informatiebladen gepresenteerd; deze worden in een aparte bijlage opgenomen. In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op nieuwe inzichten die door het in hoofdstuk 4 beschreven aanvullende onderzoek zijn verkregen. Tevens wordt in dit hoofdstuk aangegeven of er recentelijk in de wetenschappelijke literatuur voor ROB relevante gegevens zijn gepubliceerd naar effecten van bemesting op  $N_2O$ -emissie. De integratie van de systeemanalyse en het experimentele onderzoek vindt plaats in hoofdstuk 6. In dit hoofdstuk worden de maatregelen geëvalueerd, rekening houdend met de effectiviteit, risico's op afwenteling (inclusief TEWI), kostenefficiëntie, controleerbaarheid, handhaafbaarheid en draagvlak bij boeren. Tevens worden de belangrijkste kennishiaten aangegeven waaraan in een mogelijk vervolg van ROB aandacht aan besteed zou moeten worden. In hoofdstuk 7 worden de belangrijkste conclusies en perspectievolle maatregelen gegeven.

---

<sup>1</sup> In de begeleidingscommissie van ROB-AGRO zitten vertegenwoordigers van NOVEM, ministeries betrokken in klimaatbeleid (LNV en VROM), landbouwpraktijk (oa. LTO) en onderzoek (Alterra, RIVM, Wageningen Universiteit, Universiteit van Gent)



## 2 Sturende factoren

Lachgas wordt in de bodem gevormd tijdens de microbiologische processen denitrificatie en nitrificatie.

Denitrificatie is het proces waarbij nitraat ( $\text{NO}_3$ ) onder zuurstofloze omstandigheden wordt omgezet in de gasvormige stikstofverbindingen  $\text{N}_2$  en  $\text{N}_2\text{O}$ . Organische stof wordt hierbij door de denitrificerende bacteriën als energiebron gebruikt. Hoge  $\text{N}_2\text{O}$ -emissies door denitrificatie worden gevonden tijdens natte omstandigheden in bodems met veel nitraat (zoals vlak na bemesting) en gemakkelijk afbreekbare organische stof (zoals organische stof uit gewasresten, dierlijke mest of veen).

Nitrificatie is het proces waarbij ammonium ( $\text{NH}_4$ ) onder zuurstofrijke omstandigheden wordt omgezet tot nitraat. Lachgas kan hierbij als bijproduct worden gevormd, met name indien de nitrificatie wordt geremd door zuurstofgebrek. Voor nitrificatie is geen organische stof nodig. Zowel denitrificatie als nitrificatie nemen toe bij toenemende temperatuur.

Voor de meeste landbouwgronden is denitrificatie een veel grotere bron van  $\text{N}_2\text{O}$  dan nitrificatie, zodat maatregelen vooral gericht zijn om de  $\text{N}_2\text{O}$ -emissie tijdens denitrificatie te remmen.

Uit de systeemanalyse is geconcludeerd dat de volgende handelingen en momenten belangrijk zijn voor het opstellen van maatregelen voor het beperken van de  $\text{N}_2\text{O}$ -emissie uit bemeste landbouwgronden:

- In de periode vlak na bemesting is het minerale stikstofgehalte (= ammonium + nitraat) van de bodem hoog en daardoor de kans op  $\text{N}_2\text{O}$ -vorming en -emissie groot. De lengte van deze periode varieert van enkele dagen (voor grasland bij groeizaam weer) tot enkele weken (voor bouwland met een pas ingezaaid gewas) en enkele maanden (najaarstoediening dierlijke mest).
- Inefficiënte bemestingsstrategieën en gewassen met een slechte stikstofbenutting waardoor het risico van N-verlies groot is.
- Bemesting van een natte bodem (veel regen en/of hoge grondwaterstand); met name bij bemesting met een nitraathoudende meststof.
- Bemesting van een perceel met zowel dierlijke mest als een nitraathoudende kunstmest, omdat de combinatie gemakkelijk afbreekbare organische stof en nitraat kan leiden tot optimale omstandigheden voor denitrificatie.



### 3 Overzicht maatregelen en kennishiaten

In de systeemanalyse zijn acht bemestingsmaatregelen beschreven die tot een lagere N<sub>2</sub>O-emissie kunnen leiden (Aanhangsel 4 in Velthof et al., 2000):

1. Lagere stikstofgiften (1a. Verlaging van de stikstofbemesting en 1b Verlaging van stikstofgehalte in dierlijke mesten)
2. Deling van stikstofgiften
3. Mestbehandeling, -bewerking en -opslag (inclusief stalmest)
4. Geen toediening van zowel dierlijke mest als een nitraathoudende kunstmest binnen een bepaalde tijd
5. Aanpassing van bemesting tijdens natte perioden
6. Gebruik van nitrificatieremmers
7. Nieuwe meststoffen en bemestingstechnieken
8. Wintergewassen.

De volgende kennishiaten en aandachtspunten voor vervolgonderzoek zijn in de systeemanalyse beschreven:

- Kwantificeren van de N<sub>2</sub>O-emissie uit verschillende typen kunstmesten en dierlijke mesten onder verschillende omstandigheden en bij verschillende gewassen;
- Kwantificeren van de relatie tussen stikstofgift en N<sub>2</sub>O-emissie;
- Integrale studies (inclusief TEWI-benadering) naar het gebruik van mest, waarin de effecten op lachgas- en methaan(CH<sub>4</sub>)-emissie, nitraat(NO<sub>3</sub>)-uitspoeling en ammoniak(NH<sub>3</sub>)-emissie worden bestudeerd.

In hoofdstuk 4 en aanhangsel 1 wordt een overzicht gegeven van het experimentele onderzoek dat in het kader van ROB Landbouw project 1.2 plaats heeft gevonden.





## 4 Resultaten van experimenteel onderzoek

In dit hoofdstuk wordt op basis van het in ROB Landbouw project 1.2 uitgevoerde onderzoek (Aanhangsel 1) de effectiviteit van de onderstaande maatregelen gekwantificeerd. Per maatregel worden de belangrijkste resultaten van ROB onderzoek weergegeven, alsmede een verwijzing naar rapport, notitie of publicatie, waarin meer resultaten van de betreffende proef zijn gegeven.

De volgende maatregelen worden behandeld:

- Vervangen van nitraat houdende kunstmest door ammoniummeststof op grasland
- Type en toedieningstechniek dierlijke mest
- Verandering samenstelling van varkensmest door aanpassing rantsoen
- Mestbehandeling: vergisting en co-vergisting van varkensmest
- Splitsen van giften dierlijke mest en kunstmest op grasland
- Grootte gift en combinaties van dierlijke mest en kunstmest op grasland
- Grootte gift en combinaties van dierlijke mest en kunstmest op maïsland
- Toedieningstechniek van mest op maïsland
- Teelt van wintergewassen op bouwland

Van de in de systeemanalyse weergegeven maatregelen (zie vorige hoofdstuk) is alleen aan de nitrificatieremmers geen aandacht besteed in het experimentele onderzoek. De keuze is gemaakt, omdat de kostenefficiëntie van deze maatregel waarschijnlijk laag is. Aangezien recentelijk nieuwe nitrificatieremmers beschikbaar zijn gekomen en er in de wetenschappelijke literatuur aanwijzingen zijn dat de effectiviteit groot is (Weiske et al., 2001), is het aan te bevelen om de effectiviteit van toediening van nitrificatieremmers aan mest te testen in het kader van ROB.

In de systeemanalyse is aangegeven dat integrale studies belangrijk zijn. Bij de veldmetingen die in het kader van ROB zijn uitgevoerd, is zoveel mogelijk aangesloten bij lopende onderzoek. Hierdoor zijn voor de meeste experimenten naast  $N_2O$ -emissie ook gegevens over opbrengsten, N-opname, neerslag en gehalten aan vocht en N-mineraal in de bodem bekend. Er was geen mogelijkheid om aan te sluiten bij experimenten waarin metingen naar nitraatuitspoeling en ammoniakvervluchtiging zijn uitgevoerd. In één incubatieproef (paragrafen 4.2 en 4.3) is wel een integrale benadering gevolgd en zijn emissies van  $NH_3$ ,  $CH_4$ ,  $CO_2$  en  $N_2O$  gemeten tijdens opslag en na toediening van mest aan een bodem.

In de veldexperimenten is de  $N_2O$ -emissie met fluxkamers en een fotoacoustische gasmonitor gemeten, zoals beschreven door Velthof & Oenema (1995).

## 4.1 Nitraat houdende kunstmest op grasland vervangen door ammoniummeststof

### Inleiding

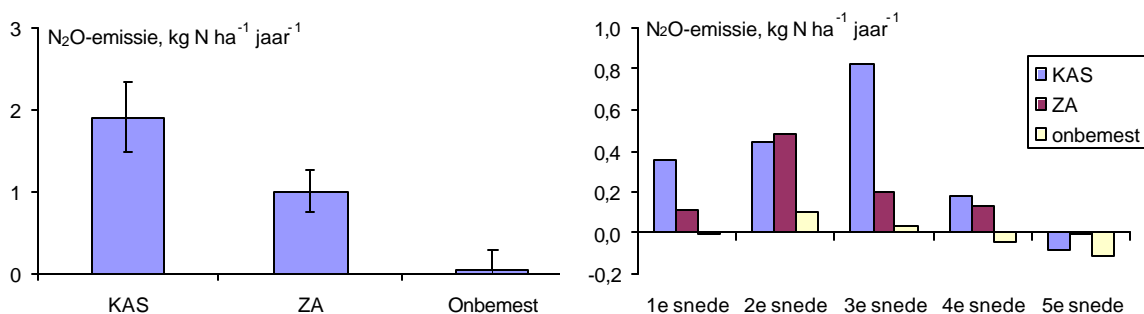
De meest gebruikte kunstmest in Nederland op grasland is de nitraathoudende meststof kalkammonsalpeter (KAS). Er zijn duidelijke aanwijzingen dat de  $N_2O$ -emissie uit grasland onder natte omstandigheden veel hoger is uit nitraathoudende meststoffen dan uit ammoniummeststoffen (Clayton et al., 1997; Smith et al., 1997; Velthof et al. (1997). Dit duidt op een hogere  $N_2O$ -vorming tijdens denitrificatie dan tijdens nitrificatie. De hypothese dat een ammoniummeststof leidt tot lagere  $N_2O$ -emissie dan de nitraatmeststof KAS is getest in een veldexperiment<sup>2</sup>.

### Werkwijze

In 2000 is een veldexperiment uitgevoerd op grasland op zandgrond in Wageningen, waarbij de  $N_2O$ -emissie uit KAS is vergeleken met die uit de ammoniummeststof zwavelzure ammoniak (ZA; ammoniumsulfaat). Er was 320 kg N per ha toegediend, opgesplitst in giften van 100, 80, 60, 40, en 40 kg N per ha. De  $N_2O$ -emissie is gedurende de periode 15 maart 2000 tot begin april 2001 op 69 tijdstippen gemeten met behulp van fluxkamers. In 2001 is de proef herhaald op dezelfde locatie en is op 43 tijdstippen in de periode 3 april 2001 tot 11 juni 2002 de  $N_2O$ -emissie bepaald.

### Resultaten

De totale  $N_2O$ -emissie was in 2000 hoger bij bemesting met KAS dan bij bemesting met ZA (Figuur 1). De  $N_2O$ -emissiefactor<sup>3</sup> voor KAS was 0,57 procent en die van ZA 0,29 procent. De emissies in 2001 waren lager, maar ook in dit jaar was de emissiefactor voor KAS (0,21 procent) hoger dan voor ZA (0,17 procent). Deze relatief lage emissiefactoren (gemiddelde emissiefactor voor KAS ligt rond 1 procent) wordt veroorzaakt doordat de zandgrond relatief droog was.



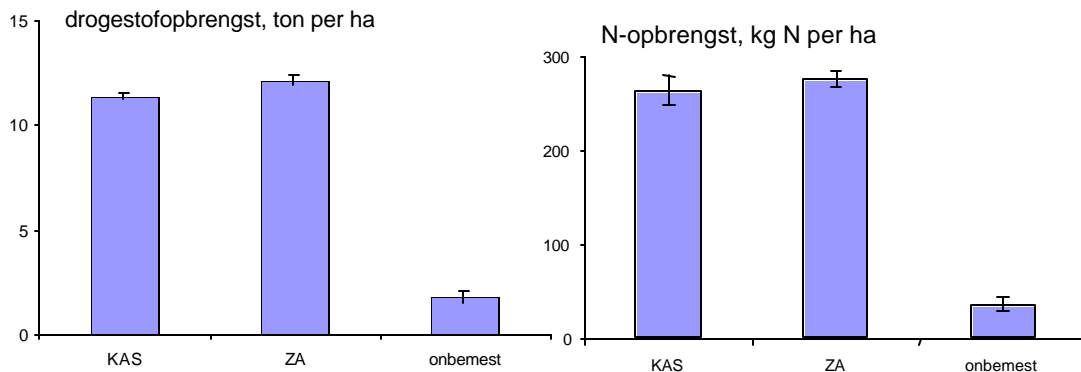
Figuur 1. Lachgasemissie bij het gebruik van KAS en ZA (resultaten 2000).

De grootste verschillen in  $N_2O$ -emissie tussen beide meststoffen traden op in 2001 tijdens de eerste en de derde snede (Figuur 1). Tijdens de eerste snede lag de emissie vanuit KAS stelselmatig hoger dan die vanuit ZA. Het verschil in de derde snede hing vooral samen met een hoge emissie vanuit KAS direct na toedienen. Deze toediening

<sup>2</sup> Dolfig et al. (2002a) Fertilization strategies in grassland to reduce the emission of nitrous oxide (aanhangel 2).

<sup>3</sup>  $N_2O$ -emissiefactor in % van toegediende N =  $[(N_2O\text{-emissie})_{\text{bemest}} - (N_2O\text{-emissie})_{\text{onbemest}}] / [N\text{-gift}] * 100$ .

vond plaats tijdens een natte periode. De drogestofopbrengst en de N-opname was in 2000 iets hoger bij ZA dan bij KAS (Figuur 2) en in 2001 was die van KAS iets hoger dan van ZA. De pH van de met ZA bemeste grond (pH = 4,54) was na één jaar lager dan de pH van met KAS bemeste grond (pH = 4,80). Dit wordt veroorzaakt doordat zowel nitrificatie als de ammoniumopname door het gras leiden tot verzuring. Bodemverzuring kan op den duur leiden tot een verstoorde kationen-anionen balans van het gras en leiden tot een mindere graskwaliteit (Van Burg et al., 1982). Het gebruik van ZA in plaats van KAS zal er dus toe leiden dat de grond vaker bekalkt moet worden.



Figuur 2. De drogestofopbrengst en N-opbrengst bij gebruik van KAS of ZA op zand (resultaten 2000).

#### Perspectieven

De resultaten van deze studie laten zien dat door te bemesten met ZA in plaats van KAS de emissie van lachgas uit grasland op zand sterk kan verminderen. In de hier beschreven veldproef was de reductie in emissiefactor 20-40 percent. Dit komt overeen met studies uit de literatuur. Deze winst ging niet ten koste van grasopbrengst. Wel was er een lichte daling van de pH bij het gebruik van ZA, wat aangeeft dat er bij ZA meer bekalkt moet worden. Het moet hierbij wel worden opgemerkt dat in de onderhavige proef in alle snedes ZA is toegediend, terwijl de maatregel geadviseerd wordt voor de eerste snede en snedes waarin het nat is. Er is geen reden om aan te nemen dat deze effecten anders zijn voor grasland op andere gronden. Velthof et al. (1997) toonden aan dat de verschillen tussen KAS en ZA veel groter zijn onder natte omstandigheden (omstandigheden met hoge denitrificatie). Of deze effecten ook voor bouwland gelden is twijfelachtig, omdat in bouwland de kunstmest wordt toegediend ruim voordat het gewas stikstof op gaat nemen. In deze tijd kan de ammonium worden genitrificeerd en daarna alsnog gedenitrificeerd.

