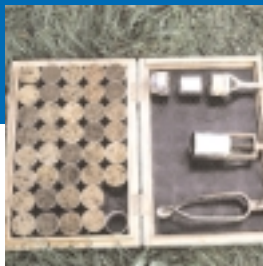




## Reductie van lachgasemissie door ontwikkeling van 'Best Management Practices': Samenvatting van systeemanalyses in ROB cluster 1

P. J. Kuikman, F.J.E. van der Bolt, W.J. Corré, J.G. Kroes,  
A. van den Pol-van Dasselaar, Th.V. Vellinga en G.L. Velthof



Alterra-rapport 114

Reductie van lachgasemissie door ontwikkeling van 'Best Management Practices':  
Samenvatting van systeemanalyses in ROB cluster 1

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

- 114.1 Beperking van lachgasemissie uit beweid grasland: een systeemanalyse
- 114.2 Beperking van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden: een systeemanalyse
- 114.3 Beperking van lachgasemissie uit gewasresten: een systeemanalyse
- 114.4 Beperking van lachgasemissie door gebruik van klaver in grasland: een systeemanalyse
- 114.5 Beperking van lachgasemissie bij het scheuren van grasland: een systeemanalyse
- 114.6 Beperking van lachgasemissie door waterbeheer; een systeemanalyse

# **Reductie van lachgasemissie door ontwikkeling van ‘Best Management Practices’: Samenvatting van systeemanalyses in ROB cluster 1**

**P. J. Kuikman<sup>1</sup>**  
**F.J.E. van der Bolt<sup>1</sup>**  
**W.J. Corré<sup>2</sup>**  
**J.G. Kroes<sup>1</sup>**  
**A. van den Pol-van Dasselaar<sup>3</sup>**  
**Th.V. Vellinga<sup>3</sup>**  
**G.L. Velthof<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen

<sup>2</sup> Plant Research International, Wageningen

<sup>3</sup> Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad

**Alterra-rapport 114**

**Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2000**

## REFERAAT

Kuikman, P.J., F.J.E. van der Bolt, W.J. Corré, J.G. Kroes, A. van den Pol-van Dasselaar, Th.V. Vellinga en G.L. Velthof, 2000. *Reductie lachgasemissie door ontwikkeling van 'Best Management Practices': Samenvatting van systeemanalyses in ROB Cluster 1*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 114. 36 blz.; 6. fig.; 8 tab.; 24 ref.

In Nederland draagt de agrarische sector in belangrijke mate (35-40%) bij aan de nationale emissie van lachgas. De lachgasemissie uit landbouw bedraagt naar schatting 9 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar. Lachgas komt met name vrij uit de bodem als gevolg van mest- en landgebruik en is over het algemeen hoger naarmate de intensiteit van bemesting met kunstmest of dierlijke mest hoger is. Net als bij andere broeikasgassen streeft de overheid in samenwerking met producenten en gebruikers naar een reductie van de emissie van lachgas. In het Reductieplan Overige Broeikasgassen, cluster 1, worden zogenaamde "Best Management Practices" (goede landbouwmethoden) ontwikkeld waarin maatregelen zijn gedefinieerd die de emissie van lachgas beperken.

Veel van deze maatregelen maken gebruik van een beperking van de aanvoer van stikstof en/of van een verhoging van de efficiëntie van gebruik van stikstof in de landbouw. In het kader van cluster 1 zijn maatregelen onderzocht die betrekking hebben op veranderingen en optimalisering van: 1) beweiding en bijvoeding, 2) strategieën en technieken van toediening van meststoffen, 3) beheer en behandeling van gewasresten, 4) beheer van klaver in grasland, 5) beheer, omzetting en herinzaai van grasland en 6) waterbeheer via grondwaterpeil en beregening. De eerste schatting van de haalbare reductie van lachgasemissie door middel van pakketten van maatregelen op basis van aannames bedraagt 0,5 – 3,5 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar. Deze schatting heeft een aanzienlijke onzekerheid die is gerelateerd aan de onzekerheid over de omvang van de lachgasemissie in Nederland.

Trefwoorden: lachgas, stikstof, broeikasgassen, emissiereductie, landbouw, beweiding, bemesting, gewasresten, klaver, herinzaai grasland, waterbeheer

ISSN 1566-7197

© 2000 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,  
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.  
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: [postkamer@alterra.wag-ur.nl](mailto:postkamer@alterra.wag-ur.nl)

Niets uit deze uitgave mag worden 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

1	Inleiding	7
1.1	Aanleiding en doelstelling van het onderzoek	7
1.2	De vorming van lachgas	9
1.3	Lachgas als broeikasgas	10
1.4	Grote onzekerheid in schattingen van lachgasemissie	10
1.5	Vaststelling en rapportage van emissie en emissiereductie	10
1.6	Emissie van lachgas en autonome ontwikkeling in de landbouw	11
1.7	Samenhang tussen projecten binnen Cluster 1 van ROB	12
1.8	Maatregelen om de lachgasemissie te reduceren	13
2	Projecten binnen ROB cluster 1	15
2.1	Beperking van lachgasemissie uit beweid grasland	15
2.2	Beperking van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden	17
2.3	Beperking van lachgasemissie uit gewasresten	20
2.4	Beperking van de N <sub>2</sub> O-emissie door gebruik van klaver in grasland	23
2.5	Beperking van lachgasemissie bij het scheuren van grasland	25
2.6	Beperking van lachgasemissie door waterbeheer	27
3	Haalbaarheid en draagvlak van opties voor maatregelen om de lachgasemissie te beperken	31



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en doelstelling van het onderzoek

Nederland heeft tegen het einde van de vorige eeuw het Klimaatverdrag van de Verenigde Naties geratificeerd en in 1997 het Kyoto Protocol ondertekend. Het Kyoto Protocol bepaalt dat de meest ontwikkelde landen hun emissies van zes broeikasgassen (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O en de fluorverbindingen HFK, PFK en SF<sub>6</sub>) in de periode 2008-2012 met gemiddeld ruim 6% moeten reduceren ten opzichte van het referentiejaar 1990. Deze reductiedoelstelling heeft een verplichtend karakter en vormt de motor achter het Nederlandse klimaatbeleid<sup>1</sup>.

In het NMP-3 (Nationaal MilieubeleidsPlan 3) is een Reductieplan Overige Broeikasgassen (ROB) aangekondigd. Onder overige broeikasgassen worden niet-CO<sub>2</sub> broeikasgassen verstaan, zoals lachgas (N<sub>2</sub>O) en methaan (CH<sub>4</sub>). In het ROB worden reductiemogelijkheden omschreven die nog onzeker zijn en daarom niet in het Nederlandse basispakket voor reducties (zie voetnoot 1) zijn opgenomen. De doelstelling van ROB-landbouw is om duidelijkheid te scheppen over de technieken in de landbouw die reductiemogelijkheden van emissie van lachgas uit de landbouw bieden. Doelstelling is om deze technieken in het (mest)beleid op te nemen.

In ROB cluster 1 zijn zes projecten gevormd om effectiviteit en efficiëntie van mogelijke maatregelen die de emissie van lachgas uit de landbouw in Nederland verminderen te onderzoeken. In deze samenvatting worden de bevindingen van systeemanalyses in deze 6 projecten integraal beschreven. Deze systeemanalyses hebben tot doel om de stikstofstromen en lachgasemissies in de 6 (deel)systemen te beschrijven en te kwantificeren, de stuurfactoren te bepalen en perspectievolle maatregelen te identificeren. De 6 projecten hebben betrekking op veranderingen en optimalisering van:

1. *beweidings* en bijvoeding
2. strategieën en technieken van toediening van meststoffen (*bemesting*)
3. beheer en behandeling van *gewasresten*
4. beheer van klaver in grasland (*klavergras*)
5. beheer, omzetting en herinzaai van grasland (*herinzaai*)
6. *waterbeheer* via grondwaterpeil en beregening.

In het 'optiedocument voor emissiereductie van broeikasgassen' van ECN en RIVM (ECN/RIVM, 1998) is aangegeven dat emissiereductie van overige broeikasgassen een relatief goedkope optie is in het hele scala van reductiemogelijkheden. Overige broeikasgassen worden verwacht in de orde van 15 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar bij te kunnen dragen aan de reductie van broeikasgasemissies (van de totaal 50 Mton

---

<sup>1</sup> Uitvoeringsnota Klimaatbeleid. Deel I: Binnenlandse maatregelen. Ministerie van VROM, Juni 1999. Deze nota richt zich op het beleid om het binnenlandse aandeel in de reductieverplichting voor broeikasgassen van 6% in de 1<sup>ste</sup> budgetperiode 2008-2012 van het Kyoto Protocol en de daaruit voortvloeiende afspraken binnen de Europese Unie te realiseren.



CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar die Nederland moet reduceren). De niet-CO<sub>2</sub> broeikasgassen dragen naar schatting ongeveer 25% (uitgedrukt in CO<sub>2</sub> equivalenten) bij aan de totale emissie van broeikasgassen van Nederland (Tabel 1).

Tabel 1 Bijdrage van verschillende broeikasgassen aan het broeikas effect in 1990 op basis van CO<sub>2</sub>-equivalenten; wereldwijd, in Nederland en in de landbouw in Nederland (van Amstel, 1994; aangepast n.a.v. van Amstel et al., 2000).

	Totaal	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O <sup>2</sup>	CFK's
	%	%	%	%	%
Wereldwijd	100	55	15	6	24
Nederland	100	74	12	9	4
Landbouw in Nederland	13	4	5	5	?

Op wereldschaal is de bodem verantwoordelijk voor 60-80% van alle lachgas emissies terwijl industrie, verkeer, verbranding en oppervlaktewateren voor 20-40% bijdragen.

Lachgas uit de landbouw wordt voornamelijk geproduceerd bij stikstofomzettingen in de bodem als gevolg van bodem- en mestgebruik. In Nederland zijn kunstmest en dierlijke mest de belangrijkste stikstofbronnen in de landbouw voor de vorming van lachgas; de emissie per oppervlakte eenheid is zeer hoog vergeleken met ons omringende landen. Deze hoge emissie hangt vooral samen met de hoge input van stikstof per hectare en met de aanwezigheid van relatief natte gronden. ROB-landbouw cluster 1 onderzoekt de mogelijkheden om reductie van N<sub>2</sub>O emissies te bereiken via ontwikkeling en invoering van 'Best Management Practices'. Dit zijn vooral technieken die zich richten op een lagere aanvoer van stikstof en een efficiënter gebruik van stikstof (Robertson *et al.*, 2000). Van belang zijn onder andere: de manier, intensiteit en tijdstip van bemesten, waterbeheer en herinzaai van grasland (Velthof *et al.*, 1997). De nadruk ligt op onderzoek in praktijksituaties en onderzoek naar kansen en bedreigingen bij implementatie van emissiebeperkende maatregelen.

In Nederland is de landbouw de belangrijkste bron van lachgas (N<sub>2</sub>O); de Nationale Milieuverkenning 4 (RIVM, 1997) rekent 35-40% van de Nederlandse emissie van lachgas toe aan de landbouw (dit is gelijk aan 9 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten ofwel 5% (tabel 1) van de gehele Nederlandse broeikasgasemissies in 1995)<sup>3</sup>. Lachgas komt voornamelijk vrij uit de bodem. Er wordt verwacht dat de ontwikkeling en implementatie van 'best management practices' in de landbouw een emissiereductie van lachgas in de orde van 2 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten (0,0065 Mton N<sub>2</sub>O of 4 miljoen kilogram N<sub>2</sub>O-N) kan realiseren<sup>4</sup>. Dit is een ambitieuze doelstelling.

<sup>2</sup> Lachgasemissie wordt veelal uitgedrukt in N<sub>2</sub>O-N; in dit rapport wordt lachgas emissie uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten waarbij N<sub>2</sub>O wordt omgerekend met een GWP factor van 310 (Global Warming Potential voor 100 jaar); (lachgas is een 310 maal sterker broeikasgas dan CO<sub>2</sub>); voor methaan wordt een GWP factor van 21 gehanteerd.

<sup>3</sup> Schattingen van de N<sub>2</sub>O-emissie vanuit bodem en water in Nederland variëren: 17 Gg N<sub>2</sub>O/jr<sup>1</sup> (Kroeze, 1994), 29 Gg N<sub>2</sub>O/jr<sup>1</sup> (Kroeze en Bogdanov 1997) en 21 Gg N<sub>2</sub>O/jr<sup>1</sup> (Erisman et al. 2000). De emissie van N<sub>2</sub>O uit de landbouw in Nederland wordt geschat op 25,9 Gg in 1998; dit is 17% hoger dan in 1990 (zie Olivier et al., 2000) en vooral het gevolg van verandering in toedieningstechnieken van dierlijke mest.

