Beperking van lachgasemissie als gevolg van toepassing van gewasresten

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

360.1 Beperking van lachgasemissie uit beweid grasland
360.2 Beperking van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden
360.3 Beperking van lachgasemissie door gebruik van klaver in grasland
360.4 Beperking van lachgasemissie door gebruik van klaver in grasland
360.5 Beperking van lachgasemissie bij het scheuren van grasland
360.6 Beperking van lachgasemissie door waterbeheer

Onderzoek uitgevoerd in opdracht van NOVEM, Utrecht (nummer 374299/0031 en 0373-01-01-02-003/4700001165)

Beperking van lachgasemissie als gevolg van toepassing van gewasresten

Eindrapportage Reductieplan Overige Broeikasgassen

J. Dolfing
G.L. Velthof
P.J. Kuikman

Alterra

Alterra-rapport 560.3

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

REFERAAT

Dolfing, J., G.L. Velthof en P.J. Kuikman, 2002. *Beperking van lachgasemissie als gevolg van toepassing van gewasresten. Eindrapport Reductieplan Overige Broeikasgassen Landbouw Cluster 1.* Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 560.3. 44 blz. 6 fig.; 3 tab.; 5 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) als gevolg van het toepassen van gewasresten bestudeerd. In de periode tussen augustus 2000 en juli 2002 zijn door middel van incubatie- en veldproeven de effecten van een aantal maatregelen 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. Perspectiefvolle maatregelen om de N_2O-emissie te verminderen zijn i) het verwijderen van stikstofrijke gewasresten, met name op zand, en ii) het verlagen van stikstofbemesting in de vorm van precisiebemesting, een no-regret maatregel die momenteel o.a. als gevolg van MINAS so-wie-so snel aan populariteit wint..
De geschatte effectiviteit van het verwijderen van verwijderen van de gewasresten van suikerbieten op zand is op nationaal niveau tot een reductie van 0,05 Mton CO_2-equivalenten per jaar. De kosten van deze maatregel zijn relatief gering (~ 30 Euro per ton CO2-equivalenten per jaar). 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, gewasresten, lachgas, landbouw, stikstof

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 13,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 560.3. 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

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 en doelstelling 11

2 Sturende factoren 13

3 Overzicht maatregelen en kennishiaten 15

4 Onderbouwing van de effectiviteit van maatregelen op basis experimenteel onderzoek, deskstudies en literatuur 17
4.1 Emissies uit stikstofrijke en –arme gewasresten 17
4.2 Effecten van bewerking: het verwijderen van gewasresten dan wel het combineren van stikstofarme en –rijke gewasresten 21
4.3 Inwerken van gewasresten in de grond 23
4.4 Telen van wintergewassen 25

5 Nieuwe inzichten 27

6 Evaluatie van maatregelen 29

7 Selectie van perspectiefvolle maatregelen 33

8 Conclusies 37
8.1 Perspectiefvolle maatregelen 37
8.1.1 Verlaging van stikstofbemesting 37
8.1.2 Geen najaarstoediening van dierlijke mest 38
8.1.3 Verwijderen van gewasresten 38
8.2 Minder perspectiefvolle maatregelen 38
8.3 Slotopmerkingen 38

Literatuur 41

Aanhangsels
1 Overzicht uitgevoerd experimenteel onderzoek 43

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 1.3 (Vermindering van de lachgasemissie als gevolg van de toepassing van gewasresten) zijn de mogelijkheden voor het verminderen van de lachgasemissie die het directe gevolg zijn van de toepassing en het beheer vann gewasresten in 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-project *gewasresten* zijn incubatieproeven en veldproeven op grasland en bouwland op verschillende locaties uitgevoerd waarin de volgende maatregelen zijn onderzocht:

- onderscheid tussen N-rijke en N-arme gewasresten;
- verwijderen van gewasresten ;
- combineren van N-rijke en N-arme gewasresten;
- inwerken van gewasresten in de grond;
- de inzet van wintergewassen.

Uit laboratoriumonderzoek bleek dat de N_2O-emissie uit N-arme gewasresten van tarwe, gerst en maïs niet significant verschillend was van die van de controle (=geen gewasresten). De emissie uit N-rijke gewasresten, zoals witte kool, spruitkool, mosterd, suikerbietenblad en broccoli was daarentegen wel veel hoger dan de emissie uit de controle. De grote verschillen in N_2O-emissie tussen de gewasresten in de laboratorium screening geven aan dat het zinvol is om maatregelen vooral te richten op N-rijke gewasresten, zoals suikerbietenblad en koolsoorten, en dat N-arme producten zoals stro geen belangrijke bron van N_2O zijn.

Niet alleen eigenschappen van gewasresten maar ook bodemfactoren spelen een rol. De emissies uit de zandgrond waren (in de laboratoriumproeven) veel hoger (emissiefactor 0,13 – 14,6 procent van de stikstof in de gewasresten) dan die uit de kleigrond (emissiefactor < 1 procent). Dit verschil tussen grondsoorten werd waarschijnlijk veroorzaakt door verschillen in zuurstofgehalte, denitrificatie en de N_2O/N_2-verhouding van de denitrificatieproducten, maar hierover zijn geen experimentele gegevens verzameld.

De in laboratoriumproeven gevonden hogere emissie vanuitgewasresten op zandgronden in vergelijking met kleigronden werd ook in veldproeven waargenomen.. Het verwijderen van de betrekkelijk stokstofrijke gewasresten van suikerbieten leidde op zand tot een reductie van de emissie van lachgas van 0,9 kgN/ha tot 0,4 kgN/ha. Op klei was de reductie geringer: van 0,36 kgN/ha naar 0,29 kgN/ha. Op beide gronden leidde ook het toevoegen van stro tot een reductie van de lachgasemissie: op zand van 0,9 kgN/ha naar 0,6 kgN/ha en op klei van 0,36 kgN/ha naar 0,31 kgN/ha. Welke van de twee alternatieven de voorkeur verdient hangt af van de alternatieve bestemming van de verwijderde gewasresten, en de energie die het kost om de gewasresten te verwijderen c.q. stro te transporteren en toe te voegen.

Na het verbouwen van suikerbieten op zand kwam uit velden waar de gewasresten op het land waren achtergelaten 0,9 kgN/ha vrij als N_2O. Twee derde van deze hoeveelheid kwam vrij tijdens de eerste twee maanden na de oogst. Onderploegen van deze gewasresten leidde aanvankelijk tot een aanzienlijk lagere lachgasemissie, maar na een dag of 50 kwam de emissie goed op gang. Uiteindelijk was, na 200 dagen, de emissie vanuit de velden die geploegd waren gelijk aan die vanuit de velden die niet geploegd waren. Onderploegen van (stikstofrijke) gewasresten zoals suikerbieten heeft op zand dus geen invloed op de emissie van lachgas en is dus geen management optie als het gaat om het verminderen van de lachgasemissie.

Na het verbouwen van suikerbieten op klei was, wanneer de gewasresten op het land achterbleven, de lachgasemissie vanuit percelen die op een diepte van 25 cm geploegd waren lager dan de emissie vanuit percelen die op dieptes van respectievelijk 7 cm en 12 cm geploegd waren. Een mogelijke maatregel om de emissie van lachgas te beperken is dan ook conventioneel (blijven) ploegen. Hierbij moet wel aangetekend worden dat de hoeveelheden lachgas die in de meetperiode geëmitteerd werden vrij gering waren. De hoeveelheid lachgas die tijdens de teelt van de suikerbieten zelf geëmitteerd werd is niet gemeten. Deze emissie is mogelijk aanzienlijk hoger en het hoeft niet zo te zijn dat de emissie ook in dit geval in de conventioneel geploegde percelen het laagst was. Tenslotte moet bij beide experimenten de kanttekening gemaakt worden dat alleen de rechtstreekse emissie van N_2O is gemeten. De indirecte emissie vanuit uitgespoelde stikstof (vnl. nitraat) is niet gemeten.

Het telen van gele mosterd als wintergewas in combinatie met het toedienen van dierlijke mest in het najaar aan braakliggend bouwland op zand leidde tot een N_2O-emissie van 5 kgN/ha. Vergeleken met de situatie waarin geen gele mosterd geteld werd was dit een verhoging van 1 kgN/ha. In een vergelijkbare proef op klei waren de emissies duidelijk lager en had het telen van gele mosterd nauwelijks invloed op de N_2O-emissie.

Conclusies

Verwijderen van de (stikstofrijke) gewasresten van suikerbieten leidt op zand tot een reductie in de emissie van lachgas. Dit maakt, met een aantal nuanceringen, het verwijderen van gewasresten tot een perspectiefvolle maatregel. Deze nuanceringen

zijn dat het vooralsnog voornamelijk, zo niet uitsluitend, zandgronden betreft, en dat het moet gaan om stikstofrijke gewasresten (suikerbieten en koolsoorten). Deze beperkingen leiden ertoe dat de haalbare reductie in CO_2-equivalenten nu geschat moet worden op slechts 50 kton CO_2-equivalenten tegen een eerder schatting in de systeemanalyse van 220 kton. De kosten van deze maatregel zijn relatief gering (~70 gulden per ton CO_2-equivalenten per jaar).

Het aanpassen van de grondbewerking, het telen van wintergewassen, het verwijderen van gewasresten met het doel deze te composteren, en het mengen van N-arme met N-rijke gewasresten bieden vooralsnog weinig perspectief als management opties voor het reduceren van lachgasemissie vanuit de landbouw. Het aanpassen van grondbewerking, het telen van wintergewassen en het mengen van N-arme met N-rijke gewasresten leidde in veldexperimenten niet of nauwelijks tot reductie in de emissie van lachgas, terwijl het afvoeren van gewasresten met het doel ze te composteren leidt tot te veel vooralsnog slecht gekwantificeerde risico's op afwenteling naar de emissie van andere gassen (CH_4 en NH_3). Bij het afvoeren van gewasresten verdient het dan ook de voorkeur deze te gebruiken als veevoer.

