

Mogelijkheden tot vermindering van emissie van lachgas uit landbouwgronden bij toepassing van verschillende mestsoorten en nitrificatieremmers

**Mogelijkheden tot vermindering van emissie van lachgas uit
landbouwgronden bij toepassing van verschillende mestsoorten
en nitrificatieremmers**

Laboratoriumproeven en aanbevelingen voor veldexperimenten

**J. Dolfing
N. Buchkina
P.J. Kuikman**

Alterra-rapport 890

Alterra, Wageningen, 2004

REFERAAT

J. Dolfing, N. Buchkina en P.J. Kuikman, 2004. *Mogelijkheden tot vermindering van emissie van lachgas uit landbouwgronden bij toepassing van verschillende mestsoorten en nitrificatieremmers; laboratoriumproeven en aanbevelingen voor veldexperimenten*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 890. 40 blz.; 10 fig.; 2 tab.; 24 ref.

Landbouwgronden zijn een belangrijke bron van het broeikasgas lachgas (N₂O). In het kader van het Reductieplan Overige Broeikasgassen (ROB) worden via onderzoek maatregelen verkend die kunnen leiden tot een vermindering van emissie van de overige broeikasgassen methaan en lachgas. Het gebruik van nieuwe (kunst)meststoffen is een van die maatregelen. Ze zijn ontwikkeld om de verliezen van stikstof via nitraatuitspoeling en denitrificatie te beperken, en hun eventuele gebruik komt dus tegemoet aan het streven naar een meer duurzame landbouw. Bij het begrip nieuwe meststoffen moet gedacht worden aan meststoffen waaraan nitrificatieremmers zijn toegevoegd, of die gecoat zijn om de nutriëntenafgifte te vertragen. Het valt te verwachten dat deze eigenschappen ook de emissie van lachgas beïnvloeden. In het voorliggende onderzoek is door Alterra in een reeks laboratoriumexperimenten nagegaan wat de effecten zijn van het gebruik van aantal van dergelijke nieuwe mestsoorten op de emissie van lachgas uit een zand- en een kleigrond. De nieuwe mestsoorten zoals zijn niet beter dan de traditionele mestsoorten als ze worden beoordeeld op de het verminderen van de emissie van lachgas. De toevoeging van denitrificatieremmers resulteert in zand vaker in minder lachgas dan in klei. In klei leidt de toevoeging van denitrificatieremmers ook tot verhoging van de emissie van lachgas. Op grond van de resultaten van dit laboratoriumonderzoek worden aanbevelingen gedaan en keuzes gemaakt voor een nog uit te voeren veldonderzoek.

Trefwoorden: bemesting, broeikasgassen, lachgas, nieuwe meststoffen, nitrificatieremmers, stikstof

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door €16,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 890. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2004 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info@alterra.wur.nl

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

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

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Projectdoelstelling	13
2.1 Fasering	13
2.2 Inhoud van dit rapport	14
3 Bespreking van de binnen- en buitenlandse literatuur	15
3.1 Achtergrond	15
3.2 Verschillende meststoffen en toevoegingen en lachgas	15
3.2.1 Nitrificatieremmers en lachgas	15
3.2.2 Controlled release meststoffen	16
3.3 Nitrificatieremmers en overige milieuaspecten	17
3.3.1 Nitrificatieremmers en de oxidatie van methaan	17
3.3.2 Stabiliteit van nitrificatieremmers	17
3.3.3 Uitspoeling en andere fysisch chemische eigenschappen van DCD en DMPP	17
3.3.4 Phytotoxische effecten van nitrificatieremmers	18
3.4 Discussie en conclusies uit literatuuronderzoek	18
4 Proefopzet laboratoriumscreening	19
5 Vraagstelling	21
6 Resultaten	23
6.1 Algemeen overzicht	23
6.2 Zandgrond uit Raalte	24
6.2.1 Het effect van nitrificatieremmers	26
6.3 Kleigrond uit Ny Bosma Zathe	29
7 Antwoord op onderzoeksvragen en conclusies	31
7.1 Beantwoording van de onderzoeksvragen	31
7.2 Conclusies	32
8 Opzet van veldexperimenten in Nederland	33
Literatuur	37

Woord vooraf

Landbouwgronden zijn een belangrijke bron van lachgas (N_2O). In het kader van het NOVEM programma Reductieplan Overige Broeikasgassen (ROB) worden maatregelen verkend die kunnen leiden tot een vermindering van emissie van lachgas. Het gebruik van andere, deels nieuwe meststoffen is een van die maatregelen. Niet alleen uit het oogpunt van de eventuele vermindering van de emissie van lachgas zijn nieuwe meststoffen interessant. Ze zijn ontwikkeld om de verliezen van stikstof via nitraatuitspoeling en denitrificatie te beperken, en hun eventuele gebruik komt dus tegemoet aan het streven naar een meer duurzame landbouw. Bij het begrip nieuwe meststoffen moet gedacht worden aan meststoffen waaraan nitrificatieremmers zijn toegevoegd, of die gecoat zijn om de nutriëntenafgifte te vertragen. Het valt te verwachten dat deze eigenschappen ook de emissie van lachgas beïnvloeden. In het voorliggende onderzoek is door Alterra in een reeks laboratoriumexperimenten nagegaan wat de effecten zijn van het gebruik van aantal van dergelijke nieuwe mestsoorten op de emissie van lachgas uit een zand- en een kleigrond. Het doel van dit onderzoek is niet alleen het vergaren van kennis over de invloed van nieuwe meststoffen op de emissie van lachgas, het onderzoek dient ook ter voorbereiding van een of meer veldproeven ter kwantificering van de emissie van lachgas als gevolg van de toepassing van verschillende meststoffen al dan niet in combinatie met dierlijke mest uit bouwland (aardappel of bieten; in overleg met de opdrachtgever te bepalen) en grasland.

Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de NOVEM in het kader van het ROB programma Reductieplan Overige Broeikasgassen.

Samenvatting

Landbouwgronden zijn een belangrijke bron van het broeikasgas lachgas (N_2O). In het kader van het Reductieplan Overige Broeikasgassen (ROB) worden maatregelen verkend die kunnen leiden tot een vermindering van emissie van de overige broeikasgassen methaan en lachgas. Het gebruik van nieuwe meststoffen is een van die maatregelen. Bij het begrip nieuwe meststoffen moet gedacht worden aan meststoffen waaraan nitrificatieremmers zijn toegevoegd, of die gecoat zijn om de nutriëntenafgifte te vertragen. Ze zijn ontwikkeld om de verliezen van stikstof via nitraatuitspoeling en denitrificatie te beperken. Het valt te verwachten dat deze eigenschappen ook de emissie van lachgas beïnvloeden. In het voorliggende onderzoek is door Alterra in een reeks laboratoriumexperimenten nagegaan wat de effecten zijn van het gebruik van aantal van dergelijke nieuwe mestsoorten op de emissie van lachgas uit een zand- en een kleigrond.

De geteste behandelingen waren: traditionele kunstmest (KAS – kalkammonsalpeter, ZA - ammoniummeststof, toevoeging van nitrificatieremmers DCD, DMPP en Hydroquinon aan kunstmest, ureum en dierlijke mest en nieuwe meststoffen zoals Osmocote, Entec26 en Flex Fertilizer System. Het testen geschiedde in zand- en kleigrond. De grond werd gedurende 30 dagen geïncubeerd en de lachgasemissie werd regelmatig gemeten.

De resultaten gaven een gemengd beeld en er waren duidelijke verschillen tussen de zand- en de kleigrond. De emissies na 30 dagen waren zeer variabel en dit leidde tot slechts weinig significante verschillen in de behandelingen met en zonder nitrificatieremmer. Op beide gronden traden de hoogste emissies op bij het gebruik van dierlijke mest, al dan niet in combinatie met KAS. Het gebruik van DCD leidde tot een halvering van deze emissies op zand, maar had geen effect op klei; DMPP had op beide gronden geen effect. Op geen van beide gronden leidde het gebruik van DMPP of DCD tot een vermindering van de emissie van lachgas bij het gebruik van KAS. Bij het gebruik van ZA leidde DMPP tot een halvering van de emissie op zand, terwijl DCD geen effect had. Op klei was de trend juist omgekeerd. Op zand hadden waren de emissies bij het gebruik van nieuwe meststoffen niet lager dan bij het gebruik van KAS of ZA. Op klei waren de emissies bij het gebruik van nieuwe meststoffen lager dan die uit ZA en gelijk aan of iets lager dan die uit KAS. In zandgrond werd in 80% van de behandelingen met nitrificatieremmer of nieuwe meststof minder lachgas geproduceert dan in de gangbare bemesting terwijl bij maar 50% van de behandelingen.

De conclusies van deze laboratoriumscreening zijn dat er duidelijke verschillen zijn tussen zand en klei, dat de grootste effecten optreden op zand, met name het toevoegen van DCD aan mest, maar ook aan Ureum, dat Osmocote de eerste twee weken goed werkt, maar daarna niet meer, en dat Entec niet werkt in het laboratorium. Deze resultaten mogen niet zonder meer vertaald worden naar het veld, omdat zich in het veld processen afspelen die zich niet voordoen in dit

laboratoriumexperiment maar mogelijk welk van invloed zijn op de resultaten. Hierbij moet gedacht worden aan afbraak van de hulpstoffen, uitspoeling van nitraat, opname van N door planten, en uitscheiding van koolstof door de wortels. Voor meer inzicht in de daadwerkelijke effecten van nitrificatieremmers en nieuwe meststoffen op de emissie van lachgas uit landbouwgronden is het dus noodzakelijk om veldexperimenten uit te voeren. Bij het eventuele besluit om deze nieuwe meststoffen in de praktijk toe te gaan passen spelen ook andere criteria een rol, zoals het effect op de gewasopbrengst en het effect op de uitspoeling van nitraat, en het eventuele effect op de emissie van andere gassen zoals methaan en ammoniak. Het is dus zinvol om ook deze parameters mee te nemen in een vervolgonderzoek.