<sup>4</sup> Zie projectenplan 'Projecten LNV in het kader van ROB (Reductie Overige Broeikasgassen) van LNV en NOVEM, maart 1999

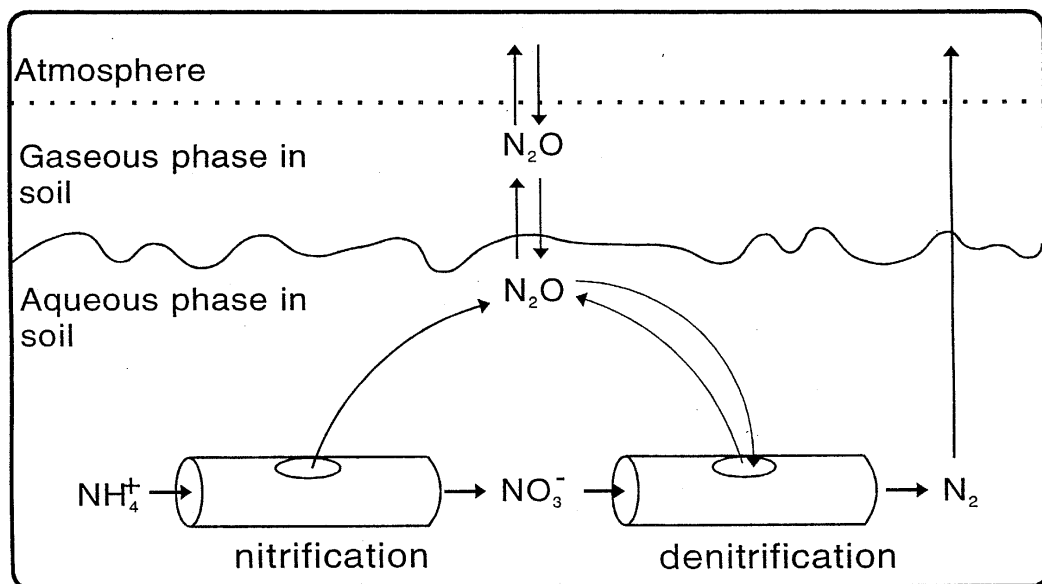
## 1.2 De vorming van lachgas

Lachgas wordt in de stikstofkringloop bij twee processen, *nitrificatie* en *denitrificatie*, gevormd (figuur 1). De emissie van lachgas wordt gereguleerd door micro-organismen in de bodem op 3 niveaus:

1. de snelheid van nitrificatie en denitrificatie (snelheid van transport van N door de pijp)
2. de verhouding tussen eindproducten (grootte van de gaten in de pijp) en
3. de diffusie en opname van stikstofgassen voordat zij worden geëmitteerd naar de atmosfeer.

De belangrijkste (a)biotische sturende factoren zijn: klimaat (regen, temperatuur), bodem (juiste micro-organismen, substraat, stikstof, zuurstof, pH) en beheer en management (bemesting, begrazing, grondwaterstand, productiviteit en opname van nutriënten en nitraat door het gewas, grondbewerking).

De voornaamste voorwaarde voor vorming van lachgas is de beschikbaarheid van minerale stikstof. Bemesting en de beschikbaarheid van minerale stikstof (maar ook de opname van stikstof door het gewas) is dan ook de belangrijkste stuurfactor voor (de)nitrificatie. Vochttoestand en temperatuur bepalen of en zo ja hoe snel (de)nitrificatie verloopt. In het algemeen geldt hoe meer vocht en hoe hoger de temperatuur des te hoger de emissie van lachgas alhoewel er sprake is van optimum waarden. Ook grondbewerking en waterbeheer beïnvloeden de vorming van lachgas vooral via de beschikbaarheid van organische stof als substraat voor microbiële denitrificatie.



Figuur 1 De vorming van lachgas volgens het 'Hole-in-the-pipe' model (Firestone en Davidson, 1989)

### 1.3 Lachgas als broeikasgas

De emissie van lachgas is ongewenst omdat lachgas als broeikasgas bijdraagt aan een verandering van ons klimaat. De (nationale) emissie van lachgas als  $\text{N}_2\text{O-N}$  wordt berekend door emissiefactoren<sup>5</sup> (g  $\text{N}_2\text{O-N}$  per g N) voor specifieke activiteiten te vermenigvuldigen met het volume of areaal waarop die activiteiten worden toegepast (Bouwman, 1996; IPCC, 1997). Lachgas is een 310 keer sterker broeikasgas dan  $\text{CO}_2$ . De emissie van lachgas wordt in de klimaatproblematiek omgerekend naar  $\text{CO}_2$ -equivalenten met behulp van de Global Warming Potential (zie voetnoot 2).

Gegevens over emissies van lachgas zijn beperkt beschikbaar. Mogelijke redenen zijn: geen goede verdeling van metingen in ruimte en tijd, stikstofverlies via lachgasemissie is slechts een beperkte economische schadepost, milieuproblematiek pas zeer recent herkend en de emissie is zeer lastig te meten.

### 1.4 Grote onzekerheid in schattingen van lachgasemissie

De landbouw is een diffuse bron van lachgas. Alle bodems emitteren in meer of mindere mate lachgas naar de atmosfeer. Deze emissie is zeer variabel in tijd en ruimte. Vele factoren hebben invloed op de grootte van de emissie. De productie van lachgas is daarom lastig te lokaliseren, te karakteriseren en te kwantificeren. De onzekerheid in schattingen van lachgasemissies is groot, zowel op kleine schaal (percelen) als grote schaal (landelijk). Schattingen van de  $\text{N}_2\text{O}$ -emissie vanuit bodem en water in Nederland variëren van 17 Gg  $\text{N.jr}^{-1}$  (Kroeze, 1994), 21 Gg  $\text{N.jr}^{-1}$  (Erisman et al., 2000) tot 29 Gg  $\text{N.jr}^{-1}$  (Kroeze en Bogdanov, 1997). De onzekerheid hangt deels samen met de berekeningswijze en deels met de algemene geldigheid en precisie van emissiefactoren. Zelfs met betrekking tot de volume gegevens (areaal, productie) kunnen relatief en onverwacht grote onzekerheden bestaan. Dit alles resulteert in een onzekerheid in de orde van 50-100% voor de emissies uit landbouw (van Amstel *et al.*, 2000).

### 1.5 Vaststelling en rapportage van emissie en emissiereductie

De uitwerking van het Kyoto Protocol bepaalt dat richtlijnen zullen worden opgesteld voor te hanteren emissiemethodieken, review-methoden, wijze van rapporteren van emissies en emissiereductie. IPCC heeft hiertoe richtlijnen opgesteld. Nederland rapporteert aan IPCC over haar emissies van broeikasgassen en hanteert daarbij veelal de IPCC richtlijnen (IPCC, 1997), maar soms ook eigen richtlijnen. Het RIVM in Bilthoven verzorgt de nationale rapportage van de nationale emissies van broeikasgassen (Olivier et al., 2000). In dit rapport voor ROB worden verschillende methodieken toegepast en wordt aangegeven welke methodiek leidt tot een schatting

---

<sup>5</sup> Emissiefactor: de hoeveelheid lachgasstikstof die per kg stikstof uit een bepaalde bron (kunstmest, dierlijke mest, gewasresten) wordt gevormd. Emissiefactoren worden gebruikt in de schatting van de lachgasemissie. De IPCC-methodiek voor het schatten van lachgasemissie is gebaseerd op emissiefactoren.

op basis van ‘best beschikbare kennis’. Deze werkwijze volgt niet altijd de huidige Nederlandse of IPCC methodiek en wordt toegelicht.

Eén van de richtlijnen bepaalt dat niet over afzonderlijke maar over alle 6 eerder genoemde broeikasgassen samen wordt gerapporteerd in termen van CO<sub>2</sub>-equivalenten. Nederland zal nog een programma van eisen opstellen waaraan monitoring van emissies en reductie van broeikasgassen dient te voldoen. Hierin zullen worden vastgelegd: te gebruiken methodieken voor het vaststellen van emissies, eisen voor minimum nauwkeurigheid en volledigheid, verificatie, te gebruiken format, te gebruiken eenheden, detailniveau, en de rapportage frequentie (zie voetnoot 4 en van Amstel *et al.*, 2000).

In de projecten binnen ROB cluster 1 worden benaderingen gebruikt die variëren van analyse op niveau van bedrijfssysteem, teeltsysteem, grondsoort en regio.

## 1.6 Emissie van lachgas en autonome ontwikkeling in de landbouw

In de tweede helft van de vorige eeuw is de emissie van lachgas uit de landbouw steeds verder toegenomen. Op dit moment (in 2000) staat de Nederlandse landbouw aan het begin van een geprognosticeerde vermindering van de emissie van lachgas. De Uitvoeringsnota Klimaat gaat uit van een geringe beperking van de emissie van lachgas uit de landbouw bij ongewijzigd beleid. Het is de verwachting dat maatregelen binnen de landbouw en voornamelijk de beperking van stikstofoverschotten in het kader van MINAS<sup>6</sup> een bijdrage leveren aan de geprognosticeerde vermindering.

In de Nationale Milieuverkenning 4 wordt een potentiële vermindering van de totale emissie uit de landbouw berekend van ongeveer 5 Gg N<sub>2</sub>O ofwel 30% van de geschatte totale lachgasemissie in Nederland in 2020 (tabel 2). Deze vermindering wordt onder meer gerealiseerd door een betere benutting van stikstof uit dierlijke mest en kunstmest en is voor een groot deel het gevolg van het hanteren en voldoen aan MINAS. Het is de verwachting dat niet alle maatregelen die worden genomen om aan MINAS te voldoen ook een verlaging van de emissie van N<sub>2</sub>O zullen bewerkstelligen.

Tabel 2 Omvang van emissies van lachgas (N<sub>2</sub>O) en methaan (CH<sub>4</sub>) uit de Nederlandse landbouw; projecties voor 2010 en 2020 op basis van de Nationale Milieuverkenning 4 uit 1996 (RIVM, 1997) en relatie met CO<sub>2</sub> emissies op basis van een Global Warming Potential voor N<sub>2</sub>O van 310 en voor CH<sub>4</sub> van 21.

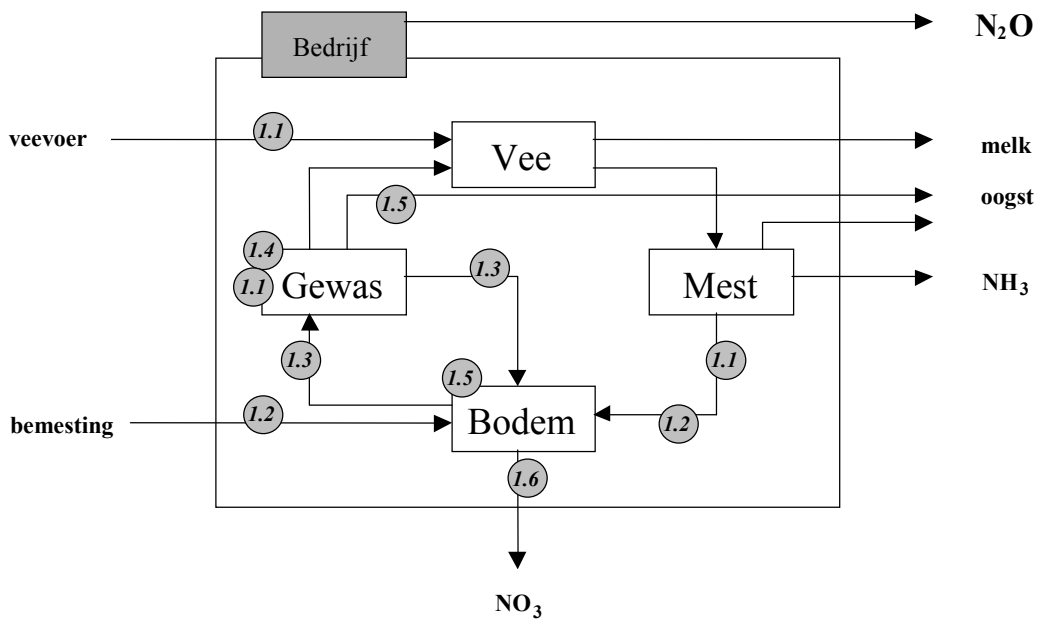
	1995	2010	2020
	Gg N <sub>2</sub> O/CH <sub>4</sub> per jaar (Mton CO <sub>2</sub> -equivalenten)		
Lachgas	17.6 (8.6)	13.4 – 14.8 (6.5 – 7.2)	12.2 – 13.7 (5.9 – 6.7)
Methaan	476 (10.4)	355 – 419 (7.7 – 9.1)	332 – 410 (7.2 – 8.9)

<sup>6</sup> MINAS – Mineralen Aangifte Systeem – stikstofboekhouding met als doel het verminderen van de stikstofoverschotten van landbouwbedrijven

Er zijn veel beleidsmaatregelen die effect hebben op de emissie van lachgas uit de landbouw. Dit zijn onder andere: implementatie mestbeleid (MINAS), EU nitraatrichtlijn, afbouw EU interventie in de handel, ammoniakbeleid, verdergaande inzet technologie, “ecologisering” van de landbouw, vernatting, verdroging en drainage en veranderingen in landgebruik. Het is niet duidelijk hoe groot de resultante van al die effecten is. Bij het huidige kennisniveau kan hier alleen in kwalitatieve zin over worden gerapporteerd. ROB-landbouw cluster 1 draagt bij aan het analyseren en kwantificeren van deze interacties.