#### Afwenteling en TEWI

Oppervlakkige toediening van een ZA aan een kalkrijke grond zal tot een hogere ammoniakemissie leiden dan toediening van KAS (Whitehead & Raistrick, 1990). Ammoniak is schadelijk, omdat het leidt tot bodemverzuring, eutrofiëring van natuurgebieden en oppervlaktewater en een bron is van indirecte N<sub>2</sub>O-emissie (Mosier et al., 1998). De ammoniakemissie kan sterk worden beperkt door toediening van de meststof onder natte omstandigheden (de omstandigheden die de meeste perspectieven bieden uit oogpunt van reductie van N<sub>2</sub>O-emissie) of het injecteren in vloeibare vorm in de bodem.

## 4.2 Type en toedieningstechniek van dierlijke mest

### *Inleiding*

De samenstelling van dierlijke mest heeft een groot effect op N<sub>2</sub>O-emissie uit bodems. De belangrijkste factoren zijn de hoeveelheid en samenstelling van de organische stof in de mest en de vorm waarin stikstof voor komt. Organische stof is een energiebron voor denitrificerende bacteriën. Bij aanvang van ROB Landbouw waren weinig experimentele resultaten beschikbaar over effecten van samenstelling dierlijke mest op N<sub>2</sub>O-emissie. Er is een incubatiestudie uitgevoerd met als doel het kwantificeren van effecten van type en samenstelling van mest op N<sub>2</sub>O-emissie<sup>4</sup>. Daarnaast is onder gecontroleerde omstandigheden het effect van toedieningstechniek onderzocht.

### *Werkwijze*

In een incubatiestudie met een zandgrond is het effect van type meststof op N<sub>2</sub>O-emissie vergeleken bij één stikstofgift (100 mg N kg<sup>-1</sup>). De objecten waren: geen bemesting, twee kunstmesten (ammoniumnitraat en zwavelzure ammoniak), drie rundmesten, drie varkensmesten en drie pluimveemesten (Tabel 1). In dezelfde incubatiestudie is ook het effect van toedieningstechniek (oppervlakkig en 4 methoden van inwerken; tabel 2) van ammonium nitraat en dunne varkensmest onderzocht. De N<sub>2</sub>O-emissie werd 30 keer gemeten in 98 dagen.

Tabel 1. Chemische samenstelling van de mesten en N<sub>2</sub>O-emissie na toediening aan de bodem.

Mest	Droge stof	totaal N	g kg <sup>-1</sup> mest			N <sub>2</sub> O emissie % van toegediende N
			NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	totaal C	
Zwavelzure ammoniak	-	-	-	-	-	4,0
Ammonium nitraat	-	-	-	-	-	2,1
Dunne rundmest: gangbaar	114	5,31	1,66	0,0	51	3,0
Dunne rundmest: biologisch	106	3,74	1,33	0,0	44	1,8
Jongveemest	106	5,93	2,55	0,0	44	1,9
Dunne varkensmest: gangbaar	19	2,46	1,47	0,0	7	7,3
Dunne varkensmest: biologisch	144	5,12	1,48	0,0	58	7,5
Zeugenmest	20	1,90	0,98	0,0	7	13,9
Leghennenmest	644	32,72	2,91	0,0	256	1,9
Vleeskuikensmest	699	51,60	3,98	0,0	255	0,5
Eendenmest	255	8,44	1,80	0,0	103	0,6

### *Resultaten*

De N<sub>2</sub>O-emissie vlak na toediening was veel hoger uit de mesten dan uit kunstmest, hetgeen waarschijnlijk wordt veroorzaakt door toediening van gemakkelijk afbreekbare organische koolstof met de mesten. De totale N<sub>2</sub>O-emissie (Tabel 1) was het hoogst voor varkensmesten, gevolgd door de kunstmesten, rundmesten en pluimveemesten. De hoge N<sub>2</sub>O-emissie uit de varkensmesten werd waarschijnlijk grotendeels veroorzaakt doordat een groot deel van de organische stof in varkensmest gemakkelijk afbreekbaar is (Kirchman, 1991; Kirchmann & Lundvall, 1993). Organische verbindingen worden door runderen vollediger dan door varkens,

<sup>4</sup> Velthof, G.L., P.J. Kuikman, & O. Oenema (2002) Nitrous oxide emission from animal manures applied to soil under controlled conditions (aanhangsel 2).

waardoor de rundermest na toediening aan de bodem minder afbreekbaar is en tot een lagere denitrificatie en N<sub>2</sub>O-emissie leidt. In pluimveemest is vaak strooisel van stallen aanwezig, waardoor deze mesten slechter afbreekbaar zijn. Het feit dat de N<sub>2</sub>O-emissies uit varkensmest hoger was dan uit kunstmest gaf aan dat bij een gelijke N-gift de koolstoftoediening een belangrijke sturende factor was.

Uit deze laboratoriumstudie bleek ook dat de N<sub>2</sub>O-emissie uit ammoniumnitraat duidelijk hoger was bij inwerken in de bodem dan bij oppervlakkige toediening (Tabel 2). Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door hogere vochtgehalten in de diepere lagen. De gangbare praktijk van oppervlakkige kunstmesttoediening lijkt dus tot lagere N<sub>2</sub>O-emissies te leiden dan het inwerken van kunstmest. Bij varkensmest was het effect van de toedieningstechniek minder duidelijk. De N<sub>2</sub>O-emissie bij rijenbemesting op 5 cm diepte was het hoogst, hetgeen aangeeft dat concentratie van de mest dieper in de bodem kan leiden tot hoger N<sub>2</sub>O-emissie. Deze techniek komt overeen met zodebemesting, een belangrijke mesttoedieningstechniek voor grasland.

*Tabel 2. N<sub>2</sub>O-emissie uit ammoniumnitraat en dunne varkensmest bij verschillende toedieningstechnieken.*

Methode van toediening	N <sub>2</sub> O emissie, % van toegediende N	
	ammonium nitraat	dunne varkensmest
Oppervlakkig	0,9	4,9
Homogeen gemengd	2,1	7,3
Geplaatst op 5 cm diepte	3,1	6,9
Geplaatst op 10 cm diepte	4,0	3,4
Rijenbemesting op 5 cm diepte	4,3	12,3

#### *Perspectieven*

Er waren grote verschillen in N<sub>2</sub>O-emissie tussen typen mest en tussen de toedieningstechnieken. Het verlagen van de hoeveelheid afbreekbare organische stof in mest, door bijvoorbeeld aanpassing in rantsoen of bewerking van mest, is een perspectiefvolle maatregel voor verminderen van de N<sub>2</sub>O-emissie (zie ook paragraaf 4.4). Grasland bevat veel gemakkelijk afbreekbare organischestof gehalten en heeft een hogere potentiële denitrificatie dan bouw- en maïsland (Velthof, 2002). Toediening van afbreekbare organische stof via mest heeft daarom waarschijnlijk een kleiner effect op denitrificatie in grasland dan in bouwland.

Een mogelijke maatregel zou kunnen zijn om dierlijke mest op grasland toe te dienen en kunstmest op bouw- en maïsland. In paragrafen 4.7 en 4.8 wordt onderzoek beschreven die hier nader op ingaat. De methode van toediening van dierlijke mest is ook een mogelijke maatregel om N<sub>2</sub>O-emissie te verminderen (zie paragraaf 4.9).

#### *Afwenteling en TEWI*

Toediening van een andere soort mest of mest van andere samenstelling zou kunnen leiden tot andere stikstofaanvoer. Een lage aanvoer van stikstof zou er toe kunnen leiden dat meer kunstmest moet worden toegediend, waardoor de N<sub>2</sub>O-emissie uit kunstmest wordt verhoogd. Daarnaast wordt is veel energie nodig voor het maken van kunstmest en wordt hierbij ook N<sub>2</sub>O gevormd. Oppervlakkige toediening van mest leidt tot een veel hoger ammoniakemissie dan het inwerken.

### 4.3 Verandering in mest Samenstelling door aanpassingen in rantsoen

#### *Inleiding*

Aanpassingen in rantsoen kunnen leiden tot grote wijzigingen in de mest samenstelling. De soort en afbreekbaarheid van de koolstof- en stikstofverbindingen hebben een groot effect op de N<sub>2</sub>O-emissie na toediening aan de bodem, alsmede op de NH<sub>3</sub>-emissie en CH<sub>4</sub>-emissie tijdens de opslag. Aanpassingen in rantsoenen kunnen daardoor leiden tot lagere broeikasgasemissies. In een reeks incubatieproeven zijn de effecten gekwantificeerd van de rantsoensamenstelling op de samenstelling van varkensmest, emissies van CH<sub>4</sub>, en NH<sub>3</sub> tijdens opslag en emissie van N<sub>2</sub>O en CO<sub>2</sub> na toediening uit de bodem<sup>5</sup>.

#### *Werkwijze*

Er werden 10 varkensmesten getest, afkomstig van een proef van ID-Lelystad. De mesten waren geproduceerd bij verschillende rantsoenen (variëaties in ruw eiwit, verzurend zout, samenstelling koolhydraten). De CH<sub>4</sub>-emissie werd op 21 tijdstippen gemeten tijdens een incubatie van 90 dagen bij 35°C onder zuurstofloze omstandigheden. De effecten van type mest op N<sub>2</sub>O-emissie en CO<sub>2</sub>-emissie werden getest op een zandgrond (enggrond) uit Wageningen en een kleigrond uit de Betuwe. De N<sub>2</sub>O- en CO<sub>2</sub>-emissies werden 16 keer gemeten in 44 dagen na mesttoediening.

#### *Resultaten*

Het verlagen van het eiwitgehalte van 165 g kg<sup>-1</sup> (standaard rantsoen) naar 125 g kg<sup>-1</sup> leidde tot een verlaging van de pH, afname van gehalten aan totaal C, totaal N, vluchtige vetzuren en van de fractie aan minerale N. Aangezien zowel de fractie minerale N als de fractie gemakkelijke afbreekbare vluchtige vetzuren (Paul & Beauchamp, 1989) afnemen, kan worden geconcludeerd dat verlaging van het eiwitgehalte in het rantsoen leidt tot een lager risico van N<sub>2</sub>O-emissie na mesttoediening aan de bodem.

Tabel 3. Effect van het ruw eiwitgehalte in rantsoen van varkens op de chemische samenstelling van de mest.

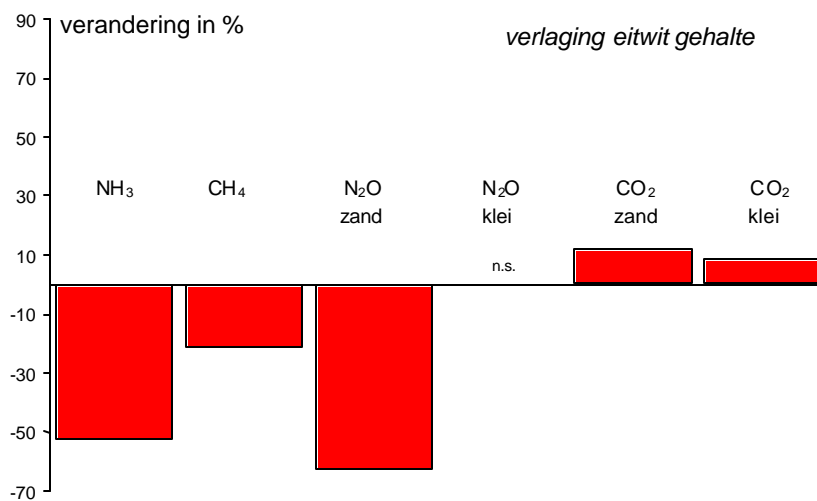
Eiwitgehalte g kg <sup>-1</sup>	pH	Totaal C g kg <sup>-1</sup>	Totaal N g kg <sup>-1</sup>	Nmineraal % van totaal N	Verhouding C/Norg	Opgelost C g C kg <sup>-1</sup>	Vluchtige vetzuren g C kg <sup>-1</sup>
125	7,86	34,2	4,4	52	16	2,8	2,58
165	8,42	36,5	6,8	61	14	2,9	3,37

De lagere eiwitgehalten in het rantsoen leidden tot een 10-60% lagere N<sub>2</sub>O-emissie uit de zandgrond (Figuur 3). Op een kleigrond was de N<sub>2</sub>O-emissie zeer laag en had de rantsoensamenstelling geen significant effect op N<sub>2</sub>O-emissie. De verschillen tussen de gronden werden mogelijk veroorzaakt door verschillen in organische stof gehalten en potentiële denitrificatie. Deze resultaten geven aan dat er een interactie bestond tussen grondsoort en samenstelling van de mest op N<sub>2</sub>O-emissie. Verlaging van het eiwitgehalte leidde ook tot een forse vermindering van de NH<sub>3</sub>-emissie (50%) en van de CH<sub>4</sub>-emissie (13-18%) tijdens opslag.

<sup>5</sup> Velthof, G.L., G.C.M. Bakker, O. Oenema, J.A. Nelemans & P.J. Kuikman (2002) Effect of dietary composition on gaseous nitrogen and carbon losses from pig slurry during storage and after soil application (aanhangsel 2).

### Perspectieven

Verlaging van de stikstofgehalten in mest kan tot een (forse) vermindering in  $N_2O$ -emissie uit de aan de bodem toegediende mest leiden, zoals de resultaten met varkensmest laten zien (Figuur 3). Verlaging van de kunstmestgiften aan grasland in kader van MINAS en minder aanvoer van krachtvoer leiden tot lagere stikstofexcreties van rundvee (Tamminga et al., 2000). Voor melkvee daalt de N-excretie van 140,9 kg N dier<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> in 2000 naar 128 kg N dier<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> in 2003. Verdere verlaging van de stikstofexcretie door melkvee is te realiseren bij een verdere verlaging van de stikstofgiften aan grasland en maïslaan. De stikstofexcretie van varkens en pluimvee kan worden verminderd door lagere eiwitgehalten in rantsoen en toediening van synthetische aminozuren. Mogelijke interacties tussen mestsamenstelling en grondsoort op  $N_2O$ -emissie moeten nader worden onderzocht, omdat de effectiviteit van de maatregel blijkbaar afhankelijk is van de grondsoort.



Figuur 3. Effect van verlaging van het ruw eiwitgehalte in het rantsoen van varkens van 165 naar 125 g kg<sup>-1</sup> op de emissies van NH<sub>3</sub> en CH<sub>4</sub> tijdens anaërobe mestopslag en de N<sub>2</sub>O- en CO<sub>2</sub>-emissie na toediening aan een zand- en kleigrond (emissie bij een eiwitgehalte van 165 g kg<sup>-1</sup> eiwit = 100%).

### Afwenteling en TEWI

Het verlagen van het stikstofgehalte in mest leidt tot minder NH<sub>3</sub>- en CH<sub>4</sub>-emissie in opslag (Tabel 3). Ook de nitraatuitspoeling kan afnemen. De verlaging van het stikstofgehalte in de mest kan er toe leiden dat de stikstofgiften lager zijn dan volgens bemestingsadviezen. Dit kan leiden tot opbrengstreducties of tot een toename in de kunstmestgift. Dit laatste zal een deel van de vermindering in broeikasgasemissies door aanpassingen in rantsoensamenstelling te niet doen.

## 4.4 Mestbehandeling: vergisting van varkensmest

### *Inleiding*

Vergisting van mest staat in de belangstelling uit oogpunt van vermindering van CH<sub>4</sub>-emissie en energiewinning. Het vergisten van mest leidt tot veranderingen in de mestsamenstelling die mogelijk kunnen leiden tot veranderingen N<sub>2</sub>O-emissie na toediening aan bodems. Het is belangrijk om inzicht te krijgen in de effecten van vergisting op N<sub>2</sub>O-emissie na toediening van de mest aan de bodem. In een incubatiestudie is het effect van vergisting van tien verschillende varkensmesten op de mestsamenstelling en de N<sub>2</sub>O-emissie na toediening aan de bodem bepaald<sup>6</sup>.

### *Werkwijze*

De N<sub>2</sub>O-emissie werd bepaald na toediening van de varkensmesten voor en na vergisting (90 dagen bij 35°C) aan een zand- en kleigrond (zie proef uit paragraaf 4.3).

### *Resultaten*

Uit tabel 4 blijkt dat vergisting leidde tot een verhoging van de pH en tot een afname in gehalten aan drogestof, totaal C, vluchtige vetzuren, opgelost organische stof, totaal N en minerale N. De fractie aan minerale N in totaal N nam toe door vergisting. De verhoging van de fractie minerale N leidt tot een hoger risico op N<sub>2</sub>O-emissie na toediening aan een bodem. De verlaging van de gehalten aan C en vluchtige vetzuren leiden tot een verlaging van het risico van N<sub>2</sub>O-emissie omdat de gemakkelijk afbreekbare koolstof een energiebron is voor denitrificerende bacteriën.