Tenslotte

De kwantificering van N_2O-emissie middels emissiefactoren (zoals bijvoorbeeld door IPCC gebruikt) kan sterk worden verbeterd indien rekening wordt gehouden met het soort gewasrest. Hierbij kan gedacht worden aan drie groepen van gewasresten: i) gewasresten met een lage emissies (<0,5%) zoals stro van granen, ii) gewasresten met een hoge emissie (>1,5%) zoals de N-rijke gewasresten van groentegewassen en vlinderbloemigen, en iii) gewasresten met een 'gemiddelde' emissie (0,5 – 1,5%) zoals loof van aardappelen.

Het verlagen van de stikstofbemesting is, in de vorm van precisiebemesting, een *no-regret* maatregel die momenteel, o.a. als gevolg van MINAS, snel aan populariteit wint. De trend is om meer op het scherp van de snede te bemesten, en dit leidt al tot een autonome reductie in de emissie van lachgas vanuit de landbouw. Additionele maatregelen zijn onder deze omstandigheden niet opportuun. Wel is het aanbevelenswaardig om binnen ROB-agro middels veldmetingen de emissiefactoren voor verschillende typen 'onder MINAS geteelde' gewasresten te kwantificeren, zeker ook gezien de tendens om deze potentiële bron expliciet op te nemen in rapportages aan IPCC. De emissies op zand zijn het hoogst, maar voor complete rapportage zijn ook emissiefactoren op klei noodzakelijk. Deze gradaties dienen mee te spelen bij het opzetten van de desbetreffende onderzoekslijn. Verder is het van belang om na te gaan wat de invloed is van gewasresten op de denitrificatiecapaciteit van de bodem, en de daarmee samenhangende nitraatuitspoeling. Deze vraag duikt op bij alle varianten betreffende het management van gewasresten, en is ook uit meer fundamenteel bodembiologisch gezichtspunt interessant.

1 Inleiding en doelstelling

In het kader van Cluster 1 (Best Management Practices) van het Reductie Plan Overige Broeikasgassen (ROB Landbouw) wordt een vermindering van de lachgasemissie uit verschillende bronnen beoogd door middel van het ontwikkelen en toetsen van maatregelen. In het kader van het ROB-project 1.3 (Vermindering van de lachgasemissie als gevolg van de toepassing van gewasresten) worden mogelijkheden voor het verminderen van de lachgasemissie die het directe gevolg zijn van de toepassing en beheer van gewasresten in landbouwgronden bestudeerd.

In 2000 is een systeemanalyse uitgevoerd met daarin een overzicht van de sturende factoren bij N_2O-emissie uit gewasresten op landbouwgronden (Velthof et al., 2000). Hierin zijn emissies uit gewasresten gekwantificeerd en is een aantal opties voor beheer van gewasresten beschreven die ieder leiden tot een vermindering van de emissies van N_2O. Deze maatregelen zijn geanalyseerd op (kosten)effectiviteit.

Op basis van de systeemanalyse, adviezen van de begeleidingscommissie[1] van ROB Landbouw en mogelijkheden tot aansluiten bij lopend onderzoek is in de periode augustus 2000 – juli 2002 (experimenteel) onderzoek uitgevoerd. In dit rapport worden de belangrijkste resultaten van het onderzoek gepresenteerd tegen het licht van de eerder gedefinieerde opties voor beheer en concrete maatregelen.

In hoofdstuk 2 wordt in het kort ingegaan op de sturende factoren bij N_2O-emissie uit gewasresten.
In hoofdstuk 3 wordt een overzicht gegeven van de in de systeemanalyse aangegeven potentiële maatregelen en kennishiaten, alsmede een overzicht van de maatregelen waarna aanvullende 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 zijn in een aparte bijlage bijgevoegd.
In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op nieuwe inzichten of andere potentiële maatregelen die door het in hoofdstuk 4 beschreven aanvullende onderzoek zijn verkregen. Hoofdstuk 6 behandelt en kwantificeert het mogelijke risico op afwenteling naar andere broeikasgassen (TEWI) of andere verbindingen (ammoniak en nitraat).
De integratie van de systeemanalyse en het (experimentele) onderzoek in kader van ROB vindt plaats in hoofdstuk 7. In dit hoofdstuk worden de meest perspectiefvolle maatregelen gedefinieerd, rekening houdend met de effectiviteit, risico op afwenteling, kostenefficiëntie, controleerbaarheid, handhaafbaarheid en draagvlak bij boeren. Tevens worden de belangrijkste kennishiaten aangegeven waaraan in een mogelijk vervolg van ROB aandacht aan besteed zou moeten worden.

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

2 Sturende factoren

Om effectieve maatregelen te ontwikkelen die leiden tot een significante vermindering van de N_2O-emissie uit gewasresten moeten de kritische teelten, tijdstippen en handelingen worden vastgesteld. Uit de systeemanalyse is geconcludeerd dat de volgende teelten en handelingen belangrijk zijn bij het opstellen van maatregelen voor het beperken van de N_2O-emissie uit gewasresten:

- Gewassen met een groot areaal in Nederland: suikerbieten, snijmaïs, wintertarwe en aardappelen.
- Gewassen die na de oogst veel stikstof achterlaten in de gewasresten en een relatief lage C/N-verhouding hebben: suikerbieten, koolsoorten en bladgroenten en relatief lage C/N-verhouding hebben.
- Gewassen die veel stikstof in de bodem achterlaten na de oogst: aardappelen, koolsoorten, bladgroenten en andere vollegrondsgroentegewassen.
- Bemesting van het gewas.
- Najaarstoediening van dierlijke mest.
- Grondbewerking.
- Teelt van een volgend gewas of eventueel wintergewas.
- Drainage van de bodem.

De emissies uit gewasresten zijn sterk gerelateerd met emissies uit bemesting (zie Velthof et al., 2002, eindrapport project 1.2 over bemesting)omdat veelal tezamen met gewasresten dan wel bemest wordt (dierlijke of kunstmest) dan wel effecten zijn te verwachten op de omvang van de benodigde bemesting.

3 Overzicht maatregelen en kennishiaten

Er zijn vijf (combinaties van) perspectiefvolle maatregelen rond gewasresten beschreven in de systeemanalyse (Velthof et al., 2000; aanhangsel 4) die tot een lagere N_2O-emissie kunnen leiden (zie tabellen 5 en 6 en aanhangsel 14 in Velthof et al., 2000):

- verlaging van de stikstofbemesting en rekening houden met de stikstofwerking van dierlijke mest bij de stikstofgift;
- afvoeren van stikstofrijke gewasresten zoals suikerbietenblad en blad van koolsoorten: deze zouden kunnen worden gecomposteerd of voor ander gebruik worden afgevoerd;
- uitstellen van grondbewerking tot het voorjaar;
- geen najaarstoediening dierlijke mest;
- mengen van tarwe stro en suikerbietenblad.

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

- kwantificeren van de lachgasemissie uit verschillende kunstmesten en verschillend samengestelde dierlijke mesten onder verschillende omstandigheden en bij verschillende gewassen;
- kwantificeren van de relatie tussen stikstofgift en lachgasemissie;
- integrale studies (inclusief TEWI-benadering) naar het gebruik van mest, waarin de effecten op lachgas- en methaanemissie, nitraatuitspoeling en ammoniakemissie worden bestudeerd.

In dit eindrapport worden gegevens gebruikt uit een aantal meetcampagnes in de periode najaar 2000 - voorjaar 2002. Deze experimenten zijn en worden gerapporteerd in de vorm van wetenschappelijke publicatie en rapporten (zie bijlage 1 voor experimenten en metingen en productenlijst).

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

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

De volgende maatregelen worden achtereenvolgend behandeld:

- Onderscheid maken tussen emissies uit N-rijke en N-arme gewasresten op basis van verschillende emissiefactoren voor groepen van gewasresten (4.1)
- Afvoeren van stikstofrijke gewasresten zoals suikerbietenblad en blad van koolsoorten: deze zouden kunnen worden gecomposteerd of voor ander gebruik worden afgevoerd (4.2)
- Mengen van tarwe stro en suikerbietenblad.(4.2)
- Inwerken van gewasresten in de grond.(4.3)
- Inzet van wintergewassen op bouwland bij toepassing van dierlijke mest direct na de oogst (zie eindrapport bemesting Velthof, hoofdstuk 4.10)
- Leidt de inzet van wintergewassen tot uitgestelde emissies in het daaropvolgende voorjaar (4.4)?

4.1 Emissies uit stikstofrijke en –arme gewasresten

Achtergrond

Er bestaan grote verschillen in samenstelling tussen gewasresten (afbreekbaarheid, koolstofgehalte, stikstofgehalte) en deze hebben naar verwachting een groot effect op de lachgasemissie die volgt op onderwerken van gewasresten. Er is echter weinig bekend over de effecten van verschillende soorten gewasresten op lachgasemissie; IPCC gebruikt daarom één emissiefactor voor alle soorten gewasresten. Ook zijn de interacties tussen gewasresten en het minerale N-gehalte van de bodem, vochtgehalte en grondsoort nooit onderzocht. Inzicht in de relatie tussen stikstofgehalte van gewasresten en emissie van lachgas en tussen bodemparameters maakt het mogelijk om effectieve maatregelen ter vermindering van de emissie van lachgas te ontwikkelen Daarom is een proef uitgevoerd waarin de N_2O-emissie uit 10 verschillende gewasresten bij twee grondsoorten en twee minerale N-gehalten gekwantificeerd en vergeleken werd.