## 1.7 Samenhang tussen projecten binnen Cluster 1 van ROB

In figuur 2 is de kringloop van stikstof op een gemengd grondgebonden landbouwbedrijf schematisch weergegeven. De zes projecten uit Cluster 1 zijn daar in het schema geplaatst waar ze effect (kunnen) hebben. Projecten hebben soms op meerdere plaatsen in de stikstofkringloop invloed. Ook hebben meerdere projecten invloed op dezelfde plaats in de stikstofkringloop. Ze zullen elkaar dus beïnvloeden. Vanwege de vele stuurfactoren is de kans groot dat door verandering van één factor indirect ook een andere factor wordt beïnvloed. Daardoor bestaat er een kans dat emissies van lachgas verplaatst worden van het ene compartiment naar het andere.



Figuur 2 Schematische weergave van stofstromen op een gemengd landbouwbedrijf en aangrijpingsplaatsen van verschillende projecten. De cijfers 1.1 tot en met 1.6 verwijzen naar de verschillende projecten binnen ROB cluster 1 t.w. 1) beweiding, 2) bemesting, 3) gewasresten, 4) klavergrasland, 5) berinzaai grasland en 6) waterbeheer

Daarnaast bestaat de kans dat vermindering van lachgasemissie de kooldioxide-, methaan- of ammoniakemissie vergroot (Robertson *et al.*, 2000) of de uitspoeling van nitraat verhoogt. Naast de directe emissies van lachgas uit de landbouw is er ook sprake van indirecte emissies van lachgas als gevolg van landbouw. Indirecte emissie

lachgas vindt plaats als nitraat uitspoelt en in grond- of oppervlaktewater alsnog denitrificeert waarbij lachgas wordt gevormd of als lachgas wordt gevormd na depositie van ammoniak elders. De kans op ongewenste neveneffecten van emissiereducerende maatregelen is dus groot.

Om ongewenste neveneffecten te voorkomen is een gedegen coördinatie nodig en krijgen met name verbanden en interacties tussen deze 6 projecten van ROB cluster 1 aandacht. Verdere regie vindt plaats vanuit het ROB project 5.1 'Decision Support Systeem ten behoeve van praktijk en beleid'.

## 1.8 Maatregelen om de lachgasemissie te reduceren

In de zes projecten in ROB-landbouw cluster 1 zijn ruim 30 maatregelen geïdentificeerd om lachgasemissie te reduceren (zie afzonderlijke rapporten ROB-projecten 1.1 – 1.6<sup>7</sup>). Deze maatregelen zijn in hoofdstuk 3 samengevat. De maatregelen zijn onderzocht in het licht van inpasbaarheid in de bedrijfsvoering waarbij, zo mogelijk, is aangegeven welke economische gevolgen voor de bedrijfsvoering zijn gevonden. Verder is per maatregel aangegeven welke additionele voor- en nadelen zijn gevonden. Deze additionele aspecten betreffen niet alleen de TEWI benadering (Total Emissions Warming Impact<sup>8</sup>), maar ook MINAS, nitraatrichtlijn en overige emissies van stikstofverbindingen, zoals ammoniak.

Bedrijven kennen een bepaalde autonome ontwikkeling. Veeteeltbedrijven hebben te maken met MINAS en zullen het mineralenoverschot willen beperken. De waardering van de consument voor biologische landbouwproducten zal naar verwachting de productie daarvan doen toenemen ten koste van de gangbare landbouwpraktijk. Van een aantal maatregelen kennen we de effecten op de emissie van lachgas en deze maatregelen zijn snel inzetbaar. Sommige zijn zogenaamde 'no-regret' maatregelen en kunnen zonder meer worden ingevoerd of liften mee met in gang gezet beleid. De kosten daarvan zijn naar verwachting laag. Van andere maatregelen kennen we de effecten (nog) niet; deze kunnen pas in een later stadium worden ingezet. Binnen de ROB projecten wordt onderzocht welke maatregelen onafhankelijk van andere maatregelen en welke combinaties van maatregelen sterk zijn en welke niet. Daarna worden voor kansrijke situaties de consequenties voor een bedrijf bepaald.

In de projecten die binnen ROB cluster 1 worden uitgevoerd worden een aantal benaderingen gevolgd die variëren van analyse op niveau van bedrijfssysteem, teeltsysteem, regio/gebiedsgericht en worden consequenties daarvan voor identificatie van mogelijke actoren en belanghebbenden bepaald.

---

<sup>7</sup> Deze 6 projecten zijn gerapporteerd in Alterra rapporten 114-1 tot en met 114-6 (zie vooraan in dit rapport (respectievelijk Velthof *et al.*, 2000a; Velthof *et al.*, 2000b; Velthof en Kuikman, 2000, Corré en Pinxterhuis, 2000; Vellinga *et al.*, 2000; Kroes *et al.*, 2000)

<sup>8</sup> Guidelines for TEWI calculation in proposals for the Dutch Non-CO<sub>2</sub> greenhouse gases emission reduction programme (draft version). M. van Drummelen, D. de Jager en C. Hendriks van ECOFYS in opdracht van NOVEM (februari 2000). Het TEWI concept is ontwikkeld om op een systematische wijze de totale broeikasgasemissies voor gespecificeerde activiteiten en maatregelen te berekenen. Zo kan worden aangegeven welke consequenties activiteiten of maatregelen hebben voor emissie van niet-lachgas broeikasgassen (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>). Het rapport is in juli 2000 verschenen.

In de doelstelling en opbouw van de systeemanalyse is gekozen voor een strakke gesystematiseerde aanpak om de uitwisseling van gegevens tussen projecten te vereenvoudigen en de leesbaarheid te vergroten.

De onderdelen in iedere systeemanalyse betreffen:

- het beschrijven van de relevante stikstofstromen;
- het kwantificeren van de lachgasemissie op basis van beschikbare literatuur;
- het beschrijven van de sturende factoren van lachgasemissie;
- het identificeren en omschrijven van de meest perspectievolle maatregelen.

## 2 Projecten binnen ROB cluster 1

### 2.1 Beperking van lachgasemissie uit beweid grasland

In het kader van het ROB-project 'Vermindering van de lachgasemissie door optimalisering van bijvoeding en beweiding van rundvee' zijn de mogelijkheden bestudeerd voor het verminderen van de lachgasemissie uit beweid grasland (Velthof *et al.*, 2000a). In deze paragraaf worden de belangrijkste resultaten uit deze systeemanalyse weergegeven.

De geschatte totale lachgasemissie uit de melkveehouderij in 1990 was ongeveer 7,2 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten; ongeveer 2,2 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten (30%) van deze emissie was afkomstig uit beweid grasland als *directe* N<sub>2</sub>O-emissie.

In Nederland worden drie beweidingssystemen onderscheiden: onbeperkt weiden (bij 48 procent van melkgevende koeien), beperkt weiden (bij 45 procent) en Zero grazing (zomerstalvoeding en summerfeeding; bij 8 procent).

De hoeveelheid stikstof die tijdens beweiding als urine wordt uitgescheiden is een belangrijke sturende factor voor N<sub>2</sub>O-emissie uit grasland (figuur 3). In urineplekken in de wei komen hoge stikstofconcentraties (500 tot 2000 kg N per ha) voor. Deze stikstof wordt in beperkte mate door het gras benut maar gaat grotendeels verloren via denitrificatie, lachgasemissie en nitraatuitspoeling. In het algemeen leidt een hoog eiwit aanbod in het rantsoen (bij meer beweiding) tot een hogere stikstofuitscheiding via mest en urine.

De weinige metingen van de N<sub>2</sub>O-emissie uit urineplekken duiden op een range van 0,4 tot 5,0 procent van de urinestikstof en een emissie uit weidemest die varieert van 0,1 tot 0,7 procent van de fecesstikstof. Betreding en vertrapping leidt tot compactie van de grond en een verslechtert de stikstofopname van het gras en geeft daardoor een hoger risico op vorming en emissie van N<sub>2</sub>O. Er zijn nog geen kwantitatieve relaties tussen stikstofconcentratie in urine of mest in het veld of de hoeveelheid urine en mest als functie van beweiding frequentie enerzijds en N<sub>2</sub>O-emissie anderzijds vastgesteld.

De stikstofstromen in melkveehouderijen zijn sterk aan elkaar gekoppeld. Maatregelen ten aanzien van beweiding hebben een grote invloed op het gebruik van drijfmest en kunstmest (en de hieraan gerelateerde lachgasemissie). Een analyse op bedrijfsniveau is noodzakelijk om de effecten beweidingmaatregelen te kunnen kwantificeren.

De consequenties van maatregelen rond beperkt weiden zoals aangegeven in de systeemanalyse zijn:

- een hogere stikstofbenutting op bedrijfsniveau, omdat de stikstof die anders in urineplekken verloren zou gaan nu als drijfmest in de stal wordt verzameld en wordt toegediend als meststof en dan tot een betere benutting van de stikstof

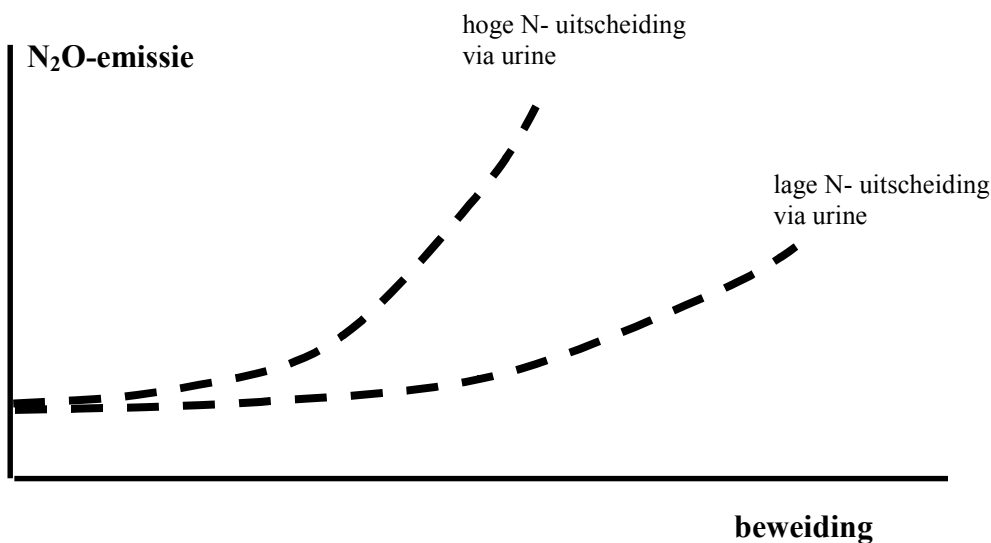


leidt. De toename in hoeveelheid drijfmest leidt tot een kleinere behoefte aan kunstmest

- een lagere lachgasemissie, omdat enerzijds de stikstof op het bedrijf beter wordt benut en anderzijds de lachgasemissie uit beweid grasland per eenheid stikstof (emissiefactor) hoger is dan die uit grasland bemest met dierlijke mest en lagere kunstmestaanwending nodig is.