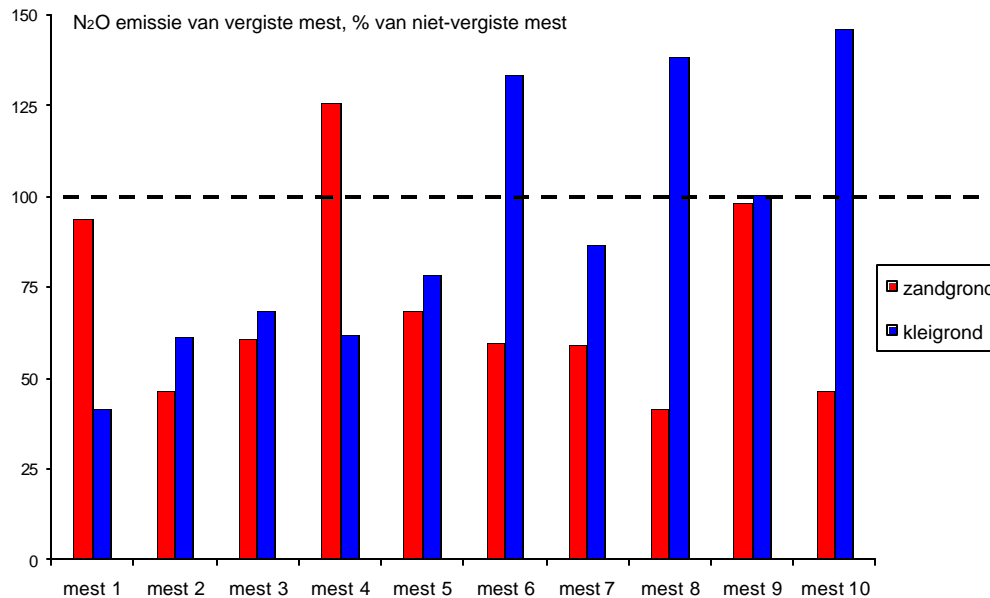
Tabel 4. Gemiddelde (n=10) samenstelling van varkensmest voor en na vergisting.

Object	pH	Dry matter g kg <sup>-1</sup>	Total C g kg <sup>-1</sup>	total N g kg <sup>-1</sup>	C/N	Minerale N g kg <sup>-1</sup>	Opgelost C g C kg <sup>-1</sup>	Vluchtige vetzuren g C kg <sup>-1</sup>	minerale N % total N
Voor vergisting	7,96	98	34	5,5	15,5	3,3	3,1	3,0	59
Na vergisting	8,20	68	24	3,7	18,1	2,4	2,4	1,6	65

De N<sub>2</sub>O-emissies uit de zandgrond waren veel hoger dan die uit de kleigrond. Dit verschil is mogelijk gerelateerd aan de verschillen in organische stof gehalten van de bodems. Bij de meeste mesten leidde vergisting tot een lagere N<sub>2</sub>O-emissie ten opzichte van de onbehandelde mest, maar er was geen eenduidig effect te zien (Figuur 4). Op de zandgrond leidde vergisting voor negen van de tien mesten tot een lagere N<sub>2</sub>O-emissie (verlaging met 2 tot 59 %) en bij één mest leidde tot een hogere N<sub>2</sub>O-emissie (met 26%). Op de kleigrond leidde vergisting bij zes mesten tot een lagere N<sub>2</sub>O-emissie (14 tot 58%), bij drie mesten tot een hogere N<sub>2</sub>O-emissie (33 tot 46%) en bij een mest was er geen effect. Opvallend is dat het effect van de mesten op N<sub>2</sub>O-emissie verschilde tussen de grondsoorten, hetgeen duidt op interacties tussen grondsoort en mestsoort op de N<sub>2</sub>O-emissie. Statistische analyse gaf aan dat verschillen tussen de mesten grotendeels werden verklaard door de toegediende hoeveelheid C.

<sup>6</sup> Velthof G.L. (2002) Vergelijking van N<sub>2</sub>O-emissie uit (co-)vergiste en niet-vergiste varkensmest na toediening aan de bodem (aanhangsel 2).





Figuur 4. Relatieve N<sub>2</sub>O-emissie na toediening van vergiste mest ten op zichte van niet-vergiste mest voor tien varkensmesten toegediend aan zand- en kleigrond. De mestgift was 100 mg N kg<sup>-1</sup> grond.

#### Perspectieven

De resultaten geven aan dat de N<sub>2</sub>O-emissie uit de vergiste mest meestal lager was dan die van onbehandelde mest. Dit was waarschijnlijk gerelateerd was aan de geringere afbreekbaarheid van de organische stof in de vergiste mest, waardoor de potentiële denitrificatie activiteit in de grond lager was (resultaten niet getoond). De hoeveelheid gemakkelijk afbreekbare organische stof in de bodem zal een belangrijke rol spelen in de uiteindelijke N<sub>2</sub>O-emissie. De hoeveelheid gemakkelijke afbreekbare organische stof is in grasland veel hoger dan in bouwland (Velthof, 2002), zodat de aanvoer van gemakkelijk afbreekbare organische stof via mest in bouwland een groter effect op N<sub>2</sub>O-emissie heeft dan in grasland. De perspectieven voor verlaging van de N<sub>2</sub>O-emissie door gebruik van vergiste mest lijken dan ook voor bouwland groter te zijn dan voor grasland.

#### Afwenteling en TEWI

Indien de bij vergisting geproduceerde CH<sub>4</sub> wordt opgevangen en gebruikt voor energiewinning dan leidt dit tot minder gebruik van fossiele energiebronnen. Wordt de CH<sub>4</sub> afgefakkeld (tot CO<sub>2</sub>) dan is de reductie in broeikasgasemissie, omdat de onbehandelde mest in de bodem tot CO<sub>2</sub> wordt afgebroken. Indien de CH<sub>4</sub> niet wordt opgevangen, dan leidt vergisting tot een forse toename van de CH<sub>4</sub>-emissie. De bij vergisting geproduceerde NH<sub>3</sub> kan worden opgevangen (bijvoorbeeld met luchtwassers) en worden hergebruikt als stikstofmeststof. Bij toediening van mest aan de bodem treedt ook NH<sub>3</sub>-emissie op. De vergiste mest heeft een hogere pH maar een lager NH<sub>4</sub>-gehalte dan niet-vergiste mest. Het is niet duidelijk of hierdoor verschillen ontstaan tussen vergiste en onbehandelde mest na toediening, maar naar verwachting zullen de verschillen gering zijn bij de in Nederland gangbare emissie-arme mesttoedieningstechnieken.

## 4.5 Mestbehandeling: co-vergisting van varkensmest

### *Inleiding*

Het co-vergisten van mengsels van mest met organische materialen (bv. GFT-compost) is een methode voor winning van biogas en energie. De aard en samenstelling van de te vergisten mest en organische materialen hebben een grote invloed op de CH<sub>4</sub>-productie en op de samenstelling van de co-vergiste mest (Kuikman et., 2000). De samenstelling van de co-vergiste mest kan tot veranderingen in de N<sub>2</sub>O-emissie leiden na toediening aan de bodem. Meer inzicht is nodig in de effecten van co-vergiste mest op N<sub>2</sub>O-emissie uit de bodem, om te voorkomen dat een deel van de positieve effecten van de biogaswinning te niet wordt gedaan door hogere N<sub>2</sub>O-emissies. Anderzijds zou bij lage N<sub>2</sub>O-emissies co-vergisting van mest en organische materialen gebruikt kunnen worden als maatregel om de N<sub>2</sub>O-emissie te beperken. In een incubatiestudie is het effect van co-vergisting van varkensmesten met verschillen materialen bepaald op de mestsamenstelling, de CH<sub>4</sub>- en NH<sub>3</sub>-emissie tijdens vergisting en de N<sub>2</sub>O-emissie na toediening aan de bodem<sup>7</sup>.

### *Werkwijze*

In de in paragrafen 4.3 en 4.4 beschreven incubatiestudies is het effect gekwantificeerd van co-vergisting van verschillende materialen met varkensmest op de chemische samenstelling, CH<sub>4</sub>- en NH<sub>3</sub>-emissies tijdens co-vergisting en N<sub>2</sub>O- en CO<sub>2</sub>-emissies na toediening aan een zand- en kleigrond. De volgende objecten werden vergeleken (bij dezelfde N-gift): i). onbehandelde ('verse') mest, ii) mest na vergisting, iii) mest na co-vergisting met hooi (35 g mest met 1 g hooi), iv) mest na co-vergisting met gemalen beendermeel (7 g mest met 1 g gemalen beendermeel) en v) mest na co-vergisting met GFT-compost (7 g mest met 1 g GFT-compost). De (co-)vergisting vond gedurende 90 dagen plaats bij 35°C.

### *Resultaten*

De samenstelling van de co-vergiste mest kan sterk verschillen ten opzichte van de onbehandelde mest of mest die alleen vergist is (Tabel 5). Dit effect wordt waarschijnlijk deels veroorzaakt door de samenstelling van het toegediende organisch product en deels door de co-vergisting. Toediening van N-en P-rijke producten als gemalen beendermeel en GFT-compost leidde tot een aanzienlijke verhoging van het N- en P-gehalte van de mest. Gemalen beendermeel leidde ook tot verhoging van het gehalte aan vluchtige vetzuren. Vluchtige vetzuren zijn gemakkelijk afbreekbaar en kunnen leiden tot verhoging van de denitrificatie activiteit in de bodem. Tabel 5 laat zien dat potentiële denitrificatie inderdaad hoger was in de met gemalen beendermeel vergiste mest dan in de andere (co-)vergiste mesten.

Co-vergisting met hooi en GFT-compost leidde tot een lagere ammoniakemissie ten opzichte van vergiste mest, co-vergisting met beendermeel leidde tot een hogere ammoniakemissie. De volgorde in pH van de mest was identiek aan die van de ammoniakemissie, hetgeen aangeeft dat de pH van de co-vergiste mest een sturende factor was bij de NH<sub>3</sub>-emissie. De CH<sub>4</sub>-emissie was bij alle co-vergiste mesten hoger

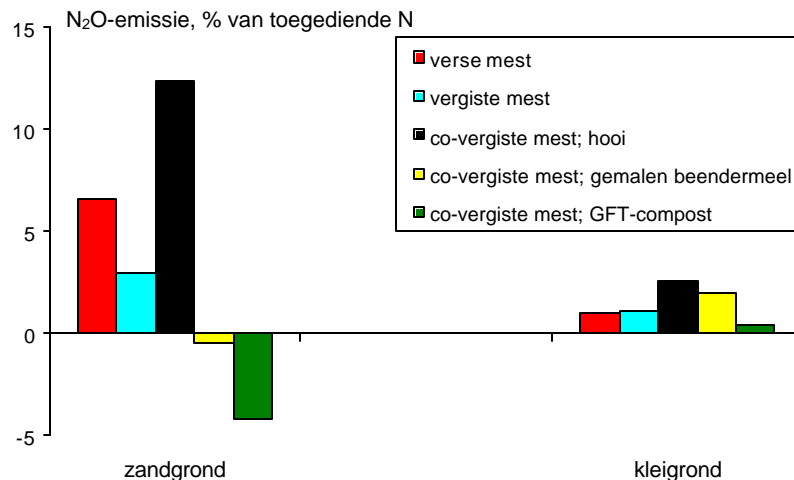
<sup>7</sup> Velthof G.L. (2002) Vergelijking van N<sub>2</sub>O-emissie uit (co-)vergiste en niet-vergiste varkensmest na toediening aan de bodem (aanhangsel 2).

dan de vergiste mest; die van co-vergisting met hooi was het hoogst. De N<sub>2</sub>O-emissie uit de zandgrond en kleigrond was het hoogst met de met hooi co-vergiste mest en het laagst met de met GFT-compost co-vergiste mest (Figuur 5). De (co-vergiste) mesten zijn toegediend op basis van totale stikstofgift, waardoor de totale gift het hoogst voor hooi en laagst voor GFT-compost was. Mogelijk dat hogere giften leiden tot een hogere N<sub>2</sub>O-emissie.

Tabel 5. Chemische samenstelling van de verse mest, vergiste mest en co-vergiste mest, potentiële denitrificatie na toediening aan de bodem en emissies van NH<sub>3</sub> en CH<sub>4</sub> tijdens (co-)vergisting.

mest	pH	C totaal g kg <sup>-1</sup>	N totaal g kg <sup>-1</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> totaal g kg <sup>-1</sup>	minerale N		VFA <sup>1</sup> g C kg <sup>-1</sup>	DNP <sup>1</sup> mg N kg <sup>-1</sup> dag <sup>-1</sup>	emissie tijdens (co)vergisting	
					g kg <sup>-1</sup>	% totaal N			NH <sub>3</sub> mg N kg <sup>-1</sup>	CH <sub>4</sub> g C kg <sup>-1</sup>
onbehandeld	7,57	51,4	5,5	5,6	2,7	49	3,60	78	-	-
vergist	8,14	40,7	4,1	5,9	1,6	38	0,05	21	1438	3,19
co-vergist; hooi	8,09	47,5	3,0	5,8	0,3	11	0,00	24	1061	6,37
co-vergist; beendermeel	8,16	88,3	15,7	13,6	8,2	52	9,62	55	2873	5,04
co-vergist; GFT-compost	8,04	259,2	25,9	29,4	13,7	53	0,09	17	929	5,86

<sup>1</sup>VFA: vluchtige vetzuren; DNP: potentiële denitrificatie



Figuur 5. Emissie van lachgas uit de zand- en kleigrond na toediening van op verschillende wijze behandelde varkensmest.

### Perspectieven

De resultaten geven duidelijk aan dat het type organische materiaal dat voor de co-vergisting gebruik wordt een groot effect kan hebben op de emissies van CH<sub>4</sub> en NH<sub>3</sub> tijdens vergisting en die van N<sub>2</sub>O na toediening aan de bodem. Naast het type materiaal zal ook de mengverhouding een grote rol spelen, maar dit is niet onderzocht. Een eenduidige conclusie over effecten van co-vergisting is op basis van dit onderzoek nog niet te trekken. De resultaten geven wel aan dat een juiste keuze van het te co-vergisten organische product kan leiden tot een gewenste hoge CH<sub>4</sub>-productie met een gering risico op N<sub>2</sub>O-emissie na toediening aan de bodem. In deze

studie was leidde co-vergisting varkenmest en GFT-compost tot relatief lage  $\text{NH}_3$ -en  $\text{N}_2\text{O}$ -emissies en was  $\text{CH}_4$ -productie een factor 1,8 hoger dan vergiste varkensmest.

#### *Afwenteling en TEWI*

De resultaten van het onderzoek geven aan dat een deel van de positieve effecten van co-vergisting ( $\text{CH}_4$ -winning) te niet gedaan kunnen worden door een hoge  $\text{N}_2\text{O}$ -emissie na bodemtoediening. In het onderzoek is niet onderzocht wat de effecten zijn van de afzonderlijke toediening van de organische materialen hooi, beendermeel en GFT-compost aan de bodem. Dit is wel noodzakelijk voor een volledige afweging van het effect van co-vergisting op  $\text{N}_2\text{O}$ -emissie. Toediening van P-rijke producten zoals gemalen beendermeel en GFT-compost, leidt tot aanzienlijke verhoging van het P-gehalte van de mest. Aangezien P ook in MINAS zit, kunnen veranderingen in P-gehalte van de mest consequenties hebben op gebruik van de co-vergiste mest.

## **4.6 Splitsen van giften van dierlijke mest en kunstmest op grasland**

### *Inleiding*

De  $\text{N}_2\text{O}$ -piek na bemesting van grasland duurt enkele dagen tot 3 weken en is gerelateerd aan weeromstandigheden en de hoeveelheid minerale N in de bodem (Velthof et al., 1997). Hoe sneller het gras de toegediende stikstof opneemt, hoe korter de periode met hoge gehalten aan minerale N en hoe kleiner het risico van  $\text{N}_2\text{O}$ -emissie. Dit leidt tot de hypothese dat het splitsen van mestgiften zal leiden tot een lagere  $\text{N}_2\text{O}$ -emissie. Deze hypothese is in 2000 getoetst in een serie veldexperimenten op grasland op zandgrond<sup>8</sup>.