1 Inleiding

Landbouwgronden zijn een belangrijke bron van het broeikasgas lachgas (N_2O). De bedrijfsvoering en –management inclusief bemesting, beweiding en waterbeheer spelen een grote rol bij de omvang van die emissies. In kader van het Reductieplan Overige Broeikassen (ROB) worden via onderzoek maatregelen verkend die kunnen leiden tot een vermindering van de emissie van overige broeikasgassen, waaronder lachgas. Aanpassing van bemesting maakt een relatief grote potentiële vermindering van lachgasemissie mogelijk. Dit kan door minder stikstof (N) toe te passen in bemesting maar ook door keuze van de soort meststof of door een betere timing van bemesting of door een betere toedieningstechniek de benutting van stikstof te verhogen en efficiënter te bemesten.

Bemesting in Nederland geschiedt over het algemeen met dierlijke mest en kunstmest al dan niet in combinatie. De gebruikte kunstmest is veelal KAS (Kalkammonsalpeter) of NPK waarbij ammoniumnitraat wordt toegediend, soms ZA (Zwavelzure ammoniak met alleen ammonium zonder nitraat) of Urean met ureum als stikstofbron. Niet alle stikstof wordt opgenomen en gebruikt door gewassen. Een deel van de aangevoerde stikstof uit kunstmest en dierlijke mest gaat verloren door uitspoeling en (mineralisatie gevolgd door) denitrificatie waarbij de concentratie nitraat een belangrijke sturende factor is. Een klein deel van dit verlies vindt plaats in de vorm van lachgas. Lachgas ontstaat tijdens nitrificatie (vorming van nitraat uit ammonium) en denitrificatie (vorming van elementaire stikstof uit nitraat) en is als broeikasgas ruim 300 maal sterker dan het broeikasgas CO_2 .

Er is een grote verscheidenheid aan kunstmeststoffen op de markt variërend van eenvoudige minerale verbindingen met één hoofdbestanddeel tot samengestelde meststoffen met meerdere waardegevendende bestanddelen al dan niet in complexe verbindingen die beogen de nutriënten langzaam of gecontroleerd beschikbaar te maken. Deze laatste ‘nieuwe’ kunstmest met gecontroleerde nutriëntenafgifte is vaak duurder maar kan leiden tot kostenreductie als minder mest en/of minder bewerkingen nodig zijn.

Voorbeelden van meststoffen die zijn bewerkt zijn:

- Kunstmest met coating (bijvoorbeeld Osmocote[®] en zwavelomhulde ureum): de stikstof en andere nutriënten in de meststof komen zodanig langzaam vrij dat een betere afstemming met de opname van het gewas ontstaat
- Kunstmest met organische gebonden stikstof (bijvoorbeeld ureumformaldehyde, crotonylideendiureum en isobutyleendiureum) die microbiologisch moet worden afgebroken
- Meststoffen met een lage oplosbaarheid in de bodem, ofwel op basis van een ionenwisselaar, ofwel doordat de nutriënten zijn opgesloten in een matrix

- Kunstmest in een complex van mineralen (Flex Fertilizer systeem¹ - meststof die gecontroleerd vrijkomt afhankelijk van o.a. de pH, waarmee gestuurd kan worden.
- Kunstmest met nitrificatieremmer (Alzon product met actieve stof DCD² – dicyandiamide)
- Kunstmest met nitrificatieremmer (Entec, nieuw product van BASF met actieve stof DMPP³ – 3,4-dimethylpyrozole phosphate)
- Urean⁴ met hydroquinone (remstof van urease)

Deze meststoffen hebben gemeen dat ze zijn ontwikkeld met het doel de verliezen van stikstof via nitraatuitspoeling en via denitrificatie tot elementaire stikstof te beperken. Bijkomend voordeel van deze meststoffen zou kunnen zijn dat deze meststoffen leiden tot lagere emissies van lachgas (N₂O) als gevolg van nitrificatie en denitrificatie. In de buitenlandse literatuur zijn een aantal waarnemingen beschreven waarin “nieuwe meststoffen” inderdaad leidden tot een verlaging van de emissie van lachgas, maar er zijn ook gevallen beschreven waarin deze meststoffen geen effect hadden op deze emissie (Linzmeier et al., 1999; Weiske et al., 2001; Barth et al., 2001; Dittert et al., 2001; Di and Cameron, 2002;). Nergens zijn tot nu toe de verschillende meststoffen met elkaar vergeleken. In Nederland is één onderzoek uitgevoerd met nitrificatieremmer en lachgasemissie (Velthof *et al*, 1996). De nitrificatieremmers die in deze studie zijn gebruikt zijn gesynthetiseerde verbindingen. Naast deze stoffen zijn er ook nitrificatieremmers beschikbaar die zijn geëxtraheerd uit planten en over het algemeen langzaam worden afgebroken onder natuurlijke omstandigheden.

¹ Flex Fertilizer Nederland B.V. heeft een nutriëntenmanagementsysteem (Flex Fertilizer Systeem[®]) ontwikkeld voor grasland en bouwland en verwacht dat bemesting volgens dit systeem leidt tot een lagere emissie van lachgas dan bemesting volgens de gangbare systemen. Deze verwachting is echter nog niet met meetresultaten onderbouwd. Deze meststof is gebaseerd op de zogenaamde chemische complexen: er ontstaat een wisselwerking tussen meststof en bodem, de bodem werkt in op de meststof en hierdoor worden de chemische complexen omgezet/afgebroken. Er zijn snel- en langzaamwerkende meststoffen beschikbaar. Met dit systeem kunnen zowel het *moment* als de *vorm* van beschikbaar komen van de voedingsstoffen veel nauwkeuriger worden gestuurd.

² DCD (Dicyandiamide) is een nitrificatieremmer die al geruime tijd wordt aangeboden en toegepast. De effectiviteit is lager dan de effectiviteit van moderne nitrificatieremmers (zie Weiske et al., 2001) zoals DMPP en mogelijk treedt er aanpassing danwel ongevoeligheid in de bodem op (referentie).

³ BASF in Duitsland heeft een nieuwe nitrificatieremmer ontwikkeld die onder de naam DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate) op de markt is gebracht. Deze nitrificatieremmer kan worden toegepast in combinatie met kunstmest en met dierlijke mest. Resultaten van onderzoek door BASF laat zien dat de productie van land- en tuinbouwgewassen hoger kan zijn met een hogere productkwaliteit en minder uitspoeling van nitraat (zie Zerulla et al., 2001 en Pasda et al. 2001). De emissie van lachgas kan gemiddeld 50% lager zijn (zie Weiske et al., 2001)

⁴ Urean is een vloeibare stikstofmeststof. Hiervan is bekend dat een gedeelte verloren gaat als ammoniak.

2 Projectdoelstelling

De doelstelling van het onderhavige project is het kwantificeren van de lachgasemissie als gevolg van toepassing van verschillende meststoffen al dan niet in combinatie met dierlijke mest uit bouwland en grasland. Bij de omvang van de bemesting wordt gewerkt volgens het gangbare standaard bemestingsadvies met stikstofmeststof in verschillende vormen, en daarnaast met een omvang die lager is en indien beschikbaar het advies van de mestfabrikant volgt met betrekking tot efficiëntiewinst. De emissie wordt vergeleken met de emissie bij toepassing in combinatie met dierlijke mest om inzicht te krijgen in eventuele interacties zoals claims over remming van nitrificatie of andere efficiëntie verbetering in de benutting van stikstof.

2.1 Fasering

In overleg met NOVEM is besloten het project gefaseerd uit te voeren. De eerste fase bestaat uit een laboratoriumscreening waarin de lachgasemissie uit verschillende (combinaties van) mestsoorten zonder en met nitrificatieremmers gemeten is. Deze metingen zijn uitgevoerd aan een tweetal grondsoorten: zand en klei. In het projectvoorstel wordt een tweede fase onderscheiden die bestaat uit een twee- of drietal veldproeven op grasland en bouwland. Bij het opzetten van de veldproef wordt de informatie uit de laboratoriumscreening gebruikt.

Het project bestond in principe uit twee fasen:

- Fase I met een literatuuronderzoek en een screening van emissies van lachgas (en methaan en CO₂) bij toediening van verschillende mestsoorten in 2 grondsoorten in het laboratorium. De metingen hebben 4 weken geduurd. De metingen zijn uitgevoerd en gerapporteerd in 2003 en 2004. In deze rapportage wordt ook een analyse gemaakt van beschikbare literatuurgegevens. In het rapport wordt de keuze gemaakt met betrekking tot de behandelingen die in het fase II onder veldomstandigheden relevant zijn en wordt deze toegelicht.
- Fase II van het project is weliswaar beschreven in projectvorm maar niet opdragen voor uitvoering. Deze fase II zou bestaan uit meting van emissies van lachgas in 2 veldproeven op bouwland (bieten en eventueel broccoli) en op grasland. De lachgasmetingen op grasland zouden moeten starten medio maart bij de bemesting van de eerste snede en die op bouwland in april/mei vlak voor de toepassing van de bemesting. De metingen worden gedurende het gehele groeiseizoen uitgevoerd en zullen naar verwachting tot oktober/november doorlopen. Naar verwachting zullen in bouwland 15 metingen en in grasland 20 metingen nodig zijn.

2.2 Inhoud van dit rapport

Het voorliggende rapport beschrijft de resultaten van bovengenoemde literatuurstudie (hoofdstuk 3) en de laboratoriumscreening (hoofdstuk 7) en doet aanbevelingen voor de opzet van de veldproeven en –metingen in een eventuele fase II.

3 Bespreking van de binnen- en buitenlandse literatuur

3.1 Achtergrond

De laatste jaren zijn we de biochemie achter de oxidatie van ammoniak steeds beter gaan begrijpen, en daarmee ook de mogelijkheden om dit proces te remmen, en de wijze waarop de remmers in het proces ingrijpen. Veel van de gebruikte remmers beïnvloeden niet alleen de oxidatie van ammoniak maar ook die van methaan. Dat komt doordat beide enzymen veel op elkaar lijken qua structuur en werkingsmechanisme. Vanuit het oogpunt van het streven de emissies van broeikasgassen uit de landbouw te beperken is dit een punt van aandacht.