Werkwijze

Er werd een laboratoriumproef onder gecontroleerde omstandigheden (20 ^{o}C) uitgevoerd. Gewasresten werden in het najaar van 1999 verzameld, lucht gedroogd en bewaard tot de start van de proef. De N_2O- en CO_2-productie uit de gewasresten werd 25 keer bepaald gedurende 10 weken na toediening aan een klei- en zandgrond.

Resultaten

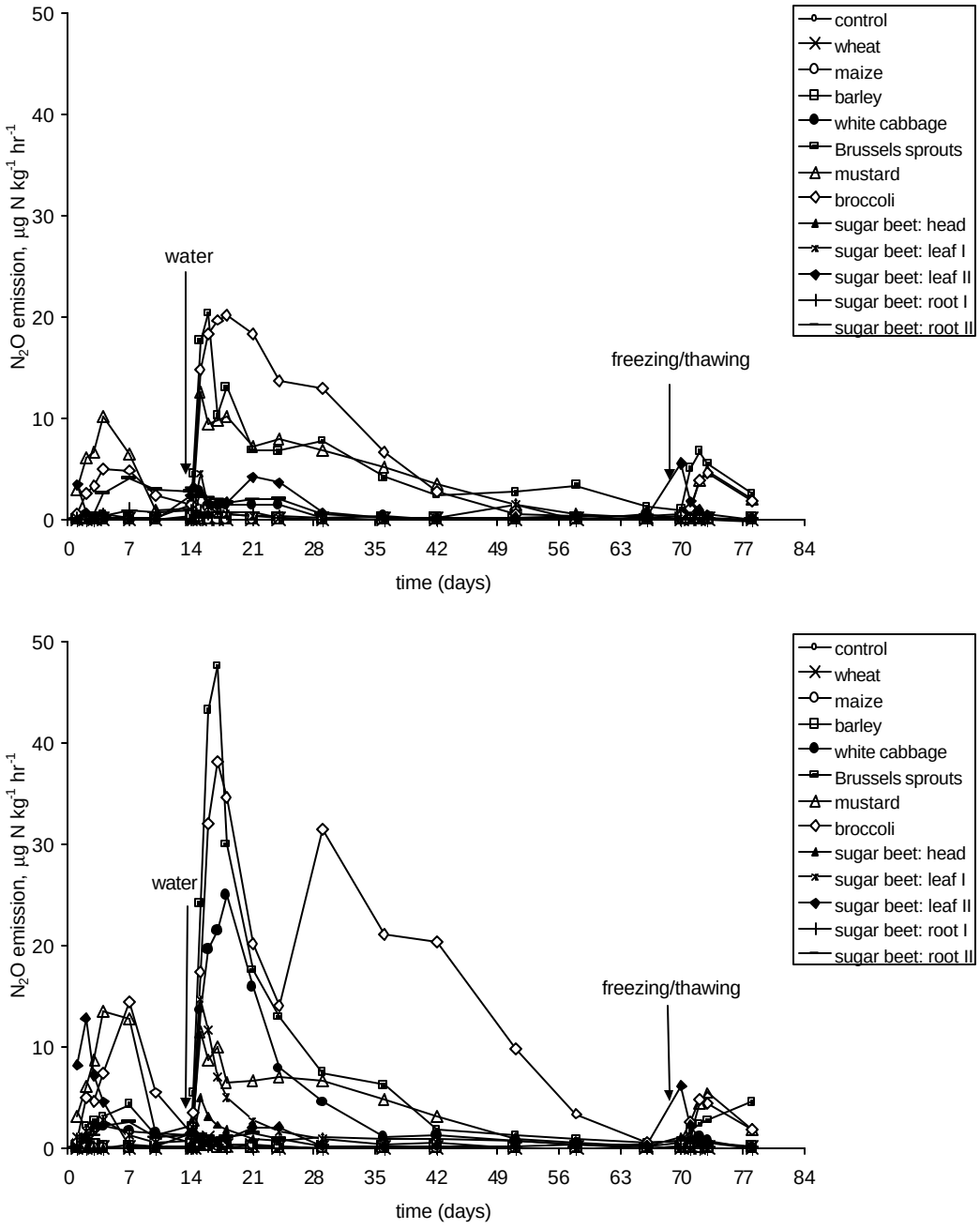
De N_2O-emissie uit N-arme gewasresten van tarwe, gerst en maïs was niet significant verschillend van de controle (=geen gewasresten) (Figuur 1). De emissie van lachgas uit N-rijke gewasresten, zoals witte kool, spruitkool, mosterd, suikerbietenblad en broccoli was veel hoger dan de emissie uit de controle of N-arme gewasresten (zie ook publicatie Velthof et al., 2001 over dit onderwerp die is geaccepteerd voor publicatie in Nutrient Cycling in Agroecosystems).

Niet alleen eigenschappen van gewasresten maar ook bodemfactoren spelen een rol. De emissies uit de zandgrond waren veel hoger (emissiefactor 0.13 – 14.6 procent van de stikstof in de gewasresten) dan die uit de kleigrond (emissiefactor < 1 procent). Dit verschil tussen grondsoorten werd waarschijnlijk veroorzaakt door verschillen in zuurstofgehalte, denitrificatie en de N_2O/N_2-verhouding van de denitrificatieproducten, maar hierover zijn geen experimentele gegevens verzameld. Zowel watergift, om regenval te simuleren, als bevriezen en ontdooien, om een winterperiode te simuleren, hebben een tijdelijk stimulerend effect op de emissie van lachgas uit de zandgrond. Het toevoegen van nitraat (Figuur 2) had op zandgrond, waar nitraat onmiddellijk na de start van de proef was toegediend, meer effect op de lachgasemissie dan op kleigrond, waar nitraat 27 dagen na de start was toegevoegd om het effect van een late najaarspiek in bodem nitraat te simuleren. Blijkbaar was nitraat geen controlerende factor voor de lachgasemissie uit klei.

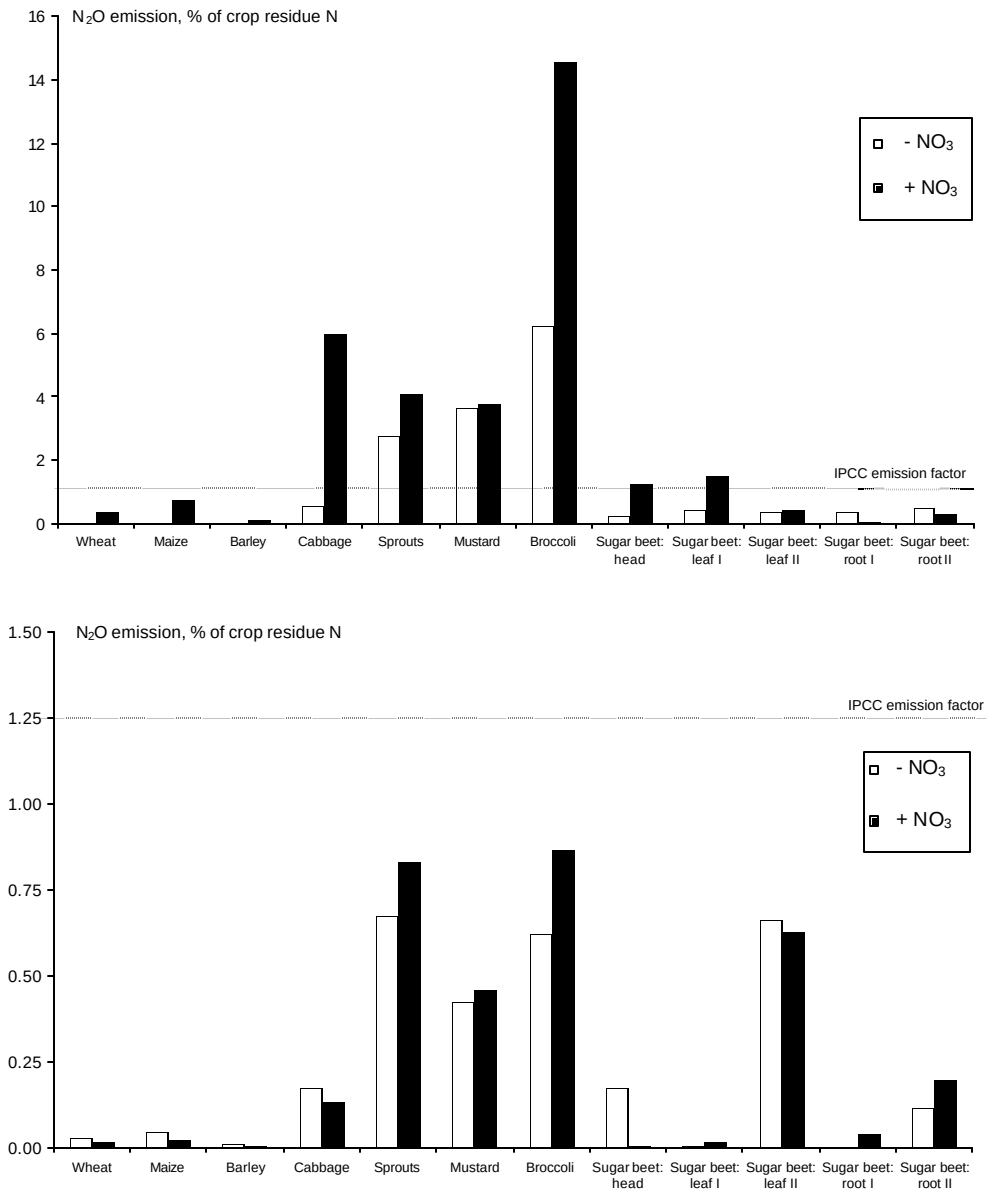
In verschillende veldmetingen binnen ROB zijn ook emissies van lachgas bepaald bij gewasresten van gerst (stikstofarm), gras en suikerbieten (stikstofrijk). Bij vergelijking van de lachgasemissie vanuit gewasresten op zand blijkt dat stikstof-arme gewasresten zoals gerst leiden tot minder lachgasemissie dan stikstof-rijke gewasresten zoals gras en suikerbieten (tabel 1). Verder blijkt dat stikstofrijke gewasresten met name in het voorjaar kunnen leiden tot een (zeer) hoge emissie van lachgas. De eerste waarneming is conform de hypothese, en de tweede waarneming impliceert dat de omstandigheden in het veld (temperatuur, vocht en koolstofvoorziening) blijkbaar zodanig zijn dat activiteit van de micro-organismen na het groeiseizoen dusdanig gebalanceerd is dat er nauwelijks stikstof ontsnapt als lachgas. In het voorjaar is het systeem minder gebalanceerd, de mineralisatie draait op volle toeren, en een deel van de stikstof ontsnapt als N_2O.