### *Werkwijze*

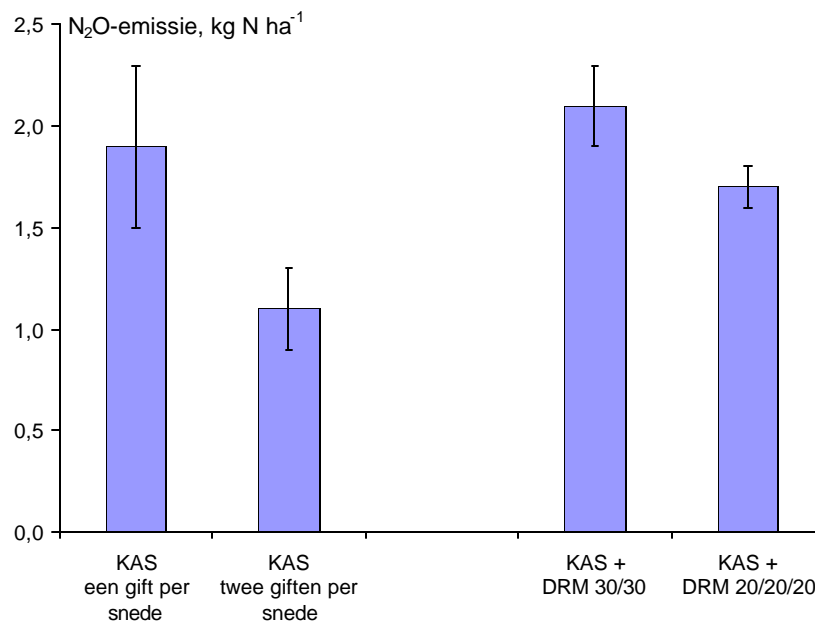
In het experiment werden een gangbare werkwijze waarin de bemesting met KAS (totaal  $320 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ ) aan begin van elke snede werd toegediend vergeleken met een strategie waarin de helft van de N-gift werd toegediend aan het begin van de snede, en de andere helft één week later. Er waren in totaal zes snedes, zodat de totale jaarlijkse gift in respectievelijk 6 en 12 delen werd gegeven. Daarnaast werd een behandeling geëvalueerd waarin naast KAS ( $250 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ ) ook dunne rundermest werd toegediend ( $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ). De dunne rundermest werd toegediend in twee giften van  $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (eerste en derde snede) of in drie giften van  $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (eerste, derde en vijfde snede).

### *Resultaten*

Figuur 6 laat zien dat het splitsen van de KAS-giften leidde tot een vermindering van de  $\text{N}_2\text{O}$ -emissie met 30 procent. De emissiefactor bij gangbare bemesting was 0,56 procent en die bij splitsen 0,31 procent van de toegediende N. Deze vermindering werd voornamelijk behaald tijdens de relatief natte eerste en derde snedes. Het splitsen van KAS-giften had geen invloed op de gras- en N-opbrengst. De N-opbrengst was  $264 \pm 16 \text{ kg N ha}^{-1}$  voor gangbare strategie en  $265 \pm 5 \text{ kg N ha}^{-1}$  voor de splitsing van KAS.

<sup>8</sup> Dolfing et al. (2002a) Fertilization strategies in grassland to reduce the emission of nitrous oxide (aanhangsel 2).

De N<sub>2</sub>O-emissie uit de behandeling met drie mestgiften van 20 m<sup>3</sup> was 20 procent lager dan die van de behandeling met twee mestgiften van 30 m<sup>3</sup> (Figuur 6). Dit werd veroorzaakt door een lagere emissie tijdens de eerste drie snedes. De N<sub>2</sub>O-emissie in de tweede snede na toediening van 80 kg N via KAS was hoger in het object waarbij in de eerste snede 30 m<sup>3</sup> mest was toegediend dan in het object waarbij in de eerste snede 20 m<sup>3</sup> mest was toegediend. Blijkbaar heeft de grootte van de mestgift in de eerste snede een effect op de N<sub>2</sub>O-emissie in de tweede snede. De mestgift van 20 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> later in het groeiseizoen tijdens de 5e snede leidde niet tot een hoge emissie. De N-opbrengsten waren vergelijkbaar, maar duidelijk hoger dan bemesting met alleen KAS (329 ± 10 kg N ha<sup>-1</sup> voor KAS + 2 keer 30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> en 321 ± 9 kg N ha<sup>-1</sup> voor KAS + 3 keer 20 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). Deze hogere N-opname bij KAS + DRM wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de hogere N-gift in deze objecten dan de objecten met alleen KAS.



Figuur 6. Effect van splitsing van N-gift met KAS (links) en splitsing van dunne rundermest gift (rechts) op de lachgasemissie uit grasland.

#### Perspectieven

De resultaten uit dit onderzoek geven aan dat het verder opsplitsen van de kunstmestgift aan grasland kan leiden tot een aanzienlijke vermindering (in dit experiment mest 30%) van de N<sub>2</sub>O-emissie bij behoud van opbrengst, met name onder natte omstandigheden. Ook het verlagen en splitsen van de mestgift kan leiden tot een lagere N<sub>2</sub>O-emissie (in deze studie met 20%). Voor bouwland en maïsland zal splitsen van de N-gift waarschijnlijk ook leiden tot een lagere N<sub>2</sub>O-emissie. Mogelijk is de vermindering in N<sub>2</sub>O-emissie voor bouwland en maïsland nog groter dan bij grasland, omdat het in bouwland en maïsland enige weken duurt na bemesting voordat het gewas stikstof opneemt. Dit is een periode met een hoog risico op N<sub>2</sub>O-emissie, zoals blijkt uit paragrafen 4.10.

### *Afwenteling en TEWI*

Het verder splitsen van de kunstmestgift op grasland betekent dat de boer vaker met de tractor en kunstmeststrooier over het land moet rijden. Dit betekent extra verbruik van brandstof, met name indien het perceel niet in de buurt van het bedrijf ligt. Het splitsen van de dierlijke mestgift kan betekenen dat de mestkelder minder snel leeg kan worden gereden en dat de emissie van  $\text{NH}_3$  en  $\text{CH}_4$  uit de mestopslag hoger is. Anderzijds is het risico van  $\text{NH}_3$ -emissie uit aan het grasland toegediende mest lager, omdat het injecteren van mest in de bodem beter verloopt naarmate er minder mest wordt toegediend.

## **4.7 Effect van grootte van giften van (combinaties van) dierlijke mest en kunstmest op grasland**

### *Inleiding*

De bemesting met stikstofmeststoffen (dierlijke mest en kunstmest) heeft een grote invloed op  $\text{N}_2\text{O}$ -emissie uit landbouwgronden. Verlagen van de hoeveelheid stikstofbemesting leidt tot minder lachgas en dit is een belangrijk maatregel om de  $\text{N}_2\text{O}$ -emissie te beperken. De IPCC-methode (Mosier et al., 1998) en de methode die Nederland gebruikt voor de kwantificering van  $\text{N}_2\text{O}$ -emissie (Kroeze, 1994) gaan uit van een  $\text{N}_2\text{O}$ -emissiefactor die uitgedrukt wordt in procenten van de toegediende N via kunstmest en dierlijke mest. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de emissiefactor onafhankelijk is van de grootte van stikstofgift. Uit experimenteel onderzoek bleek dat de  $\text{N}_2\text{O}$ -emissiefactor van kunstmest op grasland toenam bij een toenemende N-gift (Velthof et al., 1997). Dit wordt veroorzaakt doordat de nitraatconcentratie in de bodem toeneemt bij een toenemende N-gift en hoge nitraatconcentratie leidt tot een relatief hoge  $\text{N}_2\text{O}$ -productie tijdens denitrificatie (Firestone et al., 1980). Hoge giften aan dierlijke mest zullen leiden tot omstandigheden die voordelig zijn voor denitrificatie (veel organische stof en hoge zuurstofconsumptie), maar deze omstandigheden kunnen ook leiden tot een relatief sterk vorming van  $\text{N}_2$  ten op zichte van  $\text{N}_2\text{O}$  tijdens denitrificatie. De effectiviteit van het verlagen van de stikstofbemesting om de  $\text{N}_2\text{O}$ -emissie te verminderen, zal sterk toenemen indien ook de emissiefactor afneemt bij verlagen van de stikstofgift. Verder werd verwacht dat toediening van een combinatie van dierlijke mest en KAS leidt tot een hogere  $\text{N}_2\text{O}$ -emissie dan een aparte gift, omdat de organische stof uit de mest leidt tot een hogere denitrificatie van de met KAS toegediende nitraat. De effecten van de grootte van stikstofgift via KAS met en zonder dierlijke mest op de  $\text{N}_2\text{O}$ -emissiefactor zijn bepaald voor grasland, alsmede de effecten op opbrengst.

### *Werkwijze*

In 2000 en 2001 is een serie veldexperimenten uitgevoerd op grasland op zandgrond in Wageningen<sup>9</sup>. In 2000 werd een behandeling met alleen kunstmest (KAS; 320 kg N ha<sup>-1</sup>) vergeleken met een behandeling waarin naast kunstmest (KAS; 250 kg N ha<sup>-1</sup>) ook dunne rundermest (2 keer 30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; in totaal 240 kg N ha<sup>-1</sup>) werd toegediend.

---

<sup>9</sup> Dolfig et al. (2002a) Fertilization strategies in grassland to reduce the emission of nitrous oxide (aanhangel 2).

In 2001 is de N<sub>2</sub>O-emissie gemeten op percelen die bemest werden met verschillende hoeveelheden KAS (0, 125, 240 of 330 kg N ha<sup>-1</sup>). Daarnaast is de N<sub>2</sub>O-emissie bepaald van objecten waaraan dunne rundermest (30 ton per ha) plus KAS (0, 125, 180 of 240 kg N ha<sup>-1</sup>) is toegediende. De opbrengsten en stikstofopname door het gras zijn tevens bepaald.

#### Resultaten

In 2000 bedroeg de N<sub>2</sub>O-emissie uit KAS 1,9 kg N ha<sup>-1</sup> (0,59 ± 0,13 % van de toegediende N) en die van de combinatie van dierlijke mest en KAS 2,1 kg N ha<sup>-1</sup> (0,43 ± 0,04 % van de toegediende N) (Tabel 6). In 2001 leidde een combinatie van KAS en DRM niet tot een verhoging van de N<sub>2</sub>O-emissie ten zichte van alleen KAS (Tabel 7). De N<sub>2</sub>O-emissie was in 2001 lager dan in 2000, mogelijk door drogere omstandigheden. Een gecombineerde gift van KAS en DRM aan grasland leidt dus niet noodzakelijkerwijs tot een hogere N<sub>2</sub>O-emissie dan aparte giften via DRM en KAS.

Tabel 6. Cumulatieve N<sub>2</sub>O-emissie vanuit grasland op zand bij verschillende typen bemesting in 2000.

Object	N <sub>2</sub> O-emissie kg N ha <sup>-1</sup>	Emissiefactor % van toegediende N	emissiefactor g N <sub>2</sub> O-N kg <sup>-1</sup> opgenomen N
KAS	1,9 ± 0,4	0,59 ± 0,13	7,2
KAS + DM	2,1 ± 0,2	0,43 ± 0,04	6,4
Onbemest	0,1 ± 0,2	-	1,8

De N<sub>2</sub>O-emissie en de stikstofopname door het gras namen toe bij een toenemende stikstofgift (Tabel 8). Doordat de toename in N<sub>2</sub>O-emissie groter was dan die van de stikstofopname, nam ook de N<sub>2</sub>O-emissie per kg opgenomen N ook toe. De N<sub>2</sub>O-emissiefactor was laag (<0,3% van de toegediende N via KAS en DRM) en iets lager dan in 2000. Er was een tendens dat de emissiefactor iets toenam bij een toenemende stikstofgift bij, maar door de relatief grote spreiding binnen de herhalingen is het niet mogelijk om definitieve uitspraken te doen over het al of niet constant zijn van de emissiefactor.

Bij een gelijk N-opbrengst van 196 kg N per ha, resulteerde een bemesting met alleen DRM tot 0,54 kg N<sub>2</sub>O-N per ha (0,13 procent van de toegediende N) en KAS tot ongeveer 0,32 kg N<sub>2</sub>O-N per ha (0,18 procent van de toegediende N). Hierbij zijn de KAS-gegevens tussen een gift van 125 en 240 kg N per ha lineair geïnterpoleerd. Dit betekent dat N<sub>2</sub>O-emissiefactor bij gelijke N-opbrengst 20-30 procent hoger is bij bemesting met alleen KAS dan bij bemesting met alleen DRM. In onderzoek op grasland van Velthof et al. (1997) onder zeer natte omstandigheden was de emissie uit KAS vele malen (een factor 50-80) hoger dan die uit DRM. Het combineren van KAS en mest leidde niet duidelijk tot een hogere N<sub>2</sub>O-emissiefactor dan KAS alleen. Het onderzoek liet grote verschillen zien in opbrengst (Tabel 7). De effecten van N<sub>2</sub>O-maatregelen op de opbrengst worden in de meeste N<sub>2</sub>O-studies niet meegenomen. Hier moet meer aandacht aan worden besteed.

Tabel 7. Gemiddelde N<sub>2</sub>O-emissie uit grasland en grasopbrengst op zandgrond bij verschillende giften combinaties van KAS en dunne rundermest (DRM).

N-gift, kg N ha <sup>-1</sup>		grasopbrengst	N <sub>2</sub> O-emissie		
KAS	DRM	kg N ha <sup>-1</sup>	kg N ha <sup>-1</sup>	% van N-gift	g N kg <sup>-1</sup> opgenomen N
0	0	65	0,04	-	0,67
125	0	175	0,20	0,12	1,13
240	0	263	0,71	0,28	2,69
330	0	314	0,69	0,20	2,19
0	375	196	0,54	0,13	2,74
125	375	295	1,04	0,20	3,53
180	375	325	1,14	0,20	3,50
240	375	367	1,57	0,25	4,27

### Perspectieven

De resultaten van het onderhavige onderzoek en het onderzoek van Velthof et al. (1997) duiden op een hogere N<sub>2</sub>O-emissie uit grasland bij bemesting met KAS dan bij bemesting met DRM. De verschillen tussen KAS en DRM zijn veel kleiner in relatief droge gronden (onderhavige studie) dan in natte gronden (studie van Velthof et al., 1997), hetgeen duidt op denitrificatie van het met KAS toegediende nitraat. De combinatie DRM en KAS leidde niet tot een duidelijke verhoging van N<sub>2</sub>O-emissie. Vervanging van KAS door DRM bij bemesting van grasland kan tot een lagere N<sub>2</sub>O-emissie leiden. De grootte van de reductie is sterk afhankelijk van de omstandigheden en zal waarschijnlijk groter zijn in natte percelen (perioden) dan in droge percelen (perioden). Het verlagen van de N-gift leidt tot een lagere N<sub>2</sub>O-emissie in kg N per ha, maar uit het onderhavige onderzoek had de N-gift geen duidelijk effect op de N<sub>2</sub>O-emissiefactor.

### TEWI en afwenteling

Melkveehouderijen zullen dunne rundermest op het eigen bedrijf gebruiken en daarnaast kunstmest kopen. De boeren bepaalt de verdeling van mest en kunstmest over grasland en maïsland. De giften aan mest en kunstmest op grasland hebben een invloed op de giften aan mest en kunstmest op maïsland. In hoofdstuk 4.8 wordt ingegaan wat de effecten zijn van toediening van mest en kunstmest op de N<sub>2</sub>O-emissie uit maïsland. Toediening van dierlijke mest kan leiden tot nitraatuitspoeling en NH<sub>3</sub>-emissie. De NH<sub>3</sub>-emissie uit grasland en bouwland zijn vergelijkbaar (Huijsmans et al., 1997 en 1998), zodat uit oogpunt van NH<sub>3</sub> het niet uit maakt of de mest aan grasland of aan maïsland wordt toegediend. Het risico van nitraatuitspoeling is groter bij toediening aan maïsland dan aan grasland, omdat een deel van de organische stikstof uit dierlijke mest in de nazomer en herfst mineraliseert. De stikstofopname door maïs is dan gering.