Het toegenomen inzicht kan ingezet worden om nieuwe nitrificatieremmers te ontwikkelen die nog specifiekere zijn dan de bestaande. In hoeverre het door BASF ontwikkelde ENTEC, de handelsnaam voor DMPP, een vrucht is van deze ontwikkeling is niet duidelijk. Feit is dat deze stof in het veld geen nadelige invloed heeft op de oxidatie van methaan, terwijl er ook geen effecten zijn waargenomen op de enzymen die een rol spelen bij denitrificatie (Muller et al. 2002).

3.2 Verschillende meststoffen en toevoegingen en lachgas

3.2.1 Nitrificatieremmers en lachgas

Er is nauwelijks literatuur over het effect van nitrificatieremmers op de emissie van lachgas uit landbouwgronden, en de literatuur die er is laat een gemengd beeld zien. Zo hebben onderzoekers van de Universiteit in Giessen een 3-jarig (!) veldexperiment uitgevoerd waarin zij het effect van DMPP hebben vergeleken met het effect van DCD (Weiske et al. 2001a,b). Het gebruik van DMPP reduceerde de emissie van lachgas met gemiddeld 49% (range 41-53%) tegen een reductie van 26% (range 22 – 29%) voor DCD. De remmers hadden geen nadelige invloed op de oxidatie van methaan. DMPP leek de oxidatie van methaan zelfs te stimuleren. De experimenten werden uitgevoerd op een *clayey loam*, waarop graan en mais verbouwd werd. Minerale stikstof werd toegediend als ammonium nitraat in combinatie met sulfaat (ASN). Remmers hadden geen invloed op de gewasopbrengst. De studie werd gefinancierd door BASF, de producent van Entec). In deze experimenten werd DMPP in korrelvorm toegediend. In een ander (2-jarig) Duits veldonderzoek (Linzmeier et al. 2001), waarin DMPP in vloeibare vorm werd toegediend, werd geen effect gevonden van het toedienen van deze nitrificatieremmer op de emissie van lachgas na gebruik van ammoniumnitraat. De auteurs zoeken de verklaring hiervoor in het feit dat in deze experimenten lachgasemissie waarschijnlijk voornamelijk verliep via denitrificatie, maar benadrukken dat ook de vorm waarin de nitrificatieremmer toegediend werd van invloed geweest kan zijn.

In Nieuw Zeeland is een experiment uitgevoerd met lysimeters (Di & Cameron, 2002). Het ging om een *silt loam* begroeid met gras, waarin het effect van het toedienen van urine gevolgd werd. In dit experiment werd de uitspoeling van nitraat met gemiddeld 59% gereduceerd (42% in het voorjaar en 76% in het najaar) door het gebruik van DCD als nitrificatieremmer. Bovendien nam de emissie van lachgas hierdoor met 82% af en nam de grasopbrengst toe met meer dan 30%.

In Schotland is het effect van DCD bestudeerd op een *clay loam*, zowel op grasland als op bouwland (McTaggart et al. 1997). In combinatie met urea of ammoniumsulfaat reduceerde DCD de emissie van lachgas uit grasland in twee achtereenvolgende jaren met ruim 50%. In combinatie met ammoniumnitraat was het effect minder aansprekend. Op bouwland was het beeld vergelijkbaar: DCD reduceerde de emissie na gebruik van urea met 40%, maar had geen effect op de emissie na gebruik van ammoniumnitraat.

Andere studies waarin de lachgasemissie gereduceerd wordt door het gebruik van nitrificatieremmers zijn beschreven door Dittert et al. (2001) en door Majumder et al. (2002).

3.2.2 Controlled release meststoffen

Onderzoek naar het effect van moderne meststoffen op de emissie van lachgas wordt nog niet zo erg lang gedaan. In een van de eerste studies op dit gebied van Delgado en Mosier (1996) wordt gerapporteerd over een veldonderzoek in Colorado waarin een behandeling met een controlled release meststof, *polyolefin coated urea* (POCU), wordt vergeleken met behandelingen met urea alleen en ureum plus DCD. In die studie bleef de lachgasemissie bij behandeling met POCU en de DCD de eerste drie weken 70 tot 80% achter bij die bij een behandeling met urea alleen. Gedurende de rest van het groeiseizoen was de emissie bij behandeling met POCU echter hoger dan bij behandeling met alleen urea. De auteurs concluderen dat POCU het potentieel heeft om de emissie van lachgas te beperken, zowel direct als indirect, doordat het ook de uitspoeling van nitraat vermindert. Zij stellen echter dat er nog meer aandacht besteed moet worden aan de formulering en de wijze van plaatsing om tot een optimaal resultaat te komen. Meer recent onderzoek van dezelfde auteurs laat zien dat door POCU te gebruiken de emissie van lachgas met twee derde gereduceerd kan worden in vergelijking met die bij het gebruik van urea, terwijl de plantopname van stikstof uit POCU twee maal zo hoog was als bij urea. (Shoji et al. 2001). Ook Smith et al. (1997) rapporteren forse reducties in de emissie van lachgas bij het gebruik van een slow release meststoffen, polyolefin coated ammonium nitraat (handelsnaam "Long") en *polyolefin coated ammonium sulfate* (handelsnaam "Nutricote"). In een recent laboratoriumexperiment met een Japanse grond is gevonden dat *controlled release* ammonium meststoffen lachgasemissie vooral reduceren onder natte omstandigheden, maar dat er nauwelijks een effect was onder droge omstandigheden, dwz onder omstandigheden waarin vooral nitrificatie de bron van lachgas is (McTaggart & Tsuruta 2003).

3.3 Nitrificatieremmers en overige milieuaspecten

3.3.1 Nitrificatieremmers en de oxidatie van methaan

Nitrificatie remmers kunnen de oxidatie van methaan remmen. In de praktijk hoeft dit echter niet het geval te zijn. Zo vonden Bronson en Mosier (1994) dat DCD de methaan oxidatie in grond in het laboratorium remde, terwijl dat in het veld niet het geval was (Bronson and Mosier 1993). In laatstgenoemde proef remde DCD wel de lachgasemissie. In de veldexperimenten van Weiske et al. werd geen nadelig effect van DCD en DMPP op de oxidatie van methaan gevonden. Integendeel deze auteurs rapporteren zelfs een verhoogde oxidatie van methaan onder invloed van beide nitrificatieremmers.

3.3.2 Stabiliteit van nitrificatieremmers

Systematisch onderzoek naar de stabiliteit van DCD is niet gepubliceerd, maar het is bekend dat DCD snel afgebroken wordt in de bodem na slechts enkele toepassingen (Rajbanshi et al. 1992). In Schots onderzoek was de effectiviteit het tweede jaar niet lager dan het eerste jaar. In de reeds eerder genoemde veldproef is waargenomen dat DCD snel afgebroken werd bij temperaturen boven de 22°C (Bronson & Mosier 1994). In Duitsland wordt DCD ("Didin") veel ingezet als nitrificatieremmer. Over ENTEC wordt in de vakliteratuur gezegd dat het, afhankelijk van de grondsoort, de bodemtemperatuur en het vochtgehalte van de bodem 4 tot 10 weken werkzaam is. Voor een eventueel versnelde afbraak van deze stof bij herhaald gebruik zijn vooralsnog geen aanwijzingen. In de al vaker gerefereerde door Weiske et al. (2001a, 2001b) beschreven (en door BASF betaalde) veldexperimenten werkte zowel DMPP als DCD drie jaar achtereen met vrijwel dezelfde efficiëntie bij jaarlijkse toediening. Klaarblijkelijk wordt er in de bodem geen resistentie opgebouwd tegen de werkzame stoffen of verandert de afbraaksnelheid van de werkzame stoffen niet DCD werd al tijdens het groeiseizoen dat liep tot begin augustus overigens volledig afgebroken, DMPP niet.

3.3.3 Uitspoeling en andere fysisch chemische eigenschappen van DCD en DMPP

DCD is gevoelig voor uitspoeling (Abdel-Sabour et al. 1990). Voor uitspoeling van DMPP zijn, in lysimeter experimenten, geen aanwijzingen gevonden (Fettweis et al. 2001). Barth et al. (2001) hebben in een kortdurend laboratoriumexperiment laten zien dat bodemeigenschappen, met name het zandgehalte en de pH van invloed zijn op de effectiviteit van DMPP. In hoeverre die eigenschappen ook de lange termijn effectiviteit in het veld beïnvloeden is vooralsnog niet duidelijk. Voornoemde eigenschappen beïnvloeden met name de sorptie van de DMPP aan de bodemmatrix, en het is niet onwaarschijnlijk dat die sorptie weer van invloed is op de stabiliteit van DMPP. De auteurs citeren een studie van Linzmeier et al. (1999) waarin gevonden is dat in een *silty loam* nitrificatie langer geremd werd door DMPP dan in een *loamy sand*.

Ook Barth et al. wijzen erop dat de wijze van toedienen – in vloeibare vorm of als korrels – waarschijnlijk van groot belang is voor het fysisch chemisch en biologisch gedrag van de remmer in de bodem, en daarmee voor de het effect van die remmer op de verschillende processen in de bodem.

3.3.4 Phytotoxische effecten van nitrificatieremmers

Macadam et al. (2003) hebben onlangs beschreven hoe DCD (25kg/ha) en DMPP beide de emissie van lachgas uit grasland bemest met kunstmest en rundermest remde, maar dat het gebruik van DCD daarbij een toxisch effect had op witte klaver. De dosering in het onderzoek van Weiske et al. (2001a,b), waarin geen melding gemaakt wordt van phytotoxische effecten lag tussen de 10 en 18 kg/ha.

3.4 Discussie en conclusies uit literatuuronderzoek

Uit de gepubliceerde resultaten in de wetenschappelijke literatuur blijkt dat er een goede kans is dat het ook in Nederland mogelijk zijn om de emissie van lachgas uit landbouwgronden terug te dringen door nitrificatieremmers toe te passen en door nieuwe meststoffen ter vervanging van traditionele kunstmeststoffen. Hoe groot het effect zal zijn is vooralsnog moeilijk in te schatten. Met name de in Duitsland behaalde resultaten zijn veelbelovend en doen vermoeden dat 40% haalbaar moet zijn. Deze literatuurstudie maakt ons echter ook duidelijk dat er nog vele vragen zijn, met name ten aanzien van de lange termijn stabiliteit van de gebruikte remmers (met name DCD, en in mindere mate ook DMPP). Verder blijkt duidelijk dat bepaalde remmers in de ene grond beter werken dan in de andere grond, en dat ook de combinatie van remmer/type kunstmest een rol speelt, evenals het weer. Ook wordt in de literatuur steeds weer benadrukt dat resultaten uit het laboratorium niet rechtstreeks naar het veld vertaald kunnen worden. Het is dan niet zinvol om op grond van de literatuur grote wijzigingen aan te brengen in de opzet van de laboratoriumscreening of in de opzet van een veldexperiment (zie ook hoofdstuk 8).