Tabel 1. Lachgasemissie uit gewasresten op een zandgrond (Droevendaal)

Gewasrest	Seizoen	N-gehalte	N_2O emissie (kgN/ha)
Gerst	najaar	laag	0,4
Gras	najaar	hoog	1,0
Suikerbieten	najaar	hoog	0,9
Gras	voorjaar	hoog	12



Figuur 1. Emissie van lachgas uit gewasresten in zandgrond zonder toevoeging van nitraat (boven) en met toevoeging van 50 mg nitraat-N per kg op dag 0 (onder). De simulatie van regen is aangeven met 'regen'.



Figuur 2. De emissie van lachgas uitgedrukt als percentage van de met gewasresten toegevoegde stikstof in zandgrond (boven) en kleigrond (onder). In de berekening werd de achtergrondemissie van lachgas (controle) afgetrokken van de emissie van lachgas in de grond met gewasresten. De gestippelde horizontale lijn geeft de standaard IPCC emissiefactor van 1,25% weer.

Conclusies

De grote verschillen in N_2O-emissie tussen de gewasresten in de laboratorium screening geven aan dat het zinvol is om maatregelen vooral te richten op N-rijke gewasresten, zoals suikerbietenblad en koolsoorten, en dat N-arm producten zoals stro geen belangrijke bron van N_2O zijn.

Ook ROB veldwaarnemingen geven aan het voordelig is indien maatregelen vooral gericht zijn op N-rijke gewasresten zoals suikerbietenblad en N-arme producten zoals (gerst) stro geen belangrijke bron van N_2O zijn. Tot deze N rijke gewasresten behoort ook gras en dit komt tot uiting in de hoge emissies die volgen op graslandvernieuwing na scheuren en onderwerken van gewasresten van gras (zie Kasper et al., 2002, eindrapport Herinzaai grasland).

De kwantificering met behulp van emissiefactoren (zoals bijvoorbeeld door IPCC gebruikt) kan sterk worden verbeterd indien rekening wordt gehouden met het soort gewasrest. Hierbij kan gedacht worden aan drie groepen van gewasresten: i) gewasresten met een lage emissies (<0,5%) zoals stro van granen, ii) gewasresten met een hoge emissie (>1,5%) zoals de N-rijke gewasresten van groentegewassen en vlinderbloemigen, en iii) gewasresten met een 'gemiddelde' emissie (0,5 – 1,5%) zoals loof van aardappelen.

4.2 Effecten van bewerking: het verwijderen van gewasresten dan wel het combineren van stikstofarme en –rijke gewasresten

Achtergrond

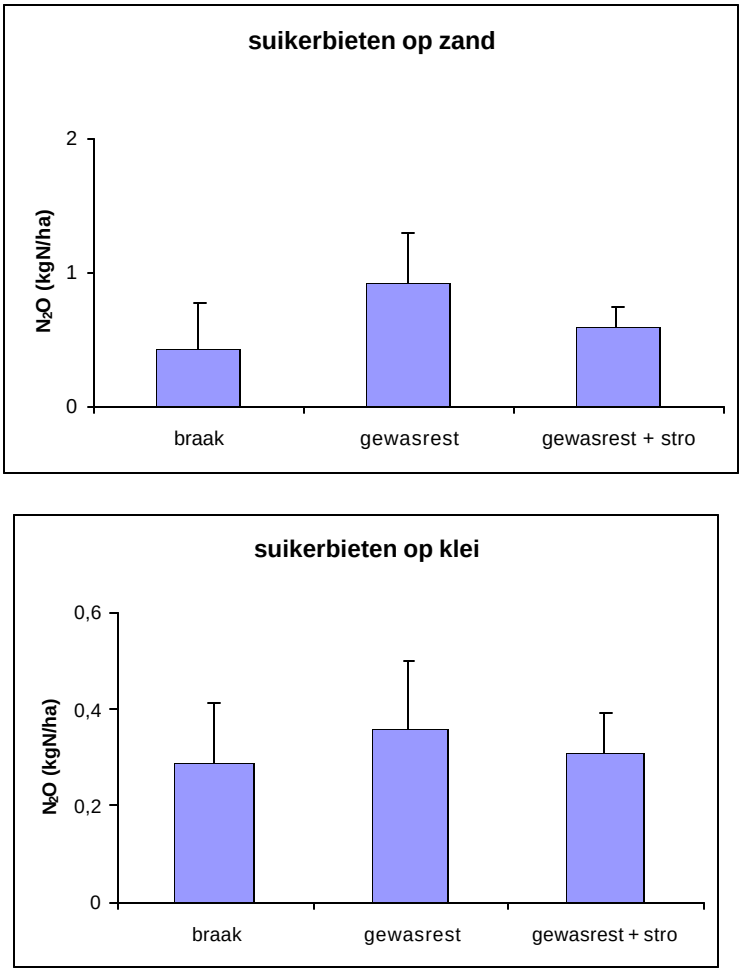
Bij de teelt van akkerbouw- en tuinbouwgewassen blijven na de oogst gewasresten op het land achter. Gewasresten kunnen relatief veel gemakkelijk mineraliseerbare stikstof bevatten en daardoor een belangrijke bron van lachgas (N_2O) vormen.
De verwachting is dat het verwijderen van met name stikstofrijke gewasresten (zoals het loof en de koppen van suikerbieten) leidt tot een lagere lachgasemisie. Een alternatieve aanpak om te komen tot een lager lachgasemissie is mogelijk het combineren (toevoegen) van stro als stikstof-arm materiaal aan op het land achtergelaten stikstofrijke gewasresten.

Werkwijze

Op bouwland op zand (Droevendaal) is volgende op de teelt van suikerbieten in November 2000 op een perceel mosterd ingezaaid en gedurende 200 dagen daaropvolgende de emissie van lachgas gemeten. Er zijn twee varianten geëvalueerd, één waarbij de relatief N-rijke gewasresten van suikerbieten waren verwijderd, en één waarbij de gewasresten niet verwijderd waren. Daarnaast werd een behandeling meegenomen waarbij stro werd toegevoegd aan proefpercelen waarvan de gewasresten niet waren afgevoerd

Op bouwland op een kleigrond (Lovinkhoeve) is de emissie van lachgas gemeten na het al dan niet afvoeren van de gewasresten van suikerbieten (koppen en het loof) bij een bemestingsniveau van 30 ton/ha varkensdrijfmest. Daarnaast werd een behandeling geëvalueerd waarbij stro werd toegevoegd aan proefpercelen waarvan de gewasresten niet waren afgevoerd. De proef is gestart in het najaar van 2000 (11 september) met de oogst van de suikerbieten, en liep gedurende de periode dat het land na de suikerbietenoogst braak lag tot het moment (16 mei) dat het volgende gewas (zomertarwe) op kwam. De runderdrijfmest voor het telen van de suikerbieten was toegediend op 12 april 2000. Op 13 april 2001 werd runderdrijfmest als

bemesting voor de zomertarwe toegediend. Alle behandelingen zijn in zesvoud uitgevoerd. Lachgas is gemeten met een foto-acoustische methode in verplaatsbare kamers die gedurende een half uur afgesloten werden van de omgeving, waarna de lachgasaccumulatie bepaald werd.



Figuur 3. Het effect van gewasresten en stro op de emissie van lachgas na het verbouwen van suikerbieten op zand of op klei.

Resultaten en discussie inclusief TEWI.