## 4.8 Effect van grootte van giften van (combinaties van) dierlijke mest en kunstmest op maïsland

### *Inleiding*

Door MINAS zullen boeren steeds efficiënter met stikstof omgaan en scherper bemesten. Voor melkveehouderijen zal de beschikbare mest over grasland en maïsland worden verdeeld, aangevuld met kunstmest (KAS; de meest gebruikte meststof). De boer kan de keuze van het type meststof voor maïsland en grasland sturen. Mogelijke verschillen in N<sub>2</sub>O-emissie tussen kunstmest en dierlijke mest op grasland en maïsland zouden bij deze keuze kunnen worden meegenomen. De hypothese was dat de N<sub>2</sub>O-emissie uit dierlijke mest toegediend aan maïsland groter is dan die van kunstmest, omdat met dierlijke mest zowel gemakkelijk afbreekbare organische stof als stikstof wordt toegediend. Deze hypothese is getoetst in een zand- en een kleigrond. Tevens is in deze proef het effect van de grootte van de gift op emissiefactor en het effect van combinatie van KAS en dierlijke mest bepaald, analoog aan de in de vorige paragraaf beschreven proef op grasland. Er zijn twee veldproeven uitgevoerd (één op zand en één op klei) naar de effecten van bemesting met KAS en dunne rundermest (DRM) op N<sub>2</sub>O-emissie<sup>10</sup>.

### *Werkwijze*

Op twee locaties (zandgrond op Droevendaal in Wageningen en kleigrond op Nij Bosma Zathe in Goutum) is een identieke proef uitgevoerd, waarbij verschillende combinaties en hoeveelheden van DRM en KAS zijn toegediend. Op beide locaties is de N<sub>2</sub>O-emissie met behulp van de flux kamer methode één keer per week tot één keer per twee weken gemeten in de periode mei tot en met oktober 2001.

### *Resultaten*

De N<sub>2</sub>O-emissie uit de toegediende dierlijke mest was op de zandgrond (emissiefactor 0,31 – 0,69%) veel hoger dan die uit KAS (emissiefactor < 0,1%), hetgeen overeenkomt met de hypothese (Tabel 8). Blijkbaar leidde de toediening van gemakkelijk afbreekbare organische stof via de mest tot een sterke verhoging van de N<sub>2</sub>O-emissie uit de zandgrond. Op de kleigrond was de spreiding groot en was het effect van het type meststof veel minder duidelijk. De N<sub>2</sub>O-emissie uit de onbemeste kleigrond was veel hoger dan die uit onbemeste zandgrond en maakte een aanzienlijk deel uit van de totale N<sub>2</sub>O-emissie op de kleigrond. Opmerkelijk was dat de combinatie mest en KAS tot een lagere N<sub>2</sub>O-emissie leidde dan gebruik van alleen dierlijke mest op de zandgrond, maar door de grote spreiding was dit effect niet significant. Er was geen duidelijke relatie tussen N-gift en de emissiefactor. De drogestofopbrengsten op de zandgrond varieerden van 12,5 tot 17,9 ton per ha en die op de kleigrond van 12,7 tot 15,1 ton per ha. De N<sub>2</sub>O-emissie van de zandgrond trad alleen op tijdens de eerste 30 dagen. Ook de hoeveelheid minerale N nam sterk af in deze periode, waarschijnlijk door een combinatie van N-opname door het gewas en N-uitspoeling. In de kleigrond nam de N<sub>2</sub>O-emissie weer toe in een natte periode

<sup>10</sup> Groenigen, van J.W., G.J. Kasper, G.L.Velthof, A. van den Pol – van Dasselaar & P.J. Kuikman (2002) Nitrous Oxide Emissions from Silage Corn Fields Under Different N Fertilization Regimes. (Aanhangsel 2).

na 120 dagen; blijkbaar was in de kleigrond wel minerale N aanwezig later in het seizoen (maar deze was niet gemeten). De lagere N<sub>2</sub>O-emissies uit de zandgrond dan uit de kleigrond werden waarschijnlijk veroorzaakt door een combinatie van lagere gehalten aan organische stof, grotere verliezen door uitspoeling tijdens het groeiseizoen en drogere omstandigheden.

Tabel 8. Gemiddelde N<sub>2</sub>O-emissie (gemiddelde ± standaardafwijking) uit maïsland op zand- en kleigrond bij verschillende giften combinaties van KAS en dunne rundermest (DRM).

Zandgrond				Kleigrond			
N-gift, kg ha <sup>-1</sup>		N <sub>2</sub> O emissie		N-gift, kg ha <sup>-1</sup>		N <sub>2</sub> O emissie	
KAS	DRM	kg N ha <sup>-1</sup>	% van N-gift	KAS	DRM	kg N ha <sup>-1</sup>	% van N-gift
0	0	0,15 ± 0,04	-	0	0	1,54 ± 0,34	-
75	0	0,13 ± 0,03	-0,02 ± 0,05	75	0	3,12 ± 1,23	2,10 ± 1,65
113	0	0,26 ± 0,07	0,10 ± 0,07	113	0	2,05 ± 0,41	0,45 ± 0,36
150	0	0,21 ± 0,02	0,04 ± 0,02	150	0	3,65 ± 1,48	1,40 ± 0,99
188	0	0,31 ± 0,12	0,08 ± 0,06	188	0	2,74 ± 0,32	0,64 ± 0,17
0	104	0,48 ± 0,06	0,31 ± 0,05	0	98	2,51 ± 0,26	0,99 ± 0,25
0	156	1,30 ± 0,38	0,73 ± 0,24	0	147	3,01 ± 0,16	1,00 ± 0,10
0	209	1,71 ± 0,57	0,75 ± 0,27	0	196	3,36 ± 1,02	0,93 ± 0,49
0	261	1,94 ± 0,49	0,69 ± 0,19	0	245	6,83 ± 1,80	2,16 ± 0,69
38	156	0,70 ± 0,06	0,29 ± 0,03	38	147	3,50 ± 0,59	1,06 ± 0,31
75	104	0,53 ± 0,03	0,21 ± 0,02	75	98	3,29 ± 1,26	1,01 ± 0,70
113	52	0,60 ± 0,11	0,27 ± 0,07	113	49	6,65 ± 2,42	3,15 ± 1,47

#### Perspectieven

De resultaten van de zandgrond geven aan dat gebruik van kunstmest in plaats van dierlijke mest op maïsland tot een forse vermindering van N<sub>2</sub>O-emissie kan leiden. Op de kleigrond waren de effecten minder duidelijk, maar het tegenovergestelde effect (kunstmest hoger dan dierlijk mest) was ook niet zichtbaar. Uit paragraaf 4.7 bleek dat op grasland de N<sub>2</sub>O-emissie uit kunstmest KAS iets hoger was dan die uit dierlijke mest. Dus het toedienen van kunstmest aan maïsland en dierlijke mest aan grasland lijkt een perspectievolle maatregel om de N<sub>2</sub>O-emissie uit de melkveehouderij te beperken. De perspectieven voor vermindering van N<sub>2</sub>O-emissie uit maïsland door gebruik van kunstmest in plaats van dierlijke mest zijn groot, omdat de melkveehouder de meststofkeuze van maïsland en grasland kan sturen. Ook bij bemesting van akkerbouwgewassen wordt verwacht dat kunstmest tot een lagere N<sub>2</sub>O-emissie leidt dan dierlijke mest, maar dit is niet getest in kader van ROB.

#### Afwenteling en TEWI

Melkveehouderijen bestaan zowel uit grasland en maïsland, waarop de op het bedrijf geproduceerde mest moet worden toegediend, aangevuld met kunstmest. Indien maïsland uit oogpunt van beperking N<sub>2</sub>O-emissie wordt bemest met kunstmest, zal de mest aan het grasland worden toegediend. Zoals uit vorige hoofdstuk is gebleken, zal dit niet tot een toename en waarschijnlijk zelfs tot een afname in de N<sub>2</sub>O-emissie leiden. Naast een bron van stikstof is dierlijke mest ook een belangrijke bron van fosfaat en kalium op melkveehouderijen. Het gebruik van alleen dierlijke mest op grasland kan er toe leiden dat fosfaat en kalium via kunstmest aan maïsland moet worden toegediend; dit kan ongewenst zijn (bv. indien kunstmestfosfaat in MINAS wordt opgenomen).

## 4.9 Toedieningstechniek van mest op maïsland

### *Inleiding*

Op kleigrond wordt ter beperking van structuurschade in het algemeen dierlijke mest in het najaar toegediend. Dit leidt tot aanzienlijke stikstofverliezen als gevolg van uitspoeling in de winter, die ongewenst zijn. Onderzoek van het AB-DLO in verleden heeft uitgewezen dat voorjaarstoediening weliswaar leidt tot enige verbetering in vergelijking met najaarstoediening, maar dat de benutting nog steeds tegenvalt als gevolg van insporing. Wellicht dat verbetering van de toedieningstechniek, met name wat betreft insporing, de lage N-benutting uit mest kan verbeteren. Een geschikte toedieningstechniek voor dierlijke mest in het voorjaar op zware kleigrond bij snijmaïs kan mineralenverliezen sterk verlagen. Verwacht wordt dat de toedieningstechniek van mest ook een effect heeft op de N<sub>2</sub>O-emissie, omdat het een effect heeft op de zuurstofhuishouding (compactie) en stikstofhuishouding (diepte, lokale concentratie van stikstof). In een proef op zware klei is effect van verschillende mesttoedieningstechnieken op de N<sub>2</sub>O-emissie uit maïsland bepaald<sup>11</sup>.

### *Werkwijze*

De proef werd uitgevoerd op een perceel zware klei op proefbedrijf 'Nij Bosma Zathe' in 2001. In deze proef werden effecten van de volgende toedieningstechnieken op de N<sub>2</sub>O-emissie gekwantificeerd:

- i) Tractor + tank+ bouwlandinjecteur,
- ii) Slangenaanvoer met sleepvoet,
- iii) Zelfrijder (in hondegang) met bouwlandinjecteur,
- iv) Kunstmest met breedwerpig proefveldkunstmeststrooier en
- v) Controle (geen stikstofbemesting)

De mest (4,1 g N per kg mest, waarvan 2,2 kg NH<sub>4</sub>-N en 1,9 kg N als organische N) werd in mei toegediend. Na mesttoediening werd bij de betreffende behandelingen de mest direct ingewerkt met een cultivator, schijveneg of rotorkoepel. Bij alle objecten, behalve de referentie, werd bij het zaaien 20 kg N en 20 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> als rijenbemesting gegeven. De hoeveelheid kunstmest was gelijkwaardig aan de hoeveelheid werkzame stikstof in 30 m<sup>3</sup> dunne rundermest. De N<sub>2</sub>O-emissie werd 19 keer gemeten in 162 dagen in de periode mei tot oktober 2001.

### *Resultaten*

De N<sub>2</sub>O-emissie was het hoogst in de eerste drie weken na toediening met een maximumpiek van bijna 400 g N<sub>2</sub>O-N ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>. De pieken van de beide injectiebehandelingen (i en iii) traden ongeveer één à twee weken na toediening op, dit was één à twee weken eerder dan de emissiepieken van de drie overige toedieningstechnieken (Figuur 7). Vanaf de eerste drie weken na toediening nam de emissie van de verschillende behandelingen af tot ongeveer 10 g N<sub>2</sub>O-N ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> omstreeks half juli om daarna weer enigszins toe te nemen. Zeer opvallend is dat de emissie van de controle vanaf half juli een hoger niveau bereikte dan de overige behandelingen (Tabel 9).

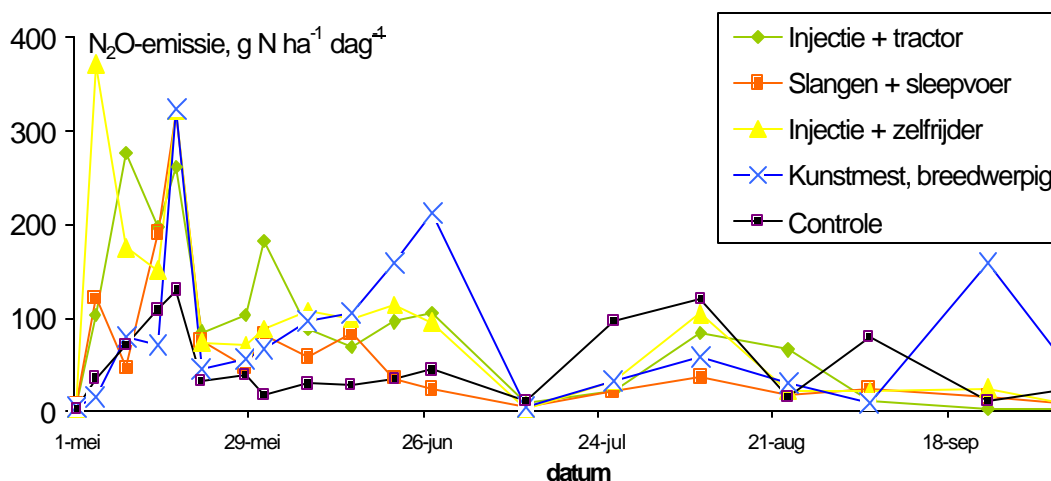
---

<sup>11</sup> Kasper et al. (2002) Emissie van lachgas bij verschillende toedieningstechnieken van dierlijke mest in akkerland (aanhangsel 2).

Tabel 9. Cumulatieve N<sub>2</sub>O-emissie op 5 tijdstippen, N<sub>2</sub>O-emissiefactor over de gehele meetperiode, drogestofopbrengsten en de N<sub>2</sub>O-emissie per kg drogestof.

Methode van toediening	cumulatieve N <sub>2</sub> O-emissie, kg N ha <sup>-1</sup>					N <sub>2</sub> O-emissie, % van N-gift	ds-opbrengst, ton ha <sup>-1</sup>	N-opname gewas, kg N ha <sup>-1</sup>	N <sub>2</sub> O-emissie g N kg <sup>-1</sup> ds
	31 mei	27 juni	26 juli	23 aug	9 okt				
	Injectie + tractor	3,6	5,3	5,6	6,9				
Injectie + zelfrijder	3,5	5,5	5,8	6,9	7,4	1,74	14,9	168	0,50
Slangen + sleepvoet	2,5	3,4	3,6	4,1	4,6	-0,57	15,2	175	0,30
Kunstmest, breedwerpig	1,9	4,8	5,7	5,9	7,9	3,85	16,4	190	0,48
Controle	1,2	1,9	2,9	4,1	5,3	-	-	-	-

Uit tabel 9 blijkt dat bij dunne rundermest ongeveer de helft van de totale emissie in het groeiseizoen in de eerste maand na mesttoediening vrijkomt. Bij kunstmest is dit nog maar een kwart. De totale N<sub>2</sub>O-emissie van de controle bedroeg 5,3 kg N ha<sup>-1</sup> en was hoger dan de behandeling met slangen en sleepvoet. Een verklaring hiervoor is moeilijk te geven, maar duidt mogelijk op een sterke N-mineralisatie in de bodem gedurende de zomer. De N<sub>2</sub>O-emissie was hoger bij KAS dan bij mest (Tabel 9), maar ook de drogestofopbrengst en N-opname waren hoger bij KAS dan bij mest. Dit opbrengstverschil geeft aan dat een zuiver vergelijk van de N<sub>2</sub>O-emissie uit KAS en mest niet mogelijk is in deze studie.



Figuur 7. Verloop van N<sub>2</sub>O-emissie in maïsland bij verschillende toedieningstechnieken.

#### Perspectieven

Bij de toedieningstechnieken van mest in het voorjaar op zware klei bij maïsland blijkt het systeem slangen + sleepvoet de laagste emissie te geven: 64% van de emissie bij de injectiemethoden. De emissie bij kunstmesttoediening is 150% van die bij de injectiemethoden. Door de geringe verschillen in drogestofopbrengst ten opzichte van de andere mesttoedieningstechnieken heeft het slangen + sleepvoet-systeem ook per ton droge stof de laagste N<sub>2</sub>O-emissie. In de praktijk zal dit systeem op zware kleigrond goed kunnen aanslaan, omdat de bodem in vergelijking met de injectiemethoden en het kunstmest strooien minder wordt verdicht.