Beperkt beweiden kan worden gerealiseerd door:

1. een beperkte weidegang van de dieren ('s-nachts opstallen, siëstabeweiding, na 1 september niet meer beweiden) of
2. een beperking van het aantal dieren (verhoging van de productie per dier en vermindering van het aantal jongvee).



*Figuur 3 Schematische weergave tussen beweiding (aantal dieren × beweidingduur) en N<sub>2</sub>O emissie in afhankelijkheid van de stikstofconcentratie in urine.*

Er is een duidelijk risico op afwenteling conform de TEWI-benadering bij toepassing van beperkte beweiding. Beperkt beweiden leidt enerzijds tot een lagere lachgasemissie en nitraatuitspoeling uit grasland, maar anderzijds tot een hogere ammoniak- en methaanemissie uit de mestopslag, omdat er meer mest gedurende een langere periode wordt opgeslagen.

Beperkt beweiden kan tot een lager stikstofoverschot in kader van MINAS leiden. Hierdoor zal het draagvlak voor beperkte beweidingssystemen bij boeren toenemen. In het kader van ROB is het van belang dat er binnen MINAS die maatregelen worden genomen welke niet alleen een gunstig effect hebben op het stikstofoverschot maar ook leiden tot een vermindering van de lachgasemissie.

In de tabel 3 wordt een globale schatting gegeven van de potentiële vermindering van de lachgasemissie uit melkveehouderijen. Duidelijk blijkt dat de lachgasemissie afneemt naarmate er minder wordt beweid.

Tabel 3. Maatregelen om de N<sub>2</sub>O-emissie veroorzaakt door beweiding te beperken

Maatregel	Schatting van de effectiviteit t.o.v. autonome ontwikkeling, (Mton CO <sub>2</sub> -equivalenten <sup>1</sup> )	Kosten-efficiëntie	Controleerbaarheid	Handhaafbaarheid	Risico op Afwenteling	Draagvlak bij boeren	Kennishiaten
Siësta cq. beperkt beweiden	0,19	laag	slecht-redelijk	moelijk-redelijk	aanwezig	Redelijk	Groot
Dag en nacht op stal	1,14	laag	goed	goed	aanwezig	Slecht	Groot
Per 1 september opstallen	0,41	laag	goed	goed	aanwezig	Redelijk	Groot
Minder jongvee	0,09	hoog	goed	redelijk	gering	Goed	Beperkt
Hogere melkproductie	0,05	hoog	goed	redelijk	gering	Goed	Groot

<sup>1</sup> naar verwachting leidt de autonome ontwikkeling (met name MINAS) tot een vermindering van lachgasemissie ten opzichte van 1990 met ongeveer 3 Mton CO<sub>2</sub> equivalenten (dit is zonder beweidingsmaatregelen). De hier gegeven effectiviteit is ten opzichte van de autonome ontwikkeling.

De belangrijkste kennishiaten en aandachtspunten voor onderzoek zijn:

- relatie tussen samenstelling van urine en weidemest en de lachgasemissie;
- effecten van betreding, vertrapping seizoenen op lachgasemissie;
- integrale benadering (incl. TEWD): lachgas-, ammoniak- en methaanemissie nitraatuitspoeling uit beweid grasland, stal en mestopslag.

De perspectieven voor het verminderen van de lachgasemissie uit melkveehouderijen is groot: een reductie van 0,05 tot 1,14 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten ten opzichte van de verwachte autonome ontwikkeling lijkt mogelijk met een pakket van maatregelen. De totale reductie in lachgasemissie uit melkveehouderijen (autonome ontwikkeling + beweidingsmaatregelen) zou dan 3 tot 4 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten ten opzichte van 1990 kunnen bedragen.

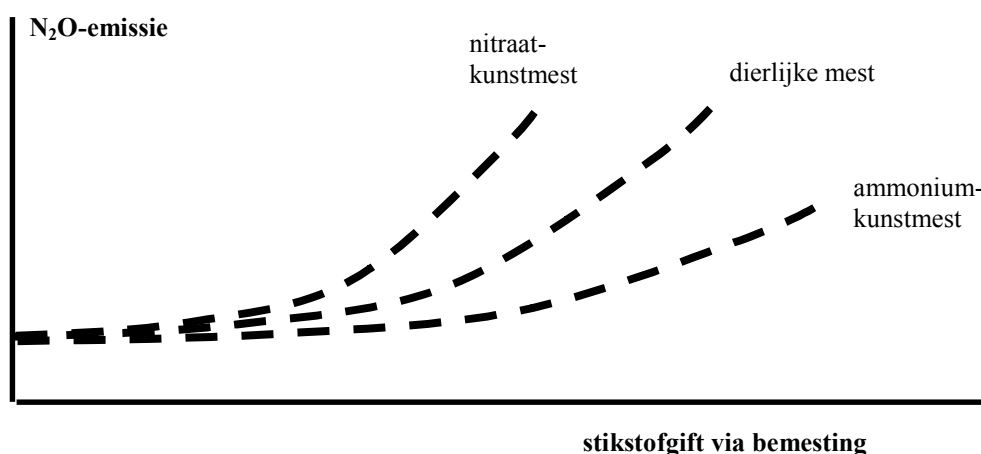
## 2.2 Beperking van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden

Bemesting met stikstof leidt tot een toename van de lachgasemissie uit landbouwgronden. In het kader van het ROB-project 1.2 'Vermindering van de lachgasemissie door aanpassingen in strategieën en technieken van toediening van dierlijke mest en kunstmest' worden de mogelijkheden voor het verminderen van de lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden bestudeerd (Velthof *et al.*, 2000b). In deze paragraaf wordt het resultaat uit deze systeemanalyse weergegeven.

De geschatte emissie van lachgas in 1990 als gevolg van bemesting bedraagt 4.3 Mton CO<sub>2</sub> equivalenten. Grasland is het belangrijkste gewas in Nederland met ruim 1

miljoen ha, het areaal snijmaïs is ruim 200.000 ha en dat van akkerbouwgewassen, vollegrondsgroenten en overige voedergewassen is ruim 600.000 ha. Ongeveer 75% van de kunstmeststikstof wordt toegediend in de vorm van ammoniumnitraat. Er wordt jaarlijks ongeveer 539 miljoen kg N uitgescheiden door landbouwdieren; rundvee en varkens nemen hiervan respectievelijk ongeveer 75% en 20% voor hun rekening. Ammoniakemissie-arme toediening van mest is verplicht sinds 1988 voor bouwland en sinds 1991-1994 voor grasland. Op grasland wordt bemesting via sleepvoeten, zodebemesten, sleufkouter en mestinjectie toegepast en op bouwland injecteren en het direct onderwerken.

De lachgasemissies uit bemeste gronden varieert sterk, waarbij de soort meststof (figuur 4), omvang van stikstofgift, tijdstip van toediening, bodemtype, weersomstandigheden en gewassoort een rol spelen. De gemiddelde emissiefactor (zie paragraaf 1.3) voor stikstofmeststoffen (kunstmest en dierlijke mest) over alle proeven van minimaal één jaar is 1,25 procent. Dit is ook de default emissiefactor die het Intergovernmental Panel of Climate Change hanteert.



Figuur 4. Schematische weergave van de relatie tussen stikstofbemesting en lachgasemissie bij verschillende stikstofmeststoffen

Er zijn in de literatuur aanwijzingen dat de emissiefactor van nitraathoudende meststoffen (zoals kalkammonsalpeter, de meest gebruikte stikstofmeststof in Nederland) hoger is dan die van dierlijke mesten en kunstmesten met alleen ammonium. Nederland hanteert in haar rapportages naar het IPCC echter een hogere emissiefactor voor geïnjecteerde dierlijke mest dan voor kunstmest.

De lachgasemissie uit dierlijke mest, die is toegediend, is waarschijnlijk hoger dan uit oppervlakkig toegediende dierlijke mest. De berekende lachgasemissie uit de Nederlandse landbouw is daardoor lager in 1990 (het referentiejaar in het kader van het klimaatverdrag), toen de mest oppervlakkig werd toegediend, dan eind jaren '90 waarin de mest emissiearm werd toegediend.

Er zijn een groot aantal bemestingsmaatregelen denkbaar die leiden tot een vermindering van lachgasemissie. In tabel 4 wordt een globale schatting gegeven van de effecten van potentiële maatregelen. De geschatte effectiviteit is onzeker en is

nog niet via experimenteel onderzoek onderbouwd. Indien verschillende maatregelen worden gecombineerd is de totale reductie minder groot is dan de som van reducties van de afzonderlijke maatregelen omdat er interacties optreden.

Tabel 4. Maatregelen om de N<sub>2</sub>O-emissie veroorzaakt door bemesting te beperken.

Maatregel	Geschatte effectiviteit <sup>1</sup> , Mton CO <sub>2</sub> -equivalenten t.o.v. 1990	Kosten-efficiëntie	Controleerbaarheid	Handhaafbaarheid	Risico op afwenteling	Draagvlak bij boeren	Kennis-hiaten
25% minder N via kunstmest en 25% via dierlijke mest <sup>2</sup>	1,37	Groot	Goed via MINAS	via MINAS	Kunstmest: klein; dierlijke mest; aanwezig	redelijk	Beperkt
25% minder N via kunstmest <sup>2</sup>	0,82	Groot	Goed via MINAS	via MINAS	Klein	groot	beperkt
25% minder N via dierlijke mest <sup>2</sup>	0,43	Neutraal	Goed via MINAS	via MINAS	Aanwezig	redelijk	beperkt
Nitrificatieremmers bij kunstmest en mest	0,31	Klein	Moeilijk	Moeilijk	Aanwezig	klein	groot
Efficiëntere toedieningstechniek en	0,29	Neutraal-klein	Goed	Redelijk	Klein	redelijk	groot
geen toediening nitraat kunstmest aan natte gronden	0,23	Neutraal	Moeilijk	Moeilijk	Klein	redelijk	beperkt
Teelt van wintergewassen	0,10	Groot	Redelijk	redelijk / moeilijk	Klein	redelijk	groot
geen toediening kunstmest en dierlijke mest op zelfde perceel	0,07	Klein	Moeilijk	Moeilijk	Klein	klein	groot
verlagen N-gehalte dierlijke mest	0,05	Neutraal	Moeilijk/MINAS	Moeilijk	Klein	redelijk	beperkt
deling van N-giften	0,05	Neutraal	Moeilijk	Moeilijk	Klein	redelijk	groot

<sup>1</sup> effectiviteit ten op zichte van 1990 zonder rekening te houden met mogelijke autonome ontwikkeling. Autonome ontwikkeling leidt naar schatting tot een emissievermindering uit bemeste landbouwgronden met 0,5-1,7 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar.

<sup>2</sup> een lagere stikstofbemesting leidt tot lagere lachgasemissie. 25% is als voorbeeld genomen; de reductie in lachgasemissie is naar verwachting niet 1 op 1 gerelateerd aan een lagere bemesting

Het Mineralen Aangifte Systeem (MINAS) heeft een groot effect op de hoeveelheid stikstofbemesting en kunstmestgebruik in de landbouw. Ook in dit ROB-project *Bemesting* is het belangrijk om vast te stellen welke maatregelen gunstig werken in MINAS én daarbij leiden tot een grote vermindering van de lachgasemissie. Het draagvlak van maatregelen wordt versterkt indien de maatregel gunstig is in het kader van MINAS.

Het risico van afwenteling (inclusief TEWI-benadering) is bij de meeste bemestingsmaatregelen beperkt. Alleen bij maatregelen die leiden tot meer opslag van mest gedurende een langere periode (bijvoorbeeld het niet meer toedienen van mest

in het najaar) is er een verhoogd risico op afwenteling, omdat de ammoniak- en methaanemissie dan toeneemt.

De belangrijkste kennishiaten en aandachtspunten voor vervolgonderzoek zijn:

- 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.

De perspectieven voor het verminderen van de lachgasemissie uit bemeste gronden via een pakket bemestingsmaatregelen is groot en bedraagt 0,1 tot 1,5 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten ten op zichte van 1990. Een deel van de voorgestelde maatregelen zijn ook positief in het kader van MINAS en een deel van de emissiereductie zal in het kader van MINAS kunnen worden gerealiseerd. Maatregelen die gunstig zijn in het kader van MINAS zullen in het algemeen een groter draagvlak hebben dan maatregelen die een beperkt effect op MINAS hebben. Bemesting heeft ook effect op lachgasemissies uit gewasresten (project 1.3) en beweid grasland (project 1.1) zodat de totale emissiereductie bij vermindering van bemesting nog groter kan zijn. Echter, er is ook een interactie met waterbeheer (1.6) waarbij nog niet duidelijk is of deze positief of negatief is voor de emissie van lachgas.