4 Proefopzet laboratoriumscreening

De laboratorium proeven zijn uitgevoerd in klimaatkamers van Wageningen UR waarbij een constante temperatuur en relatieve luchtvochtigheid wordt gehandhaafd. De metingen zijn uitgevoerd aan twee grondsoorten: zandgrond uit Heino, kleigrond uit Ny Bosma Zathe. Deze grondsoorten zijn ook bij andere metingen binnen ROB onderzoek toegepast (Velthof et al., 2002; Dolfing et al., in voorbereiding). Het bodemmateriaal is verzameld in november 2002.

De volgende behandelingen zijn getest:

1. Controle	
2. Controle met P en K	
3. KAS ⁵	100 kgN/ha
4. KAS + DMPP	„
5. KAS + DCD	„
6. ZA	„
7. ZA + DMPP	„
8. ZA + DCD	„
9. Mest	30 ton/ha
10. Mest + DMPP	„
11. Mest + DCD	„
12. Mest + KAS	30 ton + 70 kgN per ha
13. Mest + KAS + DMPP	„
14. Mest + KAS + DCD	„
15. Ureum	100 kgN/ha
16. Ureum + DMPP	„
17. Ureum + DCD	„
18. Ureum + Hydroquinon	„
19. Osmocote	„
20. Osmocote + DMPP	„
21. Osmocote + DCD	„
22. Entec26	„
23. FlexFS	„
24. FlexFS + DMPP	„
25. FlexFS + DCD	„
26. FlexFS + Hydroquinon	„

De behandelingen met KAS, ZA en Ureum kregen bovendien P en K toegediend conform bemestingsadvies.

⁵ Betekenis van de afkortingen: KAS, kalkammoniumsalpeter, bevat 13,5 % nitraat N en 13,5 % ammonium N; ZA, zwavelzure ammoniak; mest: rundermest; Entec bevat 7,5% nitraat N en 18,5% ammonium N; FlexFS: Flex Fertilizer System; DCD: dicyaandiamide; DMPP: 3,4-dimethylpyrazolefosfaat.

Objecten

De experimenten zijn uitgevoerd met intacte ringmonsters met een diameter en een hoogte van 5 cm die zijn gestoken uit een grasland op zandgrond te Heino bij Raalte en een grasland op kleigrond van de proefboerderij Ny Bosma Zathe en naar het laboratorium zijn gebracht. In het laboratorium zijn de bovengrondse delen van planten verwijderd. De grondmonsters zijn niet verder gedroogd en geïncubeerd bij het vochtpercentage zoals aangetroffen in het veld.

Replicaties

Per behandeling zijn drie potten gebruikt, en iedere pot bevatte drie ringen.

Incubatie

De potten zijn gedurende 7 dagen gepre-ïncubeerd voor acclimatisatie bij een constante temperatuur van 16°C, waarna de meststoffen en nitrificatieremmers samen toegevoegd werden in een hoeveelheid zoals hiervoor is aangegeven. De meststoffen zijn oppervlakkig toegediend; dierlijke mest is ingewerkt op een diepte van 2 cm. Bij de toevoeging zijn de richtlijnen en regels die fabrikanten voorschrijven over hun meststoffen opgevolgd. Na toevoeging van de meststoffen werden de gronden gedurende 30 dagen geïncubeerd bij 16°C. Het watergehalte van de gronden werd constant gehouden op het niveau dat de gronden hadden op het moment van monsternamen.

5 Vraagstelling

De hoofdvragen in het voorliggende onderzoek zijn (i) of nitrificatieremmers de emissie van N_2O beïnvloeden en zo ja, hoe, en (ii) of de “nieuwe” (“geavanceerde”) verkrijgbare minerale meststoffen de emissie van lachgas uit landbouwgronden kunnen verminderen.

Meer in detail zijn de vragen:

- Wat is het effect van de geselecteerde meststoffen op de emissie van lachgas?
- Is het effect van nitrificatieremmers verschillend in een klei- of zandgrond?
- Is het effect van de nitrificatieremmers hetzelfde voor alle geselecteerde meststoffen?
- Kunnen de geselecteerde nieuwe geavanceerde minerale meststoffen de vorming en emissie van lachgas verminderen of vertragen?
- Welke behandelingen zijn het meest interessant en relevant voor validatie van de laboratoriummetingen en opname in een veldproef?

De resultaten van de metingen worden in hoofdstuk 7 gerelateerd aan bovenstaande vragen.

6 Resultaten

In dit hoofdstuk zullen allereerst de resultaten op zand en klei op hoofdlijnen gepresenteerd worden. Daarbij worden eventuele verschillen in effect van meststoffen tussen zand- en kleigrond besproken en worden de verschillende meststoffen vergeleken. Hierbij zijn wij uitgegaan van de volgende veronderstellingen:

- Nitrificatieremmers beïnvloeden de emissie van lachgas omdat zij de vorming van nitraat vertragen waarbij minder lachgas uit nitrificatie wordt gevormd.
- Nitrificatieremmers houden stikstof in relatief stabiele minerale ammonium vorm langer beschikbaar in de bodem en bieden gewassen zo de mogelijkheid meer stikstof op te nemen; dit leidt tot geringe verliezen van lachgas als gevolg van vertraging en uiteindelijk minder nitrificatie en minder denitrificatie.
- In de laboratoriumscreening vindt geen opname van stikstof door gewassen plaats en hoopt stikstof uit mineralisatie uit dierlijke mest of slow release meststoffen zich op; indien de werking van nitrificatieremmers op langere termijn (meer dan 10 dagen) verdwijnt kan worden geconcludeerd dat de werkzaamheid van beperkte duur zal zijn onder veldomstandigheden.
- De afbraak van nitrificatieremmers is een microbiel proces en wordt in veldomstandigheden gestimuleerd door de aanwezigheid van plantenwortels en de substraten die beschikbaar komen uit exudatie en wortel *turnover* en uiteindelijk verdwijnt ook het effect op nitrificatie en denitrificatie.

6.1 Algemeen overzicht

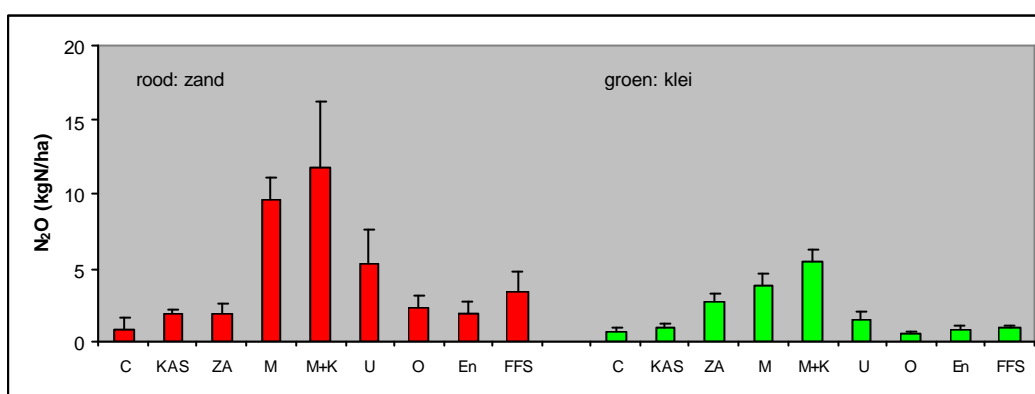
De emissies op zand waren gemiddeld bijna 2 maal en significant ($p < 0.05$) hoger dan op klei (4.86 op zand tegen 2.94 kgN/ha op klei) (Tabel 1). Op beide gronden was de emissie het hoogst bij gebruik van dierlijke mest in combinatie met kunstmest (Figuur 1). Op zand was de emissie van de moderne meststoffen (O, En of FFS) op hetzelfde niveau als van de traditionele kunstmest (KAS en ZA). Op klei was de emissie van de nieuwe kunstmestsoorten gelijk aan die uit KAS.

De toevoeging van nitrificatieremmers leidde gemiddeld tot een verlaging van de emissie van lachgas (3.62 kg N/ha) ten opzichte van mest zonder nitrificatieremmers (4.47 kg N/ha). Dit verschil is echter niet significant.

Dan was er een opvallend verschil in het effect van nitrificatieremmers tussen zand en kleigrond. In zandgrond leidde de toevoeging van DCD en DMPP tot een lagere emissie van lachgas van respectievelijk 2.8 en 4.0 kg N/ha ten opzichte van 5.0 kg N/ha voor mest zonder nitrificatieremmer. In kleigrond echter leidde dezelfde toevoeging van DCD en DMPP tot een emissie van lachgas van respectievelijk 2.1 en 2.6 kg N/ha. De emissie was lager voor DCD maar hoger voor DMPP dan de emissie uit mest alleen (2.3 kgN/ha).

In beide gronden hebben we individuele meststoffen gevonden die na toevoeging van een nitrificatieremmer een verhoogde productie van lachgas tot gevolg heeft. In zandgrond was in 3 van de 18 behandelingen sprake van een verhoging van de emissie van lachgaseigenlijk: na toevoeging van DCD of DMPP aan KAS en van HQ aan ureum. Voor de overige behandelingen was er sprake van een verlaging van de emissie van lachgas na toevoeging van een nitrificatieremmer; deze was alleen significant voor DCD aan dierlijke mest en DMPP aan FFS en HQ aan FFS.

In kleigrond was in de helft (9) van alle (18) behandelingen sprake van een verhoging van de emissie van lachgas; deze is significant hoger voor opnieuw DCD of DMPP aan KAS en van HQ aan ureum. De verlaging van de emissie in de andere helft van de behandelingen na toevoeging van een nitrificatieremmer is alleen significant voor de toevoeging van DCD aan ZA en aan FFS.