### *Afwenteling en TEWI*

Dunne mest toedienen in het voorjaar op zware klei geeft met het slangen + sleepvoetsysteem de laagste N<sub>2</sub>O-emissie. Omdat bij dit systeem de mest op de bodem blijft liggen of zeer oppervlakkig wordt ondergewerkt, zal het contact van de mest met de lucht groter zijn, waardoor het vervluchtigingspercentage hoger wordt. De ammoniakemissie bij sleepslang op grasland bedraagt ongeveer 25 procent en bij injectie technieken minder dan 10 procent van de toegediende N (Huijsmans et al., 1997 en 1998). Dit betekent dat een groter deel van de toegediende stikstof in de vorm van NH<sub>3</sub> vervluchtigt. Het systeem slangen + sleepvoet vereist vergeleken met andere mesttoedieningstechnieken minder trekkracht en daardoor minder brandstof. Bovendien is voor het land klaar maken minder energie nodig door de geringe insporing bij mesttoediening. Een bijkomend positief effect is dat een geringere insporing kan leiden tot een betere stikstofbenutting. Tenslotte geeft toediening in het voorjaar in vergelijking met het najaar een betere benutting, omdat de nitraatuitspoeling afneemt.

## **4.10 Telen van wintergewassen bij najaarstoediening van dierlijke mest**

### *Inleiding*

Stikstof in dierlijke mest die in het najaar wordt toegediend aan bouwland, wordt niet opgenomen door de plant, maar is wel beschikbaar voor micro-organismen, en dus een potentiële bron van N<sub>2</sub>O. Een mogelijke maatregel om de emissie van N<sub>2</sub>O vanuit de landbouw te beperken is dan ook het niet meer toedienen van mest in het najaar of het telen van een wintergewas. Een wintergewas neemt stikstof op en vermindert hierdoor het risico van verliezen, inclusief N<sub>2</sub>O-emissie. Er zijn twee proeven (op zand- en kleigrond) uitgevoerd om de effecten van telen wintergewassen bij najaarstoediening van mest te kwantificeren<sup>12</sup>.

### *Werkwijze*

Op bouwland op een zandgrond (Droevendaal in Wageningen) is na het verbouwen van gerst op 28 augustus 2000 dunne rundermest (30 ton ha<sup>-1</sup> met een N-gehalte van 3,3 g kg<sup>-1</sup>) uitgereden met een mestinjecteur. Er zijn twee varianten geëvalueerd, één waarbij gele mosterd werd ingezaaid als wintergewas, en één waarbij het land braak bleef. Daarnaast is ook een variant meegenomen waarbij niet bemest werd. De N<sub>2</sub>O-emissie werd gemeten op 30 tijdstippen gedurende 225 dagen.

Op bouwland op klei (Lovinkhoeve) is na het verbouwen van wintertarwe op 15 september 2000 biologische varkensdrijfmest (20 ton ha<sup>-1</sup>) uitgereden met een bouwlandinjecteur. Er zijn twee varianten geëvalueerd, één waarbij gele mosterd werd ingezaaid als wintergewas, en één waarbij het land braak bleef. Het experiment werd uitgevoerd op drie percelen, die op verschillende dieptes geploegd werden: minimaal (7 cm), ecoploeg (12 cm), en conventioneel (25 cm). De N<sub>2</sub>O-emissie werd

---

<sup>12</sup> Dolfin et al. (2002b) Opties voor vermindering van lachgasemissie bij de verwerking en bewerking van gewasresten (aanhangel 2).

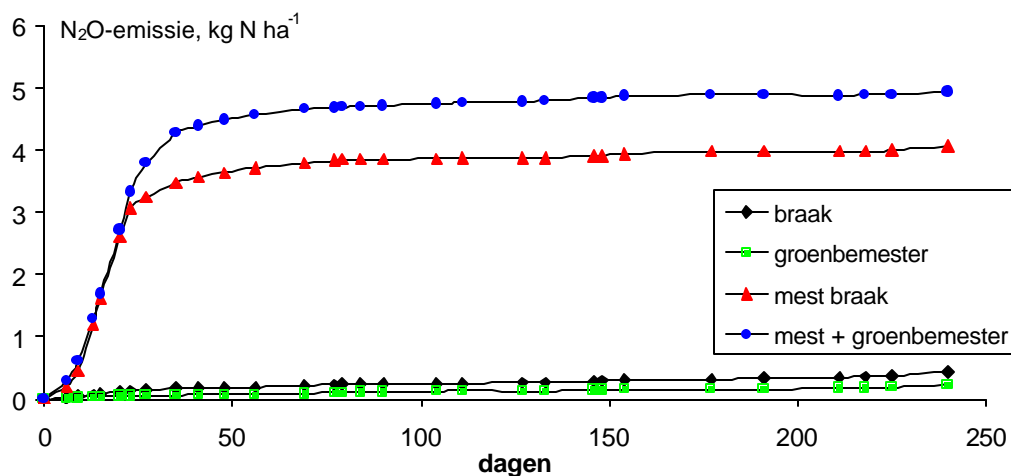
gemeten op 30 tijdstippen gedurende 225 dagen met fluxkamers en een foto-acoustische gasmonitor.

### Resultaten

Het toedienen van dierlijke mest (30 ton ha<sup>-1</sup>) in het najaar aan braakliggend bouwland op zand leidde tot een N<sub>2</sub>O-emissie van 4 kg N ha<sup>-1</sup> (Figuur 8). Het telen van mosterd als wintergewas verhoogde deze emissie tot 5 kg N ha<sup>-1</sup>; in niet-bemeste percelen was de emissie 0,4 kg N ha<sup>-1</sup>. De netto-emissie van 3,6 kg N ha<sup>-1</sup> tengevolge van het toedienen van dierlijke mest komt neer op een emissiefactor van 3,6 procent van de toegediende N.

Op klei was de emissie van N<sub>2</sub>O na najaarstoediening van dierlijke mest aanzienlijk lager dan op zand. Net als in het experiment op zandgrond kwam de N<sub>2</sub>O uit kleigrond grotendeels vrij in de eerste drie weken na toediening van de mest. Na 70 dagen bedroeg de cumulatieve emissie op de braakliggende percelen 0,1 tot 0,5 kg N ha<sup>-1</sup>. Het telen van gele mosterd had nauwelijks invloed op deze emissie (effect was minder dan 0,1 kg N ha<sup>-1</sup>).

Toediening van 12 ton ha<sup>-1</sup> dunne varkensmest (N gehalte 10 g kg<sup>-1</sup>) in februari leidde niet tot een verhoging van de N<sub>2</sub>O-emissie. In combinatie met het onderploegen van gele mosterd (eveneens in februari) leidde deze mestgift tot een geringe lachgasemissie van ongeveer 0,1 kg N ha<sup>-1</sup>.



Figuur 8. Emissie van N<sub>2</sub>O bij toediening van dierlijke mest op bouwland in het najaar.

### Perspectieven

Het niet meer toedienen van mest in het najaar op bouwland op zand kan leiden tot een aanzienlijke reductie van de emissie van N<sub>2</sub>O. Op de kleigrond van de Lovinkhoeve klei lijkt de vermindering in lachgasemissie door het niet meer met dierlijke mest bemesten verwaarloosbaar, maar er zijn geen redenen om aan te nemen dat dit voor alle kleigronden geldt.

Het telen van een wintergewas leidde niet tot de verwachte vermindering van de N<sub>2</sub>O-emissie op de zandgrond. Er was zelfs eerder sprake te zijn van een verhoogde N<sub>2</sub>O-emissie. De verklaring hiervoor is dat het wintergewas in dit onderzoek vlak na bemesting was gezaaid en dat het enige weken duurt voordat er een aanzienlijke

stikstofopname door het wintergewas optreedt. De piek van  $N_2O$  treedt direct op na toediening van de mest (hoge minerale N gehalten en organische C gehalten in de bodem). Het inzaaien van een wintergewas na najaarstoediening van mest lijkt op basis van deze proeven geen effectieve methode om  $N_2O$ -emissie te beperken. Bij maïsland kan gras bij het begin van het seizoen tussen de maïsrijen worden ingezaaid, zodat er direct na de oogst al een gewas aanwezig is dat stikstof kan opnemen. Dit zou mogelijk wel kunnen leiden tot een vermindering in  $N_2O$ -emissie.

#### *Afwenteling en TEWI*

Het opslaan van dierlijke mest leidt tot emissie van  $CH_4$  en  $NH_3$ . Het uitstellen van bemesting met dierlijke mest naar het voorjaar leidt tot een toename van het risico van  $CH_4$ - en  $NH_3$ -emissie. Ook bij mesttoediening in het voorjaar zal  $N_2O$ -emissie optreden. Het toedienen van dierlijke mest in het najaar leidt ook tot een aanzienlijk verhoging van de kans op nitraatuitspoeling en de hiermee gepaarde indirecte  $N_2O$ -emissie. De kans op de directe  $N_2O$ -emissie en nitraatuitspoeling is geringer bij voorjaarstoediening van mest dan bij najaarstoediening, omdat de braakperiode en het neerslagoverschot bij voorjaarstoediening kleiner zijn.





## 5 Nieuwe inzichten

In het vorige hoofdstuk is specifiek ingegaan op de effectiviteit van de voorgestelde maatregelen op basis van het uitgevoerde experimentele onderzoek. Dit onderzoek heeft echter ook op andere aspecten nieuwe inzichten gegeven ten opzichte van het startpunt van ROB, de systeemanalyse; deze worden hieronder weergegeven:

- Uit verschillende proeven blijkt dat toediening van dierlijke mest aan bouwland en maïsland kan leiden tot relatief hoge  $N_2O$ -emissies, zowel bij toediening in het najaar als in het voorjaar. Niet alleen de toediening van stikstof maar ook de toediening van gemakkelijk afbreekbare organische stof via mest is een belangrijke factor die de omvang van de  $N_2O$ -emissie bepaalt. Onderzoek van Velthof (2002) laat zien dat hoeveelheid afbreekbare organische stof en de potentiële denitrificatie van grasland hoger is dan die in bouwland en maïsland en dat daardoor toediening van gemakkelijk afbreekbare organische stof een veel groter effect heeft op  $N_2O$ -emissie uit bouwland en maïsland dan uit grasland. Mogelijke maatregelen die hieruit volgen zijn het minder bemesten van bouwland en maïsland met dierlijke mest of het gebruik van dierlijke mest met een laag gehalte aan afbreekbare organische stof, bijvoorbeeld door vergisting van mest of gebruik van rundermest in plaats van varkensmest.
- Er is een groot effecten van grondsoort op de Zowel de omvang van de  $N_2O$ -emissie als de effectiviteit van de onderzochte maatregelen verschillen aanzienlijk tussen grondsoorten. Er bestaan klaarblijkelijk interacties tussen bodemeigenschappen en bemesting op  $N_2O$ -emissie. De hoeveelheid afbreekbare organische stof in de bodem en de zuurstofgehalten in de bodem spelen hierbij een belangrijke rol. Nader onderzoek is gewenst naar de interactie tussen bodemeigenschappen, koolstof en bemesting op  $N_2O$ -emissie.
- In dit rapport worden de eerste meetresultaten voor Nederland beschreven van de  $N_2O$ -emissie uit bouwland en maïsland. In Nederland waren tot voor het onderhavige ROB-onderzoek alleen experimentele gegevens over emissies uit grasland beschikbaar.
- In veel  $N_2O$ -studies worden geen opbrengsten bepaald. Uit metingen die in dit rapport worden gepresenteerd blijkt dat bepaalde maatregelen wel degelijk invloed hebben op de opbrengst. Het is daarom belangrijk om bij evaluatie van de effectiviteit van maatregelen naast de gangbare  $N_2O$ -emissiefactor (in procent van toegediende N) ook een  $N_2O$ -emissiefactor op basis van opbrengst (g  $N_2O$  per kg drogestofopbrengst of kg N-opbrengst) mee te nemen. Immer, de landbouwpraktijk zal streven naar een areaal dat de noodzakelijke productie levert om de bedrijfsvoering evenwichtig en economisch gezond te houden. Dit betekent ook dat reële winst en lagere emissie vooral kan worden bereikt via verhoging van efficiëntie van stikstofgebruik daar waar die gepaard gaat met lagere emissie van lachgas.

- Er is een grote spreiding in emissiefactoren, variërend van lager dan 0,2% op grasland op zandgrond in Wageningen tot meer dan 3% voor najaarstoediening van dierlijke mest aan bouwland op deze zandgrond en voor bemest maïsland op kleigrond in Goutum. Grondgebruik (grasland of bouwland), grondsoort, weer en type meststof hebben een groot effect op de emissiefactor. De IPCC gebruikt *default* waarden voor emissiefactoren, maar de resultaten van ROB en ander onderzoek geven aan dat de werkelijke emissies behoorlijk kunnen afwijken van de berekende emissies (zowel hoger als lager). De ROB-resultaten zouden gebruikt kunnen worden voor verbetering van deze emissiefactoren of voor het afleiden van specifieke emissiefactoren voor Nederland. De ROB-resultaten worden daarom zo mogelijk gepubliceerd in internationale wetenschappelijke tijdschriften.

### *Literatuur*

In de systeemanalyse (Velthof et al., 2000) is de tot dan beschikbare literatuur over effecten van bemesting op N<sub>2</sub>O-emissie uit landbouwgronden gebruikt. Hierna zijn in de wetenschappelijke literatuur verschillende publicaties verschenen die voor ROB-maatregelen op het gebied van bemesting relevant zijn. Enkele belangrijke resultaten uit deze literatuur worden hieronder kort weergegeven.

- In januari 2002 is het symposium NCCG3 over niet-CO<sub>2</sub>-broeikasgassen gehouden in Maastricht (Van Ham et al., 2002). In dit symposium zijn verschillende presentaties gegeven over de effecten van bemesting op N<sub>2</sub>O-emissie. In een bijdrage van Laegreid & Aastveidt (2002) is een update gemaakt van langdurende en korte proeven waarin N<sub>2</sub>O-emissiefactoren voor meststoffen zijn afgeleid. De auteurs geven aan dat naast stikstof ook andere sturende factoren mee genomen moeten worden bij het schatten van N<sub>2</sub>O-emissie, zoals beschikbare bodemgegevens (organische stof, waterhuishouding) en weersgegevens (neerslag, vorst).
- Het gebruik van procesmodellen (NCYCLE) suggereert dat IPCC-methode leidt tot een overschatting van N<sub>2</sub>O-emissie in Engeland (Brown et al., 2001).
- Toediening van de nitrificatieremmer DCD leidde tot een lagere N<sub>2</sub>O-emissie uit dierlijke mest, maar had geen invloed op N<sub>2</sub>O-emissie uit KAS (Merino et al., 2001).
- N<sub>2</sub>O-emissies uit intensief beheerd grasland waren hoger (emissiefactor 3 – 11%) dan uit akkerbouwland (emissiefactor 0,3 – 1,0%) (Goossens et al., 2001).
- De N<sub>2</sub>O-emissie uit NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> was onder natte omstandigheden hogere dan die uit ZA en ureum. Onder veldcapaciteit was N<sub>2</sub>O-emissie uit ureum hoger dan die van ZA en NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>. Nitrificatieremmer leidde tot 12 – 63% minder N<sub>2</sub>O uit ureum bij veldcapaciteit, maar had geen effect onder natte omstandigheden (Pathak and Nedwell, 2001).
- Toediening van dunne rundermest leidde tot een toename in N<sub>2</sub>O-emissie uit nitraathoudende kunstmest met 0,63 procent (Stevens and Laughlin, 2001).
- Toediening van stro aan varkensmest leidde tot halvering van N<sub>2</sub>O-emissie doordat een deel van de stikstof uit varkensmest werd geïmmobiliseerd (Chantigny et al., 2001).
- Nieuwe nitrificatieremmers zijn getest en leiden tot remming N<sub>2</sub>O-emissie (bv. Weiske et al., 2001).

## 6 Evaluatie van maatregelen

Op basis van de voorgaande hoofdstukken worden de volgende bemestingsmaatregelen geëvalueerd:

1. Lagere N-gift via kunstmest
2. Lager N-gehalte in dierlijke mest
3. Gebruik van ammoniumhoudende meststoffen op grasland
4. Mest naar grasland; kunstmest naar maïsland en bouwland
5. Splitsen van de N-gift
6. Toediening van (co-)vergiste mest
7. Mesttoedieningstechniek op maïsland en
8. Telen van wintergewas bij najaartoeiening van mest.