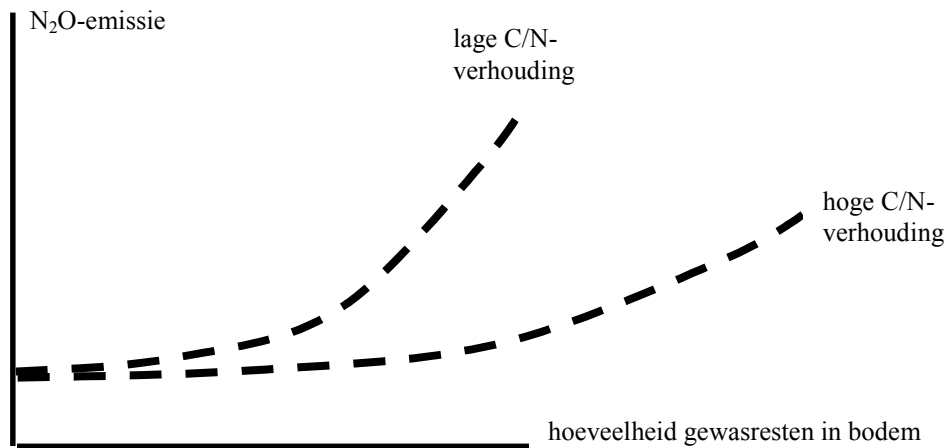
### 2.3 Beperking van lachgasemissie uit gewasresten

Bij de teelt van akkerbouw- en tuinbouwgewassen blijven na de oogst gewasresten op het land achter. Naar verwachting vormen gewasresten een belangrijke bron van lachgas, en met name de gemakkelijk afbreekbare gewasresten die veel stikstof bevatten. Het Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) gebruikt in haar methodiek voor schatting van de lachgasemissie, bij gebrek aan onderzoeksgegevens, de voor kunstmest afgeleide emissiefactor ook voor gewasresten (0,0125 kg N<sub>2</sub>O-N per kg N, zie paragraaf 1.3). Dit project onderzoekt mogelijkheden om via richtlijnen voor beheer en behandeling van gewasresten de emissie van lachgas uit de bodem te verminderen (Velthof en Kuikman, 2000). In deze paragraaf zijn de resultaten uit de systeemanalyse beschreven.

De grootte van de lachgasemissie uit gewasresten (baseline 1990) is slecht gekwantificeerd, maar is hier voor Nederland geschat op 0,5 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten.

Ruim 80% van het akkerbouwareaal in Nederland wordt ingenomen door snijmaïs, aardappelen, granen en suikerbieten. De hoeveelheid stikstof die in gewasresten achterblijft na de oogst verschilt sterk tussen gewassen; de C/N ratio heeft naar verwachting invloed op de emissie van lachgas. Na de teelt van doperwtten, koolsoorten en suikerbieten blijft veel stikstof achter en na de teelt van snijmaïs, uien en aardappelen blijft weinig stikstof achter. In de gangbare landbouwpraktijk en in de

biologische landbouw worden bij de meeste gewassen de gewasresten op het land achtergelaten en in het najaar (op zand- en kleigronden) of voorjaar (alleen op zandgrond) ondergeploegd.



*Figuur 5. Schematische weergave van de relatie tussen hoeveelheid gewasresten die in de bodem terecht komen en de emissie van lachgas bij gewasresten met een lage en een hoge C-tot-N verhouding*

Met de stikstoflevering uit gewasresten wordt bij de bemesting van het volgende gewas niet of in beperkte mate rekening gehouden. Om in de nabije toekomst aan de normen van MINAS (Mineralen Aangifte Systeem) te kunnen voldoen, zal in toenemende mate de stikstof uit gewasresten beter moeten worden benut en de bemesting hierop worden aangepast. Dit geldt in sterkere mate voor de biologische landbouw, omdat in dit systeem geen kunstmest mag worden gebruikt.

De door Nederland gehanteerde methode om de totale lachgasemissie te berekenen (in het kader van rapportages aan IPCC) houdt niet direct rekening met de lachgasemissie uit gewasresten. Dit zou wel moeten gebeuren indien Nederland maatregelen gaat toepassen om de lachgasemissie uit gewasresten te beperken en deze wil meetellen in haar rapportage aan IPCC.

In onderstaande tabel 5 wordt een overzicht en evaluatie gegeven van maatregelen op het gebied van gewasresten. Bij de effectiviteit gaat het alleen om de effectiviteit voor het reduceren van lachgasemissie uit gewasresten; een deel van de maatregelen leidt (ook) tot een lagere lachgasemissie uit andere bronnen (bijvoorbeeld bemesting). Deze (neven)effecten zijn niet in deze schattingen verdisconteerd.

Veel van de maatregelen uit tabel 5 maken het voor boeren gemakkelijker om aan MINAS te voldoen en leiden tot een verlaging van het stikstofoverschot. Dit versterkt het draagvlak bij boeren. Het is duidelijk dat de prikkel om maatregelen te accepteren minder groot zal worden indien het financieel gewin klein is of indien de MINAS norm gemakkelijk en met beperkte inzet van maatregelen kan worden gerealiseerd.

Tabel 5. Mogelijke maatregelen om de N<sub>2</sub>O-emissie uit gewasresten te beperken.

Maatregel	Schattingen van de effectiviteit <sup>1</sup> , Mton CO <sub>2</sub> -equivalenten	kosten-efficiëntie	Controleerbaarheid <sup>1</sup>	Handhaafbaarheid	afwenteling	draagvlak bij boeren	kennis-hiaten
Afvoeren en composteren	0,21	klein	Slecht	Goed	groot risico	klein	groot
Aanpassen van grondbewerking	0,17	Zand: groot klei: klein	Slecht	Goed	gering risico	zand: redelijk klei zeer klein	groot
Mengen van gewasresten	0,13	Groot	slecht	moeilijk	gering risico	redelijk	groot
Verlagen van stikstofbemesting	0,11	Groot	slecht	moeilijk	gering risico	redelijk	beperkt
Geen toediening dierlijk mest in najaar <sup>2</sup>	0,05	Zand: groot klei: klein	slecht	goed	groot risico	zand: redelijk klei: klein	beperkt
Afvoeren en ander gebruik	0,02: stro 0,22: blad biet en koolsoorten	Neutraal	slecht	moeilijk	groot risico	(zeer) klein	groot
Telen van wintergewassen	0,01	Groot	slecht	goed	klein risico	redelijk	groot

<sup>1</sup> de directe controleerbaarheid (meting van de werkelijke N<sub>2</sub>O-emissie) is slecht. De effectiviteit zou indirect kunnen worden vastgesteld met bepaalde indicatoren (bijvoorbeeld minerale N in de bodem, het niet onderploegen, etc.). Gezien het beperkte aantal studies naar gewasresten is de 'indirecte' controleerbaarheid op dit moment ook slecht.

<sup>2</sup> zie ook 1.2 Bemesting; de maatregel is hier expliciet vermeld bij bemesting omdat niet alle gewassen in het najaar worden bemest.

De meest perspectiefvolle (combinaties) van maatregelen zijn:

- Verlagen van N in gewasresten door optimalisatie van N-bemesting en rekening te houden met de stikstofwerking van dierlijke mest bij de stikstofgift;
- afvoeren van stikstofrijke gewasresten zoals suikerbietenblad en blad van koolsoorten gevolgd door compostering en eventueel ander gebruik (als veevoer) of mengen van tarwe stro met suikerbietenblad
- uitstellen van grondbewerking tot het voorjaar en geen najaarstoediening van dierlijke mest aan gronden met gewasresten;

De belangrijkste kennishiaten zijn:

- relatie tussen het stikstofgehalte in gewasresten en omvang van lachgasemissie;
- vaststellen effecten van voorjaars- en najaarstoediening van dierlijke mest en van aard en tijdstip van grondbewerking op land met gewasresten;
- vaststellen van effect van maatregelen om verliezen gedurende de winter te beperken (zoals combineren van stro met stikstofrijke gewasresten, teelt van wintergewassen, composteren en lachgasemissie tijdens compostering en na toediening van compost aan de bodem of inventariseren van andere gebruiksmogelijkheden van gewasresten)

- kwantificering van de gasvormige stikstofverliezen ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_3$  en  $\text{NO}_x$ ) uit mestopslag en tijdens compostering.

Een globale schatting geeft aan dat een reductie met 0,05-0,25 Mton  $\text{CO}_2$ -equivalenten per jaar moet kunnen worden gerealiseerd met een pakket maatregelen op het gebied van gewasresten. Een deel van de maatregelen leidt ook tot een (grote) additionele reductie in lachgasemissie van andere bronnen (met name bemesting).

## 2.4 Beperking van de $\text{N}_2\text{O}$ -emissie door gebruik van klaver in grasland

Door gebruik van klaver in grasland kan de benodigde (kunst)meststikstof gedeeltelijk of geheel vervangen worden door biologisch gebonden stikstof. Hierdoor kan bij een lagere N-gift toch een goede opbrengst worden verkregen. Dit kan echter alleen bij een N-gift van maximaal 200 tot 250 kg per ha per jaar omdat klaver zich bij hogere N-giften niet of beperkt kan handhaven. Bij gebruik van klaver is het meestal niet mogelijk de maximale opbrengst te halen. Hiervoor zijn hogere N-niveaus in de orde van  $400 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jaar}^{-1}$  nodig. Wanneer het N-niveau laag genoeg is voor een goede handhaving van klaver is het gebruik van klaver ook rendabel.

In de systeemanalyse van dit project “Beperking van lachgasemissie door gebruik van klaver in grasland” wordt een vergelijking gemaakt tussen grasland met en zonder klaver bij een gelijke opbrengst (Corré en Pinxterhuis, 2000). Zo kan het effect van verlaging van het N-niveau gescheiden worden van het effect van het gebruik van klaver op de emissie van lachgas.

Het areaal met een substantieel aandeel klaver is recent sterk uitgebreid en bedroeg in 1998 ongeveer 50.000 hectare; het areaal grasland met in principe goede groeiomstandigheden voor klaver ligt in de orde van 500.000 tot 600.000 ha.

Per ton droge stof oogstbaar product wordt door klaver bruto naar schatting ongeveer 60 kg N gebonden. Per ton droge stof oogstbaar product bevat klaver 40 tot 45 kg N (gemiddeld 42) en kan 45 tot 60 kg kunstmest-N (gemiddeld 50) worden bespaard bij een gelijk-blijvende opbrengst. De niet direct geoogste N kan gedeeltelijk na mineralisatie alsnog in gras geoogst worden. Bij gelijke opbrengst is het N-overschot van grasland met klaver iets hoger dan dat van grasland zonder klaver; ook de totale N-verliezen zijn iets groter. De verdeling van eventuele N-verliezen over respectievelijk uitspoeling van nitraat, denitrificatie en ammoniakvervluchtiging wordt nauwelijks beïnvloed door de aanwezigheid van klaver.

Bij de officiële IPCC berekening en bij de in Nederland gebruikte methode van emissieregistratie wordt klaver in grasland niet meegerekend door gebrek aan inzicht in de hoeveelheid klaver. Om dezelfde reden wordt tot nu toe bij de berekening van het N-overschot voor MINAS geen rekening gehouden met de aanwezigheid van klaver. In de toekomst zal dit naar verwachting wel gebeuren. Een berekening van



het N-overschot zonder rekening te houden met klaver is onvolledig en introduceert fouten bij gebruik als maat voor belasting van het milieu vanuit grasland.

De potentie tot verlaging van de directe N<sub>2</sub>O-emissie uit de landbouw door gebruik van klaver is bepaald met emissiefactoren waarvoor aannames zijn gemaakt. Op basis van modelberekeningen met *DairyFarmN* wordt verwacht dat bij een gelijke opbrengst de N<sub>2</sub>O-emissie uit grasland met klaver waarschijnlijk nagenoeg even hoog zal zijn als de emissie uit grasland zonder klaver. Optimalisering van de veevoeding is bij gebruik van klaver met een hoog N-gehalte zeer belangrijk en verlaagt de emissie. Anderzijds kan het pleksgewijs voorkomen van klaver leiden tot een minder goede benutting van de gebonden N en zo leiden tot een hogere emissie van lachgas.