Figuur 1. De cumulatieve emissie van lachgas uit een zand- en een kleigrond 30 dagen na toevoegen van de traditionele meststoffen KAS, ZA, M, of M+Kas, dan wel de moderne meststoffen O, En, of FFS. Gegeven is het gemiddelde en de standaardafwijking ($n=3$).

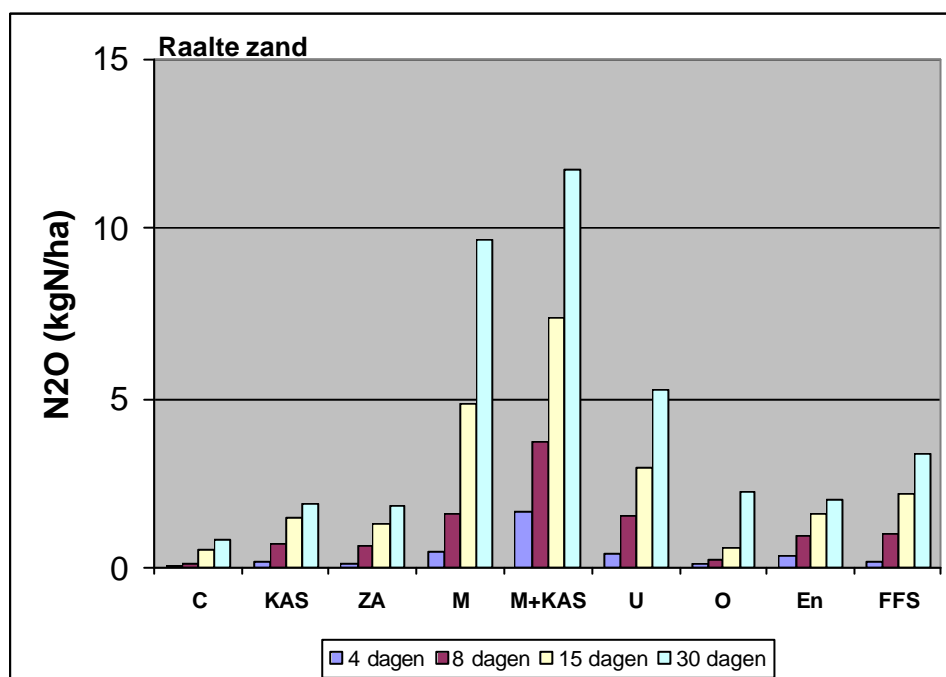
6.2 Zandgrond uit Raalte

Na 30 dagen varieerde de lachgasemissie tussen de 1 en 12 kgN/ha. De hoogste emissies werden gevonden voor de gronden die behandeld waren met dierlijke mest plus kunstmest. De emissie van N_2O vanuit de gronden die behandeld waren met de nieuwe meststoffen (Osmocote, Entec en FFS) waren gelijk aan of iets hoger dan de emissie uit de gronden behandeld met de gebruikelijke meststof KAS. Ureum leidde tot een hogere emissie van N_2O dan KAS.

Uit figuur 2 blijkt verder dat de emissie na bemesting met Osmocote de eerste 15 dagen achterbleef bij die van de andere behandelingen, maar na 15 dagen dusdanig hoog werd dat na 30 dagen de emissie zelfs boven die van KAS en ZA lag.

Tabel 1. De cumulatieve emissie van lachgas uit zand- en kleigrond na toevoegen van de verschillende meststoffen (KAS, ZA, U – ureum, M – dierlijke mest of een combinatie van KAS en M, dan wel O – Osmocote, En – Entec 26 of vloeibare mest FFS – Flex Fertilizer System; de emissie van lachgas (N₂O) is uitgedrukt in kg N per ha.

	zand				klei			
	N ₂ O (kgN/ha)				N ₂ O (kgN/ha)			
	DMPP	DCD	HQ		DMPP	DCD	HQ	
Controle	0.85	-	-	-	0.67	-	-	-
Idem+P en K	0.63	-	-	-	0.74	-	-	-
KAS	1.87	2.06	3.69	-	0.96	2.19	1.61	-
ZA	1.85	0.95	1.81	-	2.68	2.72	1.89	-
Mest	9.65	7.10	1.36	-	3.82	3.52	3.44	-
Mest + KAS	11.73	12.75	6.68	-	5.41	5.71	5.45	-
Urean	5.22	3.60	2.64	6.80	1.47	2.07	1.17	2.8
								1
Osmocote	2.23	1.38	0.81	-	0.55	0.78	0.4	-
FFS	3.34	1.30	2.13	1.38	0.99	1.00	0.45	0.8
								0
Entec	2.02	-	-	-	0.80	-	-	-



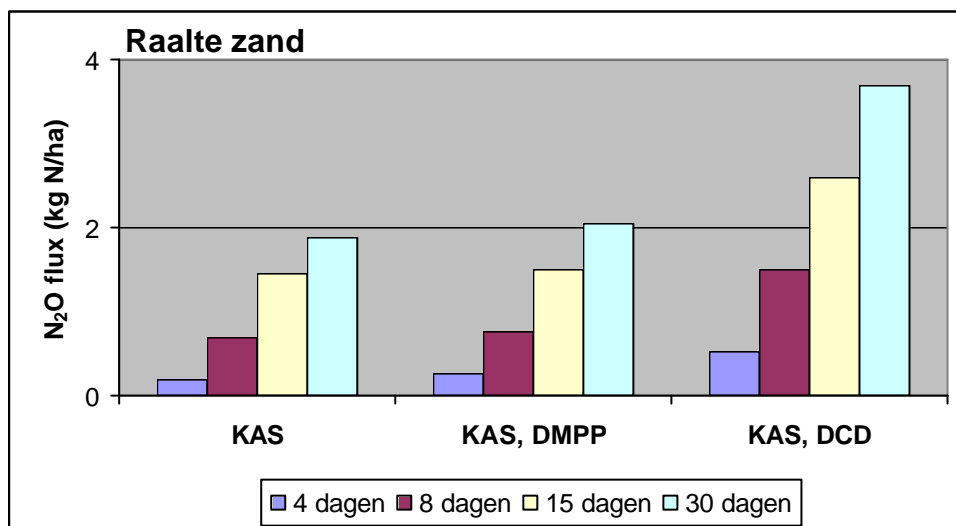
Figuur 2. De cumulatieve emissie van lachgas uit een zandgrond 4, 8, 15 en 30 dagen na toevoegen van de traditionele meststoffen KAS, ZA, M, of M+KAS, dan wel de moderne meststoffen O, En, of FFS.

Tabel 1 geeft een samenvatting van de resultaten. De keuze van de meststof heeft een groot effect op de emissie van lachgas uit deze zandgrond. De nieuwe meststoffen leiden niet tot een lagere emissie van lachgas dan de traditionele minerale meststoffen KAS en ZA. In combinatie met KAS heeft DMPP een averechts effect en leidt tot een hogere emissie van lachgas dan na toediening van alleen KAS. In de andere geteste combinaties leidt DMPP wel tot een verlaging van de emissie van

lachgas. DCD leidt niet tot een lagere lachgasemissie in combinatie met KAS of ZA, maar wel bij de andere geteste combinaties.

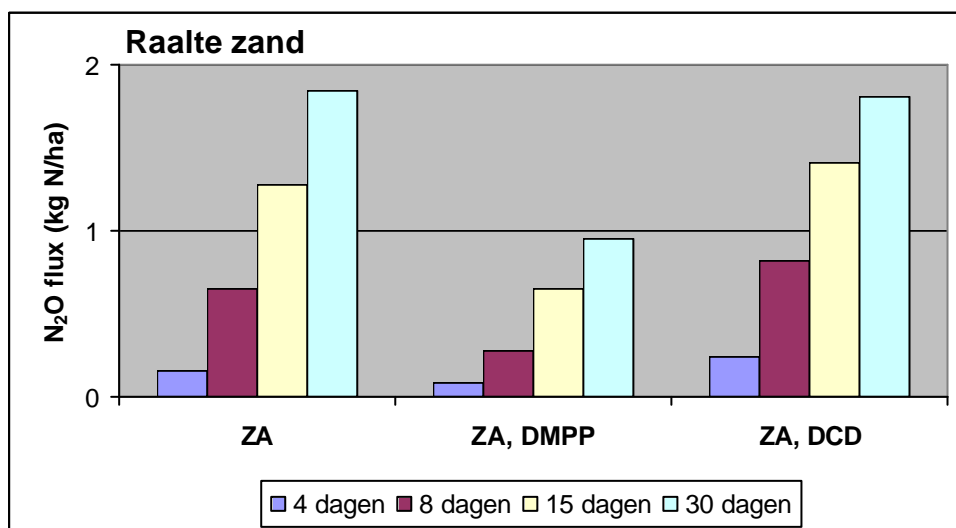
6.2.1 Het effect van nitrificatieremmers

Nitrificatieremmers hebben een wisselend effect. DMPP heeft geen effect op de emissie van lachgas uit KAS, terwijl DCD zelfs een averechts effect heeft en tot een hogere emissie van lachgas leidt (Figuur. 3).

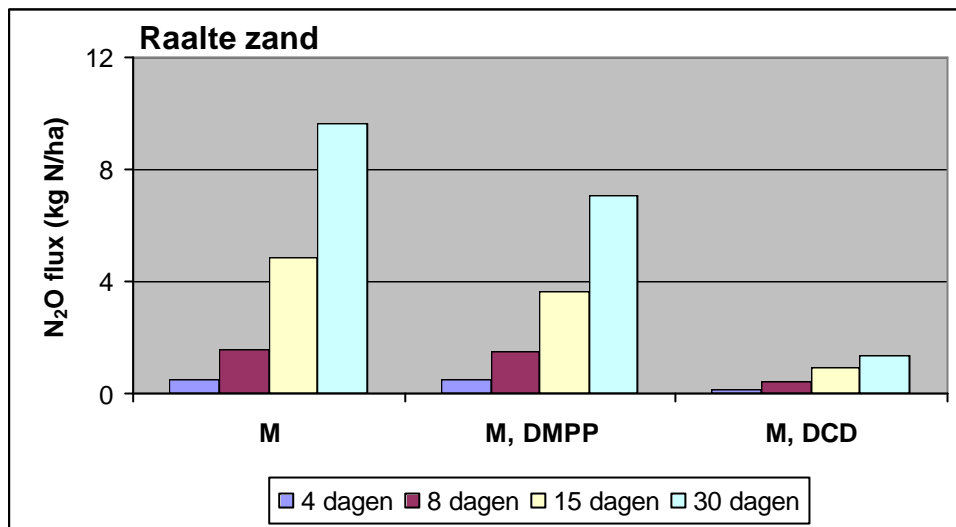


Figuur 3. Het effect van de nitrificatieremmers DMPP en DCD op de cumulatieve emissie van lachgas uit een zandgrond bemest met KAS.