In dit hoofdstuk wordt iedere maatregel kort toegelicht. Het is van belang hierbij op te merken dat de meeste maatregelen slechts in één of enkele proeven zijn onderzocht en dat voor een nauwkeurige kwantificering van de effectiviteit van deze maatregelen en voor inzicht in de jaarlijkse variatie in effectiviteit meer meetseries nodig zijn. Dit laat onverlet dat de maatregelen die hieronder zijn beschreven effectief zullen zijn.

In tabel 10 wordt voor alle maatregelen een indicatie gegeven van:

- De effectiviteit op perceelsniveau: hoe groot is de vermindering in  $N_2O$ -emissie in procenten ten opzichte van de gangbare praktijk.
- Indicatie van de effectiviteit op nationaal niveau: hoe groot is de effectiviteit indien de maatregel in Nederland wordt toegepast. Uitgangspunt hierbij is de geschatte effectiviteit van de maatregelen uit de systeemanalyse (Velthof et al., 2000). De gegevens uit tabel 10 moeten als indicatie worden gezien. In het kader van het project ROB-DSS wordt het optimaliseringsmodel MITERRA ontwikkeld, een model waarmee de effectiviteit van verschillende maatregelen integraal kunnen worden doorgerekend (Velthof et al., 2002). MITERRA houdt rekening met positieve en negatieve interacties tussen maatregelen en afwenteling naar  $CH_4$ -emissie,  $NH_3$ -emissie en nitraatuitspoeling. De invoergegevens van MITERRA worden gebaseerd op het landbouwkundig onderzoek dat in ROB wordt uitgevoerd. Als de resultaten van de verschillende ROB-projecten gerapporteerd zijn, kan de effectiviteit van pakketten van maatregelen worden doorgerekend met MITERRA.
- Kostenefficiëntie.
- Controleerbaarheid en handhaafbaarheid: zijn er indicatoren waarop een controleur kan letten en zijn er mogelijkheden in wetgeving om overtreders aan te pakken.
- Risico op afwenteling: hoe groot is het risico van afwenteling naar andere broeikasgassen of andere schadelijke verbindingen (bv. nitraat of ammoniak).
- Draagvlak bij boeren.
- Kennishiaten.

### **Lagere N-gift via kunstmest**

Het is algemeen bekend en het is in ROB opnieuw aangetoond (paragrafen 4.7 en 4.8) dat het verlagen van de stikstofgift leidt tot een lagere N<sub>2</sub>O-emissie. De resultaten van het ROB-onderzoek gaven een indicatie dat emissiefactor afneemt bij afnemende N-gift, maar door de grote variaties in de resultaten was dit effect niet overtuigend aanwezig. De ROB-resultaten leiden dus niet tot aanpassing van de emissiefactor voor kunstmest en de in de systeemanalyse geschatte effectiviteit van deze maatregel blijft onveranderd: 0,82 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten ten opzichte van 1990 indien de gemiddelde stikstofgift in Nederland via kunstmest met 25% daalt zonder compensatie via hogere toediening van dierlijke mest (Velthof et al., 2000). Het verlagen van de stikstofgift is ook een belangrijke maatregel in kader van MINAS. De maatregel leidt meestal tot minder uitspoeling, minder aankoop van kunstmest (dus kosten efficiënt) en het draagvlak bij boeren is groot. De controleerbaarheid en handhaafbaarheid worden op bedrijfsniveau gegarandeerd via de MINAS-aangifte. Microbiologisch onderzoek (Firestone et al. 1980) en resultaten van eerder veldonderzoek (Velthof et al., 1997) duiden wel op een afnemende emissiefactor bij een afnemende stikstofgift. Bij vervolgonderzoek zou het effect van grootte van N-gift op de N<sub>2</sub>O-emissiefactor een punt van aandacht moeten blijven.

### **Lager N-gehalte in mest**

Het onderzoek naar effecten van rantsoensamenstelling op de N<sub>2</sub>O-emissie uit varkensmest liet een sterke afname zien van de N<sub>2</sub>O-emissie bij een afnemend eiwitgehalte in het rantsoen (paragraaf 4.3). Verschillende proeven binnen ROB (paragrafen 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 en 4.8) geven duidelijk aan dat niet alleen het N-gehalte in dierlijke mest een belangrijke sturende factor is in N<sub>2</sub>O-emissie, maar ook de aanwezigheid van gemakkelijk afbreekbare organische stof (dit is een energiebron voor denitrificerende bacteriën). Dit betekent dat bij effecten van rantsoensamenstelling niet alleen het effect op stikstof maar ook het effect op afbreekbare organische stof moet worden beschouwd. Het onderzoek met varkensmest (paragraaf 4.3) laat zien dat verlaging van het eiwitgehalte leidt tot lagere hoeveelheden van de gemakkelijke afbreekbare vluchtige vetzuren. Dit inzicht leidt er toe dat de schatting uit de systeemanalyse voor de effectiviteit van verlagen van het N-gehalte (0,05 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten ten zichte van 1990) waarschijnlijk een onderschatting is en eerder 0,08-0,1 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten zal bedragen. De kostenefficiëntie en het draagvlak bij de boeren zijn hoog indien de maatregel ook in kader van MINAS wordt genomen. Bij verdergaande aanpassingen van de rantsoenen zullen de kosten gaan toenemen en zal het draagvlak afnemen. De controleerbaarheid en handhaafbaarheid kunnen via mestanalyses, MINAS-aangifte en aankoop van gecertificeerd voer goed worden geregeld.

### **Ammoniumhoudende meststof op gras**

Het onderzoek van ROB liet zien dat toediening van ammoniummeststoffen aan grasland op relatief droge gronden leidt tot een reductie 20-40 procent ten opzichte van de in Nederland gangbare meststof KAS (paragraaf 4.1). Eerder onderzoek liet zien dat deze reductie vele malen groter is op natte gronden. Geconcludeerd wordt dat deze maatregel goed onderbouwd is in verschillende studies en zeer perspectiefvol is. In het verleden is veel onderzoek verricht naar landbouwkundige

aspecten van ammoniummeststoffen (Van Burg, 1982), waaruit geconcludeerd kan worden dat het gebruik van ammoniummeststoffen niet tot opbrengstreducties hoeft te leiden indien ze met mate worden toegediend. Een maatregel zou kunnen zijn om ammoniummeststoffen standaard in het vroege voorjaar aan de eerste snede toe te dienen en daarnaast in natte perioden. Aandachtspunt is het gebruik van ammoniummeststoffen op kalkrijke gronden. De controleerbaarheid kan deels worden geregeld via MINAS-aangifte en deels door controle tijdens bemesting. Het draagvlak van boeren is groot, mits er goede voorlichting is voor de landbouwkundige aspecten. De schatting van de effectiviteit uit de systeemanalyse behoeft geen aanpassing en bedraagt: 0,23 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar ten opzichte van 1990.

### **Mest naar grasland; kunstmest naar maïsland en bouwland**

Het ROB heeft nieuwe inzichten geleverd ten aanzien van de N<sub>2</sub>O-emissie uit maïsland en bouwland na toediening van dierlijke mest, zowel in het voorjaar als in het najaar. De resultaten van ROB duiden op een hogere N<sub>2</sub>O-emissie (een factor 2-10) uit dierlijke mest dan uit kunstmest na toediening aan maïs- en bouwland. De toediening van gemakkelijk afbreekbare organische stof speelt hierbij een cruciale rol. Op grasland is het tegenovergestelde zichtbaar: een hogere N<sub>2</sub>O uit nitraathoudende kunstmest dan uit dierlijke mest. De hoeveelheid afbreekbare organische stof is hoger in grasland dan in bouwland en toediening van organische stof heeft bij grasland een minder groot effect op N<sub>2</sub>O-emissie dan op bouwland. In melkveehouderijen, waarin zowel grasland als maïsland aanwezig is, zou het minder gebruik van mest op maïsland een optie kunnen zijn om de N<sub>2</sub>O-emissie te beperken. Op bedrijfsniveau betekent dit dat mest zoveel mogelijk aan grasland moet worden toegediend en dat kunstmest zoveel aan maïsland moet worden toegediend. De controleerbaarheid en handhaafbaarheid zou door inspectie in het veld moeten gebeuren. Draagvlak bij boeren kan worden gecreëerd door een goede voorlichting over de bemesting (dit systeem heeft ook invloed op de bemesting met andere nutriënten en met name P en K). De geschatte effectiviteit is hoog (0,5 - 1,0 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar), waarbij uit wordt gegaan van andere emissiefactoren dan in huidige methoden (zie voetnoot tabel 10).

### **Splitsen van N-gift**

Het splitsen van de stikstofgift leidde in één jaar op één locatie tot een vermindering van de N<sub>2</sub>O-emissie uit met KAS bemest grasland met 30 procent zonder opbrengstderving. Deze reductie is groter dan de 5 procent reductie die in de systeemanalyse was aangenomen. Als wordt aangenomen dat de gemiddelde vermindering met splitsen van giften op grasland 20 procent bedraagt en indien deze maatregel op de helft van het areaal grasland wordt toegepast, dan zal deze maatregel tot een maximale reductie van 0,12 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar leiden (in de systeemanalyse was uitgegaan van een reductie van 0,05 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar). Het draagvlak bij boeren zal klein zijn, omdat het extra arbeid vraagt. De controleerbaarheid en handhaafbaarheid van de maatregelen zijn moeilijk. Voor bouwland en maïsland zal splitsen van de N-gift waarschijnlijk ook leiden tot een lagere N<sub>2</sub>O-emissie. Mogelijk is dit effect nog groter dan bij grasland, omdat in bouwland en maïsland het enige weken duurt na bemesting voordat er het gewas

merkbare hoeveelheden stikstof opneemt. Dit is een periode met een hoog risico op N<sub>2</sub>O-emissie, zoals blijkt uit paragrafen 4.10, 4.11 en 4.12.

### **Toediening van (co-)vergiste mest**

Het vergisten en co-vergisten van mest heeft een grote invloed op de mest-samenstelling. Vergisten leidt tot een hogere fractie aan minerale N (verhoogt het risico van N<sub>2</sub>O-emissie) en tot lagere gehalten aan afbreekbare organische stof (verlaagt het risico van N<sub>2</sub>O-emissie). Er is geen eenduidig beeld over de effecten van vergiste mest op de N<sub>2</sub>O-emissie. Indien in de praktijk de hogere fractie aan minerale N (hogere stikstofwerking van de mest) wordt gecompenseerd door een lagere aanvullende kunstmestgift dan zou toediening van vergiste mest tot een lagere N<sub>2</sub>O-emissie leiden. De perspectieven zijn met name hoog voor bouwland en maïsland, omdat hier de aanvoer van gemakkelijk afbreekbare organische stof een belangrijkere sturende factor voor N<sub>2</sub>O-emissie is dan voor grasland. De effectiviteit van toediening van vergiste mest ten opzichte van onbehandelde mest is niet in het veld bepaald, maar op basis van het laboratoriumonderzoek wordt geschat dat toediening van vergiste mest aan maïsland en bouwland tot vermindering van de N<sub>2</sub>O-emissie met 10-50 procent moet kunnen leiden. De geschatte effectiviteit op nationaal niveau bedraagt 0,18 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar.

Het laboratoriumonderzoek naar co-vergiste mest laat zien dat de aard van het organische materiaal een zeer groot effect heeft op de N<sub>2</sub>O-emissie (hooi leidt tot een hoge N<sub>2</sub>O-emissie en GFT-compost tot een lage N<sub>2</sub>O-emissie). Dit biedt perspectieven voor verlaging van de N<sub>2</sub>O-emissie, maar nader onderzoek is nodig. Voor de individuele boer zal een (co)-vergistingsinstallatie moeilijk financieel haalbaar zijn. Perspectieven voor centrale (co)- vergistingsinstallaties zijn daardoor groter (Kuikman et al., 2000).

### **Mesttoedieningstechniek op maïsland**

De resultaten geven aan dat voorjaarstoediening van mest aan maïs op zware klei met slangen en sleepvoet tot een 30 procent lagere N<sub>2</sub>O-emissie leidt dan andere mesttoedieningstechnieken. Dit systeem leidt tot minder verdichting dan andere toedieningstechnieken, hetgeen het draagvlak van boeren vergroot. Het is op kleigrond echter meestal gebruikelijk om mest in het najaar toe te dienen. Dit geldt zeker voor het referentie jaar 1990. Het berekenen van de effectiviteit van verschillende mesttoedieningstechnieken op kleigrond in voorjaar ten opzichte van 1990 is niet mogelijk, omdat in het onderzoek geen vergelijking is gemaakt tussen toediening in het voorjaar en najaar.. Echter, indien onder invloed van MINAS mest op kleigrond steeds vaker wordt toegediend in het voorjaar, dan heeft slangen + sleepvoet uit oogpunt van N<sub>2</sub>O-emissie de voorkeur. De controleerbaarheid en handhaafbaarheid moet gebeuren via inspectie in het veld, eventueel via loonwerkers. Er is geen onderzoek uitgevoerd op andere grondsoorten. Gezien het grote areaal maïsland op zandgrond en de mogelijke toepassing van verschillende toedieningstechnieken, wordt nader onderzoek naar toedieningstechnieken van mest op zandgrond aanbevolen.

### **Telen van wintergewas bij najaarstoediening mest**

Er werd verwacht dat het telen van een wintergewas zou leiden tot lagere N<sub>2</sub>O-emissie bij najaarstoediening van mest, omdat het een deel van de toegediende stikstof zou opnemen. Het ROB-onderzoek laat zien dat er geen effect was van een wintergewas, omdat de hoogste piek in N<sub>2</sub>O-emissie in de periode tussen zaaien en opkomst van het wintergewas lag. Uit oogpunt van de directe N<sub>2</sub>O-emissie is telen van wintergewas dus geen effectieve maatregel. Er is echter niet onderzocht wat het effect was op nitraatuitspoeling en op besparing van kunstmest bij het volgende gewas (bemestingsadviezen geven aan dat na een wintergewas de bemesting met 20-50 kg N omlaag kan). Dit betekent dat uit oogpunt van vermindering van indirecte N<sub>2</sub>O-emissie wintergewassen mogelijk wel een effectieve maatregel zijn. De effectiviteit van telen van wintergewassen was volgens de systeemanalyse 0,1 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar. Bij maïsland kan gras bij het begin van het seizoen tussen de maïsrijen worden ingezaaid, zodat er direct na de oogst al een gewas aanwezig is dat stikstof kan opnemen. Dit zou mogelijk wel kunnen leiden tot een vermindering in N<sub>2</sub>O-emissie, maar dit moet nader worden onderzocht.

Tabel 10. Evaluatie van bemestingsmaatregelen om N<sub>2</sub>O-emissie te verminderen.

Maatregel	Effectiviteit		Kosten- efficiëntie	Controleer – en handhaafbaarheid	Risico op afwenteling en TEWI	Draagvlak bij boer
	perceel, reductie in % t.o.v. gangbaar	nationaal, Mton CO <sub>2</sub> - eq. t.o.v. 1990				
lagere N-gift kunstmest	evenredig met N-gift	0,82 bij 25% minder kunstmest	hoog door minder aankoop kunstmest	op bedrijfsniveau via MINAS; op perceelsniveau moeilijk	klein; N-uitspoeling en kunstmestbehoefte nemen af	groot: ook nodig voor MINAS
verlagen N-gehalte in mest door aanpassing rantsoen	5-50%	0,08 – 0,1	afhankelijk rantsoen. Een deel vanzelf via MINAS	deels via mestanalyse in kader MINAS, deels via aankoop voer	klein; N-uitspoeling en ammoniakemissie nemen af	groot: volgt deels uit MINAS
ammoniummeststof in plaats van KAS	>20% afhankelijk weer	0,23	hoog; geen groot verschil in prijzen tussen kunstmesten	registratie aankoop kunstmest; herkenbaarheid meststoffen	op kalkrijke gronden risico op ammoniakemissie	groot, geen gevolgen voor opbrengst
mest naar grasland; kunstmest naar bouwland	10-50%	0,5-1 <sup>2</sup>	hoog; geen invloed op aankoop kunstmest	moeilijk; alleen indien alle mest naar grasland gaat	klein	voorlichting nodig om draagvlak te creëren
splitsen van N-giften	20-30%	0,12	hoog; alleen extra arbeid en brandstof	moeilijk	meer energie nodig voor toediening kunstmest	beperkt (meer arbeid), maar niet onoverkomelijk
toediening (co-) vergiste mest ipv onbehandelde mest	10-15%	0,18	laag indien op eigen bedrijf. Hoog indien centrale vergisting	moeilijk; alleen indien (co)-vergiste mest van elders wordt aangevoerd	afhankelijk wat er met methaan en ammoniak gebeurt die vrijkomen	beperkt (financieel) indien op eigen bedrijf. groot indien centraal
toedieningstechniek mest op maïs	30% bij sleepvoet	-1	hoog; geen verschillen tussen technieken	controle tijdens toediening	klein, verschillen in ammoniakemissie	groot
wintergewassen	geen effect op directe emissie	0,1 (indirecte emissie)	hoog; zaigoed, extra grondbewerking, minder kunstmest	controle van het perceel in winter	klein, leidt tot minder nitraatuitspoeling	redelijk, te vergroten indien gunstig voor MINAS

<sup>1</sup> in 1990 was het gebruikelijk om mest op kleigrond in het najaar toe te dienen; in onderhavige onderzoek is alleen het effect van toedieningstechniek in voorjaar beschouwd; er is geen vergelijking tussen voorjaars- en najaarstoediening gemaakt.