Op basis van berekeningen waarbij gebruik wordt gemaakt van de in Nederland gebruikte emissiefactor voor leguminosen (N-binders) in de akkerbouw, is de lachgasemissie uit grasland met klaver bij gelijke opbrengst hoger dan de emissie uit grasland zonder klaver. Bij berekeningen op basis van de emissiefactoren van Velthof en Oenema (1997) is de emissie uit grasland met klaver juist lager dan de emissie uit grasland zonder klaver. Beide berekeningen zijn inclusief de berekende indirecte emissies van lachgas uit nitraat en ammoniak. Gebruik van klaver veroorzaakt een kleine toename van ammoniakvervluchtiging en nitraatuitspoeling. De emissie van CH<sub>4</sub> en CO<sub>2</sub> uit de landbouw zal niet veranderen.

De verlaging van de emissie van lachgas door gebruik van klaver is volgens bovengenoemde berekeningen gering en hangt sterk af van de gebruikte emissiefactor. Gebruik van klaver ter vervanging van kunstmest gaat gepaard met een duidelijke verlaging van de emissie van N<sub>2</sub>O en CO<sub>2</sub> bij de fabricage en het transport van kunstmest. Een emissievermindering van 0,1 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar lijkt bereikbaar bij uitbreiding van het areaal grasland met klaver met 10% (60.000 ha) van het in principe voor gebruik van klaver geschikte oppervlak grasland in Nederland. De geschatte emissiereductie bedraagt dus maximaal 1 Mton CO<sub>2</sub>.

Het gebruik van klaver in de landbouw zal in de nabije toekomst toenemen. De biologische landbouw is sterk afhankelijk van klaver en zal uitbreiden. Ook in de gangbare landbouw zal het gebruik van klaver bij een door regelgeving dalend N-niveau (MINAS) aantrekkelijker worden. Alleen metingen aan lachgasemissies uit klavergrasland kunnen voorzien in kwantitatieve gegevens over de beperking van lachgasemissie bij uitbreiding van het areaal klaver:

- De verwachting dat het gebruik van klaver weinig effect op de N<sub>2</sub>O-emissie uit de landbouw zal hebben is niet of nauwelijks door metingen onderbouwd en het is niet duidelijk of de emissiefactor voor stikstof uit klaver lager of hoger is dan de emissiefactor voor kunstmeststikstof
- Gebruik van klaver leidt tot een aanzienlijke verlaging van de N<sub>2</sub>O-emissie (en CO<sub>2</sub>-emissie bij productie en transport) uit kunstmest buiten de directe landbouw.

Voor een goede schatting van de N<sub>2</sub>O-emissie uit grasland met klaver is vaststelling van de emissiefactor voor door klaver gebonden N nodig. Dit kan door vergelijkende veldmetingen in graslanden met en zonder klaver met een zelfde management en vergelijkbare opbrengstniveaus uit te voeren. Op basis van deze metingen kan dan

medio 2001 geëvalueerd worden wat de perspectieven voor verlaging van de N<sub>2</sub>O-emissie uit de landbouw door gebruik van klaver in Nederland zijn. Daarbij is vaststelling van de hoeveelheid N die door klaver gebonden wordt (en de hoeveelheid vermeden kunstmeststikstof) onder Nederlandse omstandigheden gewenst.

## 2.5 Beperking van lachgasemissie bij het scheuren van grasland

Als gevolg van het scheuren en onderploegen van grasland vindt versnelde afbraak van organische stof plaats. Hierbij worden relatief grote hoeveelheden organische stikstof gemineraliseerd. Deze stikstof kan niet altijd (direct) door een volgend gewas (gras na herinzaai of anderszins) worden gebruikt en kan dan verloren gaan. Daarbij kan lachgas worden gevormd (directe en indirecte emissies). Deze verliezen worden later veelal gecompenseerd via bemesting. In deze paragraaf worden de resultaten uit de systeemanalyse van het project “Beperking van Ontwikkeling van richtlijnen voor beheer, omzetting en herinzaai van grasland om de emissie van lachgas te verminderen” beschreven (Vellinga *et al.*, 2000).

Binnen het Nederlandse graslandareaal van ruim 1 miljoen hectare wordt jaarlijks ruim 100 000 hectare grasland gescheurd en ingezaaid met gras of andere gewassen. De oppervlakte aan grasland in Nederland neemt voortdurend en gestaag af omdat grond wordt gebruikt voor woningbouw, wegen en natuurgebieden. De hoeveelheid tijdelijk grasland in Nederland neemt toe. Mogelijke oorzaken zijn: wisselbouw van gras en maïs, ontwikkeling van biologische landbouw en de toename van de bollenteelt in Nederland. Daarnaast wordt een gedeelte van het Nederlandse graslandareaal eens in de 5-10 jaar gescheurd en opnieuw ingezaaid ten behoeve van graslandverbetering.

De verliezen aan stikstof bij graslandverbetering bedragen 100 tot 300 kg N per hectare. Bij gescheurd grasland voor 3 jaren bouwland of één jaar bloembollen zijn de verliezen 200 tot 700 kg N, afhankelijk van de graslandperiode die wordt gehanteerd.

Als oud grasland definitief wordt omgezet in bouwland bedragen de verliezen 4500 tot 7000 kg N per hectare over een periode van meerdere jaren. Als grasland wordt omgezet in tijdelijk grasland in rotatie met akkerbouwgewassen of bloembollen, bedraagt het verlies, afhankelijk van de rotatie en de leeftijd van het permanente grasland 0 tot 4000 kg N per ha.

Bij omzetting van permanent naar tijdelijk grasland komt niet alleen stikstof vrij, maar wordt ook organische stof relatief snel afgebroken en omgezet in CO<sub>2</sub>. Dit verlies aan organische stof gaat beduidend sneller dan eventuele nieuwe vastlegging van C in organische stof in de bodem. De omzetting van permanent naar tijdelijk grasland levert dus niet alleen een belangrijke bijdrage aan broeikasgasemissies via lachgas (N<sub>2</sub>O) maar ook via kooldioxide (CO<sub>2</sub>).

Als grasland in rotatie met akkerbouwgewassen of bloembollen wordt verbouwd, bedragen de stikstofverliezen tot 600 kg N per ha per ‘bouwlandjaar’ door de versnelde afbraak van in de voorgaande graslandperiode opgebouwde organische (stik)stof.

De emissie van lachgas als direct gevolg van de omzetting van grasland is geschat m.b.v. emissiefactoren die conform IPCC methodiek toegepast worden voor (indirecte en directe) emissies die volgen op toediening van mest. De geschatte jaarlijkse emissie in Nederland als gevolg van graslandomzetting en herinzaai bedraagt tussen 1 en 1,5 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten (tabel 6). De orde van grootte geeft aan dat de lachgas- en CO<sub>2</sub>-emissie bij scheuren een belangrijke bron is van broeikasgassen, ondanks de onzekerheden in de berekeningen.

*Tabel 6 Overzicht van de emissies van broeikasgassen (in CO<sub>2</sub>-equivalenten per hectare) (lage en hoge schatting) voor de volledige periode waarop de gebeurtenis betrekking heeft en getotaliseerd over alle hectares die jaarlijks in Nederland worden gescheurd in de verschillende systemen; hierbij zijn niet alleen N<sub>2</sub>O maar ook CO<sub>2</sub> emissies uit afbraak organische stof in de bodem meegerekend.*

Totale emissie (Mton CO <sub>2</sub> -equivalenten)	Opp (ha)	Lage schatting	Hoge schatting
Graslandverbetering	60 000	0,09	0,33
Omzetting van permanent grasland <sup>1</sup>	5 000	0,60	0,69
Rotatie 3 jaar gras / 3 jaar bouwland	20 000	0,13	0,19
Bollen 6 jaar gras / 1 jaar bollenteelt	20 000	0,22	0,24
Totaal	101 000	1,04	1,44

<sup>1</sup> Emissie bij het scheuren van permanent grasland is afhankelijk van de nieuwe functie: bij omzetting naar continue bouwland is de emissie het grootst, bij omzetting naar grasland in (ruime) rotatie het kleinst.

In dit project zijn de volgende maatregelen geïdentificeerd:

- Optimaliseren van graslandverbetering – vermindering van het areaal graslandverbetering, pleksgewijze graslandverbetering, doorzaaien en graslandverbetering alleen in (voor)zomer toepassen.
- Beperking omzetten van permanent grasland naar tijdelijk. Verminderen van areaal dat wordt omgezet. Als het toch wordt gedaan, kiezen van percelen met laagste organische stofgehalte.
- Beperken van grasland in rotaties. Als rotatie wordt toegepast, streven naar korte graslandperioden en relatief lange bouwlandperioden.

Het draagvlak voor maatregelen varieert van slecht tot positief. Veehouders kunnen in de graslandverbetering tot forse besparingen komen omdat sommige maatregelen goedkoper zijn en omdat de stikstofbesparing ook door de mineralenwetgeving wordt gestimuleerd. Ook is winst te behalen door de effectiviteit van scheuren en herinzaai van grasland te analyseren en eventuele alternatieve en nieuwe methodieken voor graslandverbetering te ontwikkelen dan wel te optimaliseren.

Van groot belang is dat gegevens over daadwerkelijke verliezen van stikstof bij scheuren en/of omzetting van grasland ontbreken en er vrijwel geen metingen van de emissie van lachgas als gevolg van scheuren voorhanden zijn. Als gevolg hiervan is een schatting van de bijdrage van maatregelen aan de beperking van de emissie van lachgas moeilijk. De

schattingen die in dit rapport worden gepresenteerd, zijn tot stand gekomen door toepassing van emissiefactoren die zijn berekend voor toepassing van (kunst)mest en van emissiefactoren die worden toegepast op verliezen van stikstof in de vorm van nitraat. Een schatting van de omvang van de indirecte emissies is zeer moeilijk maar wel gewenst; deze kan alleen tot stand komen na verbetering van de schatting van de verliezen aan stikstof bij scheuren en/of omzetting van grasland. De relatief grote omvang van het Nederlandse grasland areaal en de intensieve bewerking omzetting pleit o.i. voor het opzetten van een meetprogramma voor emissies van lachgas die het gevolg zijn van scheuren en herinzaai van grasland.

Door autonome ontwikkelingen (mest en nitraatrichtlijn en dalende productprijzen) en de toepassing van de voorgestelde gerichte maatregelen (ROB) zal de emissie kunnen afnemen met ongeveer 0,5 – 0,6 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar (tabel 7).

*Tabel 7 Huidige situatie met betrekking tot emissies van broeikasgassen (in CO<sub>2</sub>-equivalenten uit N<sub>2</sub>O en CO<sub>2</sub> uit organische stof in de bodem) en een mogelijke toekomstige situatie met een afname van de emissie via een reeks maatregelen over een periode van 10 jaren in Nederland.*

	Huidig	Toekomst	Afname	
	Mt CO <sub>2</sub>	Mt CO <sub>2</sub>	Mt CO <sub>2</sub>	Maatregelen
Graslandverbetering	0,33	0,12	0,21	Areaalvermindering, betere methoden voor verbetering
definitief scheuren	0,69	0,4	0,29	Areaalvermindering, kiezen grasland met laag organisch stof gehalte
rotatie 3/3	0,19	0,132	0,05	Kortere grasland- en langere bouwlandperiode
bollen 6/1	0,24	0,22	0,02	Kortere graslandperiode
Totaal	1,44	0,872	0,57	

De omvangrijkste bijdrage aan de reductie van lachgas- en kooldioxide-emissie wordt geleverd door het verminderen of niet omzetten van oud (permanent) grasland naar tijdelijk grasland en bouwland. Daarentegen zal een toename van de biologische landbouw kunnen leiden tot continuering van grasland in rotaties om voldoende stikstof te leveren gedurende de bouwlandperiode. Ondanks de verwachte toename is in de berekening met een afname van de functieverandering permanent naar tijdelijk grasland rekening gehouden. Daar is waarschijnlijk actief ingrijpen bij nodig.

In het rapport (Vellinga *et al.*, 2000) wordt gepleit voor een integrale aanpak waarbij de kritische punten in de hele keten worden geïdentificeerd zowel binnen de graasveehouderij als daarbuiten in andere sectoren (indien met mestafzet-contracten zal worden gewerkt en elders bijvoorbeeld kunstmest kan worden bespaard of juist worden toegepast).