Het verwijderen van de betrekkelijk stokstofrijke gewasresten van suikerbieten leidde op zand tot een reductie van de emissie van lachgas van 0,9 kgN/ha tot 0,4 kgN/ha (Figuur 1). Op klei was de reductie geringer: van 0,36 kgN/ha naar 0,29 kgN/ha. Op beide gronden leidde ook het toevoegen van stro tot een reductie van de lachgasemissie: op zand van 0,9 kgN/ha naar 0,6 kgN/ha en op klei van 0,36 kgN/ha naar 0,31 kgN/ha. Op grond van deze resultaten (Figuur 3) kan geconcludeerd worden dat het verwijderen van stikstofrijke gewasresten de emissie van lachgas reduceert. Ook het toevoegen van stro leidt tot een reductie van de emissie van lachgas vanuit braakliggende percelen. Welke van de twee alternatieven de voorkeur verdient hangt af van de alternatieve bestemming van de verwijderde gewasresten, en de energie die het kost om de gewasresten te verwijderen c.q. stro te

transporteren en toe te voegen. Indien er van uit gegaan wordt dat er sprake is van mengen van gewasresten (stro bij bietenblad of bietenblad bij stro) kan een vermindering van de emissie van lachgas worden gerealiseerd. Het is niet te verwachten dat er sprake is van extra vorming van CO_2 bij de afbraak van deze combinatie van gewasresten anders dan bij de afzonderlijke afbraak. De emissie van lachgas uit stro (zie figuur over gerst) is minimaal ten opzichte van braakliggende grond na verwijdering van deze gewasresten). Indien er meer stikstof wordt geïmmobiliseerd en in de bodem achterblijft kan theoretisch bij een volgende teelt met minder stikstofbemesting worden volstaan; dit verhoogt het gunstige effect van mengen op de totale emissie van broeikasgassen. Indien er vanuit gegaan wordt dat de gewasresten elders worden verwerkt in vergisting samen met dierlijke mest of in compostering is de vermeden emissie uiteraard afhankelijk van de emissies bij de alternatieve verwerking.

4.3 Inwerken van gewasresten in de grond

Achtergrond

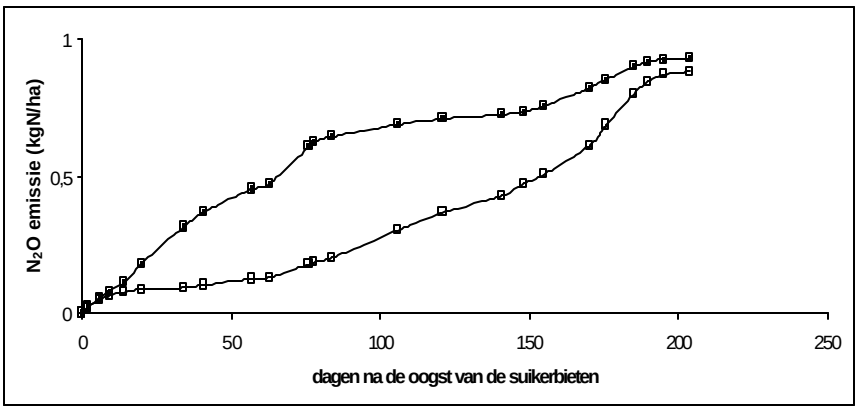
Na de oogst van een gewas blijven gewasresten achter op het land. Gewasresten bevatten stikstof die vrijkomt na mineralisatie en toegevoegd wordt aan eventueel nog aanwezige minerale stikstof. Het gevaar bestaat dat deze stikstof leidt tot de vorming en emissie van lachgas in de periodes dat het land braak ligt. Ploegen is van invloed op de beschikbaarheid van de gewasresten voor en snelheid van mineralisatie. Het is dan ook interessant om na te gaan of grondbewerking van invloed is op de emissie van lachgas uit op het veld achtergebleven gewasresten.

Werkwijze

Er is een proef uitgevoerd op klei (Lovinkhoeve) waarbij de grond onmiddellijk na de op verschillende dieptes (7 cm, 12 cm of 25 cm) geploegd werd. De metingen naar de emissie van lachgas werden uitgevoerd na het verbouwen van suikerbieten op percelen waar de gewasresten na de oogst op het land achterbleven. Daarnaast is ook een proef uitgevoerd op zand (Droevendaal) waarbij de gewasresten al dan niet ondergeploegd werden.

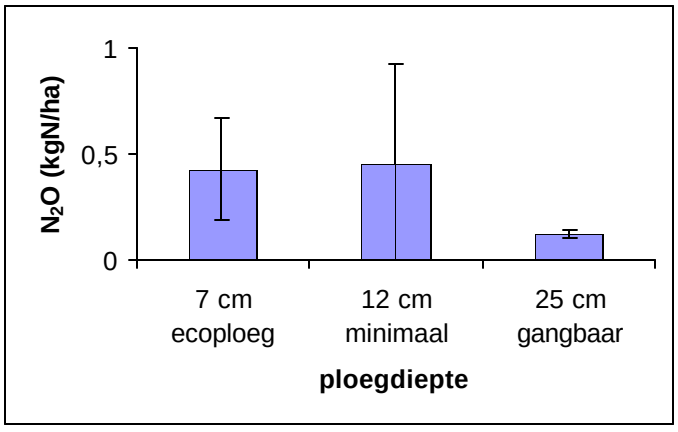
Resultaten en discussie

Na het verbouwen van suikerbieten op zand kwam uit velden waar de gewasresten op het land waren achtergelaten 0,9 kgN/ha vrij als N_2O (Figuur 4).Twee derde van deze hoeveelheid kwam vrij tijdens de eerste twee maanden na de oogst. Onderploegen van deze gewasresten leidde aanvankelijk tot een aanzienlijk lagere lachgasemissie, maar na een dag of 50 kwam de emissie goed op gang. Uiteindelijk was, na 200 dagen, de emissie vanuit de velden die geploegd waren gelijk aan die vanuit de velden die niet geploegd waren. Onderploegen van (stikstofrijke) gewasresten zoals suikerbieten heeft op zand dus geen invloed op de emissie van lachgas en is dus geen management optie als het gaat om het verminderen van de lachgasemissie.



Figuur 4. Effect van ploegen op de lachgasemissie uit braakliggende zandgrond na het verbouwen van suikerbieten. Open symbolen: gewasresten ondergeploegd; gesloten symbolen: niet geploegd.

Na het verbouwen van suikerbieten op klei was, wanneer de gewasresten op het land achterbleven, de lachgasemissie vanuit percelen die op een diepte van 25 cm geploegd waren lager dan de emissie vanuit percelen die op dieptes van respectievelijk 7 cm en 12 cm geploegd waren (Figuur 5). Een mogelijke maatregel om de emissie van lachgas te beperken is dan ook conventioneel (blijven) ploegen. Hierbij moet wel aangetekend worden dat de hoeveelheden lachgas die in de meetperiode geëmitteerd werden vrij gering waren. De hoeveelheden lachgas die tijdens de teelt van de suikerbieten zelf geëmitteerd werden zijn niet gemeten. Deze emissies zijn mogelijk aanzienlijk hoger en het hoeft niet zo te zijn dat de emissie ook in dit geval in de conventioneel geploegde percelen het laagst was. Tenslotte moet bij beide experimenten de kanttekening gemaakt worden dat alleen de rechtstreekse emissie van N_2O is gemeten. De indirecte emissie vanuit uitgespoelde stikstof (vnl. nitraat) is niet gemeten.



Figuur 5. Lachgasemissie op braakliggende kleigrond na het telen van suikerbieten onder verschillende ploegregimes.

4.4 Telen van wintergewassen

Wintergewassen (raaigras, rogge, gele mosterd, vlinderbloemigen etc.) kunnen stikstof die na de oogst in de bodem aanwezig is of uit gewasresten mineraliseert, opnemen en op deze wijze behoeden voor verliezen via nitraatuitspoeling, denitrificatie en lachgasemissie. Indien het wintergewas in het voorjaar wordt ondergewerkt komt een deel van de opgenomen stikstof vrij en kan dan door het volggewas worden opgenomen. Dit leidt tot een besparing in kunstmest. Binnen ROB zijn twee proeven (op zand- en kleigrond) uitgevoerd om de effecten van het telen van wintergewassen bij najaarstoediening van mest te kwantificeren.

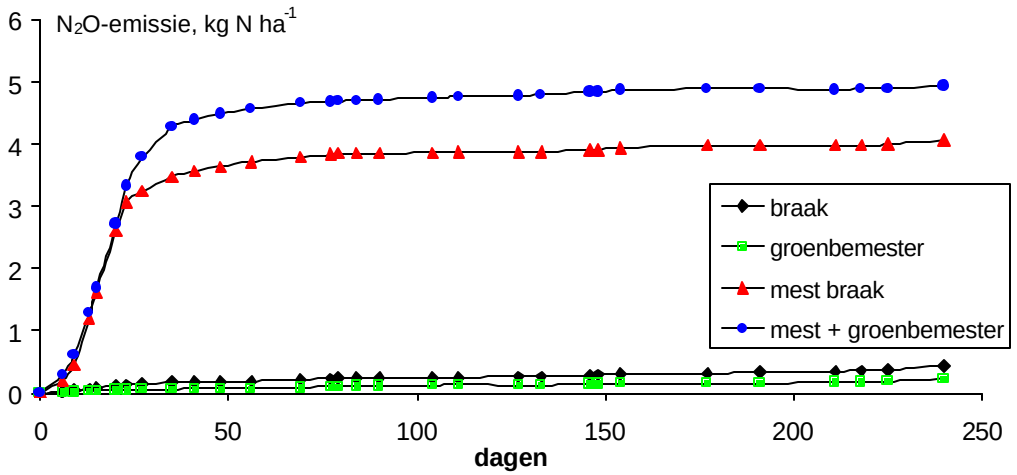
Werkwijze
Op bouwland op een zandgrond (Droevendaal in Wageningen) is na het verbouwen van gerst op 28 augustus 2000 dunne rundermest (30 ton ha^{-1} met een N-gehalte van 3,3 g kg^{-1}) uitgereden met een mestinjecteur. Er zijn twee varianten geëvalueerd, één waarbij gele mosterd werd ingezaaid als wintergewas, en één waarbij het land braak bleef. Daarnaast is ook een variant meegnomen waarbij niet bemest werd. De lachgasemissie 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^{-1}) 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 lachgasemissie werd gemeten op 30 tijdstippen gedurende 225 dagen met fluxkamers en een fotoacoustische gasmonitor.