<sup>2</sup> bij berekeningen is uitgegaan van volgende emissiefactoren (ook voor 1990): kunstmest: 1% grasland en 0,5% bouwland en dierlijke mest: 0,5% grasland en 2% bouwland



## 7 Conclusies en selectie van perspectievolle maatregelen

Op basis van de vorige hoofdstukken wordt geconcludeerd dat de volgende maatregelen (in willekeurige volgorde) op het gebied van bemesting het meest perspectiefvol zijn:

- Verlaging van de N-bemesting via kunstmest en dierlijke mest, onder andere door verlagen N-gehalte mest.
- Verlagen van het gehalte aan afbreekbare organische stof in mest, door aanpassingen in rantsoen en mestbehandeling (bijvoorbeeld (co-)vergisting).
- Toediening van een ammoniummeststof in plaats van een nitraatmeststof (KAS) aan grasland onder natte omstandigheden of in het vroege voorjaar aan de eerste snede.
- Verder splitsen van stikstofgiften op grasland.
- Minder gebruik van dierlijke mest op maïsland en bouwland; mest zoveel mogelijk aan grasland toedienen.
- Toediening van mest via slangen en sleepvoet in het voorjaar aan zware kleigrond in plaats van mestinjectie.

Een maatregel die weinig perspectief lijkt te bieden uit oogpunt van vermindering van directe  $N_2O$ -emissie, is het telen van een wintergewas die na het toedienen van dierlijke mest in het najaar wordt gezaaid. Het gebruik van co-vergiste mest kan soms leiden tot een verhoging van  $N_2O$ -emissie ten opzichte van onbehandelde mest. Dit is afhankelijk van de aard van het organische materiaal dat samen met de mest wordt vergist. Uit het onderzoek bleek dat de  $N_2O$ -emissie uit met hooi vergiste mest hoger was dan de onbehandelde mest, terwijl die van met GFT-compost vergiste mest lager was dan die van de onbehandelde mest. Meer inzicht is nodig in de effecten van het co-vergisten van organische producten en mest op de  $N_2O$ -emissie.

De meeste maatregelen zijn slechts in één of enkele proeven zijn getest. Voor een nauwkeurige kwantificering van de effectiviteit van deze maatregelen zijn meer meetgegevens nodig. Dit geldt eveneens voor inzicht in de jaarlijkse variatie in emissies als gevolg van variatie in het weer. De geschatte effectiviteit per maatregel op nationaal niveau varieert van minder dan 0,1 tot 1 Mton  $CO_2$ -equivalenten per jaar. Over het algemeen zijn de maatregelen zogenaamde *no-regret* maatregelen; ze zijn kosten neutraal of leveren een kleine winst op. De effectiviteit van de maatregelen kan samen met de effectiviteit van maatregelen uit andere ROB-projecten worden gekwantificeerd met het in het kader van ROB-DSS ontwikkelde optimaliseringsmodel MITERRA (Velthof et al., 2002). Met dit model kunnen pakketten van maatregelen worden doorgerekend, waarbij rekening kan worden gehouden met afwenteling naar andere broeikasgassen over andere verbindingen (nitraatuitspoeling en ammoniakemissie), alsmede met positieve of negatieve interacties tussen maatregelen.

Belangrijke kennishiaten die om nadere aandacht vragen zijn:

- Interactie tussen grondsoort, gewas en bemesting op N<sub>2</sub>O-emissie;
- Effecten van veranderingen in landgebruik (bijvoorbeeld het scheuren van grasland en grasland-bouwland rotaties) op de N<sub>2</sub>O-emissie afkomstig van bemesting;
- Relatie tussen mestsamstelling en N<sub>2</sub>O-emissie;
- Effecten van de samenstelling van mest en organische producten op N<sub>2</sub>O-emissie na co-vergisting;
- Indirecte emissie van N<sub>2</sub>O via nitraatuitspoeling en ammoniakemissie;
- Effect van splitsen van N-gift op de N<sub>2</sub>O-emissie uit maïs- en bouwland;
- Effectiviteit van nitrificatieremmers toegediend aan mest (met name bij toediening aan maïsland en bouwland) .

Tenslotte moet worden genoemd dat de effectiviteit van een deel van de maatregelen niet met de huidige rekenmethodieken van IPCC (Mosier et al., 1998) en Nederland (Kroeze, 1994) kan worden gekwantificeerd. Dit geldt bijvoorbeeld voor het gebruik ammoniummeststoffen, het verlagen van het organische stofgehalte in mest door aanpassing rantsoen, het gebruik van (co)-vergiste mest en het splitsen van N-giften. Indien de vermindering in N<sub>2</sub>O-emissie door implementatie van dit type maatregelen moet worden gekwantificeerd en gerapporteerd in het kader van het Klimaatverdrag en het Kyoto Protocol, dan moeten de rekenmethodieken hierop worden aangepast. Om de bekendheid en acceptatie van rekenregels en emissiefactoren te vergroten, worden de resultaten van het ROB-onderzoek zoveel mogelijk in internationale wetenschappelijke tijdschriften gepubliceerd.

## Literatuur

Brown, L., S.A. Brown, S.C. Jarvis, B. Syed; K.W.T. Goulding, V.R. Phillips, R.W. Sneath & B.F. Pain-BF (2001) An inventory of nitrous oxide emissions from agriculture in the UK using the IPCC methodology: emission estimate, uncertainty and sensitivity analysis. *Atmospheric Environment* 35, 1439-1449.

Burg, P.F.J. van, K. Dilz & W.H. Prins (1982) Agricultural value of various nitrogen fertilizers. Results of research in the Netherlands and elsewhere in Europe. *Netherlands Nitrogen Technical Bulletin* No.13, 51 pp.

Chantigny, M.H., P. Rochette & D.A. Angers (2001) Short-term C and N dynamics in a soil amended with pig slurry and barley straw: a field experiment. *Canadian Journal of Soil Science* 81, 131-137.

Clayton, H., I.P. McTaggart, J. Parker, L. Swan & K.A. Smith (1997) Nitrous oxide emissions from fertilised grassland: A 2-year study of the effects of N fertiliser form and environmental conditions. *Biology and Fertility of Soils* 25, 252-260.

Ham, J. van, A.P.M. Baede, R. Guicherit & J.G.F.M. Williams-Jacobse (eds.) (2002) *Non-CO<sub>2</sub> greenhouse gases: scientific understanding, control options and policy aspects*. Millpress, Rotterdam, 714 pp.

Firestone, M.K., Firestone, R.B., & Tiedje, J.M. (1980) Nitrous oxide from soil denitrification: factors controlling its biological production. *Science* 208, 749-751.

Goossens, A., A. de Visscher, P. Boeckx & O. van Cleemput (2001) Two-year field study on the emission of N<sub>2</sub>O from coarse and middle-textured Belgian soils with different land use. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60, 23-34.

Huijsmans, J.F.M., J.M.G. Hol, & D.W. Bussink (1997) Reduction of ammonia emission by new slurry application techniques on grassland. In: Jarvis, S.C. and Pain, B.F. (eds) *Gaseous nitrogen emissions from grasslands*. CAB International, Wallingford, pp 281-285

Huijsmans, J.F.M., J.G.L. Hendriks & G.D. Vermeulen (1998) Draught requirement of trailing-foot and shallow injection equipment for applying slurry to grassland. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 71, 347-356.

Kirchmann, H. (1991) Carbon and nitrogen mineralisation of fresh, aerobic and anaerobic animal manures during incubation with soil. *Swedish Journal of Agricultural Science* 21, 165-173.

Kirchmann, H. & A. Lundvall (1993) Relationship between N immobilization and volatile fatty acids in soil after application of pig and cattle slurry. *Biology and Fertility of Soils* 15, 161-164.

Kroeze, C. (1994) Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emission inventory and options for control in the Netherlands. RIVM (report 773001004), 163 p.

Kuikman, P.J., M. Buijter & J. Dolfing (2000) Perspectieven van co-vergisting voor beperking van emissies van broeikasgassen uit de landbouw in Nederland. Alterra rapport 210, Alterra, Wageningen, 115 p

Laegreid, M. & A.H. Aastveit (2002) N<sub>2</sub>O emission from fertilizer use, p. 233-238 In: J. van Ham, A.P.M. Baede, R. Guicherit & J.G.F.M. Williams-Jacobse (eds.) *Non-CO<sub>2</sub> greenhouse gases: scientific understanding, control options and policy aspects*. Millpress, Rotterdam.

Merino, P., J.M. Estavillo, G. Besga, M. Pinto & C. Gonzalez-Murua (2001) Nitrification and denitrification derived N<sub>2</sub>O production from a grassland soil under application of DCD and Actilith F2. *Nutrient-Cycling-in-Agroecosystems* 60, 9-14.

Mosier, A., C. Kroeze, C. Nevison, O. Oenema, S. Seitzinger & O. van Cleemput (1998) Closing the global N<sub>2</sub>O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 52, 225-248.

Pathak, H. & D.B. Nedwell (2001) Nitrous oxide emission from soil with different fertilizers, water levels and nitrification inhibitors. *Water, Air, and Soil Pollution* 129, 217-228.

Paul, J.W. & Beauchamp, E.G. (1989) Effect of carbon constituents in manure on denitrification in soil. *Canadian Journal of Soil Science* 69, 49-61

Smith, K.A., I.P. McTaggart & H. Tsuruta (1997) Emissions of N<sub>2</sub>O and NO associated with nitrogen fertilization in intensive agriculture, and the potential for mitigation. *Soil Use and Management* 13, 296-304.

Stevens, R.J. & R.J. Laughlin (2001) Cattle slurry affects nitrous oxide and dinitrogen emissions from fertilizer nitrate. *Soil Science Society of America Journal* 65, 1307-1314.

Tamminga, S., A.W. Jongbloed, M.M. van Eerd, H.F.M. Aarts, F. Mandersloot, N.J.P. Hoogervorst & H. Westhoek (2000) De forfaitaire excretie van stikstof door landbouwhuisdieren. Rapport ID-Lelystad no. 00-2040, 71 p..

Velthof, G.L. & O. Oenema (1995) Nitrous oxide fluxes from grassland in the Netherlands: I. Statistical analysis of flux-chamber measurements. *European Journal of Soil Science* 46, 533-540.

Velthof, G.L., O. Oenema, R. Postma & M.L. van Beusichem (1997) Effects of type and amount of applied nitrogen fertilizer on nitrous oxide fluxes from intensively managed grassland. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 46, 257-267.

Velthof, G.L., M.H. de Haan, R.L.M. Schils, G.J. Monteny, A. van den Pol & P.J. Kuikman (2000) Beperking van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden. Een systeemanalyse. Alterra-rapport 114.2.

Velthof, G.L. (2002) Indicatoren voor mineralisatie en denitrificatie in landbouwgronden op zand en löss Alterra rapport (in voorbereiding)

Velthof, G.L., O. Oenema & P.J. Kuikman (2002) MITERRA-DSS: a decision support system to optimize the mitigation of greenhouse gas emissions from agriculture. p 505-506 In: J. van Ham, A.P.M. Baede, R. Guicherit & J.G.F.M. Williams-Jacobse (eds.) *Non-CO<sub>2</sub> greenhouse gases: scientific understanding, control options and policy aspects*. Millpress, Rotterdam.

Weiske, A., G. Benckiser, T. Herbert & J.C.G. Ottow (2001) Influence of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in comparison to dicyandiamide (DCD) on nitrous oxide emissions, carbon dioxide fluxes and methane oxidation during 3 years of repeated application in field experiments. *Biology and Fertility of Soils* 34, 109-117.

Whitehead, D.C. & N. Raistrick (1990) Ammonia volatilization from five nitrogen compounds used as fertilizers following surface application to soils. *Journal of Soil Science* 41, 387-394.



## Aanhangsel 1 Overzicht van de uitgevoerde proeven in ROB Landbouw project 1.2 Bemesting

<b>Proef</b>	<b>Doel</b>	<b>Resultaten</b>
Incubatieproef	Screening van verschillende dierlijke mesten Effect van toedieningstechniek	paragraaf 4.2
Incubatieproef	Effect rantsoen samenstelling op N <sub>2</sub> O-, NH <sub>3</sub> -, CH <sub>4</sub> - en CO <sub>2</sub> -emissies uit varkensmest Effect vergisting op NCO-emissie Effect co-vergisting op N <sub>2</sub> O-emissie	paragraaf 4.3, 4.4 en 4.5
Veldproef grasland op zand; Droevendaal Wageningen	Effect combinaties dierlijke mest en kunstmest Effect type kunstmest	paragraaf 4.1
Veldproef grasland op zand; Droevendaal Wageningen	Dierlijke mest versus kunstmest Splitsen van de gift Grootte van gift	paragraaf 4.6 en 4.7
Veldproef maïslaan op zand; Droevendaal Wageningen	Dierlijke mest versus kunstmest Combinatie dierlijke mest en kunstmest Effect toedieningstechniek dierlijke mest Grootte van gift kunstmest en dierlijke mest	paragraaf 4.8
Veldproef maïslaan op klei; Nij Bosma Zathe, Goutum	Dierlijke mest versus kunstmest Combinatie dierlijke mest en kunstmest Grootte van gift kunstmest en dierlijke mest	paragraaf 4.8
Veldproef maïslaan op klei; Nij Bosma Zathe, Goutum	Effect toedieningstechniek dierlijke mest	paragraaf 4.9
Veldproef akkerbouwland op zand; Droevendaal Wageningen	Effect wintergewas bij najaarstoediening dierlijke mest	paragraaf 4.10
Veldproef akkerbouwland op klei; Lovinckhoeve, Marknesse	Effect wintergewas bij najaarstoediening dierlijke mest	paragraaf 4.10





## **Aanhangsel 2 Producten in 2000 – 2002**

Dolfing et al. (2002a). Fertilization strategies in grassland to reduce the emission of nitrous oxide (publicatie in voorbereiding).

Dolfing et al. (2002b). Opties voor vermindering van lachgasemissie bij de verwerking en bewerking van gewasresten. Alterra rapport (in voorbereiding).

Kasper et al. (2002). Emissie van lachgas bij verschillende toedieningstechnieken van dierlijke mest in akkerland. Rapport Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad (in voorbereiding).

Groenigen, van J.W., G.J. Kasper, G.L. Velthof, A. van den Pol – van Dasselaar & P.J. Kuikman (2002). Nitrous Oxide Emissions from Silage Corn Fields Under Different N Fertilization Regimes. Submitted to Soil Science Society of America Journal.

Velthof, G.L., G.C.M. Bakker, O. Oenema, J.A. Nelemans, P.J. Kuikman (2002). Effect of dietary composition on gaseous nitrogen and carbon losses from pig slurry during storage and after soil application. Submitted to a Journal of Environmental Quality.

Velthof, G.L., P.J. Kuikman, & O.Oenema (2002). Nitrous oxide emission from animal manures applied to soil under controlled conditions. Submitted to Biology and Fertility of Soils.

Velthof G.L. (2002). Vergelijking van N<sub>2</sub>O-emissie uit vergiste en niet-vergiste varkensmest na toediening aan de bodem. Notitie Alterra (in voorbereiding).