## 2.6 Beperking van lachgasemissie door waterbeheer

In deze paragraaf worden de resultaten van het ROB-project “Strategieën in waterbeheer om de lachgasemissie uit de bodem te verminderen” besproken. In de systeemanalyse is de relatie tussen waterhuishouding en N<sub>2</sub>O-emissie beschreven en voor zover mogelijk gekwantificeerd. De mogelijke ingrepen om de N<sub>2</sub>O-emissie te reduceren

zijn geïdentificeerd, de haalbaarheid van de reductiedoelstelling is geschat, en er is aangegeven welk onderzoek kan leiden tot de definitie van bruikbare maatregelen.

N<sub>2</sub>O komt vrij bij omzettingen in de stikstofkringloop (figuur 1). De beschikbaarheid van nitraat (bemesting) en gemakkelijk afbreekbare organische stof, de bodemtemperatuur en de bodemvochttoestand bepalen of deze processen optreden en hoe snel deze processen verlopen. De vochthuishouding kan worden gestuurd via waterbeheer en grondgebruik. Waterbeheer beïnvloedt ook de resultaten van de maatregelen geformuleerd in de andere deelprojecten en bepaalt mede de uitspoeling van nitraat, de afspoeling van fosfaat en het optreden van bedrijfseconomische schade. De effecten van waterbeheer op deze variabelen worden in beschouwing genomen om doelmatige maatregelen te selecteren.

De huidige rekenmethodieken met emissiefactoren, die door IPCC en Nederland worden gebruikt, zijn niet geschikt om effecten van waterbeheer te kwantificeren. De bestaande kennis ten aanzien van de relatie tussen de vochthuishouding c.q. waterbeheer en de N<sub>2</sub>O-emissie is summier. Het effect van waterbeheer op de emissie is nauwelijks in praktijksituaties onderzocht. Het gevolg is dat goede betrouwbare schattingen van emissiefactoren voor uiteenlopende omstandigheden in de Nederlandse landbouw ontbreken. Een gericht meetprogramma rond de voorgestelde ingrepen kan de hiaten in de kwantitatieve kennis over de relatie tussen emissie en vochtgehalte aanvullen.

Op basis van de beschikbare literatuur en aan de hand van metingen en modelberekeningen is de N<sub>2</sub>O-emissie gekwantificeerd voor verschillende bodemsoorten, vormen van grondgebruik en grondwaterstanden. De gemiddelde emissie uit veengronden is groter dan de gemiddelde emissie uit kleigronden en veel groter dan de gemiddelde emissie uit zandgronden. Veengronden komen alleen voor in natte gebieden, zandgronden zijn daarentegen over het algemeen juist droog.

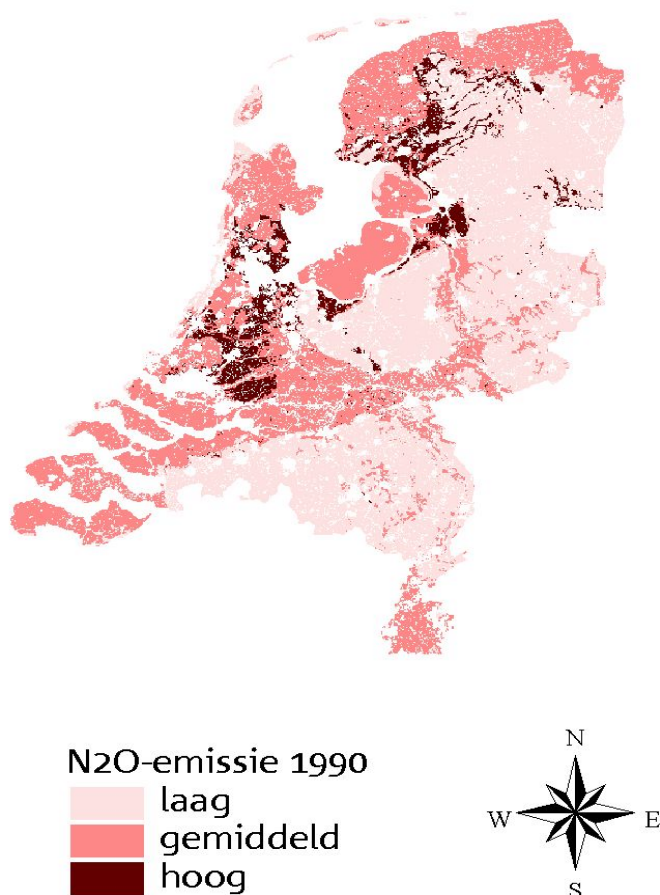
In het algemeen is de emissie maximaal bij vochtige gronden. Zowel voor (extreem) droge als (extreem) natte gronden wordt verondersteld dat de emissie kleiner is. De bodem en vochttoestand beïnvloeden ook de emissies voor de verschillende bodemgebruiksvormen: maïs en bouwland komen voor op drogere klei- en zandgronden, grasland komt ook voor op de nattere gronden. Op veenbodems komt hoofdzakelijk gras voor.

Als ingrepen zijn *berekening* en *aanpassen van de grondwaterstanden* onderscheiden; deze worden hierna besproken.

Berekening heeft tot doel het gewas optimaal van vocht te voorzien. Dit leidt echter veelal ook tot optimale condities voor vorming van lachgas. De gemiddelde jaarlijkse emissie als gevolg van beregenen is geschat op 0.13 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten. Dat is ongeveer 0.5 % van de totale jaarlijkse N<sub>2</sub>O-productie in Nederland. De verklaarde variantie voor de gebruikte relaties (Velthof en Oenema, 1995) is klein (0.3-0.4). Dat betekent waarschijnlijk dat extreme situaties door deze relaties niet goed worden weergegeven en dat de berekende emissies direct na berekening worden onderschat.

Ook de onbekende duur van de emissies na beregening kan tot een onder- of overschatting van de totale emissie leiden. De berekende emissie door beregening is aanzienlijk en ingrepen in beregening bieden dan ook perspectief om de emissie van lachgas te reduceren. Mogelijke maatregelen zijn: i) een algeheel beregeningsverbod; ii) een tijdperiode (2 weken) tussen mestgift en beregening aanhouden, iii) regelmatig maar met kleinere hoeveelheden water beregenen. Met de gevolgde rekenmethodiek wordt geschat dat het effect van bovengenoemde maatregelen voor beregening varieert van 0.01 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten bij een geringe ingreep tot 0.13 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten bij een algeheel beregeningsverbod.

De sturende variabelen voor de lachgasemissie zijn bodemtype, de waterhuishouding, grondgebruik en beheer/bedrijfsvoering. Als gevolg daarvan vertoont de emissie van lachgas grote verschillen binnen Nederland (figuur 6). Bepaalde gebieden hebben een grotere potentie om een reductie in de N<sub>2</sub>O-emissie te realiseren. Volgens de berekeningen is de helft van de emissie uit de bodem in Nederland afkomstig uit grasland op veen.



*Figuur 6 Ruimtelijke verdeling van de berekende N<sub>2</sub>O-emissie voor het jaar 1990*

Het aanpassen van grondwaterstanden leidt dan ook niet voor alle gronden tot even grote effecten. Maatregelen waarmee veranderingen in de grondwaterstand

gerealiseerd kunnen worden zijn: aanpassen van de ontwatering, actieve ontwatering (gecontroleerd draineren), peilverlaging, dynamisch peilbeheer. Het effect van de maatregelen op de grondwaterstanden is sterk afhankelijk van de lokale situatie en is niet zonder meer aan te geven. Binnen deze groepen maatregelen zijn allerlei verfijningen mogelijk.

Het effect van de maatregelen op de N<sub>2</sub>O-emissie wordt bepaald door de gerealiseerde verandering in grondwaterstand. In veengronden met een diepe ontwatering vindt de hoge emissie zijn oorsprong in de hoge mineralisatie van stikstof in deze bodems. Deze mineralisatie wordt verminderd door de peilen, c.q. grondwaterstanden te verhogen. Dat betekent dat vernatten in veengronden tot een reductie van de N<sub>2</sub>O-emissie leidt via zowel een reductie in volume (lagere mineralisatie) als een reductie in de emissiecoëfficiënten (meer N<sub>2</sub> in verhouding tot N<sub>2</sub>O) bij water aan maaiveld. Omdat vernatten in veenbodems tot landbouwkundig minder gewenste situaties leidt en omdat ook bemesting met nitraathoudende meststoffen tot N<sub>2</sub>O-emissie leidt, kan worden overwogen een deel van het areaal landbouwgronden op veenbodems uit productie te nemen om aanvullend op en in combinatie met het aangepast peilbeheer (water tot aan maaiveld) de reductiedoelstelling te realiseren. In dit geval wordt een reductie van 2500 kg CO<sub>2</sub>-equivalenten per hectare gerealiseerd.

Grondwatergestuurde reductie van de N<sub>2</sub>O-emissie kan een duidelijke bijdrage leveren aan de totale emissie-reductie. Met de gevolgde methode wordt een gemiddelde jaarlijkse emissie-reductie geschat tussen de 0,0 en 0,4 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten. De effecten zijn het grootst op veengronden. Permanent vernatten tot plas-dras van 20 % van het areaal grasland op veen lijkt alleen al voldoende om de reductie-doelstelling te realiseren

De ingrepen in de waterhuishouding moeten worden getoetst aan het ingezette beleid m.b.t. waterbeheer (vernatten t.b.v. natuurontwikkeling, verdrogingbestrijding, wateroverlastreductie). Daarnaast moeten de effecten op de bedrijfsvoering en de andere mogelijke maatregelen om de reductie van lachgas te reduceren niet uit het oog worden verloren (afwenteling). Het realiseren van voorgestelde maatregelen vereist een integrale benadering, waarbij maatregelen op het terrein van het waterbeheer samengaan met maatregelen op andere terreinen (zoals bemesting en veranderend landgebruik). Het zoeken naar gebiedspecifieke maatregelen om de gewenste ingreep te realiseren is maatwerk dat in samenwerking met waterbeheerders kan worden gerealiseerd.

Twee autonome ontwikkelingen in Nederland zijn relevant:

1. De veranderingen in de waterhuishouding door de klimaatverandering.
2. Het natter worden van Nederland als gevolg van (voorgenomen) beleid.

Voor deze autonome ontwikkelingen is een verandering van de lachgasemissie in de orde van respectievelijk -0.2 tot 0.4 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar berekend. Aangezien de vernatting nog grotendeels moet worden gerealiseerd en omdat verschillende bodems en regionale verschillen in waterhuishouding tot andere emissies leiden, bestaat de mogelijkheid om de waterhuishouding te optimaliseren en daarbij ook de emissie van N<sub>2</sub>O mee te laten wegen.

### 3 Haalbaarheid en draagvlak van opties voor maatregelen om de lachgasemissie te beperken

In de 6 projecten van ROB cluster 1 zijn meer dan 30 concrete maatregelen geïdentificeerd die bij dragen aan het reduceren van de emissie van lachgas uit de landbouw. Van deze maatregelen is in de afzonderlijke rapporten en in deze samenvatting van cluster 1 de omvang van de potentiële reductie aangegeven. Daarnaast is per project onder meer ingegaan op de kansen en bedreigingen die bij de onderscheiden maatregelen horen, op de kosten, op slaag- en faalfactoren en op draagvlak bij agrarische ondernemers.

Een optimale keuze van maatregelen met hoge kostenefficiëntie en met voldoende draagvlak kan alleen worden gemaakt als er inzicht bestaat in de mogelijke positieve of negatieve terugkoppelingen tussen opties voor te nemen maatregelen of combinaties van maatregelen. (zie tabel 8 voor een aanzet daartoe). Opvallend is dat de pakketten van de belangrijkste (geclusterde) maatregelen zeer uiteenlopend scoren op het gebied van kostenefficiëntie en draagvlak. In dit stadium van de uitvoering van ROB projecten direct na de systeemanalyse is het nog te vroeg om alle informatie voor een gerichte keuze van maatregelen volledig en betrouwbaar op een rij te zetten. Er zijn nog veel onduidelijkheden en onzekerheden over emissiefactoren en stuurfactoren en niet in de laatste plaats over kosten en draagvlak. Ook bestaan er interacties tussen een aantal projecten die nog moeten worden uitgewerkt en gekwantificeerd.