Op de bemesting met ZA heeft DMPP wel een effect en leidt tot een vermindering van de vorming en emissie van lachgas maar DCD werkt hier niet (Figuur 4).

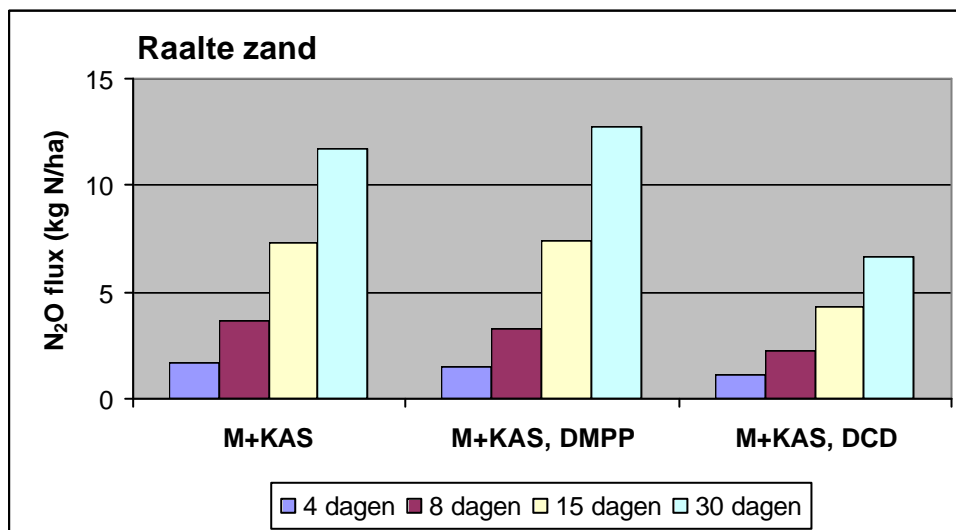


Figuur 4. Het effect van de nitrificatieremmers DMPP en DCD op de cumulatieve emissie van lachgas uit een zandgrond bemest met ZA.

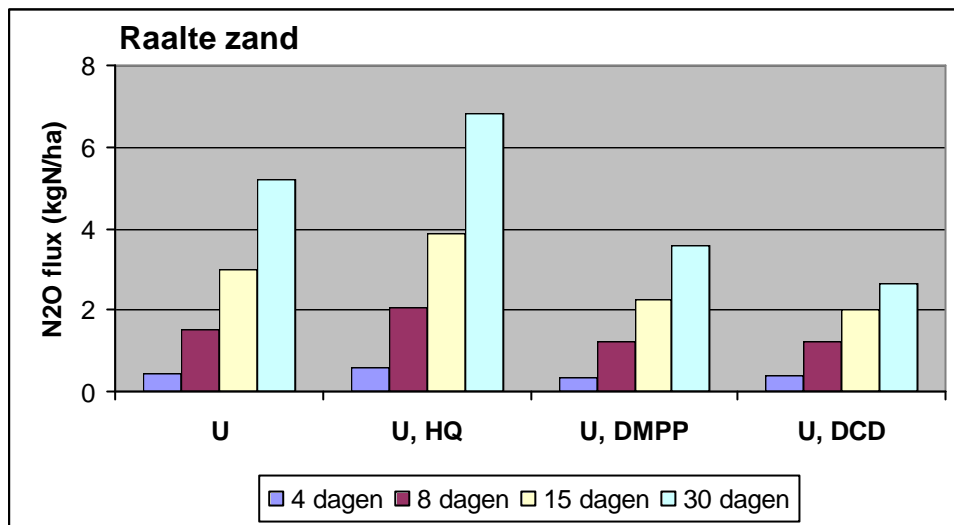


Figuur 5. Het effect van de nitrificatieremmers DMPP en DCD op de cumulatieve emissie van lachgas uit een zandgrond bemest met dierlijke mest.

Daarentegen heeft DCD op dierlijke mest een zeer overtuigend effect (Figuur 5); het effect van DMPP op de vorming van lachgas na toediening van dierlijke mest is minder groot en niet significant. Bij de combinatie van mest plus KAS leidt DCD tot een verlaging van de emissie van lachgas (Figuur 6). DMPP heeft hier geen effect.

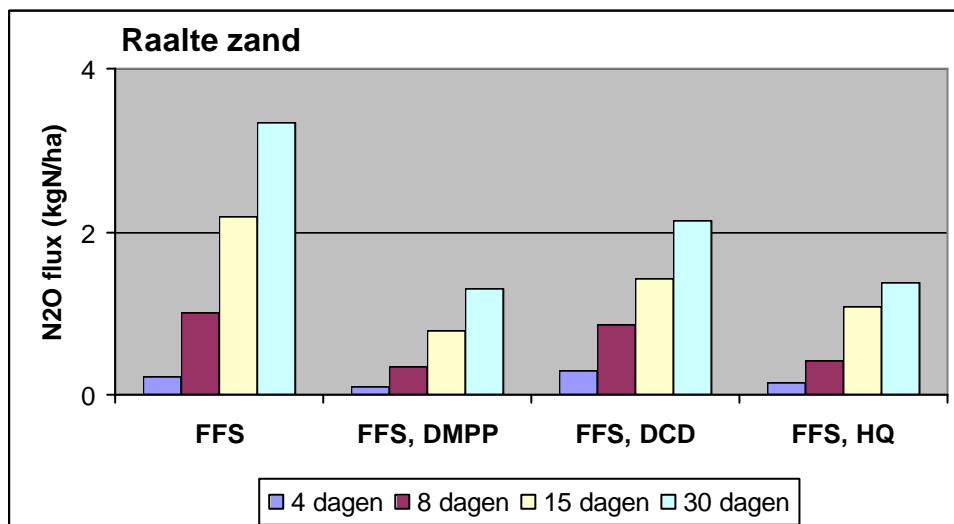


Figuur 6. Het effect van de nitrificatieremmers DMPP en DCD op de cumulatieve emissie van lachgas uit een zandgrond bemest met dierlijke mest plus KAS.



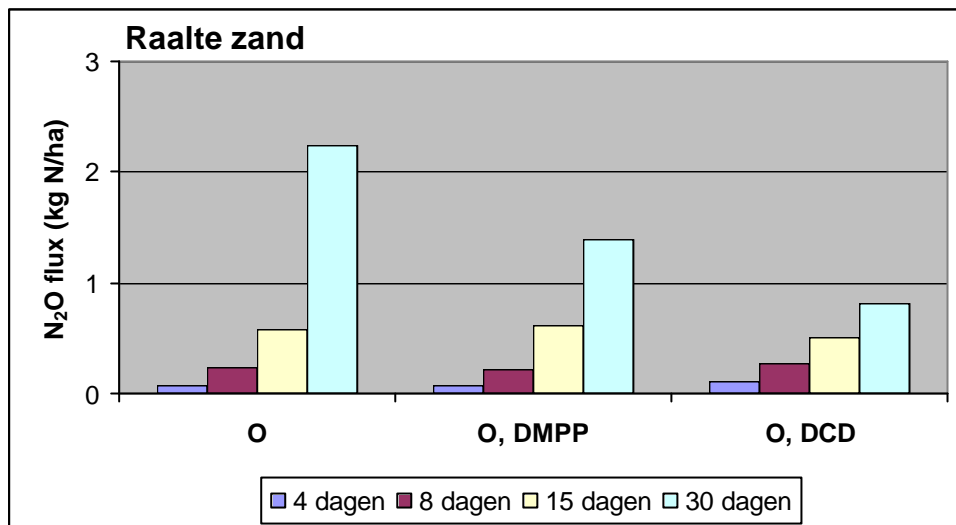
Figuur 7. Het effect van de nitrificatieremmers Hydroquinon, DMPP en DCD op de cumulatieve emissie van lachgas uit een zandgrond bemest met urean.

Op urean werken zowel DMPP als DCD (Figuur 7). De toevoeging van hydroquinon heeft geen effect op de emissie van lachgas.



Figuur 8. Het effect van de nitrificatieremmers Hydroquinon, DMPP en DCD op de cumulatieve emissie van lachgas uit een zandgrond bemest met FFS.

Op Flex Fertilizer System hebben alle drie de geteste nitrificatieremmers DMPP, DCD en hydroquinone een vermindering van emissie van lachgas tot gevolg en deze werking is blijvend gedurende de 30 dagen (Figuur 8).

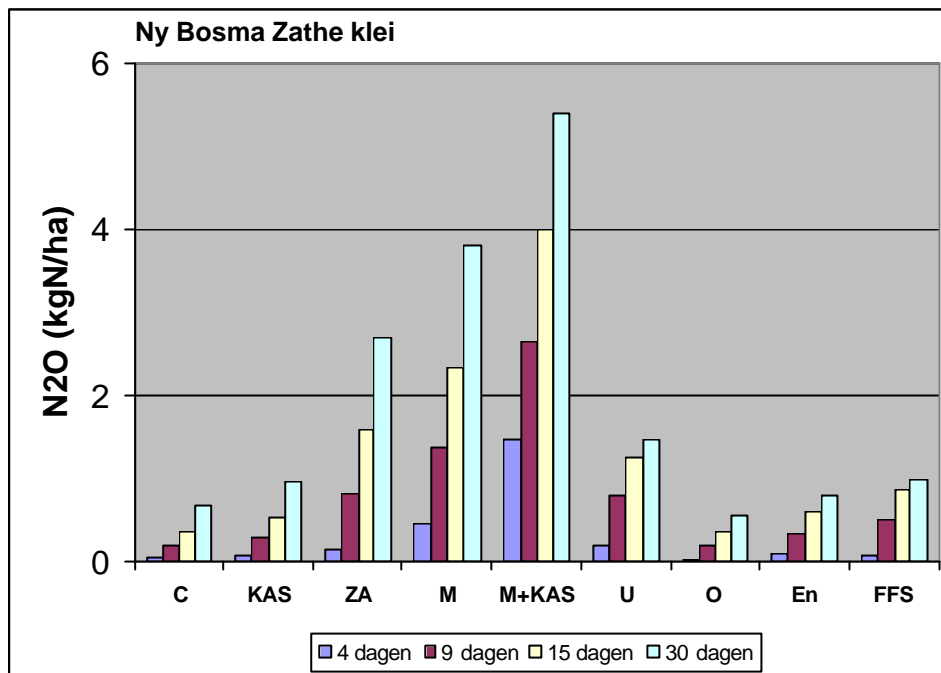


Figuur 9. Het effect van de nitrificatieremmers DMPP en DCD op de cumulatieve emissie van lachgas uit een zandgrond bemest met Osmocote.