Resultaten
Het toedienen van dierlijke mest (30 ton ha^{-1}) in het najaar aan braakliggend bouwland op zand leidde tot een lachgasemissie van 4 kg N ha^{-1} (Figuur 6). Het telen van mosterd als wintergewas verhoogde deze emissie tot 5 kg N ha^{-1}; in niet-bemeste percelen was de emissie 0,4 kg N ha^{-1}.

Op klei was de emisie van lachgas na najaarstoediening van dierlijke mest aanzienlijk lager dan op zand. Net als in het experiment op zandgrond kwam de lachgas 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^{-1}. Het telen van gele mosterd had nauwelijks invloed op deze emissie (het effect was minder dan 0,1 kg N ha^{-1}).

Toediening van 12 ton ha^{-1} dunne varkensmet (N gehalte 10 g kg^{-1}) in februari leidde niet tot een verhoging van de N_2O-emissie. In combinatie met het onderploegen van gele mosterd (eveneens in februari) leidde deze mestgift tot een geringe lachgasemisie van ongeveer 0,1 kg N ha^{-1}.



Figuur 6. Emissie van lachgas bij toediening van dierlijke mest op bouwland in het najaar.

Discussie

Het telen van een wintergewas leidde niet tot de verwachte vermindering van emissie van lachgas op de zandgrond. Er was zelfs eerder sprake te zijn van een verhoogde lachgasemissie. 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 lachgas treedt direct op na toediening van de mest ontstaat (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 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. Het is overigens opvallend dat het onderploegen van de gele mosterd in het volgende voorjaar niet leidt tot een verhoogde emissie van lachgas.

5 Nieuwe inzichten

Uit ons laboratoriumonderzoek is gebleken dat de grondsoort invloed heeft op het de mate waarin op het land achtergebleven gewasresten de emissie van lachgas stimuleren. Op zandgrond bleek meer lachgas vrij te komen dan op klei. Dat resultaat was niet op voorhand verwacht, maar werd bevestigd in veldmetingen aan gewasresten van suikerbieten op kleigrond en zandgrond. In de internationale literatuur is aan dit verschijnsel tot op heden geen aandacht besteed. Voor de landbouwpraktijk heeft deze waarneming geen implicaties, of het moet zijn dat het verwijderen van stikstofrijke gewasresten met het oog op emissiereductie van lachgas op zandgrond leidt tot meer milieuwinst dan op kleigrond, en bij gelijke kosten dus eerder rendabel zal zijn.

In de internationale literatuur (Vinten *et al.*, 1998) wordt gesuggereerd dat het toevoegen van koolstofrijk materiaal zoals papier of stro kan leiden tot een reductie van de emissie van lachgas. Er zijn ook conceptuele argumenten om deze hypothese te staven (verhoogde immoblisatie van N en beter beschikbaarheid van C waardoor denitrificatie volledliger verloopt (tot N_2) en niet blijft steken bij N_2O. In de door ons uitgevoerde veldexperimenten bleek dit effect inderdaad warneembaar.

In de literatuur (Baggs *et al.*, 2000) wordt ervoor gewaarschuwd dat het enerzijds mogelijk lijkt om strategieën te formuleren die erop gericht zijn de lachgasemissie uit gewasresten op korte termijn (de eerste maanden na de oogst) te reduceren, maar dat het anderzijds goed mogelijk is dat er heel andere strategieën nodig zijn om reductie op de lange termijn te bewerkstelligen.

De *state-of-the-art* wordt goed weergegeven in de inleiding van voornoemd artikel van Baggs *et al*. (2000): *de zeer uiteenlopende factoren die de processen die leiden tot lachgasemissie beinvloeden maken het moeilijk om de effecten van het incorporeren van gewasresten te voorspellen en kunnen bijdragen aan onverwachte resultaten.*

Op basis hiervan trekken wij de conclusie dat er voldoende aanwijzingen zijn dat er verschillen zijn in emissies tussen N-rijke en N-arme gewasresten en dat dit ook verwacht kon worden. Overigens kunnen jaar rond emissies van jaar tot jaar in belangrijke mate verschillen omdat weersomstandigheden zullen variëren en lachgasvorming een proces is dat gekenmerkt wordt door sterke pieken waarbij een belangrijk deel van de jaarlijkse emissie in een zeer korte periode kan plaatsvinden. Tijdstip en verwerking is dan met name van belang bij gewasresten. Inzicht in de meerjaarse variatie van emissies zou inderdaad bovenstaande conclusies kunnen bestendigen en aangeven of alleen de omvang van de vermindering van emissies als gevolg van maatregelen varieert of dat er ook spraken kan zijn van tegengestelde effecten. Voor een dergelijke analyse ontbreken op dit moment meerjaarse meetreeksen.

6 Evaluatie van maatregelen

De hier geëvalueerde maatregelen hebben geen nadelig effect op de missie van methaan en ammoniak, met uitzondering van het composteren van gewasresten, waar een dergelijk effect echter alleen op zal treden als de compostering niet begeleid wordt met technische maatregelen om emissie te filteren (tabel 2 en 3).

Tabel 2. Kwalitatieve beschrijving van effecten van maatregelen op CH_4, CO_2, NH_3 emissie en nitraatuitspoeling

Maatregel				
	CH_4	CO_2	NH_3	Nitraat
Minder kunstmest	Geen effect	Minder koolstofvastlegging in de bodem	Geen effect	Minder uitspoeling
Minder dierlijke mest	Minder methaanemissie	Minder koolstofvastlegging in de bodem	Minder ammoniak emissie	Minder nitraatuitspoeling
Najaarstoediening van dierlijke mest	Minder methaanemissie	Geen effect	Minder ammoniak emissie	Minder nitraatuitspoeling
Aanpassen grondbewerking	Geen effect	Dieper ploegen verstoort de opbouw van een organische stof-profiel en dus tot minder CO_2 vastlegging	Geen effect	Geen effect voorzien
Telen van wintergewassen	Geen effect	Geen effect	Geen effect	Bij telen vlinderbloemigen eventueel meer uitspoeling
Gewasresten composteren	Composteren kan leiden tot de emissie van CH_4	Geen effect	Composteren kan leiden tot de emissie van NH_3	Geen effect (maar zie hieronder)
Gewasresten afvoeren	Geen effect	Minder koolstofvastlegging in de bodem	Geen effect	Aantasting denitrificatie-capaciteit van de bodem (?) zou kunnen leiden tot meer nitraat-uitspoeling
Mengen van N-arme met N-rijke gewasresten	Geen effect	Geen effect	Geen effect	Minder nitraatuitspoeling

Ten aanzien van het vastleggen van koolstof in de bodem hebben het verminderen van de bemesting, het afvoeren van gewasresten, en dieper ploegen maatregelen een negatief effect. Ten aanzien van de uitspoeling van nitraat zijn de effecten van de geëvalueerde maatregelen divers: vermindering van bemesting en het mengen van N-arme met N-rijke maatregelen leidt tot minder uitspoeling van nitraat, terwijl het telen van vlinderbloemigen mogelijk leidt tot een grotere uitspoeling van nitraat. Het

afvoeren van gewasresten tenslotte leidt mogelijk tot aantasting van de denitrificatiecapaciteit van de bodem en daardoor uiteindelijk in meer nitraatuitspoeling. Gewasresten zouden overigens een interessante energiebron voor verwerking in covergisting kunnen opleveren omdat de boer dan bedrijfseigen materiaal gebruikt , en niet materiaal van buiten de landbouw, en omdat zo emissies worden verdwenen en gecontroleerd methaan (biogas) wordt gevormd. Dit komt goed uit omdat er in Nederland te weinig afval voorhanden is voor verwerking van de omvangrijke mestvoorraad middels co-vergisting (Kuikman et al. 2000).

Tabel 3 Kwantificering van effecten van maatregelen op CH_4, CO_2, NH_3 emissie en nitraatuitspoeling in termen van GWP: TEWI

Maatregel					
	CH_4	CO_2	NH_3	Nitraat	Total, GWP
Minder kunstmest	0	p.m.	0	hh*ha*factor1 *factor2[1]	
Minder dierlijke mest					
Najaarstoe-diening van dierlijke mest	Kennishiaat	0	Kennishiaat	?	
Aanpassen grondbewerking	0	p.m.	0	p.m.	0
Telen van wintergewassen	0	0	0	p.m.	0
Gewasresten composteren	Kennishiaat	0	Kennishiaat	0	Niet op voor-hand verwaar-loosbaar
Gewasresten afvoeren	0	p.m.	0	Kennishiaat	p.m.
Mengen van N-arme met N-rijke gewasresten	0	0	0	Kennishiaat	p.m.

[1] Berekening moet nog plaatsvinden. Minder kunstmest: vermindering (kg/ha) maal ha maal uitspoelingsfactor1 (% van kg/ha) maal factor2 (% van uitgespoelde nitraat die vrijkomt als lachgas). Dit levert kgN_2O; dit omrekenen naar CO_2-equivalenten door te vermenigvuldigen met een factor 3,67 maal 310. Minder dierlijke mest: voor uitspoeling zie boven (dezelfde uitspoelingsfactor?); Verder getal (of range) nemen voor methaanemissie per ton mest en deze emissie (maal kg per ha en aantal ha) omrekenen naar CO_2 equivalenten. Idem voor NH_3 en vervolgens sommeren.