De emissiereductie die haalbaar is wordt voor de 6 projecten berekend op 0,5 – 3,5 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten (beweiding 0,05 - 1,1 Mton CO<sub>2</sub>; bemesting 0,1 – 1,5 Mton CO<sub>2</sub>; gewasresten 0,05 - 0,25 Mton CO<sub>2</sub>; klavergrasland 0,1 Mton CO<sub>2</sub>; herinzaai en omzetting grasland 0,05 - 0,6 Mton CO<sub>2</sub>; waterbeheer 0,1– 0,4 Mton CO<sub>2</sub>). De eerder gesignaleerde onzekerheid in de schatting van de omvang van de emissie van lachgas in Nederland ligt in de orde van 50-100%. Deze leidt natuurlijk ook tot onzekerheid in de schatting over de mogelijke reductiemogelijkheden. Daarnaast zijn bij de schattingen aannames gemaakt over reductiemogelijkheden waarbij emissiefactoren zijn aangepast. Ook hier liggen onzekerheden. In het verdere verloop van de ROB projecten worden een groot aantal metingen uitgevoerd die zullen leiden tot verbetering van schattingen van emissiefactoren voor een reeks van maatregelen.

Bij een aantal maatregelen zijn interacties te verwachten tussen lachgas en andere broeikasgassen. Neem vernatting waar een verhoging van de emissie van methaan wordt verwacht. Deze verhoging kan de beperking van de emissie van lachgas (en de mogelijke vastlegging of het voorkomen van oxidatie van koolstof in veen) gedeeltelijk teniet doen. Eenzelfde risico bestaat bij het frequenter of langduriger opstallen van vee waarbij meer mest in de mestopslag komt met een groter risico op methaan-vorming daar. In het laatste geval lijkt vermindering van extra emissies eenvoudig maar in het eerste geval niet.



Niet alleen interacties met emissies van overige broeikasgassen spelen een rol, ook interacties met overig beleid. De gewenste uitbreiding van het areaal biologische landbouw zal zeer waarschijnlijk leiden tot een verhoging van het areaal klavergrasland en leiden tot een autonome reductie van de lachgasemissie in ieder geval door beperking van gebruik van kunstmest. Daarentegen zal door uitbreiding van het areaal grasland dat gescheurd wordt, de lachgasemissie toe kunnen nemen. Het draagvlak bij boeren voor de voorgestelde maatregelen varieert sterk en wordt ingeschat van slecht tot goed.

Van groot belang is het effect van maatregelen binnen ROB op de MINAS norm. Indien de maatregel bijdraagt aan het realiseren van een efficiënter stikstof gebruik op het bedrijf is dat gunstig voor MINAS en in veel gevallen ook voor de gewenste beperking van de emissie van lachgas. Het draagvlak van maatregelen wordt versterkt indien de maatregel gunstig is in het kader van MINAS. De wijze waarop (groepen van) boeren in de praktijk gaan proberen te voldoen aan MINAS staat nog niet vast maar is van belang voor de slaagkans van vele maatregelen binnen ROB.

Een duidelijke incentive voor emissiereductie is er nog niet. Indien in de landbouw de emissie van broeikasgassen wordt gelimiteerd en boeren zouden hun emissierechten moeten kopen tegen marktconforme prijzen ontstaat er een stimulans. Dan komt er ook zicht op de werkelijke kosten die zijn verbonden met emissies van broeikasgassen en op de voordelen van het beperken daarvan.

De schatting van de kostenefficiëntie is tot stand gekomen op basis van aannames met een veelal grote onzekerheid en variëren van negatief (levert geld op) tot meer dan 100 gulden per ton vermeden emissie CO<sub>2</sub>. De kosten zijn veelal vergelijkbaar met de kosten voor vermijden of beperken van emissies in andere sectoren.

Tabel 8 *Lijst van maatregelen om de lachgasemissie te reduceren; kostenefficiëntie, kansen en bedreigingen, draagvlak en omvang van de potentiële reductie in relatie tot de overige maatregelen.*

	<b>Maatregel</b>	<b>Kosten-efficiëntie<sup>1</sup></b>	<b>kansen en bedreigingen</b>	<b>Draagvlak</b>	<b>Omvang van potentiële reductie</b>
1	Beperkt beweiden (o.a. siësta, dag en nacht op stal, eerder in nazomer opstallen in combinatie met verlagen van N-gehalte in dierlijke mest via rantsoenaanpassing)	Klein tot gemiddeld	Relatief duur, sociale belasting boer, dier-welzijn, gunstig voor MINAS	Slecht tot redelijk	0,20-1,75
2	Minder dieren bij gelijkblijvend quotum (o.a. minder jongvee, hogere melkproductie)	Zeer groot	Gunstig voor MINAS	Goed	0,05-0,15
3	Maatregelen die efficiëntie van stikstofgebruik verhogen en leiden tot minder verliezen van N (verlagen van bemesting, geen najaarstoediening dierlijke mest, deling van N-giften bij akkerbouwgewassen en efficiëntere toedieningstechnieken, geen toediening kunstmest en dierlijke mest op hetzelfde perceel)	Gemiddeld tot klein	Veel kennishiaten, moeilijk handhaafbaar, goed controleerbaar	Klein tot goed	0,05-1,4
4	Geen toediening nitraathoudende kunstmest onder natte omstandigheden en/of toepassing van nitrificatieremmers bij kunstmest en dierlijke mest	Neutraal tot klein	Neutraal voor Minas, voorlichting nodig, imago negatief door toevoeging stoffen	Klein tot redelijk	0,2-0,5
5	Afvoeren gewasresten en composteren of ander gebruik inclusief mengen van gewasresten	Klein tot (zeer) groot	Vraagt inzet menskracht, mogelijk gunstig voor MINAS en nitraatuitspoeling	Klein tot redelijk	0,05-0,25
6	Aanpassen van grondbewerking	Klein (klei) tot zeer groot (zand)	Verschil per grondsoort, kennishiaten groot	Klein tot redelijk	0,20
7	Telen van wintergewassen	Klein	Gunstig voor MINAS en organische stof C in de bodem; risico in teelt vlinderbloemigen emissies bij onderwerken	Redelijk tot goed	0,01
8	Introductie en uitbreiding van areaal klavergrasland	Groot (maar afhankelijk van N-niveau)	Gunstig voor ecologisering landbouw en MINAS (zolang klaver N niet meetelt)	Redelijk tot goed	0,1
9	Grasland niet scheuren in de nazomer	Gemiddeld	Economisch verlies groot bij herinzaai in voorjaar, herinzaai in zomer beter maar risicovol	Gering tot redelijk	0,1-0,2

	<b>Maatregel</b>	<b>Kosten-efficiëntie<sup>1</sup></b>	<b>kansen en bedreigingen</b>	<b>Draagvlak</b>	<b>Omvang van potentiële reductie</b>
10	Herinzaai vervangen door doorzaaien van grasland of pleksgewijs scheuren	Gemiddeld tot (zeer) groot	Afhankelijk van goede methode/techniek en voorlichting	Redelijk tot goed	0,1-0,2
11	Graslandperiode kort, bouwlandperiode lang danwel geen vruchtwisseling op grasland toestaan.	Onbekend	Beperking stikstofverlies en noodzaak tot aanvulling	Slecht tot onbekend	0,1-0,3
12	Peilbeheer of tijdelijke verhoging grondwaterstand of verhoging streefpeilen oppervlaktewater of versnelde oppervlakkige afvoer	Onbekend	Grondsoort afhankelijk, gunstig bij uit productie halen van grond, gunstig t.b.v. anti-verdroging; gunstig op veengronden	Slecht tot redelijk	0-0,4
13	Grondwater-gestuurde bemesting en afstemming van beregening en bemesting	Onbekend	Beperkt nitraat-uitspoeling, gunstig voor MINAS	Redelijk	0,01 – 0,1

<sup>1</sup> Indicatie van kostenefficiëntie voor vermindering van N<sub>2</sub>O emissie (in guldens per ton vermeden emissies in CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar) is als volgt: klein > fl 100,, gemiddeld fl 50-100, groot fl 0-50 en zeer groot < fl 0.

## Geraadpleegde bronnen

- Amstel A.R. van et al. (1994) Greenhouse gas emissions in the Netherlands 1990, 1991, 1992 and projections for 1990 – 2010. RIVM rapport 773001003, RIVM, Bilthoven, Nederland, pp. 93.
- Amstel, A.R. van, J. Olivier and, P. Ruysenaars (2000/1999) Monitoring of Greenhouse Gases in the Netherlands: uncertainty and priorities for improvement. Proceedings of a national workshop, Bilthoven, The Netherlands, WIMEK report / RIVM report 773201 002
- Anon (1999) Projectenplan 'Projecten LNV in het kader van ROB (Reductie Overige Broeikasgassen). Ministerie van LNV en NOVEM, Utrecht.
- Bouwman, A.F. (1996) Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 46, 53-70.
- Corré, W.J. en J.B. Pinxterhuis (2000) Beperking van lachgasemissie door gebruik van klaver in grasland: een systeemanalyse. Alterra-rapport 114-4, Alterra, Wageningen, Nederland, pp. 54
- Drummelen, M. van, D. de Jager en C. Hendriks (2000) Guidelines for TEWI calculation in proposals for the Dutch Non-CO<sub>2</sub> greenhouse gases emission reduction programme (draft version), ECOFYS in opdracht van NOVEM (versie van februari 2000).
- ECN/RIVM (1998) Optiedocument. ECN, Petten, Nederland
- Erismann, J.W., W. de Vries, J. Kros, O. Oenema, L.J. van der Eerden, H. van Zeijts (2000). Analyse van de stikstofproblematiek in Nederland. Een eerste verkenning. Rapport ECN-C-00-040. Energieonderzoek Centrum Nederland, Petten
- Firestone, M.A. en E.A. Davidson (1989) Microbiological basis of NO and N<sub>2</sub>O production and consumption in soil. In: M.O. Andreae & D.S. Schimel (eds.). *Exchange of Trace Gases between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere*. John Wiley and Sons, Chichester, UK, pp. 7-22
- IPCC (1995) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. OECD/OCDE, Paris
- IPCC (1997) Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. OECD/OCDE, Paris
- Kroes, J.G., F.J.E. van der Bolt, P. Groenendijk, I.E. Hoving en M.H.A. de Haan (2000) Beperking van lachgasemissie door waterbeheer; een systeemanalyse. Alterra-rapport 114-6, Alterra, Wageningen, Nederland, pp. 83
- Kroeze, C. (1994) Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emission inventory and options for control in the Netherlands. RIVM (report 773001004), 163 p.
- Kroeze, C. (1998) Potential for mitigation of emissions of nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) from the Netherlands (1980-2015). *Ambio* 27, 118-122.
- Kroeze, C. and S. Bodganov (1997). Application of two methods for N<sub>2</sub>O emission estimates to Bulgaria and the Netherlands. *Quart. J. Hung. Meteorol. Serv.* 101: 239-260
- Olivier, J.G.J., J.C. van den Berg and J.A.H.W. Peters (2000) Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands: Summary Report 1990-1998 (IPCC tables 1-7). RIVM rapport 773201002, RIVM, Bilthoven, Nederland, pp. 52
- RIVM (1997) Nationale Milieu Verkenning 4. Samson-Tjeenk Willink, Alphen aan de Rijn, Nederland
- Robertson, G.P., E.A. Paul and R.R. Harwood (2000). Greenhouse Gases in Intensive Agriculture: Contributions of Individual Gases to the Radiative Forcing of the Atmosphere. *Science* 289: 1922-1925
- Vellinga, Th.V., P.J. Kuikman en A. van den Pol-van Dasselaar (2000) Beperking van lachgasemissie bij het scheuren van grasland: een systeemanalyse. Alterra-rapport 114-5, Alterra, Wageningen, Nederland, pp. 60
- Velthof, G.L. en P.J. Kuikman (2000) Beperking van lachgasemissie uit gewasresten: een systeemanalyse, Alterra-rapport 114-3, Alterra, Wageningen, Nederland, pp. 82
- Velthof, G.L., M.H. de Haan, G. Holshof, A. van den Pol-van Dasselaar en P.J. Kuikman (2000a) Beperking van lachgasemissie uit beweide grasland: een systeemanalyse. Alterra-rapport 114-1, Alterra, Wageningen, Nederland, pp. 52
- Velthof, G.L., M.H. de Haan, R.L.M. Schils, G.J. Monteny, A. van den Pol-van Dasselaar en P.J. Kuikman (2000b) Beperking van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden: een systeemanalyse. Alterra-rapport 114-2, Alterra, Wageningen, Nederland, pp. 68

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

VROM (1999) Uitvoeringsnota Klimaatbeleid. Deel I: Binnenlandse maatregelen. Ministerie van VROM, Juni 1999.