Bij bemesting met Osmocote hebben DMPP en DCD pas na 15 dagen effect op de emissie van lachgas. Osmocote vertraagd de emissie van lachgas sterk gedurende de eerste 15 dagen na toevoeging en dit effect blijft merkbaar tot het einde van de incubatie na 30 dagen (Figuur 9).

6.3 Kleigrond uit Ny Bosma Zathe

Na 30 dagen bedraagt de lachgasemissie tussen de 0,6 en 5,4 kgN/ha (Figuur 10) en is lager dan de emissie uit zandgrond. De hoogste emissies werden gevonden in de grond die behandeld was met dierlijke mest plus kunstmest. De emissies vanuit de gronden die behandeld waren met de nieuwe meststoffen (O, En of FFS) waren gelijk aan of lager dan de emissie uit de gronden behandeld met de gebruikelijke meststof KAS. AZ en Ureum leiden tot een hogere emissie dan KAS. Tabel 1 geeft een samenvatting van de resultaten. De keuze van de meststof heeft effect op de emissie van lachgas uit deze kleigrond. De nieuwe meststoffen leiden tot een iets lagere emissie van lachgas dan de traditionele minerale meststoffen KAS en ZA. De nitrificatieremmers hebben geen of nauwelijks effect op de emissie van lachgas.



Figuur 10. De cumulatieve emissie van lachgas uit een kleigrond 4, 8, 15 en 30 dagen na toevoegen van de traditionele meststoffen KAS, ZA, M, of M+KAS, dan wel de moderne meststoffen O, En, of FFS.

7 Antwoord op onderzoeksvragen en conclusies

De hoofdvragen voor het voorliggende onderzoek zoals geformuleerd in hoofdstuk 5 waren: (i) of nitrificatieremmers de emissie van N₂O beïnvloeden en zo ja, hoe, en (ii) of het beter is de nieuwe (“geavanceerde”) commercieel verkrijgbare minerale meststoffen te gebruiken als men de emissie van lachgas uit landbouwgronden wil reduceren.

Meer in detail waren de vragen:

- Wat is het effect van de geselecteerde meststoffen en de toevoeging van nitrificatieremmers op de emissie van lachgas ?
- Is het effect van de nitrificatieremmers hetzelfde voor alle geselecteerde meststoffen en hetzelfde in een zand- of kleigrond?
- Kunnen de geselecteerde nieuwe geavanceerde minerale meststoffen de vorming en emissie van lachgas verminderen of vertragen?
- Welke behandelingen zijn het meest interessant en relevant voor validatie van de laboratoriummetingen en opname in een veldproef?

7.1 Beantwoording van de onderzoeksvragen

- Wat is het effect van de geselecteerde meststoffen en nitrificatieremmers op de emissie van lachgas?

De geselecteerde meststoffen en nitrificatieremmers beïnvloeden de emissie van N₂O. Het effect hangt af van de remmer, de grondsoort, en de gebruikte mestsoort. In zandgrond is er meestal sprake van verlaging van de emissie maar in kleigrond is er voor DMPP merendeels een verhoging maar voor DCD een verlaging van de emissie van lachgas..

- Is het effect van de nitrificatieremmers hetzelfde voor alle geselecteerde meststoffen?

Nee, de nitrificatieremmers leiden bij sommige meststoffen (bijvoor beeld KAS) tot een verhoging en bij andere meststoffen (dierlijke mest) tot een verlaging van de emissie van lachgas.

- Is het effect van de nitrificatieremmers verschillend in een klei- of zandgrond?

Ja, er is verschil in deze laboratoriumscreening. In de gebruikte kleigrond waren de emissies onverwacht lager dan in de zandgrond. Daarnaast was het effect van nitrificatieremmers op de emissie van lachgas in zandgrond vrij duidelijk (verlaging) maar in kleigrond ambivalent.

- Kunnen de geselecteerde nieuwe geavanceerde minerale meststoffen de vorming en emissie van lachgas verminderen of vertragen?

Het antwoord op deze vraag is eenduidig. Entec had geen effect op de vorming van lachgas vergeleken met KAS en dat is minder dan verwacht mocht worden op grond

van de buitenlandse literatuur, Osmocote remde de emissie van lachgas tijdelijk maar biedt daardoor in het veld bij opname van stikstof door een gewas zeer wel perspectief, en FFS gaf in zand een hogere emissie van lachgas. Uitspraken over effectiviteit in praktijksituaties kunnen pas gedaan worden na het uitvoeren van veldexperimenten.

- Welke behandelingen zijn het meest interessant voor de veldproef. Deze vraag wordt in hoofdstuk 8 behandeld (tabel 2).

7.2 Conclusies

De emissies uit individuele potten met 3 ringen zijn zeer variabel zodanig dat maar enkele behandelingen een significant effect te zien geven binnen de randvoorwaarden van de proef. Dit betreft zowel verhoging als verlaging van de emissie van lachgas na toevoeging van nitrificatieremmers aan meststoffen en grond.

Dit is het eerste onderzoek waarin een hele reeks nitrificatieremmers in een dezelfde studie tegelijkertijd is getoetst op hun effect op de productie van lachgas. Uit de variabele resultaten uit onze studie zou men kunnen afleiden dat studies met maar een nitrificatieremmer aanvechtbare conclusies kunnen leiden als gevolg van mogelijk zeer specifieke omstandigheden.

De toepassing van nieuwe minerale meststoffen leidt niet tot minder emissie van lachgas dan de toepassing van traditionele meststoffen

De toepassing van nitrificatieremmers in zandgrond leidt in 80% van de behandelingen tot een verlaging van de vorming van lachgas; deze verandering is slechts zelden significant verschillend van de normale behandeling zonder nitrificatieremmers.

Opvallend is dat het gebruik van KAS met nitrificatieremmers in de laboratoriumscreening in alle gevallen een verhoging van de emissie van lachgas ten opzichte KAS zonder nitrificatieremmers gaf; verder valt op dat ENTEC niet effectief is in deze laboratoriumscreening in een verlaging van de emissie van lachgas maar DMPP in sommige gevallen wel.

8 Opzet van veldexperimenten in Nederland

Na de laboratoriumscreening van de meststoffen is het uiteraard zinvol om te bezien of we tot aanpassing van de selectie van meststoffen en nitrificatieremmers en de keuze van grondsoorten moeten komen. Daarbij hanteren we de volgende criteria:

- De meststof en nitrificatieremmer dient commercieel verkrijgbaar te zijn
- De meststof en nitrificatieremmer wordt in de praktijk in Nederland of buitenland al gebruikt
- De meststof en nitrificatieremmer heeft een potentie om de vorming van lachgas te verminderen
- De (nieuwe) meststof leidt tot minder uitspoeling van nitraat en wordt als zodanig aangeprezen; dit kan in potentie leiden tot verhoogde denitrificatie en hogere emissie van lachgas.

Bij het definiëren van een veldonderzoek zijn we uitgegaan van ruimte ongeveer 15 behandelingen. Dit voorstel “Analyse van de vermindering van de emissie van lachgas bij toepassing van verschillende soorten kunstmest en dierlijke mest met toevoeging van nitrificatieremmer op bouw- en grasland” is ingediend bij NOVEM in 2002 als fase 2 en volgend op de hier gerapporteerde laboratoriumscreening.

Van de behandelingen is altijd een daarvan de nulbehandeling (geen stikstof, wel P en K). Dan blijft er ruimte over voor ongeveer 14 echte behandelingen. Dit zouden voorzover mogelijk allereerst de gangbare praktijk behandelingen KAS, ZA, dierlijke mest, en dierlijke mest + KAS moeten zijn. Ook ureum verdient aandacht omdat deze meststof nog steeds in de belangstelling staat. Daarnaast uiteraard de in het laboratorium geteste slow release meststoffen Osmocote en FFS, en tenslotte Entec. Laatstgenoemde niet zozeer omdat de laboratorium experimenten nu zo veelbelovend waren, maar omdat er in het buitenland in veldexperimenten zulke veelbelovende resultaten mee behaald zijn. Dit deel van de selectie geldt zowel voor zand als voor klei. Bij de selectie hebben we prioriteit gegeven aan die meststoffen en nitrificatieremmers die effect hebben op de emissie van lachgas.

Op zand gaf de nitrificatieremmer DMPP, waar Entec op gebaseerd is, in de laboratoriumscreening goede resultaten met ZA en FFS. De andere geteste nitrificatieremmer, DCD, gaf op zand in de laboratoriumscreening goede tot zeer goede resultaten met dierlijke mest, dierlijke mest +KAS, ureum, en Osmocote.

Op klei leidde in de laboratoriumscreening DMPP alleen in combinatie met Osmocote tot een verlaging van de emissie van lachgas. DCD werkte hier met name goed in combinatie met ZA en FFS. DCD had ook in combinatie met dierlijke mest en met ureum een positief effect (een verlaging van de emissie van lachgas) tot gevolg, dus als er ruimte voor is in de proefopzet zouden deze twee behandelingen ook meegenomen kunnen worden.