Verschillende maatregelen hebben gevolgen voor andere emissies dan lachgas (zie tabel 3). Samengevat per maatregel zijn de conclusies ten aanzien van TEWI:

- Minder mest leidt tot minder uitspoeling van nitraat en een geringere vastlegging van CO_2.
- Najaarstoeding van dierlijke mest heeft afwenteling naar de emissie van andere broekasgassen en ammoniak tot gevolg.
- Aanpassen van grondbewerking heeft geen afwenteling naar de emissie van andere broekasgassen en ammoniak tot gevolg.
- Telen van wintergewassen heeft geen afwenteling naar de emissie van andere broekasgassen en ammoniak tot gevolg.

- Gewasresten afvoeren en eventueel composteren heeft geen afwenteling naar de emissie van andere broekasgassen en ammoniak tot gevolg, mits maatregelen genomen worden om de bij compostering vrijkomende methaan en ammoniak af te vangen.
- Het mengen van N-arme en N-rijke gewasresten heeft geen afwenteling naar de emissie van andere broekasgassen en ammoniak tot gevolg, met de aantekening dat niet bekend is wat het effect is op de uitspoeling van nitraat.

7 Selectie van perspectiefvolle maatregelen

In de systeemanalyse worden ter beperking van lachgasemissie uit gewasresten de volgende perspectievolle maatregelen onderscheiden:

1. Verlaging van de stikstofbemesting
2. Geen najaarstoediening van dierlijke mest
3. Aanpassen grondbewerking
4. Telen van wintergewassen
5. Verwijderen van gewasresten en composteren op eigen bedrijf of elders
6. Verwijderen van gewasresten
7. Mengen van N-arme met N-rijke gewasresten: vastlegging van N

Voor elke van deze maatregelen is in de systeemanalyse een afweging gemaakt op basis van:

- Effectiviteit
- Kostenefficientie
- Controleerbaarheid
- Handhaafbaarheid
- Risico op afwenteling
- Kennishiaten

De maatregelen 1, 2 en 4 zijn geëvalueerd in het kader van onderdeel bemesting (rapportage Bemesting Velthof et al., concept).

Maatregel 3. Aanpassen grondbewerking

Korte beschrijving
Binnen ROB is onderzoek gedaan naar het effect van grondbewerking op de emissie van lachgas uit op het veld achtergebleven gewasresten.

Effectiviteit
Onderploegen van stikstofrijke gewasresten zoals suikerbieten had op zand geen invloed op de emissie van lachgas in vergelijking met laten liggen van gewasresten. De effectiviteit van deze eventuele maatregel is dus nihil.
Op klei was de emissie van lachgas na het telen van suikerbieten, wanneer de gewasresten op het land achterbleven, ongeveer de helft lager bij conventioneel ploegen (25 cm) dan bij ploegen op mindere dieptes (7 en 12 cm).

Kosten efficiëntie
Dieper ploegen brengt een hoger energieverbruik met zich mee.

Controleerbaarheid en effectiviteit
De controleerbaarheid en effectiviteit van de maatregel is goed.

Handhaafbaarheid
De diepte waarop geploegd is goed te meten.

Afwenteling en TEWI
De kans bestaat dat de ploegdiepte de uitspoeling van nitraat beinvloed en er langs die weg afwenteling plaats vindt.

Draagvlak bij boeren
Gezien het geringe effect (if any) van de maatregel zal het draagvlak bij boeren om eventueel de ploegdiepte te veranderen enkel en alleen om de lachgasemissie iets te verminderen minimaal zijn. Er zijn andere, meer doorslaggevende overwegingen die bepalen wat de optimale ploegdiepte is (denk ik toch).

Kennishiaten
Zie systeemanalyse

Maatregel 5. Verwijderen van gewasresten en composteren op eigen bedrijf of elders

Binnen het voorliggende ROB programma is geen onderzoek verricht aan deze maatregel

Maatregel 6. Verwijderen van gewasresten

Korte beschrijving
Binnen ROB is onderzoek gedaan naar het verwijderen van de gewasresten van suikerbieten op zand en klei.

Effectiviteit
Het verwijderen van de gewasresten van suikerbieten op klei had slechts een gering effect op de lachgasemissie; op zand daarentegen leidde het afvoeren van de gewasresten tot een reductie van ongeveer 50 %, van ~1 kgN/ha tot ~ 0,5 kgN/ha. Het areaal suikerbieten in NL bedraagt 110.000 ha. De besparing zou dus maximaal ~55.000 kgN_2O-N zijn als alle suikerbieten op zand verbouwd worden, hetgeen zeker niet het geval is. Gebruikmakend van een vermenigvuldigingsfactor van 310x3,67 zou dit een maximale besparing van ~ 63 kton CO_2 equivalenten opleveren, indien deze gewasresten worden afgevoerd en niet op een andere wijze tot N_2O-emissie leiden. Het afvoeren van stikstofrijke gewasresten maakt extra bemesting noodzakelijk. Deze behoefte wordt geschat op 15 kgN. Uitgaande van een emissiefactor van 1,25 % leidt dit tot een extra emissie van 188 gram N2O-N. Bij klei is het effect van het verwijderen van de gewasresten dan helemaal weg en zelfs contra-productief, op zand is ongeveer een derde van het effect verdwenen!

Kostenefficiëntie
Er zijn kosten verbonden aan het verzamelen en afvoeren, maar mogelijk kunnen deze gecompenseerd worden indien het andere gebruik van gewasresten geld oplevert. Uitgaande van een reductie van 0,5 kgN/ha bij afvoer van suikerbietenblad,

extra N-bemesting met 15 kg N per ha en kosten voor het afvoeren van 100 gulden per ha, zouden de kosten van deze maatregel ongeveer 240 gulden per kgN_2O-N bedragen oftewel ~ 210 gulden (95 euro) per ton CO_2 equivalenten.

Controleerbaarheid
Het al dan niet afvoeren van gewasresten van het land is duidelijk zichtbaar en controleerbaar. Het gebruik van de gewasresten na het afvoeren (waar gaan ze heen en hoe worden ze behandeld) is veel moeilijker controleerbaar.

Handhaafbaarheid
Op dit moment zijn er geen instrumenten om de handhaafbaarheid van deze maatregel te waarborgen, maar indien er een goede bestemming voor de gewasresten is, zijn er mogelijkheden tot handhaafbaarheid.

Afwenteling en TEWI
Er bestaat een risico op afwenteling, maar dat is sterk afhankelijk van het gebruik. Bij gebruik als veevoer is het risico op afwenteling beperkt, terwijl bij verbranden of composteren wel een duidelijk risico op afwenteling bestaat.

Gewasresten bevatten gemakkelijk afbreekbare organische stof. Deze wordt door denitrificerende bacteriën als substraat gebruikt, waarbij nitraat wordt omgezet in luchtstikstof (N_2) en N_2O. Het afvoeren van gewasresten kan ertoe leiden dat de denitrificatiecapaciteit van de bodem afneemt en meer stikstof als nitraat uitspoelt.

Draagvlak bij boeren
Deze maatregel vraagt een behoorlijke inspanning van boeren, zowel financieel als qua arbeid. De wijze van gebruik zal deels het draagvlak bepalen. Het draagvlak zal groter zijn indien de gewasresten als veevoer gebruikt worden dan indien ze verbrand worden in een vuilverbrandingsinstallatie voor ‘energie uit biomassa’.

Kennishiaten
Inventariseren van de gebruiksmogelijkheden van stikstofrijke gewasresten als veevoer of anderszins.
Evalueren van de consequenties (milieukundig, financieel etc.) van het verbranden van gewasresten in vuilverbrandingsinstallaties.
Evalueren van het effect van het afvoeren van (stikstofrijke) gewasresten op de denitrificatiecapaciteit en nitraatuitspoeling van de bodem.

Maatregel 7. Mengen van N-arme met N-rijke gewasresten: vastlegging van N

Korte beschrijving
Het stro van granen heeft een hoge C/N-verhouding en bij afbraak van deze organische stof zullen bacteriën stikstof uit de bodem onttrekken en (tijdelijk) immobiliseren. Het mengen van stikstofrijke gewasresten (zoals suikerbietenblad) met stro zal er toe leiden dat een deel van de stikstof die door mineralisatie vrijkomt

uit het suikerbietenblad wordt geïmmobiliseerd door het stro. Op deze wijze kan waarschijnlijk de N_2O-emissie worden verminderd.

Effectiviteit
In het onderhavige ROB project is gebleken dat het mengen van N-arme met N-rijke gewasresten voor de combinatie van stro plus gewasresten van suikerbieten op klei nauwelijks effect heeft. Op zand was het effect duidelijker: in combinatie met stro kwam 0,6 kgN/ha vrij als N_2O wanneer de gewasresten van suikerbieten achterbleven op het land, tegen 0,9 kgN/ha in de afwezigheid van stro. Dat is een weliswaar reductie van een derde, maar leidt gezien de geringe hoeveelheid (0,3 kgN/ha) tot een onbelangrijke emissiereductie.

Kostenefficiëntie
Er zijn additionele kosten voor het verzamelen, opslaan en toedienen van het stro, maar daar staat tegenover dat er mogelijk op kunstmest kan worden bespaard. De extra kosten voor de afvoer van het stro en het mengen met suikerbietenblad worden geschat op 150 gulden per ha. In combinatie met voornoemde besparing op kunstmest leidt dit tot en kostprijs van 128 gulden per ha voor een reductie in N_2O emissie van 0,3kgN/ha. Deze kosten liggen hoger dan die voor het afvoeren de gewasreten van suikerbieten terwijl de reductie in lachgasemissie geringe is.