De bovenbeschreven selectie is voornamelijk gebaseerd op de resultaten van de laboratoriumscreening en van literatuuronderzoek en leidt tot 18 behandelingen (tabel 2). Een verdere beperking van de behandelingen zou kunnen door dierlijke mest + KAS te laten vervallen. De resultaten van het literatuuronderzoek hebben ook een rol gespeeld, met name bij de keuze voor Entec. De analyse van de beschikbare literatuur (hoofdstuk 3) naast de meetgegevens geeft geen aanleiding tot omvangrijke wijzigingen in de opzet voor een veldexperiment. De enige verandering die onzes inziens aangebracht moet worden is het opnemen van Entec in de proefopzet. In de buitenlandse literatuur worden met deze remmer onveranderd dusdanig goede resultaten behaald, dat het niet verstandig zou zijn om deze stof ook niet in Nederland te testen, ondanks het feit dat het gebruik van Entec in onze laboratoriumexperimenten niet leidde tot een reductie in de emissie van lachgas. Ook uit de resultaten van een Nederlandse studie van het Nutriënten Management Instituut NMI en Wageningen UR blijkt dat er een gerede kans is dat het gebruik van Entec kan leiden tot reductie van de emissie van N₂O onder veldomstandigheden (Bussink et al. 2003). Dit vermoeden is gebaseerd op de waarneming dat de N benutting in grasland zowel op zand als op klei hoger was bij het gebruik van Entec dan bij het gebruik van KAS en in ieder geval minder nitraat uitspoelt dan wel denitrificeert waarbij in beide gevallen lachgas ontstaat.

Geen van de nitrificatieremmers en nieuwe meststoffen worden momenteel in Nederland op grote schaal gebruikt. De indruk bestaat dat enkele ondernemers op kleine schaal experimenteren met de veelal duurere nieuwe meststoffen om de kosteneffectiviteit te analyseren. Alle genoemde meststoffen en nitrificatieremmers zijn commercieel verkrijgbaar in Nederland met uitzondering van DMPP.

In fase 2 zou bij voorkeur zowel op bouwland als op grasland en bij voorkeur op zandgrond metingen plaats moeten vinden. Het is waarschijnlijk dat eerder op zandgrond ter vermijding van uitspoeling van nitraat nitrificatieremmers en nieuwe meststoffen zullen worden toegepast.

Tabel 2 Geselecteerde 18 behandelingen voor een veldexperiment naar de effectiviteit van nitrificatieremmers en nieuwe meststoffen op de emissie van lachgas uit zandgrond in bouwland en grasland.

	Geen toevoeging	DMPP	DCD
Controle	×		
KAS			
ZA	×	×	×
Dierlijke mest	×	×	×
Dierlijke mest + KAS	×	×	×
Urean	×		×
Osmocote	×		×
Entec	×		
Flex Fertiliser System	×	×	×
	8	5	5

In een bespreking van het concept rapport in de begeleidingscommissie ROB in september 2003 is door leden aangegeven dat bij het vervolgonderzoek onder veldomstandigheden de volgende punten aandacht verdienen:

- onderscheid tussen voorjaars- en najaarstoediening – hierbij heeft najaarstoediening geen prioriteit omdat de praktijk kunstmest en in toenemende mate ook dierlijke mest in het voorjaar toedient
- de methode van toediening van de meststoffen conform praktijk omstandigheden
- de emissie van NH_3 en CO_2 en de opname van methaan
- de hoeveelheid N in de bodem
- de duur van de proef, dwz de proef voldoende lang laten duren om te controleren of er geen uitstel van lachgasemissie plaats vindt tot einde of zelfs na het groeiseizoen als bijvoorbeeld gewasresten achterblijven op het land en stikstofmineralisatie plaatsvindt
- onderscheid tussen toepassing in grasland en in bouwland; wij geven een hogere prioriteit aan de toepassing op bouwland en zandgrond
- de mogelijke invloed op het bodemleven van de toepassing van nitrificatieremmers, met name op langere termijn; het is waarschijnlijk dat dit punt alleen via aansluiting bij andere proeven kosteneffectief kan worden opgenomen en dat volstaan zou kunnen worden met testen van toxiciteit van nitrificatieremmers op bijvoorbeeld bodemademhaling

Er zijn in Nederland nog maar weinig veldproeven naar effectiviteit van toepassing van verschillende mestsoorten. Een realistische mogelijkheid bestaat bij waarnemingen aan verschillende vormen van mestaanwending op proefbedrijf De Marke. Mogelijk bieden waarnemingen aan effectiviteit van bewerkte dierlijke mest (vergisting of co-vergisting) in de nabije toekomst ook mogelijkheden voor validatie van de waarnemingen in deze laboratoriumscreening.

Literatuur

Abdel-Sabour, M.F., M.A. Massoud & P. Baveye, 1990. The effect of water movement on transport of dicyandiamide, ammonium and urea in unsaturated soils. *Z Pflanzenernaehr Bodenkd* 153:245-247.

Barth, G., S. v. Tucher & U. Schmidhalter, 2001. Influence of soil parameters on the effect of 3,4-dimethylpyrazole-phosphate as nitrification inhibitor. *Biol Fertil Soils* 34:98-102.

Bronson, K.K.F. & A.R. Mosier, 1994. Suppression of methane oxidation in aerobic soils by nitrogen fertilizer, nitrification inhibitors, and urease inhibitors. *Biol Fertil Soils* 17:263-268.

Bussink, D.W., H.C. de Boer, E.R. Boons-Prins & R.L.M. Schils, 2003. Toetsing voorjaarsmeststoffen op grasland; 2002. Rapport 807.01 Nutriënten Management Instituut NMI, Wageningen.

Delgado, J.A. & A.R. Mosier, 1996. Mitigation alternatives to decrease nitrous oxides emissions and urea-nitrogen loss and their effect on methane flux. *J Environ Qual* 25:1105-1111.

Di, H.J. & K.C. Cameron, 2002. The use of a nitrification inhibitor, dicyandiamide (DCD), to decrease nitrate leaching and nitrous oxide emissions in a simulated grazed and irrigated grassland. *Soil Use Management* 18:395-403.

Dittert, K., R. Bol, R. King, D. Chadwick & D. Hatch, 2001. Use of a novel nitrification inhibitor to reduce nitrous oxide emission from N-15-labelled dairy slurry injected into soil. *Rapid Commun Mass Spectro* 15:1291-1296.

Fettweis, U., W. Mittelstaedt, C. Schimansky & F. Führ, 2001. Lysimeter studies on the translocation of the ¹⁴C-labelled nitrification inhibitor DMPP in a gleyic cambisol. *Biol Fertil Soils* in press.

Linzmeier, W., U. Schmidhalter & R. Gutser, 1999. Wirkung von DMPP auf Nitrifikation und N-Verluste (Nitrat, NH₃, N₂O) von Düngerstickstoff im Vergleich zu DCD. *VDLUFA Schrifterreihe* 52:485-488.

Linzmeier, W., R. Gutser & U. Schmidhalter, 2001. Nitrous oxide emission from soils and from a nitrogen-15-labelled fertilizer with the new nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazolephosphate (DMPP). *Biol Fertil Soils* 34:103-108.

Macadam, X.M.B., A. del Prado, P. Merino, J.M. Estavillo, M. Pinto & C. González-Murua, 2003. Dicyandiamide and 3,4-dimethyl pyrazole phosphate decrease N₂O

emissions from grassland but dicyandiamide produces deleterious effects in clover. *J Plant Physiol* in press.

McTaggart, I.P., H. Clayton, J. Parker, L. Swan & K.A. Smith, 1997. Nitrous oxide emissions from grassland and spring barley, following N fertiliser application with and without nitrification inhibitors. *Biol Fertil Soils* 25:261-268.

McTaggart, I.P. & H. Tsuruta, 2003. The influence of controlled release fertilisers and the form of applied fertiliser nitrogen on nitrous oxide emissions from an andosol. *Nutr Cycl Agroecosyst* 67:47-54.

Majumdar, D., H. Pathak, S. Kumar & M.C. Jain, 2002. Nitrous oxide emission from a sandy loam Inceptisol under irrigated wheat in India as influenced by different nitrification inhibitors, *Agricult Ecosyst Environ* 91:283-293.

Merino, P., J.M. Estavillo, L.A. Graciolli, M. Pinto, M. Lacuesta, A. Munoz-Rueda & C. Gonzalez-Murua, 2002. Mitigation of N₂O emissions from grassland by nitrification inhibitor and Actilith F2 applied with fertilizer and cattle slurry *Soil Use Management* 18:135-141.

Muller, C., R.J. Stevens, R.J. Laughlin, F. Azam & J.C.G. Ottow, 2002. The nitrification inhibitor DMPP had no effect on denitrifying enzyme activity. *Soil Biol Biochem* 34: 1825-1827.

Pasda, G., R. Hähndel & W. Zerulla, 2001. Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. *Biol Fertil Soils* 34: 85-97.

Rajbanshi, S.S., G. Benckiser & J.C.G. Ottow, 1992. Effects of concentration, incubation temperature and repeated applications on degradation kinetics of dicyandiamide (DCD) in soils. *Biol Fertil Soils* 13:61-64.

Shoji, S., J. Delgado, A. Mosier & Y. Miura, 2001. Use of controlled release fertilizers and nitrification inhibitors to increase nitrogen use efficiency and to conserve air and water quality. *Commun Soil Sci Plant Anal* 32:1051-1070.

Smith, K.A., I.P. McTaggart & H. Tsuruta. 1997. Emissions of N₂O and NO associated with nitrogen fertilisation in intensive agriculture, and the potential for mitigation. *Soil Use Management* 13:296-304.

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. *Nutr Cycling Agroecosyst* 46:257-267.

Weiske, A., G. Benckiser & J.C.G. Ottow, 2001. Effect of the new nitrification inhibitor DMPP in comparison to DCD on nitrous oxide (N₂O) emissions and

methane (CH₄) oxidation during 3 years of repeated applications in field experiments. *Nutr Cycling Agroecosyst* 60: 57-64.

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. *Biol Fertil Soils* 34: 109-117.

Zerulla, W., T. Barth, J. Dressel, K. Erhardt, K.H. von Locquenghien, G. Pasda, M. Rädle & A.H. Wissemeier, 2001. 3,4-Dimethylpyrazole phosphate (DMPP) - a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture - An introduction. *Biol Fertil Soils* 34: 79-84.