Controleerbaarheid
De afvoer en tijdelijke opslag van het stro is controleerbaar. Het mengen en onderploegen van stro en suikerbieten is moeilijker controleerbaar, zeker na verloop van tijd.

Handhaafbaarheid
Gezien de beperkte controleerbaarheid, lijkt handhaafbaarheid moeilijk.

Afwenteling en TEWI
De risico's op afwenteling zijn klein.

Draagvlak bij boeren
Deze maatregel vraagt extra arbeid en financiële inspanning van boeren en het draagvlak zal dan ook beperkt zijn.

Kennishiaten
Effecten van verschillende verhoudingen stro en stikstofrijke gewasresten op stikstofimmobilisatie, lachgasemissie en nitraatuitspoeling.

8 Conclusies

Op basis van het vorige hoofdstuk worden de perspectiefvolle maatregelen genoemd en de potentiële vermindering van emissies aangegeven. Tevens wordt aangegeven welke verbeteringen of aanvullingen nog nodig zijn en hoe daarin kan worden voorzien, bijvoorbeeld te aanzien van de implementatie van maatregelen.

8.1 Perspectiefvolle maatregelen

De meest perspectiefvolle maatregelen zijn:

- Verlaging van stikstofbemesting
- Geen najaarstoediening van dierlijke mest
- Verwijderen van gewasresten.
- Verwijderen en verwerken van gewasresten in co-vergisting

8.1.1 Verlaging van stikstofbemesting

De verlaging van de stikstofbemesting is nader besproken in het ROB-rapport 'Beperking van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden' (Velthof et al. 2002). Verder is gebleken dat lachgasemissie vanuit gewasresten over het algemeen toeneemt met toenemend stikstofgehalte van die gewasresten, en dat dit effect geprononceerder is op zand dan op klei. In de landbouwpraktijk worden gewassen vaak hoger bemest dan het bemestingsadvies, maar tussen de gewassen kunnen grote verschillen bestaan. Gewassen als suikerbieten en fabrieksaardappelen worden meestal niet te ruim met stikstof bemest. Omdat er and mogelijk problemen ontstaan met de kwaliteit van het oogstproduct. Andere gewassen zoals snijmais, veel vollegrondsgroenten en consumptieaardappelen worden vaak wel ruim met stikstof bemest. Bij veel gewassen zal het bemesten volgens advies, het verrekenen van de stikstofwerking van dierlijke mest en het rekening houden met de stikstof-mineralisatie uit gewasresten leiden tot een aanzienlijke besparing van de stikstofgift zonder een sterke opbrengstderving. In de systeemanalyse is geconcludeerd dat indien ervan wordt uitgegaan dat bij bemesting volgens het advies in Nederland de hoeveelheid stikstof in gewasresten gemiddeld met 5 procent afneemt (ten opzichte van 1990) en de emissiefactoren van de gewasresten gemiddeld lager worden (0,4 % voor gewasgroep 1; 1,5 % voor gewasgroep 2; 1 procent voor gewasgroep 3), dan wordt een emissiereductie van 0,11 Mton CO_2 equivalenten gekregen in Nederland. Deze globale schatting moet nog nader onderbouwd worden met experimenteel onderzoek.

8.1.2 Geen najaarstoediening van dierlijke mest

In de systeemanalyse wordt geschat dat het niet meer toedienen van dierlijke mest in het najaar leidt tot een emissiereductie van 0,05 Mton CO_2-equivalenten. Het realiteitsgehalte van deze schatting is in onderdeel 1 van ROB tegen het licht gehouden. De uitkomsten van het daar beschreven onderzoek leiden tot een neerwaartse bijstelling van de schatting omdat de emissie van lachgas bij het toedienen van dierlijke mest in het najaar in de praktijk (1 experiment!) lager uitviel dan verwacht. De kosten van deze maatregel werden geraamd op ~ 400 gulden per ton CO_2 equivalenten, hetgeen vrij hoog is. Mede gezien het gevaar van afwenteling en het naar verwachting geringe draagvlak bij de boeren heeft deze maatregel dan ook geen prioriteit.

8.1.3 Verwijderen van gewasresten

Verwijderen van de (stikstofrijke) gewasresten van suikerbieten leidt op zand tot een reductie in de emissie van lachgas. Dit maakt, met een aantal nuanceringen, het verwijderen van gewasresten tot een perspectiefvolle maatregel. Deze nuanceringen zijn dat het vooralsnog voornamelijk, zo niet uitsluitend, zandgronden betreft, en dat het moet gaan om stikstofrijke gewasresten (suikerbieten en koolsoorten). Deze beperkingen leiden ertoe dat de haalbare reductie in CO_2-equivalenten nu geschat moet worden op slechts 50 kton CO_2-equivalenten tegen een eerder schatting in de systeemanalyse van 220 kton. De kosten van deze maatregel zijn relatief gering (~70 gulden per ton CO_2-equivalenten per jaar).

8.2 Minder perspectiefvolle maatregelen

Uit de binnen ROB uitgevoerde metingen komt naar voren dat het aanpassen van de grondbewerking, het telen van wintergewassen, het verwijderen van gewasresten met het doel deze te composteren, en het mengen van N-arme met N-rijke gewasresten vooralsnog weinig perspectief bieden als management opties voor het reduceren van lachgasemissie vanuit de landbouw. Het aanpassen van grondbewerking, het telen van wintergewassen en het mengen van N-arme met N-rijke gewasresten leidde in veldexperimenten niet of nauwelijks tot reductie in de emissie van lachgas, terwijl het afvoeren van gewasresten met het doel ze te composteren leidt tot te veel vooralsnog slecht gekwantificeerde risico's op afwenteling naar de emissie van andere gassen (CH_4 en NH_3). Bij het afvoeren van gewasresten verdient het dan ook de voorkeur deze te gebruiken als veevoer.

8.3 Slotopmerkingen

Het verlagen van de stikstofbemesting is, in de vorm van precisiebemesting, een *no-regret* maatregel die momenteel, o.a. als gevolg van MINAS, snel aan populariteit wint. De trend is om meer op het scherp van de snede te bemesten, en dit leidt al tot een

autonome reductie in de emissie van lachgas vanuit de landbouw. Additionele maatregelen zijn onder deze omstandigheden niet opportuun. Wel is het aanbevelenswaardig om binnen ROB-agro middels veldmetingen de emissiefactoren voor verschillende typen ‘onder MINAS geteelde’ gewasresten te kwantificeren, zeker ook gezien de tendens om deze potentiële bron expliciet op te nemen in rapportages aan IPCC. De emissies op zand zijn het hoogst, maar voor complete rapportage zijn ook emissiefactoren op klei noodzakelijk. Deze gradaties dienen mee te spelen bij het opzetten van de desbetreffende onderzoekslijn. Verder is het van belang om na te gaan wat de invloed is van gewasresten op de denitrificatiecapaciteit van de bodem, en de daarmee samenhangende nitraatuitspoeling. Deze vraag duikt op bij alle varianten betreffende het management van gewasresten, en is ook uit meer fundamenteel bodembiologisch gezichtspunt interessant.

Literatuur

Baggs EM, Rees RM, Smith KA, and Vinten AJA (2000) Nitrous oxide emission from soils after incorporating crop residues. Soil Use and Management 16, 82-87.

Kuikman P.J., J. Dolfing & M. Buiter. (2000) Perspectieven van c-vergisting voor beperking van emissies van broeikasgassen uit de landbouw in Nederland. Alterra-rapport 210.

Velthof, G.L. & P.J. Kuikman. (2000). Beperking van lachgasemissie uit gewasresten. Een systeemanalyse. Alterra-rapport 114.3.

Velthof, G.L., J. Dolfing, G.J. Kasper, J.W. van Groenigen, W.J.M. de Groot, A. van den Pol – van Dasselaar & P.J. Kuikman.(2002) Beperking van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden. Eindrapport Reductieplan Overige Broeikasgassen.

Vinten AJA, Davies R, Castle K, and Baggs EM (1998) Control of nitrate leaching from a nitrate vulnerable zone using paper mill waste. Soil Use and management 14, 44-51.

Aanhangsel 1 Overzicht uitgevoerd experimenteel onderzoek

Proef	**Doel**	**Resultaten**
Incubatieproef	Screening van emissies bij incubatie van stikstofrijke en –arme gewasresten in and- en kleigrond	paragraaf 4.1 en publicatie
Veldproef grasland op zand; Droevendaal	Effect van gewasresten (scheuren) in het voorjaar	Paragraaf 4.1 en rapport ….
Veldproef bouwland op zand; Droevendaal Wageningen	Effect van mosterd op emissie uit gewasresten (suikerbieten)	Paragraaf 4.2
Veldproef bouwland op zand; Droevendaal	Effect van toevoegen van stro op emissie uit gewasresten (suikerbieten)	Paragraaf 4.2
Veldproef bouwland op klei; Lovinckhoeve	Effect van het afvoeren van gewasresten (suikerbieten)	Paragraaf 4.2
Veldproef bouwland op klei; Lovinckhoeve	Effect van het toevoegen van stro op emissie uit gewasresten (suikerbieten)	Paragraaf 4.2
Veldproef bouwland op klei; Lovinckhoeve	Effect ploegdiepte op emissie uit gewasresten (suikerbieten)	Paragraaf 4.3
Veldproef bouwland op zand; Droevendaal	Effect onderploegen gewasresten (suikerbieten)	Paragraaf 4.3
Veldproef grasland op zand; Droevendaal	Effect van scheuren in het najaar	Paragraaf 4.1 en rapport
Veldproef bouwland op zand; Droevendaal	Emissie uit gewasresten (gerst)	Paragraaf 4.1